

Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva.

Tesi doctoral.
Novembre de 2005.

Anna Menció i Domingo.

Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals
Universitat Autònoma de Barcelona



Universitat Autònoma de Barcelona

Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals.

Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva.

Programa de Doctorat en Ciències Ambientals.

Memòria realitzada per Anna Menció i Domingo, sota la direcció del Dr. Josep Mas-Pla, de la Unitat de Geodinàmica Externa i Hidrogeologia del Departament de Geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona, per optar al grau de Doctor en Ciències Ambientals.

Anna Menció i Domingo.

Josep Mas-Pla.

Bellaterra, novembre de 2005.

C'est une triste chose de penser que la nature parle
et que le genre humain n'écoute pas.

Victor Hugo. *Carnets, albums, journaux.*

Agraiments.

Agraïments.

És en aquest apartat on em correspon agrair a totes aquelles persones i entitats que hagin fet possible la realització d'aquesta tesi doctoral, a través de la seva ajuda i col·laboració.

En primer lloc, vull donar les gràcies al Dr. Josep Mas Pla, director d'aquesta tesi, per acceptar-me dins el seu grup de treball, per la confiança que ha dipositat en mi, i pel seu entusiasme, ajut i interès, mostrats tant en l'elaboració d'aquest projecte com en la meva formació.

A continuació vull fer extensius els meus agraïments al Dr. Josep Trilla, així com als membres de la Unitat de Geodinàmica Externa i Hidrogeologia del Departament de Geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona, per haver-me permès formar part del seu grup de treball i haver recolzat aquest estudi amb els mitjans que disposa la Unitat. Concretament, destacar tant el suport rebut durant tot aquest temps, com la seva ajuda i participació en les tasques de camp i de laboratori, del Dr. Joan Bach, de la Dra. Ester Vilanova i de l'Albert Folch.

També vull agrair al Dr. Narcís Prat, a la Mireia Vila, i a en Cesc Murria del Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona, la seva ajuda i assessorament a l'hora de posar en funcionament la metodologia emprada per a determinar la qualitat ecològica dels rius, així com al Dr. Dani Boix i a en Jordi Sala de l'Institut d'Ecologia Aquàtica de la Universitat de Girona i també a en Lluís Sala del Consorci de la Costa Brava, els seus comentaris, correccions i recomanacions en l'esmentat capítol.

Agrair al Dr. David Saurí del Departament de Geografia de la Universitat Autònoma de Barcelona, i a la Dra. Anna Ribas del Departament de Geografia de la Universitat de Girona, el seu assessorament i ajuda en la implantació de metodologies de participació pública, i també a en David Vila i la Mònica Peso dels Consells Comarcals del Gironès i la Selva, la seva ajuda a l'hora de contactar amb totes les administracions locals que han participat en l'elaboració dels escenaris de futur.

Vull fer constar la meva gratitud a totes aquelles persones i administracions que han permès la recopilació de les dades necessàries per a l'elaboració d'aquesta tesi. En primer lloc, destacar les aportacions d'Enric Viñals, de Joan Carbó de Perforacions Sacot S.L., i també de la Dra. Montse Vehí del Departament de Geologia de la Universitat de Girona, en relació a les dades sobre captacions i sondejos de la depressió. En segon lloc, destacar les aportacions de Josep Descamps i Francesc Llenas de SOREA, d'Enric Picó de PRODAISA, de Lluís Sala del Consorci de la Costa Brava, de Xavier Ballell d'Aigües de Girona, Salt i Sarrià de Ter S.A., de Pere Lloveras d'Aqualia, de Rec Madral i de l'Agència Catalana de l'Aigua, en relació a les dades facilitades sobre els diversos abastaments d'aigua potable i la depuració d'aigües residuals d'aquesta zona. Destacar les aportacions dels DARP de la Selva i Gironès en relació a les dades de bestiar i conreus. I també, vull donar les gràcies a totes aquelles persones que m'han obert, amablement, les portes de casa seva i a totes aquelles persones que han col·laborat en l'elaboració de les entrevistes.

I finalment, vull agrair el suport, paciència i comprensió de la meva família i dels meus amics. Al meu germà Marc, li vull donar les gràcies per la seva ajuda en l'edició, impressió i disseny d'aquesta tesi. I a en Jordi, vull agrir-li el seu suport constant i la seva paciència i comprensió infinites, sobretot pels caps de setmana que no hem tingut i les vacances que no hem fet, aquelles que ens hem passat mostrejant les rieres de la depressió de la Selva. Sense la seva ajuda aquesta tesi no s'hauria elaborat mai.

Aquesta tesi ha estat finançada per un projecte CICYT dins el Programa Nacional de Recursos Hídricos (projecte REN2002-04288-c02-01). I també ha estat possible gràcies a la beca predoctoral FI de la Generalitat de Catalunya, a la Beca en Ciències Naturals del Patronat Francesc Eiximenis (2004), i als ajuts ACOM per a projectes de recerca d'àmbit comarcal de la Generalitat de Catalunya (ACOM2004 00068).

Resum.

Resum.

La finalitat d'aquesta tesi doctoral, *Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva*, ha estat assolir un coneixement exhaustiu de l'estat en què es troba l'aigua en aquesta conca hidrogeològica, a través de la integració de dades de tipus hidrogeològic, hidroquímic, biològic i social. El seu **objectiu** consisteix en obtenir un coneixement representatiu de l'estat de l'aigua i definir criteris que permetin elaborar estratègies de gestió per a una futura planificació hidrològica.

En aquest sentit, el contingut de la tesi s'inicia amb l'estudi hidrogeològic de la depressió de la Selva amb la intenció de caracteritzar la hidrodinàmica general del sistema, identificar i avaluar els sistemes de flux i finalment, determinar la possibilitat, en quantitat i qualitat, de satisfer la demanda a partir dels recursos existents en les aigües subterrànies. Seguidament, s'ha realitzat un estudi de la qualitat ecològica dels cursos fluvials d'aquesta zona, identificant les pressions i els impactes que els afecten. Finalment, s'ha realitzat un exercici de participació pública per a definir diferents escenaris de futur en la gestió de l'aigua de la depressió, i per a identificar-ne les fortaleses i debilitats comparades amb la disponibilitat de recursos hídrics descrita en els apartats anteriors.

En l'estadi inicial de l'**estudi hidrogeològic** s'ha considerat els aspectes geològics de la depressió de la Selva, específicament els de caràcter estructural, i s'ha realitzat un inventari de punts com a base per a una cartografia piezomètrica. Aquestes tasques han permès identificar les diferents unitats hidrogeològiques en base a la geologia local i a les relacions hidrodinàmiques entre elles.

En l'**anàlisi dels nivells piezomètrics**, s'ha constatat, en relació als *nivells aquífers superficials* (que inclouen els aquífers al·luvials, els nivells més superficials dels sediments neògens de la depressió i els nivells de sauló dels materials que envolten la depressió, tots ells connectats hidràulicament), que:

1. el nivell freàtic és coherent amb la topografia de la zona i
2. en base a l'evolució dels nivells entre 2000 i 2003, hom pot distingir unes àrees hidrogeològicament productives, però amb una marcada influència de la precipitació (com és el cas de la majoria de pous que exploten els al·luvials, el sauló i alguns punts del Neogen) i d'altres en les que la seva limitada capacitat de recàrrega les fa sensibles a les extraccions no estacionals (com és el cas de pous que exploten els nivells més superficials del neogen en els turons de la depressió). En ambdós casos, es constata que els nivells aquífers superficials presenten limitacions en la seva explotació continuada.

Un dels aspectes fonamentals relacionats amb els aquífers superficials és la relació riu-aquífer. En aquest sentit, s'ha pogut observar que, a la riera de Sta. Coloma, les diferències de comportament (influent/efluent) entre les campanyes realitzades a l'època humida i la seca són mínimes. Aquest fet s'atribueix a dos factors: 1) a les aportacions que podria rebre l'aquífer al·luvial d'aquesta riera a través de la falla de Sta. Coloma o dels nivells aquífers adjacents, i/o 2) a les aportacions antròpiques que rep la riera durant els mesos d'estiu.

La relació riu-aquífer a la conca del riu Onyar presenta un comportament més complex. Així, les variacions significatives del nivell freàtic observades als mesos d'estiu donen lloc a l'assecam del tram mig del riu. Per exemple, el nivell freàtic al mes de juliol de 2003 es situà a profunditats de 4-12 m respecte la superfície del sòl, en tant que a maig de 2004 se situava entre els 0-4 m. En el cas d'estius molt secs com el del 2003, el riu s'asseca des de poc després de la depuradora de Vilobí d'Onyar fins a l'alçada de Riudellots de la Selva, condicionant el cabal superficial generat per l'esgotament de la conca i, amb ell, la qualitat biològica de l'aigua al impedir que es produeixi la dilució dels abocaments procedents de les EDAR.

En els pous que exploten els *nivells aquífers profunds* de la depressió de la Selva s'han observat variacions significatives del nivell hidràulic, revelant la influència tant de la meteorologia com del règim d'extraccions i, més important, distints processos de recàrrega. Al comparar la piezometria d'aquests nivells amb el nivell freàtic de pous superficials propers s'han pogut constatar els següents comportaments diferenciats com:

1. aquells punts on el nivell piezomètric dels pous profunds es troba aproximadament al mateix nivell que el nivell freàtic dels pous superficials;
2. punts on el nivell piezomètric es troba per sota del nivell freàtic;
3. punts on el nivell piezomètric es troba per sobre del nivell freàtic; i finalment,
4. punts on durant l'època seca el nivell piezomètric dels pous profunds se situarien per sota del nivell freàtic i durant l'època humida es recuperarien i fins i tot podrien situar-se per sobre d'aquest nivell.

La diferència entre els nivells piezomètrics i els nivells freàtics indica doncs el parcial confinament dels nivells neògens per nivells intermedis de sediments més fins, de caràcter aquífer i localment aquíclode. Aquestes relacions indiquen la rellevància que la recàrrega procedent dels nivells més profunds de la depressió té en l'evolució piezomètrica dels aquífers neògens profunds, en particular, l'originada des del seu basament granític i condicionada per la distribució de les fractures. Aquests nivells aquífers més profunds poden presentar comportaments netament diferenciats dels aquífers superficials i evidencien la importància de la recàrrega de nivell regional.

En l'**anàlisi hidroquímica** de les aigües subterrànies s'han distingit diverses fàcies hidroquímiques que, conjuntament l'**estudi isotòpic** (isòtops estables: oxigen 18 i deuteri; isòtops radioactius: triti), s'han pogut relacionar amb sistemes de flux diferenciats. Concretament, a les captacions que exploten els nivells aquífers del Neogen, del Neogen més granitoids, i els granitoids i roques metamòrfiques del marge de la depressió s'han distingit les següents fàcies:

- 1) Aigües Na-HCO₃ i Ca-Na-HCO₃ en pous propers a les zones de fractures principals de la depressió. Aquests punts presenten les composicions més lleugeres d'¹⁸O i ²H, així com les concentracions més baixes en triti (≤ 3UT), corroborant així, l'existència de fluxos de caire regional, procedents de zones de recàrrega elevades, corresponents als cims més alts de les Guilleries i a la Serralada Transversal.
- 2) A la zona de la cubeta de Vidreres, la major part dels punts que exploten tant els nivells més superficials com els més profunds del Neogen i dels granitoids que l'envolten, presenten sodi a la seva composició hidroquímica, resultant en una fàcies Ca-Na-HCO₃, atribuïble a la influència

litològica. Són els punts on s'observen les composicions isotòpiques més pesades, pel que respecta a la dotació en ^{18}O i ^2H , i concentracions variables de triti entre 1,8 i 6 UT. Aquestes baixes concentracions de triti indiquen temps de residència llargs, d'altra banda, la dotació tant pesada en ^{18}O i ^2H indica que en aquests punts la recàrrega es produeix en cotes molt baixes, segurament a la zona de la Selva marítima, i per tant, malgrat la semblança hidroquímica, no sembla que hi pugui haver una relació directa entre aquestes mostres i les del grup anterior.

- 3) D'altra banda, la major part de punts que exploten els materials neògens de la depressió presenten una fàcies Ca-HCO_3 , una dotació en ^{18}O i ^2H intermèdia i les concentracions de triti més variables (entre 1,9 i 10,7 UT). Aquestes dades suggereixen una recàrrega influenciada per fluxos de caire més local, els quals procedeixen, concretament, de les Gavarres o les serres més baixes de les Guilleries. La variabilitat en els valors de triti suggereix velocitats de transit distintes en la recàrrega dels diversos nivells aquífers explotats. Amb tot, s'entén que, en alguns punts, la recàrrega podria estar influenciada per fluxos de caire més regional essent indicadors de processos de mescla.
- 4) Algunes de les mostres que exploten els granitoids, així com el Neogen profund, presenten una fàcies $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$. En aquests punts s'han observat dotacions isotòpiques més lleugeres que els punts amb fàcies Ca-HCO_3 i, en general, concentracions més baixes de triti, indicant la mescla d'aigües procedents de fluxos de caire regional, amb aigües més recents, de caire local.

Pel que respecta als aquífers superficials, les aigües de l'al·luvial del riu Onyar evolucionen de Ca-HCO_3 a $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$, en el sentit del flux i, a la riera de Sta. Coloma, les aigües canvien de Ca-HCO_3 a Ca-Na-HCO_3 . Aquest canvi de fàcies hidroquímica es pot atribuir als abocaments de les depuradores principals de la zona, i a més, en el cas de la riera de Sta. Coloma, a l'entrada d'aigües procedents de les fractures dels marges de la depressió, o als abocaments d'aigües termals de Sta. Coloma i Caldes de Malavella. No es disposa de dades sobre la dotació de ^{18}O i ^2H en aquests punts, però sí del contingut en triti, podent-se així observar que en ambdós casos la concentració de triti augmenta en la direcció del flux, i que al presentar valors entre els 3 i 7,5 UT, no es pot establir amb precisió quan s'ha produït la recàrrega, tot i que sembla recent (posterior al 1995).

En relació a la **qualitat fisicoquímica** de les aigües subterrànies s'han observat diverses problemàtiques que en poden limitar l'ús. D'una banda, s'ha detectat la presència de Fe i Mn en concentracions que superen els valors paramètrics de 0,2 i 0,05 mg/l (respectivament), que estableix el Reial Decret 140/2003. Els punts on se superen aquests valors estan situats a l'al·luvial profund de la Riera de Sta. Coloma, així com en alguns dels seus afluents, i també en pous que exploten els granitoids i el sòcol de la depressió. També s'ha detectat la presència de fluorurs en pous que en la major part dels casos assoleixen el sòcol de la depressió, o bé que estan situats en zones properes de les fractures principals de la zona. Les elevades concentracions de fluorurs van lligades a baixes concentracions de calci i elevades concentracions de sodi, causades per l'efecte del ió comú i per l'intercanvi catiònic amb les argiles.

Si bé els dos casos anteriors són problemes de qualitat d'origen natural, també s'han identificat problemes de contaminació d'origen antròpic com la presència de nitrats en les aigües subterrànies en concentracions superiors al valor paramètric que determina el Reial Decret 140/2003. En aquest sentit, les zones on s'han observat pous amb concentracions més elevades també coincideixen amb els municipis on hi ha una producció més important de nitrogen procedent de la ramaderia en relació

a la superfície de conreu on s'hi pot aplicar. Aquestes zones es concentren a la Conca del riu Onyar, entre Cassà de la Selva, Campllong, Riudellots de la Selva, Vilobí d'Onyar, Sant Andreu Salou i Caldes de Malavella. També cal destacar que les concentracions més elevades de nitrats en els nivells aquífers més profunds poden ser degudes, sobretot, a focus de contaminació puntuals atribuïbles a la influència dels cons de depressió creats per les captacions, o a la mala construcció i gestió dels pous.

Així, els resultats hidrogeològics, hidroquímics i isotòpics permeten *distingir dos sistemes de flux a la depressió de la Selva*. El primer d'ells, de *caràcter regional*, està relacionat amb fluxos profunds a nivell del substrat granític i intensament governat per la disposició de les fractures. Aquest sistema presenta temps de residència elevats, correspon a les fàcies hidroquímiques riques en sodi i clorurs i la seva zona de recàrrega s'ubicaria a les cotes més elevades de les Guilleries i de la serralada Transversal. Les diferències hidroquímiques observades entre les aigües subterrànies profundes corresponents al sector oest (conca de la riera de Sta. Coloma) i al sector nord de la depressió (conca de l'Onyar) podrien atribuir-se a la influència en la recàrrega de la depressió a cada un d'aquests massissos, respectivament.

El segon sistema, de *caràcter local*, s'originaria a la serralada de les Gavarres i al massís de la Selva marítima, amb un caràcter més superficial i amb menor temps de trànsit. La seva relació amb la recàrrega del rebliment Neogen també està relacionat amb les fractures que limiten la depressió, si bé sense assolir el nivell del sòcol granític. Aquest sistema de flux, local i menys profund, també pot manifestar-se als relleus de les Guilleries limítrofs amb la depressió, en els quals hi influiria el control exercit per les falles situades en el marge. Finalment, la recàrrega procedent de la precipitació incident a la depressió de la Selva afecta a les unitats hidrogeològiques més superficials, sense que s'hagi observat una infiltració eficient cap als nivells més profunds dels aquífers en materials neògens.

En conclusió, els recursos hídrics subterranis procedeixen d'una conca hidrogeològica més extensa que els límits hidrogràfics del riu Onyar i riera de Sta. Coloma, constituint un sistema hidrogeològic complex i, actualment, amb possibilitats d'abastar les necessitats actuals sense mostrar símptomes de sobreexplotació per descens continuat del nivell hidràulic.

En l'**estudi de l'estat ecològic** dels cursos fluvials de la depressió de la Selva s'han realitzat un total de sis campanyes en les que s'ha realitzat una anàlisi fisicoquímica de l'aigua i s'han aplicat l'índex IBMWP (Alba-Tecedor i Pujante, 2000) que permet determinar la qualitat biològica de l'aigua a través del mostreig de macroinvertebrats, i l'índex QBR (Munné et al., 1998) per determinar la qualitat del bosc de ribera i, finalment, l'índex ECOSTRIMED (Prat, et al., 2000a) el qual integra les dades de qualitat biològica de l'aigua i de qualitat del bosc de ribera per a determinar l'estat ecològic del tram estudiat.

Al comparar els **paràmetres fisicoquímics** principals amb la **qualitat biològica** de l'aigua obtinguda s'observen diverses situacions:

- D'una banda, els punts que presenten les millors qualitats fisicoquímiques són també els que presenten bones qualitats biològiques durant la major part de l'any, fins i tot durant els mesos d'estiu. Aquests punts són els que es troben situats a les capçaleres de rius que no reben aportacions d'aigües residuals prou importants per afectar a la seva qualitat biològica i els punts situats a la riera de Sta. Coloma, on gràcies a les aportacions d'aigües netes de l'ACA durant els mesos d'estiu, la qualitat biològica no baixa massa.

- Un altre és el grup de les estacions que són intermitents durant la campanya d'estiu, i que la major part de les quals presenten petits abocaments aigües amunt. En aquestes estacions s'ha observat que durant els mesos d'estiu la fàcies hidroquímica de l'aigua s'aproxima més a la de l'aquífer, suggerint així l'aïllament de les basses respecte del focus de contaminació. D'altra banda, sovint es detecta la disminució de la concentració d'oxigen dissolt produïda per l'efecte de l'acumulació de la matèria orgànica i l'acció dels organismes descomponedors. D'aquesta manera, si l'aïllament del focus de contaminació pot produir una millora en la qualitat biològica, la disminució en la concentració d'O₂ i la desaparició dels ambients reòfils no permeten identificar aquesta millora en el càlcul de l'índex IBMWP i, conseqüentment, en la major part d'aquests punts la qualitat biològica de l'aigua disminueix.
- A les estacions de mostreig situades després dels abocaments d'aigües residuals principals de la depressió s'hi han detectat qualitats fisicoquímiques dolentes, i pel que respecta a la qualitat biològica, hi ha els punts on aquesta estaria entre l'eutròfia i les aigües contaminades, i altres punts on fins i tot s'assolirien els nivells d'aigües molt contaminades o extremament contaminades en alguns dels mostresjos.

Així, s'ha pogut constatar que tant els petits abocaments d'aigües residuals que es produeixen ja des de les capçaleres de les rieres, com els abocaments de les EDAR principals de la depressió, donen lloc a impactes sobre la qualitat biològica de les aigües dels ecosistemes que les reben. En el cas dels punts que reben els abocaments de les EDAR principals, aquests impactes s'agreugen encara més durant els mesos d'estiu, en què es produeix una reducció del cabal de base, bé sigui de manera natural o induïda per l'extracció d'aigües subterrànies per al reg.

En la determinació de la **qualitat ecològica** dels cursos fluvials s'ha constatat que els punts que presenten millors qualitats són aquells situats prop de les capçaleres dels rius, on la degradació del bosc de ribera és moderada i la qualitat biològica de les aigües és bona. A mesura que els cursos s'endinsen a la plana, aquesta qualitat disminueix, atès que augmenta la degradació dels boscos i de la qualitat de les aigües, passant a valors mediocres en la determinació de la qualitat ecològica. Els punts que presenten les pitjors qualitats són aquells situats després d'alguns dels abocaments de les EDAR principals de la depressió, i on sovint la degradació dels boscos de ribera també hi és important.

Així, tant l'empitjorament de la qualitat biològica de l'aigua, com el de la qualitat dels boscos de ribera són els causants de les qualitats ecològiques mediocres, dolentes i pèssimes observades en la major part dels trams estudiats a la plana.

Finalment, en l'**exercici de participació pública** s'han realitzat un total de 41 entrevistes als diversos agents socials implicats en la gestió de l'aigua, per a definir possibles escenaris de futur en aquesta gestió i identificar tant possibles conflictes com les debilitats i les oportunitats de millora en la gestió de l'aigua actual.

A partir de la definició dels escenaris de futur, es pot observar que la major part d'enquestats consideren que les activitats que generen consums d'aigua més elevats s'incrementaran, augmentant per tant la demanda d'aigua. Alhora, la política en l'ús de l'aigua tendirà tant a incrementar l'oferta amb més recursos, com a millorar l'eficiència en l'ús i en la distribució. Aquesta situació pot donar lloc a la següent paradoxa: d'una banda, la millora en l'eficiència en l'ús de l'aigua, la reducció del consum per la conscienciació de la població, i la disminució de les pèrdues en les xarxes de subministrament poden conduir a una disminució del consum d'aigua per usuari; però de l'altra, si es produeix un augment de la urbanització, dels camps de golf, de l'agricultura de regadiu, dels usos industrials i

d'altres usos que produeixen consums elevats d'aigua, el resultat final del balanç esdevindrà un increment del consum total d'aigua.

En aquest sentit, si bé es considera que augmentaran tant l'oferta d'aigua com la seva qualitat en el medi, s'ha de tenir en compte que aquestes noves activitats comportaran noves pressions sobre el medi. Amb el nivell de gestió actual, aquestes noves activitats donaran lloc a un empitjorament tant en la quantitat i qualitat de l'aigua disponible, com en l'estat del medi; sumant-se als problemes existents en el subministrament d'aigua potable en alguns municipis i els impactes en rius i en aqüífers, descrits anteriorment.

En aquest exercici, també s'ha observat que, tot i que la major part dels agents socials estan realitzant diverses accions per millorar la pròpia gestió de l'aigua, existeixen disconformitats en la manera en què ho porten a terme des del punt de vista dels altres sectors. Aquestes desavinences apareixen bé sigui per manca d'informació, o bé perquè encara podrien incidir més en les millores de la seva pròpia gestió. No obstant, també existeixen acords en la forma en què s'hauria de portar a terme la gestió de l'aigua, en aspectes generals com:

- 1) en el cas de la disponibilitat d'aigua, tot i que es continua essent partidari de les accions més habituals fins a l'actualitat, com els transvasaments i la intensificació de l'explotació dels aqüífers per a solucionar els futurs problemes d'abastament, també es tenen molt en compte accions "més sostenibles", com la reutilització d'aigües regenerades, l'aprofitament de l'aigua de pluja, la utilització de l'aigua de la dessaladora de la Tordera i, fins i tot, es valora l'estalvi com una opció d'oferta d'aigua;
- 2) a més, la política de l'ACA aposta per millorar l'eficiència i la utilització de les aigües amb la qualitat adequada a cada ús com a punts bàsics per a la gestió futura de la oferta d'aigua (per exemple la utilització d'aigües regenerades i les aigües provinents de les dessaladores), i no a l'ampliació dels transvasaments o la intensificació de l'explotació dels aqüífers existents; i,
- 3) pel que respecta a la demanda i a la política en l'ús de l'aigua, s'observa que tots els entrevistats pensen que cal anar cap a una millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua, independentment de si també s'opta per un increment en l'oferta.

Les conclusions assolides en aquest estudi són, que prenent la definició de sostenibilitat que considera que l'ús sostenible dels recursos hídrics és aquell que, mesurat en un marc temporal de planificació, implica un nivell de pressió acceptable i protegeix els valors econòmics, socials i ambientals que en depenen (DEH, 2004), es pot avaluar els aspectes positius i negatius de la gestió portada a terme fins ara de la següent manera:

- D'una banda, es poden destacar aspectes positius d'aquesta gestió com el fet que, si bé l'explotació de les aigües subterrànies no s'ha plantejat mai a una escala superior a la municipal, els recursos dels nivells aqüífers més profunds permeten cobrir les necessitats dels usos actuals, sense afectar negativament el sistema. Altrament, el coneixement d'aquest sistema és limitat, i si bé es té informació de les zones de recàrrega i dels sistemes de flux, difícilment es podrà tenir un coneixement exhaustiu dels recursos totals disponibles.
- D'altra banda però, apareixen els aspectes més negatius relacionats amb la qualitat de l'aigua:
 - En primer lloc, hi ha els problemes de qualitat de tipus natural que presenten les aigües dels pous situats en els punts propers a les fractures principals de la depressió. Si bé els nivells aqüífers que exploten aquests pous són els que presenten millors recuperacions, les concentracions de fluorurs, i en alguns casos d'arsènic, poden suposar limitacions en l'ús de les seves aigües, i en aquest sentit, del total d'aigua disponible.

- I en segon lloc hi ha els problemes de qualitat d'origen antròpic, que evidencien mancances en la gestió de l'aigua. El fet que els aqüífers presentin problemes de contaminació per nitrats, que limiten i afecten la disponibilitat d'aigua d'alguns usos, com l'abastament de boca, i també els impactes detectats en els cursos fluvials causats per una sobreexplotació dels aqüífers al·luvials i l'abocament d'aigües residuals (tractades o no), suggereixen que la gestió portada fins a l'actualitat, en aquests aspectes no ha estat la més apropiada.

Així sí, tal i com s'ha destacat en l'exercici de participació pública, es preveu un creixent de l'ús del territori, del nombre d'habitants de la zona, i dels usos industrials, entre d'altres, caldrà plantejar-se alternatives de gestió de l'aigua, tant pel que respecta a l'abastament com en la depuració, atès que aquestes noves activitats suposaran noves pressions sobre un territori ja afectat pels usos actuals.

Abstract and conclusions.

Abstract.

The aim of this dissertation, entitled *Multidisciplinary analysis of water status at the Selva basin*, is to achieve an integral knowledge of the hydrological, ecological and social factors related to water resources occurrence, availability, and demand. The main objective consists in looking for a representative understanding of those factors that ends up by setting the basis of management strategies for future water planning in this area.

Its contents begins with a classical hydrogeological study of la Selva basin and surrounding areas, (which contains the Onyar and Santa Coloma river catchments) with the aim of characterizing its hydrodynamics, and evaluating the existing flow systems and their capability to supply present water demand. Next, a study of the ecological status of streams and the hydrochemical status of surface and ground water is presented. These data are intended to characterize the quality of the freshwater ecosystems as well as the pressures and impacts that affect them. Finally, an exercise on public participation with interviews with the main actors related to water management has been conducted to depict future scenarios of water needs, and how they could be fulfilled in a frame of sustainable exploitation of water resources.

The **hydrogeological study** considers, first of all, the geology of the Selva Basin emphasizing its tectonic structure as one of the main flow control elements. Geology and an exhaustive hydraulic head dataset point out the hydrodynamic relationships between the distinct hydrogeological units.

In particular, *shallow aquifer levels*, that include alluvial formation, the upper layers of the neogene sedimentary infilling of the basin, and the surficial wheatered granite shows,

- Water table distribution is consistent with topography,
- according to head data from 2000 to 2003, we distinguish productive wells that show a strong influence of rainfall rates on its recharge (mainly located in the alluvial units) compared to those ones less sensible to rainfall infiltration and, therefore, less productive than the first ones (specifically, we refer to wells exploiting the sand layers of the neogene sediments located on the top of the hills within the basin). In both cases, however, they show strong limitations to a continuous pumping.

One of the main concerns regarding shallow aquifers is its relationship with stream discharge. In this sense, a distinct behavior has been observed between both catchments. For instance, in the Santa Coloma river there are no seasonal variations in this relationship, which is attributed to the recharge flow coming from the fault zone, and/or to the contribution from the Ter river water transfer to the Barcelona area that is dumped into this river to maintain in-stream flow during the summer season.

In contrast, the stream-aquifer relationship shows a more complex behavior at the Onyar catchment. There, significant drawdown observed during the summer and related to intensive water extraction for irrigation results in the capture of the whole river discharge in the middle reaches of the Onyar river and its tributaries. In some areas, contributions for water treatment facilities allow some downflow discharge in the nearby reaches. Such flow, however, usually infiltrates into the aquifer within a short distance from the dumping point. In that way, the lack of a base flow from the aquifer and water contribution from water treatment plants control stream discharge and water quality.

Wells exploiting the *deepest levels* of the sedimentary infilling of the Selva basin present significant variations of hydraulic head, as an answer to rainfall events, extraction regime and, more importantly, to recharge processes. Comparing heads from wells located in shallow (water table) and deep aquifer levels, several behaviors are observed:

- Areas where hydraulic head in shallow and deep wells were similar during the study period (2000-04),
- Areas where head at the deepest wells is below head at the shallow (water table) aquifer,
- Areas where head at the deepest wells is above head at the shallow (water table) aquifer, and
- Areas where during the dry season deep wells head levels are below water table levels, and during the rainy season deep wells show a full recovery of its head, which occasionally may become higher than the water table.

Those behaviors suggest the leaky/confined nature of the deepest layers of the sedimentary unit resulting from the fine sediment strata that act as aquitard or aquiclude depending on their geographical location and the sedimentary sequence. Such behavior reveals the relevance of upward vertical flows originated from the basin basement and controlled by the fracture network, defining the occurrence of regional flow systems that recharge the deepest hydrogeological units of this system.

Several hydrochemical facies have been distinguished using the ground water hydrochemical dataset. These data, jointly with water isotopes (oxygen-18, deuterium, and tritium) allow a better characterization of the flow systems. Observed facies and their meaning are the following:

- Na-HCO₃ and Ca-Na-HCO₃ facies are found in wells near the main fracture zones. They show the lightest stable isotope as well as the lowest tritium (≤ 3 TU) contents. These facies are related to regional flow systems, with large residence time, and with recharge areas located in the highest summits of the Guilleries and Transeversal ranges (indicatively, above 700 m a.s.l.). In particular, other wells located at the SE corner of the study area (Vidreres basin) also show sodium-rich facies (Ca-Na-HCO₃). Sodium occurrence is here attributed to the influence of local lithology, as their isotope contents is distinct of that of the regional flow systems. The assigned recharge area is then local, and limited to the Selva Marítima range.
- Most of the water from the neogene sediments of the Selva basin presents a Ca-HCO₃ facies, with a stable isotope contents heavier than in the previous group and with tritium varying between 1.9 and 10.7 TU. This indicates that those samples result mainly from local flow systems, sometimes with distinct contribution ratios and mixings from regional flow systems. These local flow systems have their recharge area in the lowest hills of the Guilleries and in the Gavarres ranges (indicatively, below 600 m a.s.l.). Nevertheless, variation in their tritium contents suggests different transit times in the recharge of the exploited aquifer systems.
- Finally, a distinct facies including chloride (Ca-HCO₃-Cl) has been found in some of the deepest wells in the basin. Those present a lighter stable isotope contents than those samples with Ca-HCO₃ facies and lower tritium concentrations as well. The occurrence of chloride is attributed to

silicate weathering, and the isotopic content indicates a predominance of the regional flow systems with occasional participation of recent water.

In reference to shallow alluvial aquifers, water chemistry in the Onyar river evolves downflow from Ca-HCO₃ to Ca-HCO₃-Cl facies, caused by the contribution of treated and/or non-treated waste water dumped into the stream. In the Santa Coloma river, facies evolve from Ca-HCO₃ to Ca-Na-HCO₃. This occurrence of Na is possibly caused by the contribution of thermal waters which are dumped into the stream from bathing resorts and spa facilities.

Several natural hydrochemical features limit the use of ground water for human use. In particular, iron and manganese reach concentrations above their maximum safe levels of 0.2 and 0.05 mg/L, respectively (Real Decreto 140/2003). Wells with such high concentrations are located at the bottom layers of the alluvial aquifer at the Santa Coloma river, and some of its tributaries, as well as in some wells that exploit the granitic basement of the Selva basin. Fluoride excess is also a characteristic feature of these deep wells that are interestingly located near the main regional fractures, where high fluoride concentrations reach about five times the maximum safe level.

Furthermore, there are other sources of pollution from human origin. In this work, special attention has been paid to nitrate occurrence in ground water. In this area, high nitrate concentrations in aquifers usually appear at municipalities with the highest nitrate excess from cattle rising activities and intensive use of manure as fertilizer. Those areas are located in the Onyar river basin and it is also worth saying that high nitrate concentrations are also found in deep sedimentary layers which is attributed to the effect of the drawdown created by the cones of depression and to the deficient construction of wells too.

In summary, potentiometric, hydrochemical and isotopical data permit to depict two distinct flow systems at the Selva basin. The first one, is a *regional flow system* related to deep circulation within the granitic basement and governed by the main fractures. Recharge of the sedimentary infilling of the basin takes place through upward vertical flows, which takes long residence times, and shows hydrochemical facies rich in sodium and chloride. It recharges at the highest elevations of the Guillerries range and at the Transversal range as well (indicatively, at altitudes between 700 – 1100 m a.s.l.). Observed differences on the hydrochemical patterns between ground water in the Onyar and Santa Coloma catchments are attributed to the dominance of each range in the recharge process, respectively.

A second *local flow system* takes place at the Gavarres range and at the lowest hills of the Guillerries range (below 600 m a.s.l.). It shows a more superficial flow path and shorter residence times than the regional flow system. Flow towards the sedimentary infilling takes place through the fractures located at the boundaries of the basin; however, they rarely reach the granitic basement. Finally, rainfall infiltration only recharges the most surficial hydrogeological units; i.e., the upper layers of the Neogene sediments, surficial weathered granite layers, and the Quaternary alluvial formations.

Concluding, ground water resources at the Selva basin originate in a recharge area larger than the Onyar and Santa Coloma catchments; specially at its northern boundary, where deep flows from the Transversal range overpass the Ter river valley. Such flow systems allow an efficient recharge that fulfills present water consumption, without showing signs of overexploitation in the system.

The **ecological status** of the Selva basin streams has been checked for more than two years in six field surveys, which took into account surface water hydrochemistry, and the use of indicators such as IBMWP, based on macro-invertebrate occurrence, and QBR, that depicts the quality of the riparian

vegetation. These data are integrated in the indicator ECOSTRIMED that determines the ecological status of the river reach.

Comparing hydrochemical data with biological quality, several circumstances occur:

- First, those reaches that present a good hydrochemical quality and a good biological status all year long, including the summer season. They are mainly located at the highest parts of the basin without human pressure. Some reaches of the Santa Coloma river also show these high indicator values because of the contribution of surface water from the Ter river transfer.
- Other reaches show distinct status during the summer season; in special those with upstream waste water pouring. During the dry summer season, then, their hydrochemistry is closer to that of the alluvial aquifer ground water, suggesting a disconnection from pollution sources. Despite this, the lack of stream flow, and therefore of pool water renewal, produces a diminution of dissolved oxygen contents and the lost of riffles, which turns into lower biological quality indexes.
- Finally, those sampling points located after main treated waste water dumpings show extremely low indicator values. Their hydrochemical quality are deficient and their ecological status show signs of eutrophia and severe pollution.

In this way, indicators point out that small waste water dumpings that occur in the uppermost reaches of the drainage network as well as waste water contribution from the main water treatment facilities do affect the biological status of the streams in the basin. This affection is specially severe during summer months, when the reduction of the base flow discharge, naturally or induced by ground water pumping, does not permit an efficient dilution of polluting effluents.

The deficient state of the riparian vegetation also contributes to the low ecological index values found in the study area. Riparian vegetation only offers a good status in those locations at the upper reaches of the catchments, although some perturbations can already be noticed in some of them. As soon as those streams reach their middle course, riparian vegetation quickly worsens because of the substitution of autochthonous species by foreign species (mainly those of grown for timber or paper industries), and stream channel modification and adjustment.

Summarizing, the best ecological status are found on the uppermost stream reaches of both catchments, and the value of the indicators diminishes as riparian areas and water quality worsen downstream. Ground water exploitation, treated and non-treated waste water dumping and hydromorphological alterations of stream channels are the main impacts observed in the area.

The exercise on **public participation** consisted on 41 interviews to distinct social agents related to major water uses. In each interview, opinions on possible future scenarios were sought, as a means to identify opportunities, deficiencies and conflicts in water resources management.

In relation to future scenarios, most of the agents agree that activities which require large amounts of water will increase, raising therefore the total water demand. However, they also consider that water uses and distribution will improve, which implies a most efficient use of actual water resources. Nonetheless, this represents a paradox since despite water savings, the increase of water demand will represent a larger stress on the hydrological system.

These foreseen new activities will also imply more pressures upon the environment. They will be added to be present circumstances that have not received a full consideration in hydrologic planning and management yet. In particular, the natural occurrence of fluoride, arsenic, and other metals in

groundwater, as well as nitrate and other pollutants from human origin, jeopardize the present dependence on ground water resources in the Selva basin.

This exercise has also shown that some agents are already conducting different actions to improve water management in the area, although such procedures are considered not enough by other social agents. Sometimes, such disagreement is just based on the lack of information about each other's activities and/or responsibilities. Nevertheless, there are some general agreements on the way that water management should be addressed. In particular, regarding water availability, water transfer from the Ter river basin and a more intense ground water exploitation are still mentioned as suitable options to fulfill future water supply. Others, such as treated water reuse, rain storage, and sea-water desalination on the coastal area (Tordera basin) are also considered. Improving water use efficiency and saving procedures are also thought as necessary actions to be fully implemented. This coincides with the present Administration policy of water reuse and intensive treatment in contrast to water transfer alternatives.

Based on these data and knowledge, we shall question whether a sustainable management is now taking place in the study area and which the short-term prospects are. Based on the sustainability definition by DEH (2004), which states that a sustainable use of water resources is the one that, measured over a specified planning timeframe, allows acceptable levels of stress and protects dependent economic, social, and environmental values, the following consideration for the Selva basin can be postulated:

- Recharge efficiency of the sedimentary aquifers from upward vertical flows that belong to a regional flow system is a positive hydrologic feature of the Selva basin. In that way, such a characteristic allows a complete supply of present water consumption. However, there is a lack of knowledge about the aquifer capability by water administration boards that can endanger the completion of the river basin management plans by forcing aquifer overexploitation beyond its recover capability.
- Nonetheless, some negative hydrologic aspects related to water quality also arise from this analysis:
 - Some quality problems are related to natural elements existing in ground water. Such elements, namely fluoride, arsenic, iron and manganese, appear in distinct hydrologic environments and limit the use of water for urban uses and some industrial applications.
 - Other deficiencies are related to human activities such as high nitrate concentrations related to excess pig manure application as a fertilizer, or overexploitation of the shallow alluvial aquifer that impedes the occurrence of an appropriate base flow in streams. Moreover, dumping treated and non-treated waste water into the streams is an additional factor that reduces the ecological and hydrological status of the freshwater ecosystems.

These data show significant deficiencies in the water resources management at the Selva basin, which keeps it far from sustainability. Future development plans might increase the pressure of human needs on water resources, even though better efficiency on water use and distribution can be achieved. Therefore, alternative management strategies must be defined for these areas, especially on ground water exploitation and its quality to fulfill potential water demand and prevent further deterioration of the hydrological and ecological systems.

Conclusions.

The main scope of this dissertation is to achieve a complete knowledge of the “status of the water” in the Selva basin, in NE Catalonia, through the study of its water resources availability, its hydrochemical quality, and to check whether water management is conducted under sustainability principles. To attain these goals, this work presents a classical hydrogeological study of the area, an evaluation of the ecological status of freshwater ecosystems and, finally, an appraisal of future scenarios of water management and its associated uncertainties.

First of all, the hydrogeological study has determined the main hydrogeological units of the area and their hydrodynamic relationships, the main recharge areas, and the existing flow systems, in particular:

- Potentiometric data from the deepest aquifers and their evolution through the study period (2000-04) show distinct behaviors which indicate the occurrence of both local flow systems, originated in the nearby mountain ranges, and the regional flow systems, which recharge in more distant areas and feed the deepest layers of the sedimentary infilling of the Selva basin through basement fractures. Additionally, complete hydraulic head recovery during rainy seasons indicates an efficient recharge and a warranty for present exploitation rates.
- Hydrochemical data points out the occurrence of distinct hydrochemical facies that indicate different water flow paths within the basin. Moreover, they are also a sign of the upward vertical flow from the granitic basement.
- Finally, isotope data confirm those flow systems: both local and regional. These data determine their area of infiltration, being the local flow systems located in Gavarres and Selva Marítima ranges and in the lowest hills of the Guilleries range; and the regional flow systems in the highest mountains of Guilleries range and in the Transversal range. In both cases, fracture driven flow seems to be the main process of water circulation.

This study provides evidence for the relevance of the regional flow systems on the recharge of the deepest, confined layers of the basin, in contrast to the local systems which only supply a limited amount of recharge. Similarly, differences can be drawn between deep and shallow aquifer layers. As mentioned, deep layers present an efficient recharge which compensates for present water extraction, whereas water resources in shallow alluvial aquifers depend on seasonal rainfall and exploitation rates. According to the actual water withdrawal from shallow aquifers, their resources are insufficient and its exploitation influences base flow discharge in streams.

However, water from the deepest layers have shown low quality in some areas, namely:

- Some wells present fluoride concentrations above drinking standards for domestic use, according to Real Decreto 140/2003. Those wells are located in areas near the main fractures, providing further evidence of recharge from the basin basement.

- Other wells present high concentrations of iron and manganese. Some of them are located in the alluvial aquifer of the Santa Coloma river, and others in the crystalline rocks that surround the Selva basin. We attribute their occurrence to silicate weathering and/or ground water reduced conditions.
- Pollution derived from human activities has also been identified in the area. In particular, nitrate concentration is specially relevant in the shallow and deep aquifer layers in the Onyar river catchment, whereas it is not significant in the Santa Coloma river catchment.

In this sense, even though ground water recharge seems to satisfy present water extraction in the Selva basin, its low quality jeopardizes its use for human consumption as well as for some industrial applications.

The study of the ecological status of streams in the Selva basin also considers surface-ground water interaction and human impacts upon the riparian area. Firstly, potentiometric data from shallow aquifers and surface water chemistry point out that the significant drawdown caused by intensive ground water exploitation produces infiltration from streams, which become losing streams. Therefore, they usually present dry reaches during the summer season. This effect, which has been clearly observed around the Onyar and Gotarra rivers, has great impact on the chemical composition of surface waters and its biological quality, since the lack of a minimum base flow is not enough to dilute treated wastewater dumped into the streams. Such human contributions may become the sole water input to the stream during dry seasons.

In contrast, during the summer season, an improvement of physicochemical water quality is observed in temporary creeks affected by wastewater discharges. On the one hand, the flow interruption mitigates the effect of wastewater discharges downstream, with regards to chemical parameters such as sodium or chloride. On the other hand, if an input of organic matter is produced, a decrease on oxygen concentration in these ponds is detected, thus not allowing the presence of some macroinvertebrate families (plecoptera, trichoptera and some families of ephemeroptera) with high values in the biological indicator indexes. In this way, although an improvement of physicochemical water quality is observed during summer season in temporary creeks, the depletion of dissolved oxygen and the lost of riffles shows lower biological index values.

Some temporary creeks without physicochemical water affections have also been studied. In these cases, physicochemical and biological water quality is maintained throughout the year. During summer, a decrease on oxygen concentration is also detected, but biological water quality is maintained or improved.

Moreover, water contributions taken from the Ter river transfer system to the Barcelona area and poured into the Santa Coloma river mitigate the effect of intensive ground water extractions upon stream discharge. Therefore, the ecological status of surface water shows better indicators than those in the Onyar river.

Nevertheless, significant differences have also been identified between both catchments. In general, the best ecological status appears in those locations at the Santa Coloma river, where their taxonomic variability allows higher values of the water biological quality indexes. This better status at the Santa Coloma river becomes even more evident in summer. Furthermore most of the streams, in particular those of the Onyar catchment, show human impacts from the highest reaches of the drainage network, where most of the isolated housing areas are located and where non-treated waste water is poured into the streams.

In this sense, waste water treatment management goals look forward to providing appropriated water treatment facilities for these housing areas by 2015. Because of their location at the top of the hills, treated waste water will then be dumped into small creeks with insufficient water flow to achieve an adequate dilution of these water inputs. In spite of the treatment effort, it may not result in an improvement of the ecological status of those streams.

Riparian vegetation only offers a good status in those locations at the upper reaches of the catchment, although some perturbations can already be noticed in some of them. As soon as those streams reach their middle course, riparian vegetation quickly worsens because of the introduction of foreign species (mainly those of grown for timber or paper industries), stream channel modification and adjustment.

Summarizing, the best ecological status is found on the uppermost stream reaches of both catchments, and the value of the indicators diminishes as riparian areas and water quality worsen downstream. Ground water exploitation, treated and non-treated waste water dumping and hydromorphological alterations of stream channels are the main impacts observed in the area.

The last part of this dissertation deals with the interviews with the different social actors involved in water management or its use in the Selva basin. Those interviews show that the most demanding water-consuming activities will increase in this area in a near future, raising therefore the total water demand. However, the agents also consider that water uses and distribution will improve, which implies a most efficient use of actual water resources. Nonetheless, this represents a paradox since despite water savings, the increase of water demand will represent a larger stress on the hydrological system.

Actors' feelings are that the ecological status of streams and hydrological status of aquifers will improve, even though future growth may raise total water demand as well as the number and typology of pressures and impacts affecting water systems. Those forecasts, jointly with the provided hydrological and environmental data, are of great interest for defining the river basin management plans as defined in the European Water Framework Directive.

Another relevant contribution of these interviews is to confirm that most private water users are already applying strategies to achieve a sustainable water management. Nevertheless, those actions are considered insufficient by other users. Such a difference of opinions may turn into conflicts when topics as water use limitation is suggested, or implemented during dry periods, by water authorities.

Based on these data and knowledge, we shall question whether a sustainable management is now taking place in the study area and which the short-term prospects are. Based on the sustainability definition by DEH (2004), which states that a sustainable use of water resources is the one that, measured over a specified planning timeframe, allows acceptable levels of stress and protects dependent economic, social, and environmental values, the following consideration for the Selva basin can be postulated:

- Recharge efficiency of the sedimentary aquifers from upward vertical flows that belong to a regional flow system is a positive hydrologic feature of the Selva basin. In that way, such a characteristic allows a complete supply of present water consumption. However, there is a lack of knowledge about the aquifer capability by water administration boards that can endanger the completion of the river basin management plans by forcing aquifer overexploitation beyond its recover capability.
- Nonetheless, some negative hydrologic aspects related to water quality also arise from this analysis:

- Some quality problems are related to natural elements existing in ground water. Such elements, namely fluoride, arsenic, iron and manganese, appear in distinct hydrologic environments and limit the use of water for urban uses and some industrial applications.
- Other deficiencies are related to human activities such as high nitrate concentrations related to excess pig manure application as a fertilizer, or overexploitation of the shallow alluvial aquifer that impedes the occurrence of an appropriate base flow in streams. Moreover, dumping treated and non-treated waste water into the streams is an additional factor that reduces the ecological and hydrological status of the freshwater ecosystems.

These data show significant deficiencies in the water resources management at the Selva basin, which keeps it far from sustainability. Future development plans might increase the pressure of human needs on water resources, even though better efficiency on water use and distribution can be achieved. Therefore, alternative management strategies must be defined for these areas, especially on ground water exploitation and its quality to fulfill potential water demand and prevent further deterioration of the hydrological and ecological systems.

Índexs.

Índex.

1. Introducció	1
1.1. Introducció.....	3
1.2. Objectius.....	6
1.3. Metodologia.....	6
1.4. Zona d'estudi.....	7
1.4.1. Situació geogràfica.....	7
1.4.2. Context geològic i hidrogeològic.....	8
1.4.3. Climatologia.....	30
1.4.4. Xarxa hídrica.....	35
1.4.5. L'ús de l'aigua.....	36
2. Estudi hidrogeològic	47
2.1. Introducció.....	49
2.2. Antecedents.....	49
2.3. Metodologia.....	52
2.4. Anàlisi de les dades piezomètriques.....	53
2.4.1. Meteorologia durant les campanyes de camp.....	54
2.4.2. Piezometries dels nivells aquífers superficials.....	55
2.4.3. Piezometries dels nivells aquífers profunds.....	65
2.4.4. Conclusions de l'anàlisi de les dades piezomètriques.....	72
2.5. Anàlisi de les dades hidroquímiques.....	73
2.5.1. Caracterització de les diverses fàcies hidroquímiques.....	73
2.5.2. Reaccions geoquímiques.....	81
2.5.3. Qualitat de les aigües subterrànies.....	91
2.5.4. Conclusions de l'anàlisi de les dades hidroquímiques.....	101
2.6. Anàlisi de les dades isotòpiques.....	103
2.6.1. El contingut en isòtops estables.....	103
2.6.2. El contingut en triti.....	110
2.6.3. Conclusions de l'anàlisi de les dades isotòpiques.....	119
2.7. Síntesi.....	119
3. Estat ecològic dels cursos fluvials	125

3.1. Introducció.....	127
3.2. Antecedents.....	128
3.3. Característiques de la zona d'estudi.....	130
3.3.1. Activitats antròpiques.....	130
3.3.2. Meteorologia durant l'època d'estudi.....	131
3.4. Metodologia.....	132
3.4.1. Estacions de mostreig i campanyes realitzades.....	132
3.4.2. Paràmetres fisicoquímics.....	133
3.4.3. Indicadors biològics.....	134
3.5. Paràmetres fisicoquímics.....	135
3.5.1. Qualitat fisicoquímica de les aigües superficials.....	135
3.5.2. Elements majoritaris en les aigües superficials.....	142
3.6. Indicadors biològics.....	149
3.6.1. Qualitat biològica de les aigües superficials.....	149
3.6.2. Qualitat dels boscos de ribera.....	158
3.6.3. Determinació de la qualitat ecològica.....	162
3.7. Síntesi.....	165
4. Participació pública.....	167
4.1. Introducció.....	169
4.2. Objectius.....	170
4.3. Metodologia.....	170
4.4. Caracterització dels agents socials.....	172
4.5. Definició d'escenaris de futur.....	177
4.6. Diagnosi i identificació de possibles conflictes.....	187
4.7. Síntesi i conclusions.....	192
5. Conclusions.....	195
6. Bibliografia.....	201
7. Annexos.....	215
7.1. Annex de l'estudi hidrogeològic.....	217
7.2. Annex de la qualitat ecològica dels cursos fluvials.....	239
7.3. Annex de la participació pública.....	261

Índex de figures.

1. Introducció.

Figura 1.1: Situació geogràfica de la zona d'estudi (ICC, 2004).....	7
Figura 1.2: Situació general de la depressió de la Selva (modificat de Pallí et al., 1983a; ICC, 1997).....	8
Figura 1.3: Tall geològic al nord de la ciutat de Girona (Servei Geològic de Catalunya, 1986).....	10
Figura 1.4: Les unitats de relleu de la zona d'estudi (Modificat de Roqué i Pallí, 1998).....	11
Figura 1.5: Mapa de les diferents zones estudiades.....	17
Figura 1.6: Tall geològic des de Riudellots a Girona.....	19
Figura 1.7: Tall geològic de Riudellots a Cassà de la Selva (modificat de Vilanova, 2001).....	21
Figura 1.8: Tall geològic de la cubeta de Vidreres.....	25
Figura 1.9: Diagrames ombromètrics de les estacions meteorològiques de Osor, el Pasteral, l'Aeroport Girona-Costa Brava, Girona, Sta. Coloma i Lloret de Mar.....	32
Figura 1.10: Afluents del riu Onyar i de la riera de Sta. Coloma (Vehí et al., 1996).....	35
Figura 1.11: Variació del cabals mitjans mensuals entre 1959 i 1999 en l'estació d'aforament del riu Onyar a Girona.....	36
Figura 1.12: Efecte de les precipitacions en els cabals de les depuradores durant el període 2000-2003.....	43
Figura 1.13: L'ús de l'aigua a les conques del riu Onyar i la riera de Sta. Coloma (sense considerar Girona).....	44
Figura 1.14: Diagrama del flux de l'aigua a la conca del riu Onyar i la riera de Sta. Coloma (sense considerar l'àrea metropolitana de Girona).....	45

2. Estudi hidrogeològic.

Figura 2.1: Histograma de les profunditats dels pous oberts.....	54
Figura 2.2: Precipitacions enregistrades (en mm) a l'estació meteorològica de Sta. Coloma de Farners, Girona i Cassà de la Selva durant el període estudiat i campanyes piezomètriques.....	54
Figura 2.3: Piezometria agost 2002 (pous < 30 m).....	56
Figura 2.4: Situació dels pous superficials considerats en l'evolució del nivell freàtic per zones.....	57

Figura 2.5: Evolució dels nivells a la zona de Brunyola (dades en m.s.n.m).....	58
Figura 2.6: Grup1 dels pous situats al Neogen entre Vilobí d'Onyar i Riudellots de la Selva (dades en m.s.n.m).....	59
Figura 2.7: Evolució dels nivells de l'al·luvial a la plana de l'Onyar (dades en m.s.n.m).....	59
Figura 2.8: Piezometria desembre de 2003 (pous < 30 m).....	61
Figura 2.9: Potència de la zona no saturada a l'aqüífer al·luvial (juliol de 2003).....	63
Figura 2.10: Evolució del nivell freàtic de l'aqüífer al·luvial de la riera de Sta. Coloma.....	63
Figura 2.11: Comparació de la potència de la zona no saturada entre el juliol de 2003 i maig de 2004 a la plana al·luvial de l'Onyar.....	64
Figura 2.12: Piezometria maig 2004 (pous > 30 m).....	66
Figura 2.13: Relació dels pous profunds amb els superficials.....	68
Figura 2.14: Diagrames de Stiff de la campanya d'estiu de 2004 i ampliat amb altres campanyes.....	74
Figura 2.15: Diagrames de Stiff obtinguts a partir de les dades de l'IGME.....	75
Figura 2.16: Diagrama de Piper de les mostres dels al·luvials i de l'aqüífer volcànic (campanya 2004).....	76
Figura 2.17: Diagrama de Piper de les mostres dels aqüífers en materials del Neogen i dels granitoids (campanya 2004).....	78
Figura 2.18: Diagrames de caixa en funció de l'aqüífer i fàcies hidroquímica.....	80
Figura 2.19: Relació entre HCO_3^- i pH.....	82
Figura 2.20: Relació molar $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$	83
Figura 2.21: Productes d'alteració dels minerals primaris i seqüència d'alteració de les argiles (Brady, 1974).....	84
Figura 2.22: Relació Na/Cl respecte la conductivitat elèctrica.....	85
Figura 2.23: Relació Na/Cl. Fàcies hidroquímiques segons Taula 2.7.....	85
Figura 2.24: Relació entre $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ de les mostres de la zona d'estudi i les relacions típiques per les pissarres, calcàries i feldspats plagioclàsics.....	87
Figura 2.25: evolució de les mostres de la zona propera a la confluència de la Verneda amb la Gotarra.....	89
Figura 2.26: Relació Li^+/Cl^- a les mostres de les campanyes de maig i agost de 2003.....	90
Figura 2.27: Concentració de Fe (setembre de 2004).....	92
Figura 2.28: Concentració de fluorurs en els punts mostrejats a la campanya de setembre de 2004.....	95
Figura 2.29: Relació entre la concentració de fluorurs i el calci.....	96
Figura 2.30: Relació entre el calci i el sodi i el calci i els fluorurs.....	97
Figura 2.31: Concentració de nitrats en els pous que exploten els nivells aqüífers profunds de la depressió de la Selva.....	100
Figura 2.32: Composició isotòpica de les aigües subterrànies.....	107
Figura 2.33: Composició isotòpica de les mostres de la campanya de desembre de 2003...	108

Figura 2.34: Concentració de triti a la precipitació.....	112
Figura 2.35: Resultat de la desintegració del Triti de les precipitacions utilitzant les diferents funcions multianuals d'entrada del triti.....	112
Figura 2.36: Concentració de ^3H en funció de l'aquífer i fàcies hidroquímica.....	116
Figura 2.37: Comparació del resultat de la desintegració del triti en la precipitació i la concentració en triti en les aigües subterrànies en funció de l'aquífer i la campanya estudiada.....	116
Figura 2.38: $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ en funció del ^3H a la campanya de desembre de 2003.....	117

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

Figura 3.1: Situació dels diversos nuclis de població, dels abocaments d'aigües residuals, i dels punts de mostreig dels aquífers al·luvials i cursos fluvials.....	130
Figura 3.2: Precipitacions produïdes durant les diverses campanyes de camp.....	131
Figura 3.3: Diagrames de caixa dels paràmetres fisicoquímics en els punts de mostreig del riu Onyar.....	137
Figura 3.4: Abocament d'aigües residuals a la riera de la Resclosa (RO16).....	138
Figura 3.5: Diagrames de caixa dels paràmetres fisicoquímics en els punts de mostreig dels afluents del riu Onyar (riera Benaula, Verneda, de la Resclosa i Gotarra).....	139
Figura 3.6: Diagrames de caixa dels paràmetres fisicoquímics en els punts de mostreig de la riera de Sta. Coloma i els seus afluents.....	141
Figura 3.7: Diagrama de Piper de les campanyes del juliol de 2003 (e03) i de l'agost de 2004 (e04).....	143
Figura 3.8: Diagrama de Piper de les campanyes de juliol de 2003 (e03) i del gener de 2004 (h04).....	144
Figura 3.9: Diagrama de Piper de les mostres de l'aquífer al·luvial i de les aigües superficials de la riera de Sta. Coloma (hivern i estiu de 2004).....	145
Figura 3.10: Evolució de les característiques de les aigües dels afluents de la riera de Sta. Coloma, entre la primavera i l'estiu de 2004.....	147
Figura 3.11: Qualitat biològica de l'aigua al riu Onyar (aplicació de l'IBMWP).....	151
Figura 3.12: Qualitat biològica de l'aigua dels afluents del riu Onyar (aplicació de l'IBMWP)	152
Figura 3.13: Qualitat biològica a la conca de la riera de Sta. Coloma (IBMWP).....	157
Figura 3.14: Qualitat del bosc de ribera a la campanya d'estiu de 2004.....	159
Figura 3.15: Fotografia de la riera Gotarra en el punt RO15 a la primavera de 2004.....	160
Figura 3.16: Fotografia de la riera de Canadell (RSC4) i de la riera de l'Esparrà (RSC6)	161
Figura 3.17: Diagrames de caixa de les qualitats biològiques obtingudes en cadascun dels punts de mostreig al llarg de totes les campanyes realitzades.....	163
Figura 3.18: Qualitat ecològica dels cursos fluvials de la depressió de la Selva a través de l'ECOSTRIMED, a les campanyes d'hivern de 2004 i estiu de 2004.....	164

4. Participació pública.

Figura 4.1: El cicle de l'aigua a la depressió de la Selva i els diversos agents socials.....	175
---	-----

Índex de taules.

1. Introducció.

Taula 1.1: Precipitacions mitjanes mensuals de les diferents estacions de la depressió de la Selva.....	31
Taula 1.2: Temperatures mitjanes mensuals de les diferents estacions meteorològiques de la depressió de la Selva.....	31
Taula 1.3: Balanç hídric a la conca del riu Onyar.....	34
Taula 1.4: Volum d'aigua trimestral subministrat als diversos municipis per a consum de boca i industrial durant el 2003.....	37
Taula 1.5: Volum d'aigua subministrat d'algunes de les urbanitzacions de la depressió durant el 2003.....	38
Taula 1.6: Consum d'aigua domèstica en l/hab i dia al 2003.....	39
Taula 1.7: Estimació del consum de l'agricultura i ramaderia a partir de les dades facilitades pels DARP de la Selva i del Gironès per l'any 2003.....	40
Taula 1.8: Volum d'aigua utilitzat per la indústria a través de fonts pròpies.....	41
Taula 1.9: Estacions depuradores principals de la zona d'estudi.....	42
Taula 1.10: Actuacions previstes en el PSARU-2005.....	42
Taula 1.11: Volums mensuals tractats per les diferents depuradores de la zona.....	43

2. Estudi hidrogeològic.

Taula 2.1: Nombre de mesures piezomètriques en cada campanya.....	53
Taula 2.2: Valors dels nivells en els punts on el nivell piezomètric en el Neogen sedimentari es troba per sota del nivell freàtic.....	69
Taula 2.3: Valors dels nivells en els punts on el nivell piezomètric en el volcànic es troba per sota del nivell freàtic.....	69
Taula 2.4: Punts on els nivells hidràulics són superiors als nivells freàtics.....	70
Taula 2.5: Punts on la diferència del nivell hidràulic i freàtic és diferent en funció de l'època de l'any.....	71
Taula 2.6: Anàlitzes realitzades per aquífer.....	73
Taula 2.7: Grups hidroquímics establerts a partir dels diagrames de Stiff i Piper en els materials silicatats.....	79
Taula 2.8: Paràmetres principals dels pous situats prop de la confluència de la Verneda amb la riera Gotarra.....	89

Taula 2.9: Coeficients de correlació de Pearson entre els diversos elements majoritaris, el F i el SiO ₂	95
Taula 2.10: Estimació del N generat per la ramaderia, N extret pels cultius herbacis i excés de N.....	98
Taula 2.11: Volum d'aigua i tones de Nitrogen Kjeldahl Total (NKT) abocats per les depuradores principals de la depressió de la Selva.....	99
Taula 2.12: Nombre de pous dels que se'n disposa de dades isotòpiques.....	103
Taula 2.13: Rectes meteòriques locals (Vilanova, 2004).....	104
Taula 2.14: valors de $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ (en ‰ SMOW) en les aigües subterrànies obtinguts en les diverses campanyes realitzades.....	105
Taula 2.15: Característiques de les mostres d'aigua en funció del grup d'isòtops estables al que pertanyen.....	109
Taula 2.16: Resultats de la desintegració utilitzant les funcions multianuals d'entrada del triti.....	113
Taula 2.17: Concentració de triti en les aigües subterrànies.....	114
3. Estat ecològic dels cursos fluvials.	
Taula 3.1: Punts de mostreig de les aigües superficials.....	132
Taula 3.2: Determinació de l'ECOSTRIMED.....	134
Taula 3.3: Nivells de qualitat de l'IBMWP.....	134
Taula 3.4: Nivells de classificació del QBR.....	135
4. Participació pública.	
Taula 4.1: Agents implicats en la gestió de l'aigua a la depressió de la Selva.....	173
Taula 4.2: Característiques principals dels agents socials implicats en la gestió de l'aigua.....	176
Taula 4.3: Taula resum de l'evolució esperada dels diversos usos del territori i els seus possibles efectes sobre l'aigua.....	192

1. Introducció

1. Introducció

1.1. INTRODUCCIÓ.

En un país de clima mediterrani, on l'escassetat física de l'aigua en limita els usos, s'ha portat a terme una gestió dirigida a cobrir una demanda sempre creixent amb noves ofertes d'aigua, normalment, a través de grans infraestructures. Aquesta gestió no ha tingut mai en compte les necessitats ambientals de les zones considerades com "excedentàries" i sovint tampoc ha satisfet plenament als usos existents en les zones que rebien les aigües, les zones "deficitàries" (Carrera, 2000; Prat, 2000).

Així, en els darrers anys s'ha posat de manifest, tant a nivell acadèmic com a nivell social, la necessitat de modificar el marc en què s'havia portat a terme la gestió de l'aigua. A nivell de l'Estat Espanyol, el punt àlgid d'aquesta tendència ha estat la mobilització a les terres de l'Ebre per l'aplicació del Pla Hidrològic Nacional (Llei 10/2001, de 5 de juliol), el qual va generar una intensa discussió i un profund debat sobre els temes referents a l'aigua i a la seva gestió.

En aquest sentit, López-Camacho (1997), Llamas (2004), Estevan i Naredo (2004), entre d'altres, consideren que la mala gestió de l'aigua és el causant de molts més problemes de subministrament dels que l'escassetat física de l'aigua podria ocasionar. Molts dels problemes ambientals que ha generat la gestió de l'aigua fins a l'actualitat han estat causats per una manca de coneixement sobre el funcionament dels aqüífers, rius o llacs que s'explotaven, i també per no tenir en compte la disponibilitat d'aigua del territori en el moment de realitzar-ne el planejament. Les activitats que s'han portat a terme, doncs, s'han basat en la capacitat de solucionar les mancances d'aigua a través de la tecnologia, que permetia construir les grans infraestructures hidràuliques i portar l'aigua de zones cada vegada més llunyanes. Així, s'ha produït una multiplicació d'usos descontextualitzats i ineficients, paral·lelament a un increment de les pressions cada vegada més fortes sobre els recursos hídrics. En aquest sentit, l'explotació irracional de l'aigua a través de la gestió de la oferta ha donat lloc a diversos tipus i graus de impactes ambientals:

- S'han produït la sobreexplotació d'alguns aqüífers i impactes en la qualitat de les aigües subterrànies de diversa índole. Alguns exemples d'aquests problemes produïts a nivell de Catalunya, són els s'exposen a continuació:
 - En el cas de l'Alt Empordà, l'explotació dels aqüífers de la plana al·luvial de la Muga per a l'abastament de Roses, Castelló-Empuriabrava i Cadaqués va donar lloc a un procés d'intrusió marina, fent que al 1987 s'hagués d'abandonar l'ús d'aquests pous. Afortunadament, es va poder resoldre el problema de l'abastament a través d'altres fonts com les aportacions de la Muga, juntament amb les del canal Gros, i en aquests moments

ja s'han recuperat els nivells, la falca salina ha retrocedit i l'aigua de l'aqüífer presenta de nou una bona qualitat (Pla-Giribert i Mas-Pla, 1997; Baradad, 2004).

- Un altre exemple de sobreexplotació d'aqüífers, sobretot ocasionada per els usos industrials i d'abastament, és el que es va produir a la ciutat de Barcelona. Aquesta sobreexplotació també va donar lloc a un important descens dels nivells piezomètrics, conduint a la intrusió marina, i a la conseqüent pèrdua de qualitat. Degut a la crisi econòmica dels anys setanta i a la pressió urbanística, moltes de les empreses van tancar o es van desplaçar. A partir d'aquell moment es va produir una recuperació paulatina dels nivells freàtics, que ha conduït a un increment de les filtracions d'aigües subterrànies en edificis i infraestructures construïdes quan els nivells freàtics eren mínims (UPC et al., 1997; Vázquez-Suñé et al., 2003).
- Els problemes de la contaminació per nitrats en les aigües subterrànies, procedents de l'aplicació de purins i fertilitzants químics, afecten la major part de les zones agrícoles de Catalunya (Decrets 283/1998 i 476/2004, referents a les zones vulnerables en relació a la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries).
- Les aigües superficials també han patit nombrosos impactes, bé sigui per les derivacions i extraccions d'aigua realitzades a través d'una gran quantitat d'infraestructures hidràuliques o pels abocaments d'aigües residuals. En aquest segon cas, tot i que les aigües abocades estan tractades, sovint no s'han aplicat les mesures de gestió necessàries que permetin la recuperació adequada dels rius que les reben, atès que la seva dilució no és suficient (Puig et al., 1991; Hamdy et al., 1995; Coimbra et al., 1996; Prat i Munné, 2000; Prat et al, 2000a; Estevan i Naredo, 2004).

A més dels problemes ambientals, també cal tenir en compte els aspectes socials que comporta la gestió de l'aigua. Tal i com apunta Subirats (2004), l'estil que ha predominat en les polítiques ambientals a Espanya i també en les que es refereixen a la gestió de l'aigua, ha estat un estil regulatiu i opac. La progressiva incorporació d'elements mercantilitzadors i de perspectives vinculades a les grans obres hidràuliques, amb un protagonisme desconegut dels poders públics, regulant i condicionant els drets, ha anat restringint de mica en mica l'accés social als moments i instàncies de decisió. I és aquesta creixent opacitat i manca de transparència, juntament amb l'acomodació dels interessos més forts, que ha donat lloc a nombrosos conflictes a nivell social. Alguns exemples d'aquests conflictes a Catalunya són: el cas de la "guerra de l'aigua" a Barcelona, que va consistir en la insubmissió fiscal de diversos usuaris de l'àrea de Barcelona, per l'augment dels impostos que gravaven els recursos hídrics (Tello, 2000); la contaminació per nitrats de les aigües subterrànies en els municipis de l'Empordà, i sobretot, la contaminació per nitrats de molts pous utilitzats per a l'abastament municipal, va generar una sèrie de conflictes entre l'administració i els afectats i, recentment, el Tribunal de la Unió Europea ha proposat condemnar la Generalitat per aquest motiu; i també, l'oposició al Pla Hidrològic Nacional de 2001, que va despertar una intensa mobilització social i acadèmica fins a la seva derogació al 2004.

Davant aquests problemes ambientals i socials s'ha posat de manifest la necessitat d'una la gestió sostenible de l'aigua i que també tingui en compte les opinions dels diversos agents socials implicats. Així, tal i com apunten Estevan i Naredo (2004), la nova política de l'aigua s'haurà de construir necessàriament sobre el diàleg social i ciutadà, i tindrà que deixar definitivament enrere els acords del repartiment de l'aigua establerts a esquenes dels interessos majoritaris. En aquest sentit Subirats (2001) també destaca que només construint mecanismes democràtics que permetin decidir amb rapidesa i eficàcia, però també que permetin implicar realment a la ciutadania, escoltar les seves

opinions i tenir-les en compte en les decisions a prendre, serà possible mantenir la vitalitat d'unes institucions democràtiques que s'han anat convertint en material sensible.

Aquestes noves tendències queden reflectides en la Directiva Marc de l'Aigua (Directiva 2000/60/CE; DMA), que fa un pas endavant respecte a totes els normatives anteriors referents a la gestió de l'aigua, al promoure el seu ús sostenible, dins un marc legislatiu coherent, efectiu i transparent: és coherent al contemplar el cicle integral de l'aigua, amb totes les seves implicacions dinàmiques i ecològiques; és efectiu atès que obliga a redactar plans de gestió, revisables periòdicament, i obliga a l'usuari a sufragar el cost de l'ús de l'aigua; i és transparent al basar l'èxit de la normativa en la implicació directa de les institucions, especialment les més properes a les situacions d'ús i degradació i fomentar la publicació de plans de gestió i la consulta i participació pública en la seva redacció (Mas-Pla, in press)

La depressió de la Selva és una zona que està experimentant un augment de l'activitat industrial i del desenvolupament urbanístic, juntament amb una intensa activitat agrícola i ramadera. En aquesta zona la gestió que s'ha portat a terme ha estat sempre encaminada a subministrar l'aigua necessària a les demandes creixents. L'augment de la població i del consum per càpita, la instal·lació de noves indústries, l'agricultura intensiva i l'aparició dels camps de golf, associats a noves urbanitzacions, han contribuït a un increment molt important de la demanda d'aigua. Per suplir aquests requeriments, inicialment s'ha explotat les rieres, els aqüífers superficials i, quan ha deixat de ser rendible, s'ha explotat els nivells aqüífers més profunds. En aquests moments, alguns dels municipis ja estan utilitzant aigües del transvasament del Pasteral cap a la Costa Brava Centre atès que les captacions municipals no els donaven prou aigua, o bé perquè han començat a detectar problemes de qualitat tant d'origen natural com antròpic en les aigües subterrànies. I finalment, també hi ha municipis en els que s'estan esperant noves solucions als problemes de qualitat que presenten les captacions que utilitzen en l'actualitat, atès que aquest transvasament no pot solucionar els seus problemes de subministrament.

Si bé aquesta zona ja havia estat objecte de diversos estudis hidrogeològics, la major part d'aquests són parcials i no aporten la informació necessària per a caracteritzar adequadament les masses d'aigua d'aquesta zona, o bé no identifiquen les pressions i impactes a les que estan sotmeses en l'actualitat. Així, amb anterioritat a tractar temes de gestió o planificació, s'imposa l'estudi de la dinàmica hidrogeològica que governa la recàrrega dels aqüífers exposats.

En aquest context i paral·lelament a l'aplicació de la DMA, s'ha portat a terme aquesta anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva. Malgrat que els objectius són diferents als de la Directiva, les dades que s'aporten en aquesta tesi poden ser útils per a l'elaboració dels plans hidrològics de conca, atès que s'ha estudiat el funcionament tant de les aigües superficials, com subterrànies i el seu estat, i a partir d'entrevistes realitzades als diversos agents socials implicats en la gestió de l'aigua s'han desenvolupat escenaris de futur de la zona d'estudi i s'han identificat els possibles conflictes entre aquests agents, així com les debilitats i oportunitats en la gestió actual de l'aigua.

1.2. OBJECTIUS.

La finalitat principal d'aquesta tesi és assolir un coneixement exhaustiu de l'estat en què es troba l'aigua a la depressió de la Selva, el qual integri dades tant fisicoquímiques i biològiques, com socials. Així, per assolir aquesta finalitat, s'han plantejat els objectius que es detallen a continuació:

- Realitzar un estudi hidrogeològic complet que porti la informació suficient sobre el funcionament de les aigües subterrànies. Concretament:
 - caracteritzar la hidrodinàmica general del sistema, identificant les zones de recàrrega dels diversos aqüífers, les trajectòries dels diferents sistemes de flux, les relacions hidràuliques entre els aqüífers i les característiques hidroquímiques del sistema;
 - identificar i avaluar els sistemes de flux, reconeixent-hi els temps de trànsit, les diferents trajectòries i mesclures i l'àmbit en què es produeixen;
 - identificar l'origen dels problemes de qualitat, bé siguin problemes d'origen natural o antròpic, dels nivells aqüífers més profunds de la depressió; i, finalment,
 - en un estudi inicial portat a terme a la conca del riu Onyar (Menció, 2002) també es va observar la importància que tenia la relació entre les aigües superficials i subterrànies en aquesta zona. En aquest sentit, l'últim objectiu de l'estudi hidrogeològic ha estat el de realitzar estudi que considerés de manera integrada el funcionament de les aigües superficials i subterrànies, com a un sistema únic, per així identificar les possibles relacions i els efectes en la qualitat ecològica dels rius de la zona d'estudi.
- Determinar la qualitat ecològica dels cursos fluvials de la depressió a través, no només de l'anàlisi dels paràmetres fisicoquímics principals, sinó també a partir de la utilització d'indicadors biològics per a avaluar de forma més precisa del seu estat.
- I finalment, l'últim objectiu d'aquest projecte ha estat identificar i definir els possibles escenaris de futur en la gestió de l'aigua a la depressió de la Selva i els possibles conflictes entre els diversos agents socials que intervenen en aquesta gestió, per així poder realitzar una avaluació integrada de l'estat de l'aigua a la depressió amb la finalitat de tenir en consideració, la major diversitat d'interessos socials, econòmics i polítics.

1.3. METODOLOGIA.

La metodologia emprada per assolir la finalitat d'aquesta anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva s'ha estructurat en els següents apartats:

- Un estudi hidrogeològic per a caracteritzar l'estat de les aigües subterrànies, la seva dinàmica i la seva relació amb les aigües superficials. Concretament, s'han portat a terme set campanyes en les que s'ha realitzat la piezometria de la zona, així com tres campanyes per a la realització de les anàlisis fisicoquímiques, i finalment, tres campanyes més per a la determinació del contingut isotòpic de les aigües subterrànies.
- Un estudi de l'estat ecològic dels ecosistemes fluvials de la zona. Concretament, s'han realitzat sis campanyes (entre el maig de 2003 i l'agost de 2004) en les que s'ha determinat l'estat ecològic dels cursos fluvials de la zona d'estudi a través de la utilització de l'índex ECOSTRIMED

(Prat, et al., 2000b), conjuntament amb la realització d'anàlisis fisicoquímiques de l'aigua en els punts mostrejats.

- La definició d'escenaris de futur i una anàlisi dels possibles conflictes entre els agents socials implicats en la gestió de les aigües de la depressió de la Selva. Concretament, s'ha realitzat un total de 41 entrevistes als diversos agents socials implicats en aquesta gestió.

Atesa la diversitat metodològica d'aquesta tesi, en cadascun dels apartats s'ha definit més detalladament la metodologia emprada.

1.4. ZONA D'ESTUDI.

1.4.1. Situació geogràfica.

La depressió de la Selva es troba situada al NE de Catalunya, a la part SE de les comarques gironines. Es tracta d'una fossa d'origen tectònic, que forma part de l'anomenada depressió Prelitoral Catalana, estenent-se des del NE de la fossa tectònica del Vallès, fins a l'extrem sud de la serralada Transversal. En aquest punt, aquesta depressió es troba envoltada per un conjunt de blocs més elevats com són: a l'oest, el massís de les Guilleries; al nord, la serralada Transversal; a l'est les Gavarres i, al sud, la serralada de la Selva Marítima i el llindar de Maçanet (Figura 1.1 i 1.2).

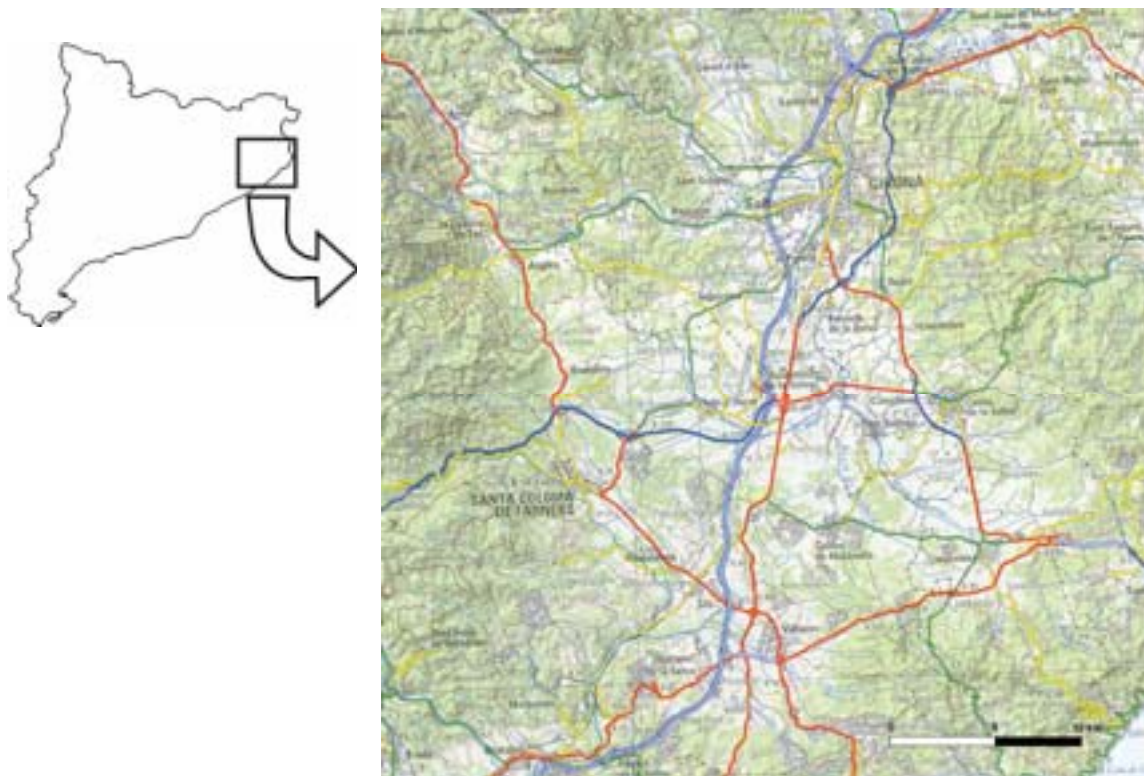


Figura 1.1: Situació geogràfica de la zona d'estudi (ICC, 2004).

1. Introducció.

Dins dels cursos fluvials principals que recorren a través de la depressió, destaquen el riu Onyar i la riera de Sta. Coloma (Figura 1.1). El riu Onyar és un afluent del riu Ter, que neix al massís de les Guilleries, i desemboca a l'alçada de Girona. La seva conca té una superfície d'uns 331.1 km², i ocupa la part central de la depressió. En canvi, la riera de Sta. Coloma és un dels afluents principals de la Tordera que, amb una conca d'uns 324.1 km², ocupa la part més meridional de la depressió.

A nivell administratiu, la depressió de la Selva es troba a cavall de dues comarques, el Gironès i la Selva. Dins els nuclis de població destaquen: Girona, Riudellots de la Selva, Llagostera i Cassà de la Selva (corresponents al Gironès) i Sta. Coloma de Farners, Maçanet de la Selva, Vidreres i Caldes de Malavella, pel que respecta a la Selva.

1.4.2. Context geològic i hidrogeològic.

Entorn morfoestructural.

Tal i com s'ha destacat en la situació geogràfica, la depressió de la Selva es troba envoltada per un conjunt de blocs més aixecats com són: el massís de les Guilleries, la serralada Transversal, les Gavarres, la serralada de la Selva Marítima i el llindar de Maçanet (Figura 1.2).

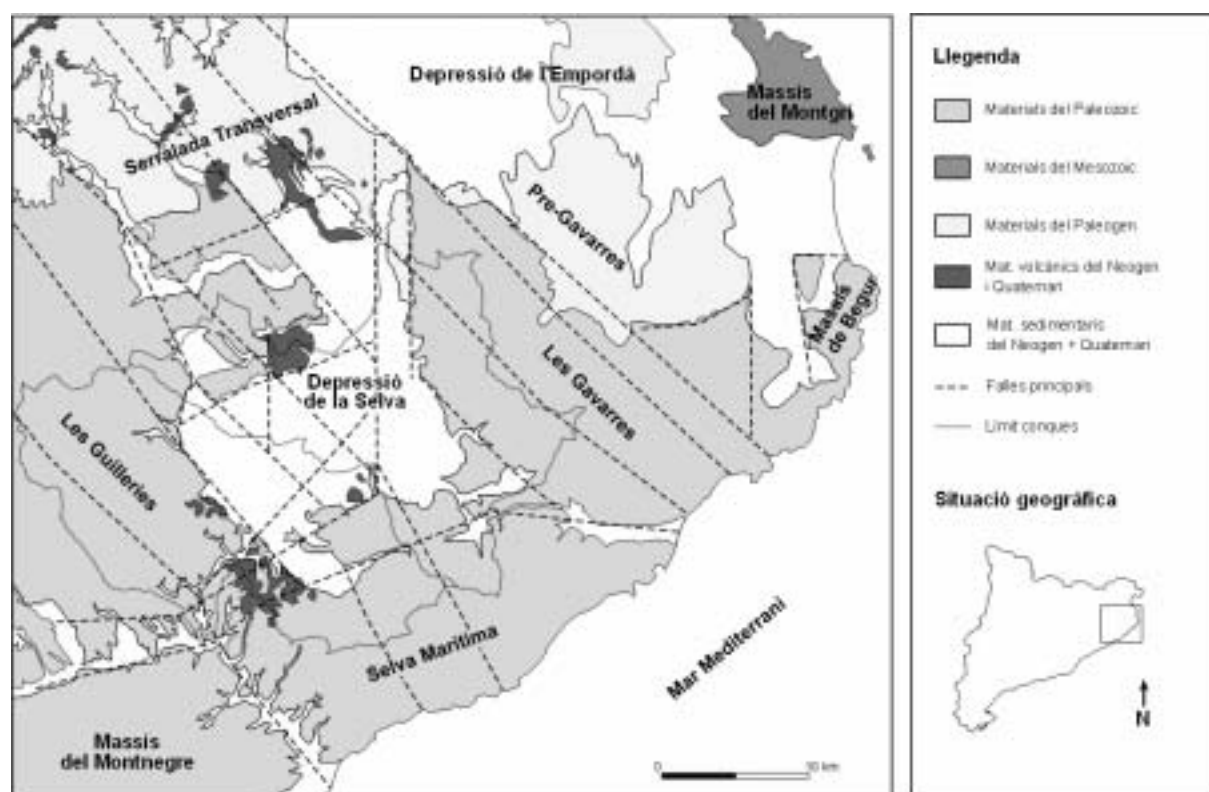


Figura 1.2: Situació general de la depressió de la Selva (modificat de Pallí et al., 1983a; ICC, 1997).

En aquest sentit, i des del punt de vista hidrogeològic, es considera necessari l'estudi de l'estructura d'aquestes unitats i, sobretot, de les fractures principals que les relacionen entre sí, atès que, a priori, els massissos són l'àrea principal de recàrrega de la depressió, i a través de les fractures poden donar-se sistemes de flux preferencial, que causin la recàrrega o descàrrega de l'aquífer Neogen més profund.

Les Guilleries.

Les Guilleries són la formació més septentrional de la serralada Prelitoral Catalana (Figura 1.2). Estan formades, bàsicament, per roques sedimentàries i metasedimentàries que afloren al NE del massís, i que es troben intruïdes per granitoids d'edat paleozoica, situats, principalment, al S i a l'O de la formació.

La deformació herciniana va afectar tots els materials paleozoics d'aquest massís, exceptuant els granitoids. El metamorfisme que s'hi va desenvolupar va ser de tipus regional i en algunes zones, s'hi va sobreposar el metamorfisme de contacte produït per la intrusió de les diorites (en els micaesquistos del Pasteral) i dels granitoids. El grau de metamorfisme no va ser igual per a tots els materials, de manera que, en funció d'aquest, apareixen successions d'estructures diferents. En les zones de metamorfisme d'alt grau apareix una esquistositat de crenulació evolucionada (el seu caràcter de crenulació és difícilment observable degut a una intensa recristal·lització), mentre que en les zones de baix grau metamòrfic, la foliació dominant és de tipus *slaty cleavage* (Duran, 1985; Reche, 1991).

Els materials sedimentaris i metasedimentaris també es van veure afectats per un conjunt de falles de direcció NE-SO i ENE-OSO produïdes al final de l'orogènia herciniana. Aquestes falles es caracteritzen per enfonsar sistemàticament el bloc nord d'aquesta unitat i posar en contacte de nord a sud: a) el Devonian amb l'Ordovicià Superior, b) l'Ordovicià Superior amb la part alta de la sèrie Cambro-Ordovicià i, c) la part alta i més profunda de la sèrie Cambro-Ordovicià (situant-se, així, els materials més antics al sud i els més moderns al nord; Duran, 1985).

Posteriorment, durant la fase distensiva de l'orogènia alpina, es van produir un nou conjunt de falles de direcció NO-SE que van dividir els materials paleozoics de les Guilleries en tres grans franges allargades. Aquestes falles es caracteritzen per presentar diversos plans de falla que es bifurquen i relleven, i provoquen l'enfonsament dels blocs situats al NE. El desplaçament horitzontal és de l'ordre d'uns 3 a 6 km, mentre que el vertical és de l'ordre d'uns centenars de metres. Les falles principals d'aquest grup són la de Sta. Coloma de Farners (que fa de límit entre les Guilleries i la depressió de la Selva) i la de la riera d'Arbúcies, que separa les Guilleries del Montseny (Donville, 1976; Duran, 1985).

A més de les falles anteriorment descrites, durant l'orogènia alpina també es va produir un nou conjunt de falles de direcció NE-SO. La principal, és la que dividiria longitudinalment la serralada Prelitoral, i serviria de límit NO de la depressió de la Selva. I una altra falla també important, és la que separaria les Guilleries del llindar de Maçanet i que també es prolongaria cap al sud separant la fossa del Vallès del massís del Montseny (Donville, 1976).

La serralada Transversal.

La serralada Transversal és un sistema de serres orientades de NO a SE, formades per roques sedimentàries detrítiques i carbonatades d'edat Paleògena (Pallí, 1972), discordants amb el sòcol paleozoic (Figura 1.2). El límit septentrional d'aquesta serralada és l'encavalcament de Vallfogona, que la separa dels materials del Prepirineu, els quals tenen una constitució semblant i la mateixa edat (Mató et al., 1996; Roqué, 1996).

Els sediments de la serralada Transversal també es van veure afectats durant l'orogènia alpina per el conjunt de falles de direcció NO-SE, com serien la continuació cap al nord de falla de Sta. Coloma, la falla d'Hostoles, la falla de Llorà, la d'Adri i la falla de Celrà. Aquesta última, conjuntament amb una

1. Introducció.

falla de direcció N-S (situada a l'oest de l'estany de Banyoles i també produïda durant l'orogènia alpina) suposaria el límit oriental de la serralada, separant-la de la depressió de l'Empordà (Donville, 1976; Pujadas et al. 1997).

El moviment d'aquestes falles suposa la presència de blocs més aixecats que d'altres i l'existència d'importants manifestacions volcàniques com serien les de la zona de la Garrotxa i de la vall del Llémena.

A la zona de Girona, els materials paleògens es van veure afectats per les falles verticals en direcció NO-SE. Aquestes falles van ser actives durant el Paleocè, donant lloc a moviments dexterals, i durant el Neogen van actuar com a falles normals. Els desplaçaments verticals en aquest punt són de l'ordre de 500 m, posant en contacte la Formació Pontils (a la base de la successió), amb la Formació Banyoles (Figura 1.3). Aquestes falles estan associades amb manifestacions volcàniques i hidrotermals (SGC, 1986).

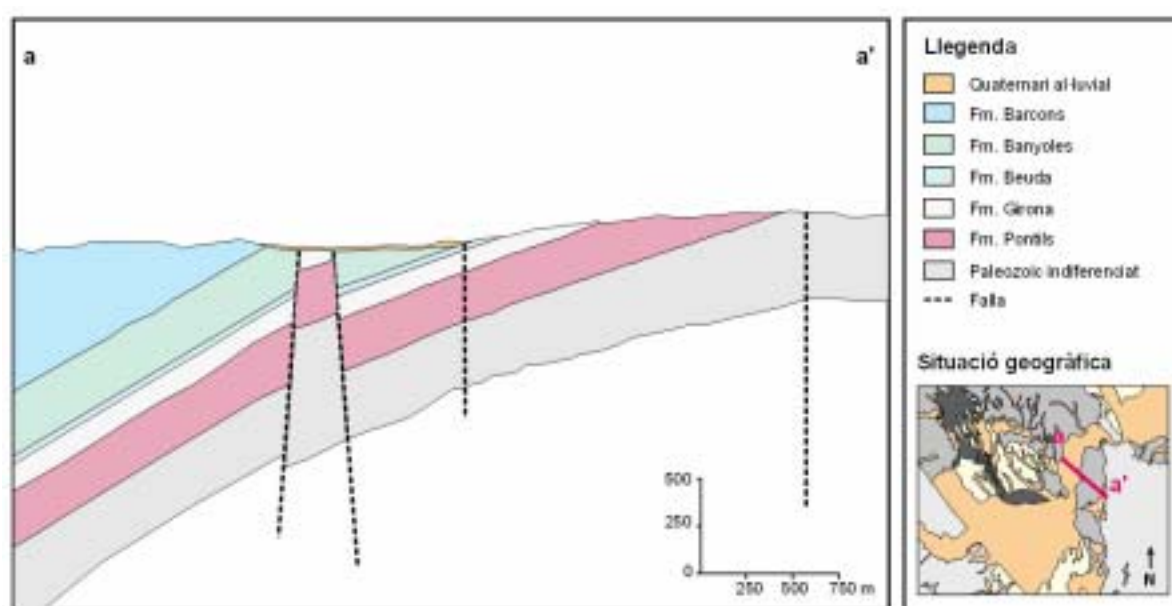


Figura 1.3: Tall geològic al nord de la ciutat de Girona (Servei Geològic de Catalunya, 1986).

La Selva Marítima i les Gavarres.

La Selva Marítima i les Gavarres (conjuntament amb el massís de Begur) són la part més septentrional de les serralada Litoral Catalana. Ambdós massissos, estan formats per materials d'edat paleozoica, bàsicament, roques sedimentàries i vulcanosedimentàries, plegades i metamorfitzades en grau variable per efecte de la tectònica herciniana, i roques plutòniques i filonians de composició diversa. De la mateixa manera que a les Guilleries, els materials paleozoics van veure's afectats pels plegaments i pels processos de metamorfisme de l'orogènia herciniana. Aquests processos van donar lloc a crenulacions, esquistositats i a les fractures que es van reactivar posteriorment durant l'orogènia alpina.

La fase distensiva de l'orogènia alpina, va donar lloc a falles d'orientació preferentment ENE-OSO, NE-SO, NO-SE i N-S. Aquestes falles són les que delimiten el massís de les Gavarres amb les depressions adjacents i el divideixen, gràcies a la falla de Palamós (de direcció NO-SE), en dos blocs

diferenciats: el bloc dels Àngels-Arques, i el bloc de Fitor, situat a l'est del primer (Figura 1.4; Roqué, 1993).

Pel que respecta a la serralada de la Selva Marítima, les falles de direcció NO-SE van dividir-la en tres blocs: el massís de l'Ardenya, el bloc de Puig Ventós (separat de l'anterior per la falla de la riera de Tossa) i el bloc de Montbarbat (diferenciat del bloc del Puig Ventós gràcies a la falla de Lloret de Mar). Aquestes falles també van permetre la separació de les Gavarres i la serra de l'Ardenya, a través de la Vall d'Aro i, el bloc de Montbarbat i el massís del Montnegre, a través de la falla de la Tordera (Figura 1.4; Roqué i Pallí, 1998; SGC, 1986).

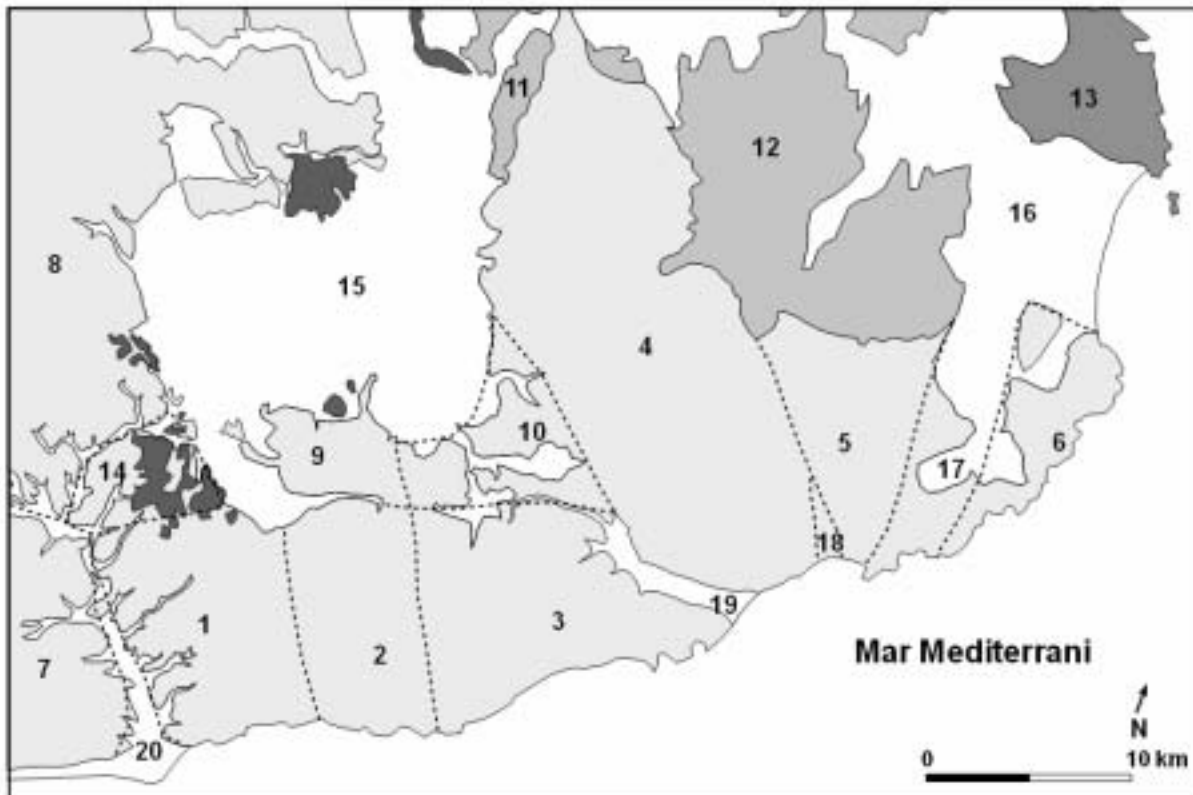


Figura 1.4: Les unitats de relleu de la zona d'estudi (modificat de Roqué i Pallí, 1998). 1: bloc de Montbarbat; 2: bloc de Puigventós; 3: massís de l'Ardenya; 4: bloc dels Àngels; 5: bloc de Fitor; 6: massís de Begur; 7: massís del Montnegre; 8: massís de les Guilleries; 9: glacis d'erosió de St. Maurici i Vidreres; 10: glacis de Llagostera; 11: bloc de Camós i vall de St. Daniel; 12: Pregavarres; 13: massís del Montgrí; 14: bloc de Maçanet; 15: depressió de la Selva; 16: depressió del Baix Empordà; 17: corredor de Palafrugell; 18: vall de Calonge; 19: vall d'Aro i 20: vall de la Tordera.

La serralada de la Selva Marítima també es va veure afectada per falles de direcció NE-SO, que van permetre la individualització de la depressió de la Selva i de l'anomenat Llindar de Maçanet, a través dels glacis d'erosió de Llagostera i de St. Maurici i Vidreres (Donville, 1976; Roqué, 1993; Roqué i Pallí, 1998; Vilanova, 2001 i 2004). Aquesta falla es prolonga cap al sud separant la fossa del Vallès del massís del Montnegre (Figura 1.4).

La depressió de la Selva

La depressió de la Selva es va originar, doncs, durant el Neogen, en la fase distensiva de l'orogènia alpina, i forma part del conjunt de fosses que separa la serralada Litoral de la Prelitoral. Aquesta fossa és d'edat més recent que la del Vallès, i es caracteritza per ser una unitat tancada i ben definida. Les falles que van donar lloc a aquesta depressió han estat ja descrites anteriorment: en primer lloc, hi ha les de direcció NE-SO, paral·leles a les falles principals de les fosses del Vallès-Penedès, i que la

1. Introducció.

separen de les Guilleries i de la serralada Transversal, a la banda N, i de la Selva Marítima, al sud; les de direcció NO-SE, podrien considerar-se com les més característiques de la depressió de la Selva i determinarien el seu límit oriental amb les Gavarres i l'occidental amb les Guilleries i el llinar de Maçanet; i, finalment, cal destacar un conjunt de falles de direcció N-S, que travessarien la depressió, des de Girona fins a Caldes de Malavella (Pallí et al., 1983a; Mas-Pla, 1986; Pous et al., 1990).

Totes aquestes fractures han donat lloc a un sòcol irregular, constituït, bàsicament, pels materials paleozoics dels Catalànides. Prop de Girona, aquest sòcol està format per materials paleògens, concretament, per les argiles i margues vermelles de la Fm. Pontils amb intercalacions de canals de conglomerats i les calcàries i margocalcàries amb Nummulits de la Fm. Girona (Pallí, 1972).

L'enfonsament originat al Neogen, va permetre el rebliment de la depressió amb els materials procedents de l'erosió dels massissos adjacents, i que, en la major part, es troben recoberts pels dipòsits al·luvials més recents. Les característiques d'aquests materials neògens depenen, fonamentalment, de la zona de procedència, i també de com es va produir la sedimentació. Així, cap a la zona de Palau Sacosta i Quart (al nord de la depressió), es troben, predominantment, materials argilosos (alguns dels quals d'origen lacustre), mentre que a la resta de la depressió també hi apareixen materials més grollers que tindrien un origen col·luvial (sorres arcòsiques i conglomerats amb còdols de composició granítica o metamòrfica i amb matriu sorrenca o argilosa, que es troben intercalats entre capes més argiloses). La potència d'aquests materials neògens depèn de la irregularitat i complexitat del fons de la depressió. Al marge occidental d'aquesta, apareix la cubeta de Sta. Coloma-Riudarenes, on s'hi poden arribar a acumular uns 300 m d'aquests materials. A la part central, hi ha una estructura enfonsada i, allargada de nord a sud, situada entre Fornells i Riudellots, on les potències sedimentàries arribarien a ser de l'ordre dels 175 m. Entre Vilobí i Riudarenes s'identifica un bloc més aixecat que separaria aquestes dues cubetes i on s'assolirien els 60 m de potència. En altres punts, també hi apareixen cubetes marginals, com seria el cas de les que es troben a Vidreres, Llagostera i Caldes de Malavella, on el sòcol es troba a més de 100 m de fondària. I finalment, entre aquestes estructures també existeixen llinars on el sòcol es troba gairebé a la superfície (Pous et al., 1990).

Entre els materials neògens que han reblert la fossa i el sòcol de la depressió s'ha generat un nivell de sauló, produït per l'alteració dels granitoids, que en alguns punts pot presentar gruixos molt importants (en general, varien d'entre els 5 i 45 m). A vegades, es fa difícil distingir entre els materials del Neogen i aquest sauló, atès que presenten una composició molt similar.

Els moviments distensius produïts durant l'orogènia alpina no només van originar els fenòmens de vulcanisme de la Garrotxa i de la vall del Llémena, sinó que també van originar els de la depressió, sobretot al seu límit meridional. Dins aquestes manifestacions cal destacar els volcans de l'Esparra, Riudarenes i Sils, els de Maçanet de la Selva i Vidreres i els de les rodalies de Caldes de Malavella (Donville, 1976; Pallí i Roqué, 1995).

Caracterització de les formacions geològiques.

A més de les estructures que poden condicionar el funcionament del sistema hidrogeològic de la zona d'estudi, també és important destacar les característiques mineralògiques principals dels materials que les formen, atès que condicionen la composició de l'aigua subterrània, i permeten determinar l'origen de possibles problemes de qualitat, a més de poder estudiar-ne els fluxos, més profundament, atès que la composició de l'aigua és un reflex de les roques a través de les quals ha fluït.

Materials ignis i metamòrfics del Paleozoic.

Dins aquest grup s'hi inclouen tant els materials ignis, com els metamòrfics, que formen part del sòcol de la depressió de la Selva i del sòcol de la serralada Transversal, així com dels massissos de les Gavarres, les Guilleries i la Selva Marítima.

Les roques plutòniques que afloren en aquests massissos són, principalment, granodiorites i leucogranits. Les granodiorites es caracteritzen per ser roques de color grisós, constituïdes per cristalls de mida mitjana a grossa. La seva composició mineralògica essencial és formada per quars, plagiòclasi (oligòclasi i andesina), feldspat potàssic (ortosa i microclina) i biotita. I entre els minerals accessoris i secundaris que s'hi poden trobar cal destacar els següents: clorita, apatita, zircó, moscovita, turmalina i hematites. Es poden distingir dues varietats de granodiorites, les porfíriques (que presenten una gran quantitat de megacristalls de feldspat potàssic), i les no porfíriques (Roqué i Pallí, 1998). Les granodiorites porfíriques afloren en una ampla faixa al nord de Cassà, als voltants de Romanyà i en petites taques a la serralada de la Selva Marítima. En canvi, les granodiorites no porfíriques afloren: a les Gavarres, entre Llambilles i Montnegre, i entre Cassà i Llagostera; al massís de les Guilleries apareixen al nord de St. Dalmai fins arribar a Brunyola, i als límits del municipi de Sta. Coloma, St. Hilari i Riudarenes; i a la Selva Marítima, apareixen al sud de Llagostera, Vidreres i Maçanet.

Els leucogranits s'emplacen posteriorment a les granodiorites, són de color rosat, i estan formats per cristalls de mida fina a grossa. Es componen de quars, feldspat potàssic, plagiòclasi (oligòclasi) i biotita. Com a minerals accessoris i secundaris presenten zircó, moscovita, apatita, magnetita, granats, clorita, fucsita, caolí i sericita. Es reconeixen tres tipus de leucogranits en funció de la mida del seu gra: els de gra gros a mitjà, que són els més abundants i afloren majoritàriament al terme municipal de Sta. Coloma de Farners, a l'est de Cassà de la Selva, i en molts indrets de la serralada de la Selva Marítima; els de gra mitjà a fi, afloren en una ampla faixa al nord de Cassà, a Santa Coloma de Farners, i en petites taques a l'entorn de Sils i Caldes i a la serra de l'Ardenya; i, els de gra fi afloren en petites zones cap a St. Mateu de Montnegre i Llambilles, i al sud de Llagostera (Ros, 1997; Roqué i Pallí, 1998; Vehí, 2001).

Les roques filonianes afloren en multitud de dics de composició molt diversa en tots els Massissos que envolten la depressió, encaixats tant en roques ígnies, com metamòrfiques.

Pel que respecta a les roques metamòrfiques a les Guilleries, la sèrie estratigràfica assoleix des del Caradoc (segurament del Cambrià i Ordovicià inferior), fins al Devonià. Aquesta successió no aflora de forma contínua sinó que ho fa en bandes allargades i paral·leles a la disposició general de les estructures. Aquests blocs es troben separats per falles de direcció ENE-OSO, que enfonsen sistemàticament el bloc N, de manera que els materials són més antics quan més al sud es troben. Duran (1985) distingeix quatre successions diferents:

- La successió del Cambrià-Ordovicià inferior, que està formada per tres unitats diferents: els esquistos i amfibolites d'Osor, que amb una potència de com a mínim 300 m, formen la unitat de materials més antics del massís de les Guilleries i afloren als marges del llarg de la riera d'Osor; els gneis de les Guilleries, que són d'origen volcànic, i amb una potència de 100 a 300 m, ocupen dues zones ben delimitades, la vall del Ter entre el Pasteral i Susqueda, i la serra de Sta. Bàrbara; i, els esquistos i marbres de Susqueda, que amb una potència d'un miler de metres, abracen tots els materials situats per sobre dels gneis i per sota de l'Ordovicià fòssilífer, i afloren extensament a les dues vessants de la Vall del Ter entre el Pasteral i Susqueda, a la muntanya de St. Gregori, i en una àmplia zona a l'est d'Anglès.

- Per sobre d'aquesta sèrie s'hi situa el conjunt volcànic-sedimentari de St. Martí Sacalm. És un conjunt de roques detrítiques, d'uns 300-400 m. de potència, que es troba constituït, majoritàriament, per grauvaques, tot i que també comprèn conglomerats, pissarres i quarsites. A la part baixa de la sèrie hi ha interestratificats, diversos nivells de roques volcàniques àcides. Per l'edat que es desprèn dels jaciments fòssils, i per la seva situació en la sèrie es pot concloure que la sèrie de St. Martí Sacalm abraça el Caradoc, i possiblement també part indererminada de l'Ordovicià inferior-mig. La sèrie de St. Martí Sacalm està formada per les següents unitats: les quarsites i quarsites micàcies que formen una franja prima d'una potència mitjana de 30-50 m en la que s'alternen capes de pissarra gris i de quarsita més o menys pura; els conglomerats, grauvaques, pissarres i roques volcàniques àcides, que és el conjunt més característic d'aquesta formació i aflora formant una ampla franja que travessa d'est a oest tot el sector nord de les Guilleries; i, les grauvaques massives, que es troben situades per sobre de la successió descrita anteriorment, i presenten escassament grans de feldspats, cosa que les distingeix del nivell associat a les roques volcàniques.
- Els materials silurians de Les Guilleries es troben en una àrea molt restringida, seguint una falla en direcció ENE-OSO que regionalment separa les roques de l'Ordovicià superior, d'un petit aflorament devonià que es troba prop del Pla de St. Joan (a St. Martí de Llémna). Els únics materials representats en aquesta sèrie són unes pissarres de gra molt fi, de color gris fosc o negre que per oxidació sovint adquireixen colors esblanqueïts. Degut a la seva poca extensió i situació, fa pensar que hagin estat injectats al llarg de la falla gràcies a la seva gran plasticitat, donant lloc a una sèrie d'afloraments aïllats i fraccionats de la sèrie silúrica.
- Finalment, la sèrie calcària de St. Martí de Llémna aflora a l'angle NE de la zona, al N de la falla citada anteriorment, per sota dels materials volcànics quaternaris del Puig de la Banya del Boc, i del Paleogen discordant. Aquesta sèrie té una potència superior als 80 o 100 m, i a grans trets, es poden distingir dos conjunts, un constituït per calcàries força massives amb crinoïdeus (d'uns 15 m de potència), i un altre constituït per calcàries amb tentaculites.

Al massís de les Gavarres, hi apareix novament la sèrie cambroordoviciana, però amb algunes diferències respecte a la de les Guilleries. Aquesta unitat està constituïda per pissarres i fil-lites amb alguns nivells calcaris, dolomítics i quarsítics intercalats, i s'ha dividit en tres conjunts: el nivell inferior anomenat conjunt carbonàtic de Begur, el conjunt mitjà o lutític dels Àngels i el conjunt superior o quarsític de St. Cebrià. Per damunt d'aquesta unitat es troba la unitat de l'Ordovicià Superior, que està compostat per conglomerats, esquists quarfeldspàtics i grauvàquics, porfiroïdes, llimolites cavernoses, marbres i pissarres. De base a sostre, s'hi pot diferenciar els conglomerats de St. Cebrià de Lledó, el conjunt vulcanodetrític de la Cavorca, les llimolites cavernoses de mas Calç i les pissarres gris-negroses del bloc de Fitor. Finalment, a la part alta de la sèrie estratigràfica de les Gavarres s'hi troba una unitat d'edat Silurio-Devoniava, formada per quarsites, pissarres, calcàries i calcoesquists. La base de la successió està constituïda per un nivell de pissarres vermelloses, d'uns 15 m de potència, damunt del qual comença la sèrie pròpiament carbonàtica que alterna capes de calcàries, de calcoesquists i de nivells de pissarres verdes o vermelles (Roqué, 1993).

Pel que respecta a la serralada de la Selva Marítima, els afloraments de metasediments del Paleozoic són dispersos i presenten una successió de materials incompleta, a més d'haver estat molt transformats per efecte del metamorfisme de contacte posterior. Aquestes roques afluïren, sobretot, al sud dels termes municipals de Llagostera i Caldes de Malavella, i a l'est de Vidreres. La part baixa de la sèrie està composta per un conjunt vulcanogranític d'una potència aproximada d'uns 100 m i constituït per esquists feldspàtics i quarsítics que afluïren amb nivells de pissarres, atribuïts al

Caradocià (Ordovicià superior) per la seva similitud amb les fàcies amb les sèries vulcanoclàstiques de les Gavarres i Guilleries. Sobre aquest conjunt es disposen uns marbres i roques calcosilicatades, atribuïdes a l'Ashgil·lià (Ordovicià superior), que presenten una potència que no supera els 10 m. Per sobre es troba una successió de pissarres negres, amb una potència d'uns 50 m, i correlacionables amb les pissarres gris-negreses de les Gavarres d'edat entre l'Ordovicià superior i el Silurià. Per damunt s'hi situa un conjunt carbonàtic compost de marbres i roques calcosilicatades, que assoleix una potència màxima de 8 m, i tenen una edat dubtosa (tant pot pertànyer al Devonià com al Carbonífer inferior). Sobre seu s'hi disposa una successió de gresos, quarsites i lidites negres del Carbonífer inferior, que presenten una potència d'uns 25 m. I finalment, a la part alta es troba un conjunt detrític compost per gresos, quarsites i conglomerats, que s'atribueixen al Carbonífer. Aquest conjunt té una potència que supera els 60 m. Les capes de conglomerats assoleixen un gruix de 5 m i presenten còdols ben arrodonits de fins a 10 cm de diàmetre, molt poc deformats. Hi dominen els clastos de quars, quarsita i roques ígnies àcides (porfiroides i granitoides). La matriu és abundant i de natura pelítica, cosa que permet que, quan s'altera, els còdols s'alliberin amb molta facilitat (Roqué i Pallí, 1998).

Materials sedimentaris paleògens.

Els materials del Paleogen afloren a la serralada Transversal, i arriben fins al peu de les Gavarres en el seu marge nord-occidental (a l'est de la ciutat de Girona). Aquests materials són els que també constitueixen el substrat del rebliment Neogen al nord de la depressió. Pallí (1972) va establir la successió estratigràfica del Paleogen a les comarques de Girona, la qual posteriorment ha estat redefinida per Anadón et al. (1979) i Mató et al. (1996). Segons aquests autors la successió de base a sobre és la següent (Figura 1.3):

- **Formació Pontils:** Està representada per conglomerats, gresos i argiles vermelles, discordants amb el sòcol paleozoic i, dipositats en un medi fluvio-al·luvial. Els seus afloraments, a la part sud de la conca (St. Martí Sacalm i St. Martí de Llémna), presenten una potència de 250-300 m. Intercalada en aquesta formació es troba a l'O de St. Martí Sacalm, a sota el Far, 20 m de margues calcàries dipositades en un medi de plataforma restringida i sorra, que corresponen a la formació Orpí. En posicions més septentrionals (Banyoles i St. Miquel de Campmajor), diferents sondatges han posat de manifest un augment considerable del gruix cap al nord d'aquesta intercalació marina (80-120 m). Els materials situats per sota de la formació Orpí se'ls atribueix una edat paleocènica ilderiana inferior, i una edat compresa entre l'Ilerdià mitjà i el Lutecià basal pels materials situats per sobre d'aquesta.
- **Formació Girona:** Està constituïda per calcàries dipositades en un medi de plataforma i amb una potència de 100 a 150 m. A la serralada Transversal, els afloraments d'aquesta formació presenten un tram inferior d'uns 50 m amb alveolines i altres restes fòssils, que indiquen un ambient més som, i una part superior amb abundants nummulits. D'altra banda, en els sectors més meridionals, s'intercalen nivells de gresos amb paleocorrents que indiquen una procedència sud. A la base d'aquesta formació se situa un tram de poca potència (5 m) amb fàcies transicionals, les quals representen la base de la transgressió. Té una edat luteciana.
- **Formació Banyoles:** Està composta per margues blaves amb fines intercalacions centimètriques i decimètriques de margocalcàries blaves, riques en contingut fòssilífer, especialment a la base de la unitat. Un fet remarcable és l'existència en diferents indrets d'un nivell de pseudomorfs de cristalls de celestina a uns 15-20 m de la base de la unitat, fet que fa pensar en l'existència d'un trànsit lateral de fàcies entre aquests materials i els del membre Beuda. Els materials de la formació Banyoles es van dipositar durant el lutecià en un ambient de plataforma, a la part baixa, i de prodelta i front deltaic, a la part superior de la unitat. La potència d'aquesta formació és molt

1. Introducció.

variable i, en general, augmenta des del sud (Vall d'Hostoles), on té uns 100 m, cap al nord, on a la zona de Banyoles arriba als 400 m. El contacte amb la formació Girona és net i bruscat, i està marcat per un nivell de condensació.

- Formació Rocacorba - Membre Barcons: Està constituïda per gresos, margues, margocalcàries i calcàries, i en menor proporció, conglomerats interestratificats en nivells d'ordre centimètric i mètric, dipositats en un medi deltaic durant el Lutecià. En les posicions més septentrionals s'intercalen dins d'aquesta formació, a través de contactes transicionals, diversos tascons de la formació Bellmunt, els quals augmenten de potència vers el nord i s'atasquen cap al sud. La potència augmenta de manera espectacular de sud a nord, passant de 80m, a la Vall d'Hostoles, fins a superar els 650 m en l'extrem oriental de la Vall de Sta. Pau. El contacte inferior amb la formació Banyoles és transicional, i existeix, a més un pas lateral de fàcies entre ambdues unitats.
- Membre Bellmunt: Constituït per gresos, argiles vermelles i conglomerats, dipositats en un medi fluvial. Entre St. Jaume de Llierca i Sta. Pau la formació té un gruix que supera els 1000 m. La seva part inferior, passa transicionalment cap al sud a la formació Bracons, on s'esfilagarsa fins a desaparèixer. En aquesta part se li atribueix una edat Luteciana, però no es descarta que la part superior pugui ésser d'edat Bartoniana, tal com succeeix més a l'oest.

Materials neògens.

La importància dels materials sedimentaris neògens rau en el fet que, com ja s'ha esmentat amb anterioritat, són els que rebleixen la depressió de la Selva i que actuen com a aqüífer sedimentari principal de la zona. Aquests sediments, presenten característiques diferents, en funció dels processos deposicionals que els van generar, fet que pot condicionar les característiques hidràuliques de l'aqüífer. A més, en algunes zones presenten potències importants, que poden arribar a superar els 300 m. Degut a aquests gruixos, el desconeixement de la seva composició litològica en profunditat és important, atès que els afloraments que existeixen són només dels primers metres i les columnes estratigràfiques dels sondatges mecànics que se'n disposa no són massa abundants, i sovint incompletes i/o incertes. Així, la descripció d'aquests materials, s'ha realitzat a partir de:

- les descripcions dels afloraments superficials realitzades per Roqué i Pallí (1998), Villalta i Pallí (1973), Solé Sabarís (1948), així com de nombrosos estudis hidrogeològics locals;
- les columnes estratigràfiques de diversos sondatges mecànics i pous realitzats a la zona d'estudi;
- els sondatges elèctrics verticals utilitzats per Pous et al. (1990) per a descriure la geometria de la cubeta, i els realitzats per Frias (1984a i 1991a) a la zona de la cubeta de Vidreres i a Caldes de Malavella, entre d'altres zones;
- i finalment, les dades aportades pels sondistes, geòlegs i enginyers de mines que treballen en aquesta zona (Vehí, 2001; E. Vinyals i J. Sacot, com. pers., 2004).

Dins els materials neògens també cal destacar la presència de nombroses colades de basalts olivínics presents, sobretot, al marge meridional de la depressió. Aquests afloraments apareixen, sobretot als voltants de Caldes de Malavella, Maçanet de la Selva, l'Esparrà, Riudarenes, Sils i Sta. Coloma, i se'n disposa de nombrosa informació bibliogràfica.

En funció de les dades disponibles, i per tal de realitzar una descripció més detallada s'ha dividit la depressió en les àrees que es representen a la Figura 1.5.

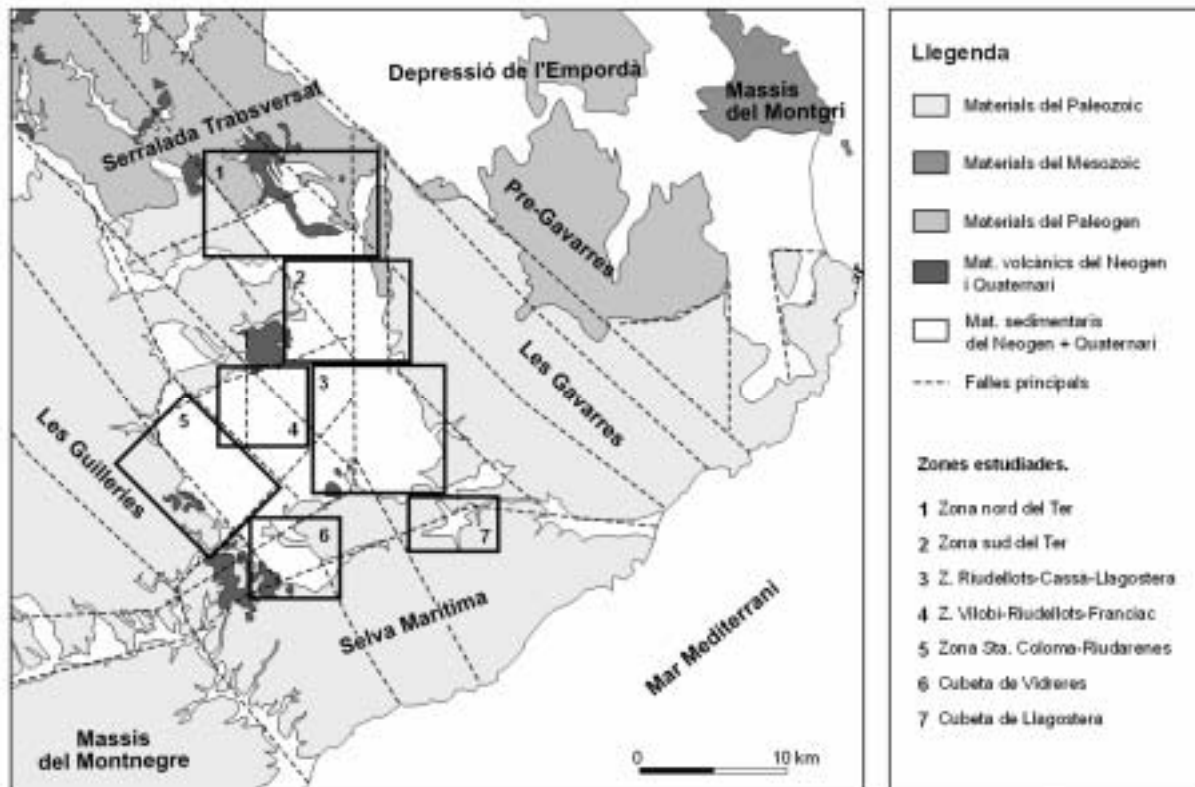


Figura 1.5: Mapa de les diferents zones estudiades.

Zona 1: Nord del riu Ter.

Els materials del Neogen de la depressió de la Selva situats en les posicions més septentrionals, són els que es troben sota les colades basàltiques del Volcà d'Adri, en contacte discordant amb el sòcol, que en aquesta zona data de l'Eocè. Aquests materials han estat descrits com a argiles, sorres i graves. En general, hi predominen els nivells de sorres i graves amb matriu sorrenca. Els còdols dels nivells de graves i conglomerats tenen dues àrees de procedència: els còdols dels nivells de procedència nord estan constituïts per gresos i calcàries eocenes, mentre que els de procedència oest, estan constituïts per còdols de quars metamòrfics, lidites i granits del Paleozoic. Generalment, el seu grau de compactació és baix, presenten paleocorrents en sentit E-SE i no s'ha trobat restes de fòssils. La potència total d'aquests materials és de 80 m i s'interpreten com a fàcies distals del ventall de Canet d'Adri, cronològicament atribuïdes al Pliocè (ICC, 1997).

Zona 2: Vall del riu Ter fins a Fornells i Quart.

Els sediments del Neogen de la zona entre Girona, Fornells de la Selva i Quart han estat ja descrits per Solé Sabarís (1948). Segons aquest autor, cap a la zona de Quart i de Palau augmenta el caràcter argilós dels materials pliocens. A la zona de Quart passen a dominar les argiles amb coloració vermella i groguenca, mentre que a Palau Sacosta, es troben sorrenques blanques poc cimentades que s'alternen amb argiles groguenques, considerades pròpies d'ambients lacustres. Aquest canvi de litologia es deu, principalment, a que els materials de l'àrea font en aquesta zona, no són granitoids, sinó roques metamòrfiques, el producte de l'alteració de les quals és més argilós. En

1. Introducció.

ambdós punts, també s'hi ha identificat una capa de conglomerats al sostre de la formació d'1 a 2 m de potència que formaria part d'un dels cons de dejecció provinents de les Gavarres.

D'aquesta zona es disposa de diversos sondatges mecànics que permeten constatar les observacions realitzades per Solé Sabarís (1948). A la zona de Palau es compta amb un sondatge situat a l'oest d'aquest nucli i de 50 m de profunditat (GI0048, de la Figura 1.6), en el que no s'assoleix el sòcol de la depressió. En aquest primer punt, els dipòsits sedimentaris més abundants són les sorres, mentre que les argiles només es presentarien en tres capes de poca potència. En un segon sondatge situat a la part est de l'àrea urbanitzada (GI0049, de la Figura 1.6), s'assoleix el sòcol a 67 m de profunditat (concretament, es troben les calcàries de l'Eocè). A diferència de l'anterior, hi predominen sobretot les argiles, tot i que s'hi troben intercalats tres nivells de sorres, més o menys netes i d'una potència màxima de 4 m. Finalment, a Quart, hi ha un tercer sondatge mecànic a la banda est del nucli urbà, que tot i presentar una profunditat de 49 m, no assoleix el sòcol. Aquest sondatge, està constituït per 39 m d'argiles i 10 de graves i sorres, situades a la base de la columna, fet que confirmaria que quant més a la vora de Quart, més hi predominen les argiles.

De la zona del pla de Girona, és a dir, l'àrea que queda a la plana del riu Ter, des de Girona fins a Montfullà i fins a la Urbanització del Mas Aliu (a Aiguaviva), es disposa d'un primer estudi realitzat per San Miguel de la Cámara (1934) en el que ja s'exposa que la profunditat en què es trobava el sòcol en aquesta àrea podia ser important (d'entre 100 i 200 m). Així es confirma amb els sondatges mecànics de la zona, tot i que la profunditat en què es troba el sòcol és molt superior a l'estimada inicialment. En un primer sondatge mecànic realitzat al Bell-lloc, s'assoleixen gairebé els 400 m de profunditat i no es troba el sòcol de la depressió. Tant en aquest primer sondatge, com en un segon, de més de 140 m de profunditat (GI0072), els materials del Neogen travessats, estan constituïts, en els 75 m més superficials, per un conjunt de materials més grollers formats per sorres, graves amb una mica de sorra, intercalats entre algunes capes d'argila i d'argiles amb graves. En canvi, a partir dels 75 m, hi predominarien bàsicament les argiles.

Cap a la zona de Vilablareix (més al SO) hi ha un tercer sondatge de 150 m, en el que tampoc s'assoleix el sòcol de la depressió (VB0095). En aquest punt, i a diferència de l'anterior, no apareixerien les dues zones de materials sedimentaris diferenciables en funció del diàmetre del gra, sinó que hi ha una intercalació més o menys constant d'argiles i de sorres amb graves en els 150 m de sondatge.

Aquesta zona més deprimida està considerada per E. Viñals (com. pers., 2004) com la que presenta les potències més importants de materials neògens de tota la depressió.

Si es té en compte la profunditat en què s'ha localitzat el sòcol en els diversos sondatges descrits, les tres columnes anteriors es diferencien clarament, de la d'un quart sondatge mecànic que es troba al nucli urbà de Girona, i també de les dels sondatges situats a Palau. A la columna situada al nucli de Girona, el sòcol s'assoleix als 32 m de profunditat, i com en el cas de la columna de Palau, està format per calcàries de l'Eocè. La diferència de profunditat en què s'ha trobat el sòcol en les columnes anteriors constata la presència de les fractures de direcció N-S descrites per Pallí et al. (1983a), Mas et al. (1985) i SCG (1986) que travessarien tota la depressió de la Selva fins a Caldes de Malavella, i que separaria un bloc més aixecat a la seva banda est, d'un de molt més enfonsat a l'oest (Figura 1.6). La importància d'aquest conjunt de fractures rau en el fet que, a més de participar en l'enfonsament de la depressió, s'han relacionat amb fenòmens de termalisme i de fonts carbonàtiques (SCG, 1986).

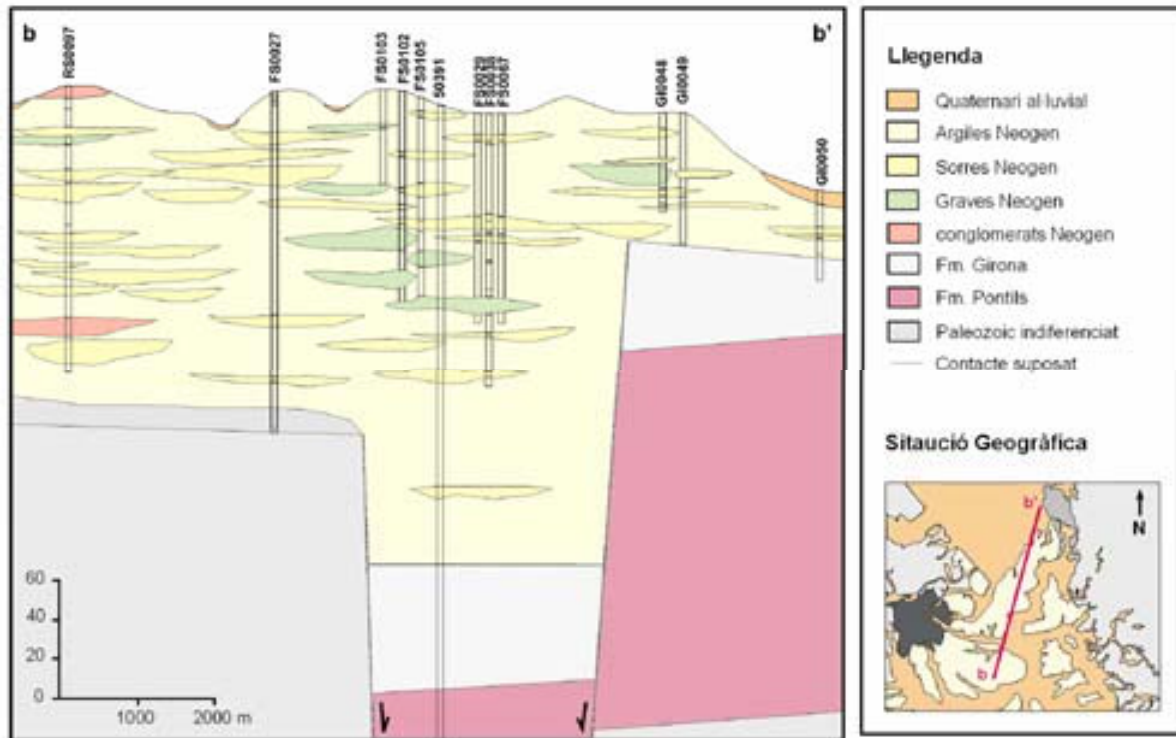


Figura 1.6: Tall geològic des de Riudellots a Girona.

Aquesta bloc més deprimit continuaria en direcció sud cap al nucli urbà de Fornells de la Selva. Cal destacar però, que el gruix dels materials neògens en aquest poble deixa de ser tant important, per passar a presentar uns 200 m de potència. Aquest fet el constaten els nombrosos sondatges mecànics situats entre Palau Sacosta i Fornells de la Selva, que presenten profunditats superiors als 100 m i que, en només dos d'ells, s'assoleix el sòcol. El primer es troba situat al nucli urbà de Fornells de la Selva (sondeig 50391, Figura 1.6), i troba el sòcol als 230 m de profunditat. En aquesta zona, aquest sòcol està constituït per 62 m de calcàries de la Fm. Girona i sota d'aquestes s'hi trobaria un paquet de més de 185 m de conglomerats vermellosos de la Fm. Pontils. Més al sud, es trobaria un segon sondatge que assoliria el sòcol granític a 172 m de profunditat (FS0027, Figura 1.6). Aquest segon sondatge estaria situat sobre el llindar que E. Viñals (com. pers., 2004) considera que travessa la Selva des de Vilobí d'Onyar fins a Llambilles.

Pel que fa a la tipologia de sediments a la zona de Fornells, segons Solé Sabarís (1948), estarien constituïts per argiles sorrenques de color gris clar, amb algunes capes més grolleres intercalades, en les que s'hi observen elements poc rodats de quars, feldspat poc alterat i mica, (considerant-les així, com a veritables arcoses). Dels sondatges mecànics realitzats des de Palau fins al sud del nucli urbà de Fornells, es pot destacar el fet que predominen les argiles i argiles sorrenques en les que s'hi intercalen capes de sorres i graves de poca potència i que es troben situades més o menys a la mateixa profunditat, concretament, dels 10-14 m, dels 50-65 i dels 77-100 m (s'observa en algunes de les columnes com FS0105, FS0103, FS0102, FS0067, FS0038, FS0027 i FS0029 de la Figura 1.6). Pel que fa a la coloració de les argiles, les situades més a prop del sostre de la columna solen ser ocre o marronoses (a diferència del que destacava Solé Sabarís (1948)), i solen presentar coloracions grises i blavoses més a la vora de la base de la columna.

Cal destacar també que, segons els sondistes de la zona, a partir dels 100 primers metres la proporció de sorres disminueix, i passen a dominar les argiles. Així es constata en el sondatge situat al nucli urbà de Fornells en el que s'assoleix el sòcol (sondatge 50391).

Solé Sabarís (1948) també descriu els materials superficials dels puigs que es troben entre el nucli urbans de Fornells de la Selva, Quart i Llambilles com argiles rogenques que en la seva part superior presenten una capa de còdols grossos ben rodats de quars, calcàries eocèniques, pissarres, bretxes paleozoiques silíciques, els quals poden arribar a assolir fins a 30 cm de diàmetre. Aquests puigs també formen part del llinar que E. Viñals (com. pers., 2004) considera que va des de Vilobí fins a Llambilles. Tot i que en aquest punt el Neogen presenta potències importants (de 100-150 m), no ho són tant com a la zona de la plana del Ter (situada més al nord), ni com al sud de Riudellots i a Franciac, on el sòcol torna a presentar-se a profunditats importants (aproximadament als 200 m al sud i a més de 400 m en alguns punts del nord).

En aquests turons hi ha un pou de 102 m del que se'n disposa de columna litològica (FS0066). En aquest punt es van observar capes d'argiles amb sorres fins als 87 m, i els 15 m restants s'hi van observar argiles amb còdols. Més cap al sud, ja dins el terme municipal de Llambilles, hi ha dos sondatges mecànics de 154 i 75 m, respectivament, dels que se'n disposa de columna estratigràfica. El primer dels sondatges (LL0042), assoleix el sòcol de la depressió a 140 m de profunditat, que en aquest punt està constituït per pissarres del Paleozoic. Aquest sondatge travessa els materials al·luvials quaternaris, que assoleixen una potència d'uns 15-17 m i des dels 15 als 140 m es trobarien els materials del Neogen, constituïts, a grans trets, per intercalacions de sorres fines i argiles. Les argiles en aquesta zona presenten coloracions diverses en funció de la fondària. Fins als 56 m són grises, dels 56-88 m es troben argiles de coloració marronosa, fins als 92 m es troben argiles vermelloses i, a partir dels 105 m, serien de color més clar. Pel que fa al segon sondatge (LL0045) té una profunditat de 75 m i no assoliria el sòcol de la depressió. Aquest sondatge es troba molt a la vora del segon i, com l'anterior, els materials del Neogen que travessa són majoritàriament argiles, amb intercalacions de sorres de poca potència.

Així, a partir de les dades anteriors es constata que a la banda oest de la zona estudiada el sòcol de la depressió es trobaria a molta més profunditat que a la zona est, gràcies a l'acció de les fractures N-S, de la continuació de les fractures E-O de les Guilleries i de les fractures NNO-SSE de la serralada Transversal. Aquesta zona deprimida, és la que presenta la major potència de sediments neògens de tota la Selva, i continuaria cap a Fornells de la Selva, donant lloc a potències de sediments neògens no tant importants, però sí superiors als 200 m. Al sud de Fornells apareix un llinar que separa la zona més enfonsada al N d'una altra al sud, i on el sòcol es trobaria als 100-150 m com a profunditat màxima. Pel que fa a la tipologia de sediments, en general predominarien les argiles i argiles sorrenques en les que s'hi intercalarien més o menys capes de sediments sorrencs en funció de la zona, però que disminuirien en profunditat per passar-hi a dominar les argiles. Cap a la zona de Quart, gairebé no es presentarien capes de sorres, mentre que cap a Palau i Girona, aquestes passarien a ser molt més abundants. I finalment, als turons situats entre Quart, Fornells i Llambilles s'hi localitza una capa superficial de conglomerats atribuïbles a antics cons de dejecció.

Zona 3: entre Riudellots de la Selva, Cassà, Caldes i Llagostera.

En aquesta zona (Riudellots-Cassà de la Selva-Caldes de Malavella) es van realitzar al 1963, 100 SEV. Segons el MOPU (1971b), el sòcol es trobaria a poc més de 50 m a les zones properes del marge de la depressió, mentre que a Riudellots i Caldes, les potències del Neogen assolides serien superiors als 100 m, fins arribar a superar els 200 m a la zona de Franciac i al sud del polígon industrial de Riudellots. Segons els mateixos autors, la part superior del rebliment estaria formada per al·luvions quaternaris i una zona d'alteració de dipòsits pliocens, i hi hauria una capa profunda d'estructura molt complexa de materials pliocens, que al sud de Riudellots podria arribar a presentar una potència superior als 200 o 300 m. Aquestes potències d'entre 100-300 m a la zona de Riudellots, es confirmen en un dels sondatges mecànics situats a l'est del nucli urbà, on el sòcol

granític s'assoleix als 200 m, i posen de manifest la presència d'una zona deprimida al sud del llinar de Vilobí-Llambilles i a l'oest de la suposada falla N-S. En aquesta zona, els principals materials sedimentaris que es travessen també són argiles, però amb múltiples intercalacions de sorres i graves que presenten potències inferiors als 10 m (com en el sondatge RS0059 de la Figura 1.7). A Franciac, també existeix un sondatge mecànic en el que s'assoleix el sòcol als 254 m (sondatge 503593). En aquest punt, el neògen està format per argiles i sorres de color ocre a ocre-blanquinos, amb intercalacions de sorres permeables entre els 20-116 m, i els 126-226 m. Cal destacar que en els dos sondatges apareixen una capa de conglomerats argilosos de coloració vermellosa a la base del Neogen. En el primer sondatge (situat més al nord), els conglomerats es troben dels 169 als 200 m, mentre que en el segon, dels 226 als 254 m. En aquest últim, s'hi observen fragments de basalt, que es troben més consolidats a més profunditat.

Pel que respecta a la zona del nucli urbà de Campllong (situat a mig camí entre Riudellots i Cassà), es disposa d'un altre sondatge mecànic en el que els sediments del Neogen estan formats, com en el sondatge de Riudellots, per capes fines d'argiles i sorres d'1 a 13 m de potència (CL0082 de la Figura 1.7). En aquest punt, les argiles presenten coloracions grises dels 20-24 m, després passen a marronoses fins als 121 m, dels 131-135 m passen a vermelloses, i finalment, dels 135-139, a grises. Aquestes coloracions són les mateixes que es presenten el sondatge de Llambilles, el LL0042. El sòcol però, es trobaria als 140 m, posant de manifest la presència del bloc més enfonsat a la zona sud de Riudellots (Figura 1.7).

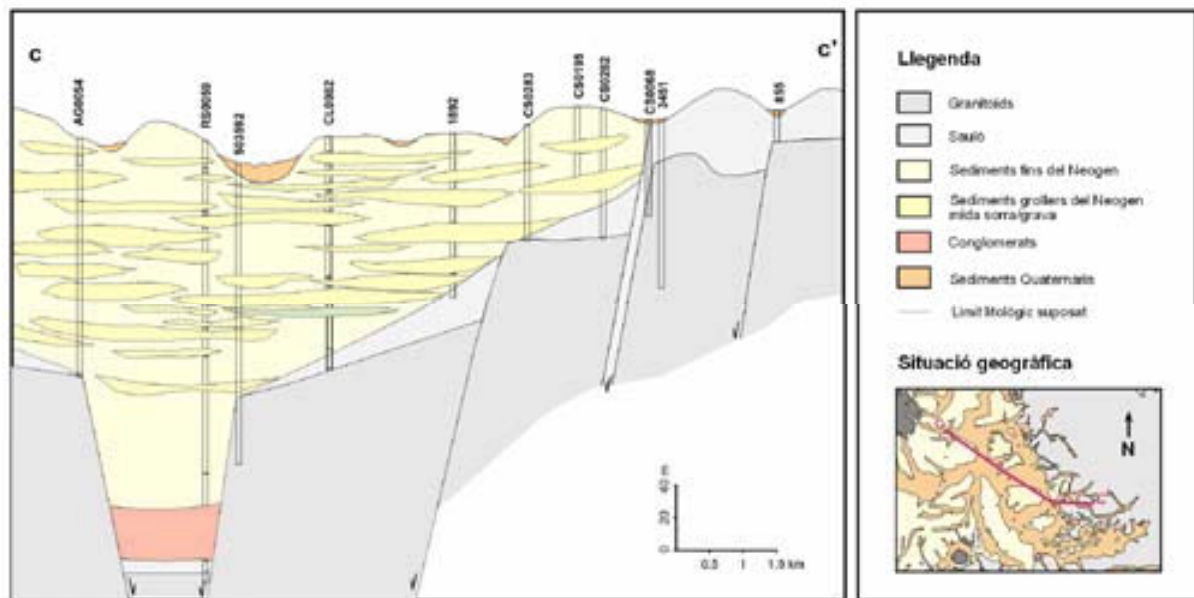


Figura 1.7: Tall geològic de Riudellots a Cassà de la Selva (modificat de Vilanova, 2001)

A mesura que es va des de Campllong, cap al marge est de la depressió, també es confirma que la potència dels sediments neògens va disminuint atès que, en els sondatges realitzats al NO i O de Cassà de la Selva (CS0075 i CS0015), el granit s'assoleix a 26 i 69 m de profunditat, respectivament. En el pou municipal de Cassà situat al NO del nucli urbà (a la zona de Can Rispa) els materials del Neogen estan compostats per capes de sorres, llims i graves al·luvials i el sòcol, que s'assoleix als 26 m, està format per granit (CS0075). En canvi, en el pou municipal núm. 15, les grauauques metamòrfiques són les que formen el sòcol de la depressió, i en aquesta zona es troben a 69 m de profunditat. En aquest segon punt, el Pliocè està format, bàsicament, per argiles amb passades de sorretes arcòsiques de poca potència, i a la base també s'hi troba un nivell més conglomeràtic de 6 m

de potència. En aquest cas, la diferència entre les cotes del sòcol en aquests dos sondatges podrien indicar la presència d'una de les fractures NO-SE, descrita ja per Pallí et al. (1983a).

Al sud de Cassà de la Selva i a l'oest de la carretera de St. Feliu, Frias (1987a) descriu els materials neògens presents com argiles groguenques i blavoses amb nivells de conglomerats i sorres arcòsiques de granulometria molt irregular. En aquest punt, els materials paleozoics s'enfonsen per acció d'una sèrie de falles que donen lloc al marge est de la depressió, i avalua la seva component vertical, prop de la riera Verneda, d'entre 50-60 m. La potència dels sediments neògens també disminueix cap al sud, al aproximar-se al nucli urbà de Llagostera. En aquesta zona, s'hi van realitzar SEV, que segons les interpretacions realitzades pel MOPU (1971b), situaven el sòcol de la depressió a 20 m de profunditat, i establien que el rebliment en aquesta zona estava format per materials majoritàriament quaternaris, que apareixen com una alternança irregular de capes de 3 a 4 m de potència d'argiles i sorres més o menys fines.

Finalment, a la zona de Caldes de Malavella s'hi ha portat a terme nombrosos estudis tant de caire geològic, com hidrogeològic. En aquesta zona, a més dels materials sedimentaris, també hi apareixen afloraments de basalt olivínic d'edat neògena. Concretament, al puig de St. Maurici hi ha una xemeneia encaixada en granodiorites i, a la zona de can Teixidor (al NE del nucli urbà), una colada de basalts olivínics, ambdós amb un grau d'alteració important, i una manifesta disjunció prismàtica. La xemeneia de St. Maurici va ser datada per Donville (1973a, b i 1976) en 5 Ma i pel que fa a la colada de can Teixidor també es va datar en el Pliocè, al trobar-se recoberta, parcialment, per materials argilosos d'aquesta edat.

Els materials granítics afloren al sud del nucli urbà de Caldes, donant lloc al glacis de St. Maurici i Vidreres (Roqué i Pallí, 1998), així com en alguns punts situats més al N. El sòcol granític, a la resta del municipi, es presenta a profunditats molt diferents. A l'est del nucli urbà, a la zona situada entre les carreteres de Cassà, Llagostera i la riera Benaula, Frias (1979) va portar-hi a terme un estudi en el que es realitzaren varis SEV. Segons aquests SEV, el Neogen assoliria potències de 90-150 m, i estaria format per sediments eminentment argilosos amb intercalacions més grolleres de sorres i graves en forma de lleties. En aquesta zona existeixen tres sondatges mecànics que constaten tant la profunditat del sòcol, com el tipus i distribució de sediments. En un d'ells s'assoleix el sòcol a 132 m (CM0041). Els altres dos, en canvi, tot i presentar profunditats de 108 i 140 m, no l'assoleixen (CM0092 i CM0092b). Pel que respecta a la tipologia de sediments, en tots tres sondatges els materials trobats són intercalacions de poca potències de sorres i graves en argiles, que tot i que en algunes de les capes presenten coloracions marronoses, en general són grises o blavoses, i en un dels tres sondatges són classificades com a margues.

Al nord del nucli urbà de Caldes, Pous et al. (1990) va descriure-hi un llindar, on el sòcol es troba assolint gairebé el nivell superficial, i que separaria la zona est, descrita anteriorment, de l'anomenada cubeta de Caldes, situada a l'oest. En aquesta cubeta, els mateixos autors afirmaven que el sòcol podia trobar-se a profunditats superiors als 150 m. Aquest fet es confirma amb les dades que es disposen d'un sondatge mecànic situat al NE del nucli urbà, on el sòcol s'assoleix als 91 m, i d'un segon sondatge, situat a la zona de la cubeta de Caldes, on el sòcol s'assoleix als 187 m. Pel que respecta als materials que s'han trobat en aquests dos punts, predominarien les argiles, i presentarien intercalacions de sorres i graves, però en el sondatge situat a la zona de la cubeta, a més, s'hi troben intercalats alguns nivells de conglomerats que augmenten la seva freqüència en profunditat.

També cal destacar que, en algunes zones de Caldes de Malavella, els materials sedimentaris pateixen una transformació ocasionada per fenòmens hidrotermals, convertint-se en un conglomerat molt compacte i cimentat per sílice procedent de les aigües termals. Sovint les diàclasis es troben

reblertes d'òpal o també de calcedònia. Aquestes arcoses silicificades estan situades a prop del nucli urbà, a l'anomenat puig de les Moleres (Vidal, 1882).

Així, la zona deprimida, que comença a l'oest de Girona, continua cap al sud fins a Fornells, on es troba el llindar Vilobí-Llambilles, que la separa d'una nova zona deprimida al sud del polígon de Riudellots, on s'ha localitzat el sòcol a més de 200 m de profunditat. Si es va cap a l'est de la suposada falla N-S, la profunditat en què es localitza el sòcol va disminuint, passant dels 150 als 50 m a les zones properes al marge, de la mateixa manera que si es va cap a la zona de Llagostera, punt on s'assoleixen potències de com a màxim 50 m de sediments neògens. Cal destacar també, la presència de la cubeta de Caldes, on s'ha localitzat el sòcol a més de 180 m, i la presència d'un bloc una mica més aixecat al nord d'aquesta població. I finalment, pel que fa a la tipologia de sediments, en general predominarien les intercalacions d'argiles o argiles sorrenques, amb sorres i graves. També cal destacar que en alguns punts s'ha localitzat un nivell de conglomerats, just abans del sòcol. I finalment, a la zona de la cubeta de Caldes s'hi haurien localitzat nivells més grollers de conglomerats, sobretot en profunditat, mentre que a l'est del municipi el sòcol també s'assoliria a més de 140 m i s'hi presentarien materials més argilosos i margosos.

Zona 4: entre Vilobí, Riudellots i Franciac.

A la plana de Vilobí es van realitzar 102 SEV, al 1963. Segons el MOPU (1971b), els al·luvions quaternaris en aquesta zona presenten potències de 20-25 m com a màxim, però el Neogen podria sobrepassar els 200 m de potència. D'aquesta zona també es disposa de dades de diversos sondatges mecànics, alguns dels quals assoleixen el sòcol. De St. Dalmai a Vilobí, la potència de materials neògens va augmentant progressivament, i el sòcol passa a trobar-se de 42 a 90 m de profunditat. Si es segueix en direcció E, el sòcol passa dels 90 m a Vilobí, als 170-200 m a la zona de la N-II, una de les zones on el sòcol de la depressió es troba a més profunditat.

Pel que respecta als materials sedimentaris observats en les diverses columnes litològiques, són bàsicament intercalacions de sorres i argiles. Segons els sondistes de la zona, en aquesta plana solen trobar-se uns 10 nivells de materials més sorrencs d'una potència de 0.5 a 10 m intercalats entre els nivells d'argiles.

Zona 5: entre Sta. Coloma i Riudarenes.

En aquesta zona, a més dels materials neògens sedimentaris, hi ha un gran nombre d'afloraments de roques volcàniques també d'edat neògena. Es tracta de colades basàltiques molt erosionades, i algunes xemeneies desmantellades que afloren al voltant del veïnat de l'Esparra i que Donville (1973a, b i 1976) va datar d'entre 6.3 i 5 Ma. Aquests materials efusius s'estenen cap al SE de Riudarenes, i se'n troben algunes clapes a les Mallorquines (terme municipal de Sils).

A Sta. Victòria de Sauleda, al nord de l'Esparra, també s'hi troba un petit aflorament volcànic (Pallí et al., 1993), però la zona on es concentra el major nombre d'afloraments volcànics de la Selva és a la zona de Maçanet-Vidreres. Concretament, es tracta de restes de colades de lava erosionades i d'algunes xemeneies desmantellades que Donville (1973a, b i 1976) va datar de 7.5 a 4.5 Ma. La litologia dominant és de tipus basàltic, amb presència de basalts olivínics i en menor part, de basanites (Pallí et al., 1983b). A la zona de Maçanet hi va haver un total de tres fases eruptives diferenciables, gràcies a que entre les successives colades de lava apareixen diversos nivells de materials piroclàstics i vulcano-sedimentaris que les separen (Busquets, 1994; Mas-Pla i Linares, 1997; Pujadas et al., 2000). Pel que fa als seus centres emissors, se situen al S i SO de la població, com són el puig Marí, els turons de can Xarambau, de Sant Jordi, de ca l'Oller i de Montalegre, entre d'altres.

1. Introducció.

Algunes de les colades basàltiques de Maçanet arriben també al terme municipal de Vidreres, a la zona de Cartellà i de can Falgueres, i més cap a l'est, queden colgades pels materials neògens i quaternaris del pla de Vidreres. Cal destacar també els afloraments volcànics massius del terme de Vidreres, localitzats a can Met i a les Barraques d'en Raig, que sembla que no tinguin una relació directa amb els erupcions de Maçanet (Vehí, 2001).

Pel que respecta als materials sedimentaris del Neogen, Pous et al. (1990) destaca que a la cubeta de Sta. Coloma-Riudarenes, al marge occidental de la depressió, aquests sediments poden presentar uns 300 m de potència. Aquest fet concordaria amb els pous de la urbanització de Vallcanera, que tenen una profunditat de 250 m i no assoleixen el sòcol de la depressió, o el sondatge realitzat per IGME a Sta. Coloma, que amb gairebé 180 m tampoc l'assoleix. En aquest segon sondatge els materials neògens que es travessen són sobretot sorres, i sorres argiloses amb intercalacions d'argiles i alguns nivells amb sediments més grollers (SC0004).

Més cap al S, a la zona de Riudarenes, de les Mallorquines i del Veïnat de la Barceloneta de Sils, es disposa també de dades de diversos sondatges mecànics. En els sondatges de Riudarenes s'assoleix el sòcol de la depressió entre els 50 i 110 m de profunditat. Els materials del Neogen en aquest punt estan formats, sobretot per sorres, amb intercalacions d'argiles i algunes intercalacions de materials més grollers. També cal destacar que la colada basàltica de l'Esparra quedaria colgada pels materials neògens i quaternaris de la riera de Sta. Coloma i que arribaria gairebé fins al nucli urbà de Riudarenes (RD0011, RD0010 i RD0016).

Pel que fa als sondatges mecànics de Sils, alguns d'ells també assoleixen el sòcol. Aquest és el cas del sondatge de les Mallorquines, on el sòcol es troba a una profunditat de 48 m, mentre que a la Barceloneta, tot i que hi ha alguns dels pous que travessen els granits als 32 m, en d'altres, situats més a l'est, no s'assoleix (SI0088, SI0054, SI0053, SI0052 i SI0077). Pel que fa als materials sedimentaris dipositats en aquesta zona, són ja més argilosos. En la major part de les columnes hi predominen les argiles i argiles sorrenques, i en aquestes s'hi intercalarien algunes capes de materials més grollers, de sorres i graves de potència menor.

Zona 6: cubeta de Vidreres.

La cubeta de Vidreres ha estat objecte de diversos estudis realitzats per Frias (1982, 1984a, 1984b, 1987b, 1991a, 1991b) per tal d'incrementar l'abastament d'aigua potable pel nucli urbà de Vidreres. Aquests estudis s'han basat tant en els sondatges elèctrics verticals (SEV), com en alguns dels sondatges mecànics realitzats a la zona.

La cubeta de Vidreres s'estén des del sud del nucli urbà de Sils, a l'anomenat Estany de Sils, fins al Pla de Vidreres, seguint el curs del Rec Clar. El sòcol granític en aquesta zona està dividit en diversos blocs escalonats. Els SEV realitzats per Frias (1984a i 1991a) indiquen que de nord a sud, la profunditat en què es troba aquest sòcol augmenta progressivament, fins a la part central del pla de Vidreres, on s'assoleixen les profunditats més importants, superiors als 100 m. Així, al SE de l'encreuament entre la carretera de Lloret i la de Platja d'Aro, en una franja paral·lela al marge sud de la depressió, el sòcol es troba a profunditats superiors als 80-100 m. Aquest fet també es constata a través les columnes estratigràfiques dels pous municipals de la zona, on els granits es troben als 80 i 108 m, respectivament (VD0202 i VD0203 de la Figura 1.8).

Però el punt on s'assoleixen les profunditats màximes (aproximadament uns 140 m), és a la zona del pont de la carretera de Platja d'Aro sobre la riera de Cabanyes. En aquest punt s'hi intueix una de les falles causants d'aquest enfonsament, degut a un canvi brusc en les profunditats detectades. Aquest fet també es constata a través de les columnes estratigràfiques dels pous municipals de Vidreres

situats a l'encreuament entre la carretera de Platja d'Aro i la Nacional II, anomenats pous de Can Castells 1 i 2. Mentre que en el pou situat just al sud de la carretera de Platja d'Aro, els granits s'assoleixen a 135 m, en el pou situat just a l'altra banda de la carretera (a uns 200 m de distància del primer), el sòcol es troba als 84 m.

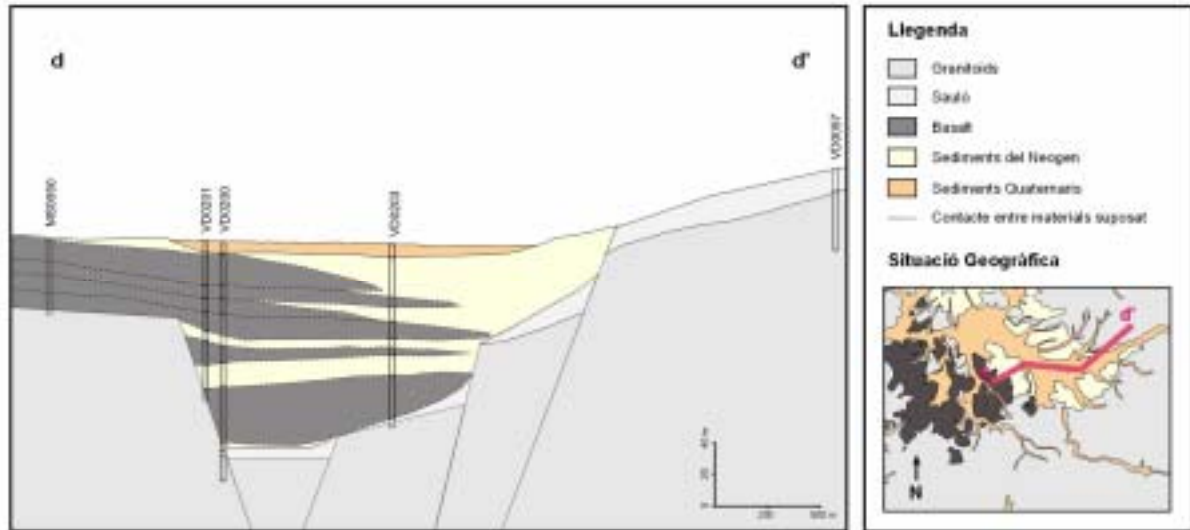


Figura 1.8: Tall geològic de la cubeta de Vidreres.

Aquesta cubeta ha estat reblerta, principalment, per diverses colades basàltiques, que apareixen interestratificades entre capes de poca potència de sediments argilosos del Pliocè. Les colades de basalt es van estendre des dels seus focus d'emissió, situats a l'oest de Maçanet de la Selva, cap a les cotes topogràfiques més baixes com són el pla de Vidreres i l'Estany de Sils. D'aquesta manera, a l'allunyar-se de Maçanet disminueix la potència dels basalts i augmenten els sediments argilosos-sorrenecs del Neogen (Frias, 1984a). Aquest fet es constata al comparar les columnes estratigràfiques de pous situats més a la vora del nucli urbà de Maçanet (com el de Can Bagot o els pous de la Trety), on es travessa només basalts fins arribar al granit (a 80 m i 44,5 m de profunditat, respectivament); amb les de la zona de Can Castells on es comencen a presentar unes poques capes d'escassa potència de sediments pliocens; i finalment, les columnes dels pous situats a l'encreuament entre la carretera de Lloret i la de Platja d'Aro, al sud del nucli urbà de Vidreres, on la freqüència de les capes d'argiles sorrenques és molt més accentuada (Figura 1.8).

Zona 7: cubeta de Llagostera.

Al sud-est de la depressió, els materials neògens que apareixen en el límit amb la Selva Marítima, en contacte discordant amb els materials paleozoics del sòcol, han estat descrits per Roqué i Pallí (1998), com sediments detrítics continentals, acumulats per un conjunt de ventalls al·luvials, i que es poden dividir en dues unitats: la inferior, correspondria a uns conglomerats vermells amb còdols subarrodonits de fins a 50 cm de diàmetre. Hi predominen els clastos d'esquists pigallats, cornianes micàcies, pòrfirs, quars i quarsites. En menor proporció n'hi ha de granitoides, calcàries amb crinozous, marbres i lidites. La matriu és sorrenca, de mida grossa, amb un contingut elevat de quars i feldspats alterats. El seu gruix és d'uns 8 m i aflora a l'est del Pla de St. Llorenç (Llagostera), en els vessants inferiors de les ribes del Ridaura. La unitat superior estaria formada per nivells argilosos marronosos amb intercalacions de sorres i canals de graves subarrodonides, de fins a 40 cm de diàmetre. En aquests darrers hi dominen els clastos d'esquists, cornianes, pòrfirs i granitoides. La

1. Introducció.

seva matriu és constituïda per sorres arcòsiques de mida de gra grossa. El gruix del dipòsit és d'uns 15 m, i afloren en el Pla de St. Llorenç (Llagostera).

En aquesta zona existeixen dos sondatges mecànics, dels que se'n disposa d'informació. El primer, es troba situat a l'oest d'aquesta cubeta, i la potència de materials neògens travessats és de 50 m. Pel que respecta al segon sondatge, està situat a la banda est de la cubeta, i el sòcol granític s'assoliria als 53 m de profunditat. En aquest cas, els materials trobats serien intercalacions d'argiles, graves i arcoses, i a la base de la columna, just abans de trobar el sauló i el granit, apareixeria una capa d'arcoses amb matriu vermellosa i amb còdols grossos de granit rosa i d'uns 5 m de potència (LG0010). Aquesta segona columna constataria la descripció que fa Roqué i Pallí (1998) pel que fa a la tipologia dels materials del Neogen, però no pel que fa a la potència d'aquests atès que si en la seva descripció la potència màxima assolida seria d'uns 23 m, el sondatge indica que és de 53.

Cal destacar que en aquesta zona E. Viñals (com. pers, 2004) també va portar a terme diversos SEV, gràcies als quals va establir que el sòcol pot trobar-se fins a una profunditat de més de 115 m, a la part més septentrional de la cubeta.

Materials quaternaris.

Els materials quaternaris sedimentaris presents a la depressió de la Selva estan formats per dipòsits detrítics, travertins i, argiles lacustres i torbes. Dins aquests materials sedimentaris, els dipòsits detrítics són els més abundants. Poden diferenciar-se tres tipus de formacions: els cons de dejecció, els dipòsits de vessant i els dipòsits al·luvials.

Els cons de dejecció més importants, es troben situats al límit entre la depressió de la Selva i les Guilleries. Concretament, Ros (1997) distingeix el con de St. Martí Sapresa, el de Can Xacó, i el de Can Xeconic, com els més moderns i millor conservats de la sèrie de dipòsits de dejecció que van reblir la depressió durant el Miocè-Pliocè fins, probablement, al Pleistocè. Aquests dipòsits estan constituïts per conglomerats, que es troben cimentats, i nivells argilosos. A més d'aquests, també situa els dipòsits de dejecció de la Creueta, un al sud de Brunyola i un altre al sud de l'Urbanització Mas Lluñés, que es caracteritzarien per ser petits ventalls formats per argiles, llims, sorres i còdols subarrodonits que gairebé no tenen cohesió interna.

Els dipòsits de vessant són dipòsits col·luvials també situats entre la depressió i els massissos adjacents. Estan formats per còdols angulosos heteromètrics, molt desordenats, en una matriu pel·lítica. El seu gruix pot ser de fins a 8-10 m, al peu de vessants en les zones de muntanya on han tingut importància els processos gravitatoris. Localment, aquests dipòsits poden tenir nòduls o crostes de carbonat. Aquests dipòsits són molt habituals en tota la conca, sobretot en les àrees de més relleu (Ros, 1997).

Els dipòsits al·luvials ocupen una gran part de la superfície de la depressió. Segons el MOPU (1985), els dipòsits al·luvials del riu Onyar estan formats per sorres fines amb un elevat contingut de materials fins (llims i argiles), especialment a la seva superfície. Cal destacar però, que puntualment apareixen nivells de sorres grolleres i, fins i tot, graves intercalats entre els materials més fins (sobretot a les zones properes a Vilobí, Fornells i a la riera Gotarra). Els sediments al·luvials de l'Onyar provenen de l'erosió dels relleus neògens i presenten unes potències màximes a la zona entre Vilobí i Riudellots de la Selva, on prenen valors de 15-20 m de gruix.

Pallí (1976), destaca que els dipòsits al·luvials del riu Onyar es troben poc elevats respecte el nivell del riu. Concretament, a la zona de Girona diferencia una terrassa T1 situada entre 3-5 m, una T2 a 8 m i una T2' situada a uns 20 m per damunt del nivell del riu (i localitzada a Palol d'Onyar).

A Cassà de la Selva, Mas-Pla (1986) va realitzar un conjunt de SEV en una zona pròxima a la depuradora municipal. A través d'aquests sondatges es va poder distingir tres capes diferents: una de superficial (d'entre 1 i 2 m), una de intermèdia (d'entre 0.6 i 3 m) i una de profunda que s'atribueix al Pliocè. En base a aquestes dades, es va obtenir una secció de l'al·luvial amb una potència màxima de 6 m a la zona de la riera Gotarra i de 3 m a la Verneda.

Segons el MOPU (1971b, 1985), els al·luvions de la riera de Sta. Coloma són molt més grollers, que els de l'Onyar atès que provenen de la descomposició del relleu granític. Apareixen com a sorres més o menys grolleres i graves, però les capes més superficials estan constituïdes per llims sorrencs. Aquests materials presenten una potència d'aproximadament 15-20 m a la zona central i, cal destacar, que a prop de Riudarenes, apareix intercalat un nivell fi argilós situat a una profunditat aproximada de 6 a 8 m, i divideix l'aquífer al·luvial en dos nivells. Pallí et al. (1993) va establir la successió de terrasses al·luvials a la riera de Sta. Coloma.

A la zona de la Sèquia de Sils, els al·luvions són força més fins que els de la riera de Sta. Coloma. Estan formats per llims sorrencs i presenten una potència de 2-7 m (MOPU, 1985).

Per últim, els dipòsits al·luvials del riu Ter són molt més grollers que els dels altres rius de la zona, presentant fins i tot, nivells de conglomerats. Segons Vehí (2001), a la zona de Salt, els sediments al·luvials del Ter presenten una potència màxima de 25 m.

Finalment, pel que respecta als travertins i, a les argiles lacustres i torbes es troben en petits afloraments al municipi de Caldes de Malavella. Els travertins es troben únicament al nucli urbà d'aquesta població, formant un turonet entre el puig de les Ànimes i la font de la Mina, i estan relacionats amb l'activitat sorgent de la zona. D'altra banda, les argiles lacustres i torbes es troben relacionades al volcà del camp dels ninots, i presenten una potència màxima de 30 m (Vehí et al., 1999).

A més de materials sedimentaris neògens, a la depressió de la Selva també hi ha materials d'origen volcànic d'aquesta edat. Aquest és el cas del volcà de la Crosa de St. Dalmai, el volcà del Camp dels Ninots (a Caldes de Malavella) i el puig d'Adri (a Canet d'Adri).

El volcà de la Crosa es troba situat entre els nuclis d'Aiguaviva, Estanyol i St. Dalmai, al límit entre els materials paleozoics de les Guilleries i els materials quaternaris neògens de la Selva, i al damunt d'una falla de direcció NE-SO. Està constituït per dos edificis: un de principal, que conforma un cràter de 1200 m de diàmetre amb una profunditat màxima al seu centre de 43 m, i un de secundari, de 250 m de diàmetre, que se superposa al principal. La base de l'edifici principal se situa per sota de la seva superfície preeruptiva, de manera que pot classificar-se com un cas intermedi entre un maar i un anell de tuf. Els materials expulsats durant l'erupció van ser majoritàriament fragmentaris, tant lítics com juvenils, i van ser projectats radialment per successives onades piroclàstiques, recobrint els sediments neògens i quaternaris de la zona. Pel que fa a l'edifici secundari, Martí et al. (1986), destaca que es va constituir en una fase estromboliana posterior. A més d'aquests edificis, al flanc sud de la Crosa hi ha una colada basàltica escoriàcia de 200 m de llarg i 40 m d'ample, i a l'interior del cràter principal hi ha restes de materials massius (Pujadas et al, 2000).

El volcà del Camp dels Ninots està situat a la part occidental de Caldes de Malavella, al marge sud de la depressió. Es tracta d'un volcà que només va tenir activitat freatomagmàtica, i que els seus materials fragmentaris van ser expulsats en successives onades piroclàstiques donant lloc a un con anul·lar amb un cràter de fins a 650 m de diàmetre. La depressió interna, que correspon al cràter

volcànic, va restar al llarg dels temps com a llac volcànic i es va anar omplint d'argiles producte de la mateixa alteració dels materials piroclàstics intercalant-s'hi nivells sorrencs procedents d'esllavissaments dels materials que formaven els flancs interns del con. Pel que fa a la seva edat, és clarament posterior als sediments detrítics atribuïts al Pliocè sobre els que es recolza, i la troballa de *Bos primigenius* BOJANUS en els sediments argilosos que reomplen el cràter, demostra que almenys una part del rebliment va tenir lloc a partir del Pleistocè mitjà (Vehí et al., 1999 i Vehí, 2001)

Finalment, el puig d'Adri es troba situat entre els nuclis de Canet d'Adri, Montcal i Adri, al límit entre la depressió de la Selva i la serralada Transversal (damunt la falla d'Adri). Es tracta d'una superposició de tres edificis volcànics: un anell de toves, amb un cràter d'explosió i un con de poca alçada format per dipòsits d'onada i bretxa piroclàstica; un con d'escòries de petites dimensions; i un con d'escòries que forma el relleu principal. Aquests dos darrers recobreixen els vorells occidental i septentrional de l'anell de toves. Els materials expulsats pel volcà van ser molt diversos, i van donar lloc a dipòsits d'onada, bretxa i colada piroclàstica; dipòsits de caiguda i colades de lava. Durant l'erupció d'aquest volcà hi va haver un total de cinc fases eruptives. L'activitat va començar amb una fase freatomagmàtica, que va donar lloc a dipòsits d'onades i bretxes piroclàstiques. Tot seguit, hi va haver una fase estromboliana de curta durada, producte de l'esgotament momentani de l'aigua que interaccionava amb el magma. En una tercera fase, es va desenvolupar l'activitat freatomagmàtica més intensa, que va generar nous fluxos d'onada i bretxa piroclàstica i una colada piroclàstica. S'atribueix a aquest període d'activitat la formació de la major part de l'edifici de tipus anell de toves. L'esgotament definitiu de l'aigua en el subsòl va conduir novament a l'inici d'una fase d'activitat estromboliana, fruit de la qual un conjunt de dipòsits d'escòries es va acumular al voltant del centre eruptiu i va donar lloc als dos cons d'escòria. En una última fase eruptiva, l'activitat va passar a ser efusiva a causa de la desgasificació del magma, i el volcà va emetre dues colades de lava que van destruir els flancs del sector NO dels cons d'escòria (Pujadas et al., 1997).

Principals unitats hidrogeològiques.

Una vegada realitzada la caracterització de les diferents unitats geològiques, a través de la seva distribució espacial, litologia i estructura, en aquest apartat es defineixen les unitats hidrogeològiques principals de la zona d'estudi.

Paleozoic i Paleogen.

La importància dels materials paleozoics i paleògens de la zona d'estudi, rau en el fet que són els materials que formen part tant de les àrees de recàrrega, com del sòcol de la depressió.

Tot i que en general es considera que els materials paleozoics presenten baixes permeabilitats i presenten tot un conjunt d'heterogeneïtats (com ara fractures, esquistositats, presència de dics o alteracions per meteorització) que poden actuar com a zones de fluxos de circulació preferencial. En els treballs portats a terme per Vilanova (2001, 2004) i ACA (2002), on s'estudien les Gavarres i les Guillerries com a sistemes hidrogeològics, es considera els materials granítics d'aquests massissos com a principals àrees de recàrrega del sòcol granític de la depressió.

Dels materials descrits anteriorment, els granítics són els que presentarien un major interès com a aquífers. Aquests materials s'han dividit en tres subunitats (en els diversos estudis realitzats a la zona): subunitat del sauló, que es troba present tant als massissos que envolten la depressió com al sòcol d'aquesta, on assoleix una potència d'entre 15-20 m; la dels materials granítics fissurats, que en els pous i sondatges realitzats a la depressió assoleix potències de 20 a 30 m.; i la dels materials granítics fracturats, a través dels quals s'estableixen importants fluxos de circulació preferencial. En el

cas de les Guilleries, es destaquen les principals fractures en direcció NO-SE i NE-SO com una unitat hidrogeològica individualitzada i amb connexió amb la resta d'unitats (ACA, 2002).

Pel que respecta als materials del Paleogen també es troben tant a la serralada Transversal, com a la part més septentrional del sòcol de la depressió. Els que formen part del sòcol serien, principalment, els materials sedimentaris de la Fm. Pontils i els de la Fm. Girona (Pallí, 1972).

En relació als materials de la Fm. Pontils, a l'estar formada per argiles, gresos i conglomerats amb una matriu predominantment argilosa, presenten una baixa permeabilitat i poden considerar-se com una unitat confinant. En canvi, les calcàries de la Fm. Girona han estat considerades pel SGC (1986) com un bon aqüífer, normalment carstificat a les zones properes al sistema de fractures. Aquest aqüífer presentaria transmissivitats de l'ordre dels 500-700 m²/d, permeabilitats de 10 m/d i un coeficient d'emmagatzematge de 3×10^{-5} .

Les fractures que afecten aquests materials també tenen una gran importància a l'hora de descriure el funcionament hidrogeològic de la zona. Com ja s'ha esmentat anteriorment, les fractures N-S i NO-SE de la zona de Girona, s'han relacionat amb els fenòmens de vulcanisme, i d'aigües termals de la zona. En estudis com el de París i Albert (1976), Viñals (1979) i del SGC (1986) es proposa que les aigües termals de la zona es troben lligades a les fractures anteriors.

Neogen.

Els materials del Neogen formen l'aqüífer sedimentari més important de la zona d'estudi, la recàrrega del qual, segons els estudis de l'ACA (2002) i Vilanova (2004), es produeix a través de fluxos laterals que provenen dels massissos adjacents, o bé, a partir dels fluxos verticals d'aigua que ascendeix a través de les fractures del sòcol de la depressió.

En relació a la tipologia de sediments, les capes que s'exploten a través dels nombrosos pous són les de llims argilosos, de sorres arcòsiques i graves, i les capes de conglomerats que no presenten un contingut massa elevat d'argiles. Cal destacar també, que aquests nivells explotats solen presentar-se en forma de llenties, sovint de dimensions modestes, i enterament rodejades per terrenys més argilosos i menys permeables. Aquestes llenties sorrenques, solen presentar potències que en general no superen els 10 m i una extensió compresa entre desenes de metres fins a 200-300 m (MOPU, 1985).

En els assaigs de bombeig realitzats pel MOPU (1985) es va observar que, en conjunt, la transmissivitat i la permeabilitat dels sediments neògens eren molt baixes (salvant els nivells més grollers) i es trobaven entre el 0,2 i 5 m²/dia (valors característics de les argiles sorrenques i les sorres argiloses).

Quaternari sedimentari.

Els materials al·luvials quaternaris de la zona, són els que formen l'aqüífer quaternari principal de la depressió. Dins aquest aqüífer s'ha diferenciat, principalment, l'aqüífer al·luvial de la riera de Sta. Coloma, i l'aqüífer al·luvial del riu Onyar.

Pel que respecta a les característiques hidràuliques de l'aqüífer al·luvial de la riera de Sta. Coloma, van ser descrites pel MOPU (1985). En aquest informe, es considera que la seva transmissivitat estaria al voltant dels 170-600 m²/dia, la permeabilitat entre 60 i 260 m/dia, i la porositat útil seria de l'ordre del 15%.

En el cas del riu Onyar i dels seus afluents, en un informe realitzat pels Servicios Técnicos de Aguas Potables de Sant Feliu de Guíxols (1974) es va establir que la transmissivitat dels dipòsits al·luvials d'aquest riu difícilment assoleixen els 100 m²/dia, situant-se normalment al voltant dels 50 m²/dia en els llocs on la mitjana era més òptima. També es considera que la porositat eficaç del conjunt es situa entre el 4 i 5 %, i que la potència màxima de l'aqüífer de la Gotarra s'assolia a Cassà, on conflueixen la Gotarra i la Verneda. També consideren que l'Onyar té una capacitat útil de 5 Hm³, i que la Gotarra de 2,5 Hm³.

1.4.3. Climatologia

La depressió de la Selva es troba situada a l'anomenada regió climàtica mediterrània. És per aquest motiu que presenta un règim temperat, que es caracteritza per unes precipitacions mitjanes no massa elevades (entre 700 i 900 mm/any) que es reparteixen, sobretot, en dues estacions, la primavera i la tardor. L'estiu, en canvi, és l'estació més seca i amb temperatures més altes, tot i que en aquesta època de l'any són habituals les pluges torrencials. Finalment, l'hivern és l'estació que presenta unes temperatures més baixes, tot i que difícilment són inferiors als 0° C. Pel que respecta a les precipitacions, en aquesta estació poden arribar a ser tan escasses com a l'estiu.

Dins les àrees que presenten aquest clima, la depressió de la Selva es caracteritza per ser una zona més humida de l'habitual, atès que es troba situada entre la serralada Litoral i la serralada Prelitoral. Mentre que la primera presenta una alçada moderada, la serra de les Guilleries suposa una barrera prou important com per fer augmentar les precipitacions de la zona i afectar així el règim climàtic.

En l'estudi de les dades climàtiques de les conques de l'Onyar i de la riera de Sta. Coloma s'ha utilitzat les dades de les estacions meteorològiques que l'Instituto Meteorológico Nacional i el Servei Meteorològic de Catalunya tenen situades en aquesta àrea. Les dades de precipitacions i temperatures mitjanes mensuals obtingudes amb les dades d'aquestes estacions es mostren a les Taules 1.1 i 1.2.

A la Taula 1.1 es pot observar que les precipitacions mitjanes anuals a la depressió són de l'ordre de 705,08 mm/any. Els mesos en què s'obtenen unes precipitacions més altes són a la tardor (amb una mitjana de 70,12 mm), seguit per la primavera (amb una mitjana de 63,3 mm) i finalment l'estiu i l'hivern (amb 52,5 i 49,1 mm, respectivament).

Si es fa aquesta mitjana a nivell de conca, s'observen certes diferències. A la conca del riu Onyar les precipitacions anuals són de l'ordre dels 750,05 mm/any i a la conca de la riera de Sta. Coloma, de 661,48 mm/any. Aquesta diferència en les precipitacions pot ser deguda a la manca de dades meteorològiques a la zona de les Guilleries. D'aquesta manera, la mitjana de les precipitacions a la conca de la riera de Sta. Coloma baixaria per la influència de les estacions situades a Lloret de Mar i a Sta. Coloma de Farners.

Pel que respecta a les temperatures, només hi ha 7 observatoris meteorològics on s'hi hagi portat a terme un registre d'aquest paràmetre: l'observatori d'Osor, el de l'aeroport de Girona, el de Girona, el del Bell-lloc de Girona, el del Pasteral, el de Sta. Coloma i el de Lloret de Mar. En alguns casos, les dades són antigues i incompletes (com a l'observatori d'Osor i en el del Pasteral), i en d'altres són només dels últims sis anys (com és el cas de les estacions del Servei Meteorològic de Catalunya a Sta. Coloma i a Lloret de Mar).

Estació	N.A.	%S	gen	feb	mar	abr	mai	juny	jul	ago	set	oct	nov	des	Anual
Aeroport	28	10,1	66,5	49,5	52,4	67,1	77,0	61,9	32,8	53,6	68,6	78,1	56,0	59,5	722,8
Caldes	10	21,1	44,9	46,8	60,3	47,6	58,6	41,7	17,0	80,7	83,2	100,0	34,3	59,3	674,4
El Pasteral	45	0,1	38,2	71,0	89,0	83,0	75,1	70,8	48,8	73,8	94,7	75,9	76,8	67,0	864,2
Fornells	5	4,8	44,1	41,2	40,8	72,2	75,8	48,0	36,0	37,6	78,2	98,8	34,9	38,0	645,6
Girona	65	1,2	41,4	53,8	71,9	71,0	81,8	61,5	42,4	62,2	85,5	103,0	64,0	69,4	808,0
Girona Bell-lloc	34	1,7	66,0	44,6	57,3	66,3	81,1	59,8	37,6	58,3	67,7	89,5	66,7	60,5	755,5
Girona Ferroc.	20	1,7	37,7	59,4	76,9	70,2	88,1	77,8	40,1	54,8	73,5	87,5	88,1	62,8	816,9
Llambilles		10,6	61,3	39,4	72,5	77,4	73,5	58,2	36,9	67,6	89,6	126,2	60,4	103,3	866,4
Lloret de Mar	6	5,4	47,5	16,8	19,2	59,8	56,4	37,7	27,8	36,6	68,8	50,9	69,9	53,4	544,8
Osor	23	4,4	54,7	64,6	95,4	91,6	109,2	69,1	55,2	81,1	73,7	95,3	45,6	99,8	935,4
Salt	4	0,02	22,1	26,5	94,0	80,5	81,0	68,9	68,5	47,9	83,8	30,9	90,5	103,1	797,6
Sta. Cristina	30	7,2	77,0	53,6	59,6	66,2	64,8	53,6	27,9	48,0	80,7	106,6	76,9	64,0	779,0
Sta. Coloma	7	31,8	61,5	35,2	23,6	67,4	70,2	59,3	38,1	35,7	52,8	82,4	46,6	67,9	640,7
Mitjana aritmètica	--	--	55,18	50,98	66,43	74,63	84,34	65,92	44,01	62,04	78,58	91,43	68,61	73,44	757,8
Mitjana per Thiessen	--	--	57,11	42,28	47,86	65,16	70,29	54,40	32,42	54,46	70,74	92,13	50,51	67,72	705,08

Taula 1.1: Precipitacions mitjanes mensuals de les diferents estacions de la depressió de la Selva. N.A. nombre d'anys dels que se'n té registre. %S percentatge de superfície que es té en compte a l'hora de realitzar la mitjana Thiessen.

Estació	N.A.	%S	gen	feb	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	oct	nov	des	Anual
Aeroport	31	29,1	7,0	8,0	10,2	11,9	15,9	19,9	23,0	23,1	19,8	15,4	10,5	7,7	14,4
El Pasteral	34	0,09	7,6	9,0	10,9	13,6	17,3	20,9	23,4	23,6	20,5	15,8	11,5	8,1	15,3
Girona	67	0,01	7,3	8,4	10,7	14,5	18,7	20,5	23,2	23,1	20,5	16,0	11,0	7,9	14,9
Girona Bell-lloc	33	14,0	7,2	8,0	10,2	12,3	16,1	20,4	23,4	23,5	20,2	15,7	10,5	7,6	14,3
Lloret de Mar	6	17,6	8,8	10,0	12,7	13,7	17,7	21,7	23,4	24,0	20,7	17,0	11,7	9,1	15,7
Osor	12	4,6	6,5	7,8	9,7	12,6	16,6	20,4	23,5	23,0	19,7	15,8	10,1	6,3	14,5
Sta. Coloma	6	34,7	7,9	8,9	11,9	13,2	17,4	21,4	23,2	23,7	20,1	16,6	10,5	7,7	15,1
Mitjana Aritmètica	--	--	7,3	8,4	10,8	12,9	16,9	20,6	23,3	23,3	20,1	15,9	10,7	7,7	14,7
Mitjana per Thiessen	--	--	7,6	8,7	11,2	12,7	16,8	20,8	23,2	23,5	20,1	16,1	10,7	7,9	14,9

Taula 1.2: Temperatures mitjanes mensuals de les diferents estacions meteorològiques de la depressió de la Selva. N.A. nombre d'anys dels que se'n té registre. %S: percentatge de superfície que es té en compte a l'hora de realitzar la mitjana de Thiessen.

A partir de la Taula 1.2 es pot extreure que les temperatures mitjanes màximes s'obtenen en els mesos de juliol i agost, superant els 23° C, i les mínimes s'obtenen al desembre i gener, al no superar els 8° C de mitjana.

A partir de les dades de les dues taules anteriors (Taula 1.1 i 1.2) s'ha construït els diagrames ombromètrics de la Figura 1.9. Per tal de construir un diagrama ombromètric fiable cal tenir un registre de dades continu de com a mínim 25 anys. Aquest requisit el compleixen les estacions meteorològiques de l'Aeroport Girona-Costa Brava, El Pasteral i Girona. En el cas d'Osor, Sta. Coloma i Lloret, el registre de dades meteorològiques és de 12, 7 i 6 anys, respectivament.

En aquests diagrames es pot observar com en general les precipitacions més baixes s'assoleixen als mesos d'estiu, coincidint amb les temperatures més altes. I les precipitacions màximes es registren durant els mesos de primavera i de tardor.

1.Introducció.

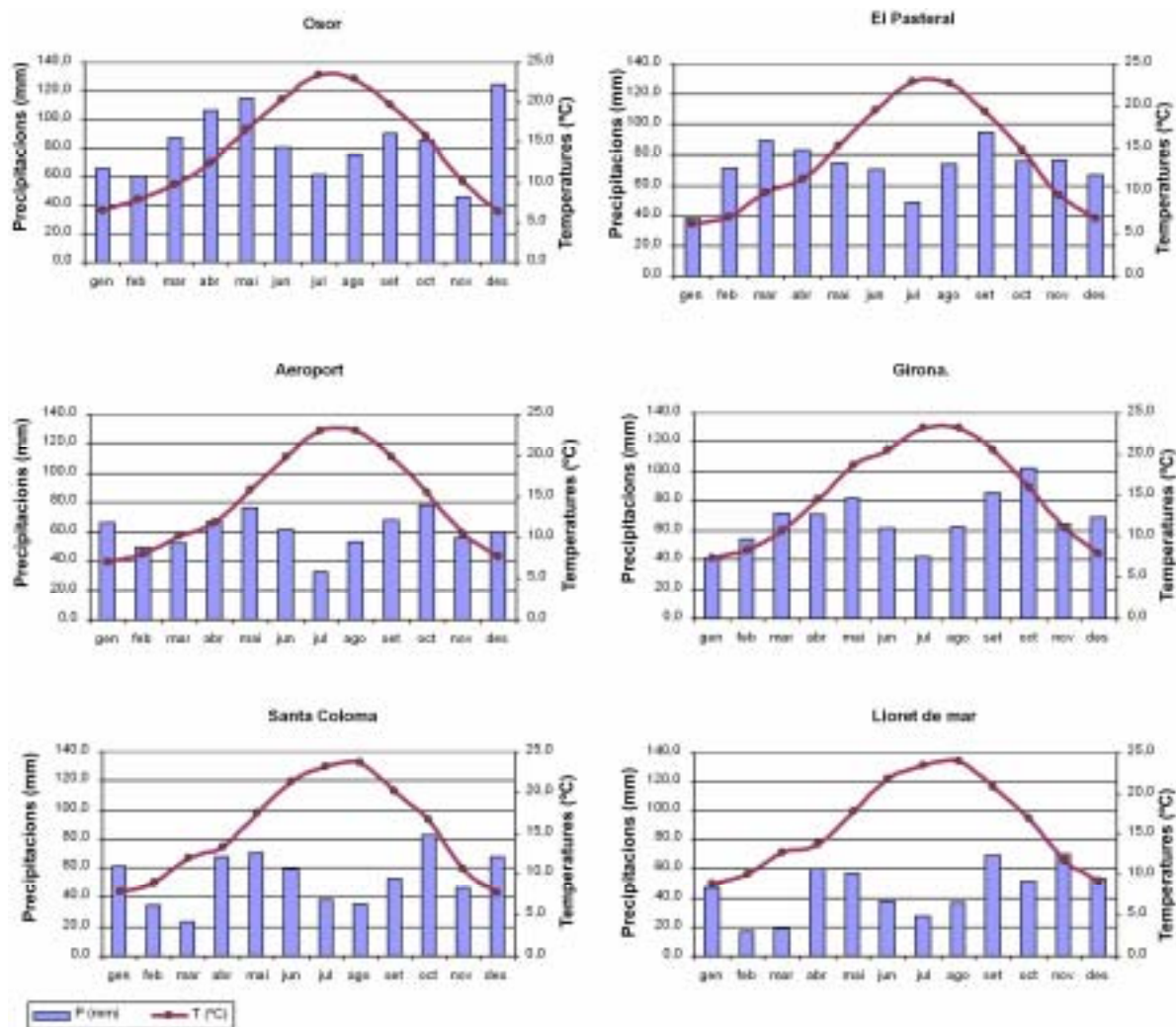


Figura 1.9: Diagrames ombromètrics de les estacions meteorològiques de Osor, el Pasteral, l'Aeroport Girona-Costa Brava, Girona, Sta. Coloma i Lloret de Mar.

El balanç hídric.

El balanç hídric és un balanç de massa que permet determinar la distribució dels recursos hídrics d'una conca de manera aproximada. Per tal d'obtenir-lo, s'utilitza la següent funció:

$$P = EVT + ES + I$$

on:

P = precipitacions.

EVT = evapotranspiració.

ES = escorrentia superficial.

I = infiltració.

Les dades necessàries per poder-lo aplicar són les precipitacions i temperatures mitjanes de la conca. Per tal d'obtenir aquestes mitjanes s'ha utilitzat el mètode dels polígons de Thiessen. Aquest mètode, en comptes de donar un pes igual a totes les estacions a l'hora de calcular els valors mitjans de les

temperatures i precipitacions, assigna com a domini de cada estació meteorològica un polígon convex que l'envolta (Custodio i Llamas,1976), que és proporcional a la importància de les dades d'aquella estació. Així, es considera que les estacions que tenen un pes més gran són les que estan allunyades de la resta.

L'evapotranspiració és un paràmetre que englobaria l'aigua que es perd per evaporació i la que es perd per la transpiració dels vegetals. A partir de les dades meteorològiques disponibles (precipitacions i temperatures mitjanes mensuals) es pot calcular l'evapotranspiració a partir de les fórmules següents (Sánchez, 1992):

- a) Fórmula de Coutagne: L'evapotranspiració real (ETR) calculada en metres, es dedueix de la precipitació anual mitjana, P (en metres), i de la temperatura anual mitjana, T (en °C), amb la fórmula:

$$ETR = P - \lambda P^2$$

on:

$$\lambda = \frac{1}{(0.8 + 0.14T)}$$

- b) Fórmula de Turc: Turc adaptà la família de corbes $ETR=f(P,T)$ establerta a partir de les observacions fetes a 254 conques arreu del món, a l'expressió matemàtica:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{(0.9 + \frac{P^2}{L^2})}}$$

On ETR (evapotranspiració real) i P (precipitació) són en mil·límetres, i T (temperatura mitjana inclosa en L) és en °C. L'expressió L és,

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

- c) Fórmula de Thornthwaite: El mètode de Thornthwaite emprà la temperatura com un índex de l'energia disponible per evapotranspiració; és a dir $ETR=f(T)$. Assumeix que la temperatura de l'aire està correlacionada amb els efectes integrats de la radiació neta i amb els altres factors ambientals que controlen la ET. El mètode de Thornthwaite estima la evapotranspiració potencial (ETP) mensual, en base a les dades de temperatura mensual mitjana, amb els següents estadis:

- Calcular els índexs tèrmics mensuals (i_n) a partir de les temperatures mitjanes mensuals (t_n):

$$i_n = \left(\frac{t_n}{5}\right)^{1.514}$$

- Sumar els índexs tèrmics mensuals per calcular l'índex tèrmic anual (I), i calcular el paràmetre α ,

$$I = \sum i_n$$

$$\alpha = 0.49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3$$

1. Introducció.

- Calcular el valor de l'evapotranspiració potencial ajustada per un mes de 30 dies, cadascun d'ells amb 12 hores de sol:

$$EP_a = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^\alpha$$

- Finalment, l'evapotranspiració per un mes determinat vindrà donada per:

$$E_{tp} (mm/mes) = EP_a \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right)$$

on:

N: nombre màxim d'hores de sol.

NDM: nombre de dies del mes considerat.

Finalment, es pot calcular la escorrentia superficial de la conca a partir de les dades obtingudes a l'estació d'aforament del riu Onyar a Girona. En el cas de la riera de Sta. Coloma, l'estació d'aforament d'aquesta riera presenta problemes de mesura i les dades disponibles no són massa fiables, pel que fa a aquest paràmetre. És per aquest motiu que el balanç hídric per aquesta conca no s'ha realitzat.

Així, només quedaria una incògnita, la quantitat d'aigua que s'infiltra, que és el valor obtingut a la Taula 1.3. En aquest sentit, a partir de les dades d'aquesta taula es pot observar que el balanç hídric a la conca del riu Onyar està en equilibri:

- Si tenim en compte l'evapotranspiració potencial, calculada a través de les equacions de Thornthwaite, podria semblar que es tracta d'una conca deficitària atès que la infiltració obtinguda és negativa. Cal destacar però, que aquest paràmetre no té en compte les precipitacions mensuals i que es tracta de la taxa màxima d'evaporació d'una superfície per un cultiu verd, sense limitació en el subministrament hídric. Així, en el càlcul de l'ETP pel mètode de Thornthwaite es sobredimensiona els valors de ETP donant lloc a una ETP massa elevada per aquesta zona, tant anualment com mensualment.
- D'altra banda, a l'aplicar les equacions de Turc i Coutagne, els valors d'evapotranspiració real s'aproximen molt a 0. Aquests resultats evidencien el fet que, en aquesta conca, la quantitat d'aigua que hi entra anualment a través de les precipitacions, és molt similar a la que en surt per evapotranspiració i escorrentia superficial.
- Malgrat ser una aproximació parcial, denota que a la conca de l'Onyar la recàrrega profunda d'aigües subterrànies és molt limitada i restringida a les zones més elevades de les Gavarres o Guillerries.

Mètode	P (mm/any)	EVT (mm/any)	ES (mm/any)	I (mm/any)
Thornthwaite	750,05	783,34	194,56	-227,85
Turc	750,05	571,11	194,56	-15,62
Coutagne	750,05	553,13	194,56	2,36

Taula 1.3: Balanç hídric a la conca del riu Onyar. P: precipitació, EVT: evapotranspiració (potencial o real), ES: escorrentia superficial, I: infiltració.

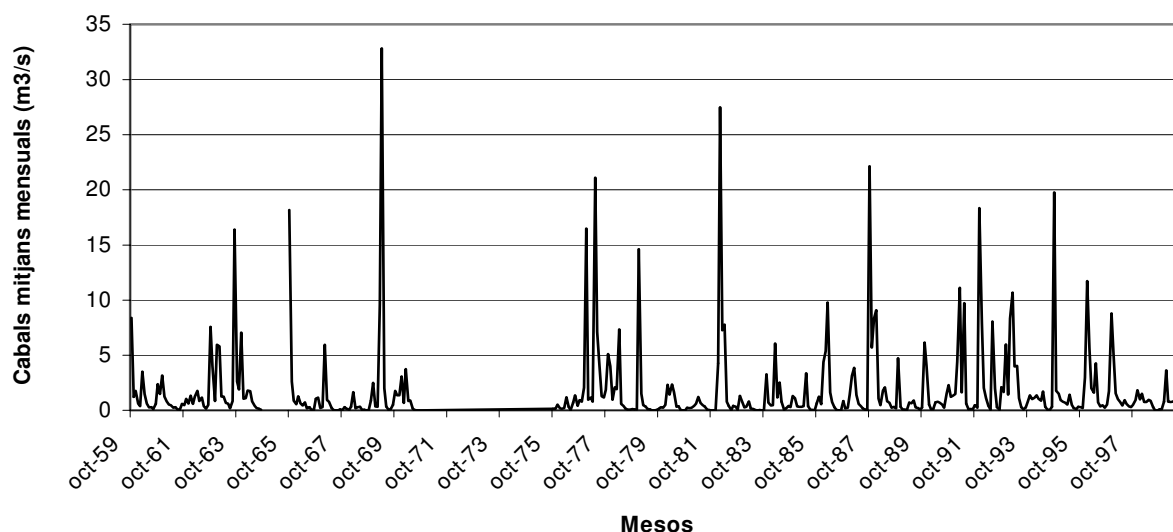


Figura 1.11: Variació del cabals mitjans mensuals entre 1959 i 1999 en l'estació d'aforament del riu Onyar a Girona.

En el cas de la riera de Sta. Coloma les dades de cabals existents són escasses i de poca qualitat. En aquest sentit no se n'ha realitzat el seu estudi.

1.4.5. L'ús de l'aigua.

El subministrament.

L'escassetat dels recursos hídrics i les seves característiques creen la necessitat de realitzar un estudi que inclogui tant de la seva disponibilitat, com del seu ús, i així poder determinar si la gestió que s'està portant a terme és o no sostenible.

És per aquest motiu que s'ha realitzat una recopilació de dades sobre els volums d'aigua utilitzats, a nivell de la depressió de la Selva. En aquest sentit, s'han distingit els següents usos:

- Abastament urbà: inclou les dades facilitades per les diverses empreses subministradores tant dels volums d'aigua per a consum de boca, com la que utilitzen les indústries connectades a la xarxa municipal. També s'han obtingut les dades d'algunes de les urbanitzacions de la depressió com són les urbanitzacions de Can Carbonell, Aigües Bones, el Llac del Cigne i Malavella Park de Caldes de Malavella, les urbanitzacions de Montbarbat i Mas Altaba de Maçanet de la Selva, les urbanitzacions de la Canyera, la Mata, Selva Brava i Font Bona de Llagostera, i la Goba de Vidreres.
- Agricultura: s'ha realitzat una estimació del consum agrícola a partir de les dades sobre superfícies i tipologies de conreus (facilitades pels DARP del Gironès i la Selva), de les dades de les necessitats hídriques de cada conreu (Allen et al., 1998; Ministry of Agriculture Food and Fisheries, 2002) i tenint en compte el tipus de sòls de la zona d'estudi (Danés, 1984 i Ros, 1997).
- Ramaderia: també s'ha realitzat una estimació a partir de les dades sobre el nombre de caps de bestiar (facilitades pels DARP del Gironès i la Selva), i de les dades sobre el consum estimat de cada tipus de bestiar (Markwick, 2002; Grooms, 2003; Marx, 2005).
- Indústria: s'ha recopilat les dades i estimacions registrades per l'ACA.

L'abastament municipal.

A les Taules 1.4 i 1.5 es mostren els consums d'aigua per a l'abastament urbà dels diversos municipis de la depressió a l'any 2003. També s'ha diferenciat l'origen de l'aigua, atès que una part dels municipis s'abasten a partir d'aigües superficials, com el transvasament del Pasteral cap a la Costa Brava Centre o l'abastament de Brunyola a partir de l'aigua de l'Onyar, i la resta a través de captacions d'aigües subterrànies.

Municipi	Origen	1er	2on	3er	4art	Anual	C	R
Aiguaviva	subterrani	17.820	43.775	25.627	19.079	106.301	216	85
Brunyola	superficial	2.205	1.906	2.147	1.094	7.352	53	--
Caldes de Malavella	subterrani	34.319	48.713	53.805	33.259	170.096	1.286	64
Campllong	subterrani	2.725	3.653	3.394	2.302	12.074	43	--
Cassà de la Selva	subterrani	93.187	94.962	94.713	104.374	387.236	3.300	92
Cassà de la Selva	superficial	31.148	59.966	72.786	24.294	188.193	3.300	92
Fornells de la Selva	subterrani	23.956	39.089	53.386	29.401	145.832	585	62
Girona + Salt + Sarrià	superficial	1.602.675	1.706.269	2.034.079	1.764.674	7.107.697	53.498	83
Llagostera	superficial	9.497	13.369	30.636	20.474	73.977	2.523	65
Llagostera	subterrani	50.899	59.979	49.494	18.814	179.186	2.523	65
Llambilles	superficial	5.040	11.275	15.384	5.605	37.304	105	--
Maçanet de la Selva	subterrani	61.667	94.281	147.282	90.263	393.493	2.208	69
Quart	superficial	20.177	46.787	41.082	29.394	137.440	765	69
Riudarenes	subterrani	18.324	23.461	24.297	25.809	91.891	502	67
Riudellots de la Selva	subterrani	40.412	55.490	66.317	52.712	214.931	595	71
Sils	subterrani	66.344	99.532	102.101	69.542	337.519	1.080	73
Sta. Coloma de Farners	subterrani	150.996	190.726	258.707	175.676	776.105	4.808	68
Vidreres	subterrani	82.109	122.068	81.582	67.315	353.074	1.822	79
Vilobí d'Onyar	subterrani	15.874	26.042	43.332	22.000	107.248	802	56
Total subterrani (m ³)		658.632	901.771	1.004.037	710.546	3.274.986		
Total superficial (m ³)		1.670.741	1.839.572	2.196.114	1.845.536	7.551.963		
Total (m ³)		2.329.373	2.741.343	3.200.152	2.556.081	10.826.949		
Superficial sense Girona (m ³)		68.066	133.303	162.035	80.862	444.266		
Total sense Girona (m ³)		726.698	1.035.074	1.166.073	791.407	3.719.252		

Taula 1.4: Volum d'aigua trimestral subministrat als diversos municipis per a consum de boca i industrial durant el 2003 (en m³; dades facilitades per PRODAISA, SOREA, Aigües de Girona, Salt i Sarrià i Aqualia). C: núm. de comptadors i R: rendiment de la xarxa de subministrament (%).

En aquest sentit, a la Taula 1.4 es pot observar com la major part dels municipis de la zona d'estudi s'abasten a través d'aigües subterrànies. D'altra banda, degut a problemes en el subministrament, principalment per la presència de nitrats o fluorurs en aquestes aigües, o bé per problemes en la quantitat d'aigua que poden subministrar els diversos pous municipals, alguns d'aquests municipis han començat a utilitzar les aigües del transvasament del Pasteral a la Costa Brava Centre. Aquest és el cas de Quart, Llambilles, Cassà de la Selva i Llagostera, que en alguns casos combinen les aigües superficials amb les subterrànies, i en d'altres consumeixen exclusivament aigües del Pasteral. En altres municipis com Riudellots de la Selva i Caldes de Malavella, també s'han plantejat connectar-se a aquest transvasament per problemes amb els fluorurs o l'arsènic.

1. Introducció.

Urbanització	Municipi	1er	2on	3er	4art	Anual	C	R
Can Carbonell	Caldes de Malavella	6.476	23.697	60.668	14.589	105.430	365	80
Aigües Bones	Caldes de Malavella	4.430	14.541	19.186	6.254	44.411	333	66
Llac del Cigne	Caldes de Malavella	5.768	14.775	20.319	7.857	48.719	450	75
Montbarbat	Maçanet de la Selva	6.600	14.558	42.413	16.328	79.899		51
Sta. Coloma Residencial	Sta. Coloma	12.083	33.382	53.517	17.488	116.470		67
King Park	Sils	2.831	8.864	8.648	4.714	25.057		--
Mas Altaba	Maçanet de la Selva	6.910	13.079	33.104	14.027	67.120		55
Canyera + Mata + Selva Brava + Font Bona	Llagostera					63.382	547	
Malavella Park	Caldes de Malavella					7.157	85	
la Goba	Vidreres					17.070	166	
Total		45.098	122.896	237.855	81.257	574.715		

Taula 1.5: Volum d'aigua subministrat d'algunes de les urbanitzacions de la depressió durant el 2003 (en m³; dades facilitades per PRODAISA, SOREA i Rec Madral). C: núm. de comptadors i R: rendiment de la xarxa de subministrament (%).

D'altra banda, tot i que la major part de municipis s'abasten a través d'aigües subterrànies, el volum d'aigües superficials utilitzades és més gran, atès que dins el grup de municipis que utilitzen aquesta font hi ha tota l'àrea urbana de Girona (inclosos Salt i Sarrià de Ter).

Tant a la Taula 1.4 com a la Taula 1.5 es pot observar com els consums d'aigua més elevats es produeixen durant l'estiu. En el cas de les urbanitzacions, aquests consums poden arribar a ser quatre vegades superiors als de l'hivern i fins i tot superar els consums de poblacions més grans. Les diferències entre estiu i hivern es deuen a que la major part dels seus habitatges són segones residències. I a més, es tracta d'edificacions de baixa densitat, sovint amb jardí i piscina, cosa que incrementa encara més la demanda l'aigua durant els mesos més secs i calorosos.

En general, les pèrdues de rendiment en les xarxes de subministrament depenen de diversos factors com: diferències entre els rangs d'unitats utilitzats en els aparells de mesura del cabal a l'entrada de la xarxa i als comptadors dels usuaris; l'ús dels hidrants per part dels bombers; en alguns municipis també s'utilitza l'aigua de la xarxa per a la neteja dels carrers; i també es poden produir pèrdues en la xarxa. En les Taules 1.4 i 1.5 es pot observar com, en general, el rendiment de les xarxes de subministrament d'alguns municipis i urbanitzacions és baix. Sobretot destaquen, Vilobí d'Onyar i les urbanitzacions de Montbarbat i Mas Altaba, en què aquests baixos rendiments es deuen, principalment, a pèrdues en la xarxa de subministrament. En el cas de Vilobí però, aquestes pèrdues ja ha estat solucionades, gràcies a millores en la xarxa.

A partir de les dades de consums de les Taules 1.4 i 1.5, i de les dades de població dels diferents nuclis (o del núm. de comptadors en els casos en què no es disposa de dades de la població), s'ha calculat la mitjana del consum de la població en litres per habitant i dia (l/hab i dia) que són els que s'exposen a la Taula 1.6. Si bé els resultats en alguns casos poden ser esbiaixats, per la presència de indústries que s'abasteixen a través de la xarxa municipal i possibles errors en el nombre d'habitants (en el cas de les urbanitzacions, per exemple, les famílies que hi tenen una segona residència no hi solen estar empadronades), sí que són indicatius del tipus de consum que es produeix en els diversos nuclis de població estudiats.

Tal i com s'observa a la Taula 1.6 les mitjanes de consum més altes (molt superiors als 150 l/hab i dia) es produeixen en els nuclis de població on hi predominen els habitatges de baixa densitat, com Aiguaviva, Campllong, Fornells de la Selva i Llambilles. Altres casos on també aquesta mitjana és alta són els nuclis de Riudellots de la Selva i Sils, on a més dels consums urbans, part de la indústria d'aquests municipis s'abasta a través de la xarxa municipal.

Pel que respecta a les urbanitzacions, es produeixen consums elevats en gairebé totes elles, exceptuant a Aiguës Bones i el Llac del Cigne, on, a diferència de la resta d'urbanitzacions de les que se'n disposa de dades, la proximitat amb les línies de comunicació ha fet que, en molts casos, s'hagi passat de segones a primeres residències.

A la Taula 1.6 també s'observa que la mitjana de consum augmenta molt en els mesos d'estiu, sobretot en els municipis on hi ha moltes cases amb jardí i/o piscina en el nucli urbà. Els casos més evidents són Aiguaviva, Fornells de la Selva, Llambilles, Maçanet de la Selva, Quart i Vilobí d'Onyar, on la mitjana de consum es duplica entre el primer trimestre i, el segon o tercer trimestre de 2003. I el mateix succeeix en les urbanitzacions, on en totes l'increment entre els mesos d'hivern i els mesos de primavera i estiu és molt important (1,9 a 9,2 vegades el consum durant l'hivern). En aquest últim cas però, a més dels jardins i piscines, també hi intervé la temporalitat en què s'ocupen aquests habitatges.

Municipi	1er	2on	3er	4art	Anual
Aiguaviva*	366,7	890,8	515,8	388,3	539
Brunyola*	184,9	158,1	176,1	90,7	152,0
Caldes de Malavella*	118,6	166,5	181,9	113,7	145,0
Campllong	242,2	321,1	295,1	202,4	264,6
Cassà de la Selva	181,4	229,7	247,6	198,0	213,8
Fornells de la Selva	213,5	344,5	465,3	259,1	320,4
Girona+Salt+Sarrià	162,4	171,0	201,7	176,9	177,6
Llagostera	164,4	194,0	245,4	139,3	185,5
Llambilles	254,5	563,2	760,1	280,0	464,6
Maçanet de la Selva	269,3	407,3	629,3	389,9	423,8
Quart	137,3	314,8	273,4	197,8	230,6
Riudarenes	197,7	250,3	256,4	275,4	244,4
Riudellots de la Selva*	301,9	409,9	484,6	389,4	395,9
Sils	343,2	509,2	516,7	355,8	430,5
Sta. Coloma de Farners*	139,6	174,4	233,9	160,6	176,9
Vidreses*	200,3	294,5	194,7	162,4	212,4
Vilobí d'Onyar*	88,0	142,7	234,9	120,6	146,5
Urbanització	1er	2on	3er	4art	Anual
Can Carbonell*	79	285	723	176	317
Aiguës Bones*	59	192	251	83	146
Llac del Cigne*	57	144	196	77	119
Montbarbat	208	453	1.306	508	620
King Park	185	573	553	305	404
Mas Altaba	236	441	1.104	473	564

Taula 1.6: Consum d'aigua domèstica en l/hab i dia al 2003. Els nuclis que presenten un * s'ha realitzat el càlcul agafant el nombre d'habitants com el nombre de comptadors multiplicat per 2,5.

L'agricultura i ramaderia.

A la Taula 1.7 es presenta una estimació del consum d'aigua per a l'agricultura i ramaderia, en cadascun dels municipis de la conca del riu Onyar i de la riera de Sta. Coloma.

En el cas de l'agricultura, per tal de realitzar el càlcul de la quantitat d'aigua necessària per al reg, s'ha realitzat una estimació del dèficit hídric en funció de la tipologia de conreu, el tipus de sòl i les dades meteorològiques de les que es disposava. D'altra banda, aquesta estimació no inclou les pèrdues que tenen els diversos sistemes de reg utilitzats, ni els consums de cultius com les

1. Introducció.

plantacions de pollancre, plàtans ni tampoc dels vivers, presents en aquestes conques i dels que no se n'ha pogut obtenir les dades suficients per a realitzar-ne l'estimació.

En el cas de la ramaderia, només s'ha comptabilitzat les necessitats hídriques en funció de les diverses tipologies i estadis de creixement dels caps de bestiar, sense considerar l'aigua necessària per a la neteja i manteniment de les instal·lacions.

D'aquesta manera, es pot considerar que, es tracta d'una subestimació de la quantitat d'aigua necessària tant per l'agricultura com per la ramaderia.

Municipi	Agricultura							Ramaderia		Total
	ha	1er	2on	3er	4art	Total (m ³)	Hm ³	m ³	Hm ³	Hm ³
Aiguaviva	703	0	100.079	716.126	0	816.205	0,82	79.821	0,08	1,06
Brunyola	576	0	25.347	406.489	0	431.836	0,43	43.275	0,04	0,48
Caldes de Malavella	1390	0	156.855	951.935	0	1.108.790	1,11	153.372	0,15	1,46
Campllong	741	0	147.532	820.370	0	967.902	0,97	120.198	0,12	1,27
Cassà de la Selva	2081	0	323.413	1.746.013	0	2.069.426	2,07	209.547	0,21	2,93
Fornells de la Selva	655	0	95.177	531.397	0	626.574	0,63	28.161	0,03	0,75
Girona	379	0	78.212	286.956	0	365.168	0,37	23.383	0,02	0,48
Llagostera	1702	0	255.674	1.376.761	0	1.632.435	1,63	263.570	0,26	2,21
Llambilles	440	0	104.862	731.086	0	835.949	0,84	28.174	0,03	1,08
Maçanet de la Selva	1016	0	149.761	541.454	0	691.215	0,69	95.143	0,10	1,13
Quart	406	0	79.600	333.688	0	413.288	0,41	65.419	0,07	0,59
Riudarenes	844	0	76.637	238.460	0	315.097	0,32	101.110	0,10	0,62
Riudellots de la Selva	844	0	76.262	789.738	0	865.999	0,87	47.120	0,05	1,18
St. Andreu Salou	357	0	36.526	355.423	0	391.949	0,39	88.371	0,09	0,53
Sta. Coloma.	385	0	18.989	243.048	0	262.037	0,26	5.195	0,01	0,36
Sils	878	0	126.383	379.777	0	506.160	0,51	20.100	0,02	0,72
Vidreres	848	0	115.281	418.548	0	533.829	0,53	26.315	0,03	0,74
Vilobí d'Onyar	1640	0	190.603	1.397.124	0	1.587.727	1,59	190.278	0,19	2,13
Total	15.885	0	2.157.192	12.264.395	0	14.421.587	14,42	1.588.551	1,59	16,01

Taula 1.7: Estimació del consum de l'agricultura i ramaderia a partir de les dades facilitades pels DARP de la Selva i del Gironès per l'any 2003.

De la mateixa manera que pels consums urbans, les necessitats d'aigua més importants de l'agricultura es produeixen durant l'estiu. Depenent de si es considera Girona dins de la zona d'estudi (atès que es troba dins l'àrea d'influència del Ter), el percentatge d'aigua utilitzada per aquest ús varia substancialment, passant del 42,9 % quan es considera Girona al 63,0 %, quan no s'hi considera (Figura 1.12). En aquest sentit, l'agricultura és el sector que presenta un consum d'aigua més elevat i sobretot concentrat durant els mesos d'estiu, quan les precipitacions són mínimes.

La indústria.

Pel que respecta al consum industrial, s'observa que moltes de les indústries de la zona, que presenten consums d'aigua elevats, a més d'estar connectades a la xarxa de subministrament municipal, complementen les seves necessitats a través de pous propis. Segons les estimacions de l'Agència Catalana de l'Aigua (Taula 1.8) les indústries de les conques del riu Onyar i la riera de Sta. Coloma consumeixen uns 6,811 Hm³ d'aigua a partir de les fonts pròpies, a més dels volums inclosos dins del subministrament municipal.

Municipi	Superficials (m ³)	Subterrànies (m ³)	Total (m ³)	Total (Hm ³)
Aiguaviva	0	41.666	41.666	0,041
Brunyola	0	6.000	6.000	0,006
Caldes de Malavella	0	1.049.329	1.049.329	1,049
Campllong	0	155.632	155.632	0,156
Cassà de la Selva	0	99.090	99.090	0,099
Fornells de la Selva	0	224	224	0,0002
Girona	0	3.629.631	3.629.631	3,630
Llagostera	0	45.435	45.435	0,045
Llambilles	0	48.283	48.283	0,048
Maçanet de la Selva	0	52.105	52.105	0,052
Quart	0	9.786	9.786	0,010
Riudarenes	6127	61.393	67.520	0,067
Riudellots de la Selva	0	389.151	389.151	0,389
St. Andreu Salou	0	0	0	0,000
Sta. Coloma de Farners	0	552.285	552.285	0,552
Sils	0	46.066	46.066	0,046
Vidreres	0	209.670	209.670	0,210
Vilobí d'Onyar	0	408.716	408.716	0,409
Total	6.127	6.804.462	6.810.589	6,811

Taula 1.8: Volum d'aigua utilitzat per la indústria a través de fonts pròpies (font: ACA)

En aquest sentit, i tal i com s'observa a la Figura 1.13, la indústria és el tercer sector que consumeix més aigua (considerant només l'aigua que obté a través de fonts pròpies), després de l'agricultura i l'ús domèstic.

Les aigües residuals.

Les estacions depuradores d'aigües residuals municipals.

A la Taula 1.9 es presenten els sistemes de sanejament que hi ha en l'actualitat en funcionament i que aboquen les seves aigües tractades a les conques del riu Onyar i la riera de Sta. Coloma. A més, també es presenten els nuclis sanejats per cadascuna d'aquestes depuradores. En aquest sentit, es pot observar com tots els nuclis urbans més importants ja disposen d'un tractament de les seves aigües residuals.

D'altra banda, la major part dels nuclis petits no tenen un sanejament adequat de les aigües residuals. En aquest sentit, l'ACA, a través del Pla de Sanejament d'Aigües Residuals Urbanes del 2005, preveu sanejar tots els nuclis de població de menys de 2000 habitants de Catalunya per tal d'assolir el bon estat ecològic dels cursos fluvials, tal i com estableix la Directiva Marc de l'Aigua.

Així, a més de millores en els sistemes actuals, en aquest pla també hi ha també previstes les actuacions que es consideren a la Taula 1.10.

1. Introducció.

Conca	Depuradora	Nuclis servits
Riera de Sta. Coloma	Caldes de Malavella	Nucli urbà de Caldes de Malavella, i les urbanitzacions d'Aigües Bones i del Llac del Cigne.
	Maçanet de la Selva	Nucli urbà de Maçanet de la Selva, polígon industrial de Puigtió i el Molí.
	Riudarenes	Nucli urbà de Riudarenes.
	Sta. Coloma de Farners	Sta. Coloma de Farners i la urbanització de Sta. Coloma Residencial.
	Sils-Vidrerres	Nucli urbà de Sils, nucli urbà de Vidrerres, urb. Les Comes i Vallcanera residencial, polígon industrial Bosc de Can Cuca, les Mallorquines, urb. el Mas Flacià, el Pla de la Font, les Serres, urb. Can Borrell.
Riu Onyar	Campllong*	Indústria càrnica i nucli urbà de Campllong.
	Cassà de la Selva	Nucli urbà de Cassà de la Selva, nucli urbà de Llagostera, urb. La Mata, la Canyera, Creu de Serra, Mont-rei, els Escuts
	Quart	Nucli urbà de Quart, el Raval, els veïnats d'Erols i la Bruguera i algunes cases del disseminat de l'església.
	Riudellots de la Selva	Nucli urbà de Riudellots de la Selva, i polígon industrial.
	Vilobí d'Onyar	Nucli urbà de Vilobí d'Onyar,

Taula 1.9: Estacions depuradores principals de la zona d'estudi. En el cas de Campllong, la depuradora és d'una indústria, que a més de les seves aigües tracta les del nucli urbà (Font: ACA).

Escenari	Codi	Actuació	Municipi
2005-2008	CMV	Eliminació d'aigües blanques	Caldes de Malavella
	CDMG	EDAR i col·lectors de Can Solà Gros I	Caldes de Malavella
	CDS	Reducció de nutrients de l'EDAR de Cassà de la Selva-Llagostera	Cassà de la Selva
	GIR	Col·lectors	Fornells de la Selva
	GIR	Xarxa de sanejament en alta del P.E. la Creueta a Girona	Girona
	GIR	Col·lector del carrer Marquès de Caldes de Montbui.	Girona
	GIR	Ampliació de l'estació depuradora d'aigües residuals del sistema Girona	Girona
	GIR	Col·lectors en alta de connexió al sistema Girona	Girona
	LBLC	EDAR i col·lectors de Llambilles	Llambilles
	MDS	Ampliació de l'EDAR	Maçanet de la Selva
	MDSP	EDAR i col·lectors dels Pantans de Montbarbat.	Maçanet de la Selva
	MDSB	EDAR i col·lectors en alta del nucli de Maçanet Residencial.	Maçanet de la Selva
	MSMA	EDAR i col·lectors de El Mas Altaba	Maçanet de la Selva
	RDRF	EDAR i col·lectors de Can Fornaca	Riudellots de la Selva
	SIV	Ampliació de la capacitat de tractament de l'EDAR de Sils	Sils
	SIV	Reducció de nutrients a l'EDAR de Sils-Vidrerres	Sils
	VIDT	EDAR i col·lectors de Torrefortuna	Vidrerres
VBO	Reducció de nutrients	Vilobí d'Onyar	
2009-2011	FDSB	EDAR i col·lectors de la Barceloneta	Fornells de la Selva
	LGTS	EDAR i col·lectors de Selva Brava	Llagostera
	LGTF	EDAR i col·lectors de Fontbona	Llagostera
	SAS	EDAR i col·lectors de St. Andreu Salou	St. Andreu Salou
	VBOS	EDAR i col·lectors de Salitja	Vilobí d'Onyar
2012-2014	CMVF	EDAR i col·lectors de Franciac	Caldes de Malavella
	CMV	Col·lectors en alta de connexió al sistema de Caldes de Malavella.	Caldes de Malavella
	CMLG	EDAR i col·lectors de Campllong	Campllong
	RDRE	EDAR i col·lectors de l'Esparra	Riudarenes
	RDR	Col·lectors en alta de connexió al sistema de Riudarenes	Riudarenes
	SCF	Col·lectors en alta de connexió al sistema de Sta. Coloma de Farners	Sta. Coloma de Farners
	SIV	Col·lectors en alta de connexió al sistema de Sils-Vidrerres	Sils
VDOD	EDAR i col·lectors de St. Dalmaí	Vilobí d'Onyar.	

Taula 1.10: Actuacions previstes en el PSARU-2005.

A la Taula 1.11 es presenten els volums trimestrals (en m³) i el volum total (en Hm³) d'aigua sanejada per les diferents depuradores que aboquen a la conca del riu Onyar i de la riera de Sta. Coloma. Si es comparen aquests resultats amb l'aigua consumida en aquesta zona (Taules 1.4 i 1.5) es pot observar que el volum d'aigua depurada és superior el volum d'aigua consumida per la població. Aquest fet es deu a un dels problemes principals en el funcionament de les depuradores municipals,

que es produeix quan hi ha precipitacions importants, atès que arriba una gran quantitat d'aigua a les plantes (aigües residuals diluïdes per l'aigua de pluja), que sovint no poden tractar, i acaba als rius sense un tractament adequat.

Depuradores	2002					2003				
	1er	2on	3er	4art	Total	1er	2on	3er	4art	Total
Conca del riu Onyar										
Campllong	35.319	24.762	27.385	31.258	0,12	37.571	30.679	30.815	30.115	0,13
Cassà de la Selva-Llagostera	254.646	320.942	253.501	333.554	1,16	363.054	282.831	228.232	352.967	1,23
Riudellots de la Selva	85.110	105.923	85.431	90.441	0,37	112.644	111.275	117.964	156.441	0,50
Vilobí d'Onyar	25.477	32.401	33.221	30.724	0,12	31.073	25.061			
Conca riera Sta. Coloma										
Caldes de Malavella	140.253	241.799	167.956	205.928	0,76	240.438	177.529	136.938	225.864	0,78
Maçanet de la Selva	72.533	91.847	81.754	83.686	0,33	91.529	84.246	86.265	104.843	0,37
Riudarenes	24.652	35.624	26.852	31.026	0,12	44.968	40.236	29.980	35.052	0,15
Santa Coloma de Farners	219.018	319.845	256.460	285.415	1,08	244.192	244.613	323.485	371.963	1,18
Sils-Vidreres	214.063	371.076	266.285	285.913	1,14	320.771	246.227	254.576	391.608	1,21
Total (Hm³)	1,07	1,54	1,20	1,38	5,19	1,49	1,24	1,21	1,67	5,55
Total conca Onyar (Hm³)	0,40	0,48	0,40	0,49	1,77	0,54	0,45	0,38	0,54	1,85
Total conca Sta. Coloma (Hm³)	0,67	1,06	0,80	0,89	3,42	0,94	0,79	0,83	1,13	3,70

Taula 1.11: Volums mensuals tractats per les diferents depuradores de la zona (dades en m³/mes exceptuant els totals que estan en Hm³; font: ACA i SOREA)

Tot i que en molts nuclis urbans ja s'ha començat a realitzar la separació de les aigües pluvials de les residuals, en les parts més antigues dels pobles encara no s'ha pogut realitzar i els volums d'aigua que arriben a les depuradores quan hi ha pluges són encara importants. En aquest sentit, a la Figura 1.12 s'ha representat la relació entre els cabals mensuals (en m³) dels efluentes de les depuradores i les precipitacions (en l/m²) entre el 2000 i 2003 a les estacions meteorològiques de Sta. Coloma de Farners, Girona (al Bell-lloc) i Sta. Cristina d'Aro (a Solius).

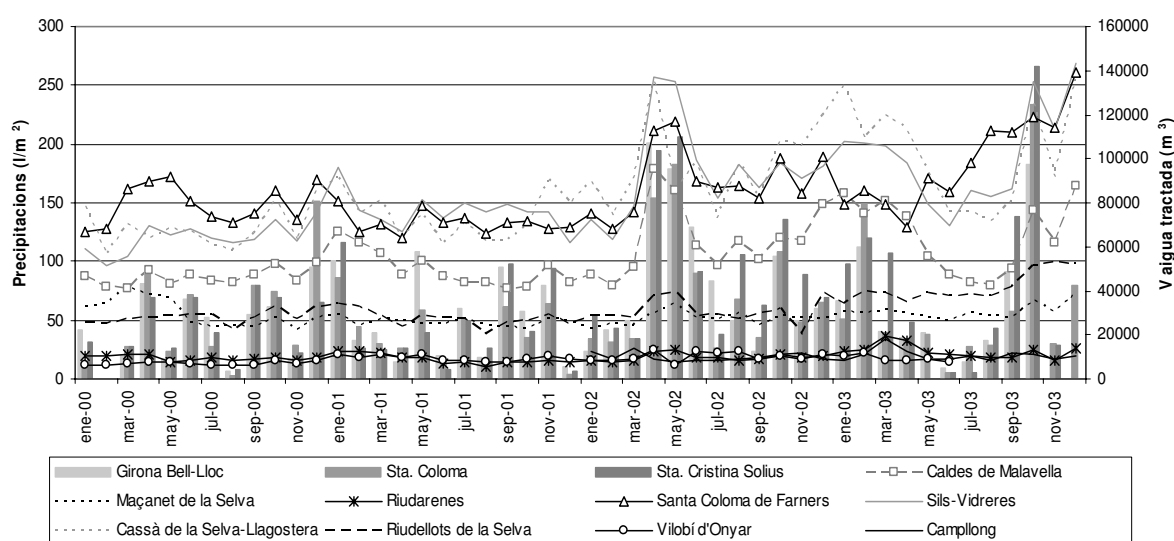


Figura 1.12: Efecte de les precipitacions en els cabals de les depuradores durant el període 2000-2003. Les barres representen les precipitacions enregistrades a diferents estacions meteorològiques de la zona d'estudi i les línies els volums d'aigua en els efluentes de les diferents depuradores.

1.Introducció.

Com s'observa a la Figura 1.12, els cabals de les depuradores estan influïts per aquestes precipitacions, sobretot en les depuradores que tracten les aigües dels pobles més grans, com la de Cassà de la Selva-Llagostera, Sils-Vidreres, Sta. Coloma i Caldes de Malavella.

La reutilització de les aigües residuals.

Si bé les aigües tractades per les depuradores podrien ser utilitzades per al reg, únicament són reutilitzades en el camp de golf de Caldes de Malavella i, en el futur, als Pitch and Putt de Fornells i Quart. A més d'aquests tres casos, també està previst que, quan sigui necessari, una part de les aigües depurades de l'EDAR de Sils-Vidreres es podran reutilitzar per omplir l'Estany de Sils (en el projecte de restauració que s'hi està duent a terme).

D'altra banda, si es compara l'estimació del consum agrícola durant els mesos d'estiu de les poblacions que tenen depuradora (segon i tercer trimestre de la Taula 1.7) amb els volums d'aigua generats per aquestes, es pot observar que en el segon i tercer trimestre, es reduiria el consum d'aigües subterrànies per a ús agrícola en un 57% i en un 10%, respectivament, si s'utilitzessin les aigües regenerades.

El balanç.

A la Figura 1.13 es presenta el consum total d'aigua de la depressió de la Selva sense considerar l'àrea metropolitana de Girona. Si se sumen els consums de tots els sectors, s'obté que la demanda total d'aigua de les conques del riu Onyar i de la riera de Sta. Coloma és de l'ordre dels 33,6 al 22,9 Hm³ (en funció de si es considera o no Girona dins l'àrea d'estudi). En aquest sentit, el consum agrícola suposa entre el 42,9 al 63,0 % de la demanda, la ramaderia, entre el 4,7 i el 6,8 %, la indústria que s'abasteix a partir de fonts pròpies, entre el 20,2 i el 13,9 % de la demanda, i l'ús domèstic conjuntament amb la indústria que s'abasta a partir de les xarxes de subministrament urbà suposen del 32,2 al 16,3 % de la demanda (Figura 1.13).

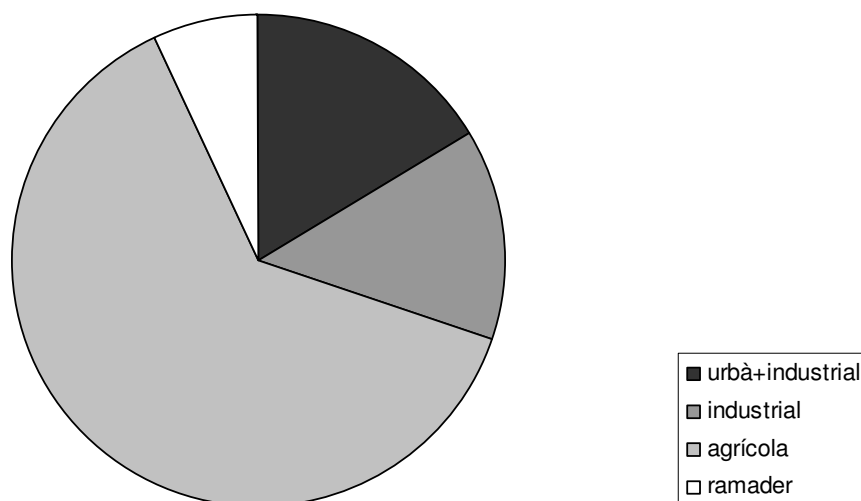


Figura1.13: L'ús de l'aigua a les conques del riu Onyar i la riera de Sta. Coloma (sense considerar Girona).

Finalment, a la Figura 1.14 es presenta un resum de totes les dades dels apartats anteriors a través del diagrama del flux d'aigua en els municipis de la conca del riu Onyar i la riera de Sta. Coloma (sense considerar l'àrea metropolitana de Girona).

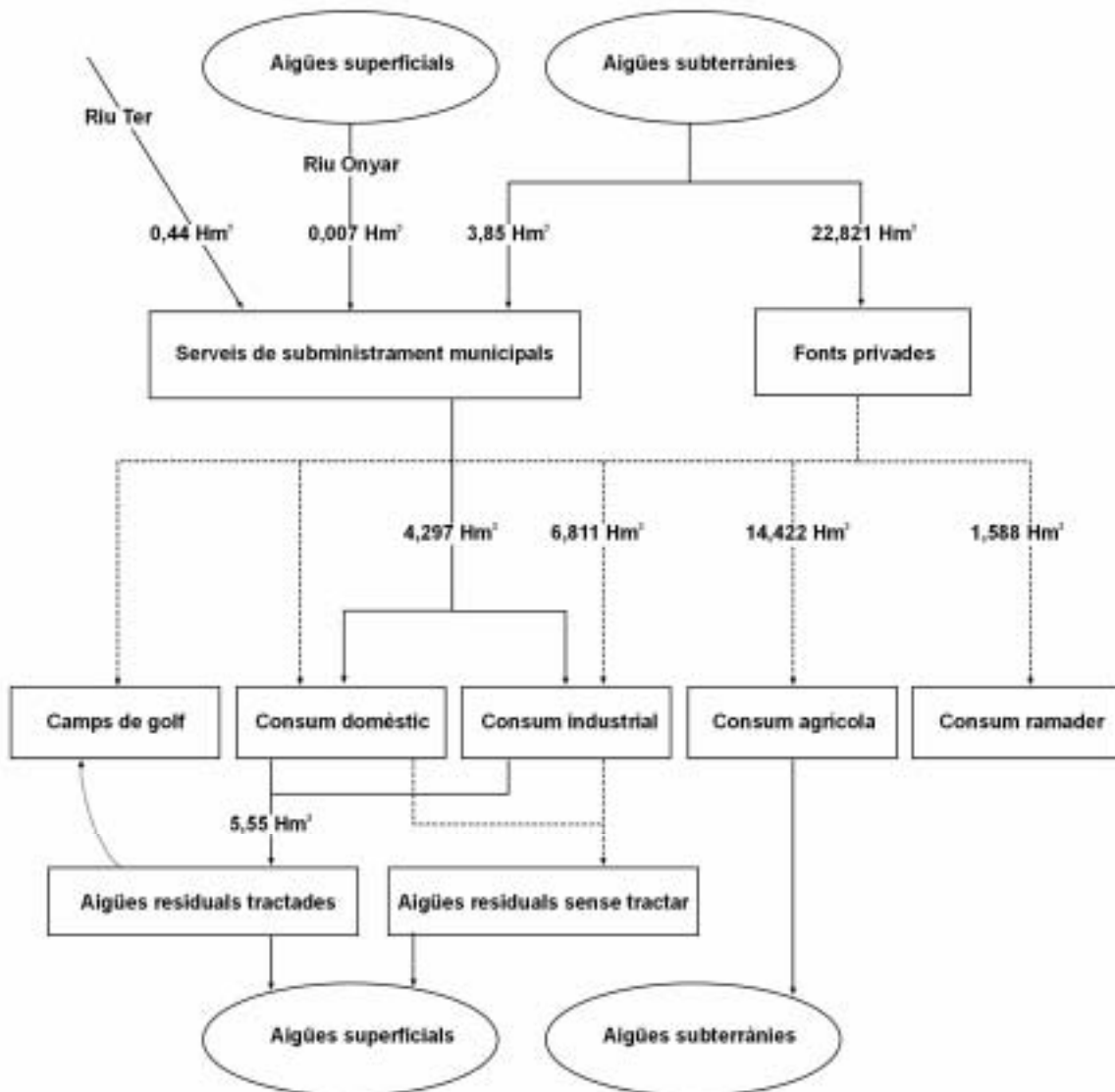


Figura 1.14: Diagrama del flux de l'aigua a la conca del riu Onyar i la riera de Sta. Coloma (sense considerar l'àrea metropolitana de Girona).

Cal destacar que del volum d'aigua demandada, aproximadament 26,1 Hm³ s'obtidrien a partir dels recursos subterrànies de la zona. Si es compara les demandes subministrades a partir de fonts subterrànies en relació amb les precipitacions anuals de la zona (462,4 Hm³) s'obté que els recursos hídrics necessaris suposen entre un 5,7 i un 8% de les entrades d'aigua en el sistema. D'altra banda, si es compara aquest valor amb la quantitat d'aigua infiltrada (valor inferior a l'1% de les precipitacions segons el balanç realitzat amb l'evapotranspiració potencial de Coutagne) s'observa que aquests volums són, aproximadament, del mateix ordre d'unitats. Aquest fet suggereix que la unitat hidrogeològica explotada, els sediments del Neogen, pot formar part d'un sistema hidrogeològic regional, d'abast geogràfic molt més gran que els límits de la depressió de la Selva.

2. Estudi hidrogeològic.

2. Estudi hidrogeològic.

2.1. INTRODUCCIÓ.

La major part de les activitats agrícoles, ramaderes, industrials, turístiques i urbanes realitzades a la depressió de la Selva utilitzen les aigües subterrànies com a font de subministrament, sense que es conegui amb anterioritat la disponibilitat a mig termini d'aquests recursos. L'explotació d'un sistema desconegut pot suposar una pèrdua de la seva qualitat, així com la seva sobreexplotació; donant lloc a impactes als ecosistemes fluvials, i fent perillar la disponibilitat de l'aigua necessària per a les activitats de la zona.

Així, per tal de poder proporcionar criteris coherents amb aquestes demandes, aquest capítol planteja un coneixement hidrogeològic bàsic que comprèn la identificació de les àrees de recàrrega, la caracterització del flux subterrani i la hidrodinàmica del sistema.

Els objectius que es plantegen en referència al coneixement del sistema hidrogeològic, són els següents:

- Avaluar el funcionament de les diferents formacions geològiques i el seu comportament hidrogeològic.
- Estudiar les direccions de flux per establir les àrees de recàrrega del sistema.
- Identificar els possibles problemes d'explotació intensiva dels recursos subterranis que puguin afectar l'abastament i la qualitat dels ecosistemes fluvials.
- Identificar les característiques hidroquímiques de l'aigua en funció de les formacions hidrogeològiques i la seva circulació.
- Identificar els problemes de qualitat de les aigües ja siguin d'origen natural, o antròpic.

2.2. ANTECEDENTS.

A la depressió de la Selva s'hi ha portat a terme estudis de caire geològic i hidrogeològic, la major part dels quals s'han centrat en les diverses manifestacions volcàniques, així com en les surgències d'aigües termals. Tanmateix, al tractar-se d'una conca hidrogeològica que no ha servit per a l'abastament de grans ciutats, no s'hi han desenvolupat estudis exhaustius dels seus recursos hídrics, que integrin tant les aigües superficials com subterrànies, i que donin a conèixer el seu estat, disponibilitat, i el seu temps de renovació. Existeixen però, tot un conjunt d'informes i projectes centrats en característiques puntuals de l'àrea d'estudi que poden servir de base per aquest projecte, però que cal considerar-los i integrar les dades que aporten en un context general i orientat a la gestió hidrològica. Aquests estudis són de caire descriptiu o d'àmbit parcial i es basen en característiques

hidrogeològiques puntuals, ja sigui de la conca de l'Onyar, de la riera de Sta. Coloma, o d'alguns dels municipis de la depressió. En aquest sentit, s'han classificat els estudis existents segons:

Geologia: Els estudis geològics principals portats a terme a la depressió es poden classificar en:

- Estudis descriptius de la geologia de la zona com el de Vidal (1882, 1886) que fa una descripció dels materials aflorants a Caldes de Malavella; els de Llopis Lladó (1943a, 1943b, 1951) que amplien les descripcions anteriors i aporten una cartografia dels materials geològics d'aquest terme municipal; el de Solé Sabarís (1948) que fa una descripció dels materials del Neogen de la depressió; o el de Villalta i Pallí (1973) que descriu els materials miocènics sota el traçat del riu Onyar.
- Els mapes geològics realitzats a la zona, com: els fulls de l'IGME de Girona i St. Feliu de Guíxols, 1:50.000 (1949, 1953); el mapa geològic de Girona a escala 1:20.000 que va publicar Pallí (1982); el mapa de Cassà de la Selva (escala 1:18.000) publicat per Pallí i Trilla (1982); els mapes geològics de Blanes i Sta. Coloma (escala 1:50.000) de l'IGME (1983a i 1983b); el mapa geològic de Maçanet de la Selva de Pallí et al. (1983b); el mapa geològic de Sta. Coloma de Farners (Pallí et al., 1993), o també, la cartografia geològica de la Selva presentada per Vehí (2001).
- Estudis sobre les característiques tectòniques de la zona, com el treball de Solé Sabarís i Llopis Lladó (1939); el del MOPU (1971b) que va realitzar una campanya exhaustiva de SEV en la que va determinar la profunditat del sòcol de la depressió; el de Pous et al. (1990) que utilitza els SEV realitzats pel MOPU (1971b) per descriure la potència dels materials del Neogen de la depressió i les seves cubetes principals; i, el de Solé Sugrañes (1978) que, a través d'imatges per satèl·lit, va definir les fractures principals de la zona.
- Els estudis relacionats amb el vulcanisme com el de Font (1903) que relaciona el vulcanisme de Caldes de Malavella i les manifestacions termals; el de Gelabert (1904) que descriu els volcans gironins i les surgències d'aigües termals que hi estan lligades; el de Bataller (1933) que també esmenta els materials efusius de Caldes de Malavella; el de Marcet (1947) que descriu les roques intrusives, filonianes i efusives de les Gavarres i de la Costa Brava, amb una datació dels diferents períodes eruptius; el de Solé Sabarís (1962) que és un ampli treball del vulcanisme gironí; el de Guardia (1964) que fa les primeres datacions dels materials efusius; els de Donville (1973a, 1973b, 1976) en què va analitzar i datar els basalts de la depressió, entre d'altres zones d'arreu de Catalunya; el de Martí et al. (1986) que va estudiar sobre els mecanismes eruptius de la Crosa de St. Dalmai; el de Vehí et al. (1999) que descriu el volcà del Camp dels Ninots (a Caldes de Malavella); i el de Pujadas et al. (2000), un llibret sobre el vulcanisme de la Selva, entre d'altres.

Recursos superficials: Les dades existents sobre aquests recursos són les següents:

- Estació d'aforament del riu Onyar a Girona i de la riera de Sta. Coloma a Fogars de la Selva. En el cas de l'Onyar, es compta amb dades del cabal mitjà diari d'aquest riu durant més de 30 anys (del 1959 al 1963, del 1965 al 1969 i del 1975 fins a l'actualitat), fet que permet un anàlisi estadístic de la variabilitat estacional i anual del riu Onyar. Pel que fa a les dades de la riera de Sta. Coloma són de molts menys anys i incompletes (des de 1991-actualitat).
- Punts de la xarxa de control de la qualitat de les aigües superficials de l'Agència Catalana de l'Aigua (3 punts a la conca de l'Onyar i 3 a la conca de la riera de Sta. Coloma) .
- Estudis sobre les avingudes del riu Onyar i del seu comportament. Els estudis més recents són els que va portar a terme Ros (1997), en els que realitza un model hidrològic del riu Onyar; o d'altres no tant recents en els que s'estudia les avingudes d'aquest curs fluvial des de diverses perspectives (MOPU, 1971a; Alberch et al., 1982; Velasco, 1985; Mas-Pla et al., 1986; Mas-Pla, 1986; Farreras i Aguiló, 1990; i Güell i Sorribas, 1991).

Recursos subterranis: Dins dels estudis sobre els recursos subterranis realitzats a la depressió de la Selva cal destacar:

- Les valoracions inicials de l'estat dels recursos subterranis a la depressió realitzades pel MOPU (1971b, i 1985).
- Viñals (1979) va ampliar l'estudi anterior a la zona de Maçanet i Vidreres (amb més campanyes de geofísica, assaigs de bombeig i anàlisis d'aigües).
- Una valoració inicial de la situació hidrològica a la conca del riu Onyar que comprèn un estudi exhaustiu de la hidrogeologia i hidroquímica de la conca, i en la que es planteja la viabilitat de la recàrrega de l'aqüífer al·luvial amb aigües residuals tractades (Menció, 2002).
- Un estudi de l'estructura geològica i l'alimentació del Neogen de la del vessant est de la conca de l'Onyar a través del massís de les Gavarres (Vilanova, 2001 i 2004).
- Un model de gestió del sistema hidrogeològic Montseny-Guilleries (ACA, 2002).
- Un estudi hidrogeològic sobre l'aqüífer al·luvial de la riera de Sta. Coloma (Folch i Roldán, 2003).
- També hi ha nombrosos estudis i informes de caràcter puntual sobre els recursos subterranis en aquesta conca, com els realitzats per Viñals (1968), PROHIDRO (1971), Trilla i Pallí (1977), Gerundenses de Servicios, SA. (1974), Aguas Potables de St. Feliu de Guíxols, SA (1974), Saez (1983), Domènech (1989), Quera (1993), Frias (1979, 1982, 1984a, 1984b, 1985, 1987a, 1987b, 1991a i 1991b), i Clotet et al. (1999) , que es basen en aspectes molt concrets de la hidrogeologia local.

Dins els estudis de les aigües subterrànies cal distingir els nombrosos treballs sobre les aigües termals de la zona (alguns dels quals han estat citats a l'apartat de la geologia), cal destacar:

- Solé Sabarís (1946) descriu les fonts termals de Caldes de Malavella i les relaciona a través de les fractures amb les aigües carbòniques de les rodalies de Girona;
- La Compañía General de Sondeos, SA. (1979) va realitzar un estudi geotèrmic preliminar de la depressió de la Selva encarregat per la Delegación de General de Minas e Industrias de la Construcción (Ministerio de Industria). En aquest estudi es tracten les aigües termals tant de les fonts de Caldes de Malavella i Sta. Coloma de Farners, com els sondetjos realitzats per l'INC al 1971 en els que s'havien detectat aigües amb un cert caràcter termal en profunditat.
- Albert (1980), Albert et al. (1979) i París i Albert (1976) van realitzar un estudi sobre el quimisme de les aigües termals i de les aigües carbòniques a Catalunya, en el que s'hi inclouen les aigües termals de Caldes de Malavella i Sta. Coloma de Farners, així com les aigües carbòniques de la zona.
- Font (1980) va fer un estudi en el que es plantejava l'origen de les diferents fonts picants de Girona, St. Daniel, Cassà de la Selva i Llagostera, així com les de Caldes de Malavella.
- Pla (1981) a més d'una síntesis geològica de Caldes de Malavella, realitza una descripció de les característiques químiques de les fonts termals del municipi.
- Tonani (1980) va realitzar un estudi preliminar en el que s'analitzava el gas de diverses mostres d'aigües termals de la Selva i Gavarres, entre d'altres zones.
- L'IGME (1984) va publicar una altra síntesis hidrogeològica de la Selva, dins el *Proyecto de investigación geotérmica en el Vallés mediante sondeo de reconocimiento y síntesis hidrogeoquímica*, en el que s'estudiaven les aigües termals de la depressió (a Caldes de Malavella i Sta. Coloma de Farners) utilitzant isòtops per intentar establir-ne la seva àrea de recàrrega i el temps de trànsit.
- El SGC (1986) va realitzar un estudi informe geotèrmic preliminar de l'àrea de Girona.

2.3. METODOLOGIA.

Per tal de realitzar l'estudi del sistema hidrològic subterrani s'han portat a terme les següents tasques:

En primer lloc s'ha realitzat un inventari dels punts d'aigua prenent com a base i, verificant-los posteriorment, alguns inventaris de pous i fonts preexistents (Vehí, 2001; Vilanova, 2001; Menció, 2002). Aquests inventaris s'han unificat i s'han anat ampliat en els sectors on es creia necessari. Així, s'ha inventariat un total de 1031 punts d'aigua.

En segon lloc, s'han realitzat campanyes piezomètriques per tal de determinar l'evolució del nivell hidràulic dels diversos aquífers al llarg de l'any. S'han portat a terme 5 campanyes piezomètriques completes de tota la zona d'estudi i 2 campanyes parcials (pertanyents a un projecte anterior; Menció, 2002), en les que s'ha mesurat el nivell hidràulic de les captacions amb una sonda Hidronivel Meyer. Per obtenir les cotes topogràfiques de cadascun dels punts, s'han utilitzat els mapes 1:5.000 de l'Institut Cartogràfic de Catalunya.

Tot i que les piezometries s'han realitzat sobre una base mínima d'unes 200 mesures, es disposa d'un total de 626 pous amb dades piezomètriques. Així, el nombre de mesures realitzades en cadascuna de les campanyes és el que es mostra a la Taula 2.1.

Seguidament, s'ha integrat tot aquest volum de dades en un sistema d'informació geogràfica (Miramon[®]), que ha permès la seva representació espacial, i cartografia temàtica. La representació de les isopiezes s'ha realitzat amb equidistàncies de 5 m, per a una millor anàlisi. Cal destacar que, al treballar amb un elevat nombre de punts, aquesta representació s'ha realitzat a partir d'una interpolació dels valors dels nivells piezomètrics.

Adicionalment s'ha realitzat una anàlisi estadística per a determinar si les variacions observades en el nivell hidràulic entre les diverses campanyes eren significatives. Així, s'ha realitzat un contrast de significació de la igualtat de dues mitjanes a partir de mostres aparellades (Moore i Mc Cabe, 1989).

S'han obtingut dades del registre de piezòmetres de l'ACA i del seguiment piezomètric de pous particulars que permeten observar l'evolució de l'aquífer quaternari de la riera de Sta. Coloma i de l'aquífer volcànic de Maçanet al llarg del temps, que s'han integrat amb les dades d'elaboració pròpia.

En els pous més representatius s'ha portat a terme l'anàlisi hidroquímica i isotòpica de les seves aigües seguint les metodologies establertes per Greenberg et al. (1992). En concret s'ha realitzat:

- Al camp s'ha determinat: el pH (amb un potenciòmetre de camp ORION 250A), la conductivitat (amb un conductímetre CRISON 524), l'O₂ (amb un oxímetre ORION 254A), els compostos nitrogenats, Fe i Mn (amb un espectofotòmetre Windaus-LF2400).
- Als laboratoris de la UAB (tant al laboratori de la Unitat de Hidrogeologia, com al Servei d'Anàlisis Químiques) s'ha realitzat l'anàlisi dels elements majoritaris i del triti.
- Al servei d'anàlisi de la UB i al Servei d'Anàlisi Química (SAQ) de la UAB s'ha realitzat l'anàlisi dels metalls pesats.
- Als serveis de Universitat de Barcelona i de la Universidad Autónoma de Madrid s'ha determinat la concentració de ²H i ¹⁸O.

En concret s'han realitzat tres campanyes en les que s'han analitzat els elements majoritaris i minoritaris, tres campanyes en les que s'ha analitzat els isòtops i, a més s'ha realitzat campanyes complementàries per a determinar la concentració de compostos nitrogenats, de Fe i Mn.

Les dades hidroquímiques s'han tractat a partir de l'ús de software específic. Concretament, la classificació de les fàcies hidroquímiques s'ha realitzat a través del programari AquaChem 3.7 (Calmbach, 1997), i per l'estudi estadístic s'ha utilitzat el programari STATISTICA 6.0 (Statsoft, 2001), així com el SigmaPlot 6 (SPSS, 2000) per al tractament gràfic d'algunes de les dades.

2.4. ANÀLISI DE LES DADES PIEZOMÈTRIQÜES.

Les piezometries realitzades s'han limitat sobretot als materials que conformen el rebliment de la depressió (materials de l'al·luvial quaternari i del Neogen) atès que les àrees adjacents, ja han estat estudiades amb anterioritat per Vilanova (2001 i 2004) i l'ACA (2002). Així, la zona d'estudi, en referència a les dades piezomètriques, s'ha centrat en les conques del riu Onyar i la riera de Sta. Coloma, que constitueixen, de manera orogràfica, el drenatge de la depressió de la Selva pròpiament dita.

D'altra banda, a nivell geològic, la depressió de la Selva arriba fins al Sistema Transversal, destacant els nivells neògens de St. Gregori, Canet d'Adri i Cartellà i, més important, les fractures en direcció NO-SE que marquen la morfologia de la serralada Transversal i que cap al sud constitueixen els límits de la depressió.

Ara bé, des de la perspectiva hidrogeològica, la presència del riu Ter exerceix un important control en la piezometria dels nivells superficials (les terrasses al·luvials quaternàries d'aquest riu), desestimant-se realitzar una piezometria d'aquest aqüífer superficial en detall.

Malgrat tot, sí que s'ha insistit en l'estudi dels nivells neògens i eocènics de la banda nord, corresponents als extrems meridionals de la serralada Transversal. A nivell piezomètric les dades obtingudes no permeten fer un estudi exhaustiu d'aquesta zona, atesa la dificultat en inventariar punts que permetin un estudi piezomètric adequat, però a nivell fisicoquímic sí s'han estudiat diversos punts, el resultat del qual es detalla en el corresponent apartat.

En les diverses piezometries realitzades s'ha considerat els pous en funció de la seva profunditat classificant-los en dos grups, segons si explotaven els nivells aqüífers superficials o els nivells aqüífers més profunds (Taula 2.1).

	Des00	Ago02	Feb03	Jul03	Des03	Maig04	Oct04
Pous < 30 m	177	316	181	241	137	192	200
Pous > 30 m	30	50	66	77	108	98	101
Total mesures	207	366	247	318	245	290	301

Taula 2.1: Nombre de mesures piezomètriques en cada campanya.

Aquesta divisió del Neogen en dos subsistemes s'ha realitzat partint de la base que l'aqüífer Neogen és un aqüífer multicapa, les argiles i llims del qual donen lloc a la semiconfinació dels nivells aqüífers en materials sorrencs i graves. Tenint en compte que les cotes màximes assolides pel Neogen es troben uns 30 m per sobre dels aqüífers al·luvials de la zona, s'ha considerat adequat prendre aquesta fondària de 30 m per a separar els pous dels dos subsistemes. En el subsistema superficial s'hi ha considerat tant els pous que exploten els materials neògens, com els que exploten l'al·luvial, atesa la seva similitud litològica i continuïtat hidràulica observada.

També s'ha observat que els pous oberts solen construir-se de manera que només exploten els nivells superficials més productius. Més del 95% dels pous oberts inventariats en aquesta zona presenten profunditats inferiors als 30 m, de manera que aquesta profunditat també s'ha pres com un segon criteri per a la separació dels pous que exploten els nivells més superficials dels que exploten nivells més profunds de l'aquífer Neogen (Figura 2.1).

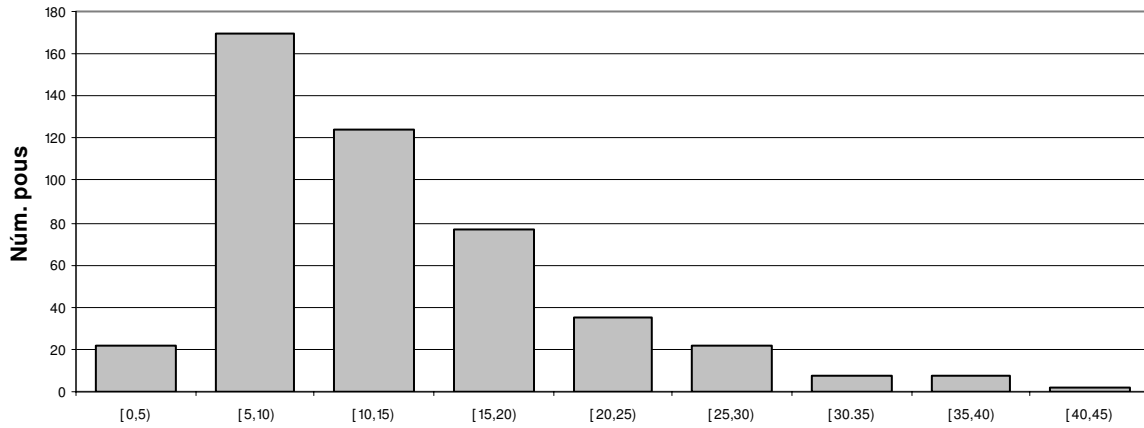


Figura 2.1: Histograma de les profunditats dels pous oberts.

2.4.1. Meteorologia durant les campanyes de camp.

Per tal d'interpretar adequadament les dades piezomètriques es presenten les precipitacions que s'han produït durant el període estudiat. En aquest cas, es compta amb les dades del Servei Meteorològic de Catalunya de l'estació de Sta. Coloma de Farners des del juliol de 2000 al setembre de 2004, les de l'estació de Girona des del juliol de 2000 fins al novembre de 2004 i les de l'estació de Cassà de la Selva entre el gener de 2001 i el novembre de 2004. Aquestes dades es mostren, conjuntament amb els períodes de mostreig, a la Figura 2.2.

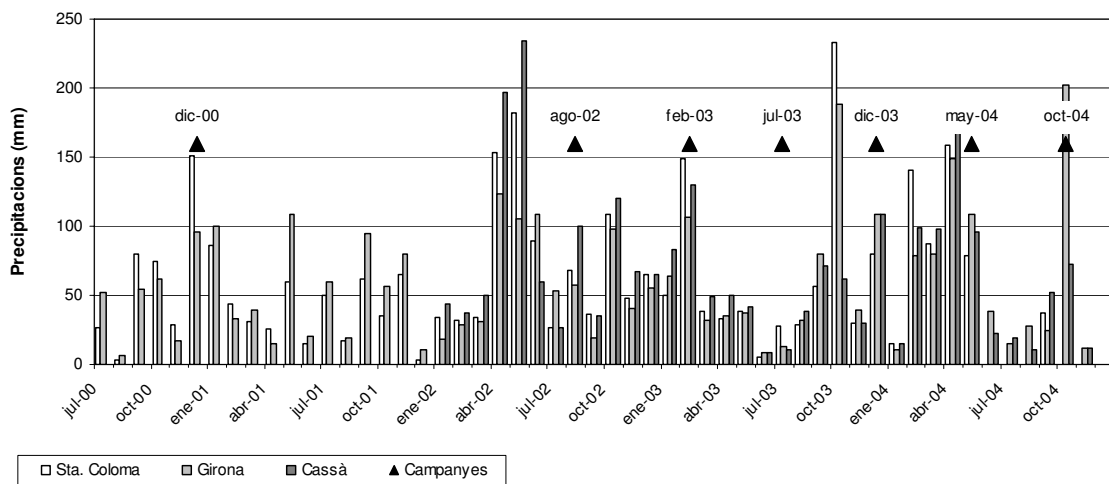


Figura 2.2: Precipitacions enregistrades (en mm) a l'estació meteorològica de Sta. Coloma de Farners, Girona i Cassà de la Selva durant el període estudiat i campanyes piezomètriques (font: Servei Meteorològic de Catalunya).

2.4.2. Piezometries dels nivells aquífers superficials.

En el moment en què s'han realitzat les piezometries dels nivells aquífers més superficials, s'han considerat conjuntament els materials sedimentaris quaternaris i neògens, degut a la seva gran similitud litològica i, fonamentalment, la continuïtat hidràulica que es presenta entre aquestes formacions.

A l'apartat de l'estudi hidrogeològic de l'Annex es pot trobar la representació gràfica de totes les piezometries corresponents als nivells superficials, així com en les Figures 2.3 i 2.8. En la representació gràfica de les piezometries no s'hi ha representat el límit entre els materials sedimentaris neògens i els materials dels al·luvials quaternaris, ni els cursos fluvials, perquè dificulta la seva visualització i interpretació. D'altra banda, a cadascuna d'elles s'hi ha adjuntat un mapa menor on hi apareixen.

La conca del riu Onyar.

Les piezometries realitzades a la conca del riu Onyar indiquen l'existència d'una continuïtat hidràulica entre el sauló, els materials sedimentaris quaternaris (tant al·luvials, com col·luvials) i els materials sedimentaris del Neogen.

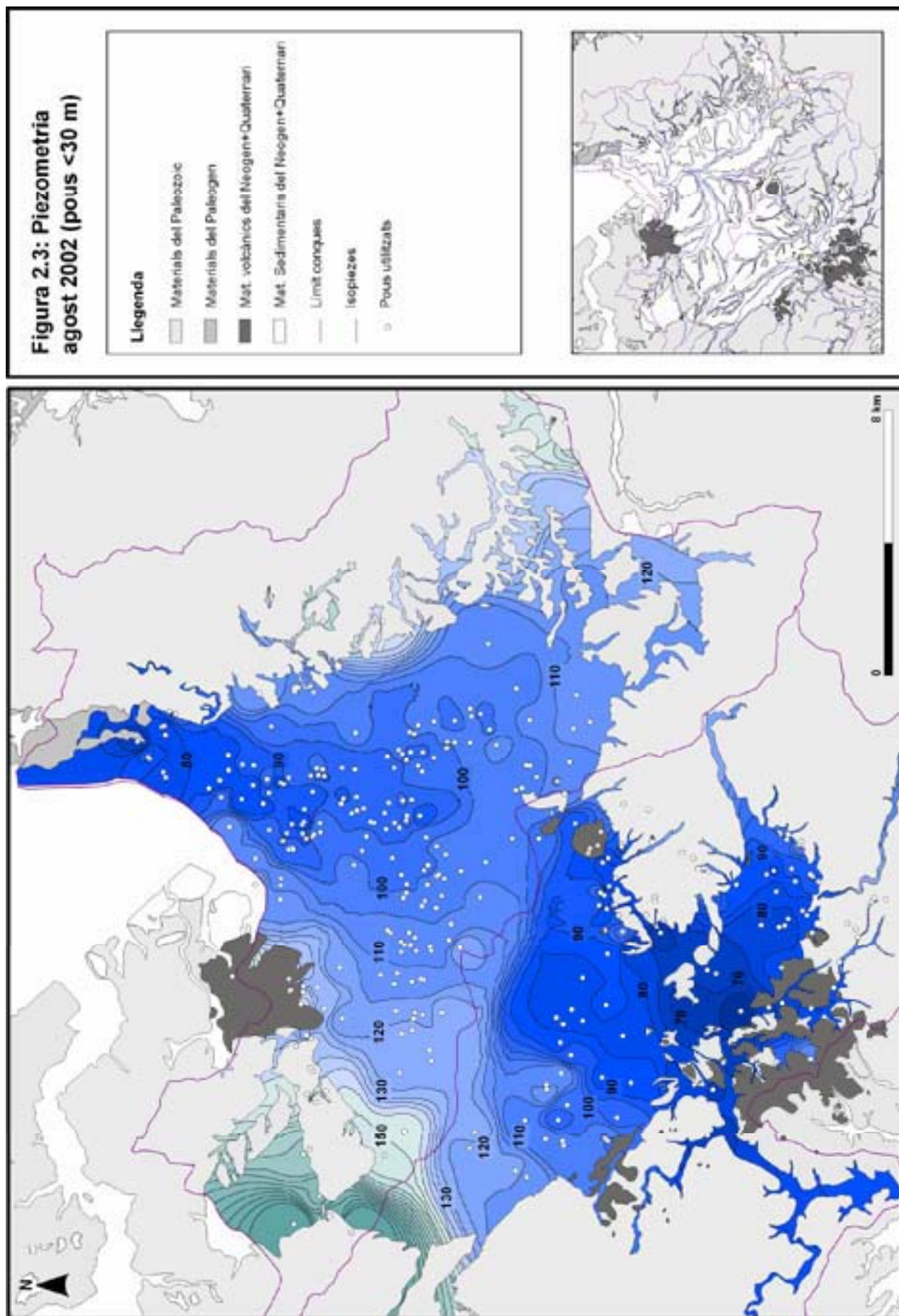
En general, la distribució del nivell freàtic és coherent amb la topografia de la zona. D'aquesta manera, tant a la banda O com a l'E i SE de la conca, es troben les zones amb un gradient més important (coincidint així, amb les zones muntanyoses de les Guilleries, Gavarres i Selva Marítima), mentre que a la part central, amb la presència de l'al·luvial de l'Onyar, la distància entre les isopiezes s'accentua, produint-se una disminució en el gradient (Figura 2.3 i 2.8).

En relació a la direcció i sentit del flux, s'observa que l'aigua procedent tant de les Guilleries, com del massís de la Selva Marítima i de la part més meridional de les Gavarres, tendeix a fluir cap a un punt central de la conca, concretament, on conflueixen l'Onyar, la riera Benaula i la riera Gotarra (al municipi de Riudellots de la Selva). I després continua en direcció nord, cap a la ciutat de Girona (Figura 2.3 i 2.8).

S'ha realitzat una anàlisi estadística per determinar si existien variacions significatives en el nivell freàtic entre campanyes. Aquesta anàlisi s'ha realitzat utilitzant els contrastos de la igualtat de dues mitjanes per a dades aparellades (Moore i Mc Cabe, 1989). Inicialment s'han considerat tots els pous sense cap distinció, i posteriorment, s'ha realitzat en funció dels materials que explotaven, distingint els que explotaven els materials sedimentaris del Neogen, els al·luvials, els materials volcànics, o el sauló.

Així, la comparació estadística de les diverses piezometries realitzades als aquífers superficials de la conca del riu Onyar, mostra que, per un nivell de significació $\alpha=0,05$, no hi ha diferències significatives i generalitzades entre el nivell freàtic mesurat al desembre de 2000 i el de l'agost de 2002.

Aquest fet es deu, principalment, a que el 2000 va ser un any meteorològicament molt sec, i tot i que es van produir precipitacions entre el període estival i el desembre, l'aquífer Neogen superficial no es va recuperar suficientment després de l'època seca, i presentava nivells similars als que es poden observar a l'agost del 2002. En canvi, si només es considera els pous que exploten l'aquífer al·luvial, en aquests es detecta un augment significatiu del nivell entre aquestes dues campanyes.



2. Estudi hidrogeològic.

Entre l'agost de 2002 i el febrer de 2003 també s'observa que les variacions de nivell produïdes no permeten afirmar que es produeixin modificacions generalitzades i significatives en el nivell freàtic. D'altra banda, quan es fa aquest contrast de significació considerant cada tipus d'aqüífer per separat, s'observa que pels punts situats a l'al·luvial i al paleozoic (sauló) sí que es produeix un augment significatiu d'aquest nivell.

Entre el febrer i juliol de 2003 es produeix un descens significatiu i generalitzat (exceptuant al Neogen on no es produeixen modificacions). I en canvi, entre el juliol i el desembre de 2003, i entre el desembre de 2003 i el maig de 2004 es produeixen augments significatius del nivell en tots els aqüífers considerats.

Finalment, entre la campanya del maig i la de l'octubre de 2004 es produeix un descens significatiu i generalitzat del nivell freàtic, induït tant per la disminució de les precipitacions, com per l'explotació de les aigües subterrànies durant l'estiu.

Així, s'observa que els materials quaternaris es veuen molt més afectats per les variacions en les precipitacions que el Neogen, en el que el nivell freàtic es manté més o menys constant entre les quatre primeres campanyes, i no és fins al desembre de 2003 que s'observen modificacions significatives en el seu nivell.

L'anàlisi de l'evolució dels nivells freàtics també s'ha realitzat per zones. A la Figura 2.4 es mostra la situació dels pous considerats en les gràfiques utilitzades per aquesta descripció (Figures 2.5, 2.6 i 2.7).

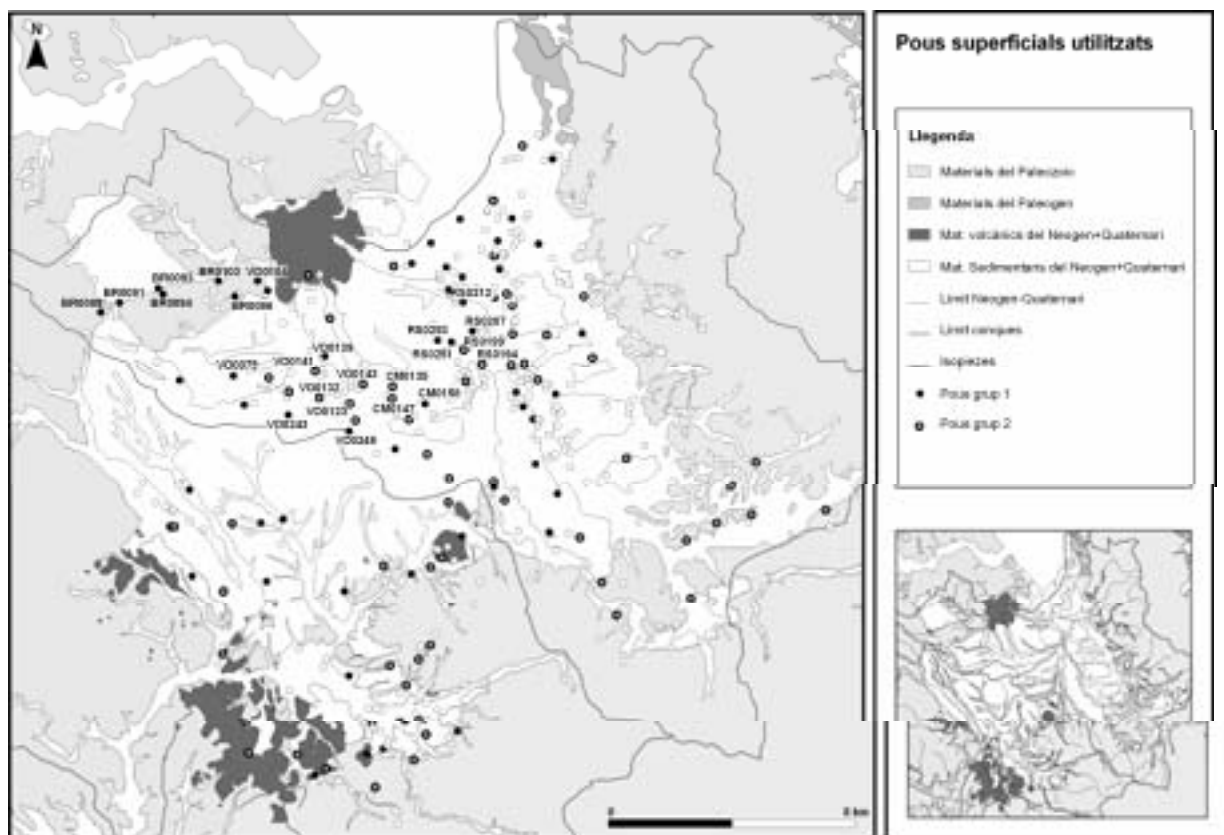


Figura 2.4: Situació dels pous superficials considerats en l'evolució del nivell freàtic per zones.

A la zona de Brunyola, els nivells mesurats no segueixen l'evolució general descrita anteriorment, ni en els materials quaternaris, ni tampoc en el paleozoic. Concretament, entre l'agost de 2002 i el febrer de 2003 s'hi ha produït un descens del nivell, i és a partir d'aquesta segona campanya que té lloc un augment continu del nivell freàtic fins al maig de 2004, sense que a la campanya del juliol de 2003 es produeixi el descens esperat, en relació a les precipitacions produïdes entre aquestes campanyes (Figura 2.2). Finalment, entre el maig i l'octubre de 2004 es produeix un descens significatiu del nivell freàtic. Així, s'han detectat augments de 2,5-4,9 m entre la campanya del febrer de 2003 al maig de 2004 (Figura 2.5).

A la Figura 2.5, també es pot observar com a l'últim punt, el VO0104 (ja proper a Vilobí d'Onyar) no només es produeix la baixada del nivell al febrer de 2003, sinó que també se'n produeix una altra al desembre de 2003. D'aquesta manera, els nivells més baixos s'assoleixen en les campanyes realitzades a l'època humida, exceptuant la campanya del maig de 2004, en què les precipitacions han estat prou significatives perquè es produeixi la recuperació efectiva del nivell freàtic.

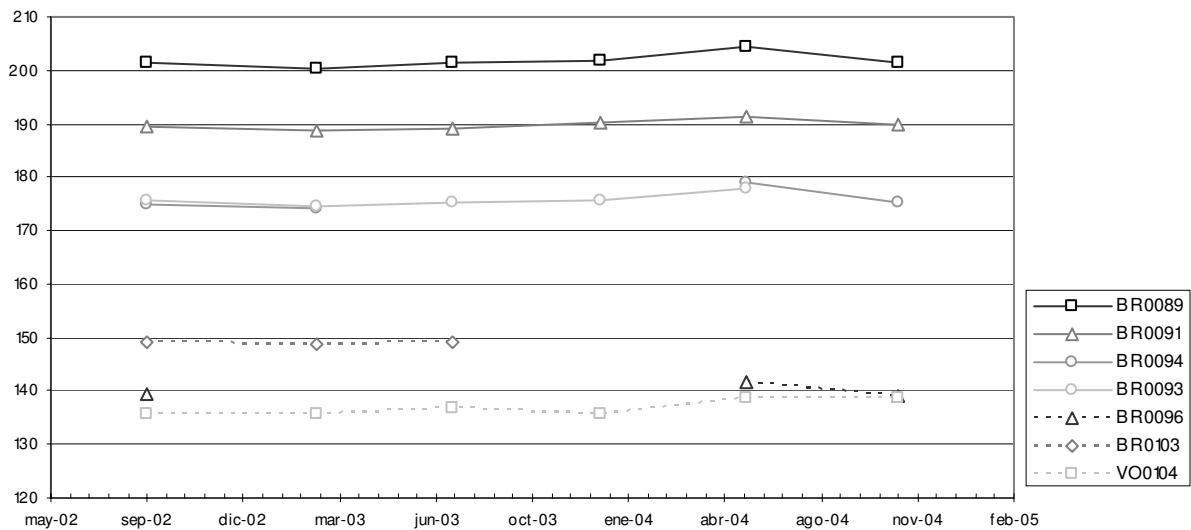


Figura 2.5: Evolució dels nivells a la zona de Brunyola (dades en m.s.n.m).

Aquest comportament també s'ha detectat en alguns pous situats al Neogen des de Vilobí d'Onyar fins a Riudellots de la Selva. En aquests pous s'ha observat un augment progressiu del nivell piezomètric entre les campanyes del juliol de 2003 i el maig de 2004 (de 0,5-3,28 m), i una posterior disminució entre el maig i l'octubre de 2004, però entre les campanyes del desembre de 2000, agost de 2002, febrer de 2003 i juliol de 2003, no s'hi observen les mateixes tendències generalitzades d'augment o descens. Així depenent de la situació en què es trobi el pou, s'han observat dues tendències diferenciades:

- El grup 1, el formen els pous com els de la zona de Brunyola, on el nivell del febrer de 2003 és inferior al de l'agost de 2002 i juliol de 2003, i en alguns casos, on el nivell del desembre de 2003 és inferior al del juliol del mateix any (com en el VO104). Aquest primer grup el formarien pous situats aigües amunt dels turons del Neogen, en zones on petites precipitacions no afectarien massa el nivell freàtic i on els efectes dels descensos i augments generalitzats del nivell estarien retardats (Figura 2.4 i 2.6).

2. Estudi hidrogeològic.

- El grup 2, està format pels pous que segueixen la tendència general en la que al febrer de 2003 el nivell seria més alt que a l'agost de 2002 i al juliol de 03. Aquest grup de pous també es troba en turons del Neogen, però en el seu marge, molt més a prop dels materials al·luvials, tenint així més eficiència en la recàrrega (Figura 2.4 i 2.7).

Així, els nivells no semblen estar influenciats únicament per les precipitacions, sinó també per l'efecte que poden tenir les extraccions no estacionals produïdes a la zona, així com les limitacions en la recàrrega que poden tenir els nivells aquífers més superficials en el Neogen.

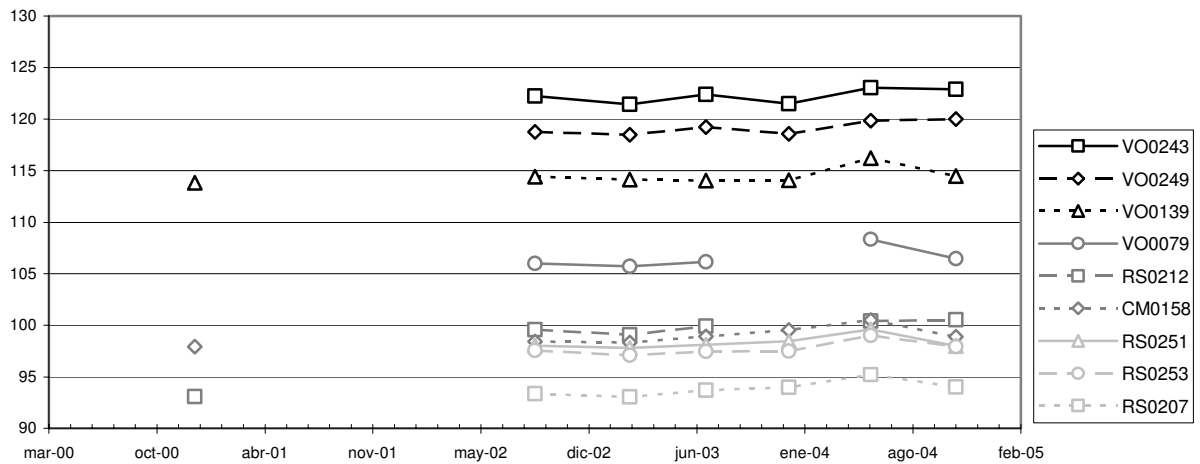


Figura 2.6: Grup1 dels pous situats al Neogen entre Vilobí d'Onyar i Riudellots de la Selva (dades en m.s.n.m).

Finalment, en els pous situats a l'al·luvial de l'Onyar (des de Vilobí a Riudellots de la Selva) s'hi ha pogut constatar l'evolució descrita a través del contrast d'hipòtesis. En el 91% dels pous s'hi observa un augment del nivell entre el desembre de 2000 i el febrer de 2003; entre el febrer i el juliol de 2003 es produeix un descens; posteriorment, un segon augment de 1,5-3 m entre el juliol i el maig de 2004; i finalment, entre el maig i l'octubre de 2004 un descens mitjà de 2,5 m (Figura 2.7). Aquesta evolució, seria la observada en el grup 2 dels pous situats en el Neogen.

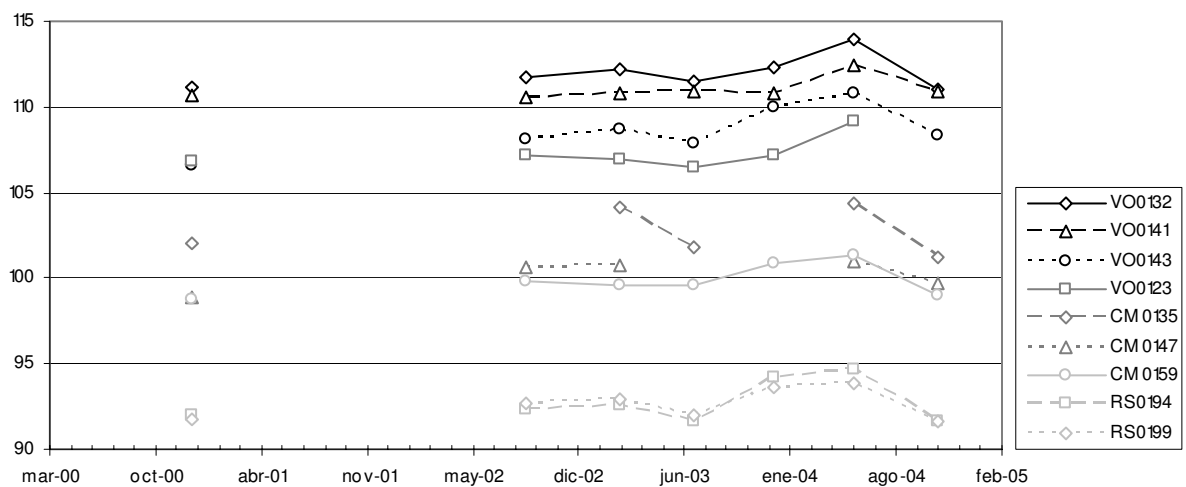


Figura 2.7: Evolució dels nivells de l'al·luvial a la plana de l'Onyar (dades en m.s.n.m).

Aquest comportament diferenciat s'ha pogut constatar en altres punts de la conca. A la Figura 2.4 es mostra la situació dels pous que es comporten com l'al·luvial (grup 2), així com els que s'hi ha detectat unes variacions del nivell freàtic diferents (grup 1). Així s'observa que:

- D'una banda, a la zona de Riudellots fins a Girona els pous situats a les parts més altes dels turons del Neogen i en alguns casos també a les terrasses del riu Onyar es comporten com els del grup 1 descrit anteriorment.
- També s'observen pous del grup 1 situats en els materials neògens de la zona de St. Andreu Salou i de Cassà de la Selva.
- A la zona de Llagostera els pous situats a l'aqüífer al·luvial, paleozoic i Neogen es comporten com els pous del grup 2, és a dir, que es produeixen augments del nivell freàtic a les èpoques humides, mentre que a l'estiu, aquest nivell disminueix, indicant que aquests aquífers es veuen clarament afectats per les precipitacions.
- A l'al·luvial de la Benaula i en el d'algun dels seus afluents (el Barranc de Can Solà) també s'hi observen variacions del nivell freàtic com les del grup 2.

Així, el fet que estadísticament no es pogués determinar si es produïa un augment o disminució del nivell freàtic al febrer de 2003 es deu a que entre la campanya de l'agost del 2002 i la del febrer de 2003 les precipitacions han estat relativament moderades, de manera que en alguns pous s'hi ha pogut observar un augment del nivell (sobretot en els de l'al·luvial i els que exploten els nivells més superficials del Paleozoic), però a la resta, o s'ha mantingut el nivell, o ha disminuït lleugerament. D'aquesta manera, a l'haver-hi dues tendències diferenciades, quan s'ha realitzat el contrast d'hipòtesi no s'ha pogut detectar variacions significatives entre les campanyes del desembre de 2000, agost de 2002 i febrer de 2003.

La conca de la riera de Sta. Coloma.

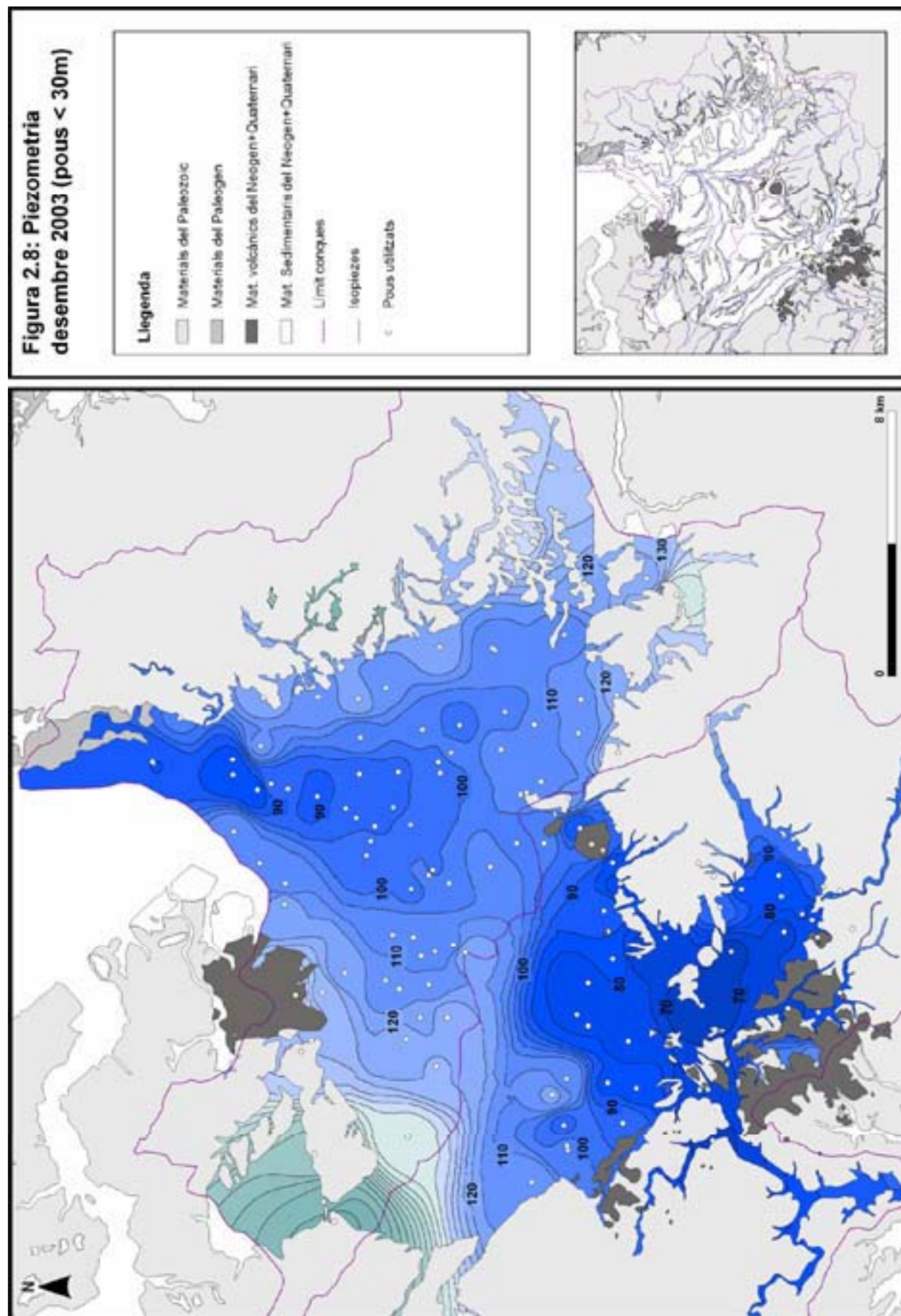
Les piezometries realitzades a la conca de la riera de Sta. Coloma també mostren una continuïtat hidràulica entre el sauló, els materials superficials del Neogen i els materials dels aquífers al·luvials.

En aquesta conca hidrogràfica, la circulació de l'aigua subterrània també segueix la topografia de la zona. Les àrees on es presenten els gradients piezomètrics més importants són les situades a la divisòria d'aigües amb la conca amb el riu Onyar (a la part N-NE de la conca), així com a la zona del massís de la Selva Marítima al sud (Figura 2.3 i 2.8). També presenta un gradient important la zona oest de la conca (ACA, 2002), coincidint amb les Guillerries, tot i que en les diverses piezometries que es presenten no hi apareix, al no considerar els pous situats en els materials paleozoics d'aquest massís.

Pel que respecta a la direcció i sentit del flux, a la zona de la riera de Sta. Coloma va de NO a SE fins a la seva confluència amb la riera d'Esplet (seguint el límit dels materials quaternaris i neògens amb els materials paleozoics de les Guillerries), i a partir d'aquest punt l'aigua subterrània es desvia cap al SO, seguint l'al·luvial de la riera de Sta. Coloma (Figura 2.3 i 2.8).

A la zona de la riera de Sta. Maria i la riera de Vallcanera, les aigües subterrànies segueixen aproximadament la direcció i sentit del traçat d'aquests cursos fluvials fins a la Sèquia de Sils, on també hi conflueixen les aigües procedents de la cubeta de Vidreres. I després segueixen en direcció SO fins a la desembocadura de la Sèquia a la riera de Sta. Coloma, coincidint amb la conca hidrogràfica i la xarxa de drenatge (Figura 2.3 i 2.8).

I finalment, a la zona de la cubeta de Vidreres, es recullen les aigües de la Selva Marítima i posteriorment, flueixen en direcció NE fins assolir la Sèquia de Sils.



A través de l'anàlisi estadística realitzada considerant tots els aqüífers, el comportament al llarg de les diverses campanyes realitzades és el mateix que per la conca de l'Onyar. És a dir, entre l'agost de 2002 i el febrer de 2003 no es pot considerar que hi hagi ni un augment ni una disminució en el nivell freàtic; posteriorment, es produeix un descens entre el febrer i el juliol de 2003, així com entre el maig i l'octubre de 2004, pel pas de l'època humida a l'època seca. Finalment, es produeix un augment generalitzat i significatiu del nivell piezomètric entre el juliol de 2003, el desembre de 2003 i el maig de 2004 (període on es produeixen les precipitacions més importants).

Si es fa el mateix contrast d'hipòtesis amb dades aparellades per cadascun dels aqüífers per separat, s'observa que en tots es produeix un augment del nivell freàtic entre el juliol de 2003 i el maig de 2004, i un descens d'aquest nivell entre el maig i l'octubre de 2004. D'altra banda, els augments i descensos entre les campanyes de l'agost de 2002 i el juliol de 2003 no són tant clars, perquè les precipitacions entre aquestes dues campanyes no van ser massa importants (Figura 2.2), i tot i que en alguns punts es produeix una certa recuperació de l'aqüífer (en pous situats al paleozoic i en el Neogen de la cubeta de Vidreres), en d'altres el que es produeix és un descens d'aquest nivell (sigui per causes naturals o per l'explotació de les seves aigües).

A la Figura 2.4 també es mostra la situació dels punts en els que el nivell freàtic al juliol del 2003 és inferior a l'agost de 2002 i desembre de 2003. Aquests punts estan situats en el Neogen, o al límit dels materials sedimentaris del Neogen amb els granitoids i materials volcànics (serien els pous que es comportarien com els del grup 1 de la conca del riu Onyar).

De l'altra banda, hi haurien els pous on les variacions de nivell seguirien les variacions estacionals, que en el cas de la conca de la riera de Sta. Coloma estarien situats tant a l'al·luvial, com en el Neogen sedimentari, en els materials volcànics i en els materials paleozoics.

La relació riu-aqüífer.

Per tal d'estudiar la relació riu-aqüífer, s'ha realitzat una interpolació de la distància entre el nivell freàtic i la cota topogràfica de cadascun dels punts mesurats, és a dir, de la potència de la zona no saturada en els aqüífers al·luvials (Figura 2.9).

Si es comparen els resultats obtinguts en les piezometries d'estacions plujoses (maig de 2004) amb les d'èpoques seques (juliol de 2003) es pot observar com, en general, es produeix un descens del nivell piezomètric en els mesos d'estiu (Annex).

A la zona de la riera de Sta. Coloma les diferències de nivell entre les campanyes realitzades a l'època humida i a la seca són mínimes. Malgrat que a l'estiu la demanda d'aigua de reg a la zona compresa entre Sta. Coloma i Riudarenes és màxima, l'explotació dels aqüífers no sembla afectar massa els nivells de l'aqüífer al·luvial (Figura 2.9 i 2.10). Aquest fet pot ser degut a dos factors d'origen molt diferent:

- a les aportacions d'origen natural que l'aqüífer al·luvial rebria a través del sauló i dels materials del Neogen adjacents a l'aqüífer al·luvial o bé, fluxos verticals a través de la falla de Sta. Coloma (Folch i Roldán, 2003; Folch, 2005), i/o bé,
- degut a les aportacions d'origen antròpic que rep la riera durant els mesos d'estiu, atès que una part de l'aigua del transvasament del riu Ter cap a Barcelona s'aboca en aquesta riera durant el juliol i agost.

2. Estudi hidrogeològic.

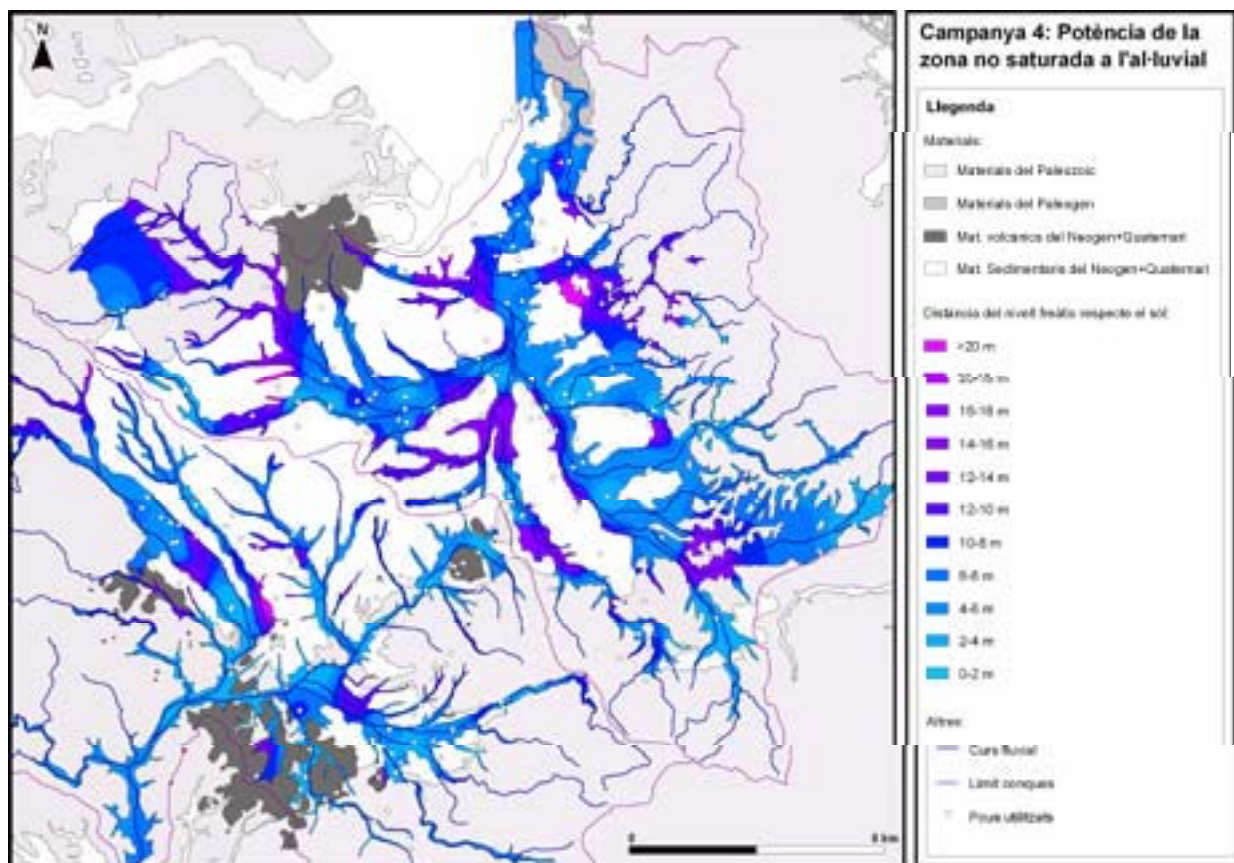


Figura 2.9: Potència de la zona no saturada a l'aquífer al·luvial (juliol de 2003).

A la Figura 2.10 es mostra l'evolució dels nivells en un dels piezòmetres de l'ACA a l'al·luvial de la riera de Sta. Coloma des del gener del 1998 fins al juny del 2004. Tot i que es produeix un cert descens del nivell freàtic durant els mesos d'estiu, en cap cas els descensos són superiors a 1m, confirmant així, que l'explotació de l'aquífer al·luvial d'aquesta riera durant els mesos d'estiu no afecta la disponibilitat d'aigua en termes de quantitat.

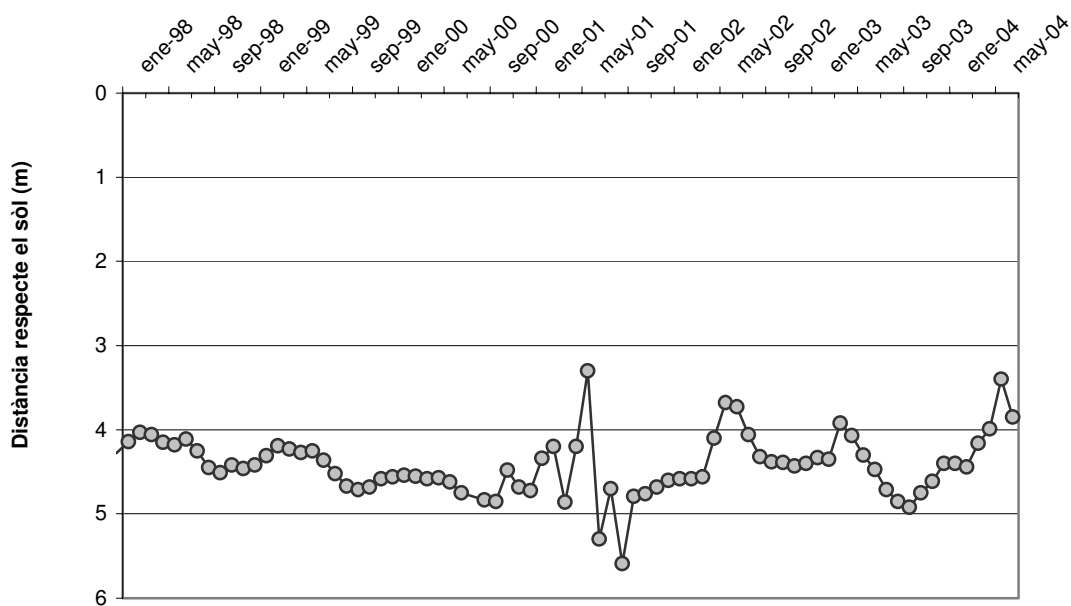


Figura 2.10: Evolució del nivell freàtic de l'aquífer al·luvial de la riera de Sta. Coloma (font ACA).

D'altra banda, la disminució del nivell freàtic durant els mesos d'estiu es veu molt més accentuada a la zona de la plana de l'Onyar, on fins i tot s'hi poden observar els cons de depressió dels pous amb un bombeig continu (Figura 2.11).

La capçalera del riu Onyar (fins a l'alçada del volcà de la Crosa de St. Dalmai, és a dir, a la seva entrada a la depressió) es comporta de manera natural com un riu temporal, assecant-se durant els mesos d'estiu. D'altra banda, en el seu tram mig, l'explotació de l'aquífer al·luvial durant els mesos d'estiu produeix un descens pronunciat del nivell freàtic que condueix a un canvi en la relació riu-aquífer, i fa que el riu passi a ser influent. Quan això succeeix, el riu s'asseca des d'un quilòmetre aigües avall de Vilobí d'Onyar fins a l'alçada de Riudellots de la Selva (on rep les aigües d'altres afluent importants procedents de les Gavarres i del massís de la Selva Marítima), malgrat les aportacions de la depuradora municipal de Vilobí, els abocaments d'aigua residuals del nucli de St. Dalmai i els abocaments d'una indústria càrnica de St. Dalmai (Figura 2.11).

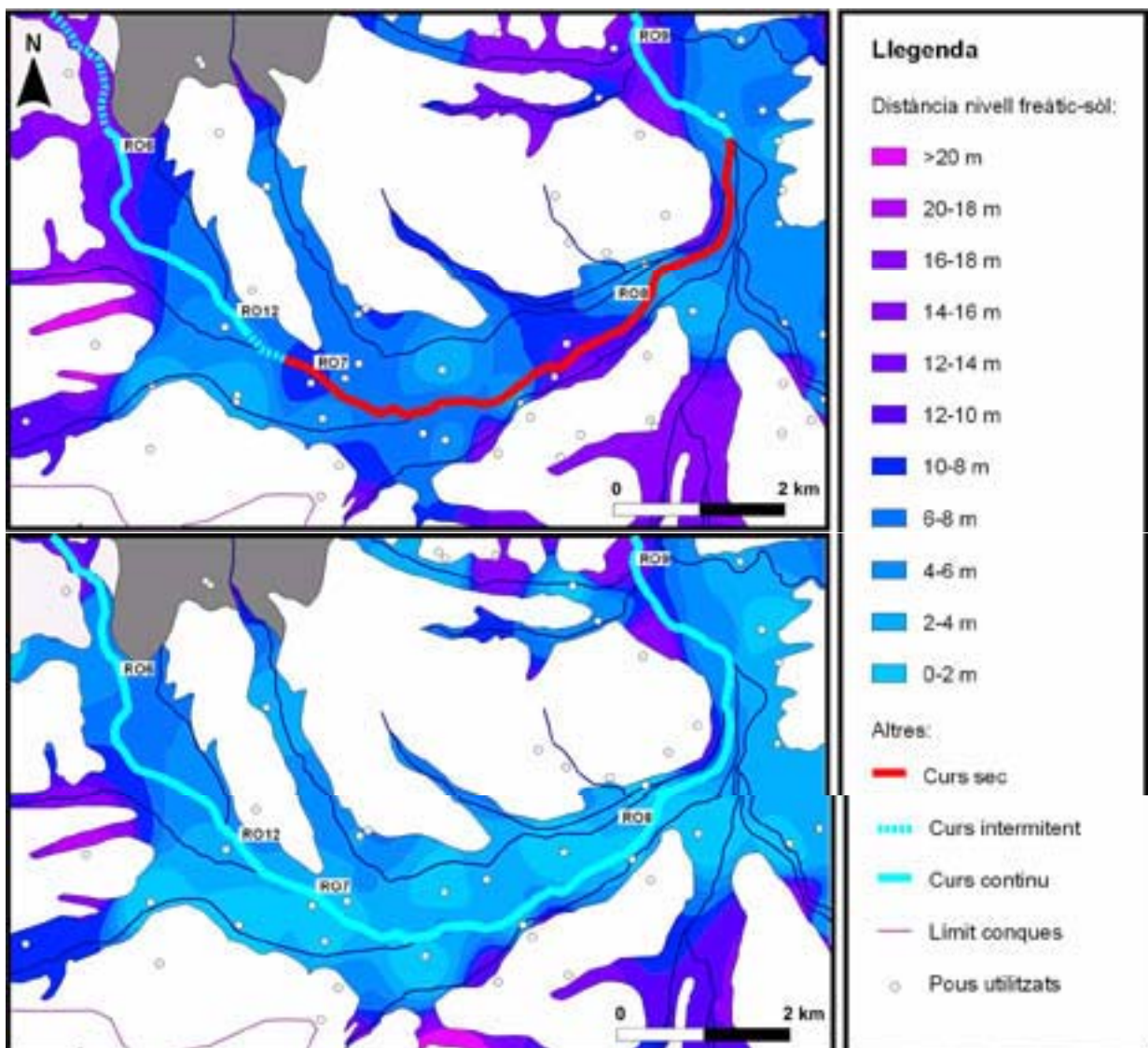


Figura 2.11: Comparació de la potència de la zona no saturada entre el juliol de 2003 i maig de 2004 a la plana al·luvial de l'Onyar.

En estius secs com el del 2003, l'explotació de les aigües subterrànies produeix un descens del nivell freàtic fins a situar-se a profunditats de 4 a 12 m respecte la superfície del sòl (a diferència del maig de 2004 es situa dels 0 a 4 m; Figura 2.11). En aquests casos el riu s'asseca al juliol, i no es recupera fins que no es produeixen pluges importants, sovint, fins a l'octubre o novembre. D'aquesta manera, el tram mig del riu Onyar pot passar més de 5 mesos sec.

Un cas similar seria el de la riera Gotarra, que durant els mesos d'estiu només porta aigua després de l'abocament de la depuradora de Cassà de la Selva-Llagostera. Aquesta riera és temporal a la zona de la capçalera, però al seu tram mig també es produeix el seu assecament, afavorit per l'explotació del seu aqüífer al·luvial. D'altra banda, aigües avall rep les aportacions de la depuradora que sense gairebé dilució donen lloc al cabal circulant d'aquest curs durant els mesos més secs.

La disminució dels cabals superficials en punts com el tram mig del riu Onyar o a la riera Gotarra durant els mesos d'estiu, no permeten la dilució adequada de les aigües residuals, donant lloc a problemes de qualitat en aquests cursos. En el cas de l'Onyar, quan el tram mig s'asseca totalment, els cabals abocats per les diverses depuradores i abocaments, són també captats per l'aqüífer al·luvial, suposant així una nova entrada de compostos nitrogenats en aquest aqüífer.

Així doncs, l'explotació dels aqüífers al·luvials d'aquesta zona pot donar lloc, a més de l'assecament dels cursos fluvials, a problemes de qualitat tant de les aigües superficials com subterrànies.

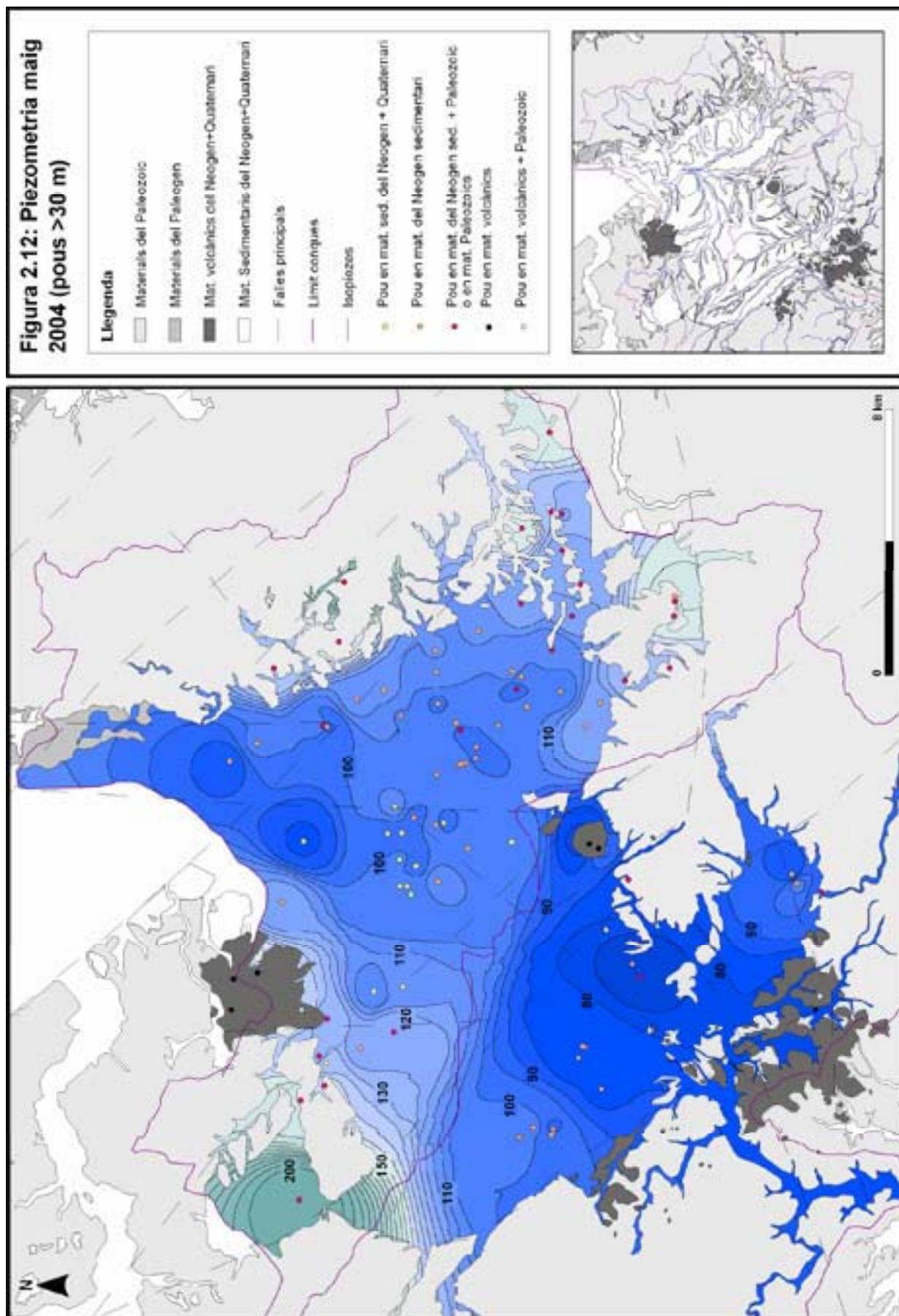
2.4.3. Piezometries dels nivells aqüífers profunds.

La Figura 2.12 representa la piezometria corresponent al maig de 2004 dels pous que exploten els nivells aqüífers més profunds. En aquesta piezometria s'hi ha considerat totes les dades de les que es disposava, encara que algunes captacions poguessin explotar aqüífers diferents. Així, s'han considerat els pous que exploten només el Neogen, els que exploten un aqüífer al·luvial i el Neogen, aquells que també assoleixen el sòcol de la depressió, i finalment, els pous que exploten els materials volcànics i del paleozoic en els marges de la depressió.

La major part dels pous situats en el Neogen no exploten un únic nivell aqüífer sinó que presenten una sèrie de trams oberts a les diverses profunditats on es van trobar els nivells més productius. D'aquesta manera, el nivell hidràulic mesurat a cada pou reflecteix una mitjana ponderada dels valors del nivell hidràulic en cadascun dels nivells travessats.

Atès que també es considera que l'aqüífer Neogen profund es recarrega a través de les fractures principals que travessen el sòcol de la depressió (Compañía General de Sondeos, S.A., 1979; Vilanova, 2004), en els pous situats en aquestes fractures el que es mesuraria seria la influència del flux vertical i no el desplaçament lateral de les aigües subterrànies, com es mesuraria en la resta de pous. De manera que també es podrien generar problemes en la seva interpretació.

Així, a partir de la piezometria del maig de 2004 (Figura 2.12) es pot observar com en els nivells aqüífers més profunds també es segueix la divisòria d'aigües de les aigües superficials, distingint-se així dues conques hidrogeològiques diferents. En aquest sentit, els nivells més profunds de la conca del riu Onyar descarreguen cap al nord d'aquesta conca, i pel que fa als de la riera de Sta. Coloma, l'aigua dels nivells més profunds flueix cap a la zona de la Sèquia de Sils.



2. Estudi hidrogeològic.

Els gradients més importants es donen als marges de la depressió, coincidint amb les zones muntanyoses, així com a la divisòria d'aigües entre les dues conques estudiades. En el cas de la zona de les Guillerries aquest gradient no hi apareix, al no haver pogut considerar en la interpolació realitzada els pous situats en els materials paleozoics d'aquest massís.

A partir de l'anàlisi estadística realitzada tenint en compte tots els pous que exploten nivells aquífers profunds, s'ha observat que al comparar les campanyes de desembre de 2000 i agost de 2002 no apareixen variacions significatives dels nivells, segurament causat per les baixes precipitacions que es van produir entre l'estiu i el desembre de 2000 (Figura 2.2). En canvi, es detecten augments significatius del nivell hidràulic entre les campanyes seques i humides, és a dir, entre l'agost de 2002 i el febrer de 2003 i, entre les campanyes del juliol de 2003, desembre de 2003 i maig de 2004. Finalment, també s'han detectat descensos significatius del nivell entre les èpoques humides i les seques, com és el cas del febrer de 2003 al juliol de 2003 i entre el maig de 2004 i l'octubre de 2004.

Així, en els nivells aquífers profunds es manifesten variacions dels nivells hidràulics que depenen clarament de l'estacionalitat, és a dir, en les èpoques seques és quan el nivell hidràulic és més baix, i en les èpoques humides es recupera. Cal destacar però, que aquestes variacions també poden veure's influenciades per les extraccions produïdes sobretot per l'agricultura, atès que es concentren durant l'època seca. Això permet que la diferència de nivells sigui més accentuada entre aquestes dues èpoques, i que a nivell estadístic es produeixi aquesta clara diferenciació.

Si es compara el nivell hidràulic dels pous profunds, en relació al dels pous superficials més pròxims, s'observen comportaments diferenciats. La Figura 2.13 mostra la situació geogràfica dels pous profunds estudiats, en els que a prop hi havia un pou superficial del que se'n tenien dades, i quina és la relació entre ells. Així, en general, es poden diferenciar:

- 1) Aquelles zones on el nivell hidràulic dels pous profunds es troba aproximadament al mateix nivell que el dels pous superficials;
- 2) Aquelles zones on s'observa que el nivell hidràulic dels pous profunds es troba per sota (diferències inferiors a 1 m) o molt per sota (diferències superiors a 1 m) del nivell dels pous superficials (Taula 2.2 i 2.3);
- 3) Localment, alguns punts el nivell hidràulic dels pous profunds es troba per sobre (diferències inferiors a 1 m) o molt per sobre (diferències superiors a 1 m) del nivell hidràulic dels pous superficials (Taula 2.4); i finalment,
- 4) Les zones on aquests nivells segueixen comportaments diferents al llarg de l'any, és a dir, durant l'època seca els nivells hidràulics dels pous profunds se situarien per sota dels nivells hidràulics superficials i durant l'època humida es recuperarien i fins i tot podrien passar a (Taula 2.5).

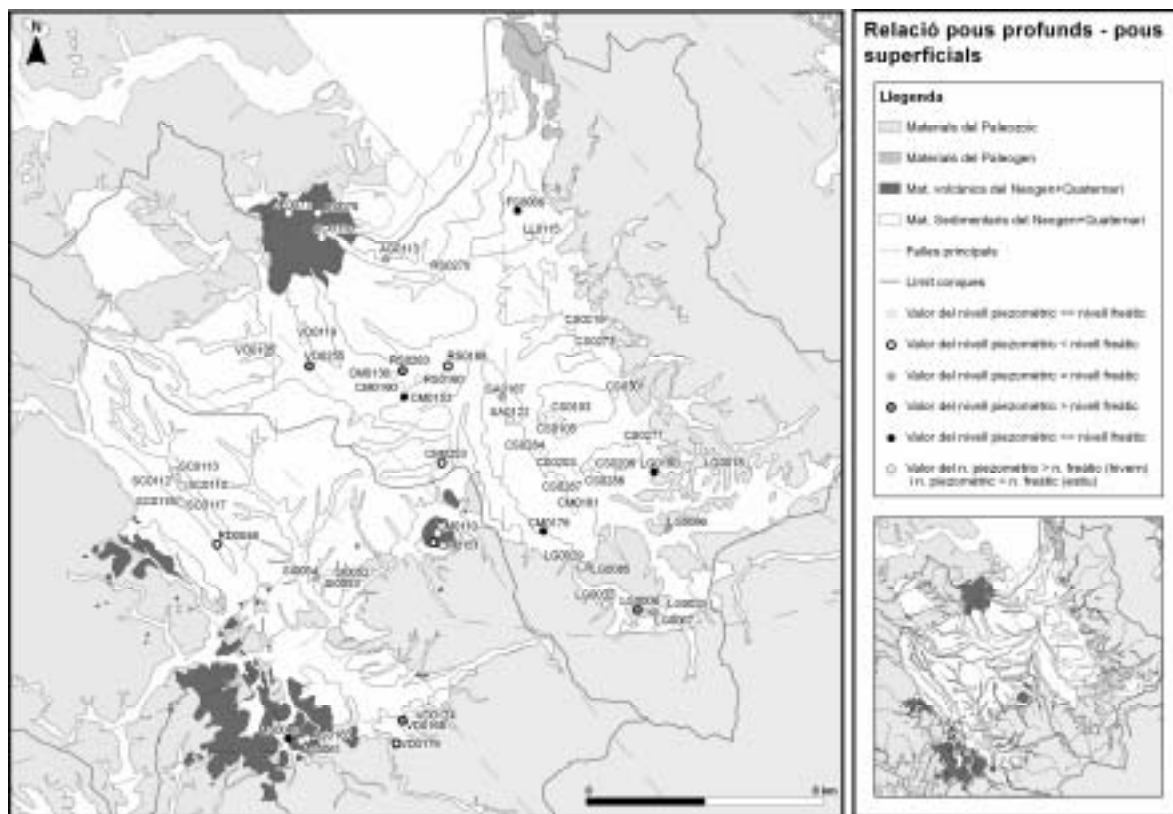


Figura 2.13: Relació dels pous profunds amb els superficials.

Zones on el nivell piezomètric es troba al mateix nivell que el freàtic.

El fet que el nivell piezomètric dels nivells aquífers més profunds es trobi situat al mateix nivell que el freàtic dels pous superficials, indica que hi podria haver una connexió hidràulica efectiva entre aquests nivells profunds i els superficials, i per tant, hi podria haver un equilibri entre el nivell freàtic i el piezomètric. D'altra banda, si es produís una recàrrega efectiva dels nivells aquífers profunds de la depressió a través de les seves fractures principals (Compañía General de Sondeos SA, 1979; Vilanova, 2004), aquesta podria afectar aquests pous (alguns dels quals situats en zones properes a aquestes fractures) fent-hi augmentar així el nivell piezomètric i igualant-se amb el freàtic. D'aquesta manera, la diferència entre el nivell freàtic i el nivell piezomètric podria ser molt inferior a la dels pous propers no afectats per aquestes aportacions. Aquest seria el cas dels pous SA0167 i SA0122, situats a St. Andreu Salou, el AG0113 i RS0270 situats a Aiguaviva i Riudellots de la Selva i els pous LG0067 i LG0033 situats a Llagostera (Figura 2.13).

Zones on el nivell piezomètric es troba per sota del nivell freàtic.

A la Figura 2.13 es pot observar com els punts on el nivell freàtic dels pous superficials es troba per sobre del nivell piezomètric dels pous profunds, estan repartits per tota la depressió. Aquests pous exploten, majoritàriament els nivells més productius del Neogen, així com els materials volcànics de Caldes, St. Dalmai i Maçanet. A les Taules 2.2 i 2.3 es mostren alguns exemples de la seva evolució al llarg de les diverses campanyes, conjuntament amb l'evolució del nivell freàtic d'un pou superficial pròxim.

Les diferències de nivells en la major part dels punts del Neogen sedimentari (la Taula 2.2) són, com a mínim, de 3 o 4 m. En el cas 4 de la Taula 2.2 es pot observar com a mesura que el pou explota nivells aquífers a més profunditat, el nivell hidràulic és cada vegada més baix. Així, la diferència de

2. Estudi hidrogeològic.

nivells entre el pou de 6 m i el de 60 és de 1 a 4 m, entre el pou de 6 m i el de 70 és superior als 3 m i pel que fa al pou de 150 m (que ja assoleix el sòcol de la depressió), aquesta diferència és superior als 9 m.

Codi	Prof. (m)	Aqüífer	Nivell hidràulic (m.s.n.m)						
			Des00	Ago02	Feb03	Jul03	Des03	Mai04	Oct04
Cas1									
CS0218	12,81	Neogen sedimentari			116,23	116,7	117,03	119,14	117,14
CS0219	39	Neogen sedimentari			109,35	109,8	109,94	111,67	110,85
Cas2									
RS0223	10,4	Al·luvial	89,1	89,1	88,68			88,88	87,18
RS0270	100	Al·luvial + Neogen			84,78	81,14		84,73	82,48
Cas3									
CM0135	11	Al·luvial	102,07		104,17	101,8		104,32	101,2
CM0130	130	Al·luvial + Neogen	96,63	98,29	100		100,1	101,16	97,3
Cas4									
CS0168	5,46	Al·luvial		106,6		106,8		106,78	103,52
CS0287	60	Neogen sedimentari				102,8		104,96	102,5
CS0284	70	Neogen sedimentari			101,98		101,2	102,95	100,31
CS0203	150	Neogen sedimentari			97,41			97,11	
Cas5									
VO0139	10,57	Neogen selva	113,82	114,43	114,15	114,1	114,08	116,22	114,48
VO0119	120	Al·luvial + Neogen	105,9	103,01	110,03		104,33	108,29	113,22

Taula 2.2: Valors dels nivells en els punts on el nivell piezomètric en el Neogen sedimentari es troba per sota del nivell freàtic.

Pel que respecta als pous que exploten els nivells productius dels materials d'origen volcànic (Taula 2.3), també s'hi observa aquestes diferències de nivell. En alguns punts, són únicament d'uns pocs metres, però en el cas de Maçanet (cas 8) o el de Caldes (cas 7), aquesta diferència supera els 20 m.

El fet que el nivell piezomètric en aquests punts es trobi sempre per sota del nivell freàtic, indica que exploten nivells aquífers diferents, i que la relació hidràulica efectiva en els nivells més profunds és limitada o nul·la amb la superfície, indicant el confinament dels nivells neògens pels nivells argilosos intermedis.

Codi	Prof. (m)	Aqüífer	Nivell hidràulic (m.s.n.m)						
			Des00	Ago02	Feb03	Jul03	Des03	Mai04	Oct04
Cas6									
BE0080	27	Volcànic + Neogen		166,89		167,8		168,47	168,85
BE0078	50	Volcànic + Neogen		160,6	160,26	161,2	161,9	163,96	162,3
Cas7									
CM0109	20	Volcànic (Caldes)			98,27	92,02	98,95	100,7	90,48
CM0110	56	Volcànic (Caldes)			78,25	71,97	77,55	75,22	75,22
Cas8									
MS0162	14,7	Volcànic (Maçanet)			92,25	91,11		94,05	91,6
MS0061	86	Volcànic (Maçanet)		73,39	77,05	72,65	77,6	78,6	77,68
MS0163	88	Volcànic (Maçanet)			78,83		79,37		

Taula 2.3: Valors dels nivells en els punts on el nivell piezomètric en el volcànic es troba per sota del nivell freàtic.

Zones on el nivell piezomètric es troba per sobre del nivell freàtic.

Els pous en què s'ha detectat que el nivell piezomètric es troba per sobre del nivell freàtic dels pous superficials propers, es troben situats, majoritàriament, a les vores de la depressió, o bé en punts propers a les zones de falles principals (Figura 2.13 i taula 2.4).

El fet que el nivell piezomètric dels nivells aquífers profunds estigui per sobre del nivell freàtic, també indica l'existència d'un confinament dels nivells aquífers profunds.

Codi	Prof. (m)	Aquífer	Nivell hidràulic (m.s.n.m)						
			Des00	Ago02	Feb03	Jul03	Des03	Mai04	Oct04
Cas9									
FS0065	25,64	Neogen sedimentari	83,38	84,05	83,86	84,55	84,1	87,08	84,83
FS0066	102	Neogen sedimentari	85,22		89,35		88,8	88,35	84,1
Cas10									
VO0141	10,57	Al·luvial	110,73	110,6	110,84	110,9	110,74	112,44	110,9
VO0255	60	Al·luvial + Neogen	110,90	111,12	111,38		111,04	112,72	110,81
Cas11									
LG0189	15,93	Al·luvial			108,75			116,17	109,05
LG0190	120	Paleozoic (granit)			108,75		115,37	118,73	115,32
Cas12									
CM0178	26,9	Neogen sedimentari		111,76	110,82	110,8	111,2	112,5	112,24
CM0179	120	Neogen sedimentari		114,26			116,77	117,88	115,5
Cas13									
MS0115	22	Al·luvial + volcànic		74,08	74,93		76,3	76,6	75,11
MS0060	60	Volcànic + Paleozoic		75,58	77,29		78,9	78,9	78,9

Taula 2.4: Punts on els nivells hidràulics són superiors als nivells freàtics.

Depenent de la situació dels pous estudiats, el fet que el nivell hidràulic es trobi per sobre del nivell freàtic és també diferent. D'una banda, el cas 13, correspon a un pou situat a la falda dels turons de Maçanet (el pou MS0060 situat a una cota de 78,9 m.s.n.m.) el qual explota els mateixos nivells aquífers que els pous del cas 8 de la Taula 2.4 (pous situats sobre els turons i amb una cota de 97 m.s.n.m). En aquest cas, la capa confinant la formarien els basalts dels volcans de Maçanet, i els nivells aquífers explotats per aquests pous estarien formats per basalts fracturats o gredes, que es trobarien a partir d'aproximadament els 36 m de profunditat.

Si es compara els nivells dels pous situats sobre dels turons de Maçanet (MS0061 i MS0163) amb els pous superficials també sobre aquests els turons, s'observa que el nivell piezomètric està molt per sota del nivell freàtic, tot i trobar-se entre 72,65-79,37 m.s.n.m. Si es té en compte que aquests nivells aquífers profunds són també explotats pel pou MS0060, quan el nivell piezomètric assoleix valors com el de 79,37 el pou MS0060 esdevé sorgent (atès que es troba a una cota de 78,9 m.s.n.m), i passa així a presentar un nivell piezomètric superior que el dels pous superficials de la falda del turó (com és el MS0115).

Cal destacar que el pou MS0060 ha començat a ser sorgent després que els pous municipals de Maçanet (situats en aquests turons) deixessin d'explotar aquests nivells més productius, i coincidint també amb una època més plujosa. Així, aquests nivells, s'han pogut recuperar, i ara han donat lloc a un pou artesià, on abans no hi era.

La recàrrega d'aquests nivells més profunds no es produeix per l'existència d'una relació hidràulica efectiva amb els nivells superficials sinó que té un altre origen més regional, i segurament influenciat per les fractures presents en aquesta zona.

De l'altra banda, hi ha els pous com els dels casos 9, 10 i 12 (de la Taula 2.4), que es caracteritzen per explotar els nivells sedimentaris neògens profunds de la depressió en punts propers a les fractures principals (Figura 2.13). En aquests casos els nivells confinants els formarien les capes

d'argiles situades més properes a la superfície que els nivells aquífers explotats. La major part d'aquests casos també es troben situats relativament a prop de pous on la relació nivell piezomètric-nivell freàtic és totalment oposada, cosa que mostraria la recàrrega efectiva que es produeix a través d'aquestes fractures.

I finalment, el cas 11, en el que el nivell confinant el formaria el granit no fracturat, i el nivell piezomètric superior al freàtic també indicaria la presència de fluxos de caràcter regional en aquest punt.

Zones on les diferències entre el nivell piezomètric i el nivell freàtic varien al llarg de l'any.

Els punts situats en aquest apartat es caracteritzen perquè depenen de l'època de l'any, el nivell piezomètric dels pous que exploten nivells aquífers més profunds es trobaria per sobre o per sota del nivell freàtic. Aquest seria el cas dels punts representats a la Taula 2.5.

La Taula 2.5 mostra que en aquests pous el nivell piezomètric supera el nivell freàtic durant l'època humida, mentre que a l'època seca el nivell piezomètric es troba per sota. Això indicaria que tot i que els nivells més profunds es recuperen amb una certa facilitat durant l'època humida, durant l'estiu, la seva explotació és limitada, ja que es produeixen aquests descensos en relació als nivells aquífers més superficials. Cal destacar, que la major part d'aquests punts es troben vora dels límits de la depressió o propers a les zones de fractures principals, cosa que podria facilitar la seva recuperació durant l'època humida.

Codi	Prof. (m)	Aqüífer	Nivell hidràulic (m.s.n.m)						
			Des00	Ago02	Feb03	Jul03	Des03	Mai04	Oct04
Cas14									
RD0071	15,7	Neogen sedimentari		92,27	93,53	93,86	93,95	95,27	93,53
SC0117	65	Neogen sedimentari				91,24	94,1	94,24	
SC0118	50	Neogen sedimentari				86,68		96,85	89,51
Cas15									
LG0028	16,7	Paleozoic (granodiorites)			122,04	119,3	122,85	124,23	121,78
LG0029	100	Al·luvial + Paleozoic			125,04		121,21	126,68	110,19
Cas16									
LG0030	8,57	Al·luvial			133,23	132	135,1	135,19	132,95
LG0032	120	Al·luvial + Paleozoic			117,66	129,9	136		
Cas17									
LG0017	15,7	Al·luvial		138,15	142,12	141,1	142	145,38	140,33
LG0018	68	Paleozoic (granitoids)		136,79			140,85	148,48	139,9

Taula 2.5: Punts on la diferència del nivell hidràulic i freàtic és diferent en funció de l'època de l'any.

En relació al cas 14, en aquesta zona també hi ha tres altres pous, el SC0110, SC0112 i SC0113 (Figura 2.13) que exploten els mateixos nivells. D'altra banda, aquests tres pous es troben situats a una cota més baixa, que permet que durant els mesos humits (quan l'explotació de les aigües subterrànies és molt menor) siguin sorgents.

2.4.4. Conclusions de l'anàlisi de les dades piezomètriques.

Els objectius principals de l'anàlisi piezomètrica han estat establir les direccions i trajectòries del flux d'aigua subterrani, identificar les àrees de recàrrega i analitzar l'evolució temporal dels nivells hidràulics tenint en compte l'explotació d'aquests aqüífers.

En aquest sentit, la distribució espacial de es dades piezomètriques i les relacions hidrodinàmiques observades entre els diferents nivells aqüífers permeten determinar l'existència de dues dinàmiques de flux diferenciades:

- Fluxos de caire local procedents dels massissos adjacents a la depressió i que recarreguen, amb una component predominantment horitzontal, tant els nivells aqüífers superficials, com els profunds dels sediments neògens.
- Fluxos de caire regional, que podrien procedir tant dels massissos adjacents a la depressió com d'àrees de recàrrega més llunyana, els quals atorgarien el nivell hidràulic suficient per a desenvolupar una component predominantment vertical en el flux. Aquesta component fóra responsable de la recàrrega dels nivells aqüífers més profunds del Neogen, a través de les fractures principals del sòcol de la depressió.

Pel que respecta a l'evolució temporal dels nivells hidràulics s'ha observat:

- En el cas dels aqüífers al·luvials, la seva explotació durant els mesos d'estiu, produeix un descens del nivell freàtic prou significatiu com per ocasionar l'assecament del tram mig de l'Onyar. En el cas de la riera de Sta. Coloma però, gràcies a les aportacions de cabal del riu Ter gestionades per l'ACA, no es produeix aquest descens tant important, ni tampoc el seu assecament.
- En els nivells aqüífers superficials dels sediments neògens s'observa que l'evolució del nivell freàtic està principalment influenciada per l'estacionalitat. Tanmateix, en alguns casos, les extraccions permanents i les limitacions en la recàrrega que poden tenir aquests nivells aqüífers més superficials, causen que l'evolució d'aquests nivells no coincideixi amb aquesta estacionalitat.
- En el cas dels nivells aqüífers més profunds, durant els mesos d'estiu es produeixen descensos significatius, tant en funció de l'estacionalitat com pel règim d'extraccions. Altrament, aquest nivells hidràulics es tornen a recuperar quan es produeixen precipitacions prou importants, indicant així, que la seva recàrrega és suficientment efectiva per a poder mantenir les explotacions actuals. En aquest sentit, cal esmentar que una part dels anys estudiats (2000-2002) corresponen a un període notable de sequera, malgrat la qual s'observà la recuperació esmentada del nivell hidràulic en els aqüífers profunds.

2.5. ANÀLISI DE LES DADES HIDROQUÍMIQUES.

Després de l'anàlisi piezomètrica, s'ha realitzat una anàlisi fisicoquímica de les aigües subterrànies per així aprofundir en l'estudi de les direccions de flux, identificar les zones de recàrrega del sistema, avaluar les zones de fractures com a vies de recàrrega dels nivells aquífers més profunds del Neogen i establir els temps de residència relatius.

Per assolir aquests objectius s'ha realitzat una campanya de mostreig en un total de 29 punts al maig de 2003, que s'ha ampliat amb 17 punts més a l'agost del mateix any. Posteriorment s'ha realitzat una campanya al setembre de 2004 en la que s'ha utilitzat un total de 62 punts (39 dels quals ja s'havien mostrat en les primeres campanyes).

La interpretació d'aquestes dades, s'ha realitzat a partir de la classificació de les diverses mostres en funció dels nivells aquífers que explotava el pou. Així, els grups de mostres considerats han estat els que es mostren a la Taula 2.6.

Tota aquesta informació s'ha complementat amb les dades del seguiment que fa l'IGME (dades des del 1992 al 2000) en aquesta zona, així com amb dades obtingudes a partir d'altres treballs, com els de Vilanova (2001, 2004).

Conca	Aquífer	Maig 2003	Agost 2003	Setembre 2004
Onyar	Al·luvial	3	2	5
	Volcànic	1		1
	Neogen sedimentari	11	2	20
	Neogen sedimentari + paleozoic	2	4	9
	Paleozoic (granitoids i mat. metamòrfics)	4	1	9
Sta. Coloma	Al·luvial	3		5
	Volcànic	2		3
	Neogen sedimentari		5	4
	Neogen sedimentari + paleozoic	1		1
	Paleozoic (granitoids i mat. metamòrfics)		3	2
Zona Nord	Neogen	2		3

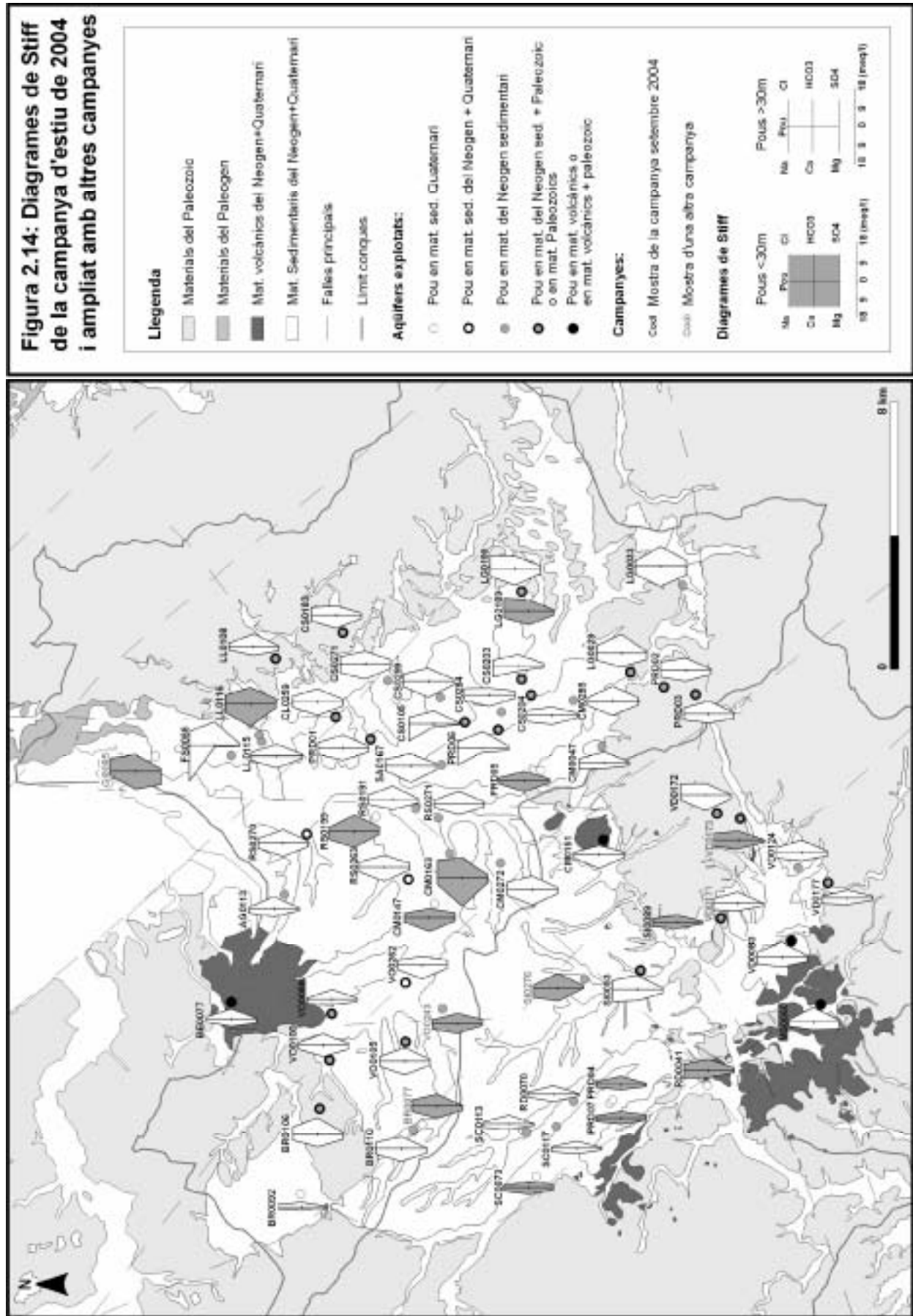
Taula 2.6: Analítiques realitzades per aquífer.

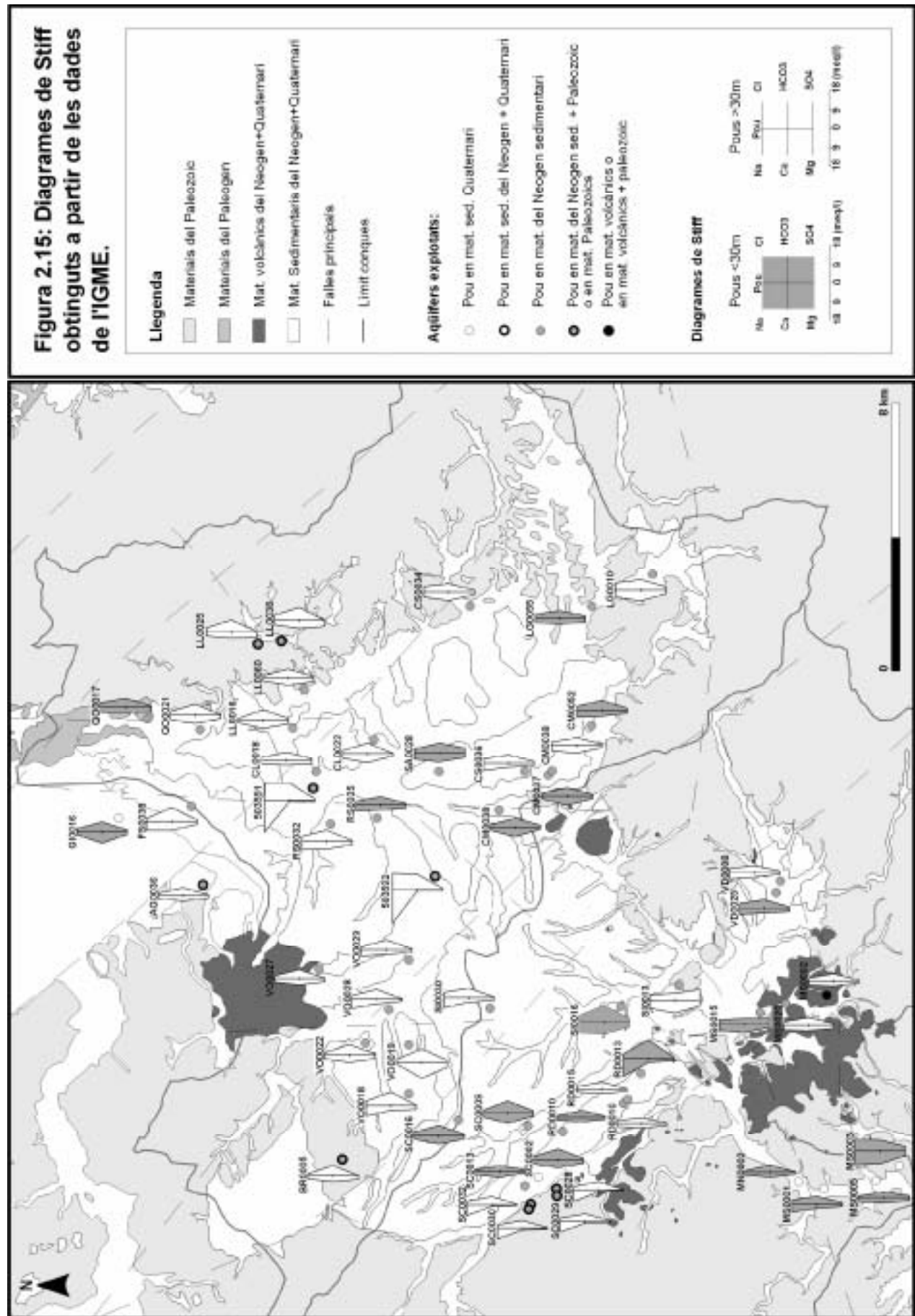
2.5.1. Caracterització de les diverses fàcies hidroquímiques.

La descripció de les diverses fàcies hidroquímiques de les aigües dels diversos aquífers estudiats s'ha realitzat a partir dels diagrames de Stiff presentats en les Figures 2.14 i 2.15, així com a través dels diagrames de Piper (Figures 2.16 i 2.17).

El primer diagrama de Stiff (Figura 2.14) presenta els resultats de les analítiques realitzades en la campanya de l'estiu de 2004. A més, s'ha completat la informació amb alguns dels punts analitzats en campanyes anteriors, els quals s'han presentat amb el codi en color gris.

En el cas de la Figura 2.16, es representen les dades disponibles dels diversos pous i sondejos mostrats per l'IGME en l'àrea d'estudi. Aquestes dades corresponen a campanyes diferents, i permeten ampliar la informació presentada en la Figura 2.15.





2. Estudi hidrogeològic.

Aquest enriquiment en sodi pot ser degut a factors molt diversos. D'una banda, a factors naturals com les aportacions d'aigües termals produïdes pel seu ascens a través de les fractures principals de la zona o bé, per l'alteració de les plagiòclasis sòdiques (un dels minerals més fàcilment alterables dels granitoids de la zona d'estudi). De l'altra, a la infiltració de les aigües superficials, les quals reben aportacions de les depuradores de la zona i de les aigües termals sobrants de Sta. Coloma i Caldes de Malavella, que presenten ambdues, elevades concentracions en sodi.

La relació de les aigües dels aqüífers al·luvials amb les aigües superficials es tracta en més detall en el següent capítol.

A la Figura 2.16 també es representa les mostres preses als diversos *aqüífers volcànics* de la zona, concretament, a la Crosa de St. Dalmai, al volcà del camp dels Ninots de Caldes de Malavella i als volcans de Maçanet. D'una banda, les mostres de la Crosa i del camp dels Ninots es trobarien dins el grup de les bicarbonatades càlciques, tot i que el punt BE0077 (situat a la Crosa), presenta una proporció elevada de magnesi (un 30%). De l'altra, hi ha les mostres dels punts MS0060 i VD0080 (situats a Maçanet i Vidreres, respectivament) que són clarament bicarbonatades, però pel que respecta als cations, la proporció de calci no és tant elevada, augmentant així la proporció de magnesi fins a gairebé un 40% en el MS0060, i augmentant fins gairebé un 30% la proporció de sodi i potassi en el VD0080.

A la Figura 2.15, es pot observar que les mostres dels pous profunds de l'IGME situats a la zona volcànica de Maçanet també són bicarbonatades, però pel que respecta als cations s'observen proporcions similars en tots ells.

En referència a les mostres preses en els aqüífers en *materials sedimentaris del Neogen*, en *materials sedimentaris del Neogen més granitoids* i, en els *granitoids i materials metamòrfics*, s'observa que:

- La major part de les mostres de pous que exploten els materials sedimentaris neògens de la depressió presenten una fàcies bicarbonatada càlcica (Ca-HCO₃; Figura 2.14 i 2.15).
- D'altra banda, tant a la Figura 2.14 com en els mostresos realitzats per l'IGME (Figura 2.15) també es pot observar com algunes mostres de pous que exploten els nivells més profunds del Neogen i de pous que assoleixen el sòcol de la depressió són clarament bicarbonatades sòdiques (Na-HCO₃). A més, aquests punts es troben situats en zones properes a les falles principals que van originar la depressió de la Selva, bé sigui a la falla N-S de Girona a Caldes de Malavella o la NO-SE de Llorà, a la falla NO-SE de Sta. Coloma, a la falla N-S de Brunyola a Sils o a la falla NO-SE de Vilobí a Caldes de Malavella, entre d'altres. Tot i que aquestes mostres no presenten temperatures altes, sí que presenten les característiques de les aigües termals de la zona, és a dir, com ja destacava Albert (1980), són bicarbonatades sòdiques.
- Alguns punts que exploten els nivells més profunds del neogen, o que fins i tot assoleixen el sòcol de la depressió, en àrees properes a les fractures on es troben pous amb fàcies Na-HCO₃ presenten fàcies intermèdies, Ca-Na-HCO₃. Aquest seria el cas del SC0113 i SC0117, el CS0203 i el CS0204 situats a Sta. Coloma i Cassà de la Selva, respectivament. En aquestes zones els pous superficials presenten una fàcies Ca-HCO₃ (com és el cas del SC0009, i el SC0016 de la

Figura 2.15 o el CS0105 abans no s'aprofundís), fet que suggereix la mescla d'aquestes aigües, amb les Na-HCO₃, inicialment atribuïdes a fluxos regionals a través de les fractures principals de la depressió.

- Específicament, tant els pous superficials com els profunds de la cubeta de Vidreres presenten una concentració de sodi molt similar a la del calci (Ca-Na-HCO₃ Figura 2.14 i 2.15). Aquest fet suggereix que en aquesta zona el sodi pugui trobar-se associat a una alteració dels nivells de materials volcànics que s'intercalen amb el reblliment sedimentari d'aquesta cubeta.
- Algunes de les mostres de pous que exploten els granitoids, així com de pous que exploten el Neogen profund, presenten una proporció elevada de clorurs, fins a superar, en alguns casos, la proporció de bicarbonats (Ca-HCO₃-Cl). Aquest és el cas del LG0190, VD0172 i CS0183 (Figura 2.14), situats en zones on els granitoids estan fracturats i mostres com el CS0204, CS0284 i CM0163 situades en el Neogen. Vilanova (2001) atribueix aquest enriquiment en clorurs a la hidròlisi de la biotita, o bé a la presència de disseminacions de minerals de ferro, feldspats potàssics i biotites totalment alterades a clorites, que es presenten en les zones de fractura.

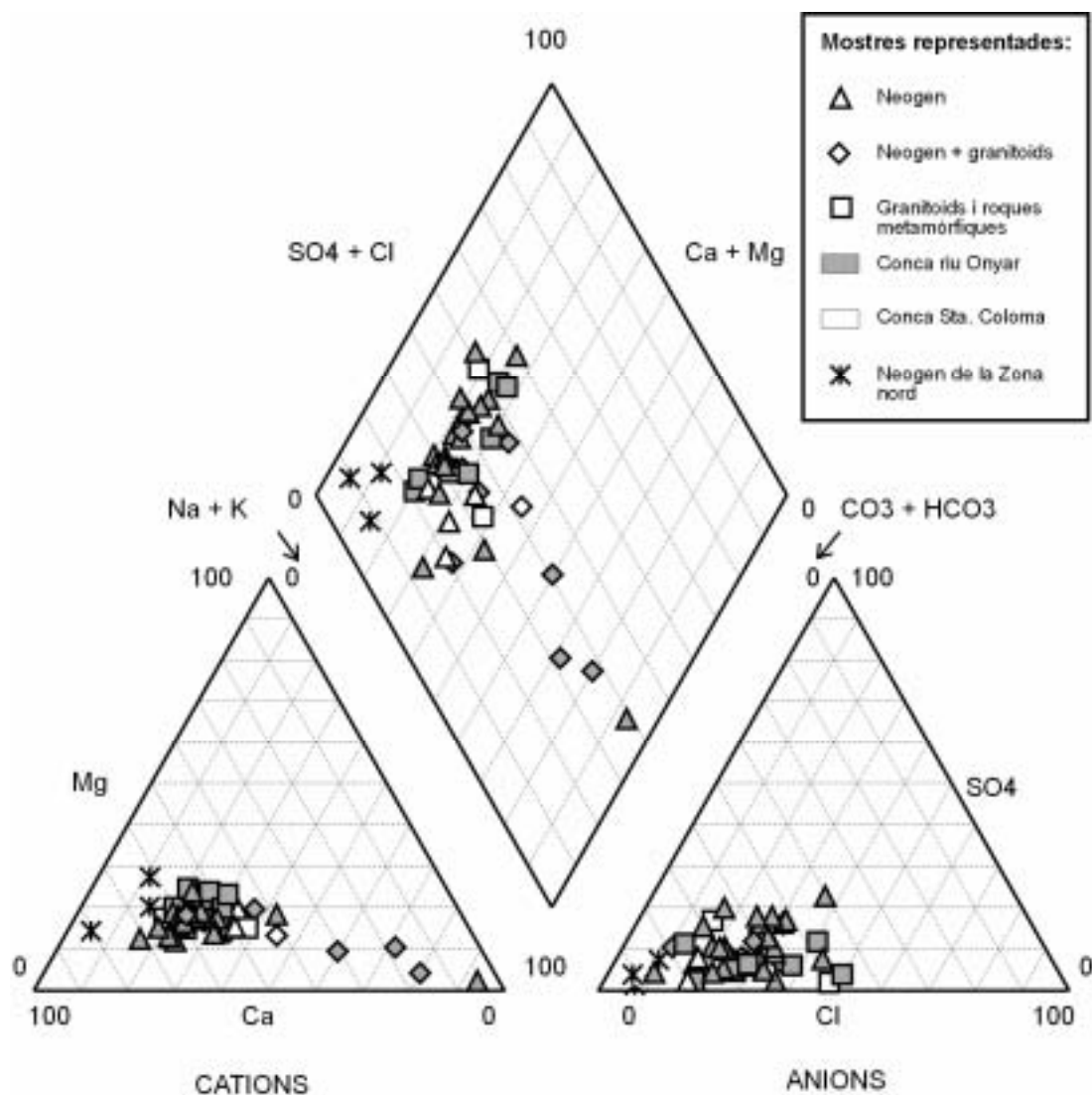


Figura 2.17: Diagrama de Piper de les mostres dels aquífers en materials del Neogen i dels granitoids (campanya 2004).

2. Estudi hidrogeològic.

- Finalment, els pous que exploten els materials sedimentaris del Neogen a la zona de St. Gregori (zona nord de la depressió), si bé també presenten una fàcies marcadament bicarbonatada càlcica (Ca-HCO_3), la proporció de la resta de cations i anions és més baixa (Figura 2.17). En aquesta zona, els materials que configuren els sediments neògens provenen principalment de la serralada Transversal i estan formats principalment, per materials que presenten matrius carbonatades com conglomerats, gresos, margues i calcàries.

També cal destacar que, tal i com s'observa a la Figura 2.14 els punts situats al marge oest de la depressió presenten càrregues iòniques molt més baixes que els que es troben a la conca de l'Onyar. Aquestes diferències en la conductivitat poden ser indicatives d'orígens de recàrrega diferents. Apuntar la hipòtesi que els pous profunds de la conca de l'Onyar podrien estar més influenciats per una recàrrega procedent de la zona nord de la depressió (de la serralada Transversal) o del sòcol d'aquesta a la zona de Girona on, per la presència de materials carbonatats, podria fer augmentar la proporció de bicarbonats i de calci a l'aigua en relació als punts de la conca de la riera de Sta. Coloma, influenciada únicament pels granitoids i materials metamòrfics de les Guillerries.

Així, en funció dels diagrames de Stiff i de Piper, les mostres de pous situats en materials paleozoics (tant ignis com metamòrfics), neògens i les mostres de pous que travessen els materials sedimentaris del Neogen fins assolir el sòcol de la depressió es poden classificar en els subgrups que es presenten a la Taula 2.7.

Grup	Quimisme	Formació Hidrogeològica
1	$\text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ i $\text{Na}^+ \gg \text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$	Neogen profund i Neogen + Paleozoic (propers a fractures)
3	$\text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ i $\text{Ca}^{2+} \gg \text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$	La major part de les mostres de pous situats en el Neogen.
5	$\text{Cl}^- \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ i $\text{Ca}^{2+} \gg \text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$ o	Sobretot en materials paleozoics (ignis i metamòrfics), i puntualment en el Neogen i en Neogen + Paleozoic profunds.

Taula 2.7: Grups hidroquímics establerts a partir dels diagrames de Stiff i Piper en els materials silicatats.

A més dels grups més extrems presentats en la Taula 2.7 també s'han observat tot una sèrie de mostres que presenten característiques intermèdies, per exemple, mostres que presenten una fàcies bicarbonatada, però amb una proporció de sodi i calci molt similars (grup 2), o bé mostres que presenten proporcions de clorurs i bicarbonats similars, així com de calci i sodi (grup 4). Els paràmetres principals tant d'aquestes grups intermedis, com dels grups representats a la Taula 2.7 es presenten en els diagrames de caixa de la Figura 2.18.

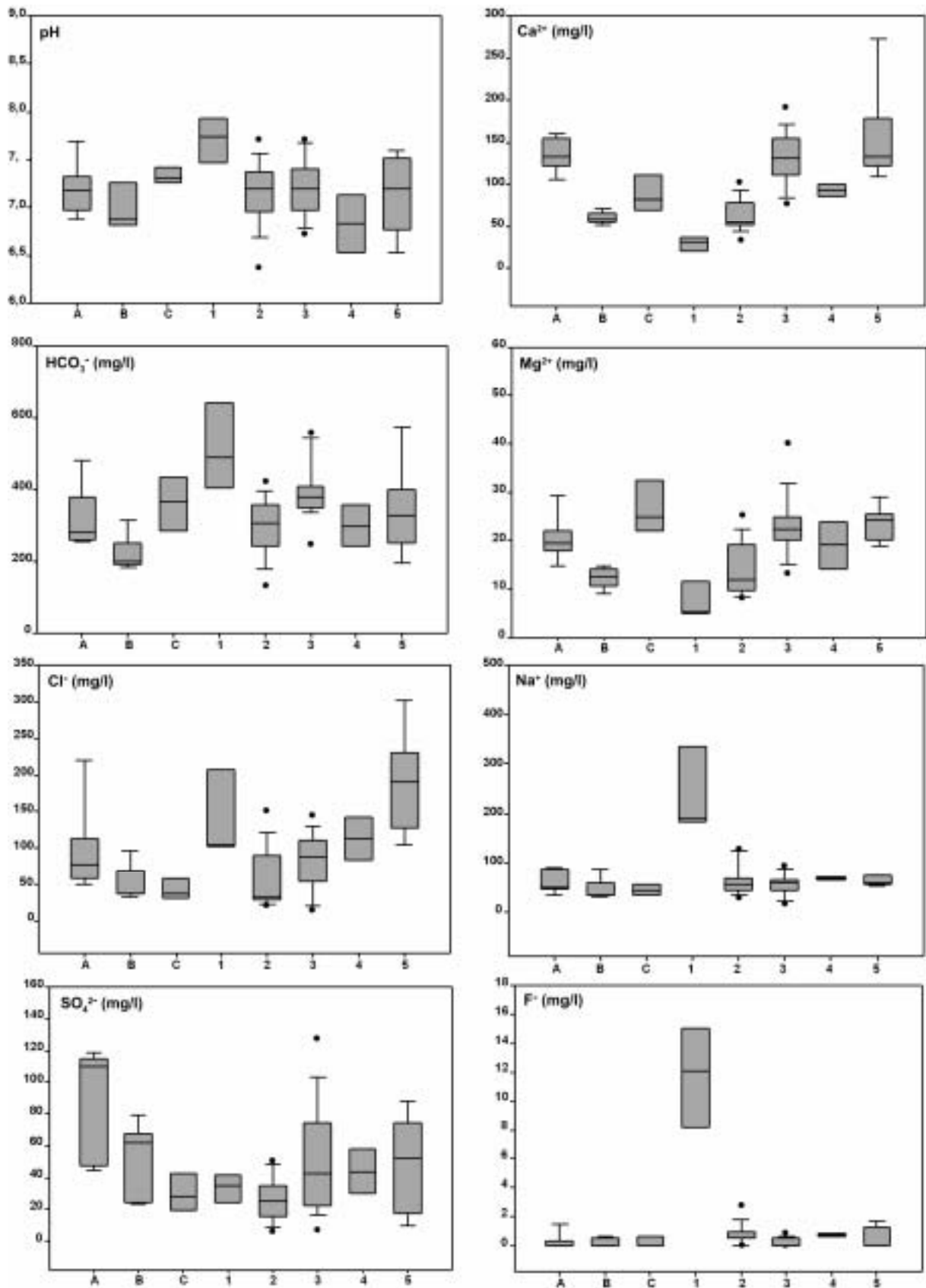


Figura 2.18: Diagrames de caixa en funció de l'aqüífer i fàcies hidroquímica. Llegendra: A: al·luvial de l'Onyar; B: al·luvial de la riera de Sta. Coloma; C: volcànic; Neogen, paleozoic i neogen+paleozoic: 1: bicarbonatades sòdiques, 2: bicarbonatades càlcico-sòdiques, 3: bicarbonatades càlciques, 4: bicarbonatades-clorurades càlcico-sòdiques i 5: bicarbonatades-clorurades càlciques.

2.5.2. Reaccions geoquímiques.

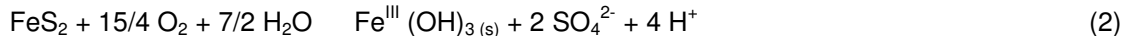
Sistema carbonatat.

Les reaccions del sistema carbonatat són les que controlen el pH de la majoria d'aigües naturals, així com la seva composició. Quan el CO₂ de l'aire entra en contacte amb l'aigua, es dissol fins assolir l'equilibri. En aquest l'equilibri, la concentració (o activitat) del diòxid de carboni dissolt és proporcional a la pressió parcial del CO₂ de la fase gasosa. Però sovint les mostres d'aigua subterrània presenten pressions parcials superiors a l'atmosfèrica (que és de l'ordre de 10^{-3.5} atm), atès que es troben en contacte amb una fase gasosa amb una pressió parcial més elevada, bé sigui, per la presència d'aportacions endògenes o per la degradació de la matèria orgànica del sòl (Appello i Postma, 1994; Drever, 1997).

L'àcid carbònic dissolt, permet una millor dissolució dels minerals carbonatats, com és el cas de la calcita (reacció 1) i en sistemes tancats, on no es produeix una aportació contínua de CO₂, la seva solubilitat es veu limitada:



Segons Kilchmann et al. (2003), en aigües subterrànies recents la relació molar entre HCO₃⁻/Ca²⁺ és de 2:1, relació característica de dissolució de la calcita en presència de CO₂ (reacció 1). D'altra banda, la dissolució de la calcita en aigües d'aqüífers cristal·lins, amb sistemes tancats, també pot ser promoguda per l'acidesa produïda durant l'oxidació de la pirita, d'acord amb les reaccions 2 i 3:



En aquest cas, la relació molar HCO₃⁻/Ca²⁺ és de 1:1, de manera que en aquest tipus d'aqüífers la relació HCO₃⁻/Ca²⁺ ha de ser més baixa que la obtinguda a partir de la reacció 1.

Altres reaccions que afecten la relació molar HCO₃⁻/Ca²⁺, fent-la disminuir, són la dissolució de la fluorita (reacció 4), i la dissolució de les anhidrites (reacció 5), per l'efecte de l'ió comú. Tot i que en el primer cas, el canvi que pot produir en aquesta relació sigui molt menor degut a l'escassetat d'aquest mineral hidrotermal.



L'intercanvi Na⁺-Ca²⁺ en les argiles generades en l'alteració dels granitoids i roques metamòrfiques també pot fer disminuir la concentració de Ca²⁺ dissolt. A través d'aquest intercanvi s'alliberen 2 mols de Na⁺ per cada mol de Ca²⁺ retingut, tal i com s'observa a la reacció 6.



I finalment, la relació $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ pot veure's afectada per la hidròlisi de les plagiòclasis, les quals poden alliberar Ca^{2+} , fent-la així disminuir.

La Figura 2.19 mostra la relació entre els bicarbonats i el pH. Totes les mostres representades, presenten pressions parcials del CO_2 superiors a la de l'atmosfera ($P_{\text{CO}_2} = 10^{-3.5}$ atm), indicant el contacte amb una fase gasosa amb una pressió parcial més elevada, és a dir, que presenta una concentració més elevada de CO_2 , bé sigui per la producció de CO_2 en la degradació de la matèria orgànica del sòl, o bé per aportacions de CO_2 endogen.

D'altra banda, el conjunt de resultats obtinguts no permet determinar si aquestes mostres han evolucionat en un sistema obert o tancat, tot i que s'observa que la major part d'elles es troben sobresaturades en relació a la calcita, exceptuant alguns punts que exploten el Neogen o el Neogen i els granits de la conca de l'Onyar (figura 2.19).

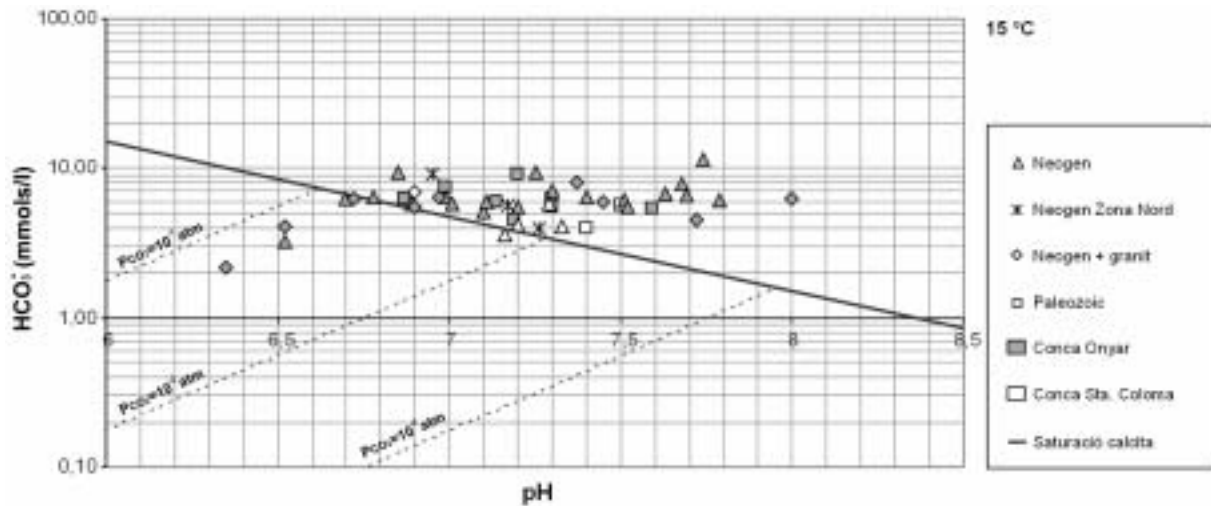


Figura 2.19: Relació entre HCO_3^- i pH.

La Figura 2.20 representa la relació molar $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ en les mostres dels pous que exploten els sediments neògens, els que a més assoleixen el sòcol i, els que exploten tant els materials metamòrfics com els granitoids dels marges de la depressió. En aquesta figura es pot observar com la relació molar $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ no depèn exclusivament de la reacció 1, atès que no totes les mostres se situen al voltant de la recta de l'equilibri 2:1:

- En primer lloc, els punts que presenten una fàcies Ca- HCO_3 (grup 3 de la Taula 2.7) sí que es troben situats al voltant de la recta 2:1, és a dir, propers a la relació característica de dissolució de la calcita en presència de CO_2 . En general aquestes mostres presenten concentracions baixes de fluorurs, o inferiors a 0.5 mg/l, sobretot si es troben per sota d'aquesta recta.
- En segon lloc, hi ha tot una sèrie de mostres que se situen entre les rectes d'equilibri de les reaccions 1 i 3. Aquest grup de punts són els que presenten concentracions de fluorurs inferiors als 0.5 mg/l, i en els que la dissolució de la calcita es veuria promoguda tant per l'acció del CO_2 dissolt, com per l'acidesa produïda durant l'oxidació de la pirita, o bé per l'alliberació de Ca^{2+} en la hidròlisi de les plagiòclasis, fent disminuir-ne la relació. Dins aquest conjunt de punts s'hi troben

2. Estudi hidrogeològic.

mostres del grup 3, però els punts més properes a la relació 1:1 són els que presenten una proporció de clorurs més elevada (mostres del grup 5 de la Taula 2.7). En aquest conjunt de mostres destaquen dos punts situats en els granitoids, que a diferència de la resta de mostres, presenten concentracions de fluorurs relativament elevades (fet que s'estudiarà amb més detall en el següent apartat).

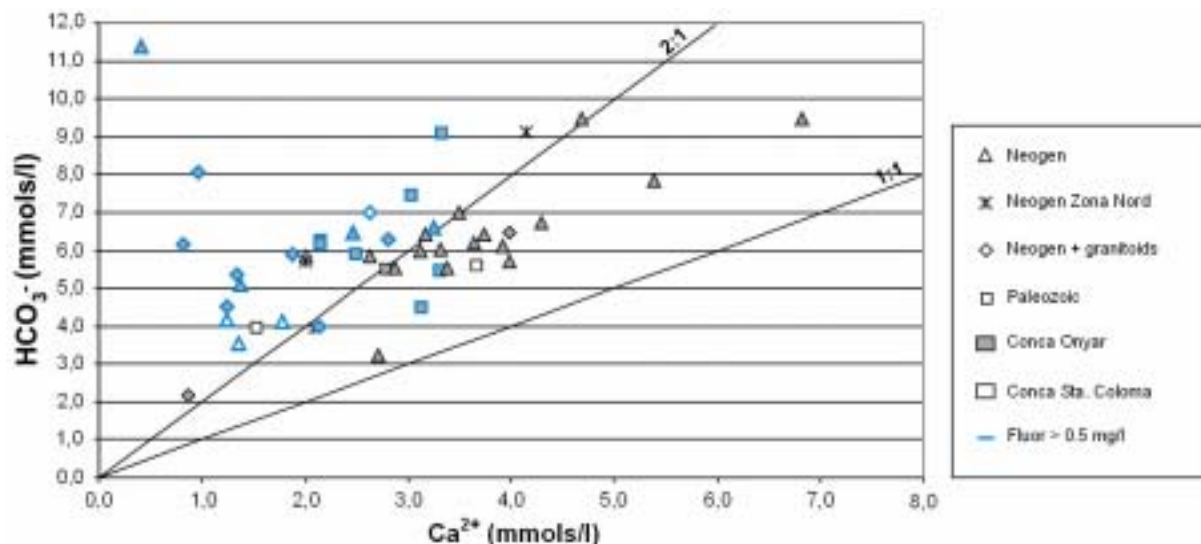


Figura 2.20: Relació molar $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$.

- Finalment, es troben tot un conjunt de mostres que presenten una relació molar $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ superior a la dissolució de la calcita, és a dir, superior a 2:1. En aquest grup s'hi troben incloses les mostres que presenten una fàcies Na- HCO_3 o Ca-Na- HCO_3 (grup 1 de la taula 2.7 i el grup 2) i que a més presenten concentracions de fluorurs superiors als 0.5 mg/l. Aquest fet és indicatiu de l'existència d'altres processos, com podria ser l'intercanvi $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en les argiles generades en l'alteració dels granitoids i roques metamòrfiques i la dissolució de la fluorita, processos que regulen la concentració de Ca^{2+} i HCO_3^- .

Atès que la dissolució del CaCO_3 fins a la saturació de la calcita es pot assolir només al travessar el sòl, les dades que aporta el sistema carbonatat tampoc no són conclouents pel que respecta l'origen de la recàrrega de les aigües subterrànies. Altrament, com ja s'ha pogut observar a la Figura 2.20, aquestes dades poden ser indicatives de processos diferenciats. Així, mentre que el Ca^{2+} i el HCO_3^- en les aigües bicarbonatades càlciques s'haurien originat, principalment, per la dissolució de la calcita al travessar el sòl, en el cas de les aigües Na- HCO_3 , i en les Ca- HCO_3 -Cl semblen estar afectades per un grup de processos més complex que hauria fet disminuir la proporció de calci o de bicarbonats, respectivament. En aquest sentit, aquests processos necessitarien temps de residència més llargs, i podrien ser indicatius de:

- "reaction paths" diferenciats en els que les aigües Ca- HCO_3 haurien evolucionat cap a Na- HCO_3 o Ca- HCO_3 -Cl al travessar tant els materials sedimentaris neògens derivats de la meteorització dels materials paleozoics, com també al travessar els granitoids alterats; o bé,
- fluxos preferencials a través de les fractures de la zona, tal i com s'apuntava inicialment en la descripció de les fàcies hidroquímiques (Figura 2.14 i 2.15). En aquest segon cas, la diferència de

fàcies entre les aigües Ca-HCO₃ i les Na-HCO₃ i Ca-HCO₃-Cl vindria determinada per orígens de recàrrega o zones de circulació diferents.

Reaccions amb els silicats.

En aquest apartat es tracten les diverses reaccions que es produeixen amb els silicats, i que han donat lloc a les diferències principals entre els diversos grups de fàcies hidroquímiques observades en els apartats anteriors, atès que a més del sistema carbonatat, la composició de les aigües dels aquífers granítics, metamòrfics, així com dels sedimentaris de la depressió també està influenciada per les reaccions amb els silicats.

En aquest sentit, Goldich (1938) va establir la seqüència d'alteració dels minerals silicatats (que és la inversa de les sèries de reacció de Bowen), i posteriorment, també es van estudiar els productes d'alteració d'aquests minerals primaris i la seqüència d'alteració de les argiles neofornades, tal i com es detalla a la Figura 2.21 (Brady, 1974).

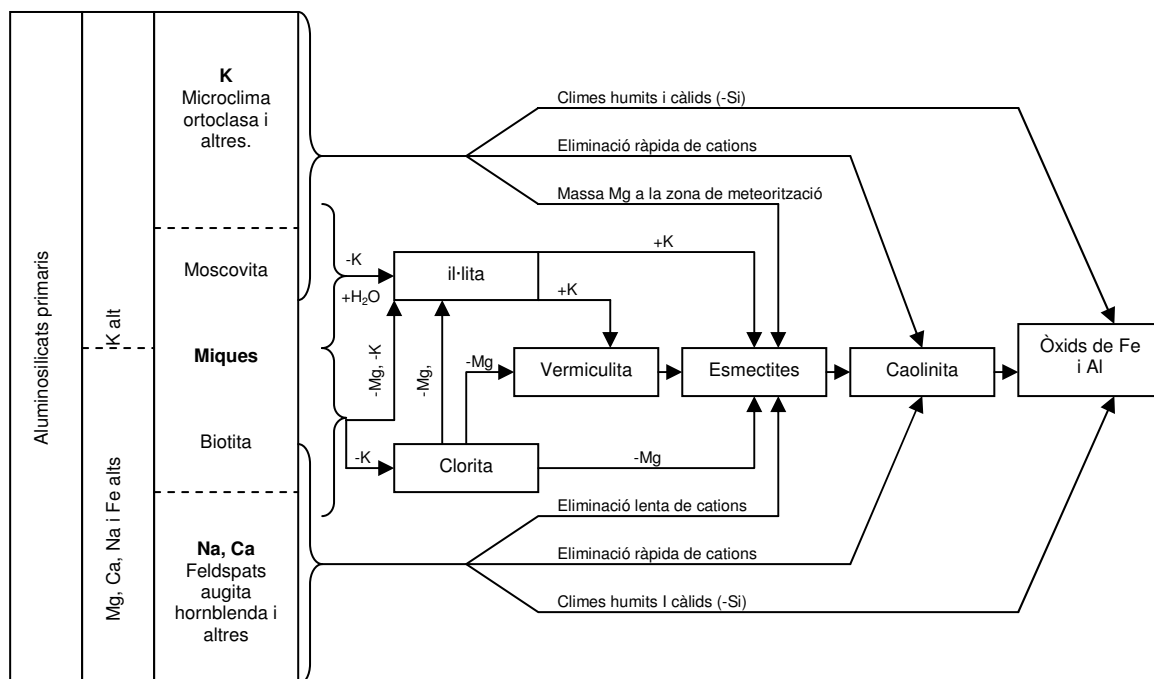


Figura 2.21: Productes d'alteració dels minerals primaris i seqüència d'alteració de les argiles (Brady, 1974).

El Na⁺ és un dels cations majoritaris en mostres de pous que exploten el sòcol de la depressió, així com d'alguns pous que exploten el Neogen. Aquest catió pot ser indicatiu d'orígens diferenciats de les aigües bicarbonatades sòdiques en relació a les bicarbonatades càlciques, o bé de possibles "reaction paths" que condueixen a l'evolució de les aigües bicarbonatades càlciques cap a aigües bicarbonatades sòdiques. En aquest sentit, l'origen del Na⁺ a les aigües subterrànies pot ser degut a diferents processos:

- Si l'origen del Na⁺ fos l'aigua de pluja, el procés d'evaporació o evapotranspiració seria el que dominaria la seva concentració, i la relació Na/Cl davant la conductivitat elèctrica (CE) es mantindria constant (si s'assumeix que en aquest procés no precipita cap espècie mineral; Jankowski i Acworth, 1997). En aquest sentit, la relació entre el Na/Cl i la CE donaria una recta

2. Estudi hidrogeològic.

horizontal que seria un indicador efectiu de la concentració per evaporació o evapotranspiració (Rajmohan i Elango, 2004), però com es pot observar a la Figura 2.22 la relació Na/Cl tendeix a disminuir a l'augmentar la conductivitat, indicant que l'evaporació no és el procés principal que controla l'hidroquímica de les aigües subterrànies de la zona d'estudi.

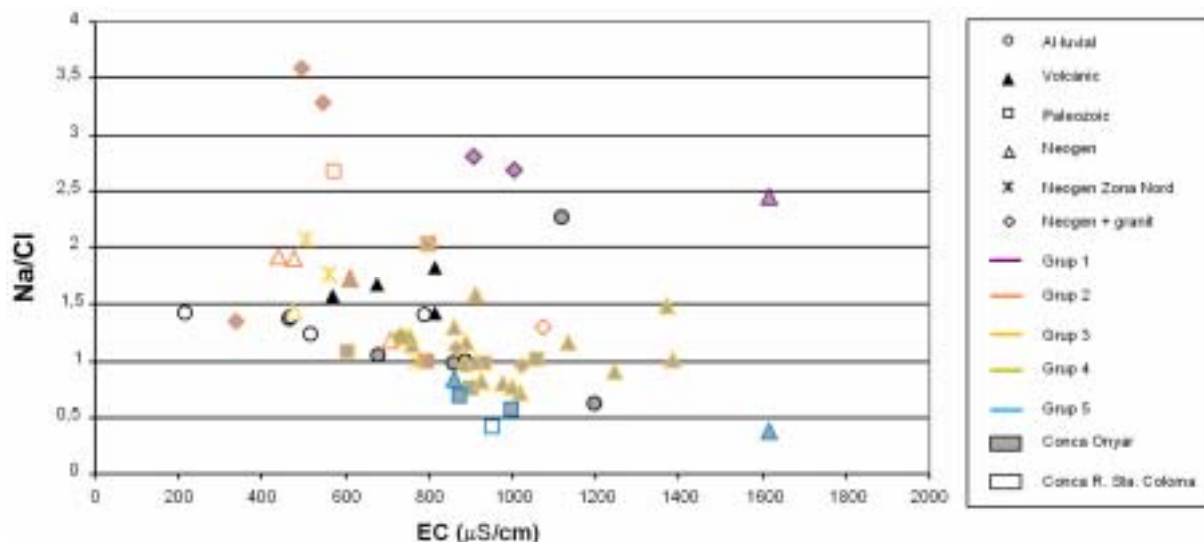


Figura 2.22: Relació Na/Cl respecte la conductivitat elèctrica. Fàcies hidroquímiques segons Taula 2.7: grup 1: Na-HCO₃, grup 2: Ca-Na-HCO₃, grup 3: Na-HCO₃, grup 4: Ca-Na-HCO₃-Cl, i grup 5: Ca-HCO₃-Cl.

- Si l'origen del Na⁺ fos la dissolució de l'halita, llavors la relació entre Na/Cl seria de l'ordre 1:1. Com es pot observar a la Figura 2.23, mentre que les mostres amb fàcies Ca-HCO₃ es distribueixen prop d'aquesta relació, en el cas de les Na-HCO₃, Ca-Na-HCO₃ i les Ca-HCO₃-Cl aquesta relació és superior o inferior, indicant la presència d'altres reaccions que intervien en la dissolució del sodi o dels clorurs. En aquest sentit, Rajmohan i Elango (2004) consideraven que relacions Na/Cl superiors a 1:1 podien ser indicatives de processos d'alteració dels silicats, i relacions pròximes o inferiors a 1:1 podien ser també indicatives d'altres processos com l'intercanvi iònic.

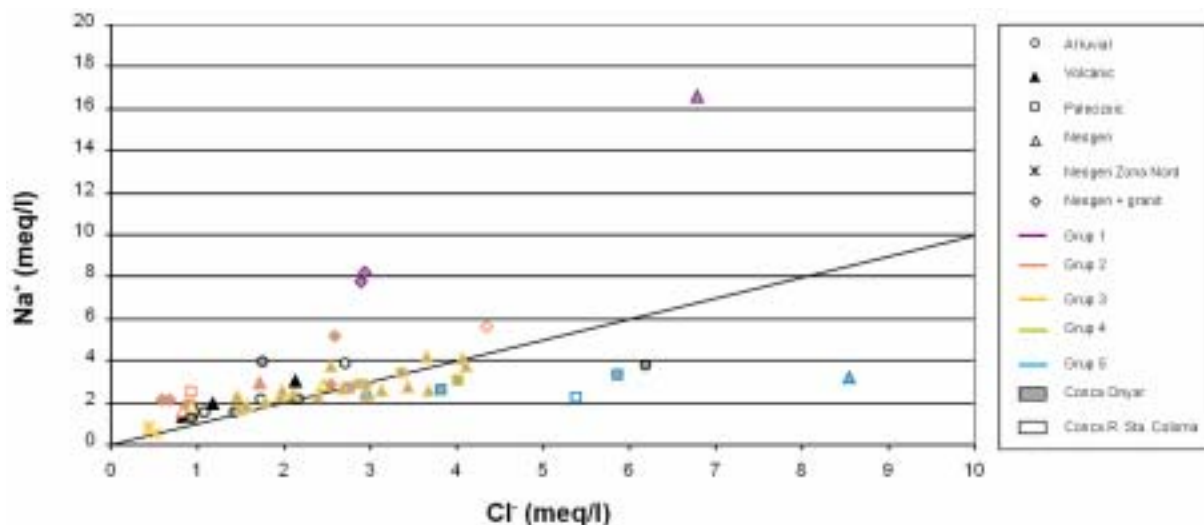
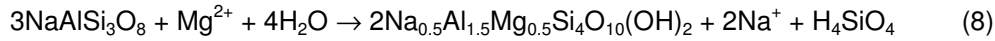
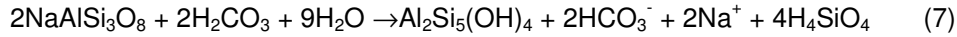


Figura 2.23: Relació Na/Cl. Fàcies hidroquímiques segons Taula 2.7.

- L'origen del sodi en les aigües subterrànies de la zona d'estudi també podria ser l'alteració dels silicats. Segons Vilanova (2001) les plagiòclasis sòdiques són els minerals més fàcilment alterables dels granitoids de la zona d'estudi. En aquest sentit, la dissolució incongruent de l'albita pot donar lloc a la formació de caolinita o montmorillonita segons les reaccions 7 i 8.

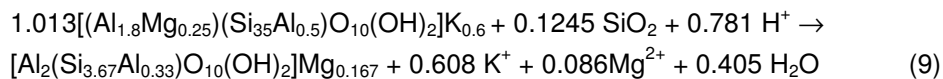


Com s'observa en les reaccions anteriors, si l'alteració de l'albita fos un dels responsables de la concentració de Na^+ dissolt en les aigües, depenent de quina fos l'argila formada, podria donar lloc a una disminució del Mg^{2+} dissolt en l'aigua o bé a un augment del pH. Així, tant les baixes concentracions en Mg^{2+} , com els pH més alts que presenten les mostres amb fàcies bicarbonatada sòdica (Figura 2.18), també podrien ser indicatius de l'alteració incongruent de l'albita.

- Finalment, l'elevat contingut en sodi de les mostres amb fàcies Na-HCO_3 analitzades, també podria ser degut a l'intercanvi catiònic en les argiles (reacció 6 del sistema carbonatat). Aquest intercanvi catiònic afavoriria la dissolució tant de la calcita (reacció 1), com de la fluorita (reacció 4) donant lloc a augments en el pH de les aigües i del contingut en fluorurs, i permetria que aigües amb fàcies Ca-HCO_3 passessin a Na-HCO_3 .

A més dels diversos processos descrits, Toran i Saunders (1999) estableixen que les aigües Ca-HCO_3 poden evolucionar cap a fàcies Na-HCO_3 tant per la hidròlisi dels silicats, per l'intercanvi catiònic, com per ambdós processos alhora.

Les reaccions d'intercanvi catiònic estan limitades pel fet que els llocs d'intercanvi a l'aqüífer no són infinits, i en aquest sentit, suggereixen que la dissolució d'aluminosilicats, conjuntament amb la precipitació de minerals secundaris (com l'esmeclita i la calcita) també poden donar lloc a aigües bicarbonatades sòdiques. La hidròlisi dels silicats es pot produir ràpidament i, en aquest sentit, l'impacte en les aigües subterrànies per l'intercanvi catiònic es pot observar en escales temporals curtes. Un exemple seria l'alteració de les il·lites (resultat de meteorització de les miques i feldspats; Langmuir, 1997) cap a Mg-esmeclites, que causa un augment en el pH de la solució, allibera potassi (tal i com s'observa a la reacció 9 i a la Figura 2.21) i dóna lloc a la formació d'una argila que pot tenir una elevada capacitat d'intercanvi catiònic.



Segons Toran i Saunders (1999), la relació molar $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ en les mostres d'aigües subterrànies pot ser indicativa dels processos d'intercanvi catiònic i de la hidròlisi dels silicats. Les calcàries tenen una relació molar $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 0.0006 (Morse i Mackenzie, 1990), mentre que els esquistos i pissarres tenen una relació molar $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 0.007 (Krauskopf, 1979), i per comparació, els feldspats plagioclàsics rics en sodi (sodium-rich plagioclase feldspars) presenten relacions molars de $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 0.01-0.02 (Smith, 1974).

2. Estudi hidrogeològic.

A la Figura 2.24 s'ha representat la relació Sr^{2+}/Ca^{2+} de les diverses mostres d'aigua subterrània de l'àrea d'estudi. D'una banda, s'han observat un conjunt de punts, que presenten fàcies $Na-HCO_3$ i $Ca-Na-HCO_3$ i se situen en posicions pròximes a la relació de les pissarres, mentre que la resta de mostres $Na-HCO_3$ i $Ca-Na-HCO_3$, així com les mostres amb fàcies $Ca-HCO_3$ i $Ca-HCO_3-Cl$, se situen en posicions intermèdies entre la relació Sr^{2+}/Ca^{2+} de les pissarres i de les calcàries:

- En el primer d'aquests dos conjunts de mostres, les que presenten fàcies $Na-HCO_3$ i $Ca-Na-HCO_3$, destaquen punts com el AG113, el VO0088 i el FS0066, situats en zones on els materials paleozoics dels marges de la depressió estan formats principalment per pissarres, esquistos i cornianes, i on l'origen del sodi es podria explicar per l'alteració d'aquestes roques. Però d'altra banda, en aquest grup també hi ha el punt CM0047, situat el límit sud de la depressió amb el glacis de St. Maurici i Vidreres, i els punts CS0105 i PRD006 situats al centre de la depressió on els materials paleozoics majoritaris amb els que es trobarien en contacte són bàsicament granitoids.

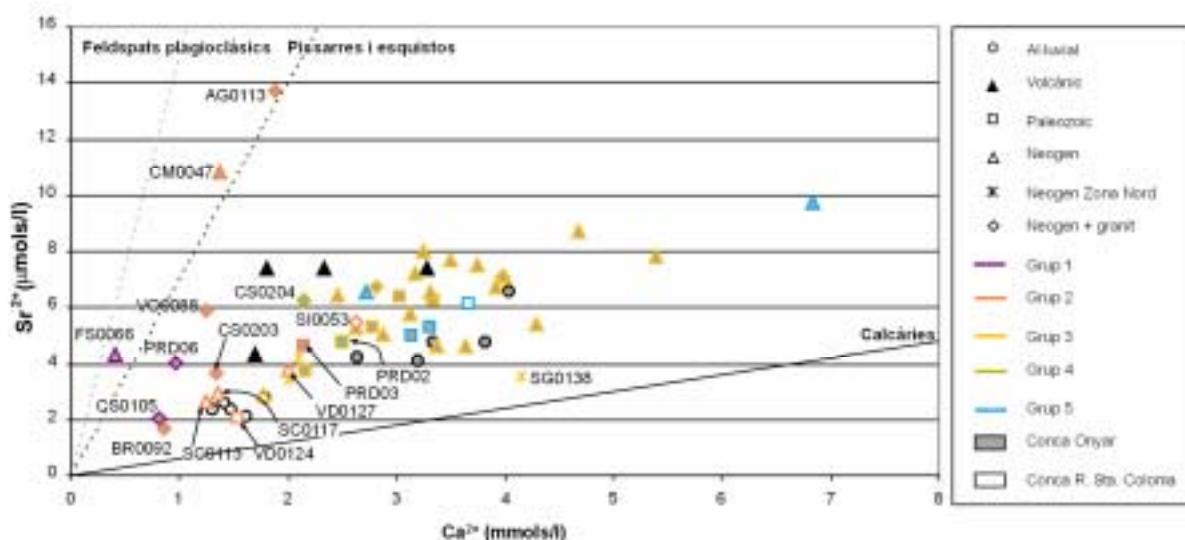


Figura 2.24: Relació entre Sr^{2+}/Ca^{2+} de les mostres de la zona d'estudi i les relacions típiques per les pissarres, calcàries i feldspats plagioclàsics.

- En el segon conjunt de punts, a més de les mostres amb fàcies $Ca-HCO_3$, hi ha mostres que presenten fàcies $Ca-Na-HCO_3$, i que són majoritàriament les dels pous situats a la cubeta de Vidreres i el punt SI0053, també situat a la conca de la riera de Sta. Coloma. Aquests punts presenten una relació Sr^{2+}/Ca^{2+} molt similar a la de les aigües amb fàcies $Ca-HCO_3$, però amb concentracions tant de Ca^{2+} com de Sr^{2+} visiblement menors. També dins les mostres $Ca-HCO_3$ d'aquest segon conjunt destaca el punt SG0138, situat a la zona nord de la depressió. Aquest punt, a la Figura 2.24 es troba en posicions molt properes a la relació Sr^{2+}/Ca^{2+} de les calcàries, que altres punts d'aquesta zona com el SG0123 i el SG0134. En aquest cas, l'origen del Ca^{2+} d'aquesta mostra és clarament la dissolució de les roques carbonatades de la serralada Transversal.
- Pel que respecta als pous com el CS0203, CS204, SC0113 i el SC0117 (situats a Cassà de la Selva i Sta. Coloma, respectivament) també presenten fàcies $Na-HCO_3$ i $Ca-Na-HCO_3$, i a la Figura 2.24 es trobarien en posicions intermèdies als dos conjunts anteriors.

Tant el calci com l'estronci no són elements conservatius i poden intervenir en nombrosos processos, tal i com es descrivia pel calci en l'apartat del sistema carbonatat. D'altra banda, a partir de la distribució de mostres descrita, es pot constatar que:

- Si l'intercanvi catiònic Na-Ca amb les argiles és el que dóna lloc a l'evolució de les mostres Ca-HCO₃ cap a Na-HCO₃ a mesura que l'aigua travessa els materials sedimentaris neògens, es produiria la disminució d'ambdós cations, atès que l'estronci presenta una afinitat d'adsorció gran, fins i tot superior a la del calci (Stumm i Morgan, 1996). En aquest sentit, per assolir els nivells de Ca i Sr de les mostres de punts com l'AG0113, el VD0080 o el CM0047 caldria que les mostres amb fàcies Ca-HCO₃ presentessin concentracions de Sr i Ca molt superiors als observats a la Figura 2.24. Per tant, el procés principal que dóna lloc al sodi en aquests punts sembla ser l'alteració dels materials silicatats.
- D'altra banda, les baixes concentracions de calci i els nivells de sobresaturació en què es troben algunes de les mostres pel que respecta a la fluorita, com seria el cas del punt FS0066 (Figura 2.29), indiquen que també hi pot intervenir algun altre procés que permeti l'eliminació del calci de l'aigua. En aquest sentit, si es produís la precipitació de la calcita donaria lloc a una baixada del pH (reacció 1). Altrament, el que s'observa és que les aigües amb fàcies a Na-HCO₃ i Ca-Na-HCO₃ presenten un pH més alt i concentracions de fluorurs més elevades que les mostres amb fàcies a Ca-HCO₃. Així, si es té en compte aquest augment del pH i que la calcita és molt més soluble que la fluorita, s'ha de descartar la seva precipitació. Per tant, el procés més probable sembla ser l'intercanvi catiònic amb les argiles formades en l'alteració dels silicats.

Pel que respecta a la resta de mostres amb fàcies Ca-Na-HCO₃, al presentar una relació Sr/Ca similar a les mostres Ca-HCO₃ pot ser indicatiu de que tinguin la mateixa font de Ca. D'altra banda, també presenten concentracions inferiors en aquests dos cations, fet que podria indicar processos com:

- 1) l'intercanvi catiònic Na-Ca amb les argiles i indicar, en aquest sentit, possibles "reaction paths"; com també,
- 2) possibles mescles d'aigües Na-HCO₃ (com les dels punts FS0066 o CS0105) que entrarien a través de les fractures principals en fluxos ascendents, amb aigües Ca-HCO₃ dels nivells aquífers més profunds del Neogen.

Un exemple d'aquesta possible transició entre fàcies és el que es produeix al sud de Cassà de la Selva, en una zona propera a la confluència de les rieres Gotarra i Verneda, on s'ha pogut observar com a mesura que augmenta la profunditat, les aigües passaven de bicarbonatades càlciques (en el primer punt, el CS204) a bicarbonatades sòdiques (a la resta de punts; Figura 2.25 i Taula 2.8).

Tant a la Figura 2.25 com a la Taula 2.8 es pot observar que la mostra del punt CS0204 presenta una pressió parcial del CO₂ molt més alta que la CS0103. Si l'origen del CO₂ en totes les mostres fos el mateix, aquesta diferència tant important podria ser indicativa de que les mostres amb fàcies Na-HCO₃ haurien evolucionat dins d'un sistema tancat en relació a les mostres Ca-HCO₃, en la que el CO₂ hauria anat disminuint al intervenir en les diverses reaccions amb els diversos minerals.

2. Estudi hidrogeològic.

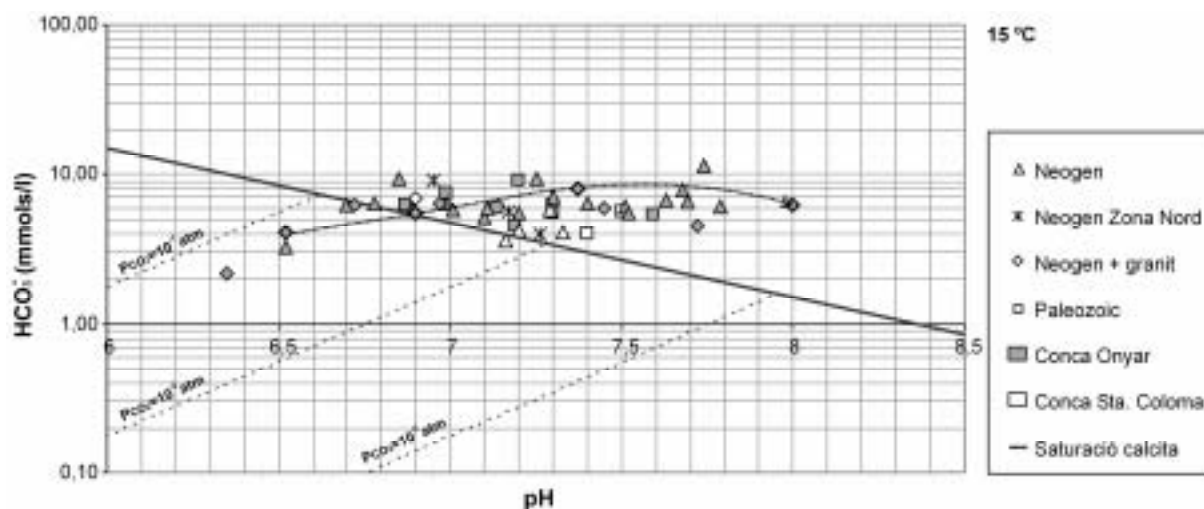


Figura 2.25: evolució de les mostres de la zona propera a la confluència de la Verneda amb la Gotarra.

Pou	Prof.	P _{co2}	HCO ₃ ⁻	pH	Ca ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	SiO ₂
	m.	atm.	mg/l	u. pH	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
CS0204	120	10 ^{-0.57}	242,9	6,52	86	66	57,6	83,6	0,6	13,5
CS0203	150	10 ^{-1.13}	325,6	6,9	53	119	51,1	91,4	2,9	10,8
PRD006	--	10 ^{-1.93}	491,1	7,37	39	179	44,3	102,5	6,8	12,2
CS0103	140-160	10 ^{-3.11}	376,3	8,0	32	189	34,8	104,4	12,1	8,5

Taula 2.8: Paràmetres principals dels pous situats prop de la confluència de la Verneda amb la riera Gotarra.

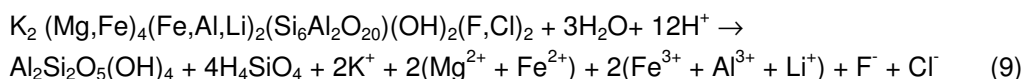
Entre les aigües amb una fàcies Ca-HCO₃ i les que en presenten una de Na-HCO₃ s'observen també altres canvis com l'augment del pH, de la concentració de sodi, clorurs i fluorurs, així com la disminució del calci, i dels sulfats. Aquests canvis, però, inicialment no permeten determinar si aquesta evolució es deu a un "reaction path" o a una mescla d'aigües d'origen diferenciat. En aquest sentit, l'estudi isotòpic d'aquestes aigües pot permetre identificar àrees de recàrrega o temps de residència diferents que permetin identificar si el que es produeix és l'evolució de les aigües Ca-HCO₃ cap a Na-HCO₃ a través d'un "reaction path" o si el que es produeix és la mescla d'aigües d'origens diferents.

A més del sodi, el clorur és uns dels ions que poden permetre distingir orígens i/o evolucions diferents en les aigües subterrànies de la zona d'estudi. Els clorurs, una vegada dissolts, no intervenen en processos de precipitació-dissolució, exceptuant en concentracions com les de les salmorres, i rarament intervenen en reaccions d'adsorció o reducció-oxidació. En aquest sentit, la seva naturalesa conservativa els fa valuosos per tal de poder observar pèrdues o guanys relatius respecte a altres ions (Edmunds et al., 1984; Nordstrom et al., 1989).

Pel que respecta al seu origen, a les Figures 2.23 i 2.24, es pot observar com l'augment en la seva concentració en les mostres bicarbonatades-clorurades calcíques no es deu a processos evaporatius, sinó que altres processos com la meteorització dels silicats o l'intercanvi aniònic amb les argiles poden intervenir-hi.

En aquest sentit, Vilanova (2001 i 2004) considera l'alteració de la biotita com a possible origen de concentracions elevades de clorurs a la zona de les Gavarres, atès que tal i com apunta Roqué (1993) és un mineral present en la major part de roques plutòniques de la zona d'estudi, i és de fàcil alteració, al presentar-se sovint clorititzada.

Segons Edmunds et al. (1984), la transformació de la biotita pot donar lloc a clorita en un estadi intermedi i, posteriorment caolinita (reacció 9 i Figura 2.21). A més d'altres ions, aquesta meteorització pot alliberar tant Cl⁻ com Li⁺, tal i com s'observa en la reacció 9. Mentre que el Li⁺ és present en les capes d'àtoms de coordinació octaèdrica, la major part del Cl⁻ ocupa les posicions dels hidroxils.



De la mateixa manera que el Cl⁻, el Li⁺ també és un ió conservatiu, i conjuntament són considerats com els indicadors més significatius de la extensió importància de les interaccions aigua-roca. En aquest sentit, si l'origen del Cl⁻ fos la biotita, la relació Li⁺:Cl⁻ seria de l'ordre de 1:5 (Edmunds et al., 1984). Atès que de la campanya realitzada al setembre de 2004 no es disposa de dades referents a la concentració de Li⁺, a la Figura 2.26 s'ha representat la relació Li⁺/Cl⁻ de les mostres de les campanyes de maig i agost de 2003. Com es pot observar en aquesta figura, la relació Li⁺/Cl⁻ a les aigües subterrànies (inferior a 1:100 en la major part de les mostres) és molt inferior al que s'esperaria si fos controlada per l'alteració de la biotita, aquest fet pot ser degut a que el Cl⁻ en excés pot provenir d'altres fonts o bé pot indicar que el Cl⁻ de les capes d'àtoms s'ha intercanviat amb OH⁻ sense que impliqui l'alteració de la biotita.

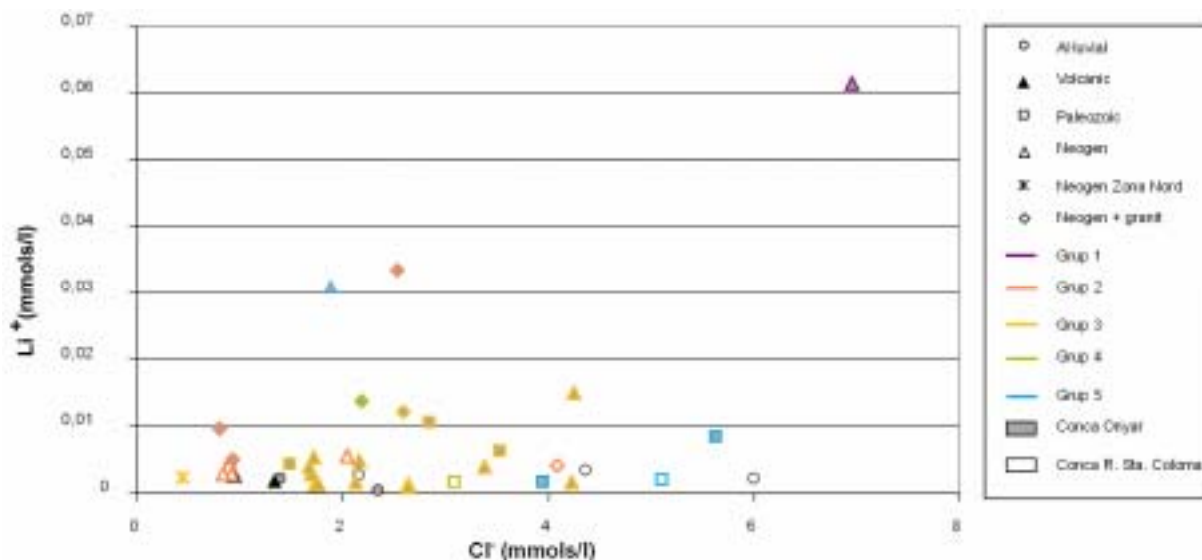


Figura 2.26: Relació Li⁺/Cl⁻ a les mostres de les campanyes de maig i agost de 2003.

En aquest sentit, l'alteració de la biotita, i l'intercanvi entre els OH⁻ i Cl⁻ pot ser un dels responsables de les elevades concentracions de clorurs en les mostres amb fàcies clorurada càlcica o bicarbonatada-clorurada càlcica presents en pous profunds en materials granítics de les Gavarres, el

glacis de St. Maurici i Vidreres, i en alguns punts que exploten el sòcol de la depressió, atès que en la major part dels casos, es tracta també de punts propers a zones de fractura en les que Roqué (1993) sovint hi detectava clorites.

Segons Edmunds et al. (1984) el pas intermedi de cloritització en l'alteració de la biotita pot donar lloc a que el Mg^{2+} es quedi retingut en els silicats, i que la relació Mg^{2+}/Ca^{2+} sigui de l'ordre 0.1:1, en la formació del producte $(Mg, Al, Fe)_{12}(Si, Al)_8O_{20}(OH)_{16}$. Aquest podria ser el cas de la zona d'estudi, atès que en la major part de les mostres aquesta relació és del mateix ordre, i en el cas de moltes de les mostres $Ca-HCO_3-Cl$ i $Ca-Na-HCO_3-Cl$, presentarien fins i tot, proporcions inferiors. En aquest sentit, l'alteració de la biotita sembla ser, conjuntament amb l'alteració de les plagiòclasis sòdiques, un dels processos que controla el contingut de Mg^{2+} dissolt en les aigües subterrànies.

2.5.3. Qualitat de les aigües subterrànies.

Les aigües subterrànies de la depressió de la Selva presenten certs problemes de qualitat per diversos motius. D'una banda, hi ha les afeccions d'origen natural, com són:

- Elevades concentracions de ferro i manganès, sobretot en les aigües dels aqüífers al·luvials de la conca de la riera de Sta. Coloma (Folch i Roldán, 2003), així com en pous situats en materials granítics.
- Elevades concentracions de fluor i d'alguns metalls pesats (com és el cas de l'arsènic) en pous propers a les fractures principals de la depressió (Viñals, 1979).

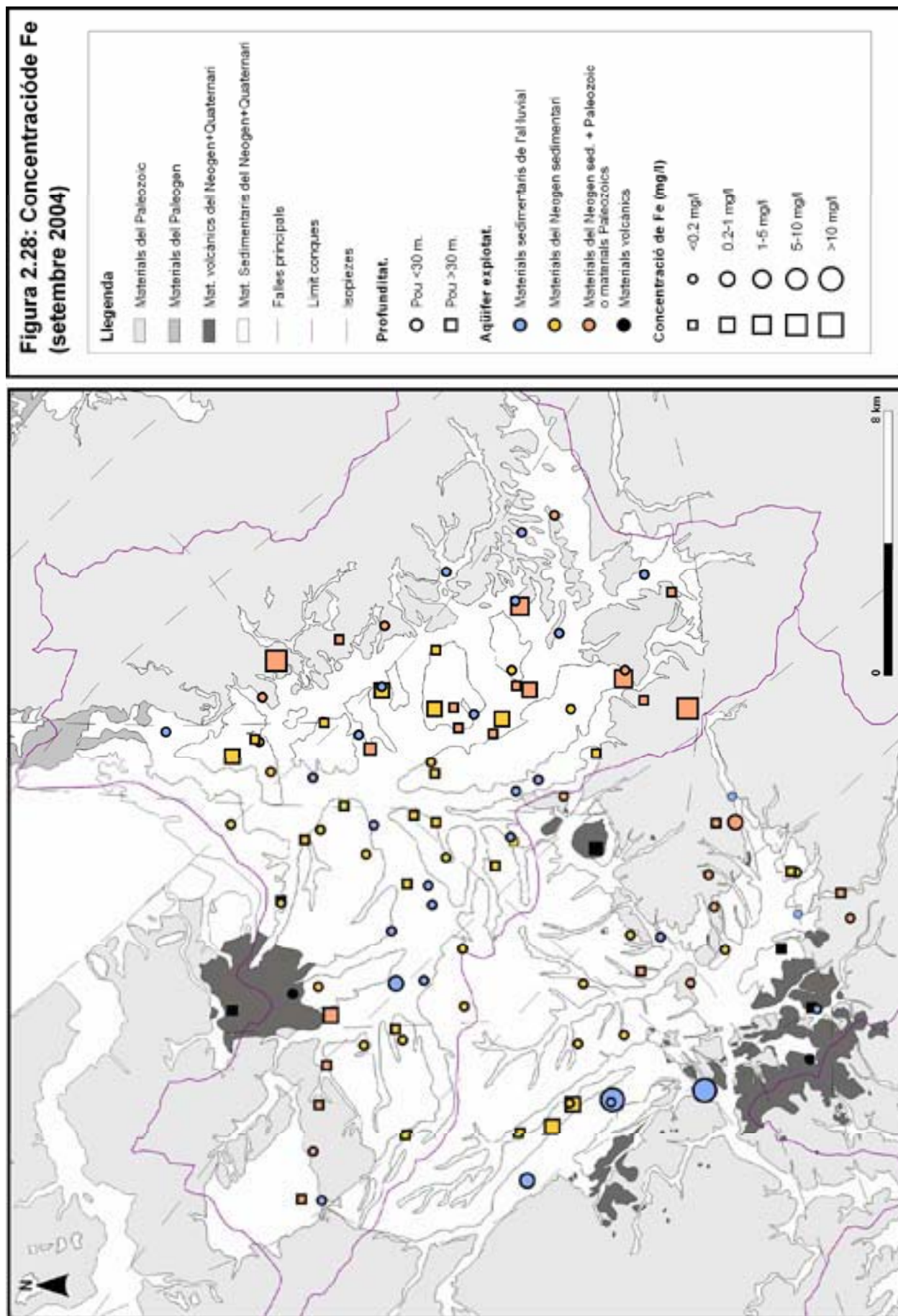
En segon lloc hi ha afeccions d'origen antròpic (Menció, 2002; Menció i Mas-Pla, 2004 a i b):

- Dins aquest grup es troben les afeccions produïdes per l'agricultura i ramaderia. En aquest sentit, els conreus de l'àrea d'estudi no assimilen la totalitat dels compostos nitrogenats generats per la ramaderia de la zona, de manera que una part d'aquests passen al sistema hídric, tant superficial com subterrani.
- En aquest grup també es troben els abocaments d'aigües residuals, tant tractades com no, que també suposen una altra font de compostos nitrogenats que pot afectar aquest sistema.

Continguts de ferro i manganès a les aigües subterrànies.

La concentració de ferro a l'aigua depèn tant de les condicions redox com del pH. Tot i que és un element essencial en el metabolisme de les plantes i animals, si es troba en concentracions excessives forma precipitats vermellosos d'òxids i hidròxids de ferro que poden donar mal gust a l'aigua i ser molestos per a l'ús domèstic i industrial de les aigües afectades. El ferro és present en forma Fe^{2+} o Fe^{3+} en minerals de roques ígnies com els piroxens, amfibols, biotita, magnetita, i especialment, en els olivins. Una vegada aquests minerals són atacats per l'aigua, el ferro alliberat generalment torna a reprecipitar (Hem, 1989).

En relació al manganès, no és un dels constituents essencials dels silicats, però pot substituir el ferro, magnesi o el calci en les seves estructures. A nivell químic, en certa mesura es comporta com el ferro i participa en els processos redox dels ambients de meteorització. El manganès és un constituent significatiu del basalt i també dels olivins, piroxens i amfibols.



2. Estudi hidrogeològic.

Una vegada és alliberat durant la meteorització, és en certa mesura més estable davant l'oxidació que el Fe^{2+} però en general, si es troba en contacte amb l'atmosfera, precipita en llocs on el pH és suficientment alt (Hem, 1989).

En ambients oxidants, es troben nivells baixos de ferro i manganès dissolts a les aigües atès que ambdós reaccionen fàcilment amb l'oxigen per donar lloc a compostos insolubles. En aquest sentit, esdevé essencial que hi hagi condicions reductores perquè es puguin trobar altes concentracions de Fe i Mn dissolts en l'aigua (Seelig et al., 1992).

En aquest sentit, Hem (1989) destacava que en aigües subterrànies que presentin un pH entre 6 i 8 poden ser suficientment reduïdes per retenir fins a 50 mg/l de ferro ferrós en equilibri, quan l'activitat dels bicarbonats no supera els 61 mg/l.

A la Figura 2.27 es mostra la concentració de ferro dels diversos punts analitzats. Com es pot observar, hi ha diversos punts que superen el valor paramètric de 0.2 mg/l de Fe que estableix el Reial Decret 140/2003, de 7 de febrer, pel que s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua pel consum humà. Els punts que superen aquest valor estan situats, principalment, a l'al·luvial profund de la riera de Sta. Coloma, així com nombrosos pous que exploten els nivells aquífers profunds dels materials sedimentaris del Neogen i també els granitoids dels marges de la depressió.

En el cas dels pous profunds situats tant als marges de la depressió, com en el Neogen, exploten aigües que al no tenir contacte directe amb l'atmosfera, poden arribar a assolir baixos nivells d'oxigen dissolt, per la reacció d'aquest amb els minerals. En aquest ambient, el ferro i manganès són relativament solubles i es poden trobar dissolts a altes concentracions. D'altra banda, si el ferro es troba associat amb els sulfurs, la dissolució d'aquest ferro continua sent baixa. En general, l'oxigen disminueix amb la profunditat, per tant aquest tipus de condicions serà més probables que es produeixin en els pous més profunds.

D'altra banda, hi ha els punts que exploten l'aquífer al·luvial profund de la riera de Sta. Coloma. En aquest cas les condicions reductores s'han generat gràcies a: la capa de llims que confina els nivells profunds de l'aquífer dels superficials, dificultant així l'entrada d'oxigen atmosfèric en aquests nivells; a la degradació de la matèria orgànica present en aquests nivells aquífers, que dona lloc a les característiques reductores; i finalment, a la redissolució del Fe i Mn originats en la meteorització dels granitoids, i presents en aquests sediments. En aquest sentit Folch i Roldan (2003) destacaven que aquests alts nivells en Fe i Mn de l'aquífer al·luvial també hi eren presents en altres aquífers al·luvials com els de la riera de l'Esparra i la riera de Massanes.

Pel que respecta al manganès, el valor paramètric que estableix el Reial Decret 140/2003, de 7 de febrer, és de 0,05 mg/l. En aquest sentit, els pous que superen aquest valor són també els pous que presenten les concentracions de ferro més elevades (Figura 2.27). Concretament, es troben situats tant a l'al·luvial profund de la riera de Sta. Coloma com en els granitoids, tot i que també se n'ha localitzat alguns en el Neogen. Les concentracions màximes obtingudes són les dels punts RD0041 i PRD004, situats a l'al·luvial de la riera de Sta. Coloma, que obtenen valors de 3,31 i 1,89 mg/l, respectivament, i la resta de punts que també superen el valor paramètric, en cap cas superen els 0,3 mg/l.

Els fluorurs a les aigües subterrànies.

El fluor en petites quantitats és necessari per a prevenir les càries i un bon desenvolupament dels ossos. Per tal de ser efectiu, cal que sigui ingerit en forma de fluorurs a través de l'aigua de boca. D'altra banda, si s'ingereix a altes concentracions pot donar lloc a malalties com la fluorosis dental i la fluorosis òssia. En aquest sentit, concentracions superiors a 1,5-2 mg/l de fluorurs donen lloc als primers símptomes de fluorosis dental, i concentracions superiors als 4-8 mg/l poden produir la fluorosi òssia (Apambire et al. 1997; IPCS, 2002; WHO, 2004). Així depenent de la seva dosi diària els fluorurs poden ser considerats beneficiosos o perjudicials per la salut.

Els fluorurs a les aigües subterrànies poden tenir diversos orígens. D'una banda hi haurien les contribucions d'origen antròpic, com l'ús dels fertilitzants fosfòrics, que sovint contenen fluorurs com una impuresa i que lixivien cap a la zona saturada gràcies al reg o a les precipitacions (Saxena i Ahmed, 2003), o també per contaminació d'origen industrial. De l'altra hi haurien els fluorurs d'origen natural, és a dir, procedents de la dissolució de minerals que contenen fluor. En aquest sentit, els minerals que tenen un efecte més important en la hidrogeoquímica dels fluorurs són la fluorita (present en roques ígnies i sedimentàries), l'apatita, les miques i amfíbols, algunes argiles, la villiamite i l'obsidiana (Hem, 1989; Apambire et al., 1997; Saxena i Ahmed, 2003). També s'associen els fluorurs amb els gasos volcànics o fumaròlics, que poden suposar importants fonts de fluorurs en les aigües naturals de moltes zones.

Tot i que els fluorurs poden tenir diverses procedències, la seva concentració a l'aigua es veu limitada per la solubilitat de la fluorita. Segons Apambire et al. (1997), la quantitat de fluorurs dissolts en una aigua amb una càrrega iònica baixa és de l'ordre dels 8-10 ppm. D'altra banda, degut a l'efecte del ió comú, la dissolució de la fluorita, quan la concentració de calci augmenta fins assolir el límit de solubilitat, queda suprimida.

En canvi, el sodi pot presentar una correlació positiva amb els fluorurs, sobretot en aigües subterrànies amb baixes concentracions de calci. En aquest sentit, un procés que pot donar lloc a la disminució del calci i l'augment de la concentració de sodi és l'intercanvi catiònic en les argiles (reacció 6 del sistema carbonatat). En aquest procés s'alliberen 2 mols de Na^+ per cada mol de Ca^{2+} adsorbit (Kilchmann et al., 2004):



Les argiles que serveixen com a intercanviadors (X), són abundants en les fractures en roques cristal·lines, i les reaccions d'intercanvi iònic són més ràpides que altres reaccions com la dissolució o la precipitació (Apello i Postma, 1994).

Aquest procés d'intercanvi catiònic porta associat un augment del pH, atès que la disminució de la concentració de Ca^{2+} a l'aigua condueix a una nova dissolució de la calcita, que com s'observava en la reacció 3, condueix al consum de H^+ i l'alliberament de HCO_3^- , donant lloc així a un augment del pH (Toran i Saunders, 1999).

A la depressió de la Selva s'han observat diversos punts on els fluorurs es troben a concentracions superiors a 1,5 mg de F^-/l , superant així els límits de potabilitat que estableix el Reial Decret 140/2003, de 7 de febrer. La Figura 2.28 representa la concentració de fluorurs en els pous analitzats durant la campanya del setembre de 2004. S'ha posat el codi del pou o del sondeig en cursiva quan es tractava de dades de l'IGME d'anys anteriors, i en color gris aquells punts amb profunditats inferiors als 30 m.

2. Estudi hidrogeològic.

Com es pot observar a la Figura 2.28, les concentracions de fluorurs més elevades són les de pous que exploten els nivells aquífers més profunds del Neogen i assoleixen el sòcol de la depressió, així com aquells situats en els seus marges. Les aigües en aquests punts es caracteritzen per ser bicarbonatades sòdiques, en la major part dels casos.

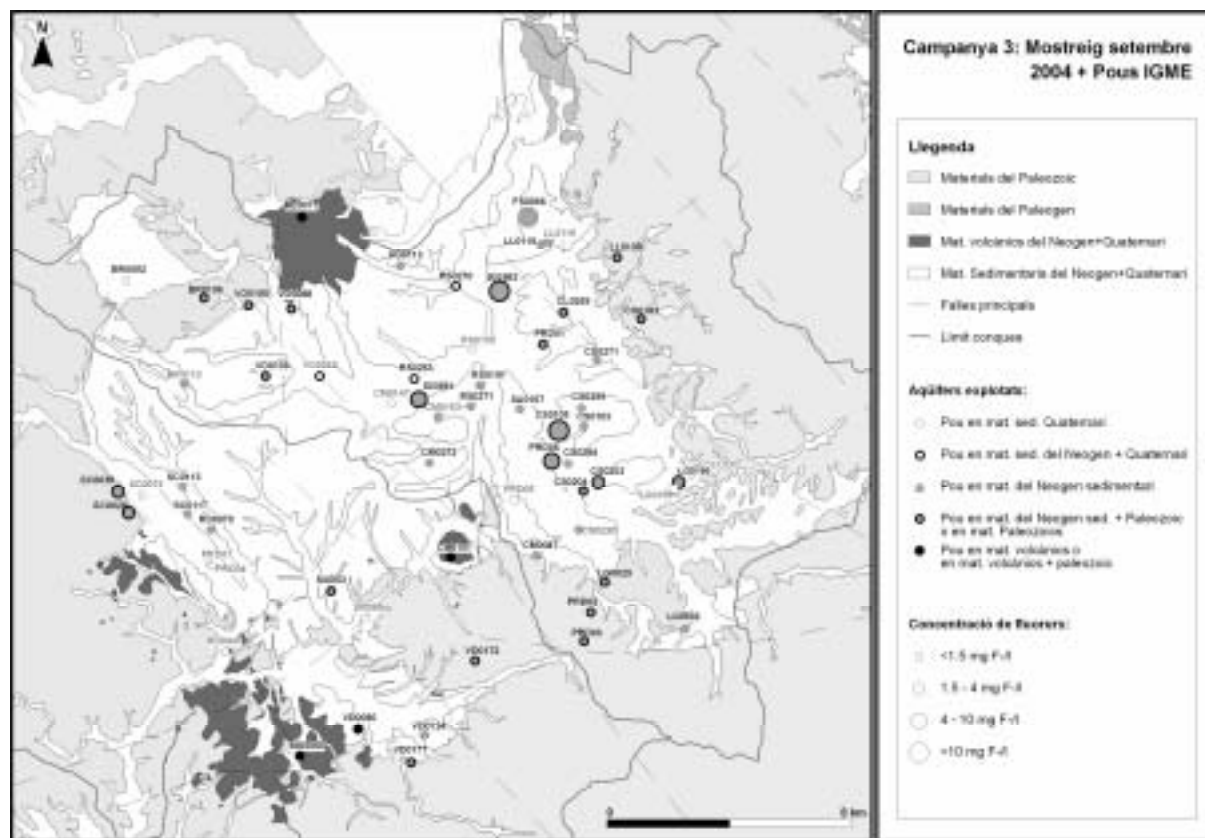


Figura 2.28: Concentració de fluorurs en els punts mostrejats a la campanya de setembre de 2004.

S'ha calculat els coeficients de correlació de Pearson entre els elements majoritaris de les aigües que contenen una concentració de fluorurs superior als 0,5 mg/l (Taula 2.9) i s'ha pogut observar que els fluorurs presenten correlacions positives altes amb el sodi i els clorurs, i negatives altes amb el calci.

r	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
F ⁻	1,000	--	--	--	--	--	--	--	--
Ca ²⁺	-0,509	1,000	--	--	--	--	--	--	--
Mg ²⁺	-0,306	0,803	1,000	--	--	--	--	--	--
HCO ₃ ⁻	0,225	0,425	0,814	1,000	--	--	--	--	--
Cl ⁻	0,654	-0,089	-0,090	0,185	1,000	--	--	--	--
SO ₄ ²⁻	-0,004	0,260	0,001	-0,097	0,208	1,000	--	--	--
Na ⁺	0,894	-0,396	-0,069	0,469	0,732	0,002	1,000	--	--
K ⁺	0,194	-0,077	0,120	0,276	0,016	0,357	0,242	1,000	--
SiO ₂	-0,089	-0,060	0,276	0,355	-0,190	-0,284	0,165	0,031	1,000

Taula 2.9: Coeficients de correlació de Pearson entre els diversos elements majoritaris, el F⁻ i el SiO₂.

D'una banda, la correlació negativa dels fluorurs amb el calci es podria explicar per l'efecte del ió comú esmentat amb anterioritat, és a dir, a elevades concentracions de calci, disminueix la dissolució de fluorita fins que aquest procés queda totalment suprimit (Figures 2.29 i 2.30).

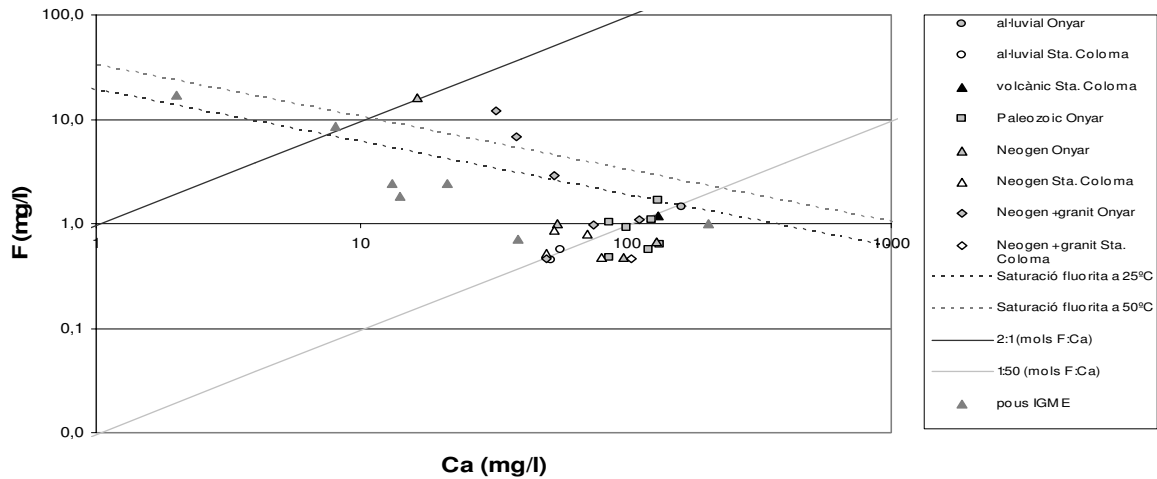


Figura 2.29: Relació entre la concentració de fluorur i el calci.

La Figura 2.29 representa la relació entre aquests dos ions en les mostres estudiades. En aquesta figura s'ha representat el límit de la saturació de la fluorita a 25 i 50°C i es pot observar com en la major part de les mostres estan subsaturades en relació a la fluorita. D'altra banda, hi ha algunes mostres que es trobarien sobresaturades en relació a la fluorita, i es caracteritzarien per presentar, a més d'una baixa concentració de calci, concentracions molt més elevades de sodi.

En el cas del sodi, d'una banda s'observa la correlació positiva amb els fluorurs, i de l'altra, la correlació negativa amb el calci dissolt. Aquest fet suggereix que l'intercanvi catiònic amb les argiles pot contribuir a la dissolució del sodi i que aquest es trobi a altes concentracions, observant-se així concentracions de sodi més elevades a mesura que disminueix la concentració de calci. En aquests casos, la disminució del contingut en calci permetria una dissolució més gran de la fluorita, i que la concentració de fluorurs tendís a augmentar. Aquest procés és el que es pot observar a les gràfiques de la Figura 2.30, on les concentracions més elevades de fluorurs i de sodi es donen quan la concentració de calci és més baixa.

Tot i que de la campanya del setembre de 2004 no es disposa de dades de la concentració de Li^+ dissolt, sí que se'n disposa de del maig del 2003. A l'aplicar el coeficient de correlació de Pearson entre aquest catió i els fluorurs s'obté una correlació positiva molt alta ($r = 0,962$). El liti, així com els clorurs, és un bon indicador del grau d'evolució d'una aigua, atès que no s'incorpora en productes secundaris, una vegada ha estat alliberat en l'alteració de la biotita a caolinita. En aquest sentit, aquesta alta correlació tant en relació amb els clorurs com amb el liti podria indicar que les aigües amb un contingut més alt en fluorurs són també les que presenten temps de residència més grans.

2. Estudi hidrogeològic.

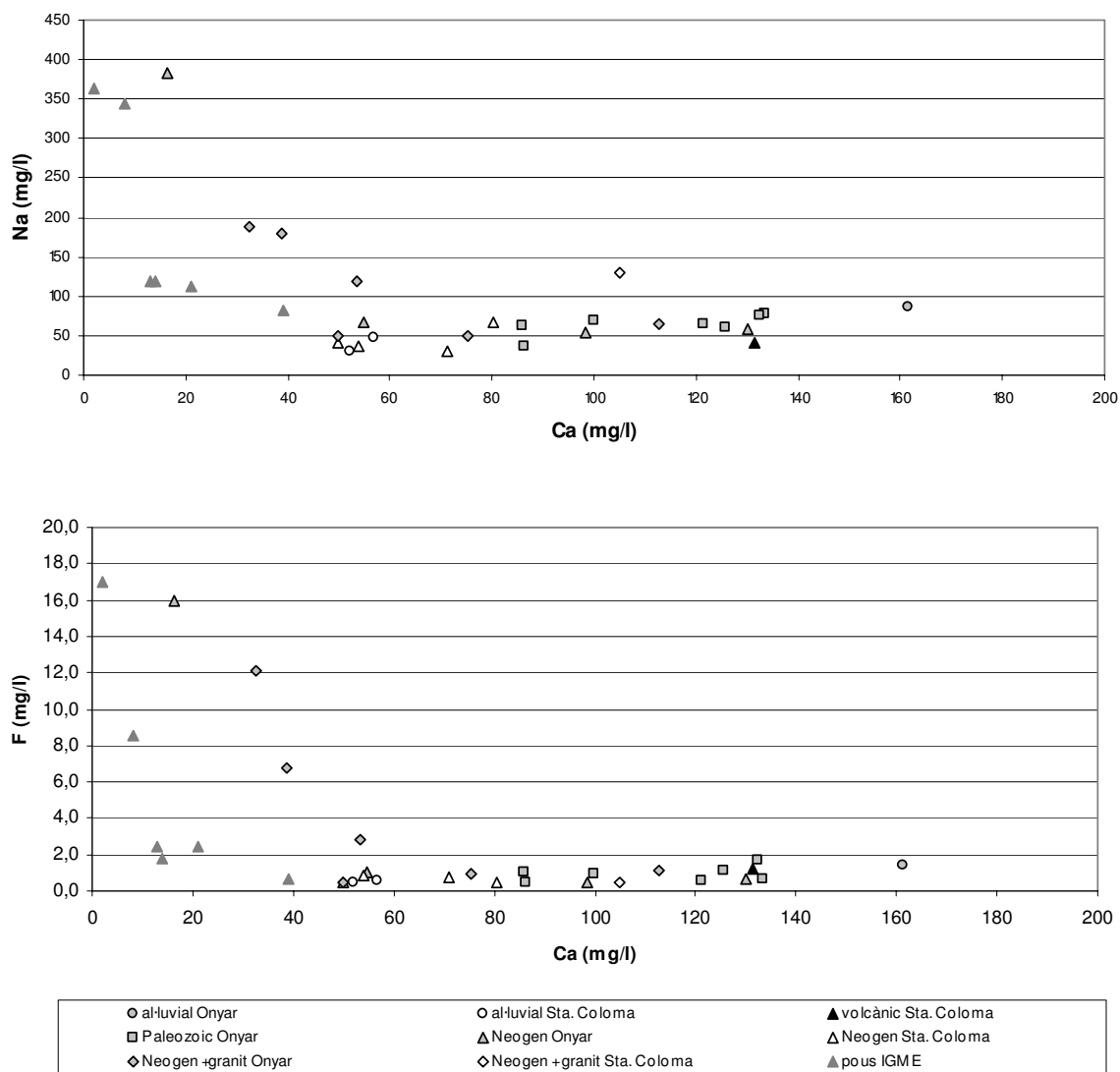


Figura 2.30: Relació entre el calci i el sodi i el calci i els fluorurs.

Els compostos nitrogenats a les aigües subterrànies.

La concentració màxima de nitrats permesa per la Directiva 98/83/CEE relativa a les aigües destinades al consum humà és de 50 ppm. Aquesta directiva ha estat transposada pel Reial Decret 140/2003, de 7 de febrer, en el que s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua per al consum humà. Aquesta limitació es deu a que elevades concentracions de nitrats poden provocar als nens una malaltia anomenada metahemoglobina, mentre que en adults els compostos nitrogenats formats a l'estómac actuen com a iniciadors de càncers (Cantor, 1998).

Els compostos nitrogenats en les aigües subterrànies procedents de fonts agràries venen regulats per la Directiva 91/676/CEE, de 12 de desembre. Aquesta directiva imposa als estats membre la obligació de identificar les aigües afectades per la contaminació per nitrats, la concentració de les quals haurà de ser vigilada a través d'estacions de control. També estableix criteris per a designar com a zones vulnerables aquelles superfícies territorials, el drenatge de les quals pugui donar lloc a aquest tipus de contaminació. Una vegada establertes aquestes zones, determina que s'haurà de realitzar i posar en funcionament programes d'actuació per tal d'eliminar o minimitzar els efectes dels nitrats sobre les

aigües. I finalment, aquesta directiva estableix l'obligació d'emetre periòdicament informes de situació sobre aquest tipus de contaminació.

Aquesta directiva, va ser transposada pel Reial Decret 261/1996, de 11 de març, i posteriorment el Decret 283/1998, de 21 d'octubre, de la Generalitat de Catalunya va designar les zones vulnerables en relació a la concentració de nitrats, en el que no s'hi incloïen zones com la depressió de la Selva.

Finalment, al desembre de 2004, ha entrat en vigor el decret 476/2004 pel qual es designen noves zones vulnerables en relació amb la contaminació per nitrats provocada per fonts agràries, en el qual es considera part de la zona d'estudi dins aquestes àrees. Concretament, passen a considerar-se zones vulnerables els materials Neògens i quaternaris de la depressió de la Selva situats en els municipis d'Aiguaviva, Caldes de Malavella, Camplong, Cassà de la Selva, Fornells de la Selva, Llagostera, Llambilles, Riudellots de la Selva, Sant Andreu Salou, Vilablareix i Vilobí d'Onyar.

D'altra banda, també hi podrien haver aportacions de nitrogen d'altres orígens, com és a partir de la captació dels efluents de les depuradores a l'estiu. Com ja s'ha esmentat en l'apartat de piezometries, els canvis en la relació riu-aquífer durant els mesos d'estiu poden induir a la captació de les aigües superficials, i per tant, de les aigües residuals abocades a les lleres dels rius (Menció i Mas-Pla, 2004a).

Aportacions de compostos nitrogenats a la depressió de la Selva.

Així, les aportacions antròpiques principals de compostos nitrogenats a les aigües tant superficials com subterrànies de la depressió de la Selva provenen tant de l'agricultura i ramaderia com de les depuradores.

A la Taula 2.10 s'ha realitzat un balanç entre el N generat per la ramaderia de la zona i el N que poden extreure els diversos cultius herbacis. Aquest balanç s'ha portat a terme a partir de les dades del DARP sobre superfícies de conreu i nombre de caps de bestiar per població al 2002 i les dades sobre N generat per tipus de bestiar i N extret en funció del tipus de conreu, aportades per Danès et al. (1995).

Municipi	N generat (T/any)	N extret (T/any)	Excés de N (T/any)
Aiguaviva	125,6	77,15	48,45
Brunyola	85,7	19,19	66,51
Caldes de Malavella	213,3	168,13	45,17
Camplong	156,6	90,76	65,84
Cassà de la Selva	333,8	232,10	101,7
Fornells de la Selva	24,1	61,75	-37,65
Llagostera	445,7	201,36	244,34
Llambilles	70,6	42,27	28,33
Maçanet de la Selva	153,6	116,94	36,66
Quart	129,1	39,23	89,87
Riudarenes	101,3	54,47	46,83
Riudellots de la Selva	143,2	108,36	34,84
Sant Andreu Salou	153,0	43,37	109,63
Santa Coloma de Farners	22,7	14,14	8,56
Sils	58,6	97,23	-38,63
Vidreres	40,6	98,07	-57,47
Vilobí d'Onyar	298,2	151,31	146,89
TOTAL	2555,7	1615,83	939,87

Taula 2.10: Estimació del N generat per la ramaderia, N extret pels cultius herbacis i excés de N (obtinguts a partir de les dades facilitades pel DARP de la Selva i del Gironès).

2. Estudi hidrogeològic.

En aquest cas, cal considerar l'excés de N com un valor mínim, atès que sovint, a més d'utilitzar purins i fems per fertilitzar els conreus, s'apliquen adobs de tipus químic. Tot i això, els cultius només poden extreure un 63,2% del N generat per la ramaderia, de manera que l'excés de N suposa gairebé el 36,8% del nitrogen generat.

La Taula 2.10 també mostra que la major part de municipis on hi ha un excés de N es troben situats a la conca del riu Onyar, com és el cas de Cassà de la Selva, Llagostera, Quart, Sant Andreu Salou i Vilobí d'Onyar, mentre que en els municipis de la conca de la riera de Sta. Coloma l'excés de N és molt baix o negatiu.

A la Taula 2.11, es poden observar els volums d'aigua i les aportacions de compostos nitrogenats de les depuradores d'aigües residuals urbanes principals de la depressió. Aquestes no són les úniques aportacions d'aigües residuals que reben tant l'Onyar com la riera de Sta. Coloma i els seus afluents, atès que no s'han pogut considerar els abocaments d'aigües residuals industrials, degut a la manca de dades existents, així com d'algunes depuradores més petites com la de Quart.

Depuradora	V (Hm ³ /any)			NKT (T)
	2000	2001	2002	2002
Cassà de la Selva	0,82	0,88	1,16	31,46
Riudellots de la Selva	0,08	0,11	0,12	19,02
Vilobí d'Onyar	0,34	0,33	0,37	3,36
Caldes de Malavella	0,55	0,60	0,76	7,33
Maçanet de la Selva	0,36	0,31	0,33	1,91
Riudarenes	0,12	0,11	0,12	3,15
Santa Coloma de Farners	0,95	0,85	1,08	16,19
Sils-Vidreres	0,77	0,92	1,14	11,39
Total	3,99	4,11	5,08	93,81

Taula 2.11: Volum d'aigua i tones de Nitrogen Kjeldahl Total (NKT) abocats per les depuradores principals de la depressió de la Selva (font: Agència Catalana de l'Aigua i SOREA).

La distribució dels compostos nitrogenats en les aigües subterrànies.

La major part dels pous profunds situats en els materials del Neogen de la depressió de la Selva es caracteritzen per explotar més d'un nivell aquífer, al presentar tota una sèrie de trams oberts a les diverses profunditats on es van trobar els nivells aquífers més productius. En aquest sentit, les concentracions de nitrats obtingudes al prendre les mostres són la mitjana ponderada de les concentracions de nitrats en cadascun dels nivells que exploten.

En general, els nivells aquífers superficials són els més susceptibles a presentar problemes de contaminació per nitrats a l'estar més exposats a les fonts de contaminació. En el cas dels nivells aquífers profunds aquesta contaminació és més difícil, atès que sovint es troben semiconfinats per nivells amb sediments de gra fi (llims i argiles). Tot i això, la seva contaminació es pot produir per diversos processos:

- A través de la infiltració de les aigües de pluja carregades amb els nitrats procedents del rentat de les zones de conreu de la corresponent àrea de recàrrega. En terrenys amb alts continguts d'argiles però, aquest procés pot arribar a ser molt lent.
- Si els pous profunds també exploten nivells superficials contaminats, poden ser els causants de la contaminació en els nivells més profunds, al connectar-los a través del propi pou, per fluxos verticals entre nivells.
- I finalment, els cons de depressió que generen els pous poden produir la contaminació dels nivells aquífers profunds, al induir el flux d'aigua contaminada a través dels sediments de gra fi (llims i argiles) que actuen com a aquítards.

A la Figura 2.31 es representa una interpolació de la concentració de nitrats detectada en els pous de la depressió amb profunditats superiors als 30 m. El fet que els pous a partir dels quals s'ha realitzat aquesta interpolació estiguin molt espaiats no permet que les concentracions de nitrats representades entre ells siguin molt acurades, però sí permet observar les zones on hi poden haver més problemes de contaminació.

Així, a la Figura 2.31, es pot observar com els pous amb concentracions més altes es troben a les zones agrícoles principals de la conca. Concretament, la major part dels pous amb elevades concentracions de NO_3^- es troben situats a la conca del riu Onyar, en els municipis de Cassà de la Selva, St. Andreu Salou, Caldes de Malavella, Vilobí d'Onyar i Riudellots de la Selva, pous situats en municipis on hi ha un excés més important en nitrogen procedent de la ramaderia (Taula 2.10).

En aquest sentit, s'observa que la major part dels pous que exploten els nivells aquífers profunds de la conca de l'Onyar presenten concentracions de nitrats superiors als 50 mg/l. Aquestes concentracions poden suposar problemes de potabilitat en els pous que explotin aquests nivells per abastar d'aigua potable als municipis de la zona.

D'altra banda, els pous que presenten les concentracions més elevades de nitrats es troben situats molt propers a granges o en àrees de conreu on s'hi apliquen molts adobs. Aquest fet podria ser indicatiu de problemes de contaminació puntual, i en alguns casos induïts per la comunicació dels nivells superficials (amb concentracions elevades de nitrats) amb els nivells aquífers més profunds a través dels propis pous.

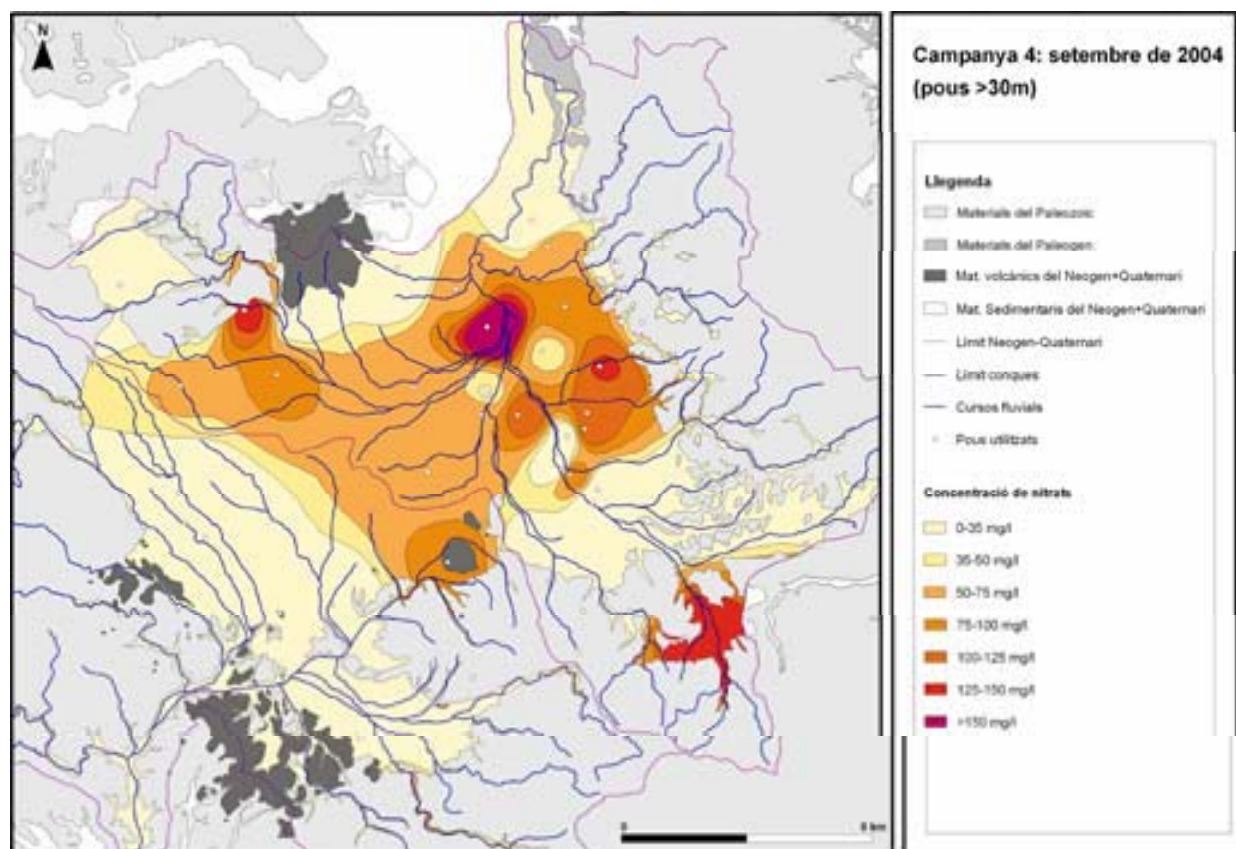


Figura 2.31: Concentració de nitrats en els pous que exploten els nivells aquífers profunds de la depressió de la Selva.

Aquest és el cas d'uns pous on durant la campanya realitzada al desembre de 2003 s'hi havia observat com es produïa la comunicació dels nivells aquífers superficials (amb elevades concentracions de nitrats) amb els nivells aquífers profunds a través del propi pou. A la zona compresa entre la riera Gotarra i Verneda (a Cassà de la Selva) s'havia mostrejat tres pous, dos dels quals (amb profunditats de 70 i 150 m) explotaven un nivell al·luvial superficial a més dels nivells neògens productius, i el tercer pou només explotava els nivells més profunds (130 m). Durant la campanya d'hivern es va observar com es produïa la comunicació dels nivells superficials amb els profunds, al detectar que la concentració de nitrats dels pous de 70 i 150 m era de 115 i 49 mg/l, respectivament, mentre que el pou de 130 m que només explotava els nivells més profunds presentava concentracions de 6 mg/l. A la següent campanya realitzada a l'estiu, al produir-se la baixada del nivell freàtic, no es produïa aquesta comunicació, i la concentració de nitrats disminuïa a l'augmentar la profunditat del pou (a la campanya del setembre de 2004, les concentracions presentades van ser de 97, 7,3 i 7 mg/l pels pous de 70, 130 i 150 m respectivament). Aquest fet suggereix l'existència d'una connexió entre els nivells superficials contaminats, amb els nivells profunds, a través del propi pou.

En d'altres casos on apareixen concentracions de nitrats superiors als 125 mg/l, com és el de la zona sud de Llagostera, el pou mostrejat es troba situat molt proper a una granja, i la contaminació de l'aquífer profund també es produeix a través del propi pou, per una mala gestió i defectes de construcció. Per tant, aquest punt no es pot considerar representatiu de la concentració de nitrats dels nivells aquífers profunds.

En la degradació de la matèria orgànica l'amoni és el primer compost nitrogenat inorgànic que es forma, a través del procés anomenat amonificació. En condicions oxidants, aquesta espècie s'oxida, gràcies a l'acció dels microorganismes nitrificadors, passant a nitrits i posteriorment a nitrats. A més, a diferència dels nitrats, l'amoni és fortament adsorbit a les superfícies minerals. És per aquest motiu que l'amoni només és present a l'aigua en condicions reductores, o bé, en punts prou propers al focus de contaminació com perquè no s'hagi produït la seva nitrificació o adsorció en les argiles.

En tots els punts mostrejats també s'hi ha analitzat la concentració d'amoni. Un total de 24 punts en alguna de les campanyes han presentat una concentració d'amoni detectable i només en dos d'ells s'ha superat el valor paramètric establert pel Reial Decret 140/2003, de 7 de febrer (0,5 mg/l de NH_4^+).

En el cas dels punts com el situat al sud de Llagostera i el pou de 70 m situat entre la riera Gotarra i Verneda (a Cassà de la Selva), a la campanya del desembre de 2003 s'observa un increment de la concentració d'amoni fins a 0,39 mg/l, mentre que a la resta de campanyes la seva concentració es troba per sota dels límits de detecció, confirmant-se així el caràcter puntual i la proximitat del focus de contaminació esmentats anteriorment.

De la mateixa manera, el pou situat a Riudellots de la Selva en el que apareixen les concentracions més elevades de nitrats, aquestes també estan acompanyades per la presència d'amoni a baixes concentracions, exceptuant al setembre de 2004 en què deixa de ser detectable.

2.5.4. Conclusions de l'anàlisi de les dades hidroquímiques.

Els objectius de l'anàlisi de les dades hidroquímiques han consistit en determinar les procedències i trajectòries dels fluxos de recàrrega i caracteritzar els sistemes hidrològics identificats en l'anàlisi de les dades piezomètriques, així com identificar possibles problemes de qualitat de les aigües subterrànies.

En aquest sentit, ha estat possible distingir distintes fàcies hidroquímiques en funció de la distribució espacial dels pous mostrejats. Així, en els pous que exploten els granitoids dels massissos adjacents a la depressió, els nivells aquífers profunds dels sediments del Neogen, i en els pous que assoleixen el sòcol de la depressió, s'ha observat:

- En els punts on l'anàlisi de les dades piezomètriques només mostrava l'existència de fluxos de caire local procedents del massissos adjacents a la depressió, la fàcies hidroquímica més habitual és Ca-HCO_3 , exceptuant a la cubeta de Vidreres, on presenten una fàcies Ca-Na-HCO_3 , atribuïble a la influència dels materials volcànics.
- En punts propers a les fractures principals de la zona i en aquells punts on s'havia observat una eficient recuperació dels nivells relacionada amb la presència de fluxos de caire regional, les mostres presenten concentracions significants de sodi i, per tant, les fàcies hidroquímiques presentades són les Na-HCO_3 o Ca-Na-HCO_3 . La presència de sodi s'atribueix a la hidròlisi dels silicats, i l'intercanvi catiònic Na-Ca amb les argiles.
- Finalment, en els punts situats en els materials granitoids propers a les fractures, s'ha identificat una notable presència de clorurs. La fàcies hidroquímica presentada és $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ i es relaciona amb una intensa meteorització de minerals del grup de la biotita i de granits amb processos de cloritització.

Així, les diferències observades tant en l'anàlisi piezomètrica, com en les fàcies hidroquímiques entre aquests grups de pous permet confirmar l'existència de sistemes de flux diferenciats: uns fluxos horitzontals de caire local procedents dels massissos adjacents a la depressió, on domina el quimisme relacionat amb el sistema calcocarbonat, i uns altres de tipus regional, que ascendirien a través de les fractures principals de la zona, on la presència de sodi i clorurs permeten inferir processos geoquímics més lents, propis de sistemes profunds amb temps de residència elevats.

Pel que respecta a la qualitat fisicoquímica de l'aigua s'han observat diversos problemes tant de tipus natural com antròpic:

- D'una banda, s'han detectat elevades concentracions de fluorurs, especialment aquelles mostres amb fàcies Na-HCO_3 i Ca-Na-HCO_3 ,
- També s'han detectat elevades concentracions de ferro i manganès en pous situats tant als al·luvials de la riera de Sta. Coloma, i els seus afluents, com en pous que exploten els granitoids.
- I finalment, també s'han observat elevades concentracions de nitrats sobretot en els pous situats a la conca del riu Onyar.

En aquest sentit, aquests problemes de qualitat limiten l'ús de les aigües subterrànies, obligant a cercar fonts alternatives de subministrament, com ha estat l'actuació per evitar el fluor i arsènic de les aigües de Caldes de Malavella, o a majors inversions en potabilització de les aigües per eliminar el ferro i el manganès de la xarxa de distribució. El cas dels nitrats és de més difícil resolució, atès que estan relacionats amb una gestió inadequada dels residus ramaders i el seu ús com adob i

possiblement amb uns règims de bombeigs inapropiats pels nivells sedimentaris. El caràcter semiconfinat de l'aqüífer, juntament amb la captació d'aigua a diferents nivells en un mateix pou, facilita possiblement la pèrdua de qualitat de les aigües subterrànies.

2.6. ANÀLISI DE LES DADES ISOTÒPIQUES.

La informació obtinguda a partir de les dades piezomètriques i fisicoquímiques s'ha completat amb l'aplicació de tècniques isotòpiques. D'una banda s'han utilitzat isòtops estables com l'oxigen-18 (^{18}O) i el deuteri (^2H), i de l'altra, també s'ha utilitzat el triti com a isòtop radioactiu.

En aquest sentit, per a la caracterització isotòpica de les aigües subterrànies s'han realitzat tres campanyes de mostreig principals, al maig, setembre i desembre de 2003. Concretament, es disposa de les dades ^{18}O , ^2H i triti de que es detallen a la Taula 2.12.

Conca	Aqüífer	Maig 2003	Setembre 2003	Desembre 2003
Onyar	Al·luvial	3		
	Volcànic	1	1	1
	Neogen sedimentari	10	10	11
	Neogen sedimentari + paleozoic	3	5	5
	Paleozoic (granitoids i mat. metamòrfics)	4	3	3
Sta. Coloma	Al·luvial	3		
	Volcànic	2	2	2
	Neogen sedimentari		3	3
	Neogen sedimentari + paleozoic	1	1	1
	Paleozoic (granitoids i mat. metamòrfics)		4	4
Zona Nord	Neogen	2	1	1

Taula 2.12: Nombre de pous dels que se'n disposa de dades isotòpiques.

2.6.1. El contingut en isòtops estables.

Dins els isòtops estables uns dels més utilitzats en l'estudi de les aigües subterrànies són el ^{18}O i ^2H . Aquests dos isòtops, al formar part de la molècula d'aigua, permeten tant traçar el seu moviment, com també estudiar els processos de fraccionament natural. En aquest sentit, són indicadors tant de l'origen de les aigües subterrànies, atès que la seva composició isotòpica és característica de la seva zona de recàrrega, com també dels processos a les que es troben sotmeses.

Així, s'han utilitzat aquest dos isòtops estables amb la finalitat de determinar possibles orígens de les aigües subterrànies, utilitzant les diverses rectes meteòriques locals existents en punts propers de l'àrea d'estudi.

El contingut en $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ de la precipitació.

La composició isotòpica de les precipitacions depèn de diversos factors com la latitud, l'altitud, la continentalitat, la temperatura atmosfèrica i la quantitat de precipitació (Gat i Gonfiantini, 1981). Quan es formen les gotes de pluja, per la condensació del vapor d'aigua en els núvols, la fase líquida està enriquida en ^{18}O i ^2H . L'eliminació preferencial de l' ^{18}O i ^2H de l'humitat de l'aire, dona lloc a un empobriment de la fase vapor. Així, degut al fraccionament que es produeix en la condensació del vapor d'aigua, la massa d'aire esdevé progressivament més empobrida en ^{18}O i ^2H (Faure, 1986). En

aquest sentit, els punts més allunyats de la costa i a cotes topogràfiques més altes (en el cas de pluges orogràfiques) seran els que presentaran composicions isotòpiques més lleugeres, atès que les molècules d'aigua que contenen ^{18}O i ^2H , són les que precipitaran en les primeres pluges (Gat i Gonfiantini, 1981).

En aquest sentit, la composició isotòpica de l'aigua subterrània dependrà de la composició isotòpica mitjana de les precipitacions a la zona de recàrrega. Des del moment en què es produeix la seva infiltració i l'aigua arriba a l'aquífer, la seva composició isotòpica no canvia en el temps, exceptuant els casos en què les reaccions geoquímiques produeixen un fraccionament (sobretot en les aigües termals). És per aquest motiu que aquesta composició permet determinar la zona de recàrrega així com alguns dels processos als que estan sotmeses les aigües subterrànies.

A més de la línia meteòrica mundial (LMM), en àrees properes a la zona d'estudi s'han realitzat diverses rectes meteòriques locals de les que se'n disposa d'informació. Aquestes rectes s'han realitzat tant a través de dades de precipitacions com a partir de dades obtingudes a través de fonts, i són les que es detallen a la Taula 2.13.

Codi	Localitat	Recta meteòrica	Tipus de dades	Referència
LMM	Línia Meteòrica Mundial	$\delta^2\text{H} = 10 + 8 \delta^{18}\text{O}$	Precipitacions	Craig, 1961
LMMP	Montseny i Prades	$\delta^2\text{H} = 9.8 + 7.9 \delta^{18}\text{O}$	Precipitacions	Neal et al., 1992
LMMB	Mas Badia (20 m.s.n.m.)	$\delta^2\text{H} = 7.98 + 7.85 \delta^{18}\text{O}$	Precipitacions	Vilanova, 2004
LMB	Barcelona (65 m.s.n.m.)	$\delta^2\text{H} = 6.07 + 7.09 \delta^{18}\text{O}$	Precipitacions	IAEA, 1984-1997
LMMF	Montseny	$\delta^2\text{H} = 15.41 + 8.11 \delta^{18}\text{O}$	Fonts	Carmona et al., 2000
LMGF	Guilleries	$\delta^2\text{H} = 14.97 + 8 \delta^{18}\text{O}$	Fonts	ACA, 2002

Taula 2.13: Rectes meteòriques locals (Vilanova, 2004).

Com es pot observar a la Taula 2.13, les diverses línies meteòriques locals presenten pendents similars, exceptuant la de Barcelona. D'altra banda, es poden observar diferències significatives en el paràmetre d'excés de deuteri entre les rectes realitzades a través de les precipitacions i les realitzades a través de les fonts. Si bé les aigües d'aquestes fonts no semblen estar afectades per processos evaporatius, atès que el seu pendent no disminueix fins assolir valors entre 4 i 6 (Friedman et al., 1962), les diferències observades en el paràmetre d'excés de deuteri poden indicar la presència de processos complementaris que en produeixin el fraccionament, o bé poden indicar diferències estacionals. En el cas de Vilanova (2004), les mostres preses durant l'hivern a Mas Badia presentaven un excés de deuteri de l'ordre de 13,415, molt similar als valors que presenten les rectes calculades a partir de les fonts. Aquest fet sembla indicar que la infiltració efectiva al Montseny i Guilleries es produeix principalment durant els mesos d'hivern.

La relació $\delta^{18}\text{O} / \delta^2\text{H}$ en les aigües subterrànies.

Els resultats obtinguts en l'anàlisi isotòpica de les aigües subterrànies de la zona d'estudi es presenten tant a la Taula 2.14, com a la Figura 2.32.

Tant les dades estudiades en les anàlisis piezomètriques, com en les anàlisis fisicoquímiques suggereixen que la recàrrega dels sediments del rebliment Neogen de la depressió de la Selva es realitza tant a través de fluxos horitzontals de caràcter local procedents dels massissos que l'envolten, com a través de fluxos verticals ascendents a través de les fractures principals de la zona, de caràcter més regional.

2. Estudi hidrogeològic.

Conca	Aqüífer	Codi	Prof. m.	Maig 2003		Setembre 2003		Desembre 2003	
				$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
Conca Onyar	Al·luvial	GI0085	10,6	-5,3	-35,6				
		RS0199	6	-4,7	-32,3				
		VO0262	15	-5,4	-35,8				
	Paleozoic	CS0183	60	-5,5	-36,3	-5,9	-39	-6,1	-40
		LG0190	120	-5,4	-35			-5,6	-36
		LL0108	80	-6,0	-39	-6,2	-39	-6,3	-39
		BR0106	83	-5,5	-36,6	-5,9	-36		
	Neogen sedimentari	RS0270	100	-5,3	-34,8	-5,6	-34	-5,6	-36
		CM0272	90	-5,4	-36,4	-5,7	-37	-5,9	-39
		CS0271	80	-5,3	-35,8	-5,6	-34	-5,8	-38
		FS0066	102	-6,7	-43,5	-6,7	-43	-6,8	-44
		LL0115	80	-5,2	-34,7	-5,6	-36	-5,4	-35
		RS0191	90	-5,3	-35,2	-5,8	-35	-5,9	-39
		RS0266	120	-5,1	-34	-5,6	-34	-5,4	-35
		RS0271	60	-5,1	-33,4				
		CL0259	80			-5,7	-35	-5,7	-36
		CS0105	65	-5,3	-35	-5,6	-36		
		CM0265	115			-5,7	-34		
		LG0033	130	-5,3	-34,4			-5,1	-33
		CM0047	121					-5,1	-32
	CS0284	60			-5,8	-36	-5,8	-35	
	Neogen sed.+ granitoids	CS0204	130					-5,7	-34
		CS0203	150			-6,1	-38	-6,0	-37
VO0088		70	-5,3	-35,5	-5,8	-34	-5,8	-36	
VO0105		150	-5,3	-35,8	-5,8	-34	-5,7	-36	
CS0304		115			-5,8	-35			
BR0092		80	-5,8	-37,5	-6,0	-38	-6,0	-37	
Volcànic	BE0077	80	-5,4	-36,3	-5,6	-36	-5,8	-36	
Conca de Sta. Coloma	Al·luvial	RD0041	12	-5,8	-37,9				
		SC0073	9,5	-5,6	-36,5				
		SI0089	17,1	-5,5	-35,1				
	Paleozoic	VD0168B	100					-5,5	-33
		VD0166	50			-5,6	-32	-5,8	-37
		VD0172	50			-5,9	-38	-6,0	-36
		VD0177	12,7			-5,6	-35	-5,2	-35
		VD0173	20			-5,6	-36		
	Neogen sedimentari	SC0113	73			-6,1	-39	-6,1	-39
		SC0117	65			-6,0	-38	-6,9	-43
		VD0124	35			-5,1	-29	-5,5	-31
	Neogen sed.+ granitoids	SI0053	50	-5,8	-38,1	-6,3	-37	-5,8	-34
	Volcànic	VD0080	48	-4,9	-33	-5,4	-33	-5,4	-31
MS0060		60	-4,5	-31,4	-5,1	-30	-4,9	-32	
Zona nord	Neogen sedimentari	SG0121	73					-5,8	-38
		SG0138	67	-5,6	-35,7				
		SG0123	75	-5,5	-36,3	-6,0	-37		

Taula 2.14: valors de $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ (en ‰ SMOW) en les aigües subterrànies obtinguts en les diverses campanyes realitzades.

En aquest sentit, i per tal de diferenciar aquests components horitzontals i verticals en la recàrrega, a la Figura 2.32, on es representa la relació $\delta^{18}\text{O} / \delta^2\text{H}$ per cadascuna de les campanyes realitzades, s'ha representat les dades tant en funció de l'aqüífer, com en funció de la fàcies hidroquímica de la mostra d'aigua (en el cas que se'n tingui informació). En aquestes figures també s'hi ha representat la línia meteòrica mundial (LMM), així com la línia meteòrica del Montseny realitzada a través de fonts (LMMF), la línia meteòrica de Mas Badia (LMMB), i la línia meteòrica de Montseny-Prades (LMMP).

La interpretació d'aquestes dades isotòpiques s'ha realitzat a partir de la campanya de desembre i de setembre de 2003, atès que les dades de la campanya de maig de 2003 semblen presentar problemes d'anàlisi en el laboratori, al veure's gairebé totes afectades per processos evaporatius, trobant-se situades sota les rectes meteòriques locals (amb un pendent de 5,5; Figura 2.32).

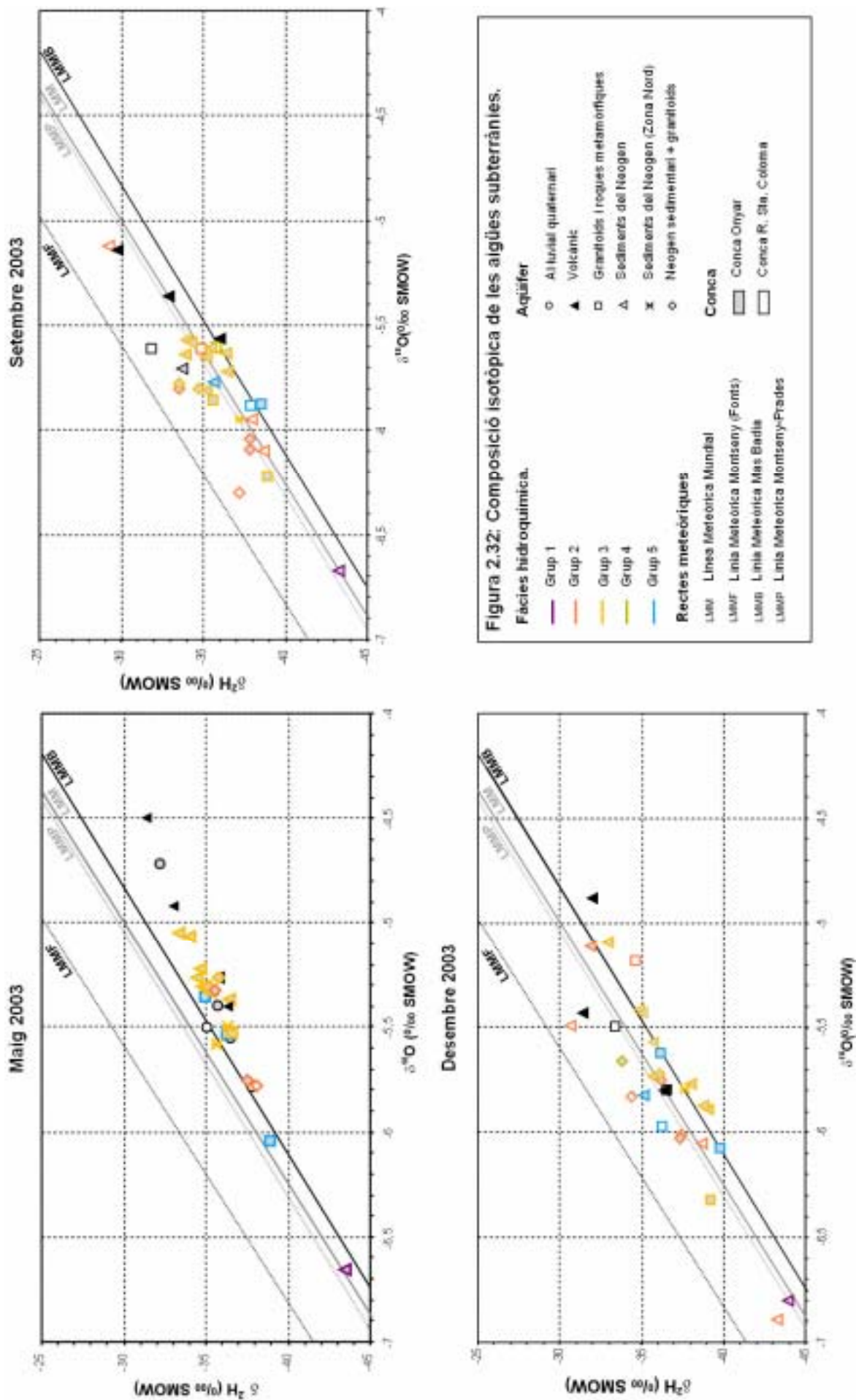
Pel que respecta la situació de les diverses mostres estudiades en relació a les rectes meteòriques locals, s'observa que la totalitat de les mostres es troben per sota la línia meteòrica del Montseny realitzada a partir de les fonts (LMMF). D'una banda però, hi ha un conjunt de mostres situades per sobre de les rectes calculades a través de les precipitacions (LMMP i LMMB), i de l'altra hi ha mostres situades per sota.

El fet que hi hagi un conjunt de mostres que es trobi situat en punts intermedis entre les rectes calculades a través de les precipitacions i les rectes realitzades a través de les fonts, suggereix que la recàrrega dels nivells aquífers que exploten aquests pous està influïda, principalment, per les precipitacions produïdes durant els mesos d'hivern, atès que els valors calculats d'excés de deuteri per aquests punts són de l'ordre de 11,3-13,3, molt similars als valors obtinguts en les rectes meteòriques calculades a través de les fonts o bé, els valors de Mas Badia durant els mesos d'hivern (Taula 2.13).

A les Figures 2.32 i 2.33 i a la Taula 2.15 es poden distingir diversos grups de mostres:

- Grup A: en aquest grup es troben les mostres que presenten una composició isotòpica més lleugera. Són les que presenten una fàcies bicarbonatada sòdica i que exploten nivells profunds del Neogen, en zones properes a les fractures principals. Aquest grup està representat per la mostra FS0066 (situada a Fornells de la Selva), i per la mostra SC0117 (a Sta. Coloma de Farners), que tot i presentar una fàcies bicarbonatada càlcico-sòdica a la campanya de quimisme realitzada al setembre de 2004, a la campanya de desembre de 2003 presenta una composició isotòpica similar a la mostra FS0066.
- Grup B: és un altre pol format per les mostres que presenten la composició isotòpica més pesada. En aquest cas, es tracta de mostres de pous situats al sud de la depressió, que exploten els materials sedimentaris i volcànics de la cubeta de Vidreres, de la cubeta de Llagostera, així com els granitoids del massís de la Selva Marítima i del glacis de St. Maurici i Vidreres. A nivell fisicoquímic, es tracta de mostres principalment bicarbonatades càlcico-sòdiques, exceptuant el cas de la cubeta de Llagostera que és Ca-HCO₃.
- Grup C: en punts intermedis als dos grups anteriors es troben les mostres bicarbonatades càlciques de pous que exploten, principalment, els materials sedimentaris del neogen.
- Grup D: en aquest grup es troben un conjunt de mostres bicarbonatades càlcico-sòdiques i bicarbonatades-clorurades càlciques, que estan situades entre el grup C, i el pol de mostres amb fàcies bicarbonatada sòdica (el grup A). Presenten una composició isotòpica més lleugera que les del grup C, sobretot pel que respecta a l¹⁸O, i una composició molt més pesada, que les mostres del grup A, suggerint possibles mesclades d'aigua entre aquests dos grups, atès que aquest conjunt el formen pous situats en punts propers a les fractures principals, tant dels massissos, com de la depressió.

2. Estudi hidrogeològic.



La composició significativament més lleugera de les mostres del grup A pot ser indicativa de diferències en la zona de recàrrega respecte la resta de mostres (Figura 2.33). El fet que les aigües més lleugeres siguin característiques de precipitacions en cotes topogràfiques més altes, conjuntament amb el fet que aquestes mostres s'hagin localitzat en punts propers a les fractures com la falla de Sta. Coloma i les fractures N-S de Girona a Caldes de Malavella o la fractura NO-SE de Llorà suggereix que la zona de recàrrega per aquests nivells aquífers pugui situar-se en punts de les Guilleries i serralada Transversal (amb cotes fins a 800 o 1200 m.s.n.m, respectivament) molt més elevats que les cotes més altes de les Gavarres o del massís de la Selva marítima (amb cotes de com a màxim 500 m), i que, per tant, siguin així indicatives de fluxos de caire regional.

En aquest sentit, Vilanova (2004) també havia localitzat un conjunt de punts situats en àrees properes a les falles principals d'orientació NO-SE de les Gavarres, que presentaven composicions isotòpiques molt semblants a les d'aquest grup, i atribuïa la seva composició isotòpica a l'estructura hidrogeològica regional.

La composició isotòpica més pesada de les mostres del grup B, situades totes al límit sud de la depressió, suggereix que la recàrrega dels nivells aquífers que exploten aquests pous es produeix en cotes topogràfiques molt més baixes que les del grup A, segurament en punts del massís de la Selva Marítima. En aquest sentit, aquesta composició isotòpica és indicativa de fluxos de caire més local procedents d'aquest massís.

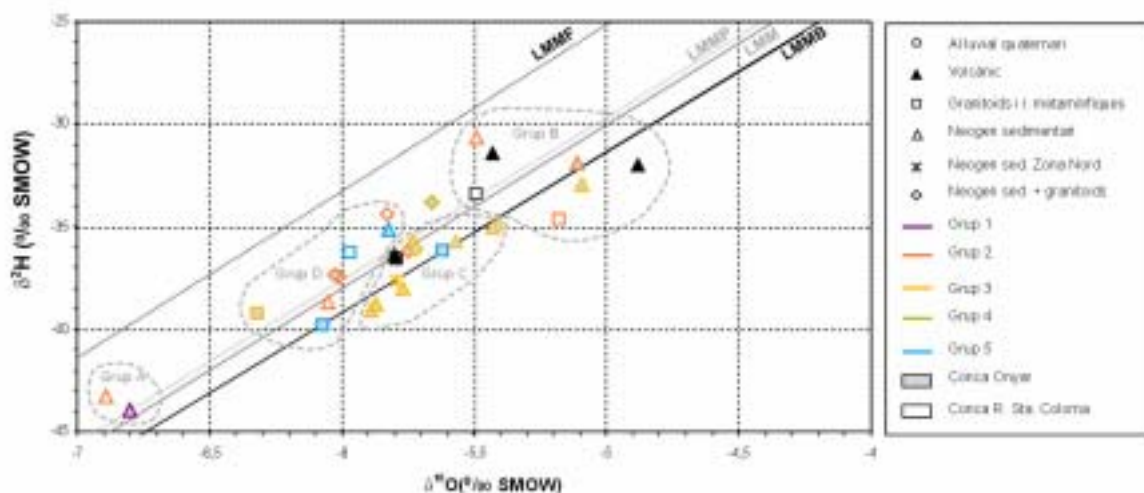


Figura 2.33: Composició isotòpica de les mostres de la campanya de desembre de 2003.

En aquesta zona però, hi ha tot un altre conjunt de pous com el VD0172, VD0173, VD0166 i el VD0177, que en totes o en alguna de les campanyes realitzades presenten composicions isotòpiques molt més lleugeres, situant-se fins i tot a l'alçada de les mostres del grup D (com és el cas del VD0172 i VD0166). Alguns d'aquests punts presenten fàcies Ca-Na-HCO₃, com la VD0177, però a mesura que disminueix la dotació de ¹⁸O i ²H, passen també cap a fàcies Ca-Na-HCO₃-Cl (en el cas del VD0173) i finalment a Ca-HCO₃-Cl (en el cas del VD0172). Aquest moviment cap a posicions més lleugeres sembla ser indicatiu de la mescla amb aigües procedents d'una zona de recàrrega diferent, d'origen profund i per tant relacionades amb cotes topogràfiques més elevades.

Tot i que inicialment s'havien descrit les mostres Ca-Na-HCO₃ com una possible mescla d'aigües Na-HCO₃ procedents de fluxos més regionals, amb aigües amb fàcies Ca-HCO₃ procedents de fluxos

2. Estudi hidrogeològic.

locals, en les mostres del grup B no sembla ser així. D'una banda, la major part dels punts mostrejats al sud de la depressió presenten aquesta fàcies. I de l'altra, el fet que també presentin composicions isotòpiques molt més pesades, que la resta de mostres amb aquesta fàcies, impossibilita que es produeixi la mescla amb aigües procedents de fluxos regionals com podrien ser les del grup A (exceptuant casos com el VD0177). En aquest sentit, la proporció més alta de sodi podria ser indicativa de diferències en la litologia dels aqüífers que exploten aquests pous, respecte a la resta de la Selva, atès que en aquesta zona, entre els materials sedimentaris neògens, es troben intercalacions de basalts i piroclastos del volcà de Maçanet.

En el cas del grup C, la seva composició isotòpica és més pesada que la de les mostres del grup A, i més lleugera que les del grup B. En aquest sentit, aquesta dotació isotòpica podria ser indicativa tant de la mescla d'aigua d'aquests dos grups, com de la presència d'una recàrrega de tipus local que s'hauria produït en cotes més elevades o en zones més allunyades del mar que en les mostres del grup B, com podria ser a les Gavarres i les serres baixes de les Guilleries.

I finalment, en el cas del grup D, el fet que punts com el SC0117 es trobi en posicions properes al FS0065 durant la campanya del desembre de 2003 i properes als punts del grup D durant la resta de campanyes suggereix que les mostres d'aquest últim grup D són una mescla d'aigües d'un flux més local procedents de les Gavarres o les Guilleries amb aigües procedents d'un flux més regional, com les del grup A. Aquest fet també es constata al comparar les dades obtingudes pel punt LL0108 amb les que va obtenir Vilanova (2004) per el mateix punt. De la mateixa manera que amb el punt SC0117, Vilanova (2004) observava composicions isotòpiques semblants a les del grup A. D'altra banda, els valors obtinguts en aquest punt durant les campanyes de setembre i desembre de 2003, mostren aquest punt dins el grup D. En aquest sentit, la composició isotòpica d'aquest punt sembla ser una mescla d'aigües d'una procedència més local (en aquest cas de les Gavarres), amb aigües d'una procedència de caire més regional (com les del grup A).

En aquest grup D també es troben mostres amb fàcies bicarbonatades-clorurades càlciques, que de la mateixa manera que les bicarbonatades-sòdiques s'havien relacionat amb el sistema de fractures de la zona. Un exemple en seria el VD0172, que tot i trobar-se situat al glacis de Vidreres i St. Maurici, presenta una composició isotòpica molt més lleugera que les mostres del grup B, indicant així, zones de recàrrega diferents.

Grup	Fàcies hidroquímica	Situació/ materials explotats	Isòtops estables	Triti (UT)
A	Na-HCO ₃ Ca-Na-HCO ₃	Materials sedimentaris del Neogen en zones properes a falles.	Composició lleugera	< 3 UT
B	Ca-Na-HCO ₃	Zona sud de la depressió	Composició pesada	2,0-6,1 UT
C	Ca-HCO ₃	Materials sedimentaris del Neogen.	Composició intermèdia	1,9-10,7 UT
D	Ca-Na-HCO ₃ Ca-HCO ₃ -Cl	Mat. sed. del Neogen o en mat. Paleozoics en zones properes a falles.	Composició intermèdia	2,1-5,6 UT

Taula 2.15: Característiques de les mostres d'aigua en funció del grup d'isòtops estables al que pertanyen.

2.6.2. El contingut en triti.

El triti (^3H) és un dels isòtops radioactius més utilitzats per identificar la presència de processos de recàrrega moderns. Es tracta d'un isòtop de l'hidrogen que presenta un temps de vida mitjà de 12.43 anys, i que a l'incorporar-se directament a la molècula d'aigua (H^3HO_2), en permet la seva datació. A més, es caracteritza per no patir alteracions en la interacció de l'aigua amb les roques, ni per les reaccions químiques.

El triti té dos orígens diferenciats: d'una banda, es forma de manera natural a les capes més altes de l'atmosfera per la interacció dels rajos còsmics amb el nitrogen, procés que també origina carboni; i de l'altra, hi hauria les proves nuclears que es van donar entre el 1952 i el 1962 i van generar grans quantitats de triti atmosfèric. Aquestes proves nuclears van donar lloc a una reserva de triti a l'estratosfera, la qual contaminà els sistemes globals de precipitació per més de quatre dècades, i és la que permet el seu ús com a traçador. Cal destacar però, que des d'aquesta entrada substancial, la concentració de triti en la precipitació ha anat disminuint (a nivells d'aproximadament un 5.5% per any), no només per la seva desintegració, sinó també per l'atenuació que produeixen els oceans i les aigües subterrànies, els quals han esdevingut els reservoris més importants del triti termonuclear (Figura 2.34; Clark i Fritz, 1997).

Independentment del seu origen, una vegada el triti s'ha format, es combina amb l'oxigen estratosfèric per formar aigua, i entra així en el cicle hidrològic. En aquest sentit, la concentració de triti en les aigües meteòriques depèn de diversos factors com: la seva taxa de producció natural a l'estratosfera; la seva desintegració; la injecció estacional de triti des de l'estratosfera a la troposfera; la presència de triti generat per les proves nuclears; i, la presència de triti produït localment per reactors nuclears (Faure, 1986). Així, quan els nivells de triti d'una aigua subterrània són alts (superiors a les 30 UT), són indicatius de recàrregues durant els anys 60, mentre que si les concentracions presents s'aproximen al límit de detecció (1 UT) poden ser aigües submodernes o bé fòssils que s'hagin barrejat amb aigües superficials modernes.

La datació de les aigües subterrànies amb ^3H .

La datació de les aigües subterrànies utilitzant el triti és un procés complex i que pot estar sotmès a moltes incerteses. D'una banda, una vegada el triti arriba a les aigües subterrànies es pot produir la seva dispersió o la barreja amb aigües més antigues. I de l'altra, la concentració de triti en les precipitacions pateix fortes variacions tant estacionals com anuals.

Tal i com destaca Clark i Fritz (1997), si es considera una parcel·la d'un aqüífer regional, en la major part dels casos la seva aigua està composta per les precipitacions d'un conjunt d'anys que s'han mesclat a través de la zona no saturada, així com pel flux a través de l'àrea de recàrrega. Una vegada aquestes aigües subterrànies es desplacen cap una zona confinada, o cap a profunditats on no reben aportacions des de la superfície, el contingut en triti comença a disminuir per la seva desintegració. Així, la concentració de triti en aquesta parcel·la dependrà del temps de residència en l'ambient de recàrrega, i el temps que transcorri des del seu confinament.

Utilitzant dades de la concentració de triti de la precipitació es pot calcular el temps de trànsit de l'aigua de l'aqüífer en un determinat punt a través d'una funció d'entrada del triti en la que es considerin diversos anys, i que estigui afectada per la seva descomposició. En aquest sentit, la funció que s'ha utilitzat té en compte el pes de la contribució en ^3H per cadascun dels anys considerats en la mescla, amb una correcció de la disminució de la concentració de triti per desintegració durant el

2. Estudi hidrogeològic.

temps d'emmagatzematge en l'àrea de recàrrega. I s'ha considerat el procés de desintegració del triti com el que respon a la següent model exponencial:

$$a_t {}^3H = a_o {}^3H e^{-\lambda t}$$

on $a_o {}^3H$ és l'activitat o concentració inicial de triti, $a_t {}^3H$ és l'activitat residual o el triti que roman després de la seva desintegració durant un temps t , i λ és el terme de desintegració que és igual a 0,05576 (al presentar un període de semidesintegració de 12,43 anys).

En la funció d'entrada utilitzada, per a determinar la contribució en 3H per cadascun dels anys considerats en la mescla, s'han realitzat dues estimacions basant-se en què la ponderació per cada any es pot aproximar a una distribució normal:

- En la primera, s'ha considerat que el conjunt de precipitacions que composava l'aigua de l'aquífer en una parcel·la concreta era de 5 anys, donant el major pes a la precipitació dels anys intermedis (el 33% correspondria al tercer any).
- També s'ha considerat una segona estimació en què que el conjunt de precipitacions era de 3 anys. En aquest cas, s'ha donat el major pes al segon any (amb un 50%).

A més, s'han repetit les dues estimacions anteriors, però sense tenir en compte les aportacions de triti en les precipitacions dels mesos d'estiu, atès que la major part de la precipitació en aquests mesos s'evapotranspira i no arriba a l'aquífer.

D'altra banda, cal constatar que en aquest tipus de models es considera que el flux d'aigua subterrània un cop dins el sistema es comporta com un flux en pistó, en el que no s'assumeixen mescles dins de cada trajectòria ni tampoc dispersió al llarg del recorregut. En el cas de la depressió de la Selva, no sempre es pot considerar així, atès que en els materials sedimentaris neògens es poden produir mescles dels diversos nivells neògens, i tal i com es destacava en la piezometria i en l'apartat de quimisme, hi ha punts en què es produeix una mescla d'aigües de procedència més local, amb aigües de procedència més regional. En aquest sentit, tot i que s'ha calculat la funció multianual d'entrada del triti, la interpretació que s'ha fet en la major part dels casos ha estat qualitativa.

En relació al contingut de triti de les precipitacions, per tal de realitzar aquest estudi s'han pogut obtenir les dades de l'estació meteorològica de Terrassa-UAB (Servei de Datació de Triti i Carboni 14 de la UAB) des del 1968 al 2001, les de l'estació meteorològica de Barcelona des de 1971 a 1992 (IAEA, 2005), i les del Mas Badia des de 1996 a 2002 (Figura 2.34).

D'altra banda, al presentar un major nombre de dades, s'ha utilitzat únicament l'estació de Terrassa-UAB per al càlcul de les diferents funcions d'entrada. A la Taula 2.16 es presenten els resultats d'aquest càlcul, on: a la columna $a_o {}^3H (UT)$ es presenta la mitjana anual de triti en la precipitació (en UT) tenint en compte tots els mesos de l'any; a la columna $a_t {}^3H(UT)$ es presenta el resultat de la seva desintegració per al 2003 (en UT); a la columnes *5 anys* i *3 anys* el càlcul de la concentració de triti que tindria una massa d'aigua infiltrada a l'any indicat, utilitzant una mitjana ponderada de 5 i 3 anys, respectivament (en UT); i finalment, a les columnes *5 anys** i *3 anys**, s'ha calculat la concentració de triti que tindria una massa d'aigua infiltrada a l'any indicat, utilitzant una mitjana ponderada de 3 i 5 anys, respectivament, però sense considerar els mesos d'estiu.

El resultat de les funcions de desintegració de la precipitació per a 3 i 5 anys de mescla, i les funcions de desintegració de la precipitació per a 3 i 5 anys de mescla sense tenir en compte els mesos d'estiu són les que es presenten a la Figura 2.35. En aquesta figura es pot observar com el descens de la concentració del triti en la precipitació entre el 1970 i el 1985 continua sent evident, i com a partir del

1985 es produeix un augment de la concentració de triti amb un pic màxim al 1990. En aquest sentit, les variacions en la concentració de triti entre el 1980 fins al 2000, són les que poden donar lloc a problemes d'interpretació, a l'hora d'identificar els anys en què s'ha produït la recàrrega d'una aigua amb una concentració actual de triti d'entre 3-7,5 UT.

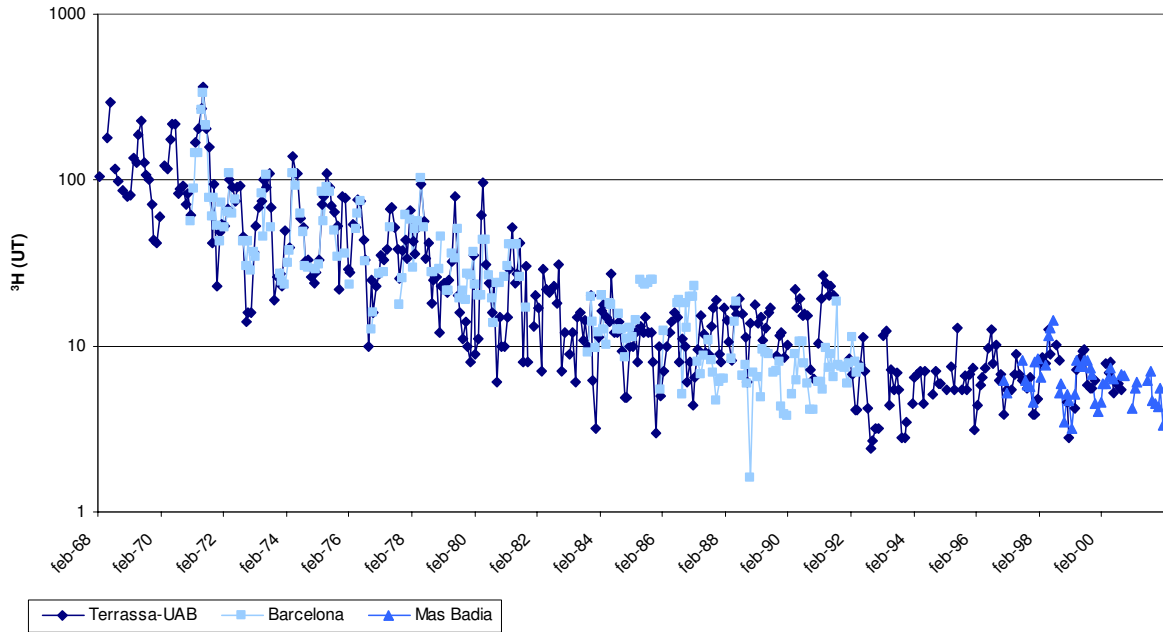


Figura 2.34: Concentració de triti a la precipitació.

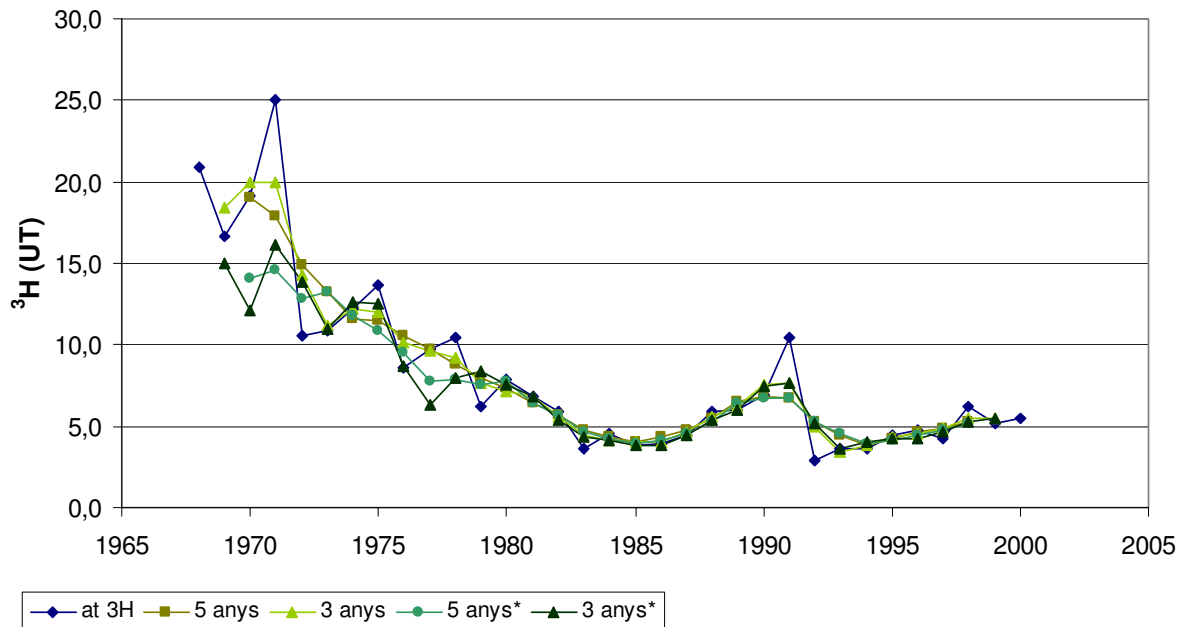


Figura 2.35: Resultat de la desintegració del Triti de les precipitacions utilitzant les diferents funcions multianuals d'entrada del triti.

Any	a _o ³ H (UT)	a _t ³ H(UT)	5 anys	5 anys*	3 anys	3 anys*
1968	166,8	23,7				
1969	111,0	16,7			18,37	15,01
1970	19,0	3,0	19,01	14,09	20,00	12,15
1971	154,3	25,9	17,94	14,58	19,92	16,10
1972	54,0	9,6	14,94	12,82	14,25	13,88
1973	55,7	10,4	13,20	13,19	11,13	10,91
1974	66,4	13,2	11,56	11,81	12,22	12,66
1975	65,9	13,8	11,44	10,89	12,01	12,54
1976	42,0	9,3	10,57	9,54	10,15	8,72
1977	10,3	2,4	9,69	7,71	9,63	6,35
1978	45,4	11,3	8,84	7,90	9,19	7,97
1979	26,3	6,9	7,96	7,54	7,66	8,39
1980	30,5	8,5	7,37	7,73	7,18	7,59
1981	22,3	6,5	6,39	6,44	6,87	6,81
1982	18,4	5,7	5,72	5,65	5,59	5,39
1983	11,0	3,6	4,75	4,62	4,45	4,39
1984	13,4	4,6	4,32	4,21	4,16	4,10
1985	9,6	3,5	4,07	3,90	4,04	3,86
1986	9,8	3,8	4,35	4,15	4,05	3,83
1987	10,3	4,2	4,77	4,55	4,70	4,45
1988	12,8	5,6	5,49	5,28	5,56	5,34
1989	13,1	6,0	6,52	6,38	6,18	6,05
1990	13,6	6,6	6,83	6,73	7,55	7,43
1991	20,5	10,5	6,71	6,73	7,68	7,67
1992	5,7	3,1	5,23	5,32	4,97	5,13
1993	6,8	3,9	4,43	4,60	3,43	3,63
1994	6,1	3,7	3,86	3,91	3,84	3,99
1995	7,3	4,7	4,22	4,18	4,34	4,27
1996	6,0	4,0	4,63	4,41	4,56	4,25
1997	5,9	4,2	4,91	4,7	4,86	4,6
1998	7,9	6,0	5,30	5,2	5,4	5,3
1999	6,2	5,0			5,5	5,5
2000	7,0	5,9				

Taula 2.16: Resultats de la desintegració utilitzant les funcions multianuals d'entrada del triti.

El contingut en ³H de les aigües subterrànies.

Les concentracions de ³H obtingudes en les diverses mostres d'aigua subterrània són les que es mostren a la Taula 2.17 i a les Figures 2.36 i 2.37. En els dos primers casos es presenten els resultats obtinguts, així com l'error analític, en funció de l'aqüífer explotat en cadascun dels punts de mostreig, i a la Figura 2.36 també s'ha representat en funció de la fàcies hidroquímica observada a la campanya de setembre de 2004 o de maig de 2003. Concretament, s'ha presentat en color morat els punts que presentaven una fàcies bicarbonatada sòdica; en taronja els que presentaven una fàcies bicarbonatada càlcica, però amb un alt contingut en sodi; en color groc, les bicarbonatades càlciques; en verd, les mostres bicarbonatades-clorurades càlcico-sòdiques; i en blau les bicarbonatades-clorurades càlciques. També s'han diferenciat les mostres en relació a la conca hidrològica a la que pertanyen: en color gris, les mostres de la conca del riu Onyar i en blanc, les de la riera de Sta. Coloma.

Pel que respecta a la Figura 2.37, s'ha representat els resultats de la desintegració del triti en la pluja, i la concentració de triti en les aigües subterrànies en funció de l'aqüífer explotat i la campanya.

Conca	Aqüífer	Codi	Prof. m.	Maig 2003		Setembre 2003		Desembre 2003	
				³ H (UT)	Error	³ H (UT)	Error	³ H (UT)	Error
Conca Onyar	Al·luvial	VO0262	15	4,2	0,7				
		RS0199	6	6,0	0,7				
		GI0085	10,6	6,0	0,7				
	Paleozoic	BR0106	83	2,0	0,6	4,1	0,6		
		CS0183	60	5,2	0,6	4,6	0,6	5,4	0,6
		LG0190	120	5,3	0,6	3,0	0,6	2,1	0,6
		LL0108	80	2,4	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5
		CM0047	121					6,2	0,6
	Neogen sedimentari	CM0272	90	2,4	0,6	8,1	0,6	7,1	0,5
		CS0105	65	5,8	0,7	7,6	0,6		
		CS0271	80	10,7	0,6	6,2	0,5	5,7	0,5
		FS0066	102	5,9	0,6	2,5	0,4	1,8	0,4
		LG0033	100-130	8,6	0,6	4,9	0,6	5,4	0,6
		LL0115	80	10,4	0,6	8,2	0,6	7,8	0,6
		RS0191	90	5,7	0,6	2,3	0,4	1,9	0,4
		RS266	120	7,4	0,7	4,4	0,6	3,0	0,6
		RS0270	100	4,7	0,6	4,5	0,6	5,4	0,6
		RS0271	60	4,9	0,6	6,2	0,6	4,1	0,6
		CS0299	60			4,7	0,5		
		CS0284	70			4,5	0,6	5,2	0,6
		CL0259	80			6,7	0,5	8,1	0,6
	Neogen sed.+ granitoids	CS0204	130			3,6	0,6	4,8	0,6
		BR0092	80	4,8	0,6	3,1	0,4	2,8	0,4
CS0304		115			7,6	0,5			
VO0105		150	6,7	0,7	7,8	0,6	7,6	0,6	
CS0203		150			3,7	0,6	3,4	0,6	
Volcànic	VO0088	70	4,8	0,6	4,1	0,5	5,6	0,5	
	BE0077	80	2,5	0,6	3,6	0,6	5,0	0,6	
Conca de Sta. Coloma	Al·luvial	SC0073	9,5	6,9	0,6				
		SI0089	17,1	3,8	0,6				
		RD0041	12	7,0	0,6				
	Paleozoic	VD0166				2,2	0,4	3,3	0,5
		VD0168	100					5,6	0,6
		VD0172	50			2,9	0,5	2,9	0,5
		VD0173	20			4,1	0,4		
		VD0177	12,7			6,1	0,5	3,4	0,5
	Neogen sedimentari	SC0113	73			1,5	0,4	2,9	0,6
		SC0117	65			3,5	0,5	2,2	0,4
		VD0124	35			2,9	0,6	2,0	0,6
	Neogen sed.+ granitoids	SI0053	50	4,7	0,7	5,5	0,5	4,5	0,6
	Volcànic	MS0060	60	2,5	0,6	4,9	0,6	4,9	0,6
VD0080		48	4,0	0,6	2,7	0,5	3,0	0,5	
Zona nord	Neogen sedimentari	SG0121	73					4,4	0,5
		SG0123	75	2,5	0,5	2,4	0,6		
		SG0138	67	6,1	0,7				

Taula 2.17: Concentració de triti en les aigües subterrànies.

Tant a la Taula 2.17 com a les Figures 2.36 i 2.37 es pot observar que la concentració de triti pot presentar variacions molt importants depenent de l'aqüífer, profunditat i de la fàcies hidroquímica:

- En el cas de les *mostres dels al·luvials*, només es disposa de les dades de la campanya de maig de 2003, en la que presenten concentracions d'entre 3,8 i 6,9 UT. Tant en el curs principal de l'Onyar com el de la riera de Sta. Coloma la concentració de triti augmenta aigües avall.

2. Estudi hidrogeològic.

Altrament, al presentar valors entre els 3 i 7,5 UT, no es pot establir amb precisió quan s'ha produït la recàrrega, tot i que sembla recent (posterior al 1995).

- En els pous que exploten els *materials sedimentaris del Neogen* és on s'observen les variabilitats més importants en la concentració de ^3H tant al llarg de l'any, com entre punts de mostreig:

Les concentracions inferiors a les 3 UT són indicatives de la mescla d'aigües submodernes (és a dir, infiltrades abans de les proves nuclears dels anys 50 i 60) amb aigües més recents. Aquestes concentracions s'han observat en:

- La major part de pous amb una fàcies bicarbonatada sòdica o bicarbonatada càlcico-sòdica presenten concentracions inferiors a les 3 UT durant la major part de l'any. Així, els pous que presenten les composicions isotòpiques més lleugeres en ^{18}O i ^2H (grup A), són també els que presenten concentracions de triti més baixes. El fet que les seves mostres se situïn sobre les rectes meteòriques actuals, i que tant el FS0066, com el SC0117 presentin nivells piezomètrics superiors als nivells freàtics de la zona on es troben situats, permet descartar hipòtesis com: a) la presència d'aigües d'un paleoclima amb composicions isotòpiques no coincidents amb les actuals; i, b) la influència d'aigua atrapada en els sediments durant la seva formació.

En aquest sentit, es confirma la hipòtesi de l'existència d'un flux de caire regional que descarrega en els nivells aquífers més profunds del rebliment Neogen de la depressió, a través de les fractures.

- Altrament, també s'han observat alguns punts que presenten fàcies bicarbonatades càlciques i concentracions de triti inferiors a les 3 UT. Dins aquest grup s'hi troben les mostres com la SG0123, situada al nord de la depressió, i punts situats al centre de la depressió com el CM0272, el RS0191 i RS0266 (situats a Caldes de Malavella i Riudellots de la Selva, respectivament). Les dotacions d'oxigen-18 i deuteri que presenta el punt RS0266 se situa sempre dins les mostres més pesades del grup C. D'altra banda, en el cas del CM0272 i del RS0191 tot i que a la campanya de setembre se situen dins el grup C, a la desembre se situen properes al grup D. En aquest sentit, al RS0266 l'aigua dels nivells aquífers que explota sembla procedir de les Gavarres i les serres més baixes de les Guillerries, i que hauria assolit el centre de la depressió a través de fluxos de caire local relativament lents. En els altres dos casos, també podrien estar influenciats per aigües procedents de fluxos de caire més regional.

L'altre pol és el de les mostres que presenten concentracions superiors a les 8 UT, en algunes de les campanyes realitzades. Es tracta de pous amb fàcies bicarbonatades càlciques i que en general se situen prop dels marges del rebliment Neogen, com és el cas del CS0271, del LL0115 i del CL0259 (situats a Cassà de la Selva, a Llambilles i a Campllong, respectivament) i del LG0033 (situat a la cubeta de Llagostera). En aquests punts, si no es produís la mescla amb aigües amb concentracions de triti diferents, es podria concloure que s'haurien infiltrat fa uns 30 anys (1975). D'altra banda, en cas que es produeixi aquesta mescla, cal que hi hagi aigües amb un contingut de triti superior a les 8 UT (i procedents d'una recàrrega d'entre el 1950-1975) i aigües amb un contingut de triti inferior. Atès que els pous del Neogen mostrejats exploten habitualment tots els nivells permeables, no és possible identificar si aquestes aigües amb un contingut de triti inferior són recents (posteriors a 1990) i per tant, pertanyents a sistemes de flux locals superficials, o bé, a aigües amb un contingut de triti inferior, corresponents a sistemes més profunds.

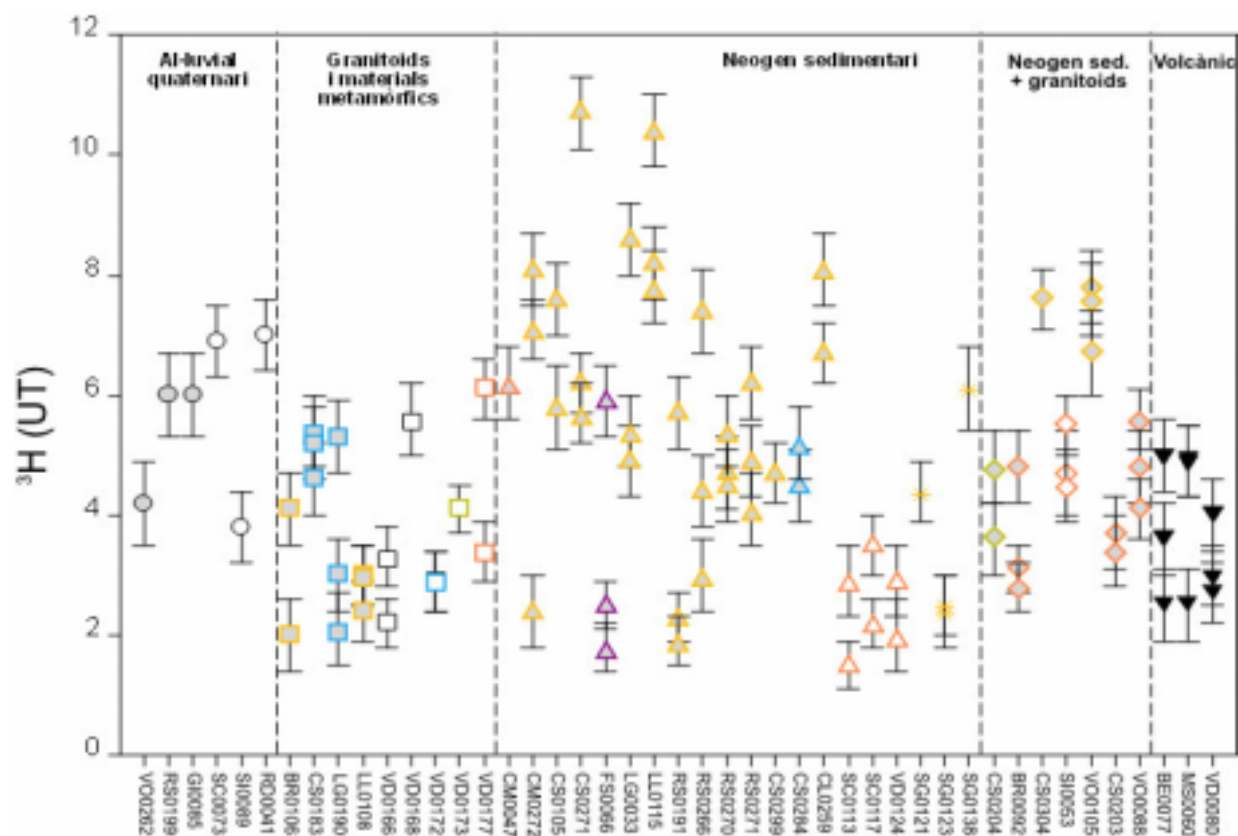


Figura 2.36: Concentració de ^3H en funció de l'aqüífer i fàcies hidroquímica.

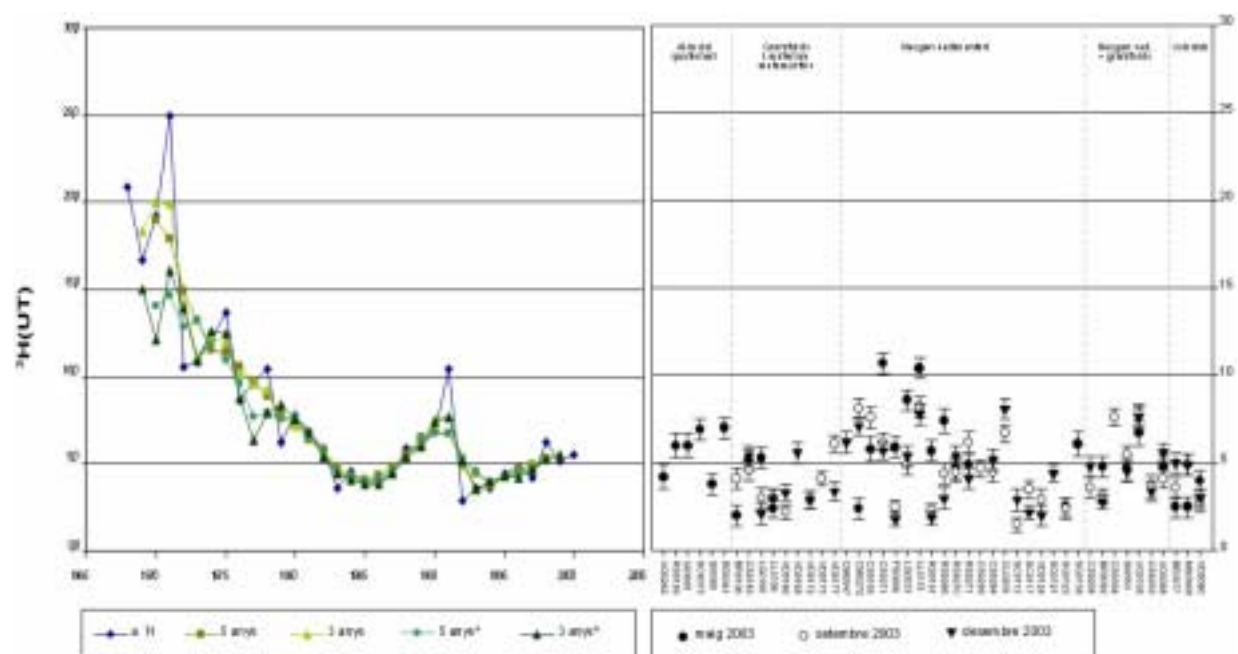


Figura 2.37: Comparació del resultat de la desintegració del triti en la precipitació i la concentració en triti en les aigües subterrànies en funció de l'aqüífer i la campanya estudiada.

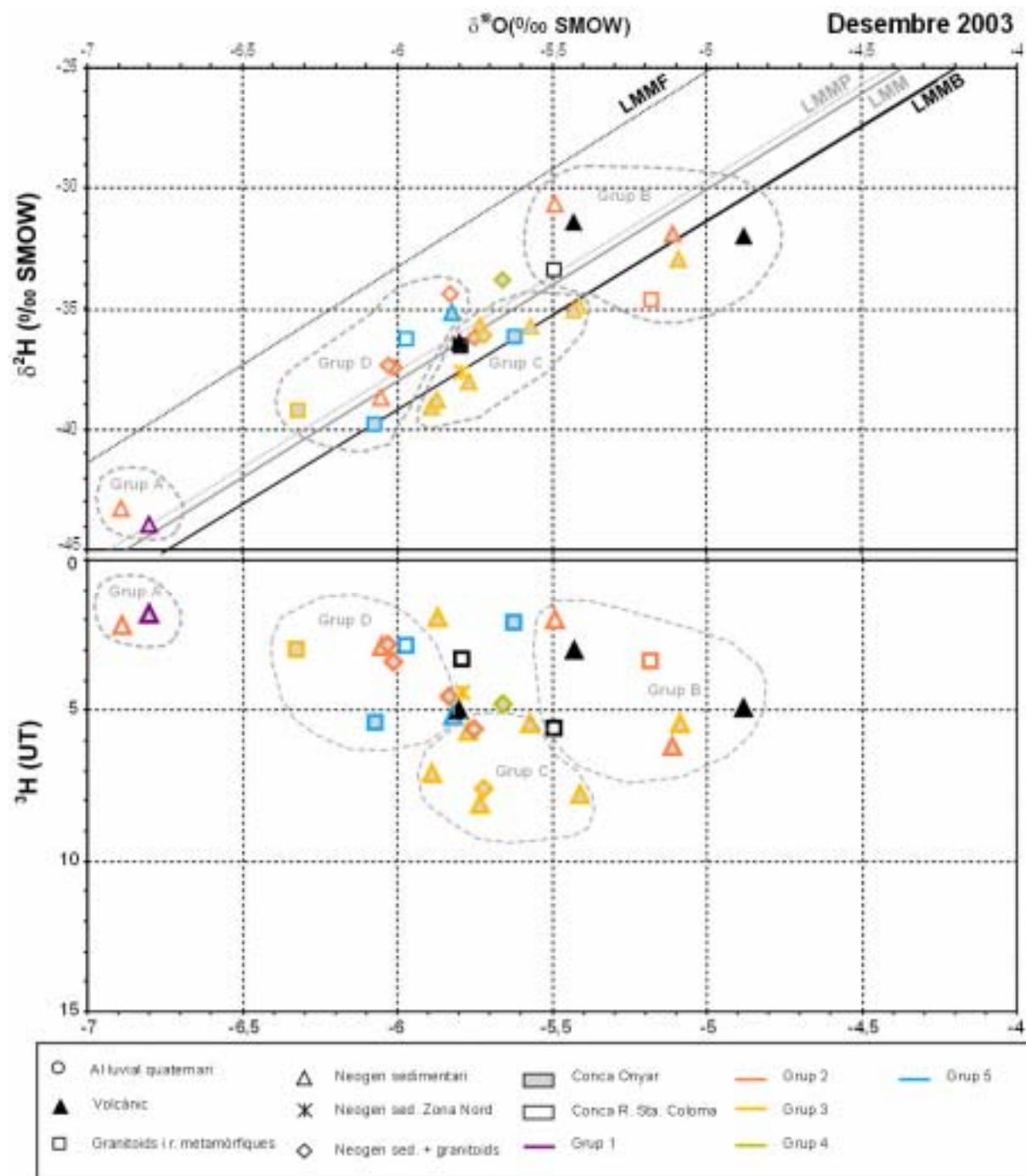


Figura 2.38: $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ en funció del ^3H a la campanya de desembre de 2003.

Finalment, hi ha la franja de punts del Neogen que presenten concentracions entre 3 i 8 UT. En aquests casos, la seva composició isotòpica s'interpreta com una mescla dels termes anteriors, amb una major proporció d'aigües amb un contingut en triti baix, que en el cas de les mostres del pol amb continguts superiors a les 8 UT.

Pel que respecta a la variabilitat que presenta la concentració de triti en alguns punts al llarg de les diverses campanyes realitzades, també és indicativa de la mescla d'aigües amb temps de residència diferents. Els punts que presenten més variabilitat són els dels grups que presenten

tant concentracions superiors a 8 UT, com en molts dels que presenten concentracions inferiors a 3 UT.

En aquest sentit, el fet que els pous explotin diversos nivells aquífers i que el sòcol de la depressió es trobi a profunditats molt diferents en funció de la zona, fa molt difícil la interpretació dels resultats obtinguts en relació a la profunditat dels pous. Tot i així, en punts molt concrets també es poden observar evolucions del contingut en ^3H en profunditat. Un exemple és al sud de Cassà de la Selva, entre la riera Verneda i Gotarra, on a mesura que augmenta la profunditat dels pous i aquests assoleixen el sòcol de la depressió, va disminuint el contingut en triti. Aquest passa de concentracions entre 5,8-7,6 UT en un pou de 65 m (CS0105), a 3,4-3,7 UT en un pou de 150 m de profunditat (CS203), i en posicions intermèdies s'observen concentracions de 4,5-5,2 UT en un pou de 70 m (CS0284), i de 3,6-4,8 UT en un pou de 130 m (CS0204), suggerint així la participació d'aigües profundes en la mescla dita anteriorment. El pas de fàcies Ca-HCO_3 en el pou més som a Ca-Na-HCO_3 , en l'últim punt (i passant per fàcies $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ i $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$, en les profunditats intermèdies), recolza aquesta interpretació. En aquesta zona també s'observa que les aigües en els punts més profunds presenten una composició isotòpica molt més lleugera que en els superficials, passant del grup C al grup D a l'augmentar la profunditat. A la campanya de setembre de 2003, per exemple, el pou més som, el CS0105 que era de 65 m abans del seu aprofundiment, presenta uns valors de $\delta^{18}\text{O}=-5,6\text{‰}$ i $\delta^2\text{H}=-36\text{‰}$, el pou CS0284 de 70 m, presenta valors de $\delta^{18}\text{O}=-5,8\text{‰}$ i $\delta^2\text{H}=-36\text{‰}$ i el pou CS0203 de 150 m presenta la composició isotòpica més lleugera, prenent valors de $\delta^{18}\text{O}=-6,1\text{‰}$ i $\delta^2\text{H}=-38\text{‰}$. Aquest fet indica novament que en aquesta zona la recàrrega dels nivells aquífers més profunds es produeix a través d'un flux de tipus regional, amb una composició isotòpica més lleugera, i amb una àrea de recàrrega que presenta unes cotes topogràfiques més elevades que la de l'aigua que recarrega els nivells més superficials del Neogen (Figura 2.38).

- Els pous que exploten els *granitoids*, els *materials metamòrfics* i els *materials volcànics* dels marges de la depressió presenten concentracions d'entre 2 i 6 UT, indicant també la mescla d'aigües amb temps de residència més elevats, amb aigües molt més recents. Dins aquest grup destaquen les mostres riques en clorurs, que inicialment s'havien associat també a fluxos a través de les fractures de la zona.

Un exemple dins aquest grup és el pou LL0108, que explota l'aquífer metamòrfic de les Gavarres, i es troba situat a Llambilles, en punts propers a les fractures principals que van donar lloc al relleu actual. Aquest pou presenta una fàcies bicarbonatada càlcica, però tant a la campanya de setembre com a la de desembre de 2003 es va situar dins el grup D, pel que respecta a la composició isotòpica en ^{18}O i ^2H . En aquestes campanyes va presentar valors de $\delta^{18}\text{O}=-6,2\text{‰}$ i $\delta^2\text{H}=-39\text{‰}$, i una concentració de triti entre 2,4-3 UT. D'altra banda, en els mostrejos realitzats per Vilanova (2004) al 2000, aquest punt va obtenir valors de $\delta^{18}\text{O}=-6,58\text{‰}$ i $\delta^2\text{H}=-43,6\text{‰}$ i una concentració de triti de 0,9-1,3 UT, situant-se dins el grup A. En aquest sentit, la recàrrega dels nivells aquífers que explota aquest pou també es produiria per la mescla d'aigües d'origen més local, amb aigües procedents d'un flux regional com el de les mostres del grup A, i així, la diferència entre la composició isotòpica entre aquests anys, es podria explicar per les condicions de sequera de l'any 2000.

- Finalment, els materials que exploten tant els *sediments del rebliment com el sòcol de la depressió* presenten concentracions de triti intermèdies entre les dels materials que envolten la depressió i les del Neogen. D'una banda, hi ha punts com el CS0304 i el VO0105, que presenten una fàcies bicarbonatada càlcica i la concentració en triti en aquests punts se situa al voltant de les 8 UT, concentració molt similar a la de pous que exploten el Neogen i presenten la mateixa

fàcies. De l'altra, hi ha els pous amb fàcies bicarbonatades càlcico-sòdiques, que presenten concentracions de triti molt inferiors a les del grup anterior, i en alguns casos, poden arribar a ser inferiors també a les 3 UT. El primer d'aquests grups sembla estar influenciat únicament per la recàrrega local, mentre que en els segons podria haver-hi una mescla entre aigües de caire més regional, amb d'altres més locals.

2.6.3. Conclusions de l'anàlisi de les dades isotòpiques.

Els objectius de l'anàlisi de les dades isotòpiques han estat els de determinar les característiques i condicions en què es va produir la recàrrega i estimar el temps de residència de les aigües subterrànies de la zona d'estudi.

En aquest sentit, les dades isotòpiques han permès determinar les característiques dels diversos sistemes de flux identificats tant en l'anàlisi de les dades piezomètriques, com en l'anàlisi de les dades hidroquímiques. Concretament, s'ha observat:

- Els punts situats en zones de fractura, on en l'anàlisi de les dades piezomètriques s'han detectat fluxos ascendents procedents d'aquestes, i en l'anàlisi de les dades hidroquímiques presenten fàcies Na-HCO₃ i Ca-Na-HCO₃, són els que presenten les composicions isotòpiques més lleugeres en relació a l'¹⁸O i ²H, i les concentracions de triti més baixes. Així es corrobora en aquestes zones l'existència de fluxos de caire regional procedents de la serralada Transversal o de les serres més altes de les Guillerries.
- A la zona de la cubeta de Vidreres, la composició isotòpica dels pous amb fàcies de Ca-Na-HCO₃ indica que estan deslligades de les mostres anteriors, i que la recàrrega dels nivells aquífers que exploten es produeix, segurament, al massís de la Selva Marítima.
- En les mostres que presenten fàcies Ca-HCO₃ i que en l'anàlisi de les dades piezomètriques s'observa que estan influenciades, principalment, per fluxos de caire local, la composició isotòpica indica una recàrrega procedent de les Gavarres i les serres més baixes de les Guillerries, però amb temps de trànsit diferents entre els nivells aquífers explotats; i també s'han observat alguns punts que podrien estar influenciats per fluxos de caire regional.
- I finalment, en els punts amb fàcies de Ca-HCO₃-Cl i Ca-Na-HCO₃-Cl, situats també en zones de fractura, també s'observa la mescla d'aigües procedents de fluxos locals amb altres de caire més regional.

2.7. SÍNTESI DE L'ESTUDI HIDROGEOLÒGIC.

Els objectius d'aquest estudi hidrogeològic han estat els de caracteritzar la hidrodinàmica general del sistema, identificant les zones de recàrrega dels diversos nivells aquífers, les trajectòries dels diferents sistemes de flux, les relacions hidràuliques entre els aquífers i les característiques hidroquímiques del sistema; identificar i avaluar els sistemes de flux, reconeixent-hi els temps de trànsit, les diferents trajectòries i mescles i l'àmbit en què es produeixen; identificar l'origen dels problemes de qualitat, bé siguin problemes d'origen natural o antròpic, dels nivells aquífers més profunds de la depressió; i, finalment, estudiar la relació riu-aquífer.

Així, en l'anàlisi de les dades piezomètriques dels nivells aquífers superficials s'ha constatat que:

- El nivell freàtic és coherent amb la topografia de la zona. D'aquesta manera, tant a la conca del riu Onyar com de la riera de Sta. Coloma coincideixen les zones de màxim gradient amb les zones més muntanyoses, mentre que a la part central d'ambdues conques la distància entre les isopiezes s'accentua per la presència de l'aquífer de l'Onyar, de l'al·luvial de la riera de Sta. Coloma i d'una zona topogràficament molt plana com és l'Estany de Sils.
- En l'evolució dels nivells freàtics al llarg de les campanyes realitzades s'ha observat dos comportaments diferenciats. D'una banda, hi ha tot una sèrie de punts situats sobretot en els nivells aquífers al·luvials, en el sauló i en alguns punts del Neogen on el nivell freàtic està influenciat principalment per les precipitacions. En aquest sentit, els nivells més alts s'assoleixen durant les èpoques més humides, o just després d'aquestes, i durant l'estiu s'assoleixen els nivells més baixos, associats a les extraccions produïdes en aquesta època. De l'altra, hi ha tot una sèrie de punts situats sobretot en els materials del Neogen, on durant la campanya de febrer de 2003 el nivell freàtic és inferior al del desembre de 2002 i del juliol de 2003, suggerint que es poden trobar influenciats per les extraccions permanents d'ús domèstic i ramader produïdes a la zona, així com les limitacions en la recàrrega que poden tenir aquests nivells aquífers més superficials.
- En l'estudi de la relació riu-aquífer s'ha pogut constatar que les diferències entre les campanyes realitzades a l'època humida i la seca són mínimes a la riera de Sta. Coloma. Tot i l'explotació d'aquest aquífer durant l'estiu, el descens del nivell freàtic registrat en els piezòmetres de l'ACA no és superior a 1m. Aquest fet pot ser degut a dos factors: a les aportacions que podria rebre l'al·luvial d'aquesta riera a través de la falla de Sta. Coloma o dels nivells aquífers adjacents, bé sigui el sauló o els materials neògens; o bé per les aportacions antròpiques que rep la riera durant els mesos d'estiu.

En el cas del riu Onyar, al juliol de 2003 es va mesurar un descens del nivell freàtic, situant-se a profunditats de 4-12 m respecte la superfície del sòl, mentre que al maig de 2004 el nivell freàtic se situava entre els 0-4 m. Aquests descensos produeixen l'assecament del tram mig d'aquest riu durant els mesos d'estiu. En el cas d'estius molt secs com el del 2003, el riu s'asseca des de poc després de la depuradora de Vilobí d'Onyar fins a l'alçada de Riudellots de la Selva, sense que es pugui produir la dilució d'aquest abocament.

En relació als nivells piezomètrics dels nivells aquífers profunds destaca que:

- S'observen variacions significatives del nivell hidràulic en funció tant de l'estacionalitat com del règim d'extraccions. Així, en les èpoques en què s'han produït precipitacions s'observen augments del nivell hidràulic, mentre que a l'estiu es produeixen descensos significatius influenciats tant per la manca de precipitacions importants com per les extraccions.
- Al comparar el nivell piezomètric d'alguns pous que exploten els nivells aquífers profunds amb el nivell freàtic de pous superficials propers s'han pogut constatar comportaments diferenciats: 1) punts on el nivell piezomètric dels pous profunds es troba aproximadament al mateix nivell que el nivell freàtic dels pous superficials; 2) punts on el nivell piezomètric es troba per sota del nivell freàtic; 3) punts on el nivell piezomètric es troba per sobre del nivell freàtic; i finalment, 4) punts on durant l'època seca el nivell piezomètric dels pous profunds se situarien per sota del nivell freàtic i durant l'època humida es recuperarien i fins i tot podrien situar-se per sobre d'aquest nivell. La diferència entre els nivells piezomètrics i els nivells freàtics indiquen el parcial confinament dels nivells neògens per nivells argilosos intermedis. Depenent de si la recarrega és més o menys efectiva en aquests nivells aquífers profunds, el nivell piezomètric es troba per sobre o per sota del nivell freàtic. En el cas dels pous profunds que es troben situats prop de fractures, el fet que el

2. Estudi hidrogeològic.

nivell piezomètric es trobi per sobre del nivell freàtic, pot ser indicatiu de fluxos ascendants a través d'aquestes fractures.

En l'anàlisi fisicoquímica de les aigües subterrànies s'han pogut distingir diverses fàcies hidroquímiques:

- En els nivells aquífers al·luvials del riu Onyar les aigües passen de Ca-HCO_3 a $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$, en el sentit del flux, i pel que respecta a la riera de Sta. Coloma, les aigües passen de Ca-HCO_3 a Ca-Na-HCO_3 .
- En el cas dels diversos aquífers volcànics, presenten una fàcies eminentment bicarbonatada, però pel que respecta als cations, a més del calci poden presentar proporcions elevades de magnesi i sodi.
- Finalment, en els pous que exploten els nivells aquífers del Neogen, del Neogen més granitoids, i els granitoids i roques metamòrfiques del marge de la depressió s'ha observat:
 - La major part de punts que exploten els materials neògens de la depressió presenten una fàcies Ca-HCO_3 .
 - Aigües Na-HCO_3 i Ca-Na-HCO_3 en els pous que exploten els nivells aquífers més profunds del Neogen o assoleixen sòcol de la depressió, en zones properes a les fractures principals.
 - A la zona de la cubeta de Vidreres, la major part dels punts que exploten tant els nivells més superficials del Neogen i dels granitoids que l'envolten, com els més profunds presenten una fàcies Ca-Na-HCO_3 .
 - Algunes de les mostres que exploten els granitoids, així com del Neogen profund, presenten una proporció elevada de clorurs, fins a superar, en alguns casos la proporció de bicarbonats.
 - A la zona nord de la depressió (a la zona de St. Gregori), els punts mostrejats presenten una fàcies marcadament Ca-HCO_3 .

Les diferències en les fàcies hidroquímiques si bé no són concloents en relació a l'origen de la recàrrega, sí que en poden ser indicatives, com per exemple, les diferències en les conductivitats o càrregues iòniques entre la conca de la riera de Sta. Coloma i l'Onyar. De la mateixa manera, també en poden ser indicatius l'origen dels clorurs i del sodi, que permeten distingir entre grups hidroquímics de mostres. En aquest sentit, la proporció més elevada de Na en algunes de les mostres d'aigua subterrània pot ser indicativa de processos com la hidròlisi dels silicats, i l'intercanvi catiònic Na-Ca amb les argiles, lligat conjuntament a un procés de dissolució de la fluorita. També s'observa que la relació Sr/Ca en les mostres amb fàcies Na-HCO_3 i Ca-Na-HCO_3 dels pous associats a les fractures de la zona s'aproxima a la relació de les pissarres i els esquists, mentre que en el cas de les mostres de la cubeta de Vidreres, així com en la resta de mostres, se situen en posicions intermèdies entre la relació Sr/Ca de les pissarres i la relació de les calcàries, cosa que podria indicar un origen diferent o un procés evolutiu diferenciat.

Pel que respecta a la concentració de clorurs, les mostres que presenten les proporcions més elevades estan situades en posicions pròximes a fractures, zones on s'havia descrit la presència de clorites. En aquest sentit, l'alteració de la biotita a clorita i posteriorment a caolinita, conjuntament amb l'intercanvi OH-Cl poden ser responsables d'aquestes elevades concentracions.

En relació a la qualitat fisicoquímica de les aigües subterrànies també s'ha observat:

- La presència de Fe i Mn en concentracions que superen el valor paramètric de 0,2 i 0,05 mg/l, respectivament, que estableix el Reial Decret 140/2003. Els punts on se superen aquests valors

estan situats a l'al·luvial profund de la riera de Sta. Coloma, així com en alguns dels seus afluents, i també en pous que exploten els granitoids i el sòcol de la depressió.

- La presència de fluorurs en punts que en la major part dels casos assoleixen el sòcol de la depressió, o bé que estan situats en zones properes de les fractures principals de la zona. Les elevades concentracions de fluorurs van lligades a baixes concentracions de calci i elevades concentracions de sodi, causades per l'efecte del ió comú i per l'intercanvi catiònic amb les argiles.
- En relació a la presència de contaminants d'origen antròpic, s'ha analitzat la concentració de nitrats dels pous que exploten els nivells aquífers profunds. En aquest sentit, les zones on s'han observat pous amb concentracions més elevades també coincideixen amb els municipis on hi ha una producció més important de nitrogen procedent de la ramaderia, en relació a la superfície de conreu on s'hi pot aplicar. Aquestes zones es concentren a la conca del riu Onyar, entre Cassà de la Selva, Campllong, Riudellots de la Selva, Vilobí d'Onyar, Sant Andreu Salou i Caldes de Malavella. També cal destacar que les concentracions més elevades de nitrats poden ser degudes, sobretot, a focus de contaminació puntuals.

Finalment, en l'anàlisi de la composició isotòpica de les aigües subterrànies de la depressió s'ha pogut constatar que:

- En els punts que exploten els nivells més profunds del Neogen o que assoleixen el sòcol de la depressió i presenten una fàcies Na-HCO₃, s'han observat tant les composicions més lleugeres d'¹⁸O i ²H, així com les concentracions més baixes en triti (3UT), corroborant així, l'existència de fluxos de caire regional, procedents de zones de recàrrega com les serres més altes de les Guilleires o la serralada Transversal.
- En els punts del sud de la depressió que presenten també una fàcies Ca-Na-HCO₃, s'observen les composicions isotòpiques més pesades, pel que respecta a la dotació en ¹⁸O i ²H i concentracions de triti entre 1,8 i 6 UT. Aquestes baixes concentracions de triti indiquen temps de residència llargs, d'altra banda, la dotació tant pesada en ¹⁸O i ²H indica que en aquests punts la recàrrega es produeix en cotes molt baixes, segurament a la zona del massís de la Selva Marítima, i per tant, no sembla que hi hagi una relació directa entre aquestes mostres i les del grup anterior.
- En les mostres del Neogen que presenten fàcies Ca-HCO₃, presenten les concentracions de triti més variables i una dotació d'¹⁸O i ²H intermèdia. En aquests casos s'ha pogut observar que hi ha punts on la recàrrega està influenciada per la recàrrega procedent de les Gavarres i les serres més baixes de les Guilleires, però amb velocitats de trànsit diferents; i també s'han observat punts que podrien estar influenciats també per una recàrrega de tipus regional, a través de les fractures principals de la depressió.
- En els punts amb fàcies Ca-HCO₃-Cl i Ca-Na-HCO₃ s'han detectat dotacions isotòpiques més lleugeres que les mostres amb fàcies Ca-HCO₃, i en general, amb concentracions més baixes de triti, indicant la mescla d'aigües procedents de fluxos de caire regional, amb aigües més recents, de caire local.

Així, tant en l'anàlisi de les dades piezomètriques, hidroquímiques com isotòpiques, s'ha constatat la presència de fluxos de caire local procedents dels massissos adjacents de la depressió, i fluxos de caire regional que circulen a través de les fractures principals d'aquesta zona i que procedeixen de la serralada Transversal o de les serres més altes de les Guilleires.

2. Estudi hidrogeològic.

Aquesta recàrrega dels nivells profunds és prou efectiva perquè es produeixi la recuperació dels nivells piezomètrics després de l'estiu i que així es puguin mantenir les extraccions actuals. Altrament, s'han detectat problemes de qualitat de tipus natural com són les elevades concentracions de fluorurs, associats als fluxos de caire regional, i les elevades concentracions de ferro i manganès. I també, s'han observat problemes de qualitat de tipus antròpic, com les elevades concentracions de nitrats en molts dels municipis de la conca del riu Onyar.

Un cas a part són els aqüífers al·luvials, on l'explotació durant els mesos d'estiu condueix a l'assecamment del riu, com és el cas del tram mig del riu Onyar, des de Vilobí, fins a Riudellots de la Selva. En el cas de la riera de Sta. Coloma, al haver-hi els pous municipals que exploten les aigües del seu aqüífer, l'Agència Catalana de l'Aigua s'ha vist obligada a abocar-hi aigua del transvasament del Ter per tal que no es produeixi el descens del nivell freàtic i s'assequi.

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

3.1. INTRODUCCIÓ.

Els cursos fluvials de la depressió de la Selva es caracteritzen per estar inclosos dins els rius de tipus mediterrani. La variabilitat en les precipitacions i temperatures d'aquest clima dóna lloc a una variació anual i interanual en el règim de cabals, que es caracteritza per la presència d'avingudes i períodes de sequera. Així, els ecosistemes aquàtics associats a aquests cursos estan sotmesos a dues perturbacions anuals previsible, que donen lloc a la presència de rius de tipus permanent i temporal, aquests darrers de caràcter intermitent o efímer (Bonada, 2003).

Segons Freixes et al. (2000), la disponibilitat permanent d'aigua o d'un flux d'aigua en un sistema fluvial no només respon a les característiques climàtiques de la conca (importància i règim de les precipitacions), sinó també a la importància i característiques dels aqüífers que en determinen el seu cabal de base i en definitiva a l'estat hidrodinàmic del sistema amb totes les seves particularitats (relacions de fluxos horitzontals i verticals entre el sistema fluvial i les reserves dinàmiques globals del sistema).

Aquests cabals però, es veuen clarament afectats per l'explotació que es fa de l'aigua tant del propi riu com dels aqüífers associats. L'augment de població i del consum per càpita, la instal·lació de noves indústries, l'agricultura intensiva i l'aparició dels camps de golf, associats a noves urbanitzacions, han contribuït a un increment molt important de la demanda de recursos hídrics. En aquest sentit, per suplir aquests requeriments, inicialment s'han explotat les rieres i els aqüífers superficials, i quan ha deixat de ser rendible s'ha explotat els aqüífers profunds. En molts casos aquest augment de l'extracció d'aigua ha donat lloc a un descens important del nivell freàtic, causant, de manera indirecta, la disminució del cabal de les rieres. En alguns casos, l'explotació ha estat tan important que el curs fluvial ha deixat de portar aigua la major part de l'any.

Si la disminució del cabal en alguns punts és important, cal afegir-hi també el problema dels abocaments d'aigües residuals. Tot i la instal·lació de plantes de tractament d'aigües residuals urbanes i industrials, que han aconseguit millores molt importants en la qualitat de l'aigua abocada, els problemes de qualitat de les aigües dels rius on s'hi aboquen aquestes aigües no han desaparegut. La causa principal ha estat que a l'hora de dissenyar-les no s'ha tingut en compte les característiques del riu receptor i, la qualitat de l'aigua abocada, tot i ser molt millor que abans del tractament, pot arribar a causar impactes importants en els ecosistemes fluvials (Prat, 2000). Però a més, hi ha moltes comunitats que encara no estan connectades a una depuradora i aboquen les aigües residuals sense cap mena de tractament.

Aquestes serien algunes de les perturbacions que afecten als rius mediterranis, però no s'ha d'oblidar que s'han generat també tot una altra sèrie de perturbacions com serien modificacions en les lleres (ja

sigui per la seva canalització, per la construcció de preses, o per l'extracció d'àrids) la tala dels boscos de ribera, o la introducció de noves espècies, que també estan afectant els ecosistemes fluvials. Així, no es pot entendre la qualitat ecològica dels ecosistemes fluvials si no es té en compte les activitats antròpiques que els influencien.

3.2. ANTECEDENTS.

El creixement de la sensibilització ambiental entre la població ha fet que en molts països s'estiguin portant a terme programes de vigilància i control de la qualitat de l'aigua dels cursos fluvials. Per tal de portar a terme aquesta vigilància, s'han desenvolupat un conjunt d'índexs de qualitat que intenten establir el grau de pertorbació dels sistemes aquàtics d'una manera senzilla i que donen una visió més àmplia i general de tota una conca, del que donaria un paràmetre fisicoquímic o la presència d'una certa espècie. L'aplicació d'un índex determinat, pot fer que la informació procedent de les anàlisis sigui més comprensible i d'aquesta manera, es pugui fer arribar la informació tècnica al coneixement de la majoria de persones. És per aquest motiu, que la utilització dels índexs de qualitat es fa imprescindible per a portar a terme treballs de control, inventari, planificació i divulgació (Prat *et al.*, 1986).

D'una banda s'han desenvolupat índexs que es basen en la utilització de paràmetres de tipus fisicoquímics. El problema que tenen aquests índexs és que, tot i que poden donar una bona perspectiva d'un moment concret, així com representar algun problema potencial pel sistema, no poden donar informació sobre les alteracions i canvis suportats pel sistema a través del temps i com aquests canvis afecten a l'ecosistema.

De l'altra, s'han desenvolupat índexs biològics que es basen en la presència d'organismes indicadors de la qualitat de l'aigua. A diferència dels índexs fisicoquímics, aquests indiquen l'estat de l'aigua en un període més extens (com a mínim el del cicle vital de l'organisme), però no permeten saber els agents contaminants. Dins els índexs biològics uns dels que més s'han desenvolupat són els que utilitzen les comunitats de macroinvertebrats. Això es deu a la comoditat que suposa que aquests organismes tinguin una mida igual o superior a 1 mm, i a més, la identificació taxonòmica requerida és mínima i per tant, no es necessita una preparació exhaustiva en aquest camp, tot i que sí una base biològica important. La única condició per l'aplicació d'aquest tipus d'índexs és el coneixement previ de la fauna que habita en els rius, així com la seva correlació amb alguns paràmetres fisicoquímics (Prat *et al.*, 1986).

A nivell de Catalunya s'han portat a terme un gran nombre d'estudis per tal de determinar la qualitat dels ecosistemes fluvials ja sigui a través d'índexs de tipus fisicoquímic com biològic.

Dins els índex de tipus fisicoquímic utilitzats es troba:

- ISQA (Índex Simplificat de la Qualitat de l'Aigua; Queralt, 1982). Aquest índex utilitza 5 paràmetres, com són la temperatura, l'oxidabilitat al permanganat, les matèries en suspensió, l'oxigen dissolt i la conductivitat per a donar un valor de qualitat de l'aigua entre 0 i 100. La finalitat de l'ISQA és la de poder determinar la qualitat de l'aigua utilitzant molt pocs paràmetres analítics, que al mateix temps ofereixi la representativitat necessària en els seus resultats i, que es pugui realitzar l'anàlisi de manera senzilla i amb un baix cost. Al comparar aquest índex amb índexs biològics s'ha observat que presenta certes limitacions (Prat *et al.*, 1986; Benito i Figueras, 1996). Els índexs biològics donen una informació més global, i a més, l'ISQA es veu més afectat per l'estacionalitat i, en els casos de contaminació alta, no és massa fiable.

Dins els índexs biològics que es basen en la identificació dels macroinvertebrats i que s'han utilitzat a Catalunya podem destacar:

- IBMWP (Alba-Tercedor i Sánchez-Ortega, 1988; Alba-Tercedor, 1996; Alba-Tecedor i Pujante, 2000): és una adaptació per als rius espanyols de l'índex BMWP (Biological Monitoring Working Party; Armitage *et al.*, 1983) que es basa en la identificació de macroinvertebrats només a nivell de família tant de les zones reòfiles (zones on el corrent del riu és important i presenten un substrat més aviat groller) com de les zones lenítiques (àrees de la llera del riu on la velocitat de l'aigua és molt baixa o nul·la) dels cursos fluvials, definint cinc grups de la qualitat de les aigües en una escala de 0 a 100. Per a la construcció d'aquest índex es van modificar els valors d'alguns dels taxons que apareixien al BMWP i, a més, es van afegir moltes famílies de macroinvertebrats que no hi eren incloses i que són comunes a les aigües de la Península Ibèrica, assignant-les la puntuació corresponent. El fet que només s'hagués d'identificar els macroinvertebrats a nivell de família ha fet que aquest índex sigui de fàcil aplicació.
- BMWPC (Benito i Puig, 1999): és una adaptació de l'índex BMWP i del IBMWP per a les conques internes de Catalunya. Aquest índex, així com el seu precursor, es basa en la identificació de macroinvertebrats a nivell de família tant en les zones reòfiles com en les zones lenítiques, definint cinc grups de qualitat de les aigües en una escala de 0 a 85.
- FBILL (Índex de qualitat de les aigües del Besós i Llobregat, Prat *et al.*, 1986): és un índex biològic que va ser construït pel Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona pels rius Llobregat i Besós a partir de les dades obtingudes en l'estudi *Predicció i control de les aigües dels rius Besós i Llobregat* (Prat *et al.* 1983a, 1983b) i posteriorment es va modificar per poder aplicar-lo als rius Ter i Foix (Prat *et al.*, 1999), canviant-ne alguns valors de qualitat de certes famílies de macroinvertebrats i també passant a utilitzar com a nivell taxonòmic la família. A diferència dels índexs anteriors, es basa en la recol·lecció de macroinvertebrats només de les zones reòfiles (atès que sobre i sota les pedres es desenvolupa una fauna molt més variada que en zones lenítiques, especialment si el substrat d'aquestes és fang o sorra) i classifica la qualitat de l'aigua en cinc categories dins una escala de 0 a 10.

Aquests índexs han estat àmpliament utilitzats a les Conques Internes de Catalunya a través de diversos projectes i treballs. L'ISQA i el BMWPC, s'han utilitzat com indicadors de la qualitat de les aigües en nombroses estacions de control de la Xarxa de Control de la Qualitat de les aigües superficials de l'Agència Catalana de l'Aigua. L'índex FBILL ha estat utilitzat en nombrosos projectes i estudis arreu de Catalunya, ja sigui en els estudis portats a terme pel Departament d'Ecologia de la UB per al seguiment de la qualitat dels rius Besos i Llobregat, Foix, Ter i Tordera (Prat *et al.*, 1983a, 1983b, 1996, 1997, 1999, 2000c, 2001 i 2002; Munné i Prat, 1999), com per la determinació de la qualitat de les aigües del riu Ter (Muñoz *et al.*, 1998) o el seu estat ecològic (Vila *et al.*, 2000); per a la caracterització de la qualitat de l'aigua del riu Ser (Baserva, 1993); en la determinació de l'estat ecològic a la conca del Ridaura (Sala i Sala, 2003) o en l'Observatori de la Tordera (Boada, 2000 i 2003), que s'utilitzava conjuntament amb el IBMWP. Un altre estudi seria el realitzat per Benito i Figueras (1996) en el que determina la qualitat de l'aigua a la Muga a partir de l'ISQA i de diversos indicadors biològics utilitzats a nivell europeu (W, VT, TD, BILL, EBI mod i BMWP').

Cal destacar que en cap d'aquests estudis la determinació de la qualitat a través d'aquests índexs biològics no ha anat mai desvinculada de l'anàlisi de paràmetres de tipus fisicoquímic, atès que, tot i que no donen una idea de la qualitat de l'aigua en un termini de temps més llarg, permeten determinar l'origen dels fenòmens de contaminació.

Tots els índexs anteriors, s'han creat per a determinar únicament la qualitat de les aigües superficials. Recentment però, s'ha desenvolupat un nou índex anomenat ECOSTRIMED (Prat, 1998; Prat *et al.*, 2000a; Prat *et al.*, 2000b), que permet determinar la qualitat ecològica dels rius a l'integrar la qualitat biològica de les aigües, determinada a través de l'IBMWP o l'FBILL, i la qualitat del bosc de ribera (QBR, Munné *et al.*, 1998).

3.3. CARACTERÍSTIQUES DE LA ZONA D'ESTUDI.

3.3.1. Activitats antròpiques.

L'estat actual dels ecosistemes fluvials no es pot entendre sense conèixer les diverses pressions d'origen antròpic a les que estan sotmesos. Concretament, en els cursos de la depressió de la Selva s'han identificat les següents pressions i impactes sobre la qualitat fisicoquímica de l'aigua (Figura 3.1):

- Abocaments d'aigües residuals depurades que no poden ser diluïdes suficientment, atès que en el disseny de les depuradores no es va tenir en compte el riu que les rebria.
- Abocaments d'aigües residuals urbanes de les urbanitzacions (que sovint presenten problemes de sanejament, o simplement, no reben tractament).
- Abocaments puntuals d'aigües residuals sense tractar (com l'abocament produït al riu Onyar el 01/01/03, o l'abocament a la riera de Santa Coloma del dia 15/05/03).
- I el rentat de les zones de conreu.

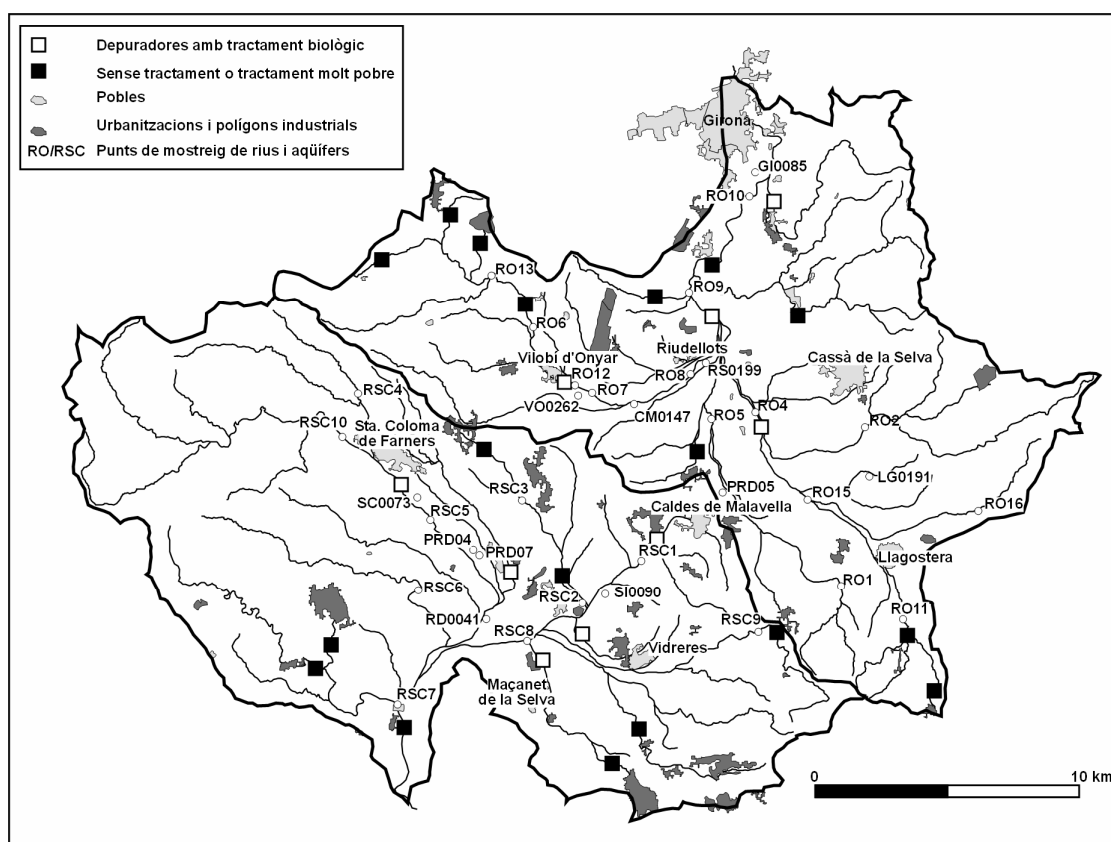


Figura 3.1: Situació dels diversos nuclis de població, dels abocaments d'aigües residuals, i dels punts de mostreig dels aqüífers al·luvials i cursos fluvials.

Un segon tipus de pressions són les que l'agricultura ha causat als boscos de ribera. El fet que el vern sigui l'arbre de ribera característic de la Selva, i que la seva fusta no tingui una sortida comercial, ha comportat la seva substitució per espècies de creixement ràpid com els pollancre, carolines, robínies i plàtans. Aquest aclariment ha beneficiat l'om i el freixe, que poden ser dominants a la plana i als trams finals dels rius i rieres, o simplement a la implantació de bardisses i canyars, amb la conseqüent pèrdua de la diversitat florística, característica de la comunitat (Vilar, 1988).

Finalment, una darrera tipologia de pressions sobre als ecosistemes fluvials són les que modifiquen el cabal. Dins aquestes es troben les extraccions puntuals d'aigües superficials per a reg durant els mesos d'estiu; les diverses rescloses, que en aquesta conca són de petita dimensió; el descens del nivell piezomètric causat per l'explotació dels aquífers, o bé les extraccions d'àrids a l'al·luvial de la riera de Sta. Coloma (Vehí, 2001), que poden suposar la disminució del cabal o fins i tot el seu assecament; i, en el cas de la riera de Sta. Coloma, les aportacions d'aigua procedents del riu Ter durant els mesos d'estiu.

3.3.2. Meteorologia durant l'època d'estudi.

Com s'ha esmentat amb anterioritat, una de les perturbacions naturals principals a les que es troben sotmesos els rius mediterranis són les climàtiques. La variabilitat en les precipitacions i temperatures d'aquest clima, dóna lloc a una variació anual i interanual en el règim de cabals, que es caracteritza per la presència d'avingudes i períodes de sequera, que afecten als ecosistemes aquàtics associats a aquests cursos. És per aquest motiu, que s'ha cregut oportú mostrar les precipitacions que s'han produït durant les diverses campanyes de camp realitzades (Figura 3.2).

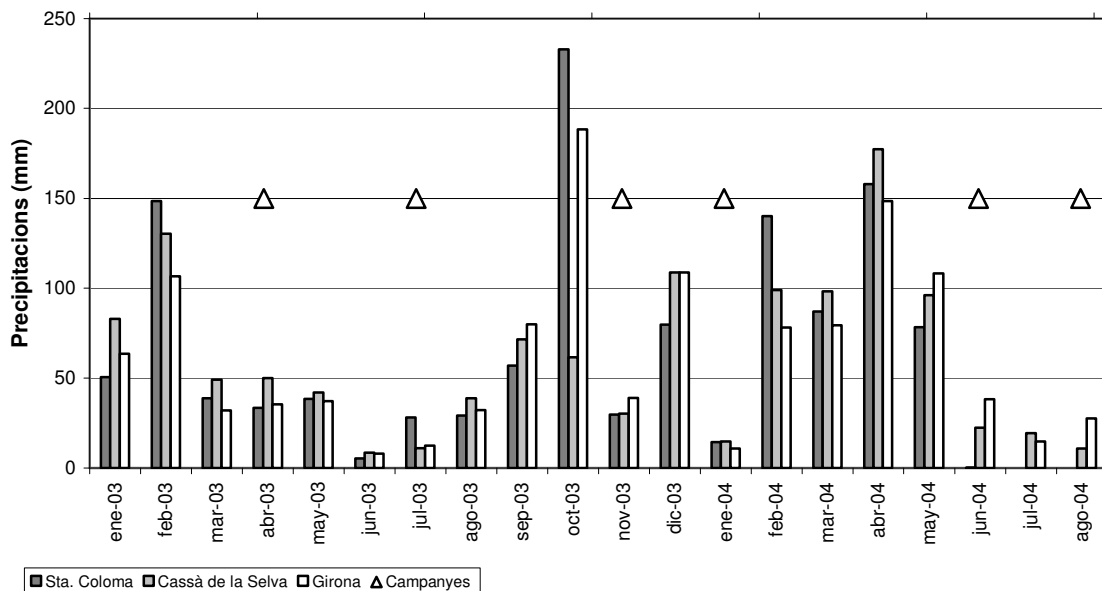


Figura 3.2: Precipitacions produïdes durant les diverses campanyes de camp (font: Servei de Meteorologia de Catalunya).

Així, a partir de la Figura 3.2 es pot observar que durant la tardor de 2003 i la primavera de 2004 es van produir precipitacions molt importants, que van donar lloc a avingudes, i durant l'estiu de 2003 i de 2004, les precipitacions van ser mínimes donant lloc a períodes de sequera.

3.4. METODOLOGIA.

3.4.1. Estacions de mostreig i campanyes realitzades.

Per tal de determinar la qualitat ecològica del riu Onyar i de la riera de Sta. Coloma s'ha escollit una sèrie de punts que fossin representatius de la qualitat d'aquests ecosistemes o que poguessin presentar problemes de qualitat per la presència, aigües amunt, d'algun abocament ja sigui de depuradora, o d'aigües residuals sense tractar. Així, s'ha mostrejat un total de 14 punts a la conca del riu Onyar i 10 punts a la conca de la riera de Sta. Coloma, que s'han dividit en els grups que es presenten a la Taula 3.1, per un millor estudi i interpretació dels resultats.

Grup	Punt	Situació
Afluent del riu Onyar	RO1	Riera Benaula al municipi de Llagostera
	RO5	Riera Benaula després de la urbanització Can Solà
	RO2	Riera Verneda després de l'abocament del Mas Cubell (Cassà de la Selva)
	RO17	Riera de la Resclosa a Panedes
	RO11	Riera Gotarra a St. Llorenç
	RO16	Riera Gotarra a la sortida de Llagostera.
	RO4	Riera Gotarra després de l'EDAR de Cassà de la Selva - Llagostera
Riu Onyar	RO13	Riu Onyar a Brunyola
	RO6	Riu Onyar després de l'abocament de St. Dalmai (Vilobí d'Onyar)
	RO12	Riu Onyar just després de l'EDAR de Vilobí d'Onyar
	RO7	Riu Onyar a 2 km de l'abocament de la depuradora de Vilobí
	RO8	Riu Onyar just abans del municipi de Riudellots de la Selva
	RO9	Riu Onyar després de l'abocament de l'EDAR de Riudellots de la Selva.
	RO10	Riu Onyar després de l'abocament de Fornells de la Selva
Afluent de la riera de Sta. Coloma	RSC1	Riera Sta. Maria després de l'EDAR de Caldes de Malavella
	RSC3	Riera de Vallcanera a l'alçada de la urbanització
	RSC2	Riera de Vallcanera a la desembocadura
	RSC8	Sèquia de Sils
	RSC9	Riera Reclar després de la urbanització Can Carbonell (Caldes de Malavella)
	RSC6	Riera de l'Esparra
	RSC4	Torrent de Canadell.
Riera de Sta. Coloma	RSC10	Riera de Sta. Coloma abans del nucli urbà.
	RSC5	Riera de Sta. Coloma aigües avall de l'EDAR
	RSC7	Riera de Sta. Coloma a l'alçada de la desembocadura de la riera de Massanes

Taula 3.1: Punts de mostreig de les aigües superficials.

En la primera de les campanyes realitzades es van agafar: 1) punts repartits homogèniament al llarg dels cursos que es volien estudiar i que a priori no se'n coneixien les afectacions (com és el cas de la major part dels cursos fluvials mostrejats a la conca de la riera Sta. Coloma) i, 2) en els cursos on es coneixien a priori les afectacions, es va intentar mostrejar punts abans i després d'aquestes, intentant

escollir, en els dos casos anteriors, estacions de mostreig que no presentessin cap afectació i servissin com a control. D'altra banda, en molts casos va ser impossible agafar punts de control bé sigui per problemes d'accés (com en els punts RO4 i RSC1), o bé perquè les afeccions ja hi són des de la capçalera (RO11, RSC9, RO16 i RSC3, entre d'altres).

Cal destacar però, que no totes les estacions de mostreig han estat utilitzades a les diverses campanyes de camp realitzades fins al moment. A la primera de les campanyes es van mostrejar un total de 19 punts. I en les campanyes successives es va anar ampliant el nombre d'estacions de mostreig (amb punts com el RO11, RO12, RO13, RO16 i RO17), per tal de complementar i millorar la informació de la zona, fins assolir així el total de 24 punts estudiats.

Així, per tal de determinar la qualitat ecològica dels cursos fluvials de la depressió de la Selva, s'han realitzat un total de 6 campanyes entre la primavera de 2003 i l'estiu de 2004.

3.4.2. Paràmetres fisicoquímics.

S'han analitzat una sèrie de paràmetres que permeten identificar els problemes principals de contaminació i d'eutrofització de les aigües com són: la concentració d'O₂ (amb un oxímetre ORION 250A), la conductivitat (amb un conductímetre CRISON 524) i el pH (amb un potenciòmetre de camp ORION 250A), així com les concentracions de NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻ i PO₄³⁻ (mesurades per espectrometria), i també les concentracions Cl⁻ i SO₄²⁻ (mesurades ambdues, a través de valoracions). A la campanya de l'estiu de 2003 i a l'hivern, primavera i estiu de 2004 també s'ha realitzat una anàlisi dels elements majoritaris d'aquestes aigües per a poder determinar possibles relacions amb l'aqüífer al·luvial (realitzat per espectrometria ICP-OES al Servei d'Anàlisi Química de la UAB)).

El nitrogen, conjuntament amb el fòsfor, és un dels elements que determinen el grau d'eutrofització dels ecosistemes aquàtics. En un medi aquós el podem trobar en forma de N₂, NH₃, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻ i HNO₂⁻ (Margalef, 1983). La major part d'aquestes espècies són tòxiques, però en diferents graus, i algunes d'elles s'han utilitzat com a indicadors de la qualitat de les aigües en nombrosos projectes. Aquest és el cas de l'amoni, que segons Prat et al. (1983b) presenta una bona correlació entre la seva concentració i la qualitat de les aigües: aigües amb elevades concentracions d'amoni i poc oxigen presenten qualitats molt baixes.

El mateix autor (Prat et al., 2000c i 2001) estableix uns rangs de concentracions d'aquest compost, segons els quals, concentracions més baixes de 0,1 mg/l de N-NH₄⁺ les presentarien les aigües netes, i en canvi, concentracions superiors als 4 mg/l, les presentarien aigües amb una qualitat molt pobre, i amb una alta toxicitat (Annex). Aquesta classificació també ha estat utilitzada en projectes com el realitzat per Boada (2000 i 2003) a la Tordera.

Dins els compostos indicadors de la toxicitat també s'han tingut en compte els nitrits. S'han establert una sèrie de rangs, segons els quals, concentracions inferiors als 0,03 mg/l de N-NO₂⁻, les presentarien les aigües netes, i concentracions superiors als 0,3 mg/l serien altament tòxiques (Annex; Prat et al., 2001).

Pel que fa a l'eutrofització, es considera que concentracions inferiors als 0,03 mg/l de P-PO₄³⁻ i als 0,2 mg/l de N-NO₃⁻ les presentarien aigües netes i sense estrès i eutròfia, però concentracions superiors als 0,5 i 2,25 mg/l, respectivament, serien presents en aigües amb una qualitat pobre i una elevada eutròfia (Annex; Prat et al., 2001).

Els clorurs i sulfats s'han utilitzat com a indicadors de la salinització de les aigües (Annex). Els clorurs, es troben en major o menor quantitat a les aigües, depenent dels terrenys drenats. Quan es troben valors alts d'aquest paràmetre poden ser deguts a contaminació per aigua de mar, per abocaments industrials, urbans o agrícoles, o degut a un augment del rentat del terreny (Espigares i Pérez, 1985).

Pel que fa als sulfats, en les aigües dolces es troben de manera natural a concentracions inferiors als 150 ppm. D'altra banda, se'n poden trobar en elevades concentracions en conques que continguin anhidrites. Però també es poden trobar a elevades concentracions pel drenatge dels terrenys agrícoles (on s'hi apliquen sulfats com a insecticides), o degut a abocaments d'aigües residuals urbanes i industrials.

3.4.3. Indicadors biològics.

Per a la determinació de l'estat ecològic de l'Onyar i la riera de Sta. Coloma s'ha utilitzat l'ECOSTRIMED. L'estat ecològic s'obté a l'integrar dos índexs de qualitat: un índex de valoració de la qualitat biològica del riu (FBILL o IBMWP) i un segon índex de l'estat de conservació del sistema de ribera (QBR). Una vegada calculats, s'obté l'ECOSTRIMED a través de la Taula 3.2.

FBILL	IBMWP	QBR		
		>75	45-75	<45
8-10	>100	Molt bo	Bo	Mediocre
6-7	61-100	Bo	Mediocre	Dolent
4-5	36-60	Mediocre	Dolent	Pèssim
0-3	<36	Dolent	Pèssim	Pèssim

Taula 3.2: Determinació de l'ECOSTRIMED.

Per a la determinació de la qualitat de l'aigua, a més d'utilitzar els paràmetres fisicoquímics s'ha utilitzat l'índex IBMWP que dona una visió de l'estat qualitatiu de l'aigua del riu basant-se en la identificació dels macroinvertebrats bentònics. S'ha escollit aquest índex perquè a diferència de l'índex FBILL, es pot aplicar en el mostreig de punts que només presentin condicions lenítiques. I també s'ha escollit perquè és un índex més restrictiu que el BMWPC. A l'aplicar l'índex BMWPC s'obtenen millors qualitats, atès que aquest índex considera més famílies de macroinvertebrats, dona valors diferents per algunes d'aquestes famílies i considera més baixos els valors dels límits entre els diversos nivells de qualitat. D'aquesta manera, si s'utilitzés aquest índex, les aigües amb una qualitat biològica molt bona serien aquelles que obtindrien un valor superior a 85, mentre que en el cas de l'índex IBMWP es necessita superar el 100. Així, l'índex IBMWP s'obté sumant la puntuació corresponent a cada família de macroinvertebrats present a la mostra (els valors que s'atorguen a les diverses famílies apareixen a l'Annex). El valor obtingut en aquesta suma, indicarà el nivell de qualitat biològica de l'aigua del riu seguint la Taula 3.3.

IBMWP	Nivell de qualitat
>101	Aigües molt netes
61-100	Eutròfia, aigües amb signes d'estrès
36-60	Aigües contaminades
16-35	Aigües molt contaminades
0-15	Aigües extremament contaminades

Taula 3.3: nivells de qualitat de l'IBMWP.

El mostreig dels macroinvertebrats que s'ha portat a terme per tal de poder aplicar aquests índexs, s'ha realitzat mitjançant una xarxa de 250 µm de llum. En aquest mostreig s'ha intentat incorporar el màxim d'hàbitats possibles (substrat sorrenc, amb còdols, vegetació, etc.), seleccionant també, tant les zones reòfiles (amb corrent), com les lenítiques (zones amb poc corrent). Una vegada capturats, els macroinvertebrats han estat fixats amb formol al 4% i, posteriorment, s'han identificat sota lupa en el laboratori.

Finalment, per a la determinació de la qualitat dels boscos de ribera s'ha utilitzat l'índex QBR (Munné *et al.*, 1998). Aquest índex es basa en quatre blocs amb el mateix pes en el resultat final, (1) el grau o la magnitud del recobriment vegetal, (2) l'estructura de la vegetació, (3) la qualitat del recobriment i (4) el grau de naturalitat del canal fluvial des d'un punt de vista físic. La integració d'aquests dóna la puntuació final que varia de 0 a 100 i permet classificar la qualitat de la vegetació de ribera en els nivells que es mostren a la Taula 3.4.

QBR	Estat de la vegetació
≥95	Bosc de ribera sense alteracions, qualitat molt bona, estat natural
75-90	Bosc lleugerament pertorbat, qualitat bona
55-70	Inici d'alteració important, qualitat acceptable
30-50	Alteració forta, qualitat dolenta
≤25	Degradació extrema, qualitat pèssima

Taula 3.4: nivells de classificació del QBR.

3.5. PARÀMETRES FÍSICOQUÍMICS.

3.5.1. Qualitat fisicoquímica de les aigües superficials.

Els resultats obtinguts en les analítiques fisicoquímiques de les aigües superficials es presenten en diverses taules a l'Annex.

A les Figures 3.3, 3.5 i 3.6 es presenten els diagrames de caixa de les dades obtingudes en les diverses campanyes realitzades en relació a l'oxigen dissolt, conductivitat, nitrats, fosfats, nitrats i amoni en els punts situats al riu Onyar, als seus afluents, i també als punts mostrejats a la conca de la riera de Sta. Coloma. Aquests diagrames de caixa mostren els següents paràmetres estadístics: els extrems inferior i superior de la caixa representen els percentils 25è i 75è, la línia horitzontal interior indica la mediana, i les línies horitzontals exteriors es corresponen amb els percentils 10è i 90è.

En referència als compostos indicadors d'eutrofització (nitrats i fosfats) s'ha representat el límit per sobre del qual les aigües presenten una qualitat molt pobre i un fort estrès; i, en referència als compostos indicadors de la toxicitat de les aigües (amoni i nitrats) s'ha representat el límit per sobre del qual les aigües es consideren molt contaminades i amb un elevat grau de toxicitat.

Finalment, en relació a l'oxigen dissolt s'ha representat la seva concentració en equilibri amb l'aire a una pressió total d'una atm i en funció de les temperatures màximes i mínimes observades (font: Drever, 1997).

Conca del riu Onyar.

Com es pot observar a la Figura 3.3, la qualitat fisicoquímica de les aigües del riu Onyar disminueix en el sentit del flux. Els punts on es constata una davallada més important són els situats just després dels principals abocaments d'aigües residuals de la zona, sobretot al RO6 (situat després de l'abocament d'aigües residuals de St. Dalmai), i al RO9 (situat després de l'abocament de la depuradora de Riudellots de la Selva, de l'abocament d'aigües residuals d'uns escorxadors i de la desembocadura de la riera Gotarra al riu Onyar, on també hi aboca l'EDAR de Cassà de la Selva-Llagostera i la depuradora d'una indústria càrnica de Campllong). En el cas del RO12, tot i l'abocament de l'EDAR de Vilobí d'Onyar, s'hi observa una millora de la qualitat fisicoquímica de les aigües en relació al punt anterior, el RO6, atès que les aigües que s'aboquen a St. Dalmai presenten un tractament deficient i entre aquests dos punts es produeix una certa dilució del primer abocament.

En aquests tres punts, a les campanyes d'estiu, s'ha superat el límit de les aigües molt contaminades i amb un elevat grau de toxicitat tant pel que fa a la concentració de N-NH_4^+ com per la concentració de N-NO_2^- (Figura 3.3).

Respecte als paràmetres indicadors d'eutrofització, a la Figura 3.3 es pot observar com les concentracions més elevades de fosfats també es troben just després dels tres abocaments principals, on se supera el límit de les aigües amb un fort estrès. Posteriorment, bé sigui per la seva assimilació, per la seva precipitació, o bé per la dilució d'aquests abocaments, es produeix una disminució de la seva concentració.

En relació a la concentració de nitrats, s'observa que en la major part dels punts de mostreig s'ha superat, en alguna de les campanyes, la concentració per sobre de la qual es considera que les aigües superficials presenten una qualitat molt pobre i un fort estrès.

Si es comparen els resultats obtinguts entre els punts RO12, RO7 i RO8 es poden constatar diversos processos. D'una banda, en la major part de les campanyes s'ha detectat un augment de la concentració del nitrogen inorgànic total entre el RO12 i el RO7, causat per la degradació del nitrogen orgànic abocat per la pròpia depuradora (amb mitjanes mensuals d'entre 4-37,5 mg/l de NKT). En segon lloc, s'observa la disminució de la concentració d'amoni, conjuntament amb un augment de la concentració dels nitrats en el sentit del flux, suggerint així la presència d'un procés de nitrificació. I en tercer lloc, s'ha pogut observar el procés d'eutrofització causat per aquest abocament.

Durant els mesos d'hivern, primavera i estiu s'ha detectat un important creixement d'algues en els punts situats entre el RO12 i RO8, fet que es constata amb un augment important de la concentració d'oxigen dissolt en el sentit del flux (superant amb escreix el valor de saturació de les aigües en el RO8), conjuntament amb la disminució de la concentració dels nutrients limitants del seu creixement, com són els fosfats i els compostos nitrogenats (Figura 3.3). Així, l'efecte de l'eutrofització causada per aquests abocaments es manifesta en els trams següents a l'abocament.

Els punts situats després dels abocaments principals, conjuntament amb el RO10, són els que presenten una variança més important en els paràmetres fisicoquímics analitzats (Figura 3.3). Aquesta variabilitat es deu a que a la tardor, hivern i primavera es produeix una certa dilució dels cabals abocats, però durant els mesos d'estiu la disminució del cabal del riu no permet aquesta dilució. Així es produeix un augment de la conductivitat (que arriba a duplicar-se durant els mesos d'estiu), un augment de la concentració dels paràmetres indicadors del grau de toxicitat, i dels paràmetres indicadors d'eutrofització. Conjuntament, també s'ha detectat la disminució de la concentració d'oxigen dissolt. En el cas del RO6, en les dues campanyes realitzades a l'estiu no se supera els 2 mg/l, mentre que en el RO12 i RO9, s'han mesurat concentracions inferiors als 5 mg/l.

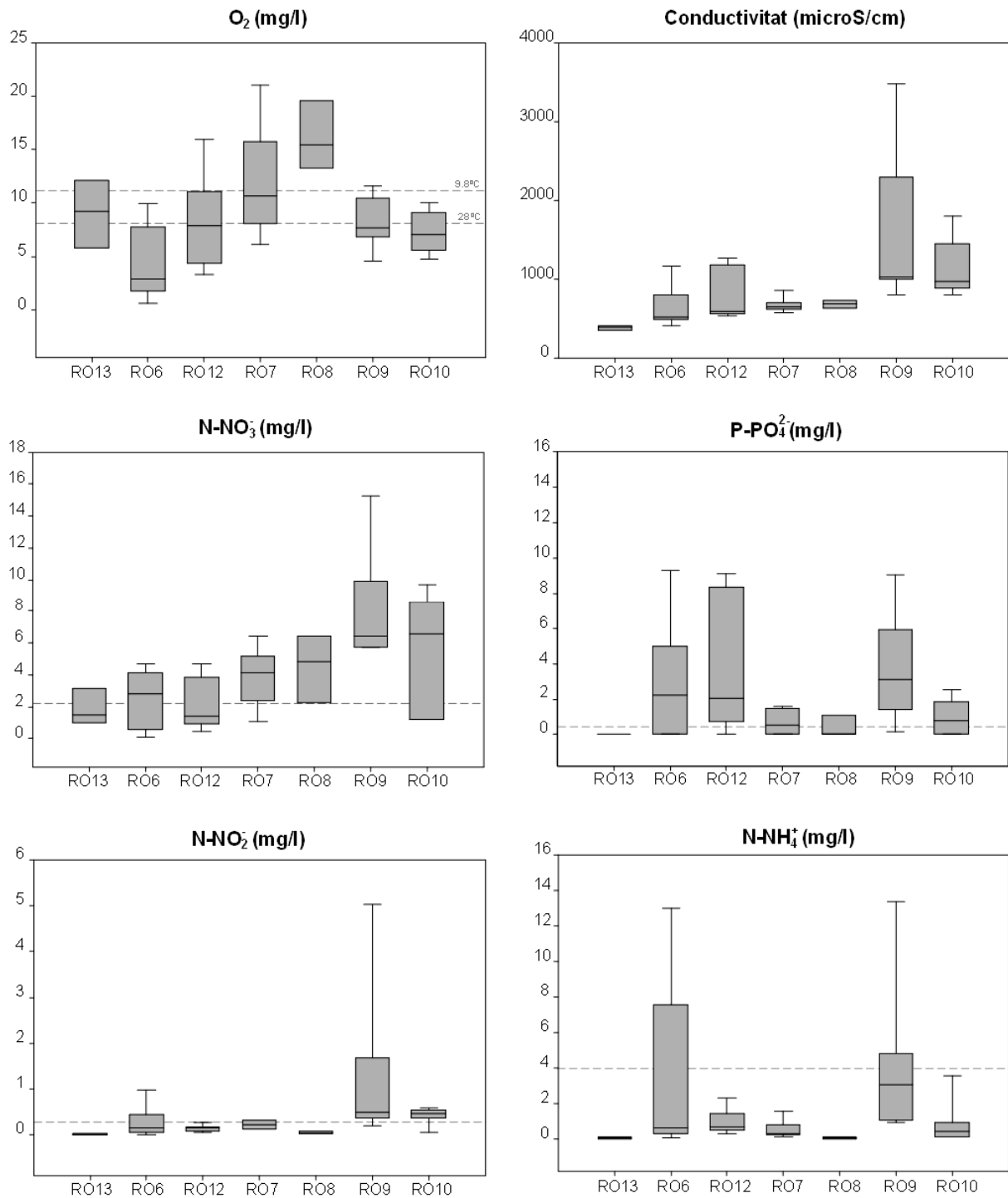


Figura 3.3 : Diagrames de caixa dels paràmetres fisicoquímics en els punts de mostreig del riu Onyar.

A més del riu Onyar, també s'han estudiat diversos dels seus afluents, com són la riera Gotarra (amb els punts RO11, RO15 i RO4), la riera Benaula (amb els punts RO1 i RO5), la riera Verneda (amb el RO2) i la riera de la Resclosa (amb el RO16). La major part d'aquestes estacions de mostreig es caracteritzen per ser intermitents o efímeres durant els mesos d'estiu i perquè aigües amunt presenten abocaments d'aigües residuals, bé sigui puntuals o continus en el temps.

En el cas de la Gotarra, abans del RO11 es produeix l'abocament d'aigües residuals de la urbanització Font Bona. Entre aquest punt i el RO15, hi aboquen alguns dels sobreeixidors de la

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

xarxa de clavegueram de Llagostera quan es produeixen precipitacions importants. I abans del RO4 hi aboquen les aigües de la depuradora de Cassà de la Selva-Llagostera. En el cas del RO2 a la riera Verneda, aigües amunt també es produeixen abocaments puntuals dels sobreexidors de la xarxa de clavegueram del Mas Cubell. I finalment, al punt RO1 de la riera Benaula i al punt RO16 de la riera de la Resclosa (Figura 3.4), es produeixen abocaments puntuals d'aigües residuals d'algunes cases.



Figura 3.4: Abocament d'aigües residuals a la riera de la Resclosa (RO16).

D'entre totes aquestes estacions de mostreig, el punt que presenta una pitjor qualitat fisicoquímica de l'aigua és el RO4, el punt situat just després de l'abocament a la riera Gotarra de l'EDAR de Cassà de la Selva-Llagostera (Figura 3.5), una EDAR que encara no està preparada per eliminar nitrogen, i que en algunes ocasions ha presentat problemes de funcionament. En aquesta estació de mostreig la concentració de N-NH_4^+ mesurada supera el límit de les aigües molt contaminades i amb un elevat grau de toxicitat en la major part de les campanyes; durant els mesos d'estiu la concentració d'oxigen dissolt és molt baixa (no supera els 3 mg/l); i, la concentració de fosfats també supera el límit de les aigües amb una qualitat molt pobre durant la major part de l'any.

En la resta de punts, durant la major part dels mostrejos realitzats s'han mesurat concentracions de N-NO_3^- superiors als 2.25 mg/l, límit pel que es considera que l'aigua presenta una qualitat fisicoquímica molt pobre (Annex). D'altra banda, únicament al RO16 (riera de la Resclosa) i al RO1 (riera Benaula a Llagostera) s'hi ha observat concentracions superiors al límit de les aigües amb un elevat grau de toxicitat pel que fa al N-NO_2^- , atès que aquests són els punts més propers a l'abocament de les aigües residuals que els afecten. I finalment, en relació a la concentració d'oxigen dissolt, en els punts RO16 i el RO11, s'hi observen davallades importants de la seva concentració durant l'estiu.

Aquesta disminució de la concentració d'oxigen dissolt durant els mesos d'estiu es pot explicar perquè, segons Puig (1999), a finals de primavera i durant l'estiu, quan es produeix una reducció de cabal, s'indueix un augment de la sedimentació de matèria orgànica que en condicions normals seria

transportada pel riu més avall. Aquest fenomen coincideix amb el període de màxima activitat dels microorganismes descomponedors (estiu i tardor), que consumeixen una gran part de l'oxigen dissolt en l'aigua.

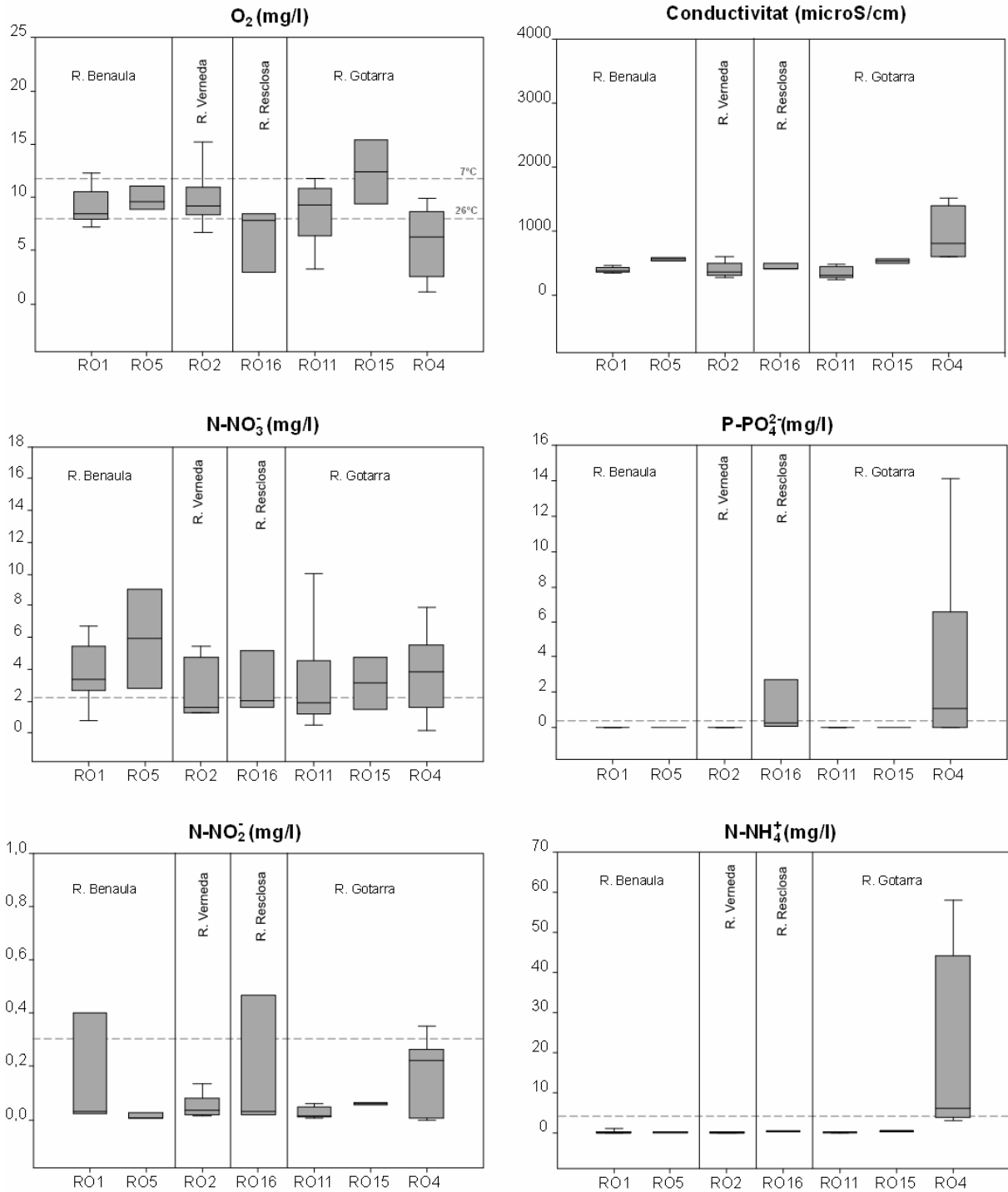


Figura 3.5 : Diagrames de caixa dels paràmetres fisicoquímics en els punts de mostreig dels afluent del riu Onyar (rieres Benaula, Verneda, de la Resclosa i Gotarra).

Conca de la riera de Sta. Coloma

A la conca de la riera de Sta. Coloma també s'han mostregjat punts on aigües amunt hi havia l'abocament de depuradores o abocaments importants d'aigües residuals sense tractar. Aquest és el cas del RSC9 al Reclar (on aigües amunt hi ha l'abocament d'aigües residuals de la urbanització Can Carbonell), el RSC1 a la riera de Sta. Maria (on hi aboquen les aigües de l'EDAR de Caldes de Malavella, les aigües termals sobrants de les embotelladores de Caldes i també les seves aigües residuals tractades), el RSC3 a la riera de Vallcanera (on hi aboquen de manera puntual els sobreexidors del clavegueram de la urbanització Sta. Coloma Residencial, i on fins fa pocs anys hi abocaven totes les seves aigües residuals), el RSC2 a la riera de Vallcanera (on aigües amunt hi aboquen les aigües residuals sense tractar d'alguns punts negres de la xarxa de clavegueram de la urbanització de Vallcanera), el RSC8, a la Sèquia de Sils (on a més de rebre les aigües de la riera de Sta. Maria, a través d'altres afluents rep els abocaments de les depuradores de Sils-Vidreres, de l'EDAR de Maçanet, així com les aigües residuals de les urbanitzacions de Vidreres), el RSC5, situat després de l'abocament de la depuradora de Sta. Coloma a la riera de Sta. Coloma i, finalment, el RSC7 (a la confluència entre la riera de Massanes i la riera de Sta. Coloma) que rep totes aquestes aigües (Figura 3.1).

Els punts on s'han detectat qualitats fisicoquímiques de l'aigua més baixes són al RSC9 (al Reclar), al RSC1 (a la riera de Sta. Maria) i RSC8 (a la Sèquia de Sils). En aquests punts s'ha superat el llindar de les aigües amb un fort estrès, pel que fa a la concentració de N-NO_3^- , i P-PO_4^{2-} , i també el de les aigües amb un elevat grau de toxicitat pel que fa al N-NO_2^- i al N-NH_4^+ , en moltes de les campanyes realitzades (Figura 3.6). Aquests també són els punts on la variança en les mesures d'aquests paràmetres són més grans, atès que durant els mesos d'estiu no es produeix una bona dilució de les aigües residuals abocades, fent-ne augmentar la conductivitat i la concentració tant dels paràmetres indicadors de la toxicitat com de l'eutrofització, en relació als mesos més humits.

Els punts com el RSC2 (prop de la desembocadura de la riera de Vallcanera), el RSC5 (a la riera de Sta. Coloma) i el RSC7 (a la confluència entre la riera de Massanes i la de Sta. Coloma) també superen el llindar de les aigües amb un fort estrès pel que fa a la concentració de P-PO_4^{2-} , durant els mesos d'hivern i d'estiu, així com el del N-NO_3^- en alguna de les campanyes realitzades (Figura 3.6). I en referència al N-NH_4^+ i al N-NO_2^- , les concentracions observades permeten classificar la qualitat fisicoquímica de l'aigua entre les aigües amb una qualitat pobre i les que podrien presentar un cert estrès.

El punt RSC5 (a la riera de Sta. Coloma) no es veu tan afectat per l'abocament de l'EDAR de Sta. Coloma durant els mesos d'estiu com s'ha observat en punts amb característiques similars a la conca de l'Onyar (RO12), atès que aigües amunt l'ACA hi aboca aigua amb una bona qualitat per tal d'assegurar el subministrament d'aigua potable en aquest municipi. Així, els pous municipals situats a l'al·luvial d'aquesta riera poden ser explotats de manera contínua i, a més, es produeix una millora de la dilució de les aigües residuals depurades, abocades aigües avall dels pous. D'altra banda, a la campanya de primavera de 2003 es va detectar en aquest punt un abocament incontrolat de N-NH_4^+ , que va causar una gran mortalitat de peixos.

D'altra banda, en punts com el RSC4 (a la riera de Canadell), el RSC6 (a la riera de l'Esparra) i el RSC10 (a la riera de Sta. Coloma abans del poble) la qualitat fisicoquímica de l'aigua és bona, tot i la presència de nitrats en gairebé totes les campanyes, i la presència de N-NH_4^+ , a la campanya de tardor i hivern. Com en els punts anteriors, el RSC3 (a la riera de Vallcanera) presenta, en general, una bona qualitat fisicoquímica de les aigües, tot i que en els mesos d'estiu i també en el mostreig

realitzat a la tardor s'hi ha mesurat concentracions d'oxigen inferiors als 3.5 mg/l, així com un cert augment de la concentració de $N-NH_4^+$. Aquesta davallada de la concentració d'oxigen i l'augment d'amoni podrien ser deguts a l'acció dels microorganismes descomponedors, que tenen com a període de màxima activitat l'estiu i la tardor (Puig, 1999). Si tenim en compte que durant aquesta època el corrent en aquest punt és mínim, la concentració d'oxigen dissolt pot arribar a ser molt baixa.

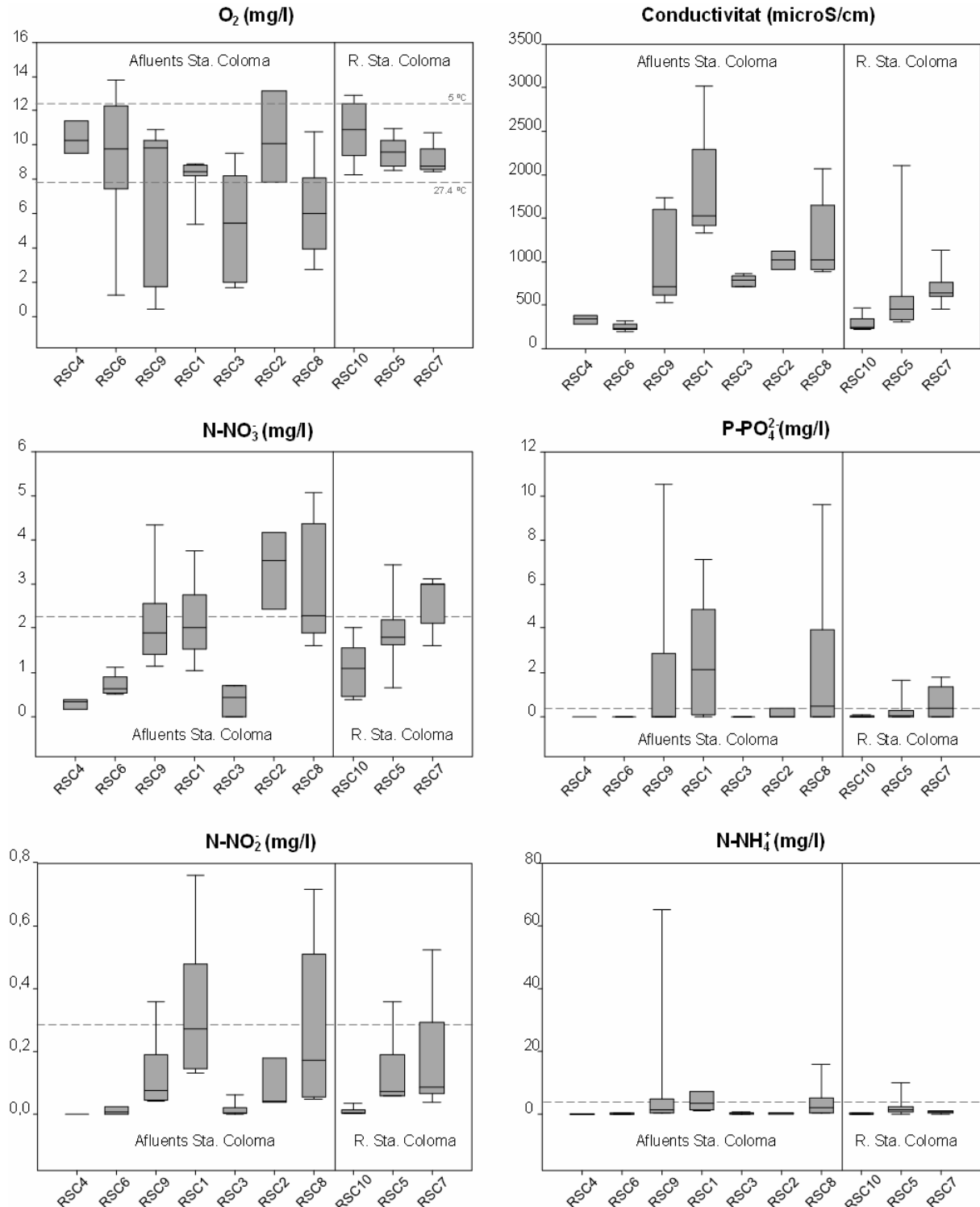


Figura 3.6 : Diagrames de caixa dels paràmetres fisicoquímics en els punts de mostreig de la riera de Sta. Coloma i els seus afluent.

3.5.2. Elements majoritaris en les aigües superficials.

Conca del riu Onyar

A la Figura 3.7 es presenta el diagrama de Piper de les mostres d'aigua del riu Onyar preses a la campanya del juliol de 2003 (amb el contorn de color negre) i les de l'agost de 2004 (amb el contorn gris). Les línies de color negre indiquen la direcció de flux des de la capçalera fins a la desembocadura durant la primera campanya, i el puntejat de color gris, la direcció de flux en la campanya d'agost de 2004. Atesa la importància del cabal de base en la dissolució dels abocaments de les depuradores, s'ha representat, com a referència, les mostres d'aigua de l'aquífer al·luvial en forma de creu. En aquest cas, la creu passa de negre a gris clar en el sentit del flux.

Les analítiques de les aigües de l'aquífer al·luvial del riu Onyar, mostren que a mesura que es va aigües avall, disminueix la concentració de Na^+ i K^+ , a l'augmentar la de Mg^{2+} . Respecte als anions, disminueix la concentració de SO_4^{2-} , a l'augmentar la de Cl^- . Així, des del curs mig i cap a la desembocadura, l'aigua d'aquest aquífer esdevé bicarbonatada càlcica, mentre que aigües amunt (als punts VO0262 i CM0147), al presentar una concentració més gran de sulfats i menor en HCO_3^- , no permet classificar-la entre les aigües bicarbonatades (Figura 3.7).

Les característiques fisicoquímiques de les aigües superficials d'aquest riu, varien molt al llarg de l'any i del punt de mostreig estudiat (sobretot durant els mesos d'estiu). De les mostres preses durant el juliol de 2003, es pot extreure que en el sentit del flux l'aigua del riu Onyar passa de bicarbonatada a clorurada, i pel que fa als cations, passa a ser clarament sòdica (Figura 3.7). Aquesta evolució es deu, sobretot, als efectes de les diverses aportacions d'aigües residuals, atès que normalment aquestes aigües presenten elevades concentracions de clorurs i sodi.

Així, el punt on l'aigua del riu Onyar presenta una concentració més elevada de clorurs és al RO9 (835 mg Cl^-/l). En aquest punt, es concentren les aigües procedents de la riera Gotarra (amb l'aigua de l'abocament de la depuradora de Cassà i Campllong), les aigües residuals tractades del nucli urbà i del polígon industrial de Riudellots, i també les aigües residuals d'uns escorxadors. D'altra banda, entre aquest punt, i el RO10, es produeix una certa dilució d'aquests abocaments, per l'aportació d'aigua de l'aquífer. Aquest fet es constata per la disminució de la conductivitat (que passa de 3610 a 1836 $\mu\text{S}/\text{cm}$), per la disminució en la concentració dels clorurs i sodi, així com pel retrocés en la línia evolutiva descrita anteriorment.

A la campanya realitzada a l'agost de 2004, s'ha pogut observar com (Figura 3.7):

- Entre el RO13 i el RO6 es produeix un augment molt important de la concentració de Na^+ i Cl^- , que passen gairebé a triplicar la seva concentració inicial (es passa de 26.7 a 97.4 mg de Na^+/l i de 29.6 a 110 mg de Cl^-/l). Aquests augments es deuen, principalment, al fet que entre aquests dos punts es produeix l'abocament d'una indústria càrnica, així com de les aigües residuals de St. Dalmai, que fan disminuir molt la qualitat fisicoquímica de l'aigua.
- Entre el RO6 i RO12, es produeix l'abocament de la depuradora de Vilobí d'Onyar, fent que augmenti una mica més la concentració de sodi, clorurs i sulfats, tot i mantenir-se la concentració de bicarbonats.
- Però en canvi, entre el RO12 i el RO7, es produeix una certa dilució atribuïble a l'entrada d'aigües subterrànies, que es tradueix en una disminució de la conductivitat (que passa de 1160 a 853 $\mu\text{S}/\text{cm}$) i la disminució de la concentració de Na^+ i K^+ , així com la dels Cl^- . D'aquesta manera,

entre aquests dos punts, l'aigua tendeix a aproximar-se molt més a les característiques de les aigües subterrànies de la zona.

- Finalment, aigües avall de Riudellots, les aigües del riu esdevenen clarament clorurades sòdiques en els punts RO9 i RO10, tot i que entre aquests dos punts, de manera similar al que succeeix a l'estiu de 2003, també hi ha indicis de produir-se una entrada d'aigües subterrànies.

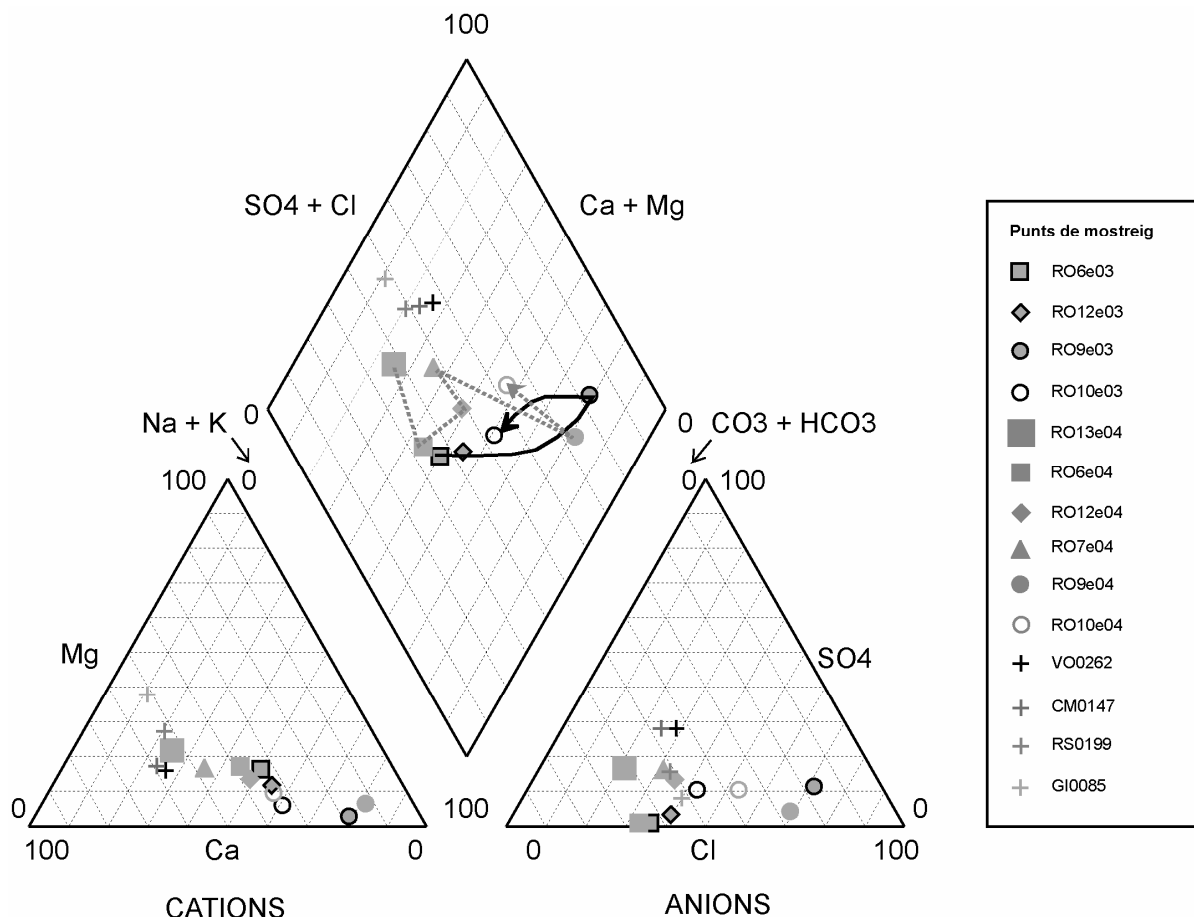


Figura 3.7: Diagrama de Piper de les campanyes del juliol de 2003 (e03) i de l'agost de 2004 (e04). La línia de color negre representa la direcció de flux (des de la capçalera fins a la desembocadura) durant el juliol de 2003 i en puntejat gris, la direcció de flux a la campanya d'agost de 2004.

Si es comparen les dues campanyes anteriors (la campanya del juliol de 2003 amb la de l'agost de 2004) es poden observar algunes diferències significatives. Atès que l'hivern i primavera de 2003 van ser molt més secs que els de 2004 (Figura 3.2), el reg a la zona entre Vilobí i Riudellots es va iniciar abans, fent disminuir el nivell piezomètric amb anterioritat i causant així la captació del cabal superficial i el conseqüent assecament del riu als punts RO7 i RO8. En canvi, a l'agost de 2004, el punt RO7 encara no està sec, i les característiques de la majoria dels punts s'aproximen més a les de l'aqüífer al·luvial (Figura 3.7) indicant una millor dilució, per l'aportació d'aigües subterrànies, que s'accentua en el RO12, RO7 i RO10.

A diferència de l'estiu, les mostres preses durant el gener i el maig de 2004, se situen molt més properes a les mostres d'aigua dels aquífers. Exceptuant els punts RO9 i RO10, es poden classificar les aigües de totes les estacions de mostreig com a bicarbonatades càlciques. En aquests darrers dos punts, en canvi, s'hi observa un increment de la concentració de Na^+ i Cl^- , però no és suficient

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

perquè permeti la seva classificació dins les clorurades sòdiques, com succeeix a l'estiu. Finalment, cal destacar que entre els punts RO6 i RO8, l'aigua de l'Onyar tendeix a aproximar-se a les característiques de l'aqüífer, mostrant la influència de les aportacions subterrànies de l'aqüífer cap al riu així com de les aportacions procedents del cabal d'altres afluents (Figura 3.8).

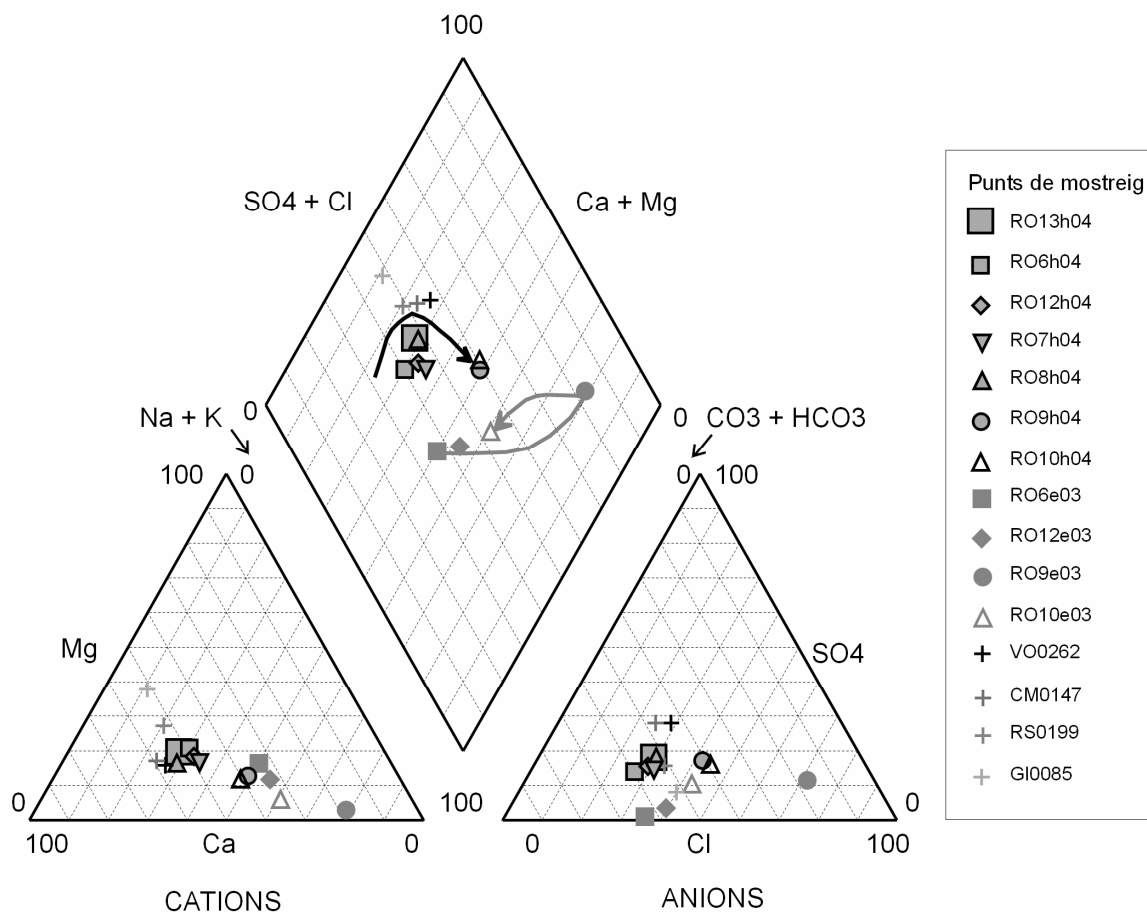


Figura 3.8: Diagrama de Piper de les campanyes de juliol de 2003 (e03) i del gener de 2004 (h04). La línia negra representa la direcció de flux al gener de 2004 i la línia de color gris, la direcció de flux al juliol de 2003.

Els afluents del riu Onyar presenten un comportament molt diferent al descrit anteriorment. D'una banda, al tractar-se de cursos que durant el període estival són intermitents o efímers, es produeix un cert aïllament de les aigües d'aquestes basses, dels petits abocaments que existeixen aigües amunt, fent que sovint les característiques de l'aigua a l'estiu siguin més properes a les de l'aqüífer. Això es constata en punts com el RO16 (a la riera de de la Resclosa) el RO2 (a la riera Verneda), i el RO1 (a la riera Benaula), on a l'estiu baixa la proporció de Cl^- , respecte la resta d'anions.

El punt de mostreig més proper a la capçalera de la riera Gotarra (RO11) també es comporta com els punts anteriors. És un curs que rep les aigües residuals d'unes urbanitzacions de Llagostera, i tot i que no afecten massa a la qualitat fisicoquímica de l'aigua, produeixen només un lleuger augment de la proporció de Na^+ , respecte a la resta de cations, i dels Cl^- , pel que fa als anions, durant els mesos d'hivern i primavera.

Aigües avall però, la Gotarra es comporta de manera similar a l'Onyar. D'una banda, a l'estiu pateix l'assecamment, en certa mesura induït per l'extracció d'aigües subterrànies en el seu tram mig (el punt

RO15 està totalment sec). De l'altra, abans del RO4 rep l'abocament d'una de les depuradores més importants de la depressió, la de Cassà-Llagostera, fent que a partir d'aquest punt sigui permanent durant tot l'any. Al tractar-se d'una riera més aviat petita, no es pot produir la dilució adequada d'aquest abocament i les aigües passen a ser clarament bicarbonatades sòdiques durant els mesos d'estiu.

Conca de la riera de Sta. Coloma.

A la Figura 3.9 es representa el diagrama de Piper de les mostres d'aigües superficials preses a la riera de Sta. Coloma a la campanya de l'hivern i de l'estiu de 2004, així com les mostres preses a l'al·luvial d'aquesta riera i al de la riera de Sta. Maria. En el cas de les mostres d'aigües superficials s'han representat en forma de quadrat, que anava disminuint de mida en el sentit del flux; amb el contorn de color negre, s'ha representat les mostres de la campanya d'hivern, i amb el contorn de color gris, les de l'estiu. En el cas de les aigües subterrànies, s'han representat en forma de rodona, que també disminuïa de mida en el sentit del flux. En aquest cas, s'ha representat el contorn de la rodona de color gris, per les mostres preses a la primavera de 2003 i en color negre per les mostres preses a l'estiu de 2004. Finalment, la línia de color negre indica la direcció del flux en les aigües superficials de la riera de Sta. Coloma a la campanya de l'hivern, i la de l'estiu, s'ha representat amb puntejat de color gris clar.

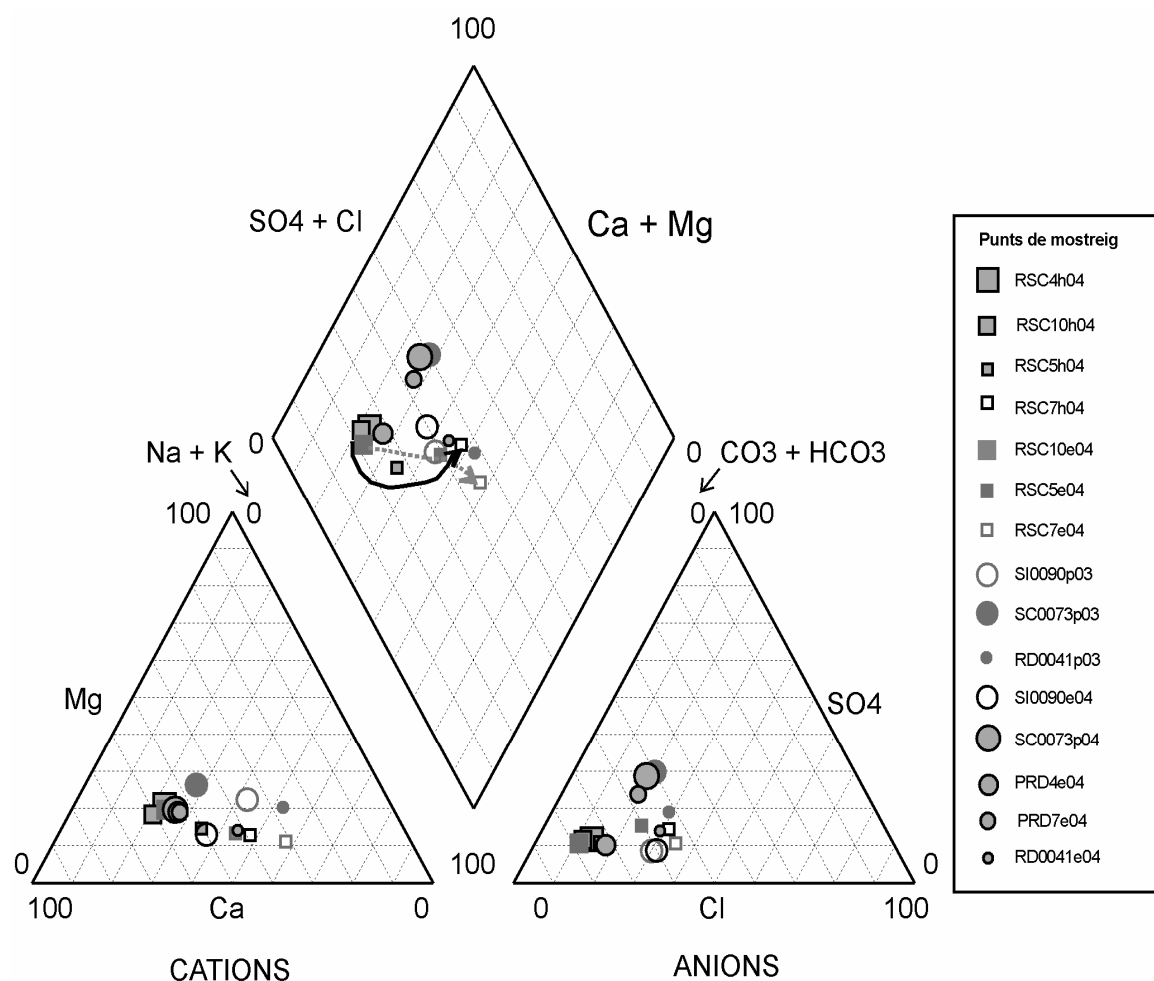


Figura 3.9: Diagrama de Piper de les mostres de l'aqüífer al·luvial i de les aigües superficials de la riera de Sta. Coloma (hivern i estiu de 2004). La línia de color negre representa la direcció de flux (des de la capçalera a la desembocadura) de les aigües superficials de la riera de Sta. Coloma al gener de 2004 i en puntejat de color gris, la línia de flux a l'agost de 2004.

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

L'aigua de l'aqüífer al·luvial de la riera de Sta. Coloma i dels seus afluents no presenta unes característiques tant homogènies com les de l'al·luvial del riu Onyar. El fet que l'aqüífer al·luvial a la zona de Riudarenes presenti una capa de llims i argiles intercalada aproximadament als 8 m de profunditat, permet que es creïn condicions reductores a profunditats superiors i que l'aigua presenti característiques diferents a les de la part superficial, on les condicions són oxidants. Concretament, els pous situats a l'aqüífer al·luvial profund presenten concentracions molt elevades de ferro i manganès (al PRD4 i al RD0041 la concentració de ferro es troba entre els 7 i 15 mg/l), i, pel que fa als compostos nitrogenats, es presenten en la seva forma més reduïda, l'amoni.

A més, l'aqüífer al·luvial de la riera de Sta. Coloma es troba situat just a sobre de la falla de Sta. Coloma, i a part de rebre les aportacions de les aigües procedents del Neogen superficial i del sauló de les Guilleries, podria rebre aportacions d'aigües profundes, localment termals, que es caracteritzen per presentar elevades concentracions de F^- i ser bicarbonatades sòdiques.

Totes les mostres de l'aqüífer al·luvial analitzades es troben dins el grup de les bicarbonatades (tant a les mostres preses al maig de 2003, com a les de l'agost de 2004), si bé les concentracions dels cations són més heterogènies tant en l'espai com en el temps (Figura 3.9).

A la Figura 3.9 es pot observar que d'una banda, les mostres preses a Sta. Coloma i als pous municipals de Riudarenes (SC0073, PRD4 i PRD7) es troben en el grup de les bicarbonatades càlciques. I de l'altra, es troben les mostres preses a l'al·luvial de la riera de Sta. Maria (SI0090) i a l'al·luvial profund de Riudarenes, aigües avall del nucli urbà (RD0041), que presenten una concentració més gran de Na^+ i K^+ que les anteriors.

Durant els mesos d'estiu, s'ha observat un enriquiment en Na^+ i K^+ a la riera de Sta. Coloma en el sentit del flux. Degut a les aportacions de les depuradores i als abocaments de les aigües termals (tant de Sta. Coloma com de Caldes), l'aigua passa de bicarbonatada càlcica (al RSC10) a bicarbonatada sòdica (al RSC7). El fet que la proporció de clorurs, no augmenti tant com la de sodi (com es produïa en els abocaments de la conca de l'Onyar) fa pensar que aquest canvi en la fàcies hidroquímica estigui determinat, sobretot, per les aigües termals abocades que es caracteritzen per ser bicarbonatades sòdiques. Aquest fet es constata a l'estudiar les analítiques de F^- de l'agost de 2004, en les que al punt RSC10 no se'n detecta, però al RSC5 i RSC7 s'observen concentracions de 0,8 i 0,6 mg/l, respectivament. El RSC7 també rep les aigües de la Sèquia de Sils que provenen de Caldes de Malavella i que tenen un elevat contingut en fluor (1,2 mg de F^-/l ; Figura 3.9 i Figura 3.10). Així, el RSC7, tot i rebre aportacions d'altres afluents, continua mantenint un contingut de fluor relativament alt. Les concentracions d'aquest halur a les aigües superficials són superiors a les que s'observa a l'aqüífer al·luvial d'aquestes zones (entre 0,2 i 0,5 mg F^-/l), fet que confirma que aquest halur prové dels abocaments de les termes i embotelladores, i no d'una possible aportació de l'aqüífer al·luvial.

També cal destacar, que durant els mesos d'estiu, aquest riu rep aportacions del Ter. Aquestes aportacions permeten que les extraccions d'aigua a l'aqüífer al·luvial no afectin tant el seu cabal com en el cas de la plana de l'Onyar, que no es produeixi el seu assecament i que així es pugui produir una millor dilució de les aigües abocades.

Les analítiques realitzades a l'hivern i primavera de 2004 mostren que les aigües del RSC5 s'aproximen molt més a les característiques dels punts RSC10 i RSC4, indicant una molt millor dilució de les aigües residuals abocades. I també s'observa que en el punt RSC7, la concentració de Na^+ és molt més baixa, fet que no permet classificar les seves aigües com a bicarbonatades sòdiques (Figura 3.9).

Finalment, la Figura 3.10 representa el diagrama de Piper per les mostres dels afluents de la riera de Sta. Coloma, a les campanyes de primavera i estiu de 2004. Les mostres de la primera de les campanyes presenten el contorn de color negre, mentre que les de la segona, el tenen de color gris. En aquest cas també s'hi ha representat les mostres d'aigua subterrània preses a l'al·luvial de la riera de Sta. Maria (SI0090) i de la riera de Sta. Coloma just abans de la seva confluència amb la Sèquia de Sils (RD0041). En puntejat negre s'ha representat l'evolució de les característiques de l'aigua del punt RSC9 (al Reclar) entre les campanyes de primavera i estiu; amb una línia de color negre s'ha representat l'evolució de les característiques de l'aigua del punt RSC3 (a la riera de Vallcanera) entre la campanya de primavera i estiu; i finalment, amb una línia de color gris, s'ha representat la direcció del flux des de la riera de Sta. Maria (RSC1) fins a la riera de Sta. Coloma (RSC7) i passant per la Sèquia de Sils (RSC8) durant la campanya de primavera de 2004.

Així, es pot observar que hi ha tot una sèrie de punts en els que no s'observen canvis en la seva fàcies hidroquímica al llarg de l'any (el RSC6 i el RSC4). Aquests punts es caracteritzen per ser els únics que no pateixen cap tipus de perturbació antròpica prou important perquè afecti significativament les característiques fisicoquímiques de l'aigua, i les seves aigües es troben dins el grup de les bicarbonatades càlciques.

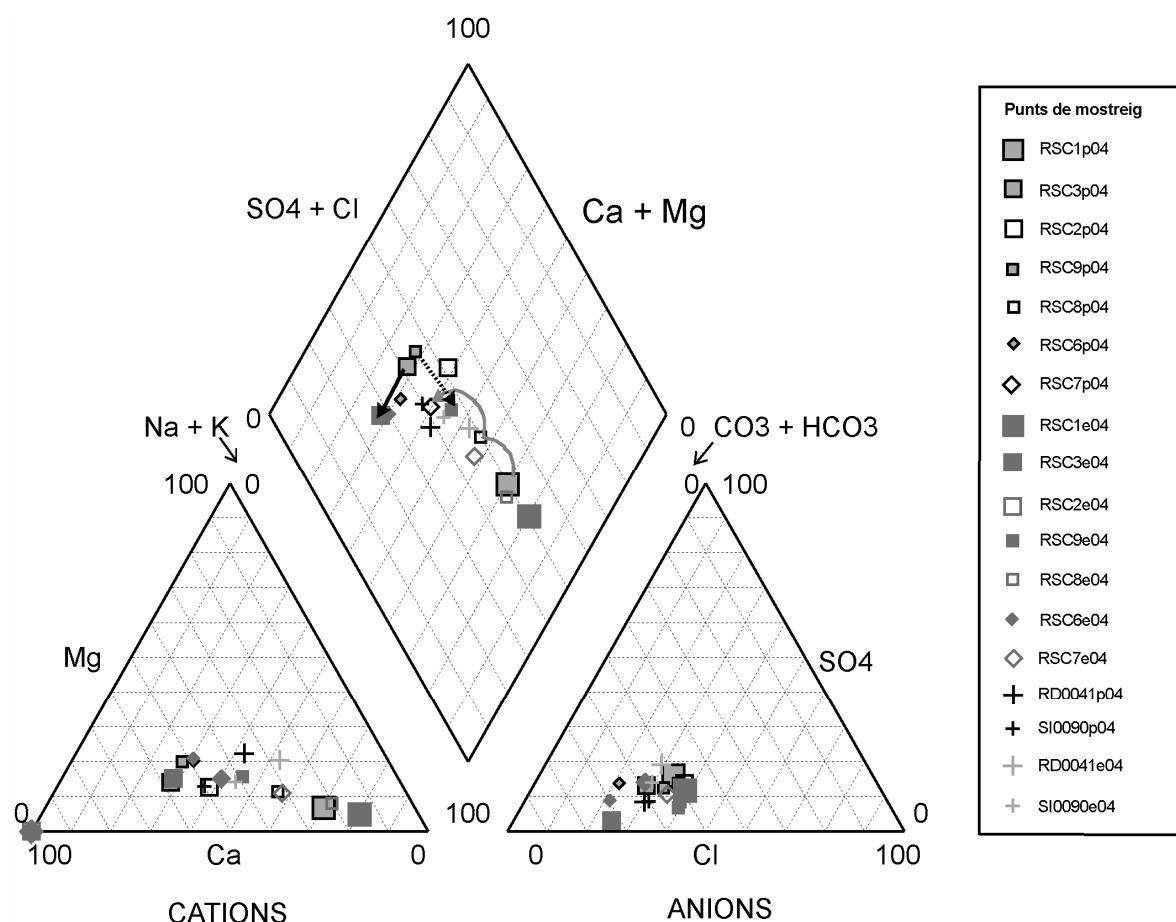


Figura 3.10: Evolució de les característiques de les aigües dels afluents de la riera de Sta. Coloma, entre la primavera i l'estiu de 2004. En puntejat negre s'ha representat l'evolució de les característiques de l'aigua del RSC9 entre la primavera i l'estiu de 2004; la línia negra representa l'evolució de les característiques de l'aigua al RSC3 entre la primavera i estiu de 2004; i la línia gris representa la direcció de flux des de la riera de Sta. Maria (RSC1), passant per la Sèquia de Sils (RSC8) i fins a la riera de Sta. Coloma (RSC7).

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

En segon lloc es troba la Sèquia de Sils (RSC8) i tots els seus afluents, que presenten característiques molt diverses (Figura 3.10):

- La riera de Vallcanera en el punt RSC3 es comporta com alguns dels afluents del riu Onyar, en els que a l'estiu les característiques de l'aigua s'aproximen més a les de l'aqüífer que a l'hivern i primavera. En aquesta estació de mostreig, durant el període estival s'observa un descens de la proporció de clorurs, respecte a la resta d'anions, tot i que pel que fa als cations mantenen les seves proporcions més o menys constants al llarg de l'any. Aigües avall d'aquest punt, la riera de Vallcanera rep aportacions d'aigües residuals sense tractament (procedents de punts negres del sanejament de la urbanització de Vallcanera), de manera que s'enriqueix en sodi i clorurs.
- El Reclar (RSC9) és una riera que a la seva capçalera rep les aigües residuals de la urbanització de Can Carbonell (Caldes de Malavella). A diferència d'altres afluents d'aquestes característiques, aquest curs no s'asseca durant els mesos d'estiu, perquè és quan més aportacions rep d'aigües residuals. És en aquesta època que la concentració de Na^+ i Cl^- és més elevada (amb concentracions de 173 i 253 mg/l, respectivament), i la conductivitat es duplica passant a valors superiors als 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A l'hivern, en canvi, és quan les característiques d'aquesta aigua s'aproximen més a la dels punts de capçalera com el RSC10, RSC6 o RSC4, tot i presentar encara conductivitats molt més altes que en aquests punts.
- La riera de Sta. Maria, rep les aigües residuals de la depuradora municipal de Caldes de Malavella i també les aigües termals sobrants de les embotelladores, així com les seves aigües residuals tractades. Com en altres municipis de la depressió, el subministrament d'aigua municipal de Caldes presenta problemes de F^- . Durant l'estiu és quan hi ha la major demanda d'aigua, fent que la major part dels pous municipals s'assequin. És llavors quan es reforça el subministrament utilitzant un pou, les aigües del qual presenten concentracions elevades en F^- (6,8 mg/l), i una fàcies marcadament bicarbonatada sòdica (com la de les aigües termals). En aquest sentit, les aigües residuals tractades per l'EDAR de Caldes poden presentar una certa concentració de fluorurs així com una elevada concentració de sodi. Així, aigües avall d'aquests abocaments, l'aigua del punt RSC1 presenta una fàcies eminentment sòdica. D'altra banda, pel que fa als anions, en les campanyes realitzades a l'hivern, primavera i estiu de 2004 estaria dins el grup de les bicarbonatades, però a l'estiu de 2003, la concentració de clorurs és prou alta com per classificar-la dins les clorurades sòdiques.
Si es compara l'aigua de la riera de Sta. Maria amb la del seu aqüífer, es pot observar que la concentració de Cl^- i Na^+ és molt més elevada al riu. Les conductivitats mesurades en aquest curs fluvial són sempre de dues a tres vegades superiors a les de l'aqüífer, i també s'observa que a l'estiu de 2004 la concentració de F^- a la riera supera amb escreix la de l'aqüífer, presentant valors de 2,3 i 0,6 mg/l, respectivament. Si bé inicialment les aportacions de fluorurs a l'aqüífer al·luvial podrien atribuir-se a una recàrrega profunda produïda per l'ascens d'aigües termals, el fet que l'aigua de l'aqüífer sigui clarament bicarbonatada càlcica i que siguin les aigües de la riera les que presentin unes característiques molt més pròximes a les de les aigües termals de la zona, suggereix la infiltració d'aigua de la riera a l'aqüífer.

Finalment, a la Sèquia de Sils hi desemboquen totes les rieres descrites anteriorment, a més d'altres cursos fluvials en els que s'hi aboquen les aigües de les depuradores de Sils-Vidreres, les aigües residuals de les urbanitzacions de Vidreres i la depuradora de Maçanet. Conseqüentment, al RSC8 l'aigua és bicarbonatada sòdica durant tot l'any, integrant els efectes de les diverses rieres. I en relació al contingut en fluor, en aquest punt la concentració mesurada a l'agost de 2004 és de 1,2 mg/l.

3.6. INDICADORS BIOLÒGICS.

3.6.1. Qualitat biològica de les aigües superficials.

A partir de la comunitat de macroinvertebrats mostrejada, s'ha aplicat l'índex IBMWP per tal de determinar la qualitat biològica de l'aigua. Els macroinvertebrats s'han mostrejat en tots els punts que presentaven un cabal mínim, o si més no, prou aigua per allotjar-hi una comunitat ben estructurada i pròpia d'aquell sistema. D'altra banda, també s'ha mostrejat aquells punts que després d'una època en què havien estat secs presentaven un cabal d'escorriments recent (com en la campanya de tardor de 2003). En aquest cas però, no es pot entendre l'IBMWP com un valor real de la qualitat biològica de l'aigua en aquests punts, atès que en alguns dels punts mostrejats la comunitat que s'hi trobava era una comunitat de colonització i no representativa de la qualitat biològica de l'aigua.

A les Figures 3.11, 3.12 i 3.13 es presenta els valors obtinguts en la determinació de la qualitat biològica de les aigües superficials a les diverses campanyes realitzades en el riu Onyar, als seus afluents, i als punts de mostreig situats a la conca de la riera de Sta. Coloma. De la mateixa manera, a l'Annex també es presenta una taula amb els resultats obtinguts en la determinació de l'IBMWP, i diverses taules amb els macroinvertebrats utilitzats per a la determinació d'aquest índex en cadascuna de les campanyes i punts de mostreig estudiats.

Conca del riu Onyar.

A la conca de l'Onyar els plecòpters hi estan representats pels perlòdids, nemúrids i leúctrids. Els perlòdids s'han localitzat en tots els punts propers a les capçaleres dels rius, però també en punts dels trams mitjos com el RO5 (a la riera Benaula), el RO15 (a la Gotarra) i al RO6 i RO12 (al riu Onyar). En el cas dels nemúrids, també se n'han pogut detectar en tots aquests punts, exceptuant al RO12. I finalment els leúctrids s'han localitzat en punts propers a la capçalera de l'Onyar (RO13), de la Gotarra (RO11), a la Verneda (RO2), i en els trams mitjos de la Benaula (RO5) i de l'Onyar (RO7).

La comunitat d'efemeròpters està ben representada en aquesta conca, sobretot a l'hivern i a la primavera, atès que durant la resta d'estacions a la major part dels punts estudiats només hi ha bètids o cènids. Així, a l'hivern i a la primavera, en els punts de mostreig dels diversos afluents s'hi ha localitzat com a màxim tres famílies d'efemeròpters diferents. En canvi, als punts situats al riu Onyar (exceptuant el RO8 i el RO9 a la campanya d'hivern, i el RO10 en totes les campanyes) s'hi ha localitzat de 4 a 5 famílies d'efemeròpters diferents (bètids, cènids, efemerèl·lids, heptagènids i leptoflèbids).

Les famílies de tricòpters en aquesta conca s'han localitzat de manera puntual, tant en l'espai com en el temps. El fet que molts dels punts mostrejats amb bones qualitats fisicoquímiques de l'aigua siguin temporals i que en la major part dels casos tinguin un substrat format bàsicament per grava, sorres i materials més fins, dificulta la presència d'algunes famílies de tricòpters presents en estacions de mostreig de la conca de la riera de Sta. Coloma (com els odontocèrids, branquicètrids o els goèrids). Només s'ha localitzat hidropsíquids de manera puntual al curs principal del riu Onyar (RO6, RO7 i RO10), i a la capçalera de la riera Gotarra (RO11). Conjuntament amb els hidropsíquids, els limnefílids són els tricòpters que s'han observat en més estacions de mostreig. Aquesta família de tricòpters és present tant en punts com el RO8, RO13 i RO6 (al curs principal del riu Onyar), com a la capçalera de la riera Benaula (RO1) i, al tram mig i a la capçalera de la Gotarra (RO15 i RO11). És en aquest últim tram (RO11), on també s'hi ha localitzat la resta dels tricòpters presents en aquesta conca, com els filopotàmid, policentropòdids, leptocètrids i hidrotífid.

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

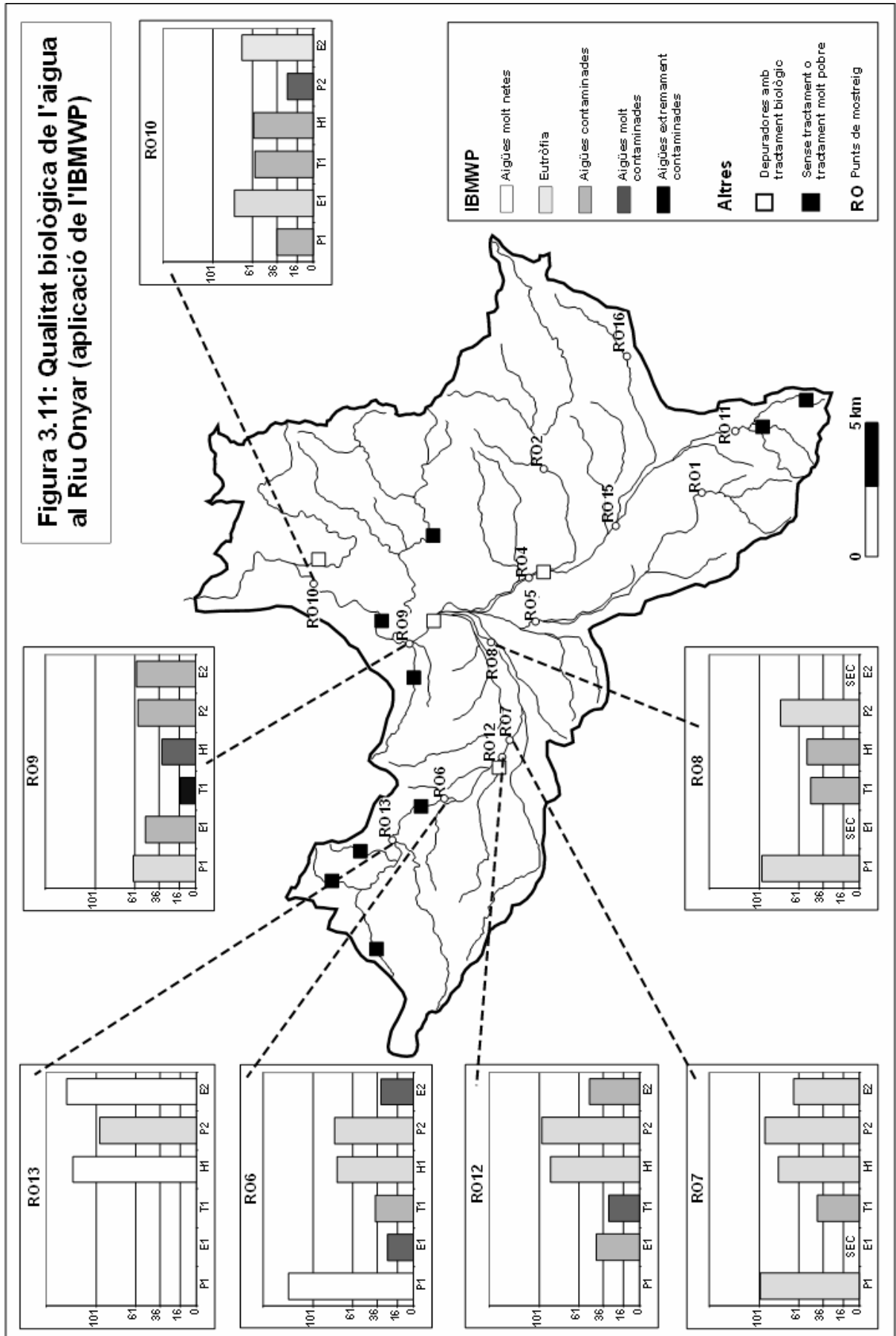
Els coleòpters, heteròpters i odonats estan ben representats en aquesta conca, sobretot a finals de primavera i a l'estiu, que és quan es redueix el cabal dels cursos fluvials i augmenten les zones lenfíiques, on viuen la major part d'aquests macroinvertebrats. Pel que respecta als coleòpters, els més ben representats són els ditíscids i els èlmids, tant en el nombre d'estacions de mostreig que han estat observats, com al llarg de les diferents campanyes. Mentre que els ditíscids habiten habitualment en sistemes lenfíics, els èlmids requereixen que els rius on habiten tinguin un temps mínim amb aigua circulant (Puig, 1999), però en ambdós casos han estat detectats en la major part dels punts de mostreig. A més d'aquests coleòpters, també s'han detectat de manera puntual girínids, hidrofílids, helofòrids i hidrènids, entre d'altres.

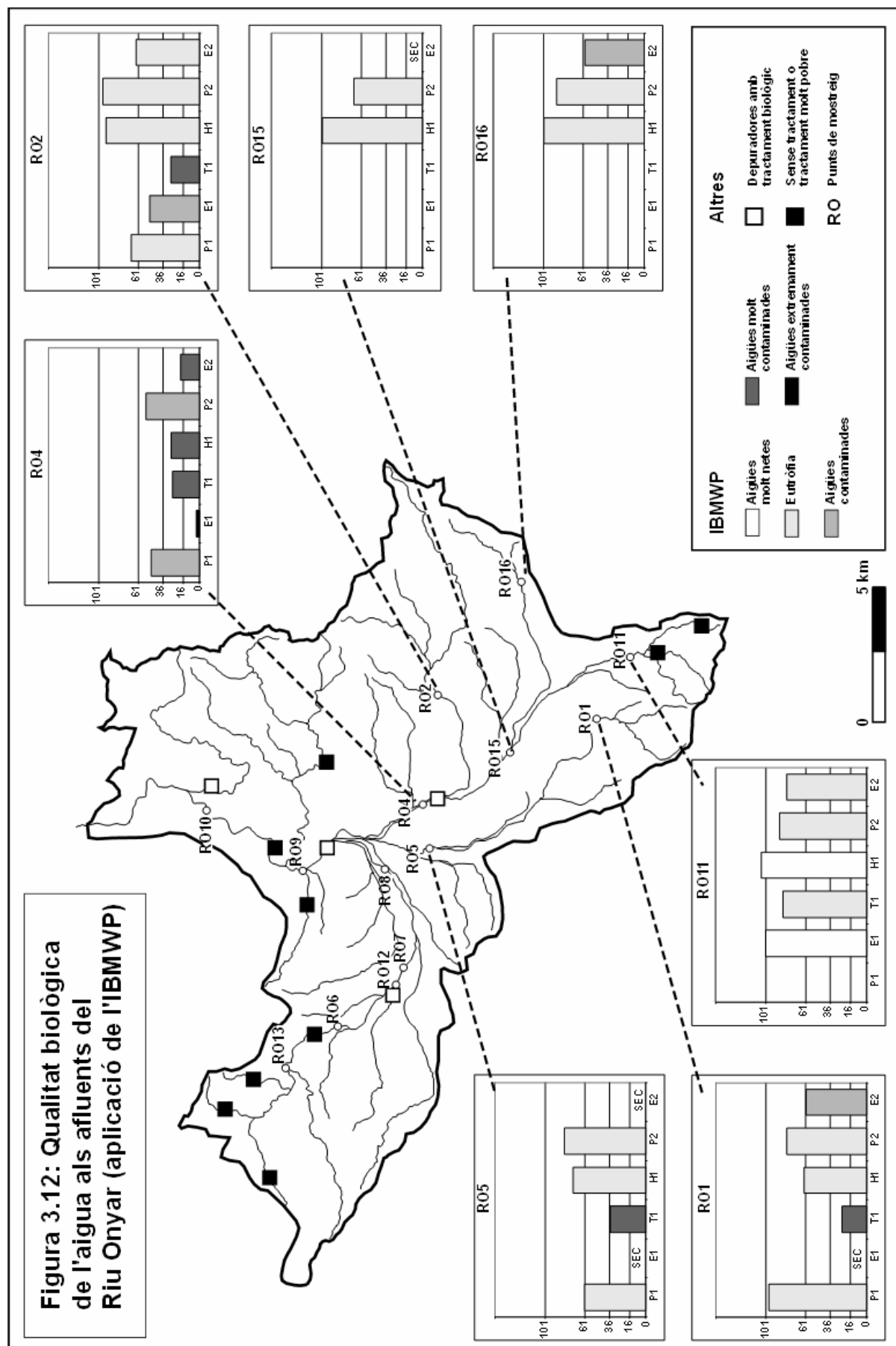
Pel que respecta als heteròptes, les famílies que es distribueixen més àmpliament en aquesta conca són els gèrrids, hidromètrids i vèlids. En tots tres casos, es tracta d'heteròpters semiaquàtics que viuen en grups damunt la superfície de l'aigua, a les vores arrecerades dels rius, i que s'han observat en la major part dels mostrejos, exceptuant la tardor i hivern, quan la presència de zones lenfíiques en els cursos estudiats disminueix. A més d'aquests heteròpters, principalment a la primavera i estiu també s'han detectat coríxids, nèpids i notonèctids, en les basses de les capçaleres dels rius (com el RO2, RO11, RO16 i RO13, entre d'altres), així com en alguns punts del curs mig de l'Onyar (RO6, RO7 i RO12).

En el cas dels odonats, estan representats, principalment, pels cenàgrids (que s'han detectat en la major part dels punts mostrejats en alguna de les campanyes), i de manera més puntual pels platicnèmids (que han estat observats a la campanya d'estiu de 2004 en la major part de les capçaleres dels rius estudiats com el RO1, RO16, RO11 i RO13, i també en molts punts del tram mig de l'Onyar, com el RO7, RO9 i RO10). A més d'aquestes dues famílies també s'han detectat puntualment èsnids, lèstids i calopterígids, en algunes capçaleres i, gòmfids i libel·lúlids, en el tram mig del riu Onyar i de la riera Gotarra (en el segon cas).

A la conca de l'Onyar els dípters més ben representats són els quironòmids i els simúlids, exceptuant a l'estiu, en què els culícids esdevenen també abundants en molts dels punts mostrejats, sobretot en aquells on hi ha més problemes de qualitat. És aquests últims punts (concretament al RO4, RO6 i RO12), on a la campanya d'estiu de 2004 també s'hi ha detectat sírfids, uns dípters que estan especialitzats a viure en zones amb sediments anòxics, és a dir, en trams que poden estar completament pol·luïts. D'altra banda, també s'han observat tot una sèrie de famílies de dípters, que si bé no tenen una distribució tant àmplia, són presents en la major part de cursos fluvials, com els limònids, psicòdids, ceratopogònids, estratiòmids, tabànids i tipúlids, entre d'altres. I finalment hi hauria els díxids i aterícids, que només s'haurien localitzat en punts de les capçaleres com el RO16, RO13, RO1 o RO2.

A més dels insectes descrits anteriorment, a la conca de l'Onyar també s'han pogut observar una àmplia distribució dels mol·luscs, sobretot dels ancílids i físids, tot i que també s'han detectat bitinèl·lids, hidròbids, limnèlids, en molts punts i, planòrbids al RO2 i ferríssids al RO10. També s'han observat planàries (concretament, dugèsids) únicament al RO10. Dins els anèl·lids s'han detectat oligoquets en totes les campanyes i tots els punts de mostreig i s'han pogut observar hirudinis com els erpobdèl·lids i glossifònids, de manera puntual, en la major part de cursos fluvials. Finalment, pel que respecta als crustacis, mentre que els ostràcodes s'han detectat en tots els cursos, només s'han pogut observar asèl·lids als afluents del riu Onyar.





En relació a la qualitat biològica, al riu Onyar únicament en els punts situats més a prop de la capçalera (RO13 i RO6) s'hi ha obtingut una bona qualitat de les aigües en algunes de les diverses campanyes realitzades. Cal destacar que en el cas del RO6, només en la primera de les sis campanyes realitzades s'hi va obtenir aquests valors alts de l'IBMWP. És a partir de la campanya d'estiu de 2003 que es produeix una davallada de la qualitat biològica que no es recupera suficientment durant els mesos més freds com per poder tornar assolir els bons nivells de la primavera de 2003 (Figura 3.11). Així, en el RO6, conjuntament amb el RO12, RO9 i RO10, és on s'hi ha detectat més problemes de qualitat, atès que són els punts que estan situats després dels abocaments principals d'aigües residuals en el riu Onyar. En general, en aquests punts el valor de la qualitat biològica de l'aigua està dins del grup de les aigües amb eutròfia, les aigües contaminades i les molt contaminades.

En el cas del RO10, es pot observar una millora de la qualitat biològica durant els mesos d'estiu. Aquesta millora es produeix perquè la disminució del cabal i l'augment de zones lenítiques permet l'augment del nombre de famílies de coleòpters i heteròpters, típiques d'aquests ambients i també més tolerants a problemes de contaminació d'origen orgànic. D'aquesta manera, tot i que durant els mesos d'estiu la qualitat fisicoquímica de l'aigua disminueix en aquest punt, millora la qualitat biològica al permetre la presència de famílies de macroinvertebrats pròpies d'ambients lenítics.

En els punts RO7 i RO8, situats aigües avall de la depuradora de Vilobí d'Onyar, s'obtenen millors qualitats que en el RO12 (situat just després de l'abocament) en les campanyes d'estiu i tardor, però en canvi, en les de l'hivern i primavera, s'obtenen valors més alts de l'IBMWP al RO12 (Figura 3.11). Cal destacar, que entre el RO7 i RO8 hi ha la desembocadura d'un petit afluent del riu Onyar en el que també s'hi ha observat abocaments quan es produeixen precipitacions importants, suposadament procedents dels sobreexidors de la urbanització Sta. Coloma Residencial, cosa que podria explicar la pitjor qualitat obtinguda en el RO8, respecte del RO7 durant la campanya d'hivern.

En el cas dels afluents del riu Onyar, exceptuant el punt situat després de l'abocament de la depuradora de Cassà-Llagostera (RO4), tots els punts mostrejats són intermitents o efímers durant els mesos d'estiu.

Segons Bonada (2003), en els trams efímers s'espera trobar una diversitat més baixa que en cursos permanents o intermitents, atès que la colonització d'un nou hàbitat implica un gran desenvolupament i abundància d'espècies molt resistents. En canvi, en trams intermitents i permanents, on l'aigua hi roman durant un llarg període de temps, s'han observat augments de diversitat. En aquest sentit, la durada de l'estació seca, és un factor molt important, per tal de determinar la diversitat en aquests cursos, de manera que com més llarga sigui, més baixa serà la diversitat. D'altra banda, en els rius mediterranis, l'elevada variabilitat interanual en les precipitacions, i cabals, pot implicar una variabilitat interanual en les condicions de temporalitat de cada tram.

Aquest fet podria ser una de les causes que explicaria els valors més baixos de diversitat i, conseqüentment, de qualitat biològica de les aigües, obtinguts en punts on per les característiques fisicoquímiques de l'aigua, haurien de presentar valors més alts en l'IBMWP. En aquest sentit, alguns estudis sobre l'aplicació de l'índex IBMWP en rius mediterranis, intenten establir nous límits entre els diversos rangs de qualitat, que s'aproximin més a la qualitat biològica real dels rius temporals. En un estadi inicial del projecte GUADALMED per atorgar aquests nous límits, es va observar que havien de ser inferiors als dels rius permanents. D'altra banda, es va comptar amb un nombre molt baix d'estacions de referència d'aquest tipus i consideraven que calia ampliar el nombre d'aquest tipus d'estacions perquè els resultats fossin més consistents (Alba-Tecedor et al. ; 2002).

Així, en aquests cursos, el punt en el que s'han observat unes qualitats biològiques més altes, és al RO11, situat a la capçalera de la riera Gotarra (Figura 3.12). En aquest tram, tot i que aigües amunt hi ha urbanitzacions amb certs problemes en el sanejament de les aigües residuals, s'han obtingut qualitats biològiques molt bones durant les campanyes d'estiu de 2003 i d'hivern de 2004. Aigües avall, al RO15, la qualitat biològica de l'aigua disminueix. A diferència del tram anterior (que durant l'estiu és intermitent), aquest punt és efímer i s'asseca totalment durant els mesos d'estiu. A més, quan es produeixen fortes precipitacions rep les aigües dels sobreeixidors del sistema de clavegueram de Llagostera, fet que pot conduir a una davallada de la qualitat. Finalment, el RO4, és l'estació de mostreig que presenta més problemes de qualitat biològica de les aigües a la conca de l'Onyar. Aquests problemes estan causats per la baixa qualitat fisicoquímica de les aigües en aquest punt, degut a l'abocament de l'EDAR de Cassà de la Selva-Llagostera. Els valors més alts de l'IBMWP en aquest punt s'han obtingut a la primavera (situant-se dins el grup de les aigües contaminades) i els més baixos a l'estiu (situant-se entre el grup de les aigües molt contaminades o extremament contaminades).

A la riera Benaula s'hi ha realitzat el mostreig en dos punts, al RO1, prop de la seva capçalera, i al RO5, cap a la seva desembocadura. Aquests dos trams es caracteritzen per ser efímers durant l'estiu, exceptuant en la campanya de l'estiu de 2004 en què el RO1 era intermitent. Aigües amunt del RO1, hi ha abocaments d'aigües residuals d'unes poques cases, que al tractar-se d'un curs amb un cabal relativament petit, poden donar lloc a problemes d'eutròfia. I a més es caracteritza per presentar un substrat pobre en blocs i còdols grans. Entre el RO1 i el RO5, en anys anteriors als mostrejos, s'hi havien detectat episodis d'abocaments incontrolats d'aigües residuals, que fins i tot van arribar a afectar els pous municipals de Caldes de Malavella, situats a l'al·luvial d'aquesta riera (ajuntament, St. Andreu Salou, 17/12/04). A més, el RO5 es caracteritza per presentar un pendent molt suau, i tenir el llit cobert únicament per sorra en la major part del tram estudiat. Això fa que la freqüència de ràpids durant la major part de l'any sigui molt baixa, i que així, molts organismes adaptats a viure en aquests ambients no hi puguin ésser presents. Així, segons la classificació de les aigües obtinguda a través de l'IBMWP, en aquests dos punts el nivell de qualitat estaria dins el grup de les aigües amb eutròfia, en la major part de l'any (Figura 3.12).

El RO2 (a la riera Verneda) i el RO16 (a la riera de la Resclosa) es caracteritzen per ser intermitents durant els mesos d'estiu. A diferència d'altres punts com el RSC4 i RSC6, que tenen característiques similars pel que fa al cabal i als paràmetres fisicoquímics, el RO16 es caracteritza per presentar una diversitat d'ambients més baixa, atès que el seu substrat està format, bàsicament per materials de la mida de les sorres, llims i graves. Aigües amunt d'aquests dos punts també s'hi produeixen abocaments d'aigües residuals d'uns pocs habitatges, i en el RO2, a més, hi aboquen els sobreeixidors de la xarxa de clavegueram del Mas Cubell. En aquests dos punts, així com en el RO1 i RO5, s'observen les millors qualitats durant els mesos d'hivern i primavera (obtenint-se valors dins el rang de les aigües amb eutròfia). La qualitat a l'estiu disminueix, però és a la tardor quan es veuen més afectats per la pertorbació que suposen les avingudes freqüents en aquesta època de l'any i presenten qualitats que estarien dins el grup de les aigües molt contaminades (Figura 3.12).

Conca de la riera de Sta. Coloma.

A la conca de la riera de Sta. Coloma s'hi ha pogut observar una comunitat de plecòpters abundant i formada per famílies de nemúrids, leúctrids i perlòdids, tot i que puntualment també s'han detectat cloropèrlids al RSC6. En general, els plecòpters són presents en els punts situats en zones properes a les capçaleres dels rius i que durant els mesos més freds s'hi ha observat bones qualitats fisicoquímiques de l'aigua (RSC4, RSC6, RSC10).

En el cas dels perlòdids, a més d'aquestes estacions de mostreig, se'ls ha localitzat en d'altres que, tot i que durant l'hivern s'hi observen bones qualitats fisicoquímiques de les aigües, durant l'estiu presenten qualitats més baixes, com és el cas del Reclar (RSC9) i els punts del tram mig i baix de la riera de Sta. Coloma (RSC5 i RSC7). En aquests punts també s'hi ha localitzat leúctrids tot i que només a les campanyes de tardor i hivern (quan els cabals són més importants i les temperatures més baixes). I finalment, els nemúrids s'han localitzat en els punts on les fulles (a partir de les quals es nodreixen) hi són abundants, com en el RSC3 (a la riera de Vallcanera), el RSC9 i el RSC7.

A diferència de les altres estacions de mostreig, el RSC10 és l'únic punt on a l'estiu també hi són presents tant els leúctrids, com els perlòdids atès que el cabal és prou gran, la qualitat fisicoquímica de les aigües es manté, i a l'estar completament en ombra, permet que es mantingui una temperatura suficientment baixa, necessària per la seva presència.

En aquesta conca els efemeròpters estan taxonòmicament ben representats, sobretot a les campanyes realitzades a la primavera i a l'hivern, on en els punts RSC4, RSC6, RSC10, RSC5 i RSC7 s'hi ha localitzat de quatre a cinc famílies diferents d'efemeròpters (bètids, cènids, efemerèl·lids, heptagènids i leptoflèbids). A la resta de punts, s'hi ha localitzat únicament bètids i leptoflèbids, i en alguns d'ells també s'hi ha trobat efemerèl·lids.

En referència a la comunitat de tricòpters, aquesta és complexa en els punts que presenten bones qualitats biològiques i fisicoquímiques de l'aigua en gairebé totes les campanyes realitzades. La riera de Canadell (RSC4), la riera de l'Esparra (RSC6) i el punt més proper de la capçalera de la riera de Sta. Coloma (RSC10), són les estacions de mostreig on s'ha observat una riquesa taxonòmica més gran al llarg de les diverses campanyes realitzades. En el RSC5 (aigües avall de l'EDAR de Sta. Coloma) i al RSC7 (a la confluència entre la riera de Massanes i la riera de Sta. Coloma) els tricòpters també hi són abundants, però sobretot aquells tàxons més tolerants a la contaminació, com els hidropsíquids i hidroptílids.

Si bé en tots els punts mostrejats dels cursos que drenen les Guilleries s'hi ha observat hidropsíquids, a la resta de cursos fluvials no hi són presents. D'altra banda, en punts com el RSC3 (a la riera de Vallcanera) s'hi ha localitzat limnefílids en més d'una campanya, així com puntualment en el RSC9 (al Reclar).

Tot i que hi ha heteròpters, odonats i coleòpters durant tot l'any, és sobretot a finals de primavera i a l'estiu quan són més abundants, atès que amb la disminució del cabal, augmenten les zones lenítiques, essencials per aquests macroinvertebrats. Com a la conca de l'Onyar, els heteròpters que presenten una distribució geogràfica i temporal més àmplia són els gèrrids, hidromètrids i vèlids, tot i que en aquesta conca també hi són presents els coríxids, nèpids i notonèctids de manera més puntual.

Pel que respecta als odonats, a diferència de la conca de l'Onyar, els cenàgrids no són tant abundants, però sí que ho són els gòmfids, caloptèrids i èsnids que s'han detectat en tots els punts de mostreig de la riera Sta. Coloma gairebé en totes les campanyes realitzades, i en alguns dels seus afluents (com el RSC4, RSC6, i RSC9). I finalment, s'han detectat platicnèmids únicament al RSC5 i al RSC9.

En el cas dels coleòpters, en aquesta conca els ditíscids i els èlmids són també els que presenten distribucions geogràfiques i temporals més àmplies, atès que s'han detectat en gairebé tots els punts de mostreig. De manera més puntual però, s'han detectat coleòpters com els halíplids, helofòrids, helòdids i hidrofilids, entre d'altres.

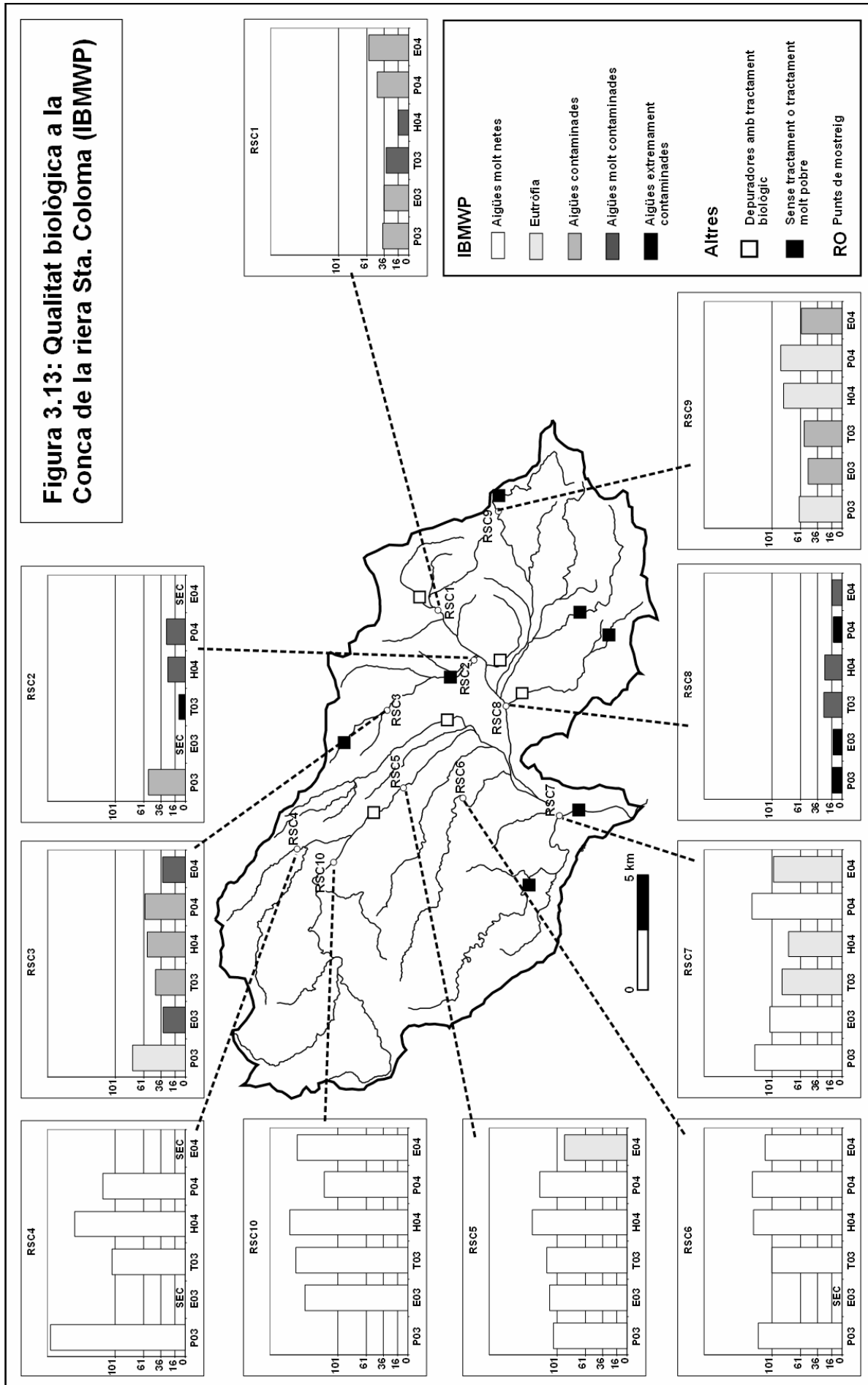
Com a la conca de l'Onyar, els dípters més ben representats són els quironòmids, que n'hi ha en tots els punts mostrejats, durant totes les campanyes realitzades. Aquests són presents fins i tot en els punts amb més problemes de qualitat, on els colonitzen ràpidament, al ser macroinvertebrats tolerants a la contaminació orgànica i de creixement ràpid. Però també estan ben representats els simúlids, que com en el cas dels quironòmids, es troben en massa quan hi ha contaminació d'origen orgànic (Puig, 1999). Després de les famílies de dípters anteriors, els que presenten una distribució més àmplia són els ceratopogònids, limònids, psicòdids, tipúlids i tabànids. I finalment, s'han localitzat de manera puntual empídids, díxids, aterícids i estratiòmids.

A més de les famílies d'insectes anteriors, a la conca de la riera de Sta. Coloma s'ha observat també una àmplia distribució de mol·luscs, sobretot dels ancílids que es troben en tots els punts de mostreig exceptuant el RSC1, RSC2 i RSC8, i els físids que únicament no s'han detectat en el RSC3. Amb una distribució menor, s'han trobat els bitinel·lids, hidròbids, limnèlids, ferríssids i planòrbids. També s'han observat planàries (de la família dels dugèsids) al curs principal de la riera de Sta. Coloma i a la riera de Canadell (RSC4) i dins els anèl·lids, s'han detectat oligoquets en tots els punts i en gairebé totes les campanyes, i hirudinis (erpobdèl·lids i glossifònids) de manera puntual en la majoria de cursos fluvials. Finalment, pel que respecta als crustacis, s'han observat ostràcodes i asèl·lids tant a la riera de Sta. Coloma com als seus afluents, però a diferència de la conca de l'Onyar, també s'han detectat gammàrids a la riera de l'Esparra i a la riera de Sta. Coloma, tot i que només en una de les campanyes realitzades.

En relació a la qualitat biològica de les aigües, a la conca de la riera Sta. Coloma es poden distingir diverses situacions o grups d'estacions de mostreig diferents. D'una banda, es troben aquells punts que presenten una bona qualitat biològica de les aigües al llarg de totes les campanyes realitzades. En aquest grup es troben el RSC6 (a la riera de l'Esparra) i el RSC4 (a la riera de Canadell), que són intermitents o efímers durant els mesos d'estiu; i, el RSC10 (abans de Sta. Coloma), on la riera de Sta. Coloma és permanent durant tot l'any (Figura 3.13). En tots aquests punts, aigües amunt no hi ha abocaments importants d'aigües residuals, i en general també presenten una bona qualitat fisicoquímica de l'aigua.

En segon lloc hi hauria els punts com el RSC5 (després de l'abocament de l'EDAR de Sta. Coloma a la riera de Sta. Coloma) i el RSC7 (a la confluència entre la riera de Massanes i la riera de Sta. Coloma) que presenten una bona qualitat biològica de les aigües, tot i que, depenent de l'època de l'any, també presenten signes d'eutròfia (Figura 3.13). En el primer d'aquests punts, és a la campanya realitzada a l'estiu de 2004 en què s'observa aquesta davallada més important de la qualitat, mentre que en el cas del RSC7, només en els mostrejos de primavera i en el de l'estiu de 2003 presenta una bona qualitat.

Un tercer grup és el format pels punts RSC3 i RSC2 (a la riera de Vallcanera) i el RSC8 (a la Sèquia de Sils). En aquests casos, les baixes qualitats biològiques obtingudes no només depenen dels possibles abocaments d'aigües residuals, tant puntuals com continus, sinó que també poden estar influïdes per les seves limitacions pel que fa a la diversitat d'hàbitats i a les alteracions naturals que suposen les avingudes i sequeres típiques del clima mediterrani. La riera de Vallcanera es caracteritza per ser un curs que, a diferència de la resta de rieres estudiades, drena únicament els materials sedimentaris neògens de la depressió. D'aquesta manera, aquesta riera té un pendent baix i l'aigua sol discórrer en flux laminar en la major part de campanyes (sobretot en el cas del RSC2).



En aquest sentit, espècies típiques d'ambients reòfils com algunes famílies de plecòpters o de tricòpters presents en d'altres rius, no hi són presents. A més, el fet que aquests materials sedimentaris que drenen estiguin formats per argiles, sorres i graves, fa que en el seu llit no hi hagi gairebé blocs ni còdols, substrats on moltes famílies de macroinvertebrats hi troben el seu hàbitat. I finalment, el fet que el RSC3 sigui intermitent i el RSC2 efímer durant els mesos d'estiu, també pot limitar la quantitat de tàxons presents i així a la qualitat biològica de l'aigua. En el cas del RSC2 per exemple, durant el 2003 va estar sec des de finals de juny fins a principis de novembre, moment en què es van produir les primeres precipitacions importants després de l'estiu.

Degut a totes aquestes limitacions, la qualitat biològica de l'aigua obtinguda al RSC3 es troba dins el grup de les aigües amb eutròfia o contaminades durant els mesos més freds i dins les aigües molt contaminades durant l'estiu, quan per la qualitat fisicoquímica detectada hauria de presentar qualitats biològiques més altes. En canvi, en el RSC2, la qualitat biològica disminueix encara més al rebre les aportacions d'aigües residuals sense tractar i en general estaria entre les aigües molt contaminades i extremament contaminades.

En el cas de la Sèquia de Sils es tracta d'un canal de drenatge que es va construir per tal d'assecar l'Estany de Sils. La Sèquia també presenta un substrat argilós i sense còdols o blocs. En aquest punt l'aigua sol discórrer amb un flux laminar, sense que hi hagi zones de ràpids, i està totalment exposat a la llum del sol, exceptuant a prop de les ribes on hi creix el canyís. Si a aquestes característiques se suma una qualitat fisicoquímica baixa, la comunitat de macroinvertebrats que s'hi ha pogut mostrejar és molt limitada, obtenint-se valors de qualitat biològica dins les aigües contaminades i molt contaminades.

Finalment, hi hauria el RSC1 (a la riera de Sta. Maria) i el RSC9 (al Reclar) que es troben situats en cursos petits, després d'abocaments d'aigües residuals. En el cas del RSC9, al tractar-se d'un abocament d'aigües residuals d'una urbanització, durant els mesos d'hivern i primavera la qualitat biològica de l'aigua millora, passant al grup de les aigües amb eutròfia, atès que els abocaments són més reduïts i s'observen millores importants en la qualitat fisicoquímica de l'aigua (Figura 3.13). Però a l'estiu la qualitat biològica de l'aigua disminueix, fins a situar-se en el grup de les aigües contaminades. En canvi, en el cas de la RSC1, la qualitat biològica observada es trobaria entre les aigües contaminades i les molt contaminades durant tot l'any.

3.6.2. Qualitat dels boscos de ribera.

Els boscos de ribera influeixen decisivament tant en la dinàmica hidrològica, com en el funcionament dels ecosistemes fluvials. Al nostre país, s'hi arreceren espècies interessants, ja que aquests indrets són refugi per espècies i comunitats vegetals i animals de les terres més humides del nord, les quals hi troben encara condicions favorables per a créixer-hi (Mas-Pla et al., 1988).

Les funcions dels boscos de ribera en els sistemes fluvials des d'un punt de vista ecosistèmic són múltiples: com ja s'ha esmentat, a més de la seva important funció com a corredors biològics, permeten la formació de refugis per a peixos, mamífers aquàtics i nombrosos invertebrats; són una font de matèria i d'energia pels organismes aquàtics; actuen com a filtres de nutrients, esmorteint així l'eutrofització; i, també regulen el creixement algal, al regular l'entrada de llum.

3. Estat ecològic dels cursos fluvials.

restes d'aquestes zones (Figura 3.14). Concretament, han patit modificacions com la substitució dels verns i altres arbres autòctons per d'altres de creixement més ràpid com els plàtans, pollanques, carolines o robínies i en alguns punts (com el RSC2) el bosc de ribera ha estat molt esclarissat o fins i tot substituït per bardisses.

D'altra banda, a més de la disminució de la cobertura ripària, i les pèrdues en la seva qualitat i estructura, la major part dels cursos fluvials també han patit modificacions en les ribes i riberes. Concretament, per tal de no perdre terreny agrícola i evitar inundacions, es van construir motes que han fet augmentar el pendent de la zona ripària i n'han fet disminuir el canal fluvial. I posteriorment, s'hi van fer replantacions d'arbres de creixement ràpid, per tal de fixar-les i que no es veiessin tant afectades per l'erosió. D'aquesta manera, la qualitat dels boscos també se n'ha vist afectada, tal i com passa en nombrosos punts com al RSC2 (a la riera de Vallcanera), al RO5 (a la riera Benaula), al RO2 (a la riera Verneda) o, al RO4, RO11 i al RO15 (a la riera Gotarra; Figura 3.15).



Figura 3.15: Fotografia de la riera Gotarra en el punt RO15 a la primavera de 2004.

En el cas del riu Onyar, els trams estudiats presenten des de qualitats acceptables a dolentes (Figura 3.14). En el primer tram, situat a la confluència de la riera de St. Martí amb el riu Onyar (RO13), el bosc de ribera ja comença a presentar alteracions importants, tot i ser el tram que presenta la millor qualitat en aquest curs. Aigües avall, aquesta qualitat no es recupera sinó que el bosc ha estat degradat encara més per l'acció antròpica a fi d'evitar les conegudes inundacions. Així, en alguns punts dels trams RO12, RO7 i RO8 es poden observar les esculleres que es van instal·lar a les riberes de l'Onyar per tal que el riu no les erosionés, ni causés més problemes d'inundacions. D'altra banda, la vegetació replantada ha pogut créixer entre els blocs i aquests gairebé no s'aprecien. I finalment, en aquests punts la substitució del bosc de ribera original per altres arbres de creixement més ràpid també s'hi ha produït i es poden observar carolines, pollanques, robínies i plàtans, a més de les replantacions de freixes.

Aigües avall, aquesta escullera desapareix, però el bosc de ribera continua alterat, tal i com s'observa en els trams RO9 i RO10, on el bosc hi és esclarissat i la connectivitat amb altres ecosistemes forestals és inexistent.

Pel que fa als afluents de l'Onyar, en general presenten una qualitat acceptable, exceptuant la riera de la Resclosa al pla de Penedes (RO16), i la riera Benaula a Llagostera (RO1) on la qualitat és bona.

A la conca de la riera de Sta. Coloma, el punt situat aigües avall de l'abocament de la depuradora de Caldes a la riera de Sta. Maria (RSC1) presenta una bona qualitat del bosc de ribera (entre 70-75), però cal destacar que es tracta d'un tram molt reduït i tant aigües amunt com aigües avall aquesta disminueix ràpidament. En aquest tram, l'om és l'espècie dominant, si bé també hi ha freixes i algun vern. D'altra banda, quan es va aigües avall, el bosc de ribera passa a ser molt esclarissat, fins a desaparèixer i posteriorment es substitueix per plantacions de plàtans i robínies.

El mateix succeeix en el punt situat en el torrent de Canadell (RSC4; Figura 3.16) o a la riera de l'Esparra (RSC6; Figura 3.16), on la qualitat del bosc de ribera és bona, tot i la presència d'espècies al·lòctones. En aquests cursos fluvials la qualitat també disminueix, tant aigües amunt com aigües avall del tram estudiat degut a les alteracions causades per la gestió de les diverses plantacions d'arbres existents en aquestes zones.

En el cas de la riera de l'Esparra, cal destacar que després de l'última campanya s'hi ha produït una pèrdua de la qualitat molt important atès que s'ha tallat una de les plantacions adjacents a la ribera, fent disminuir el seu grau de cobertura, així com la seva estructura i qualitat.



Figura 3.16: Fotografia de la riera de Canadell (RSC4) i de la riera de l'Esparra (RSC6)

En els trams mostrejats a la riera de Vallcanera, s'han observat qualitats del bosc de ribera molt diferents (Figura 3.14). Al tram situat prop de la urbanització de Vallcanera (RSC3), presenta una bona qualitat, tot i que amb certes alteracions. A la ribera dreta la connectivitat amb el bosc adjacent és total, cosa que ha permès que l'alteració del bosc de ribera fos mínima. D'altra banda, a la ribera esquerra, part dels verns han estat substituïts per plàtans, i no existeix aquesta connectivitat amb el bosc atès que hi ha una plantació de pollancre.

En canvi, al tram situat aigües avall, prop de la desembocadura de la riera de Vallcanera a la Sèquia de Sils (RSC2), la qualitat del bosc és dolenta. En aquest punt, no hi ha connectivitat amb altres ecosistemes forestals naturals, la cobertura d'arbres és molt més baixa i en gran part ha estat substituïda per bardisses, hi ha hagut una reducció del canal fluvial, i a més, la introducció d'espècies al·lòctones.

El tram RSC8 a la Sèquia de Sils, s'ha tractat com un riu a l'hora de determinar el QBR, tot i tractar-se d'un canal del sistema de drenatge utilitzat per assecat l'Estany de Sils. En aquest tram, la qualitat del bosc de ribera és molt dolenta atès que la cobertura d'arbres és molt baixa, tot i estar completament coberta pel canyís. A més, a part dels freixes també hi són presents espècies com la robínia i els plàtans.

I finalment, tant en els tres trams estudiats a la riera de Sta. Coloma, com al punt situat al Reclar (RSC9) s'hi ha obtingut valors del QBR dins el rang de les qualitats acceptables (RSC9, RSC10 i RSC7) i qualitats dolentes (RSC5; Figura 3.14).

Durant el període estudiat no s'han observat canvis importants en la qualitat dels boscos de ribera, exceptuant alguns casos, com el RO1 (Benaula a Llagostera) i el RSC1 (riera de Sta. Maria), on s'hi ha produït estassades de l'estrat arbustiu en algun dels períodes de mostreig.

3.6.3. Determinació de la qualitat ecològica.

A la Figura 3.17 es presenten els diagrames de caixa de la qualitat biològica de les aigües obtinguda en els diversos cursos fluvials de la depressió de la Selva, a través de l'índex IBMWP, i a la Figura 3.18 s'ha representat d'estat ecològic obtingut en cadascun d'aquests trams estudiats, tant a l'hivern com a l'estiu de 2004. En aquesta segona figura, la part exterior de les rodones representa els resultats obtinguts a la campanya d'hivern, mentre que la interior representa la qualitat obtinguda a la campanya de l'estiu.

A l'avaluar l'estat ecològic a les conques de l'Onyar i la riera de Sta. Coloma, es poden distingir diversos grups de punts o estacions de mostreig (Figura 3.18):

- En primer lloc hi ha totes aquelles estacions on la qualitat ecològica és bona durant tot l'any, o mediocre en només algunes de les campanyes realitzades. Aquests serien els punts on la qualitat del bosc de ribera és bona, però que al presentar algunes perturbacions, no assoleix la qualitat dels boscos en estat natural, i a més, presenten qualitats biològiques de l'aigua molt bones (quan l'estat ecològic és bo), o amb símptomes d'eutrofització (quan l'estat ecològic és mediocre). Dins aquest grup hi ha les estacions de mostreig on la qualitat ecològica és bona durant tot l'any com els situats a la riera de l'Esparra (RSC6), a la riera de Canadell (RSC4), i l'estació situada més a

prop de la capçalera de la riera de Sta. Coloma (RSC10). També hi ha aquells punts on la qualitat ecològica és bona o mediocre, com el situat a la riera de la Resclosa (RO16), el punt situat més a prop de la capçalera de la riera Gotarra (RO11), al riu Onyar, en la seva confluència amb la riera de St. Martí (RO13) i, finalment, el punt situat a la confluència entre la riera de Sta. Coloma i la riera de Massanes (RSC7).

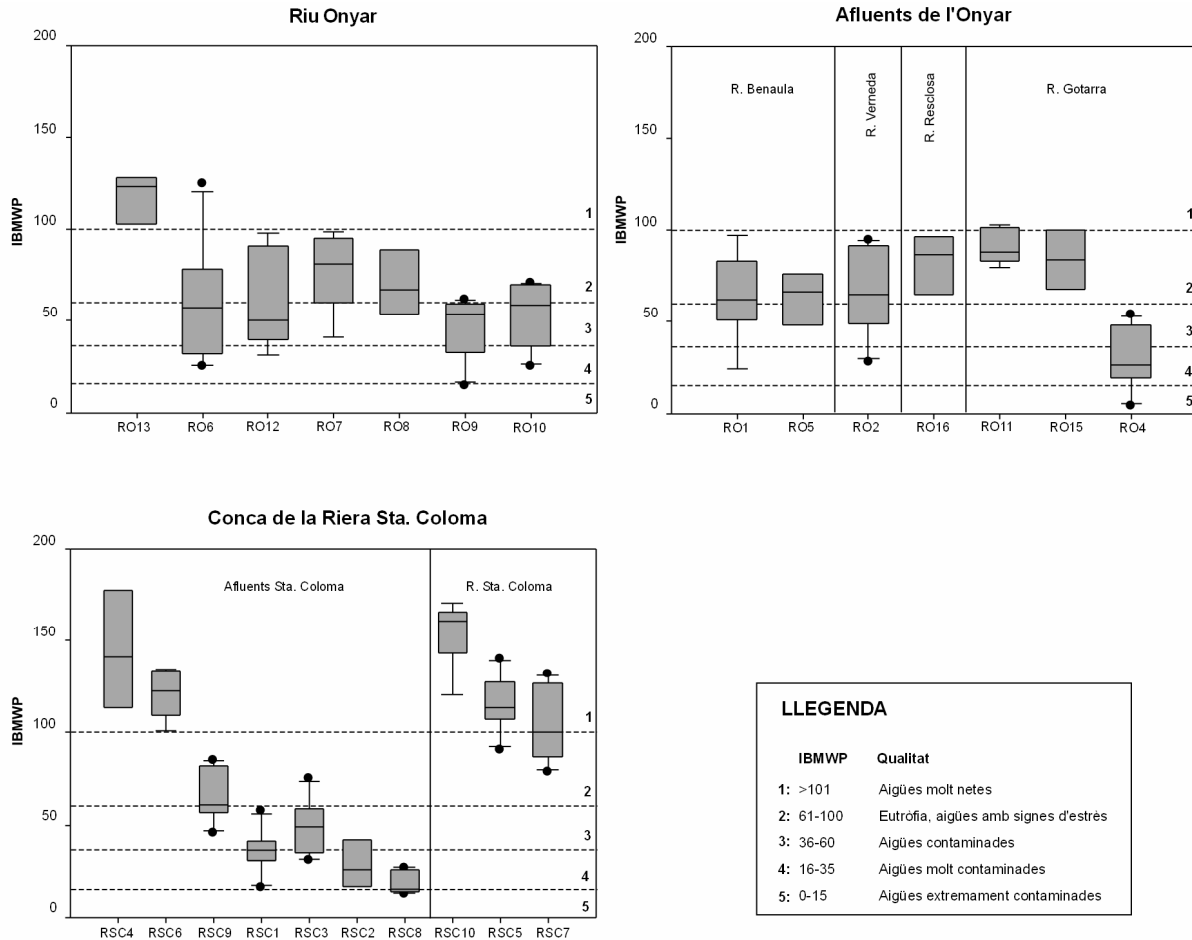


Figura 3.17: Diagrames de caixa de les qualitats biològiques obtingudes en cadascun dels punts de mostreig al llarg de totes les campanyes realitzades.

- En segon lloc hi ha tots els punts on la qualitat ecològica és mediocre durant la major part de les campanyes, però en les restants la qualitat és dolenta o pèssima. En general, aquests punts es caracteritzarien per presentar els boscos de ribera amb una qualitat acceptable (amb l'inici d'alteracions importants), i les aigües amb uns certs signes d'estrès (eutròfia; Figures 2.17 i 2.18). Dins aquest grup hi ha les estacions RO12, RO7 i RO8 al riu Onyar, les estacions de la riera Benaula (RO1 i RO5), el punt situat a la riera Verneda (RO2), el punt del Reclar (RSC9), de la capçalera de la riera de Vallcanera (RSC3), al tram mig de la riera Gotarra (RO15), i el punt situat després de l'EDAR de Sta. Coloma a la riera de Sta. Coloma (RSC5).
- Finalment, hi ha tot una sèrie de punts on la qualitat ecològica durant la major part de l'any seria dolenta o pèssima. En general són els punts que presenten qualitats biològiques baixes (Figura 2.18), i tot i que en algun dels casos la qualitat del bosc de ribera pot arribar a ser bona, en general presenten des d'alteracions importants, a qualitats pèssimes. Tots aquestes són les estacions situades després de les depuradores principals de la depressió, o bé d'abocaments d'aigües residuals importants, i on la dilució de les aigües abocades es fa difícil. Es tracta del

les urbanitzacions de les Comes i Vallcanera de Sils. En aquest segon cas però, els cursos afectats neixen a la part central de la depressió de la Selva; i també,

- les urbanitzacions Estanyol Park i el Mas Llners de Bescanó, que es troben situades al curs alt del riu Onyar.

En aquest sentit, si bé es preveu en el PSARU-2005 que la major part d'aquestes urbanitzacions tinguin sistemes de sanejament adequats abans del 2015, el fet que estiguin situades en els trams més alts d'aquests cursos fluvials, on els cabals d'aquests rius i rieres són mínims, pot arribar a fer difícil la dilució d'aquestes aigües tractades i que la recuperació d'aquests trams no sigui l'esperada (tal i com destaquen Puig et al., 1991; Hamdy et al., 1995; Coimbra et al., 1996; Prat i Munné, 2000; Prat et al., 2000; o, Estevan i Naredo, 2004).

3.7. SÍNTESI DE L'ESTAT ECOLÒGIC DELS CURSOS FLUVIALS.

En la determinació de l'estat ecològic dels cursos fluvials els objectius principals han estat estudiar l'estat en què es troben els rius i rieres de la depressió i identificar les pressions i impactes a les que es troben sotmesos a través, no només de l'anàlisi dels paràmetres fisicoquímics principals, sinó també a partir de la utilització d'indicadors biològics per a avaluar de forma més precisa del seu estat.

Al comparar els paràmetres fisicoquímics principals amb la qualitat biològica de l'aigua obtinguda s'observen diverses situacions:

- D'una banda, els punts que presenten les millors qualitats biològiques són també els que presenten bones qualitats fisicoquímiques durant la major part de l'any (com al RSC4, RSC6, RSC10, RO11 i RO13). Dins aquest grup hi hauria punts com el RSC5 i el RSC7, on gràcies a les aportacions d'aigües netes de l'ACA durant els mesos d'estiu, la qualitat biològica no baixa tant com en punts situats després de depuradores a la conca del riu Onyar (el RO12, per exemple). Així, durant els mesos d'estiu, tot i la disminució del cabal, la qualitat es manté en la major part d'aquests punts. En el cas del RSC6, tot i la disminució de la concentració d'oxigen dissolt, la qualitat biològica de l'aigua es manté també en aquesta època.
- Un altre és grup el de les estacions que són intermitents durant la campanya d'estiu, i que la major part de les quals presenten petits abocaments aigües amunt (com el RO16, RO2, RO1 i RSC3). En aquestes estacions s'ha observat que durant els mesos d'estiu la fàcies hidroquímica de l'aigua s'aproxima més a la de l'aquífer, suggerint així una relació riu-aquífer efluent, és a dir, l'aportació puntual i limitada d'aigües subterrànies a la llera, i l'aïllament de les basses respecte del focus de contaminació. D'altra banda, sovint es detecta la disminució de la concentració d'oxigen dissolt produïda per l'efecte de l'acumulació de la matèria orgànica i a l'acció dels organismes descomponedors. D'aquesta manera, si l'aïllament del focus de contaminació pot produir una millora en la qualitat biològica, la disminució en la concentració d'O₂ i la desaparició dels ambients reòfils, no permeten aquesta millora en el càlcul de l'índex IBMWP, i en la major part d'aquests punts la qualitat biològica de l'aigua disminueix.
- En les estacions de mostreig situades després dels abocaments d'aigües residuals principals de la depressió, s'hi ha detectat qualitats fisicoquímiques dolentes. Pel que respecta a la qualitat biològica, d'una banda s'han detectat els punts on aquesta estaria entre l'eutròfia i les aigües

contaminades (com al RSC9, el RO7 i el RO8), i de l'altra banda els punts on fins i tot s'assolirien els nivells d'aigües molt contaminades o extremament contaminades en alguns dels mostres (com en el RO6, RO12, RO9, RO10, RO4, RSC1, RSC2 i RSC8).

Així, s'ha pogut constatar que tant els petits abocaments d'aigües residuals que es produeixen ja des de les capçaleres de les rieres, com els abocaments de les EDAR principals de la depressió, donen lloc a impactes sobre la qualitat biològica de les aigües dels ecosistemes que les reben. En el cas dels punts que reben els abocaments de les EDAR principals, aquests impactes s'agreugen encara més durant els mesos d'estiu, en què es produeix una reducció del cabal de base, bé sigui de manera natural o induïda per l'extracció d'aigües subterrànies per al reg. Aquest darrer efecte podria ocasionar un empitjorament de la qualitat de l'aigua dels aqüífers al·luvials per la infiltració d'aigües de més baixa qualitat.

Pel que respecta a la determinació de la qualitat ecològica dels cursos fluvials, s'ha constatat que els punts que presenten millors qualitats són aquells situats prop de les capçaleres dels rius, on la degradació del bosc de ribera és moderada i la qualitat biològica de les aigües és bona. A mesura que els cursos s'endinsen a la plana, aquesta qualitat disminueix, atès que augmenta la degradació dels boscos i de la qualitat de les aigües, passant a valors mediocres en la determinació de la qualitat ecològica. Els punts que presenten les pitjors qualitats són aquells situats després d'alguns dels abocaments de les EDAR principals de la depressió, i on sovint la degradació dels boscos de ribera també hi és important.

Així, tant l'empitjorament de la qualitat biològica de l'aigua, com el de la qualitat dels boscos de ribera són els causants de les qualitats ecològiques mediocres, dolentes i pèssimes observades en la major part dels trams estudiats a la plana.