



GOVERN D'ANDORRA
MINISTERI DE TURISME I MEDI AMBIENT

ESTUDI RELATIU A:

"LES AIGÜES SUBTERRÀNIES DEL PRINCIPAT D'ANDORRA"

Document: DOC 2. CARACTERITZACIÓ HIDROQUÍMICA DE LES MASSES D'AIGUA

Andorra la Vella, 30 d'agost de 2007

EXPED. DMA. 0423/05



1	METODOLOGIA SEGUIDA EN L'ANÀLISI HIDROQUÍMIC	4
1.1	Representació gràfica	5
2	CARACTERITZACIÓ HIDROQUÍMICA DE LES AIGÜES DEL PRINCIPAT	5
2.1	Classificació de les aigües	5
2.1.1	Estudi de les relacions iòniques més significatives	6
2.1.2	Composició iònica de les aigües	9
2.1.2.1	Aigües bicarbonatades càlciques	9
2.1.2.2	Aigües bicarbonatades-sulfatades càlciques	13
2.1.2.3	Aigües bicarbonatades sòdiques	15
2.1.2.4	Aigües clorurades-bicarbonatades sòdiques o sòdico càlciques	15
2.1.2.5	Aigües bicarbonatades- clorurades càlciques	17
2.1.2.6	Aigües sulfatades càlciques	19
2.1.3	Estudi del contingut i comportament dels elements traça en les aigües subterrànies	21
2.1.4	Silíce	24
2.1.5	Fluor	24
2.1.6	Estronci	25
2.1.7	Liti	25
2.1.8	Ferro	26
2.1.9	Manganès	26
2.1.10	Alumini	27
2.1.11	Coure	28
2.1.12	Zinc	28
2.1.13	Bor	29
2.1.14	Arsènic	29
2.1.14.1	Distribució de l'Arsènic	29
2.1.14.2	Tractament estadístic dels valors d'arsènic en les aigües	30
2.2	Caracterització hidroquímica	34
2.3	Anàlisi de la possible existència d'aigües amb influència d'aigües termals	36
3	VALORS GENÈRICS DE REFERÈNCIA	40
3.1	Unitat Roques Silíciques de gra fi	41
3.2	Unitat Roques Silíciques de gra gros	48
3.3	Unitat materials del Silurià	54
3.4	Unitat Calcàries del Devonian	60
3.5	Unitat mixta: Pissarres, cornubianites i granit	66
3.6	Unitat Quaternari	72
4	ESTAT QUÍMIC DE LES AIGÜES	78
4.1	Qualitat de les aigües segons la Directiva Marc de l'Aigua	78
4.2	Qualitat de les aigües del Principat	78
4.2.1	Qualitat de les aigües segons nivells genèrics de referència	78
4.2.2	Qualitat de les aigües segons nivells admissibles per Reglament	79
4.2.3	Qualitat de les aigües segons el contingut en nitrats	83
5	CARACTERITZACIÓ ISOTÒPICA	84
5.1	Línia meteòrica local	89
5.2	Cota de recàrrega. Gradient altitudinal	91
6	CARACTERITZACIÓ I MESURES DE SEGUIMENT I CONTROL	95
6.1	Generalitats	95
6.2	Presentació de les dades	96
7	PROTECCIÓ DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES	96
8	BIBLIOGRAFIA	99
9	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ: UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES	101
9.1	Aqüífer al.luvial La Bartra	102
9.2	Unitat hidrogeològica Padern	106
9.3	Unitat hidrogeològica Arinsal	109
9.4	Unitat hidrogeològica Prat Primer	112
9.4.1	Observacions	113
9.5	Unitat hidrogeològica Muntaner	117
9.6	Unitat hidrogeològica Setúria-Òs	121
9.7	Unitat hidrogeològica Sispony	124
9.8	Unitat hidrogeològica El Forn	127
9.9	Unitat hidrogeològica Montaup	130



9.10	Unitat hidrogeològica Valira d'Orient	134
9.11	Unitat hidrogeològica Coll de la Gallina	138
9.12	Unitat hidrogeològica de Juclar	142
9.13	Unitat hidrogeològica de l'Aldosa	146
9.14	Unitat hidrogeològica dels Orris	150
9.15	Unitat hidrogeològica de l'Ariege	154
9.16	Unitat hidrogeològica de la Massana	158
9.16.1	Observacions	158
9.17	Unitat hidrogeològica del Valira del Nord	162
9.17.1	Observacions	163
9.18	Unitat hidrogeològica de les Salines	167
9.19	Unitat hidrogeològica d'Ordino	170
9.19.1	Observacions	170
9.20	Unitat hidrogeològica de Sant Julià	174
9.21	Unitat hidrogeològica de les Pardines	177
9.21.1	Observacions	177
9.22	Unitat hidrogeològica del Madriu	180
9.23	Unitat hidrogeològica d'Enclar	183
9.24	Unitat hidrogeològica de Pessons-Engolasters	187
9.25	Unitat hidrogeològica de la cubeta d'Andorra la Vella-Escalades Engordany	190
10	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ: METODOLOGIA MOSTREIG	195
10.1	Metodologia aplicada durant la campanya del 2006	196
10.2	Anàlisis químiques	198
10.3	Distribució de les mostres	200
11	ANNEX DE TAULES	201
12	ANNEX DE FIGURES	209
12.1	Mapa de l'alumini	210
12.2	Mapa de l'arsenic	210
12.3	Mapa del bari	211
12.4	Mapa dels bicarbonats	211
12.5	Mapa del bor	212
12.6	Mapa del calci	212
12.7	Mapa dels clorurs	213
12.8	Mapa del cobalt	213
12.9	Mapa del coure	214
12.10	Mapa de l'estronci	214
12.11	Mapa del ferro	215
12.12	Mapa del liti	215
12.13	Mapa del magnesi	216
12.14	Mapa del manganès	216
12.15	Mapa del níquel	217
12.16	Mapa de nitrats	217
12.17	Mapa de nitrits	218
12.18	Mapa del plom	218
12.19	Mapa del potassi	219
12.20	Mapa del seleni	219
12.21	Mapa del sodi	220
12.22	Mapa dels sulfats	220
12.23	Mapa del zinc	221



1 METODOLOGIA SEGUIDA EN L'ANÀLISI HIDROQUÍMIC

La metodologia que s'ha seguit a l'hora d'analitzar els resultats analítics consta de diferents etapes:

-Recull de les dades d'estudis hidrogeològics previs, de fonts comunals, del M.I. Govern d'Andorra, i d'Hidric, bàsicament d'anàlisi d'auditoria de captacions comunals d'aigua per consum humà, anàlisis químiques (molts dels quals incomplets) i seguiments concrets d'algun element.

-Mostreig de 21 aigües durant el juliol del 2006, amb un total de 17 fonts, 3 torrents i 1 pou (**veure metodologia de mostreig i punts mostrejats a l'Annex de documentació i de taules respectivament**). S'ha realitzat una campanya de mostreig en la qual s'han pres tant mostres d'aigües subterrànies com superficials, escollint aquelles aigües que permetin caracteritzar a les diferents unitats hidrogeològiques, així com les particularitats de cada una d'elles. El mostreig s'ha distribuït de la forma més extensiva possible per tal d'aconseguir un quadre representatiu de totes les possibles composicions químiques del Principat.

-En total s'han recollit 150 punts, amb més de 450 anàlisis, tant d'aigües subterrànies com superficials. Donat que la majoria de punts d'aigua mostrejada corresponen a punts que queden fora de qualsevol activitat potencialment contaminant (captacions d'aigua potable), els resultats que donen són representatius de les aigües en estat natural, però no del conjunt d'aigües del Principat.

-Selecció de les anàlisis. Només s'han analitzat les anàlisis completes o sigui que presentin els següents elements: bicarbonats i/o alcalinitat TAC, sulfats, clorurs, nitrats, sodi, potassi, calci i magnesi i/o la suma dels dos com a duresa. Representa un total superior a 80 anàlisis.

-Verificació de la qualitat de les anàlisis completes segons diferents criteris:

- TSD - conductivitat elèctrica. El TSD ha consistit en la suma dels cations i anions majoritaris (calci, potassi, magnesi, sodi, bicarbonats, sulfats, nitrats, clorurs)
- Anàlisi de l'error analític.
- TAC-bicarbonats
- Duresa-suma de calci i magnesi
- TSD - ions majoritaris
- Calci i magnesi - bicarbonats i sulfats, i clorurs i nitrats - sodi i potassi

En base a aquests criteris s'han estimat els valors amb resultats per sota el límit de detecció.

-La duresa i el TSD s'ha estimat en base als resultats iònics. Si l'anàlisi va acompanyat del valor de Duresa i TAC (facilitat pel laboratori) s'afegeix en la taula resum que cada unitat hidrogeològica recull.



-Quan es disposa de més d'una anàlisi per mostra es procedeix a fer la mitja aritmètica de la concentració de cada paràmetre, corregint-se prèviament els valors imprecisos (valors inferiors al límit de detecció) segons els criteris comentats anteriorment.

-Els punts d'aigua amb similitud química s'han agrupat mitjançant la mitja aritmètica.

En cada unitat hidrogeològica s'ha representat gràficament quan ha estat possible mitjançant diagrames triangulars com el de Piper, en columnes, com el de Shoeller-Berkaloff, i poligonals, com el d'Stiff.

-S'ha estimat el grau d'agressivitat de l'aigua en base a l'índex de Riznar. Aquest índex té en compte el pH de l'aigua, l'alcalinitat, la duresa i el total de sals dissoltes i permet adequar l'elecció de la natura de la tuberia (sondejos, captacions) al tipus d'aigua.

En l'**Annex de documentació** es presenta una fitxa de caracterització hidroquímica de les aigües de cada unitat, basada en els **resultats analítics que s'adjunten en format digital (veure fitxer *Resultats analítics_DOC2*)**

1.1 Representació gràfica

De cara a la representació gràfica dels paràmetres químics analitzats s'ha seguit els següents criteris:

-S'han representat les anàlisis completes

-Quan es disposa de més d'una anàlisi per mostra es procedeix a fer la mitja aritmètica de la concentració de cada paràmetre. En el cas dels metalls pesants, s'ha corregit prèviament els valors imprecisos (valors inferiors al límit de detecció -LD-) pel valor que s'obté de dividir el valor mínim de detecció a la meitat (50%LD). En el cas dels ions s'ha representat els valors precisos, que superen el límit de detecció donat que s'ha observat un gran ventall de LD (des de molt baixos o molt alts).

En l'**Annex de figures** es representa cada paràmetre analitzat (ions majoritaris i metalls pesants).

2 CARACTERITZACIÓ HIDROQUÍMICA DE LES AIGÜES DEL PRINCIPAT

2.1 Classificació de les aigües

En base a l'estudi de les composicions iòniques més significatives, i en base als diagrames de Piper, Shoeller-Berkaloff i Stiff, es pot classificar les aigües del Principat amb sis tipus d'aigües, seguint el criteri de Appelo & Postma (1993) i Stumm & Morgan (1981):

- Aigües bicarbonatades càlciques
- Aigües bicarbonatades-sulfatades càlciques
- Aigües bicarbonatades sòdiques
- Aigües bicarbonatades-clorurades càlciques
- Aigües clorurades-bicarbonatades sòdiques o sòdico-càlciques

➤ Aigües sulfatades càlciques

En el següent mapa es mostra la distribució de les facies hidroquímiques del Principat.

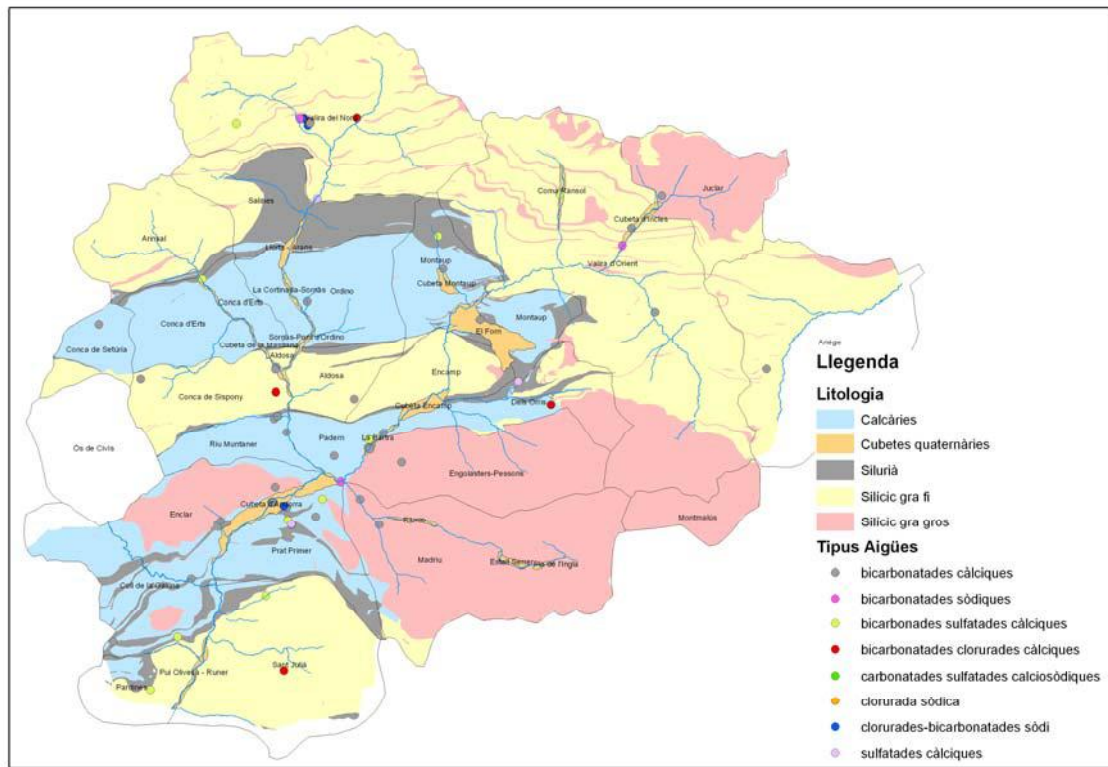


Figura 1 . Mapa de les facies hidroquímiques de les aigües analitzades del Principat.

2.1.1 Estudi de les relacions iòniques més significatives

Les relacions iòniques que han resultat més significatives en el marc d'aquest estudi han estat les següents (Taula 1):

- rK / rNa
- rMg / rCa
- rCl / rCO_3H
- rNa / rCl
- rSO_4 / rCl
- $Q = (rCa / (rCO_3H + r SO_4))$

	rK/rNa	rMg/rCa	rCl/rHCO ₃	rNa/rCl	rSO ₄ /rCl	Q
Roques ígnies i gneisos	0.05-0.11	0.03-0.4	0.05 - 0.73	2.7 - 11.7	1.8 - 4.4	0.1 - 0.4
Materials gresopelítics del CambroOrdovicià	0.03-0.32	0.1 - 0.3	0.1 - 1.0	0.6 - 2.7	0.4 - 3	0.2 - 0.5
Pissarres del Silurià	0.25-1.1	0.1-1.8	> 2	0.22-0.77	> 3	0.3 - 0.5
Pissarres i calcàries del Devonianà	0.12-0.27	< 0.2	< 0.4	0.8 - 1.2	2 - 8	0.4 - 2.1
Calcàries del Devonianà	0.12 - 0.6	< 0.1	0.03	0.5 - 1.5	2 - 7	0.45
Pissarres, cornubianites i granit	0.12-0.58	< 0.22	< 0.3	0.7 - 1.6	0.6 - 5	0.3 - 0.5
Materials quaternaris	0.1 - 0.42	< 0.15	0.2 - 1.3	> 0.4	> 2	0.4 - 0.7
Aqüífer Termal	< 0.05	< 0.06	> 0.7	> 8	0.6 - 3.5	0.25

Taula 1. Valors mitjos de les relacions iòniques en les principals litologies que constitueixen els principals aqüífers del Principat

Relació rK / rNa

Aquesta relació, en aigües continentals i de mineralització baixa com les d'aquesta àrea, acostuma a estar compresa entre 0,1 i 1. Normalment és superior en l'aigua que en la roca original degut a la fixació preferent del potassi en el terreny.

Quan aquest índex augmenta ràpidament indica l'existència d'aports extraordinaris de potassi, ja sigui per alguna formació litològica característica, ja sigui de forma artificial.

La majoria de mostres de l'àrea tenen valors d'aquest índex compresos entre 0,1 i 0,3. Els valors superiors a 0,5, es troben en les aigües relacionades amb roques metamòrfiques de les sèries pelítico-detritiques, especialment les pissarres del Silurià. Els valors per sota de 0,1 es poden associar a mostres molt sòdiques que probablement estiguin relacionades amb roques granítiques o certes formacions metamòrfiques, de caràcter pelític.

Relació rMg / rCa

En la majoria d'aigües subterrànies, aquesta relació oscil·la entre 0,10 i 1,5; sent els valors més alts indicatius de la influència de terrenys dolomítics o quan hi ha processos de mineralització intensa o salinització d'aqüífers per intrusió marina, que no és el cas.

Els processos de dissolució de calcita impliquen una disminució notable d'aquesta relació, mentre que augmentos significatius del seu valor corresponen a processos de bescanvi catiònic.

Les aigües subterrànies amb influència de terrenys ignis tenen valors entre 0,10 i 0,30, rang de valors que presenten les mostres corresponents a la unitat de roques ígnies i gneisos.

Els valors més alts d'aquesta relació s'observen a les aigües que circulen per les pissarres i calcàries del Silurià, en canvi les aigües que drenen els materials gresopelítics del Cambro - Ordovicià presenten valors mitjans, reflectint en ambdós casos una major presència de minerals màfics en aquestes litologies.



En canvi les aigües subterrànies que circulen pels materials calcaris i pissarres del Devonianà, així com les aigües dels materials quaternaris són les que presenten uns valors més reduïts d'aquesta relació (valors < 0,1).

Relació rCl / rCO_3H

Aquesta relació permet apreciar el procés de concentració en el quimisme de les aigües subterrànies en el sentit del flux. L'augment d'aquest índex, en general paral·lel a l'augment de la mineralització de les aigües, implica un major temps de residència de les aigües i una major interacció amb el terreny, en absència d'altres processos de contaminació.

Aquest procés s'observa en les diferents direccions de flux que es podrien considerar com individualitzades segons els torrents i barrancs d'alguna de les unitats o subconques, que constitueixen veritables eixos de drenatge subterrani, com es pot apreciar en les mostres de la vall d'Incles o del riu de Setúria, per citar alguns exemples.

Les mostres recollides en els materials gresopelítics del Cambro – Ordovicià presenten valors mitjos d'aquesta relació entre 0,10 i 0,5, aquest rang de valors és molt més reduït, i molt menys variable per a les aigües que drenen els materials calcaris i pissarrencs del Devonianà amb valors inferiors a 0,05.

En les mostres d'una gran majoria de fonts situades en materials pissarrencs i calcaris del Silurià s'observen valors molt elevats d'aquesta relació, que també la presenten, però en menor mesura les aigües de l'aquífer termal.

La interpretació d'alguns valors elevats d'aquesta relació en els materials paleozoics pissarrencs és similar a la formulada en quant a la relació rMg / rCa , les aigües que circulen per materials pelítics o arenosos, per lents processos de dissolució dels minerals que formen les roques, donen com a resultat un augment notable d'aquesta relació, el mateix succeeix en els processos de contaminació, que en principi no s'han pogut apreciar en les mostres analitzades.

Relació rNa / rCl

Aquesta relació, en aigües de mineralització baixa – mitjana com les de la zona estudiada, no permet realitzar una bona caracterització de les mostres respecte a la formació litològica amb la qual estan en contacte o de la qual procedeixen. De totes formes, en absència d'altres fenòmens modificadors, el seu valor es manté constant dintre del mateix aquífer, augmentant lleugerament amb l'augment de mineralització de les aigües.

Les aigües de les unitats al·luvials quaternàries tenen valors de la relació rNa / rCl als voltants dels valors normals per l'aigua del mar i de la pluja (0.82 – 0.86), xifres que donen indicacions per un costat dels continguts originals de les aigües i per l'altre la tendència cap a la que es dirigeixen les mateixes.

També permet, en alguns casos, apreciar el fenomen del desequilibri clor – àlcals que presenten principalment les aigües en contacte amb roques granítiques i en certs casos en els materials pelítics, com es pot apreciar en algunes mostres d'aquestes dues litologies (valors superiors a 1).



Aquesta relació, que en la majoria d'aigües de la zona es manté força alta, invalidant per tant el seu interès com a relació indicadora, en algunes mostres presenta valors molt elevats, superiors a 8, i que corresponen tant a mostres de l'aqüífer termal com a mostres de roques granítiques, i reflecteix l'enriquiment de sodi respecte al clorur tant en el reservori com en el circuit de descàrrega a les fonts de surgència.

Relació rSO_4 / rCl

Aquesta relació és similar a la que existeix en la formació litològica amb la qual estan en contacte o de les que procedeixen les aigües, i el seu valor es manté constant dintre del mateix sistema aquífer.

Quan aquest índex disminueix ràpidament caracteritza el procés de reducció de sulfats. En canvi un augment d'aquesta relació pot implicar, apart del contacte amb minerals sulfatats o amb adobs d'aquesta composició, els processos d'oxidació de pirites i com a conseqüència un contingut més elevat en sulfats de les aigües que drenen aquests materials.

Aquest fenomen es pot considerar com a molt habitual en el context general del Principat si tenim en compte els elevats valors d'aquesta relació en gairebé totes les mostres analitzades (en general valors superiors a 1, i en moltes litologies fins a valors superiors a 8).

Índex $Q = rCa / (rHCO_3 + rSO_4)$

És un índex que té tendència a mantenir-se constant dins d'un mateix aquífer en absència de fenòmens modificadors (reducció de sulfats, oxidació de la matèria orgànica, etc.). En zones contaminades el valor Q pot disminuir considerablement i és pot usar com a índex de contaminació.

En la majoria de litologies presents al Principat, el valor d'aquest índex està per sota de 1, assenyalant un cert dèficit en Ca que presenten aquestes aigües en el context pelític i granític força dominant a la zona. El mateix succeeix, però per diferents processos, en les aigües de l'aqüífer termal, i que assenjala un dèficit de Ca o bescanvi entre Na i Ca, que es pot interpretar com produït per temps de residència molt més elevats. L'única litologia amb valors d'aquest índex superiors a 1 són les pissarres i calcàries del Devonià, on la font de Ca és intrínseca a la pròpia composició de la roca.

En general es pot apreciar com aquest índex es manté força constant en tota l'àrea assenyalant l'absència de processos generalitzats de modificació o alteració de la composició de les aigües.

2.1.2 Composició iònica de les aigües

2.1.2.1 Aigües bicarbonatades càlciques

En aquest grup, que és un dels tipus més abundant del Principat, s'inclourien les aigües més properes des del punt de vista químic a les de recàrrega, i que estarien representades per les mostres Q9 (Font d'Incles), Q10 (Font Reinetes, també a la vall d'Incles), 30 (Birena mitja a la unitat de Muntaner), 34 (Ordigues a l'unitat d'Engolasters) i 38 (Rec Solà de l'unitat d'Enclar)



que corresponen a una composició bicarbonatada càlcica i mineralització molt baixa (conductivitat elèctrica inferior a 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Dintre d'aquest grup s'hi inclouen la majoria de les mostres del Principat, com 11, 149, 150, 18, 19, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 39, 41, 44, 45, 80, 97, 98, Q5, Q6, Q7, Q8, Q14, Q15, Q18, Q19 i Q20, que són les mostres que en el diagrama de Piper es presenten agrupades formant un nucli compacte en l'extrem esquerra del rombe central (**Figura 2**). La litologia dominant d'aquest grup són les sèries gresopelítiques del CambroOrdovicià, encara que també s'hi inclouen les aigües que drenen el conjunt de calcàries i pissarres del Devonià.

Es tracta d'un grup força homogeni des del punt de vista geoquímic, com es reflecteix també en el diagrama de Schoeller (**Figura 2**), on es pot veure com les línies que representen les diferents composicions de les aigües es presenten força agrupades. Malgrat tot, es poden diferenciar dins d'aquest grup, les aigües que tenen com a catió dominant el calci, de les que es poden classificar com a càlcico – sòdiques o càlcico – magnèsiques, com les mostres 34, 44, 97 i Q20.

En la **Figura 3** s'observa com el diagrama de Stiff representatiu d'aquest grup, que correspon a la mostra 18 de la Font de Ribal mitja de la Unitat de Prat Primer presenta la morfologia característica de les aigües bicarbonatades càlciques.

El que es tracti de la composició inicial de les aigües de la zona ve corroborat per la distribució en l'espai d'algunes d'aquestes mostres, situades en les parts més altes del Principat, encara que també tenen una distribució aleatòria al llarg i ample del Principat associades a la presència de minerals carbonatats existents en tota la sèrie litològica de la zona.

Aquest grup tant es troba representat dintre de les aigües corresponents als aquífers paleozoics, ja siguin carbonatats o no, com a les aigües corresponents als aquífers detrítics (quaternaris).

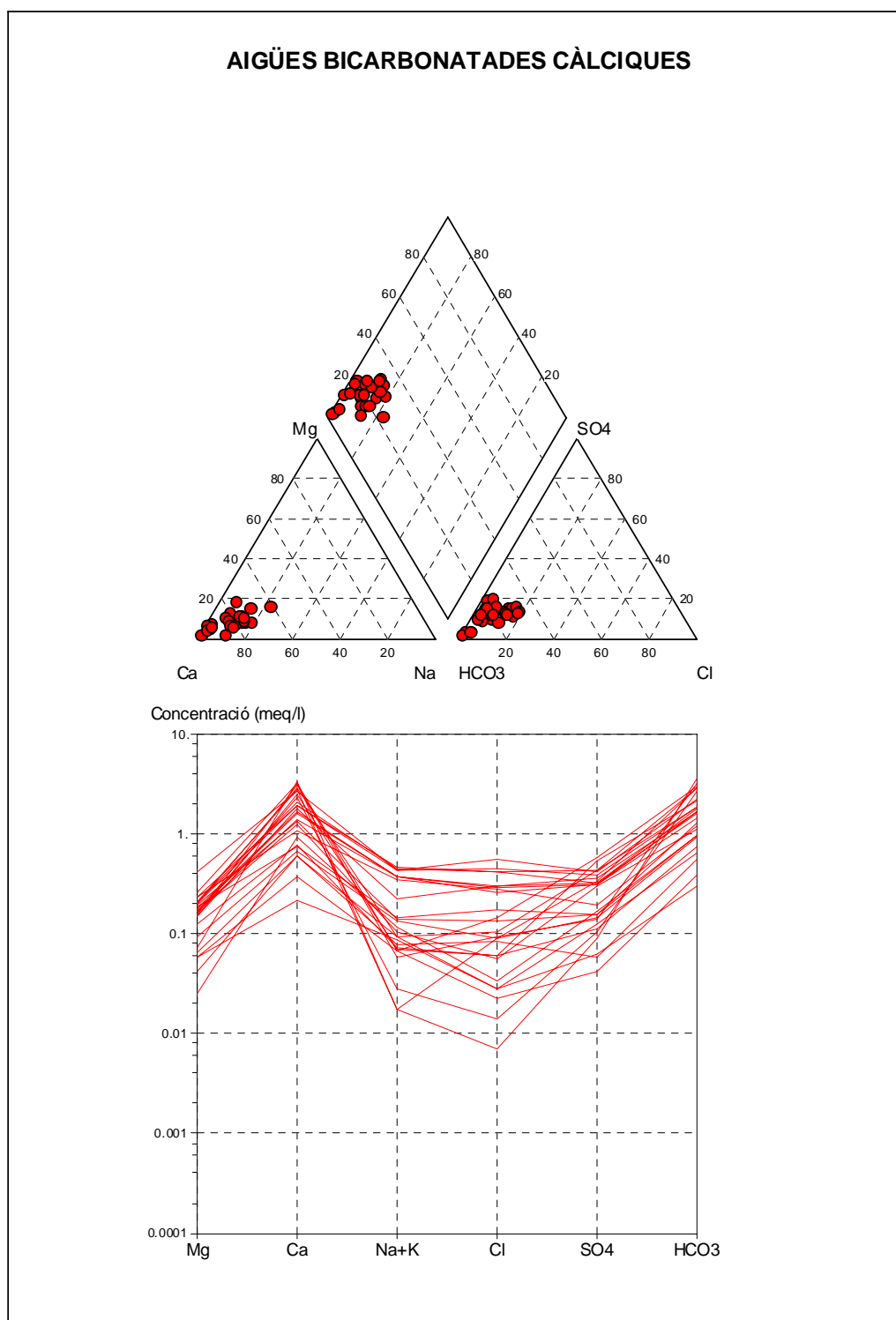


Figura 2. Diagrama de Piper (part superior) de les mostres de composició bicarbonatada càlcica (en vermell). A la part inferior, diagrama de Schoeller del mateix grup de mostres.

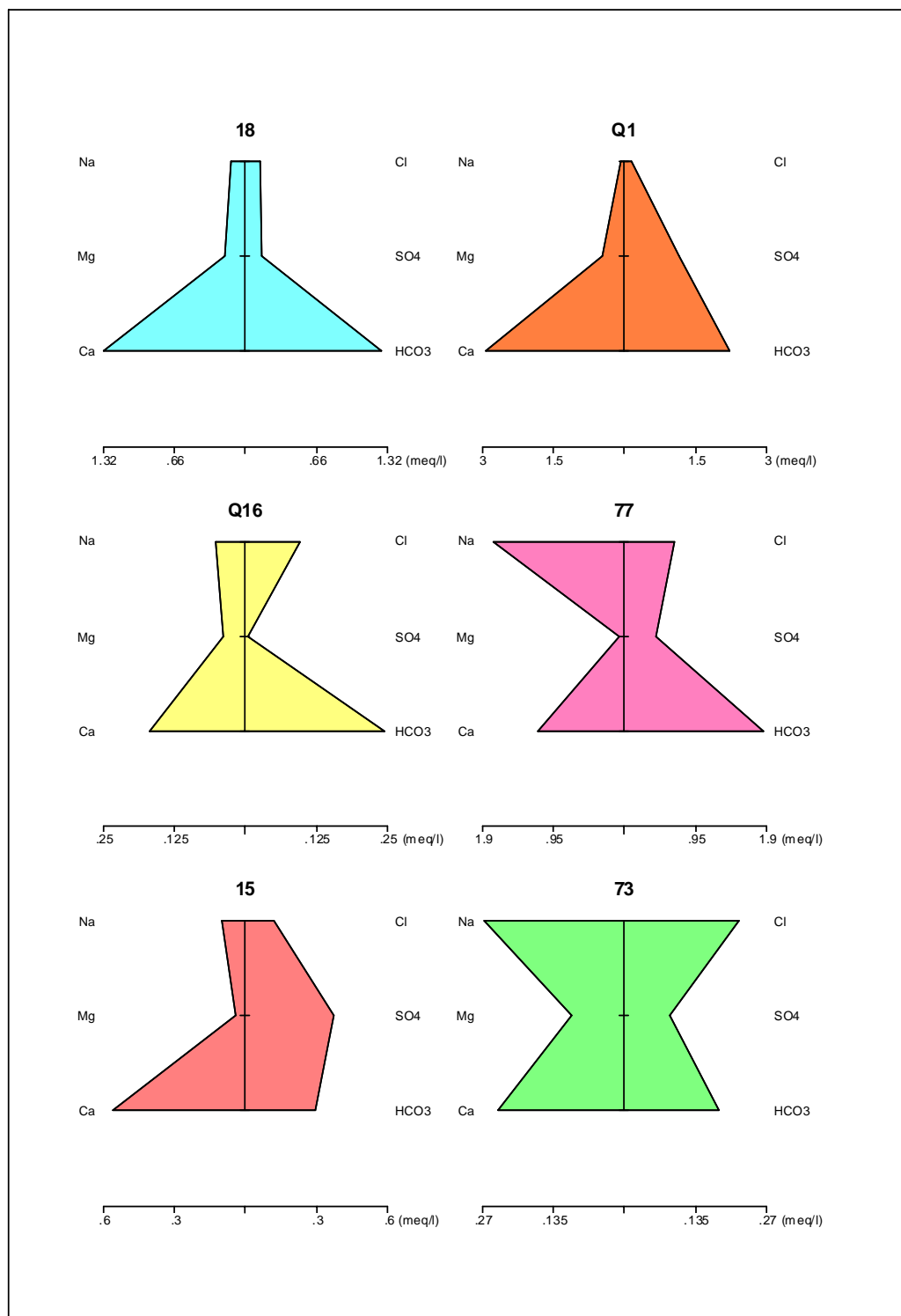


Figura 3.- Diagrames de Stiff de mostres representatives dels diferents grups o facies hidroquímiques caracteritzades al Principat. De dalt a baix i d'esquerra a dreta es té: aigües bicarbonatades càlciques (18:Font Ribal), aigües bicarbonatades – sulfatades càlciques (Q1:Font Pui), aigües bicarbonatades – clorurades càlciques (Q16:torrent del Griu), aigües bicarbonatades sòdiques (77:Sondeig S0c), aigües sulfatades càlciques (15: drens CTR) i aigües clorurades – bicarbonatades sòdiques o sòdico – càlciques (73:torrent encodina)

2.1.2.2 Aigües bicarbonatades-sulfatades càlciques

Aquestes aigües, que es caracteritzen per tenir continguts iònics molt variables, des de baixos a mitjans (conductivitats entre 50 i 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$), corresponen a aigües originalment bicarbonatades càlciques que han entrat en contacte amb les aigües de lixiviació de zones amb presència de sulfurs en els materials encaixants, adquirint el seu caràcter sulfatat dominant en els processos de mescla amb aquestes aigües procedents de l'oxidació dels sulfurs.

Aquest grup es troba representat per les aigües de la Font del Pui (mostra Q1) de la unitat Coll de la Gallina i l'aigua del pou La Plana de Prat Primer (mostra 17), la primera es troba en els materials esquistosos i carbonatats del Silurià, i la segona en les pissarres i cornubianites. Altres mostres que formen part d'aquest grup són: 1, 10, 13, 14, 48, 49, 76, Q2, Q12 i Q13.

Des del punt de vista geoquímic, aquestes mostres presenten una gran homogeneïtat. En el diagrama de Piper es troben concentrades i desplaçades del pol bicarbonatat cap al sulfatat en el triangle dels anions, i també desplaçades del sector de les aigües bicarbonatades pures en el rombe central (**Figura 4**), només presenten una certa diferenciació en quan al seu contingut en magnesi, molt inferior en les mostres de Prat Primer (14 i 17), i en quan al seu contingut en clorurs, molt baix en la mostra de les Aigües d'Arinsal (1).

El diagrama de Stiff representatiu d'aquest grup, que es pot observar a la **Figura 3**, correspon a la mostra Q1 de la Font del Pui de la Unitat Coll de la Gallina. Presenta una morfologia molt similar a la de les aigües bicarbonatades càlciques, però amb un augment molt significatiu de sulfats en la banda dels anions.

Destaca en aquestes mostres els continguts alts en arsènic, sense arribar a superar el límit de potabilitat, excepte en el cas de la mostra Q1 (valor 14 ppb). També alts amb zinc. Associat als valors elevats en sulfats es troben valors molt alts en estronci.

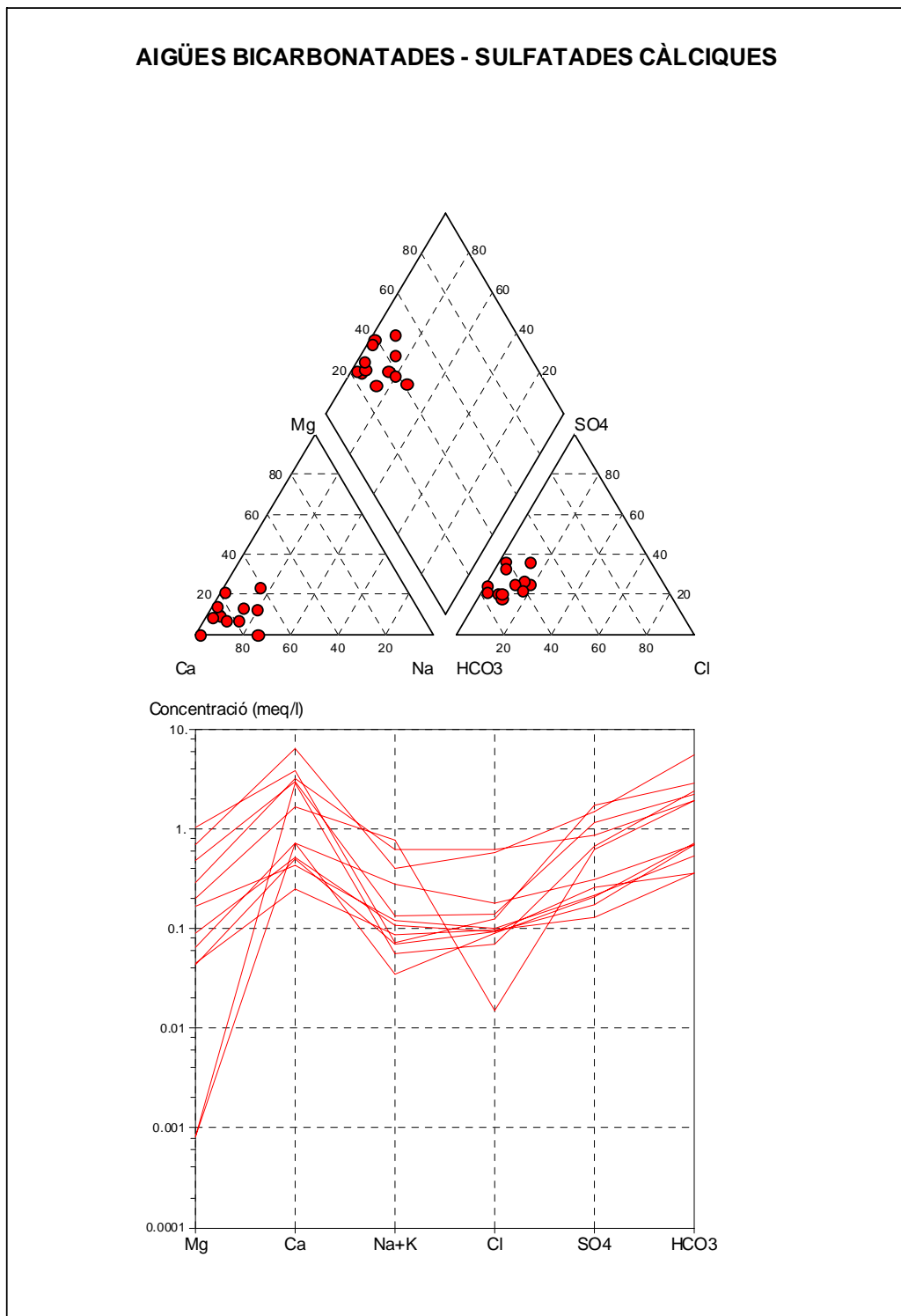


Figura 4.- Diagrama de Piper (part superior) de les mostres de composició bicarbonatada – sulfatada càlcica (en vermell). A la part inferior, diagrama de Schoeller del mateix grup de mostres.



2.1.2.3 Aigües bicarbonatades sòdiques

Aquestes aigües, que es caracteritzen per tenir continguts iònics mitjans (conductivitats entre 110 i 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$), representarien aigües de composicions originals bicarbonatades càlciques que han circulat per terrenys granítics, i amb contacte amb aquests materials han adquirit el seu caràcter sòdic o bé han sofert processos d'intercanvi catiònic. Són aigües que es troben localitzades en l'aqüífer termal associat al massís d'Andorra – Montlluís. Puntualment es poden associar a una salinització antròpica (mostra 77).

Des del punt de vista hidrogeològic, aquestes aigües segueixen el model de surgència de fons de vall, brollant a favor de zones de fractura importants. La roca encaixant de totes aquestes surgències són els materials granítics, amb els quals estan en equilibri les aigües.

Es tracta d'aigües bicarbonatades sòdiques o carbonatades sòdiques, de caràcter alcalí (pH superiors a 9) i poc mineralitzades ($< 200 \mu\text{S}/\text{cm}$). Una altra característica destacada d'aquestes aigües és el baix contingut en magnesi (**Figura 5**). Es caracteritzen per la seva homogeneïtat que reflecteix una circulació i equilibri amb els materials granítics, sense influències d'altres materials (cas de les mostres Q21).

En la **Figura 3** s'observa que el diagrama de Stiff representatiu d'aquest grup, corresponent a la mostra 77 que correspon al Soc de cota 1707 de la Unitat Valira Nord, presenta una morfologia asimètrica amb els pols bicarbonatats i sòdics molt més desenvolupats respecte els pols dels altres ions.

Les mostres que presenten aquestes característiques i que s'han inclòs en aquest grup són: la mostra del pou termal d'Incles (Q11) i la Font termal Roc del Metge (Q21), i la mostra 77 que correspon al Soc de cota 1707.

2.1.2.4 Aigües clorurades-bicarbonatades sòdiques o sòdico càlciques

Aquestes aigües, es caracteritzen per tenir continguts iònics molt variables (conductivitats que van de valors inferiors als 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fins a valors superiors als 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Correspondrien a aigües que originalment eren bicarbonatades càlciques i que per diferents processos modificadors han adquirit el seu caràcter clorurat dominant.

Aquests canvis del quimisme original de les aigües, provocats tant per la situació de la mostra com pel seu caràcter d'aigua de parts altes podria haver-se originat per circulació de les aigües per àrees de fractures, sense descartar la salinització antròpica (mostra 75).

En la **Figura 3** s'observa que el diagrama de Stiff representatiu d'aquest grup, el de la mostra 73 que correspon a l'unitat Valira Nord, presenta una forma típica simètrica de rellotge de sorra amb els pols dels clorurs i sòdics igualment desenvolupats respecte els pols bicarbonatats i càlcics.

Aquest grup que es troba representat per l'aigua del Torrent de la zona d'Encodina de l'unitat Valira Nord (mostra 73), els materials encaixants d'aquesta mostra corresponen als materials de les sèries greso-pelítiques del Cambro – Ordovicià (**Figura 3**). Altres mostres que s'han inclòs en d'aquest grup per presentar característiques similars, són la 23, així com la mostra 75 que correspon al lixiviat del punt B de la unitat del Valira Nord.

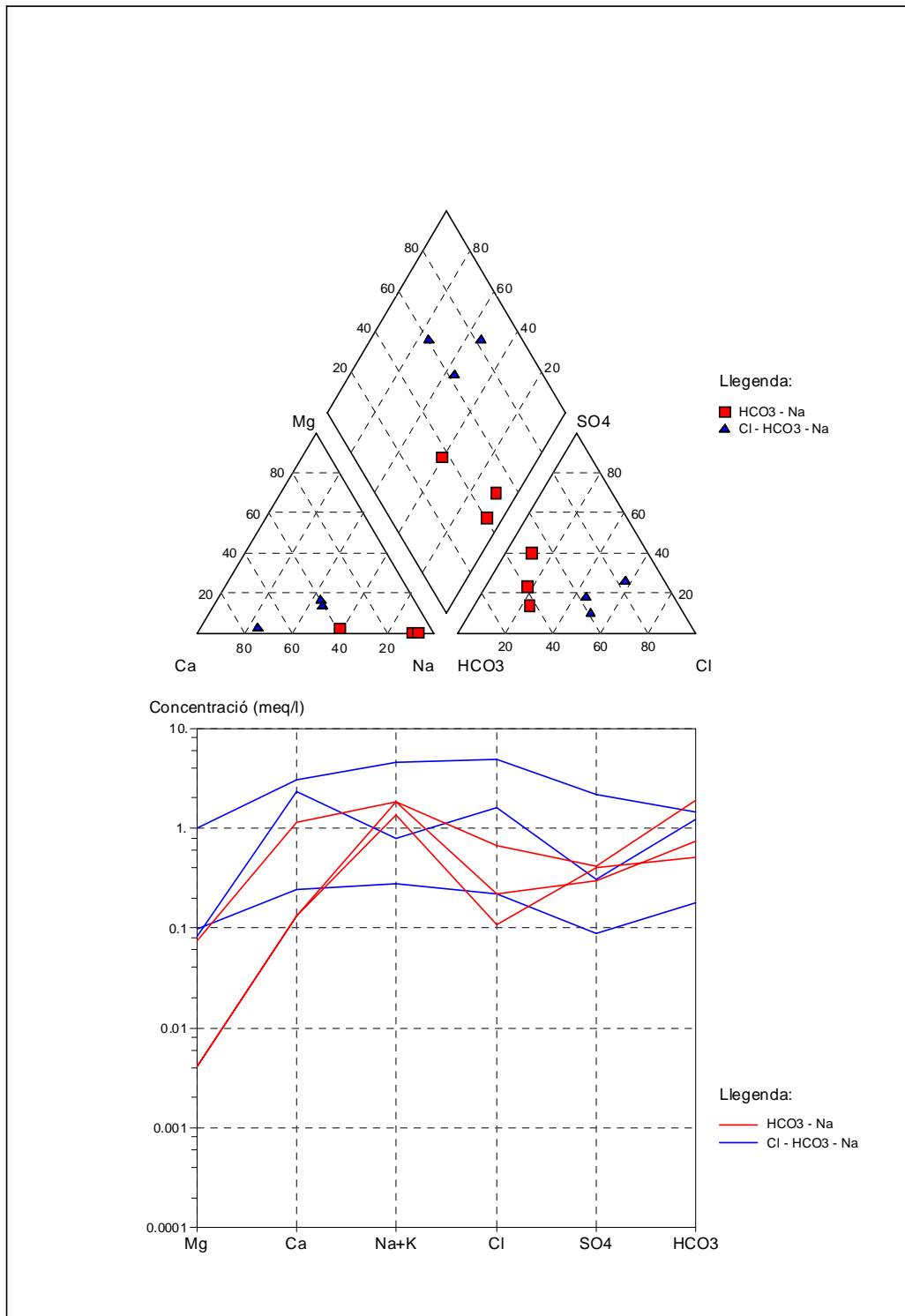


Figura 5.- Diagrama de Piper (part superior) de les mostres de composició bicarbonatada sòdica (en vermell) i de les mostres de composició clorurada - bicarbonatada sòdica (en blau). A la part inferior, diagrama de Schoeller dels mateixos grups de mostres.



2.1.2.5 Aigües bicarbonatades- clorurades càlciques

Les mostres incloses en aquest grup presenten un quimismo bicarbonatat càlcic, però amb un notable augment del contingut en ió clorur. Totes les altres característiques: baixa mineralització, pH amb tendència alcalina i caràcter oxidant; les fan molt similars a les bicarbonatades càlciques. Es tracta de les aigües menys mineralitzades de totes les analitzades en aquest estudi.

La mostra més característica d'aquest grup és la Q3 que correspon a l'aigua del Torrent Puntal, a Sorteny de la unitat Valira Nord, es tracta d'una aigua meteòrica que ha circulat per un sistema de fractures més o menys dens i en aquesta circulació ha adquirit el seu caràcter clorurat, degut a que ha tingut un temps de permanència en el subsòl més gran i per tant, més temps d'interacció amb el terreny.

Les altres mostres que presenten característiques similars i que s'han inclòs en aquest grup són les numerades 47, 78, 99 i Q16, provenen bàsicament de les sèries greso-pelítiques del Cambro – Ordovicià, i d'unitats tant diferents com Sant Julià, La Massana, Els Orris i Valira Nord.

Aquestes mostres es presenten agrupades en el diagrama de Piper (**figura 6**), especialment en el triangle dels cations i alineats entre els vèrtexs bicarbonatat i clorurat en el triangle dels anions. Pel que fa en el diagrama de Schoeller, aquestes mostres presenten un aspecte molt pla. Destaca la mostra Q16 amb un contingut molt baix en sulfats (**figura 6**, diagrama de Schoeller).

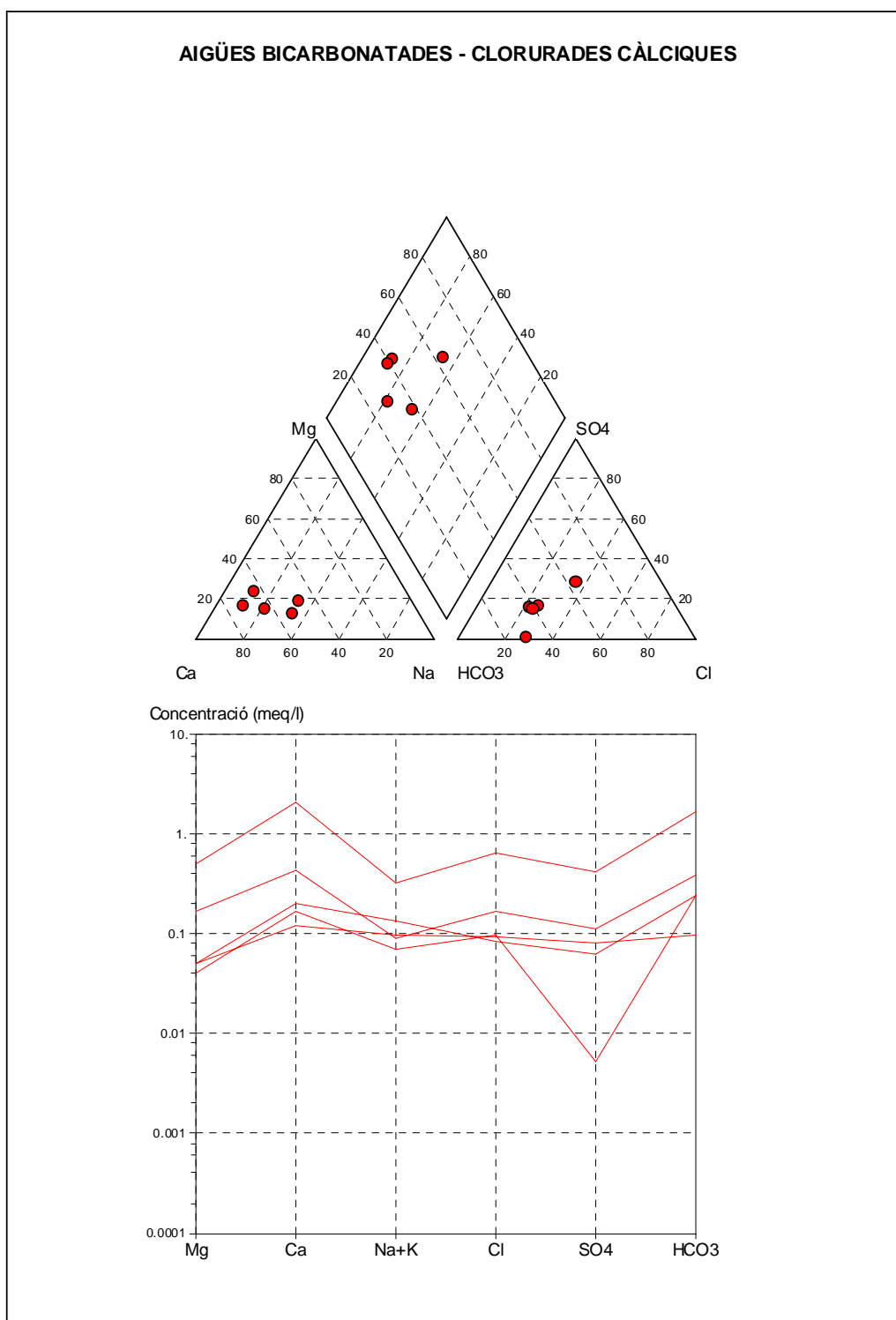


Figura 6. Diagrama de Piper (part superior) de les mostres de composició bicarbonatada clorurada càlcica (en vermell). A la part inferior, diagrama de Schoeller del mateix grup de mostres.



2.1.2.6 Aigües sulfatades càlciques

Aquestes aigües, que es caracteritzen per tenir continguts iònics baixos (conductivitat al voltant d'uns 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), corresponen a aigües originalment bicarbonatades càlciques que han entrat en contacte amb les aigües de lixiviació de zones amb presència de sulfurs en els materials encaixants, adquirint el seu caràcter sulfatat dominant en els processos de mescla amb aquestes aigües d'oxidació dels sulfurs.

Aquest grup es troba representat per l'aigua de la Font de la mina de Llorts (mostra Q4) i l'aigua de la Font del Ferro dels Cortals d'Encamp (mostra Q17), ambdues es troben en els materials esquistosos i carbonatats del Silurià.

Des del punt de vista geoquímic, aquestes mostres presenten una gran homogeneïtat. En el diagrama de Piper es troben concentrades en el vèrtex superior del rombe central (**Figura 7**), només presenten una certa diferenciació en quan el seu contingut relatiu en magnesi, molt superior en la mostra corresponent a la Font de la Mina de LLorts.

Destaca en aquestes mostres l'alt contingut en ferro i alumini, el més elevat de totes les mostres analitzades en el present estudi. Es tracta d'un valor de ferro que supera el contingut màxim exigít en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

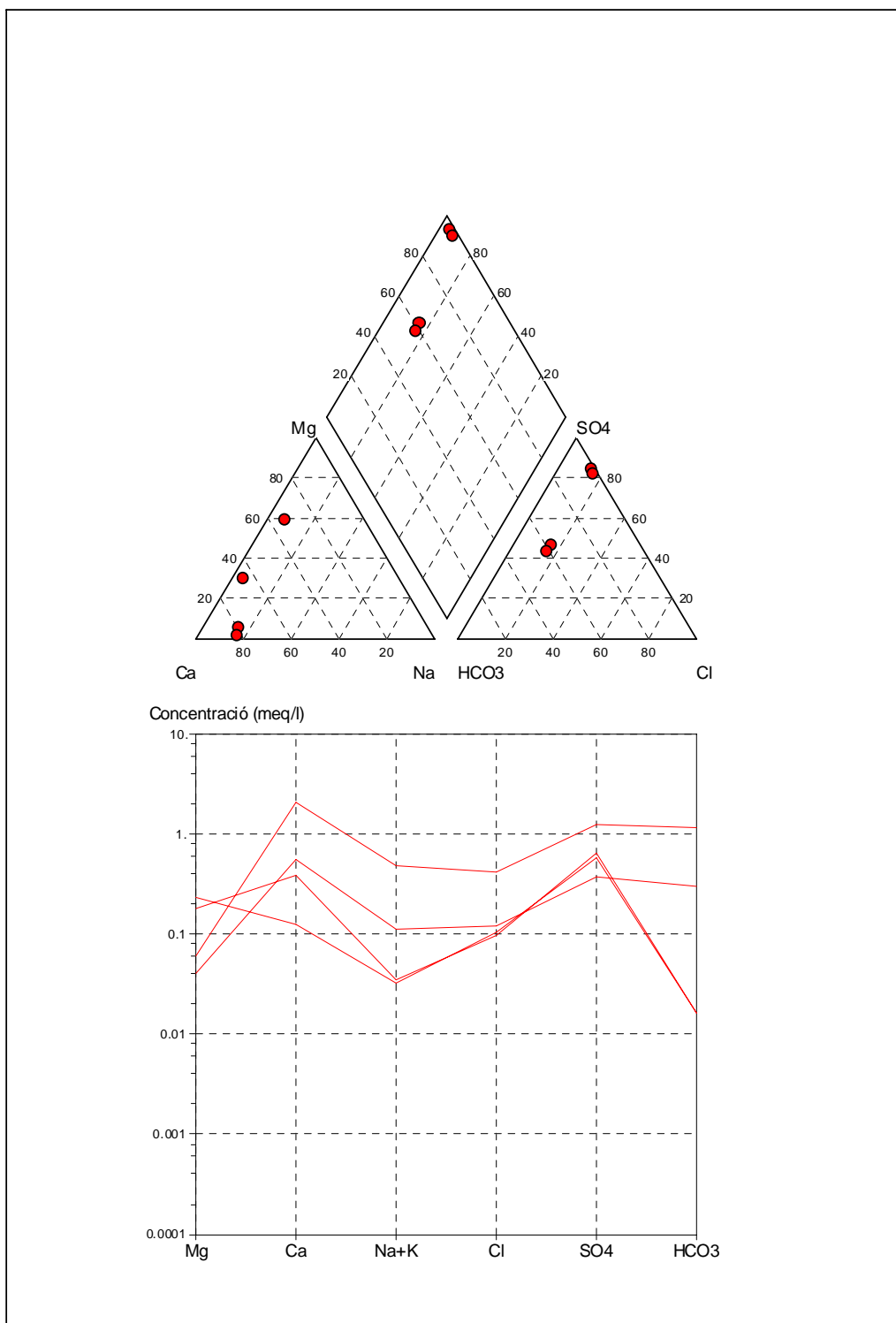


Figura 7.- Diagrama de Piper (part superior) de les mostres de composició sulfatada càlcica (en vermell). A la part inferior, diagrama de Schoeller del mateix grup de mostres.



2.1.3 Estudi del contingut i comportament dels elements traça en les aigües subterrànies

Amb la finalitat de caracteritzar de forma molt més profunda l'estat de les aigües subterrànies del Principat, a més del contingut i variacions en els ions majoritaris, també s'ha estudiat i analitzat el comportament i variacions que experimenten certs elements traça presents en aquestes aigües.

En les diferents campanyes de mostreig realitzades, s'ha dut a terme un ampli espectre de substàncies i elements traça a fi i efecte de fixar quins d'aquests elements poden presentar continguts més elevats del normal, associar-los als possibles processos de contaminació existents, tant naturals com antròpics, i determinar el veritable abast dels mateixos.

Aquestes substàncies i elements analitzats han estat: ferro total, manganès, bor, coure, níquel, cobalt, zinc, alumini, estronci, bari, seleni, liti, arsènic, plom, crom total, antimoni, cadmi, fluor, i mercuri. Els més significatius es representen en la **Taula 2**.

De tots aquests elements analitzats, la majoria han donat valors baixos o molt baixos en les aigües analitzades, excepte alguns d'ells que presenten valors significatius, superiors als límits establerts per Reglament, de forma puntual en certs sectors i en algunes mostres en concret: nitrats, seleni; arsènic, níquel, cobalt i ferro (**Taula 2**).

Amb tots els elements que tenen valors significatius i que estan presents en totes o la gran majoria de mostres s'ha determinat el coeficient de correlació linial, construint-se la matriu de correlacions (**Taula 3**). Aquest coeficient varia entre -1 i +1, i assenyala l'existència de relacions entre els elements que tenen valors positius elevats, o l'absència de correlació, entre elements amb valors no significatius, o comportaments dels elements contraris per correlacions elevades però amb valors negatius (**Taula 3**). S'observa en aquesta taula que manquen molts dels elements traça analitzats, com el liti, estronci, etc; degut a que són elements que no han estat determinats en una gran majoria de mostres.

Taula 2. Valors estadístics dels elements traça amb valors significatius en les aigües superficials i dels principals aquífers del Principat (N nombre de mostres a partir de les quals s'han calculat el paràmetres estadístics)

	Silice	Alumini	Arsènic	Bor	Coure	Ferro total	Fluorurs	Manganès	Zinc	Estronci	Liti
	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Promig	8.06	4.84	10.60	0.03	44.00	0.055	0.14	6.11	8.40	82.05	9.08
Mediana	7.10	0.01	5.70	0.02	3.00	0.03	0.11	0.00	4.20	61.70	2.70
Mitjana geomètrica	6.63		5.47	0.02	5.29	0.04	0.12	0.01	5.32	49.90	2.89
Moda	7.10	0.02	2.00	0.10	120.00	0.10	0.07	0.10	3.90		
Desv. Estandar	11.18	27.94	22.95	0.03	78.08	1.95	0.11	47.76	11.27	80.74	22.01
Màxim	90.00	260.00	193.08	0.16	380.00	16.00	0.74	410.00	72.70	333.59	111.32
Mínim	2.50	0.00	0.44	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	1.10	7.98	0.28
N	63	120	88	89	89	111	98	80	63	30	30

Taula 3. Matriu de correlació dels elements traça amb valors significatius en les aigües superficials i dels principals aquífers del Principat (en vermell correlacions positives superiors a 0.3, i en blau correlacions negatives superiors a - 0.3)

	Cond	pH	Alumini	Antimoni	Arsènic	Bor	Coure	Ferro total	Fluorurs	Manganès	Mercuri	Níquel	Plom	Seleni
Cond	1.00	0.69	-0.10	0.04	-0.02	0.17	0.04	0.01	-0.22	-0.08	0.03	-0.32	0.15	-0.33
pH	0.69	1.00	-0.21	0.04	-0.13	0.18	-0.22	0.04	-0.09	-0.12	0.03	-0.26	0.16	-0.31
Alumini	-0.10	-0.21	1.00	0.02	-0.12	-0.02	0.01	0.12	0.17	0.15	-0.11	0.35	-0.03	-0.11
Antimoni	0.04	0.04	0.02	1.00	0.15	0.20	0.03	0.08	-0.10	0.07	-0.04	0.20	0.06	0.09
Arsènic	-0.02	-0.13	-0.12	0.15	1.00	0.20	0.13	0.15	0.11	0.01	-0.03	0.01	-0.11	0.31
Bor	0.17	0.18	-0.02	0.20	0.20	1.00	0.18	0.31	-0.22	0.15	0.10	0.01	0.08	0.10
Coure	0.04	-0.22	0.01	0.03	0.13	0.18	1.00	0.05	-0.25	0.20	-0.05	0.05	0.13	-0.10
Ferro total	0.01	0.04	0.12	0.08	0.15	0.31	0.05	1.00	0.08	0.55	-0.08	0.26	0.31	0.17
Fluorurs	-0.22	-0.09	0.17	-0.10	0.11	-0.22	-0.25	0.08	1.00	0.05	-0.04	0.27	0.07	0.10
Manganès	-0.08	-0.12	0.15	0.07	0.01	0.15	0.20	0.55	0.05	1.00	-0.08	0.24	0.46	0.06
Mercuri	0.03	0.03	-0.11	-0.04	-0.03	0.10	-0.05	-0.08	-0.04	-0.08	1.00	-0.05	-0.07	-0.01
Níquel	-0.32	-0.26	0.35	0.20	0.01	0.01	0.05	0.26	0.27	0.24	-0.05	1.00	0.03	0.11
Plom	0.15	0.16	-0.03	0.06	-0.11	0.08	0.13	0.31	0.07	0.46	-0.07	0.03	1.00	-0.11
Seleni	-0.33	-0.31	-0.11	0.09	0.31	0.10	-0.10	0.17	0.10	0.06	-0.01	0.11	-0.11	1.00



2.1.4 Sílice

La sílice pertany al grup dels elements majoritaris que constitueixen els minerals essencials formadors de la majoria de litologies, tant roques ígnies, com sedimentàries o metamòrfiques. Els valors més elevats en sílice generalment s'associen a les roques ígnies àcides, així com a les roques metamòrfiques de caràcter àcid. Així resumint, es pot considerar a la sílice com a un element de clara afiliació granítica i metamòrfica, encara que també pot estar present en les aigües de meteorització de materials pelític-detritics.

La sílice té una solubilitat bastant reduïda, malgrat que presenta una certa mobilitat en determinades condicions ambientals. En els processos de meteorització i alteració que afecten a les roques granítiques i pissarrenques aquest element pot ser fàcilment dissolt i entrar a formar part del contingut dissolt de les aigües en contacte amb aquest tipus de litologies.

Els continguts en sílice varien entre 2.5 i 90 ppm, essent el valor mig per a totes les mostres de totes les campanyes considerades de 8.06 ppm (**Taula 2**).

Les mostres que provenen o drenen terrenys formats per materials metamòrfics com pissarres, esquists i sèries pelito-detritiques són les que solen presentar els valors més elevats en sílice. En tot el Principat la majoria de mostres tenen valors al voltant del valor de fons o promig. Fins i tot les mostres que provenen de materials granítics, habitualment altes en aquest element, no presenten continguts que superin aquest valor de fons.

Tant sols destaca el contingut molt elevat en sílice que presenta el lixiviat del punt A de la unitat Valira Nord, amb 90 ppm. No es disposa dels valors en aquest element de les termals, que probablement presentarien continguts alts en sílice.

La sílice es correlaciona malament amb la majoria d'elements considerats en aquest estudi (**Taula 8**), fins i tot amb elements que tenen també una clara afiliació amb roques àcides, com són el fluor i bari. Això es pot deure al caràcter dominant del quimisme bicarbonatat càlcic de les aigües del sector, així com a la seva baixa mineralització.

2.1.5 Fluor

El fluor està present en la majoria de roques ígnies, metamòrfiques i sedimentàries, en les quals substitueix als grups OH^- i $\text{O}^=$ en les estructures cristal·lines d'alguns minerals, principalment miques, amfibols i apatits. També es troba en els minerals del grup de les argiles. Els continguts més elevats d'aquest element corresponen a les roques plutòniques àcides.

El fluor és molt soluble i presenta una elevada mobilitat en pràcticament qualsevol condició ambiental. En els processos de meteorització i alteració aquest element és fàcilment lixiviat, en especial el que es troba concentrat en les miques.

El contingut en fluor de les aigües d'aquesta zona presenta un rang de variació entre 20 i 740 ppb, amb un valor mig de 140 ppb. (**Taula 2**).

Els valors més alts d'aquest element corresponen a les mostres que drenen terrenys constituïts per materials metamòrfics com pissarres, esquists i sèries pelito-detritiques com les mostres de les unitats Prat Primer, Arinsal i Sant Julià.



El grup de mostres corresponents a la Unitat de Madriu presenten valors baixos de fluor tot i que habitualment les aigües que drenen materials granítics solen tenir-ne continguts elevats.

En canvi, altres mostres de les unitats de Setúria, Coll de la Gallina i Ariege, presenten valors més elevats en fluor. Tot i que es tracta d'unitats amb barreja de materials litològics, dominen les pissarres i calcàries del Devonià. Aquest comportament és similar al que s'observa en altres indrets de Catalunya: Montseny i Les Gavarres.

El fluor només es correlaciona mitjanament bé amb el níquel, l'alumini i seleni, i destaquen els seus baixos índexs de correlació, fins i tot amb valors negatius, amb el bor i coure, així com la sílice i el bari, tot i que les correlacions F – Ba – Si són generalment molt bones en la majoria d'ambients litològics i molt especialment en els granítics (**Taula 3**).

2.1.6 Estronci

L'estronci es troba enriquit en les roques ígnies intermèdies, així com en els sediments carbonatats. Les característiques geoquímiques de l'estronci són molt semblants a les del Ca i Mg, als quals acostuma a estar associat en l'ambient de les aigües continentals.

Pel que respecta a la seva mobilitat en l'ambient supergènic, l'estronci és fàcilment mobilitzable durant la meteorització en ambients oxidants i àcids, limitada per la precipitació en forma de carbonats o fortament fixat pels minerals argilosos o per la matèria orgànica.

Pel que respecta a les litologies presents a Andorra, les roques granítiques, materials pelític-detritics i roques carbonatades són els materials que poden presentar continguts més elevats en estronci, i especialment les pissarres i esquists negres molt enriquits en aquest element.

El contingut en estronci de les mostres d'aigua recollides en les diferents unitats hidrogeològiques d'Andorra varia entre 8 i 333 ppb, amb un valor mig de 82 ppb.

Les mostres corresponents a la unitat termal presenten valors baixos d'estronci.

S'aprecien valors elevats en les mostres recollides en les unitats que inclouen les litologies enriquides en aquest element com sèries greso-pelítiques, pissarres negres i roques calcàries, com Coll de la Gallina, Sispony, Ordino o Padern; així com zones amb un gran desenvolupament de sòls o materials sedimentaris, com l'Al·luvial de La Bartra.

2.1.7 Liti

El liti està enriquit en les roques ígnies màfiques i en les roques metamòrfiques. El liti té moltes similituds amb els altres metalls alcalins, encara que té un tamany menor. El comportament del liti està entre els metalls alcalins i els alcalino-terris, especialment el magnesi. El liti substitueix aquest element en diferents aluminosilicats i fluosilicats, com la turmalina, espodumena i lepidolita; també a les miques, amfibols i piroxens.

El liti es troba enriquit en la majoria d'aigües minerals o termals, fins i tot s'utilitza com a element indicador o geotermòmetre per calcular la temperatura del repositori.

Pel que respecta a la seva mobilitat en l'ambient supergènic, el liti s'allibera dels minerals primaris com a Li⁺ a la solució edàfica, i es fixa a les fraccions argiloses del sòl. Per tant, el Li s'enriqueix en les fraccions argiloses de sòls i roques sedimentàries.



Pel que respecta a les litologies presents en aquesta zona els materials pelítico-detrítics i les roques granítiques són els materials que poden presentar continguts més elevats en liti, i especialment les pissarres i esquists negres. Les roques carbonatades són les que presenten continguts més reduïts en aquest element.

El contingut en liti de les mostres estudiades del Principat varien entre 0.3 i 111 ppb, amb un valor mig de 9 ppb (**Taula 2**).

S'observen valors elevats en liti a la mostra de la Unitat Termal de Roc del Metge amb un contingut de 111 ppb. Altres unitats amb valors alts són Salines, Coll de la Gallina i Padern, totes elles amb materials esquistosos dominants, especialment esquists i pissarres negres.

2.1.8 Ferro

El ferro es troba enriquit en les roques ígnies màfiques i concentrat principalment en els minerals ferromagnèsics. Pel que respecta a la seva mobilitat en l'ambient supergènic, com a Fe^{2+} és moderada i com a Fe^{3+} baixa, limitada per la precipitació en forma d'hidròxids de ferro. En determinades condicions les suspensions col-loidals d'òxids de ferro poden ser estables.

Pel que respecta a les litologies presents en el Principat les pissarres i materials pelítico-detrítics són els materials que "a priori" poden presentar continguts més elevats en ferro, i especialment les pissarres i esquists negres del Silurià.

Els continguts en ferro de les mostres de les unitats hidrogeològiques d'Andorra varien entre 0.5 i 857 ppb, amb un valor mig de 55 ppb.

Els valors més alts de ferro el presenten les mostres que circulen pels materials silurians, constituïts bàsicament per pissarres negres, localitzades tant en la unitat de Els Orris (mostra Q17 – Font del Ferro) com en la unitat de Coll de la Gallina (mostres 119 i 118G).

El grup de mostres de la Unitat de Sispony presenten valors de ferro molt per sobre del valor de fons o valor mig, probablement degut als materials greso – pelítics pels qual circulen. El mateix succeeix respecte la Unitat Prat Primer.

Les aigües que drenen exclusivament materials granítics (mostres 45 i 46) tenen continguts baixos en ferro, produïts probablement per una baixa taxa de meteorització dels granits en les condicions climàtiques de la zona i també en part degut a la baixa mineralització d'aquestes aigües.

El ferro, com és habitual en la majoria d'ambients, es correlaciona molt bé amb el manganès, i en el Principat també amb el bor i el plom. En canvi no es correlaciona amb l'antimoni, coure, fluor i mercuri (**Taula 3**).

2.1.9 Manganès

El manganès té unes característiques geoquímiques molt similars a les del ferro; com aquest, també es troba enriquit en les roques ígnies, especialment en les fases residuals



magmàtiques, amb elevats continguts en exhalacions volcàniques i en aigües termals. En canvi, la seva mobilitat en l'ambient supergènic és molt baixa, limitada per la baixa solubilitat dels òxids de Mn^{4+} a pH neutre; a pH àcids pot mobilitzar-se fàcilment com Mn^{2+} . Per tant, el pH, juntament amb el contingut en carbonats i matèria orgànica, constitueixen barreres geoquímiques al transport del manganès en solució.

Les litologies que presenten alts continguts en manganès són els materials pelític-detrítics (pissarres, esquists, grauaques i gresos), i especialment, tal com succeïa amb el ferro, les pissarres i esquists negres estan molt enriquits en aquest element.

Els continguts en manganès de les mostres de les unitats hidrogeològiques d'Andorra varien entre 0.1 i 102 ppb, amb un valor mig de 4.6 ppb.

Els valors més alts de manganès coincideixen aproximadament amb les mostres que també presenten alts valors de ferro, és a dir les mostres que circulen per les pissarres negres del Silurià, situades en la Unitat de Prat Primer, així com les que circulen per les gresopelites de l'unitat de Valira del Nord.

Les aigües que drenen exclusivament materials granítics (mostres 45 i 46) tenen continguts baixos en manganès, produïts probablement per una baixa taxa de meteorització dels granits en les condicions climàtiques de la zona i també en part degut a la baixa mineralització d'aquestes aigües.

El manganès es correlaciona molt bé amb el ferro, així com també amb el plom. En canvi presenta correlacions molt baixes amb l'antimoni, arsènic, fluor i seleni (**Taula 3**).

2.1.10 Alumini

L'alumini a l'igual que la sílice és un dels principals constituents de l'escorça terrestre. El contingut d'alumini de la majoria de roques està entre 0.45 i 10 %. Respecte a la seva mobilitat en l'ambient supergènic, l' Al^{3+} és moderada. En forma d'hidròxids d'alumini a pH entre 5 i 8, és baixa. En determinades condicions les suspensions col·loïdals d'òxids d'alumini poden ser estables.

Pel que respecta a les litologies presents al Principat les pissarres i materials pelític-detrítics són els materials que "a priori" poden presentar continguts més elevats en alumini, i especialment les pissarres i esquists negres amb continguts molt alts en aquest element, sense descartar un enriquiment antròpic (mostra 74, 75, 76, 77).

Els continguts en alumini de les aigües de les unitats hidrogeològiques d'Andorra varien entre 0.01 i 260 mg/l, amb un valor mig de 4.84 mg/l.

Els valors més alts d'alumini, els presenten algunes de les mostres que circulen pels materials silurians, constituïts bàsicament per pissarres negres del Silurià i calcàries del Devonian, situades en la unitat de Prat Primer (mostra 17), com les mostres que circulen pels materials gresopelítics de la unitat de Valira del Nord (mostres 74, 75, 76, 77 i 78).

Les aigües que drenen exclusivament materials granítics (mostres 45 i 46) tenen continguts baixos en alumini, degut a la baixa mineralització que tenen aquestes aigües i a la reduïda taxa de meteorització dels materials granítics en les condicions climàtiques del Principat.

L'alumini només es correlaciona bé amb el níquel. Presenta una correlacions dèbils amb el ferro, fluor i manganès. No es correlaciona o es correlaciona amb valors negatius amb l'antimoni, arsènic, bor, coure, mercuri, plom i seleni (**Taula 3**).

2.1.11 Coure

El coure es troba enriquit en les roques ígnies màfiques i concentrat principalment en els minerals ferromagnèsics. Pel que respecta a la seva mobilitat en l'ambient supergènic, com a Cu^{2+} és alta en aigües àcides i oxidants, limitada per la precipitació en forma de sulfurs, i per l'adsorció en la matèria orgànica. El pH també actua com a barrera geoquímica.

Pel que respecta a les litologies presents en el Principat les pissarres i materials pelítico-detritics són els materials que "a priori" poden presentar continguts més elevats en coure, i especialment les pissarres i esquists negres del Silurià molt enriquits en aquest element.

Els continguts en coure de les mostres de les unitats hidrogeològiques d'Andorra varien entre 0.03 i 380 ppb, amb un valor mig de 44 ppb.

Els valors més alts de coure el presenten les mostres que circulen pels materials greso – pelítics de l'Ordovicià, així com els materials del Silurià, constituïts bàsicament per pissarres negres, localitzades tant en la unitat Coll de la Gallina (mostres 116, 117, 118 i 119) com en la unitat Sant Julià (mostres 47, 51, 52, 53, 54 i 55). També es troben valors alts de forma puntual en les unitats La Massana, Sispony, Enclar i Arinsal, probablement associats a mineralitzacions de sulfurs en forma de petits filons o disseminats.

Les aigües que drenen exclusivament materials granítics (mostres 45 i 46) tenen continguts baixos en coure, produïts probablement per una baixa taxa de meteorització dels granits en les condicions climàtiques de la zona i també en part degut a la baixa mineralització d'aquestes aigües.

El coure no presenta correlacions altes amb cap altre element, només correlacions mitjanes amb el manganès, bor, plom i arsènic. En canvi no es correlaciona amb l'alumini, antimoni, ferro, mercuri i níquel. I es correlaciona negativament amb el fluor i seleni (**Taula 3**).

2.1.12 Zinc

El zinc es troba enriquit en les roques pelítiques i detritiques: pissarres, pissarres negres, gresos; així com roques ígnies màfiques i concentrat principalment en els minerals ferromagnèsics, en els quals reemplaça al Fe^{2+} i al Mg^{2+} . Pel que respecta a la seva mobilitat en l'ambient supergènic, com a Zn^{2+} és alta en aigües oxidants entre neutres i àcides, i baixa en terrenys calcaris. Pràcticament immòbil en medis reductors per precipitació en forma de sulfurs. En determinades condicions la seva mobilitat es pot reduir per adsorció o coprecipitació en òxids de ferro i manganès.

Pel que respecta a les litologies presents al Principat, les pissarres i materials pelítico-detritics són els materials que "a priori" poden presentar continguts més elevats en zinc, i especialment les pissarres i esquists negres del Silurià molt enriquits en aquest element.

Els continguts en zinc de les mostres de les unitats hidrogeològiques d'Andorra varien entre 1.2 i 73 ppb, amb un valor mig de 8.4 ppb.



Els valors més alts de zinc, a l'igual que els de coure es presenten de forma aïllada en les unitats caracteritzades pels materials greso – pelítics del Ordovicià, així com els materials del Silurià, constituïts bàsicament per pissarres negres, localitzades tant en les unitats Coll de la Gallina, Salines, Prat Primer, Sispony i Montaup.

2.1.13 Bor

El bor està present en les roques ígnies intermèdies, metamòrfiques i sedimentàries, especialment les pelítiques, en les quals substitueix als grups tetraèdrics de silici en les estructures cristal·lines d'alguns minerals, principalment piroxens, miques i plagiòclasis. També es troba en els minerals del grup de les argiles. Els continguts més elevats d'aquest element corresponen a les roques metamòrfiques i plutòniques intermèdies.

El bor presenta una elevada mobilitat, la concentració de bor en les aigües està controlada principalment per l'adsorció o incorporació a minerals del grup de les argiles.

En les aigües superficials el bor sol presentar valors migs entre 0.27 i 0.5 ppm, les aigües termals són les que tenen valors més alts d'aquest element, entre 0.5 i 1000 ppm, en les aigües subterrànies s'associa especialment a alts continguts de sodi i presenta correlacions negatives amb Ca, Mg i Cl.

El contingut en bor de les aigües del Principat presenta un rang de variació entre 10 i 160 ppb, amb un valor mig de 30 ppb. (**Taula 2**).

Els valors més alts d'aquest element corresponen a les mostres que drenen terrenys constituïts per materials metamòrfics com pissarres, esquists i sèries pelito-detritiques com les mostres 134 i 51. També la mostra corresponent a la unitat Termal de Roc del Metge.

El grup de mostres corresponents a la Unitat de Madriu presenten valors baixos de bor tot i que li correspondrien valors més alts en aquest element; probablement es deu a la baixa mineralització que tenen aquestes aigües i a la reduïda taxa de meteorització dels materials granítics en les condicions climàtiques del Principat.

El bor només es correlaciona mitjanament bé amb el ferro, antimoni i arsènic, correlacions mitjanes amb coure, manganès, mercuri i seleni. Destaquen baixos índexs de correlació, alguns amb valors negatius, amb el fluor, alumini i níquel (**Taula 3**).

2.1.14 Arsènic

2.1.14.1 Distribució de l'Arsènic

La concentració d'As en aigües superficials i subterrànies de l'àrea d'Andorra presenta nombroses anomalies possibles i probables atribuïbles, en principi als materials pelítics i pissarrencs, així com la presència de diferents mineralitzacions que es situen sobretot en els esquists. Les aigües situades en terrenys granítics mostren algunes anomalies atribuïbles a filons. S'observa absència de continguts alts en arsènic a les aigües associades amb els materials carbonatats del Devonian.

A les capçaleres de les unitats de Tristaina i Arieja s'observa que existeixen anomalies possibles segurament associades a mineralitzacions que contenen piritas i arsenopiritas.

Les aigües subterrànies del Principat mostren concentracions anòmales d'As especialment abundants en el sector de Sant Julià, així com també a les zones de Prat Primer, Enclar i Muntaner. En l'**Annex** s'adjunta el mapa amb les concentracions de l'arsènic.

En l'àmbit del Principat es troben fons força alts i anomalies possibles en tot el context de roques pelítiques i esquistoses, així com en menor freqüència en les roques granítiques. L'origen caldria atribuir-lo al grau de metamorfisme de les pissarres i també a mineralitzacions sulfurades.

En els materials quaternaris d'algunes cubetes properes als materials pelítics s'observen anomalies degut, en part, a que aquests materials provenen del desmantellament dels massissos adjacents i en part a que aquestes concentracions provenen del propi massís.

En els materials granítics les anomalies són poc significatives i poc disperses i cal atribuir-les a la presència de filons rics en piritita o altres sulfurs.

2.1.14.2 Tractament estadístic dels valors d'arsènic en les aigües

Totes les mostres d'aigües considerades, de les diferents campanyes realitzades, han estat analitzades mitjançant mètodes estadístics univariants, per determinar el fons geoquímic regional i els diferents llindars d'anomalia. S'ha dut a terme dos tractaments estadístics, numèric i el gràfic.

En primer lloc, per tal de veure els paràmetres de posició i dispersió geoquímica de l'arsènic, s'han determinat els diagrames de freqüència i distribució. En funció de la posició i dispersió, s'ha optat per fer l'anàlisi estadístic mitjançant:

1-Forma numèrica. De manera aritmètica determinar els paràmetres de posició com la mitjana, mediana i moda i els paràmetres de dispersió com la variança, la desviació estàndard, etc. Els resultats d'ambdós grups de paràmetres es troben a la **taula 4**.

	Mitjana	Mitjana Geom.	Mitjana Harm.	Mediana	Moda	Mínim	Màxim	Variança	Desviació Estàndard	Biaix	Apuntament
Arsènic	10.60	5.47	3.34	5.70	2.00	0.44	193.08	526.86	22.95	6.79	51.55
Log As	0.74			0.76	0.30	-0.36	2.29	0.21	0.46	0.37	0.72

Taula 4. Valors estadístics de l'arsènic i dels seus valors logarítmics

2-Forma gràfica. Atès que a partir dels diagrames de freqüència i distribució s'ha observat que l'arsènic no compleix una llei de distribució normal (**figura 8**), s'ha optat per normalitzar els valors amb logaritmes i tractar-los de forma geomètrica.

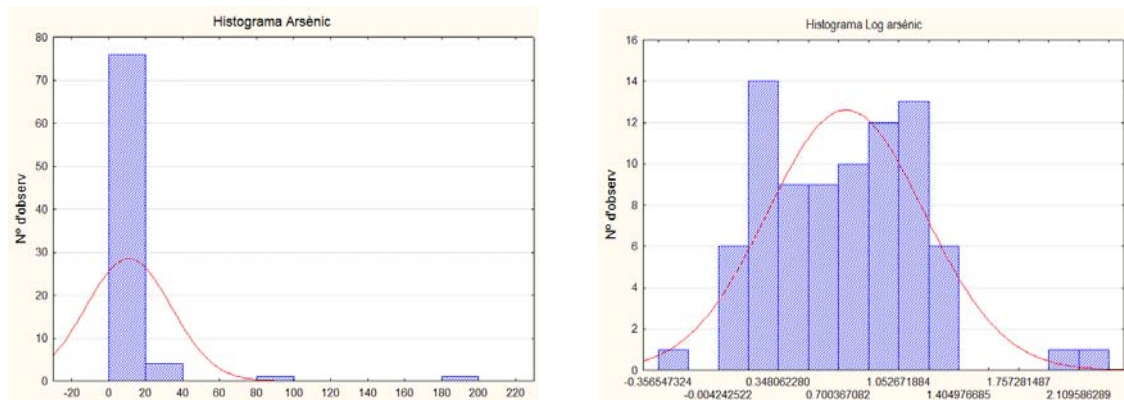


Figura 8. Freqüència i distribució dels As (esquerra) i dels valors logarítmics d'As (dreta)

L'observació dels diagrames normalitzats, dóna idea dels paràmetres de posició: unimodals, bimodals, plurimodals. La qual cosa voldrà dir que ens trobem en front d'una, dos o més poblacions de mostres i a la vegada una més elevada dispersió de les mostres. Això implica que les aigües, per variacions en el context geològic, per efectes de la fracturació i/o presència de mineralitzacions, o per una més elevada presència antròpica, presentaran valors molt diferents. Es tractarà doncs de determinar quina de les diferents poblacions defineix o determina el que anomenarem fons regional o clarke.

Una vegada determinades les característiques dels diagrames de freqüència i distribució s'analitzen els paràmetres de dispersió. D'aquests paràmetres el més important és la variància i la desviació típica o variància al quadrat.

En una distribució normal (**figura 9**), l'anàlisi probabilista que una mostra es situï en l'interval de la moda (equivalent a la mediana i a la mitjana) que subdivideix la corba en el 50% o fons, seria del 31,73%. A l'inrevés, la probabilitat que no es situï en aquest interval, seria del 69,27%. Aquest interval entre la dreta i esquerra de la corba, és el que s'anomena, per conveni, l'interval de l'anomalia possible. Aquest equival a la mitjana més una desviació estàndard.

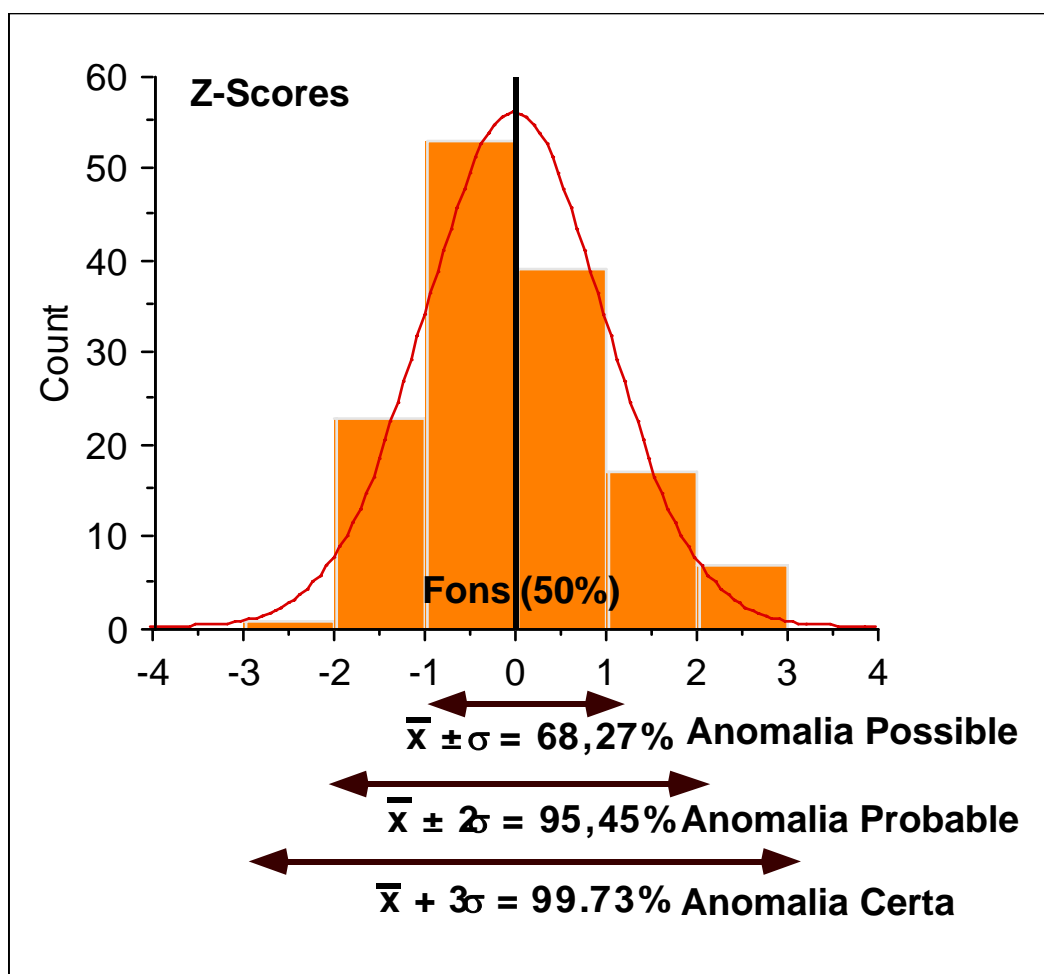


Figura 9. Bases per la determinació dels llindars d'anomalies

Tanmateix, la probabilitat del 4,55% que una mostra estigui a la banda dreta i a la esquerra de la corba se l'anomena llindar d'anomalia probable, i si aquesta probabilitat és del 0,27%, anomalia certa.

Quan una distribució estadística està composta o per diverses poblacions o que una de les poblacions presenta una dispersió força elevada i per tant no compleixen una llei normal, es presenta el problema de poder aplicar l'anàlisi probabilístic representat en la figura 10. Per poder superar aquest conflicte i determinar els diferents llindars d'anomalia de les dades d'elements químics, el geoquímics han observat que la distribució no normal de les dades geoquímiques presenta un comportament normal quan es transforma a logaritmes. D'aquí el terme utilitzat de distribució lognormal esmentat anteriorment.

També cal tenir en compte que com en el cas del gràfic de l'arsenic (figura 8 dreta), la normalització amb logaritmes mostri dues poblacions ben diferenciades que en ser traspasades en un diagrama probabilístic poden donar un gràfic probabilístic com el de la figura 10.

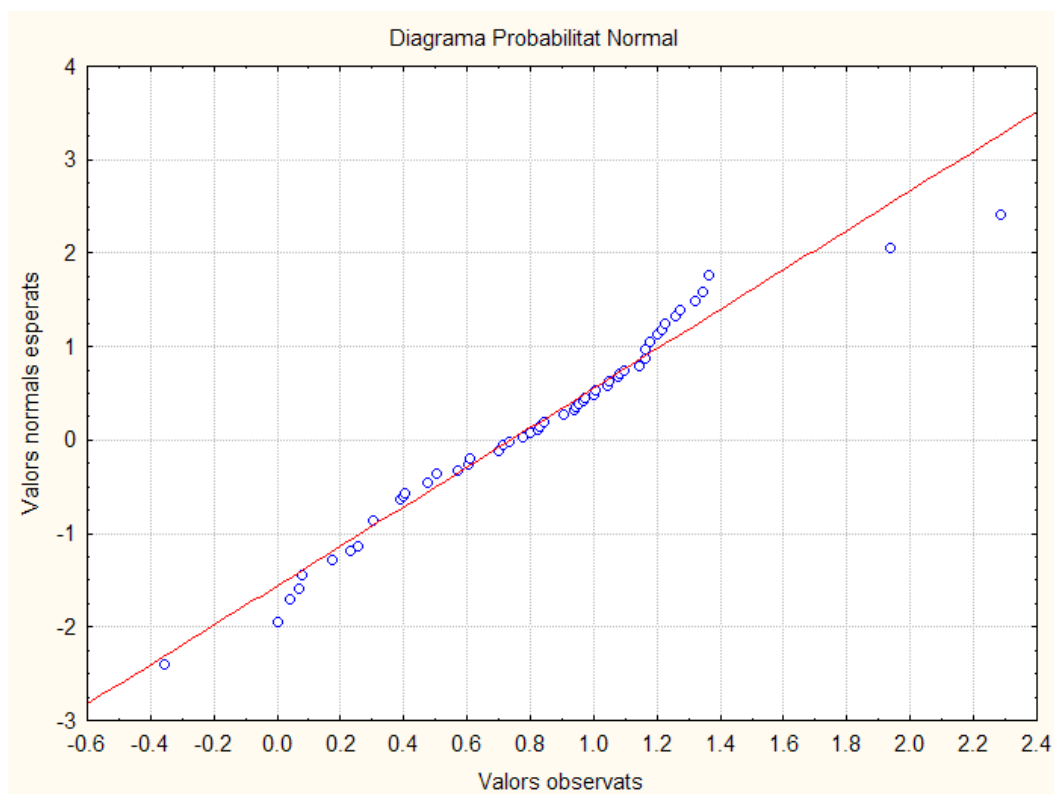


Figura 10. Diagrama probabilístic de l'arsènic

La construcció del gràfic de la **figura 10** es basa en els treballs realitzats per Lepeltier (1969) i Sinclair (1981).

En termes geoquímics, la distribució dels elements químics en un territori donat, en el cas Andorra, es basa en el coneixement dels valors de fons geoquímic o millor dit de la població que millor representa aquests valors de fons. Tots els altres valors (dreta o esquerra de la corba de la **figura 9**), seran assenyalats com anomalies geoquímiques.

És per tant molt important poder arribar a esbrinar quina és aquesta població de fons, independentment del seu origen geològic i/o antròpic per poder determinar els diferents llindars d'anomalies.

Encara que tan sols interressi la població de fons per veure les diferents anomalies -per excés de valors alts a la dreta de la corba o per defecte a la esquerra de la corba -, cada població, sigui de fons, sigui anòmala, una vegada normalitzada, presentarà els seus fons i llindars d'anomalies, sigui aquest natural o antròpic.

La corba de la **figura 10** presenta una sola població però amb un excés de valors alts i per tant el fons estarà representat per la tangent de la corba inferior, que representa la major proporció de valors de la població.

En quan a la interpretació d'aquests resultats, a la **taula 5** es presenten de forma separada els valors de fons de les aigües d'Andorra de les mostres recollides en diferents

campanyes de mostreig. Així mateix, també s'hi exposen els valors de les anomalies possible, probable i certa.

		% població	Valor ($\mu\text{g/l}$)
Fons	X_m	50	6.3
Anomalia possible	$X_m+1\delta$	16	15.8
Anomalia probable	$X_m+2\delta$	2.5	50
Anomalia certa	$X_m+3\delta$	0.14	158

Taula 5. Valors de fons i llindars d'anomalia dels valors d'arsènic en les aigües d'Andorra (X_m = mitjana geomètrica, δ = desviació estàndard)

El valor de fons calculat i que es presenta a la **taula 5** correspon a aquell valor genèric o mig de la zona, és a dir, és el valor de concentració obtingut a partir de la mitjana geomètrica (ja que l'element presenta una distribució log-normal). D'aquesta manera, els valors calculats tenen aproximadament el 50 % de possibilitat que es doni aquest valor.

Les anomalies possibles i probables, per la seva banda, s'han calculat a partir de sumar al valor de fons una i dues desviacions estàndard respectivament. D'aquesta manera, el percentatge d'error en calcular les anomalies es redueix en augmentar el nombre de desviacions estàndards que s'hi afegeixen, essent cada vegada les anomalies més segures des del punt de vista estadístic fins arribar a ésser aquestes certes, moment en el qual es considera gaire bé el 100 % de les mostres (el 99,73 % exactament).

Les principals zones o punts anòmals són la Font Birena (de la unitat de Muntaner) amb valors que superen l'anomalia probable, el Rec Solà de la unitat d'Enclar i la font dels Carabiners de la unitat Coll de la Gallina. L'anomalia més important però, està centrada en el manantial termal de Roc del Metge a Les Escaldes amb un valor d'arsènic de 193 $\mu\text{g/l}$.

La importància de determinar el fons geoquímic de les aigües d'Andorra està en que es dedueix de l'estudi estadístic que el fons d'arsènic de tot el Principat és en general alt, de 6.3 $\mu\text{g/l}$, molt proper al valor límit de potabilitat que és de 10 $\mu\text{g/l}$, la qual cosa implica que és molt possible trobar aigües que puguin presentar de forma natural valors que superin aquest límit de potabilitat, essent el contingut en arsènic un dels paràmetres que s'ha de controlar de forma més exhaustiva en el Principat.

2.2 Caracterització hidroquímica

Al Principat, el quimisme general de les aigües subterrànies presenta el següent conjunt de característiques geoquímiques:

- Mineralització entre molt baixa i baixa, amb conductivitats inferiors a 350 $\mu\text{S/cm}$, tot i que es troben aigües amb conductivitats que poden superar els 400 $\mu\text{S/cm}$ associades amb les pissarres carbonoses.
- Caràcter alcalí dominant de les aigües, amb pH superiors a 7 tot i que es troben aigües amb pH que són inferiors a 6, associades amb les pissarres carbonoses.



- Baixos continguts en clorurs i nitrats.
- Presència de mostres amb valors elevats de sulfats.
- Valors relativament elevats d'estranci i ferro, però baixos en tots els altres elements i substàncies analitzades, excepte en algunes mostres anòmales (**Taula 2**).
- Valors significatius en arsènic en diverses mostres i unitats hidrogeològiques; la mitjana de totes les mostres amb valors significatius (per sobre del límit de detecció analític) és superior al límit de potabilitat de 10 ppb. Si s'analitzen els paràmetres estadístics que defineixen la població de valors d'arsènic, s'aprecia com el valor de fons més ajustat al conjunt global seria un valor al voltant dels 6 ppb, i per tant no superaria al límit de potabilitat de les aigües, però està molt al límit.
- Les aigües del principat són majoritàriament agressives i molt agressives, no obstant, en ambients més carbonàtics predominen les aigües mitjanament agressives i estables. Puntualment, associat a contaminació, s'han trobat aigües molt incrustants, tal i com s'identifica en l'anàlisi que es fa de cada unitat, en l'**Annex de documentació**.



2.3 Anàlisi de la possible existència d'aigües amb influència d'aigües termals

Les aigües termals a Andorra estan associades a la gran falla nord-pirenenca i a les seves falles satèl·lits, així com al batòlit d'Andorra – Puymorens, i tenen la seva localitat emblemàtica a Les Escaldes. La presència d'aigües termals no es tracta d'un fenomen de caràcter local, i és que hi ha altres manifestacions de caràcter termal associades a fractures situades als voltants o bé d'aquesta falla nord – pirenaica o als voltants del batòlit granític, a Incles per exemple.

Aquesta presència de diverses manifestacions termals en el sí del Principat, va fer suposar la possible existència d'aigües provecents d'altres fonts o pous que poguessin tenir aquest origen. Amb aquest objectiu es van avaluar les anàlisis d'aigües recopilades en aquest estudi per veure si podien correspondre al fenomen del termalisme, total o parcialment.

Les mostres avaluades per la seva possible adscripció al grup d'aigües termals corresponen a diferents unitats hidrogeològiques: unitat Mixta Andorra La Vella – Les Escaldes, unitat Prat Primer (mostra 18), unitat Enclar (mostres 38, 39 i 41), unitat Engolasters (mostra 34), unitat de Madriu (mostres 44 i 45) i unitat de Muntaner (mostra 30) (**Taula 6**).

A partir de la composició química determinada pels ions majoritaris, s'observa com mentre les aigües termal tenen una composició bicarbonatada sòdica clara, totes les altres mostres presenten un caràcter bicarbonat càlcic dominant. En el diagrama de Piper (**figura 11**) s'observa com les mostres de la Unitat Termal (en color blau) estan localitzades en el vèrtex sòdic, mentre que totes les altres formen un grup força compacte en el vèrtex càlcic. Pel que fa al triangle dels anions també s'observa la distància entre unes i altres mostres. Les mostres avaluades s'acumulen en el vèrtex dels bicarbonats, en canvi les dues mostres de la Unitat Termal, tot i tenir una component dominant bicarbonatada, tenen una certa proporció dels altres anions, especialment el sulfat. En el diagrama de Schoeller (**figura 11**) també s'aprecien aquestes diferències composicionals; les mostres de la Unitat Termal formen una poligonal totalment diferenciada de les altres mostres, caracteritzada per baixos continguts de magnesi, calci i clorurs, i elevats continguts de sodi, bicarbonats i sulfats. Aquestes diferències també es posen de manifest amb la comparació dels diagrames de Stiff (**figura 12**), la morfologia del diagrama de les aigües de la Unitat Termal (part superior de la figura) és totalment diferent a les de les quatre mostres escollides com a representatives de les 11 mostres avaluades.

També s'han seleccionat 10 paràmetres químics per avaluar la possible similitud entre les mostres que podrien considerar-se com amb influència termal i les dues mostres corresponents a la Unitat Termal, aquests paràmetres són: la temperatura de sorgència, el pH, l'Eh i els continguts en els elements traça següents: arsènic, bor, alumini, estronci, zinc, liti i fluor (**Taula 9**). Malhauradament no es tenen valors d'aquests paràmetres per a totes les mostres avaluades.

S'observa en la **taula 6** com les característiques de les dues mostres corresponents a la Unitat Termal són força variables, donant per tant un ampli rang de valors en el qual hi poden entrar un cert nombre de mostres d'aigua. Així el contingut en bor va de 23 ppb a la mostra del Pou d'Incles a 151 ppb en la deu del Roc del Metge o el contingut en arsènic que varia entre < 5 ppb al pou d'Incles fins els 193 ppb del Roc del Metge.

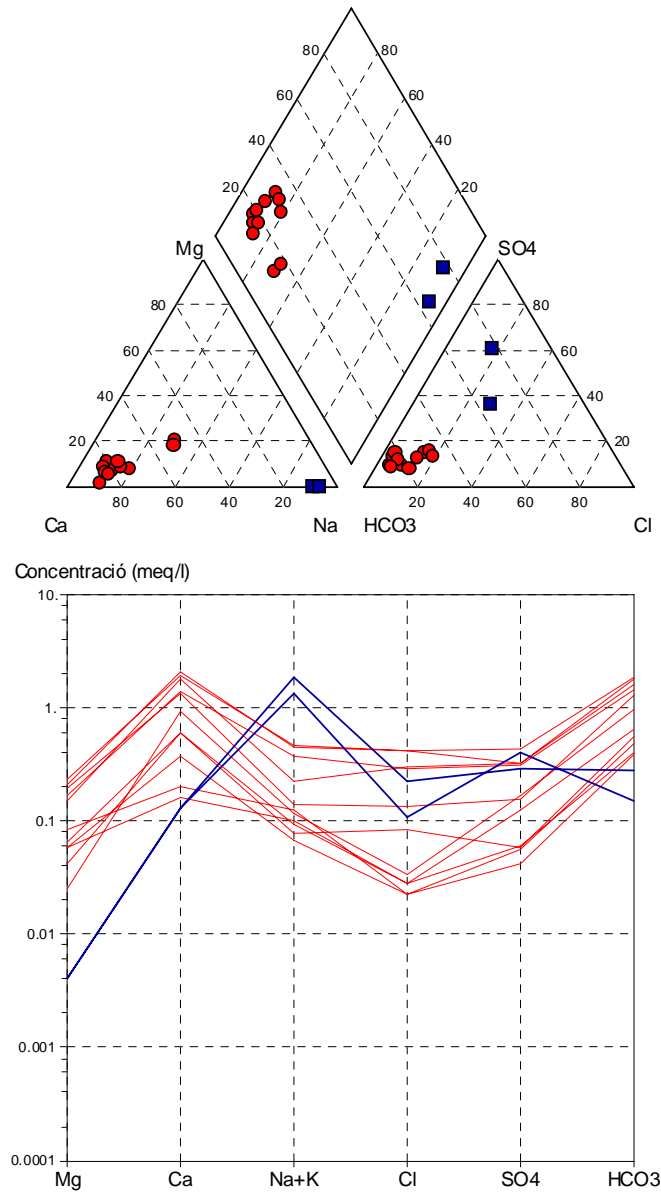


Figura 11. Diagrama de Piper (part superior) de les mostres de la Unitat Termal (en blau) i les mostres a comprovar si tenen aquest caràcter. (A la part inferior) Diagrama de Schoeller en que també es representen, en blau, les mostres de la Unitat Termal respecte les altres mostres.

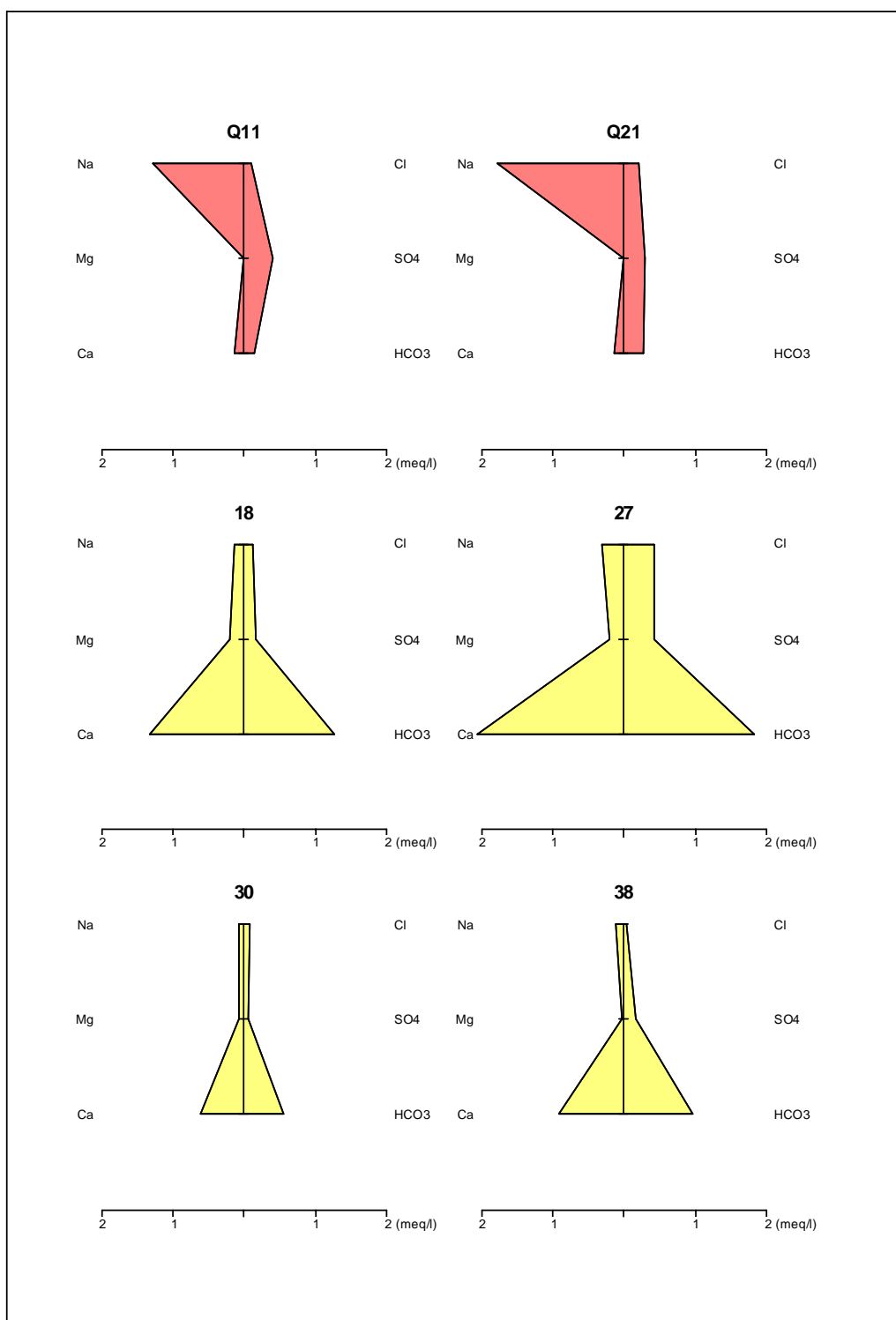


Figura 12. Diagrames de Stiff de les mostres de la Unitat Termal (en rosat) i quatre mostres representatives de les 11 mostres que es vol comprovar si tenen aquest caràcter. (en groc).

Taula 6. Valors del paràmetres químics utilitzats per comparar entre les mostres de l'Unitat Termal i les mostres amb aquest origen possible

	Mixte		Prat Primer	Engolasters	Muntaner	Madrid		Enclar			Mixte		
	Roc del Metge	Pou Incles	Font del Ribal	Ordigues	Font Birena	Font Pixadera	Riu	Rec Solà	Joans	Riu Enclar	Pou 2	Pou 3	Pou 4
Mostra	Q21	Q11	18	34	30	44	45	38	39	41	24	27	28
T ^a	45	19	10.7	6.7	8.1 - 10.5	5.6		16.8*	9.5	9 - 12	8.5 - 11	10 - 11	10 - 11
pH	9	10.6	7.6	6.7	alcali < 8.4	7.7	7.3 - 8.1	-	7.4 - 8.02	7.1 - 7.9	7.2 - 7.7	7.1 - 7.5	7.5 - 7.7
Eh	+167	-20											
As	193	< 5	< 2	1.5	12 - 22	3.2	5 o < 10	86	5 - 10	3 - 10	1.7 - 4	7	< 2
B	151	23	< 25	< 50	< 25	< 50	7 - 27	< 50	< 20	33	27 - 65	35 - 57	35 - 56
Al	47	17	-	< 10	0 - 65	< 10	23 - 53	< 10	8	< 25	< 10	< 25	33
Zn	12	3.5	4	6.1	Baix	1.3	-						
F			0.1	0.1	0.1 o < 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.2	< 0.1	0.11 - 0.14	0.13	< 0.1
Sr	18	45											
Li	111	11.5											

*Mostra recollida aigües avall de la font, i per tant influenciada per al temperatura ambiental

3 VALORS GENÈRICS DE REFERÈNCIA

De cara a calcular els valors genèrics de referència de les aigües del Principat s'han tingut en compte un total de 408 anàlisis complets, d'aigües no alterades antròpicament.

Donada la varietat en la composició química de les aigües, i per tal de poder caracteritzar els diferents escenaris existents, s'han agrupat les anàlisis segons sis grans grups:

- Silícic de gra fi
- Silícic de gra groller
- Silícic de gra fi del Silurià
- Calcàries
- Mixte
- Dipòsits quaternaris

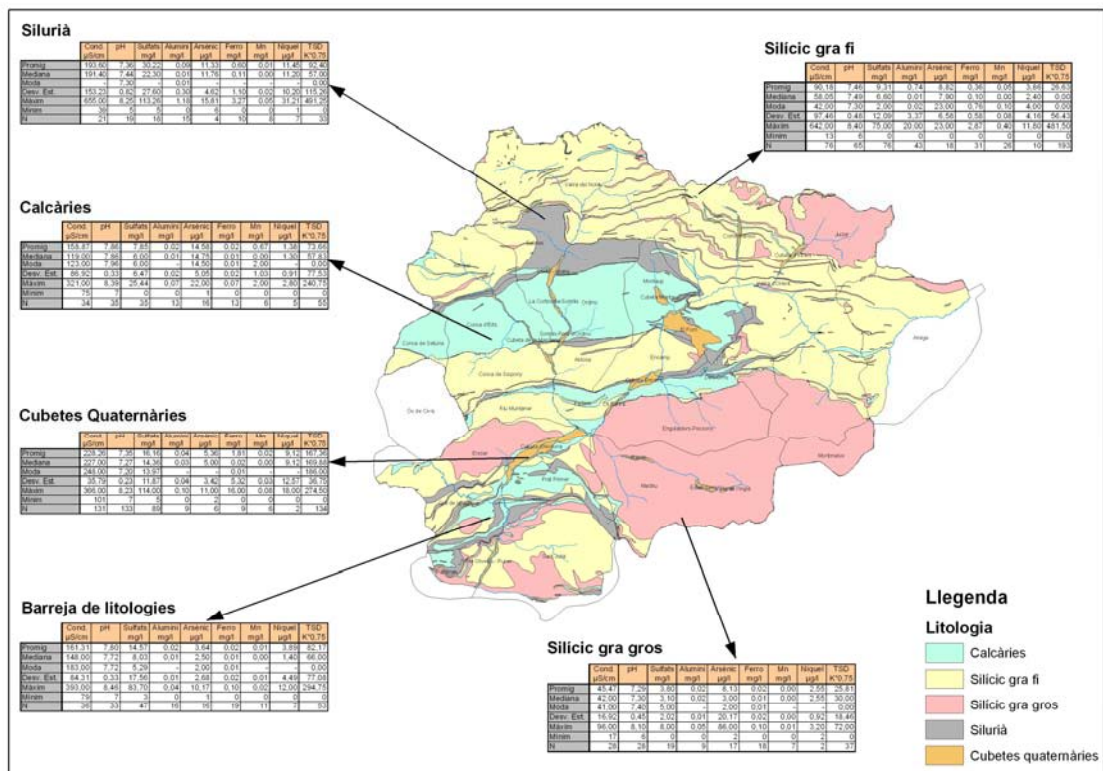


Figura 13 . Mapa dels valors de referència dels diferents grups d'aigües identificats.

En els següents capítols s'exposa els resultats de cada grup litològic.

3.1 Unitat Roques Silíciques de gra fi

Consta de 14 anàlisis químiques completes, amb tots els ions majoritaris analitzats. Nou mostres corresponen a aigües de fonts, una a un pou i tres a aigües de torrents. L'error analític d'algunes mostres és superior a l'admissible, segons el criteri de Custodio (1983), que es pot interpretar com degut a un dèficit en el contingut de cations. En la **taula 7** es representa les principals característiques de les aigües (rang i valors mitjos).

Degut a que és una de les unitats que comprèn un àmbit territorial més ampli en el Principat, estan representades en la mateixa diverses composicions químiques (**figura 14**), amb tres grups ben diferenciats. El primer grup és el de les bicarbonatades càlciques amb algunes mostres amb continguts alts en sodi i magnesi (diagrama de Stiff de la mostra Q8 corresponent a Torrent Bordes Envalira) (**figura 15**). El segon grup és el d'aigües bicarbonatades – sulfatades càlciques amb una certa tendència cap a càlcico – sòdiques (diagrama de Stiff de la mostra Q2 corresponent a la Font de la Pleta). I finalment el tercer grup que correspon a les aigües bicarbonatades – clorurades càlciques, amb algunes mostres que presenten una certa tendència a magnèsiques (diagrama de Stiff de la mostra 78 corresponent a S1 cota 1709).

Globalment les mostres incloses en aquesta unitat es caracteritzen per ser lleugerament mineralitzades, amb pH neutre i lleugerament dures, amb alguna mostra de duresa elevada. Els continguts en elements traça (**taula 10**) es poden considerar com a alts per alumini, cadmi, coure, ferro, manganès, arsènic i fluor, i baixos per a l'antimoni, níquel, estronci i liti (**taula 7**). El fons geoquímic en arsènic d'aquesta litologia és molt similar al fons geoquímic del Principat (6,3 µg/l). Varies mostres superen mínimament aquest valor de fons, i especialment algunes mostres de l'aquífer de Coll de la Gallina, superen els 15 µg/l.

Les mostres tenen una relació iònica rK/rNa al voltant de 0.1, aquests valors indiquen la influència d'aigües relacionades amb roques metamòrfiques o roques procedents d'aquestes, en tot cas es tracta d'aigües poc sòdiques (**taula 8**).

La relació rMg/rCa entre 0.1 i 0.4, que també indicaria la influència de terrenys esquistosos, reflectint una major presència de minerals màfics que hi ha en aquestes litologies.

El procés de concentració en el quimisme de les aigües subterrànies en el sentit del flux queda reflectit en l'augment de l'índex rCl/rHCO₃, en general paral·lel a l'augment de la mineralització de les aigües, i per tant, implica temps de residència i interacció amb el terreny més elevats. La interpretació dels valors més elevats d'aquesta relació (entre 0.1 i 1.2) indiquen aigües que circulen per materials pelítics o arenosos, i per processos de dissolució donen com a resultat un augment d'aquesta relació.

L'índex rSO₄/rCl marca la tendència a un augment en el contingut en sulfats, aquesta tendència que presenten en general la majoria de les aigües del Principat, en aquesta unitat no hi queda reflectida, amb valors inferiors a 0.7 que presenten aquestes mostres (**taula 8**).

El valor mig de la relació rNa / rCl en aquesta unitat està als voltants de 0.95, valor normal per l'aigua del mar i de la pluja, no assenyalant per tant cap tipus d'enriquiment de sodi per aquestes aigües, així com l'absència del desequilibri clor – àlcalis típic d'altres litologies.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	lò dominant	Elements traça (µg/l)
113	7,5	134	66	Bicarbonatada càlcica	0,01 < Cu < 320
13 – 1056	6,4 – 8,4	16 – 580	8,7 – 353	Bicarbonatada sulfatada càlcica	0,4 < As < 23
				Bicarbonatada clorurada càlcica	20 < F < 520
					0,1 < Cd < 12
					15 < Fe < 2870
					1 < Al < 20000
					400 < Mn < 0,2

Taula 7. Caracterització de les aigües de la Unitat Roques Silíciques de gra fi

El valor de l'índex Q en les mostres corresponent a aquesta litologia està per sota d'1, assenyalant un cert dèficit en Ca. També es pot interpretar com produït per temps de residència elevats (**taula 8**).

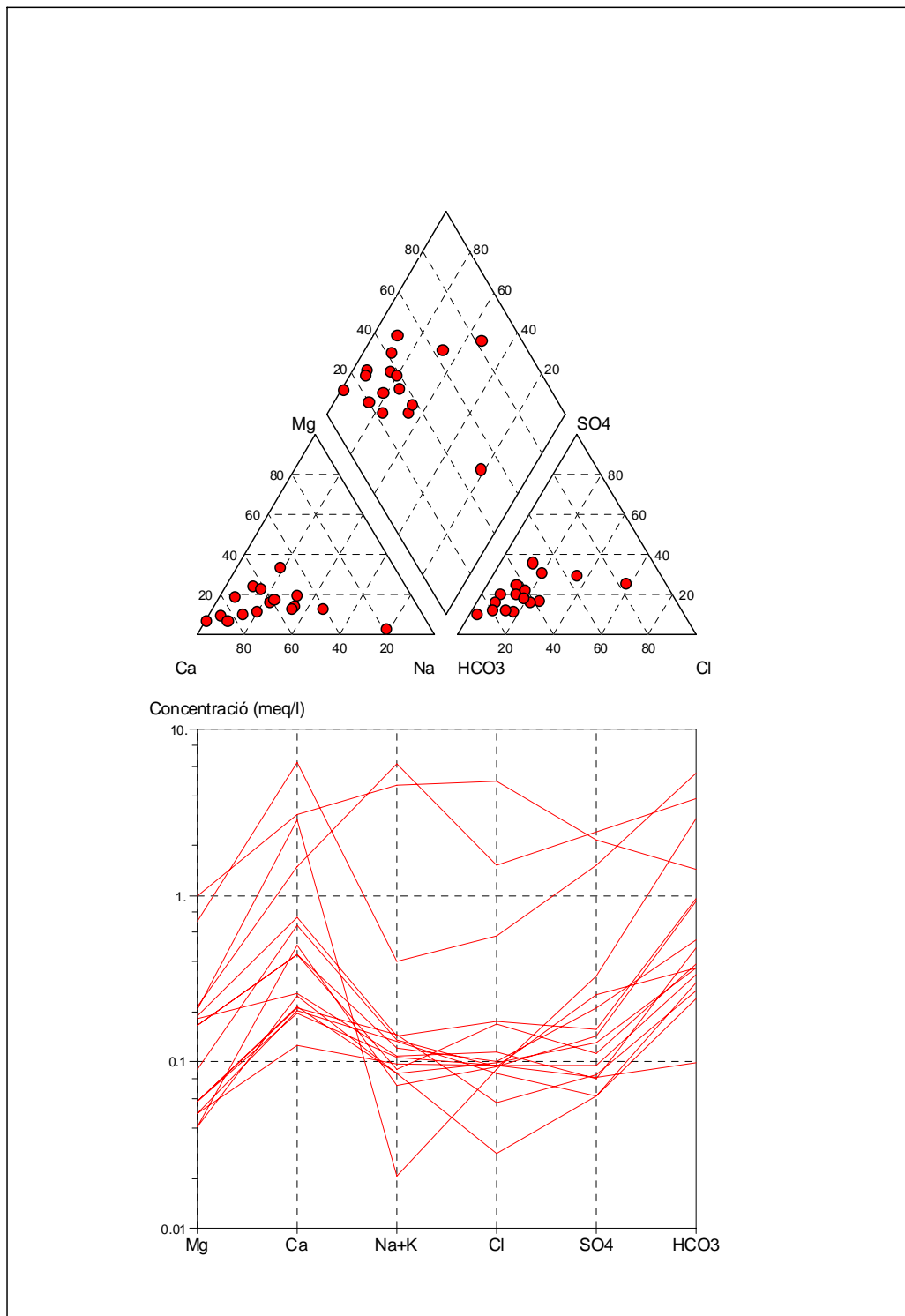


Figura 14 .Diagrama de Piper (part superior) i de Schoeller - Berkaloff (part inferior) de la Unitat Roques Silíciques de gra fi

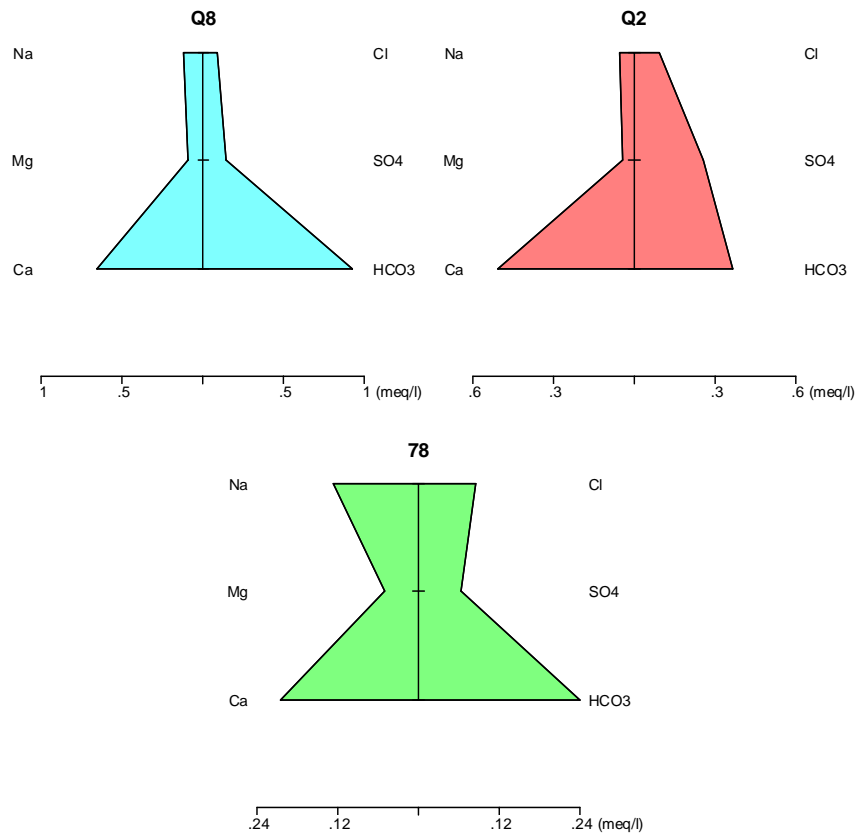


Figura 15. Diagrames de Stiff (modificat) d'algunes mostres característiques de la unitat

	rK/rNa	rMg/rCa	rCl/rHCO ₃	rNa/rCl	rSO ₄ /rCl	Q
Silicic de Gra Gruixut	0.07-0.28	0.03-0.41	0.03 - 0.39	0.56 - 5.01	0.05 - 4.9	0.35 - 0.86
Silicic de Gra Fi	0.03-0.37	0.06 - 0.41	0.03 - 1.2	0.11 - 4	0.06 - 0.71	0.24 - 1.04
Silurià	0.19-8.05	0.07-0.2	0.005 - 0.02	1.4 - 97	> 6	0.65 - 0.87
Calcàries del Devonianà	0.09 - 0.79	0.02 - 0.22	0.002 - 0.38	0.29 - 12	0.19 - 103	0.76 - 1.3
Pissarres, cornubianites i granit	0.001-0.29	0.001 - 0.36	0.003 - 1.16	0.09 - 18.5	0.3 - 39	0.35 - 5.5
Quaternari	0.03 - 0.42	0.04 - 0.14	0.2 - 1.3	0.11 - 1.31	0.1 - 2.2	0.8 - 1.5

Taula 8. Principals relacions iòniques de les diferents unitats diferenciades en el Principat d'Andorra

	T ^a	Eh	Cond	pH	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	COT
	° C	mV	μS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Promig	6.1	263	113	7.46	68	11.9	4.4	1.5	22.5	2.5	6.6	3.8	18.6	0.7
Mediana	5.4	265	59	7.48	24	7.0	0.9	1.0	8.8	1.6	1.6	0.5	7.7	0.5
Mitjana geomètrica	5.0	260	67	7.44	35			0.7	10.8	1.5	1.9	0.8	9.4	0.6
Moda	4		42	7.30	6	2.0	0.3	1.0	8.8	2.0	1.1	0.5		0.3
Desv. Estandar	3.6	39	174	0.47	93	20.0	17.1	2.2	33.4	3.2	19.5	10.8	31.5	0.6
Màxim	16.4	315	1056	8.4	334	116	173	10	127.5	12	140	44	90	2.9
Mínim	0.4	194	13.11	6.4	6	0	0	0.01	2.457	0.53	0.25	0.25	4.3	0.2
N	31	8	78	66	17	78	165	56	16	16	78	16	7	43
Inferiors límit det.	3	3	3	3	3	9	30	29	3	3	4	3	3	14

Taula 9. Valors estadístics dels principals paràmetres que caracteritzen la unitat de Roques Silíciques de gra fi

	Alumini	Antimoni	Arsènic	Bor	Cadmi	Coure	Crom total	Crom hexavalent	Ferro total	Fluorurs	Manganès	Níquel	Plom	Estronci	Liti
	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Promig	0.74	0.45	8.82	0.03	3.5	60.25	3.58	20.00	0.36	0.1	0.0	3.9	1.0	46.6	1.9
Mediana	0.01	0.30	7.9	0.01	1.1	10	2.39	20.00	0.10	0.1	0.0	2.4	0.7	25.2	0.9
Mitjana geomètrica	0.02	0.30	6.18	0.01	1.0	10.7	2.16	18.61	0.12	0.1	0.0	1.7	0.7	36.5	1.0
Moda	0.02		23	0.10		120		20.00	0.76	0.04	0.1	4	1		
Desv. Estandar	3.37	0.53	6.58	0.04	5.5	77.9	4.32	7.56	0.58	0.1	0.1	4.2	1.0	38.3	3.2
Màxim	20	1.52	23	0.12	11.6	320	13.83	30.00	2.87	0.52	0.4	11.8	4.0	127.6	9.7
Mínim	0.0001	0.11	0.44	0.0006	0.11	0.031	0.38	10	0.015	0.02	0.0002	0.19	0.2	16.9	0.3
N	43	6	18	20	4	32	8	8	31	25	26	10	18	8	8
Inferiors límit det.	39	64	63	56	66	46	44	15	51	45	55	68	63	5	5

Taula 10. Valors estadístics dels metalls pesants i altres elements traça que caracteritzen la unitat de Roques Silíciques de gra fi



3.2 Unitat Roques Silíciques de gra gros

D'aquesta unitat es disposa de 6 anàlisis químiques completes, amb tots els ions majoritaris analitzats. Dues de les mostres corresponen a aigües de fonts i les quatre restants a aigües de torrents i rius. L'error analític d'una mostra és superior a d'admissible, segons el criteri de Custodio (1983), que es degut a un dèficit en el contingut de cations. No es disposa d'elements per poder corregir-lo. En la **taula 11** es representa les principals característiques de les aigües (rangs i valors mitjos).

Aquesta unitat comprèn un àmbit territorial força restringit i el nombre de mostres també és reduït, probablement aquests fets expliquen que la composició química de les mostres que provenen d'aquesta litologia sigui molt homogènia. La composició química dominant és la bicarbonatada càlcica o càlcico – sòdica, s'observa en el diagrama de Piper com les mostres tenen tendència a desplaçar-se cap el pol sòdic (**figura 16**). La mostra més representativa d'aquesta unitat és la numerada 45 que correspon al riu Madriu, mostra recollida en la part inferior d'aquest curs fluvial, després d'haver travessat tots els materials granítics que conformen aquesta conca (**figura 17**).

Globalment les mostres incloses en aquesta unitat es caracteritzen per ser dèbilment mineralitzades, amb pH neutre, lleugerament dures. Respecte el contingut en elements traça, si es comparen aquests valors amb els fons geoquímics per tot el Principat, s'observa com aquesta unitat no presenta valors alts en cap dels elements analitzats, el contingut és baix per l'alumini, coure, ferro, manganès, níquel, plom, bari i zinc. No es detecten ni antimoni, seleni, cadmi, crom, estronci i liti. Respecte a l'arsènic, una mostra presenta contingut en aquest element superior al fons geoquímic del Principat (6,3 µg/l); es tracta de la mostra del Rec Solà (mostra 38) amb un valor de 86 µg/l. La resta de mostres presenten valors d'arsènic no significatius.

Les mostres d'aquesta unitat tenen una relació iònica rK/rNa al voltant de 0.13, aquests valors estan d'acord amb la influència d'aigües relacionades amb roques ígnies o metamòrfiques o bé roques procedents de l'erosió d'aquestes, en tot cas es tracta d'aigües amb baixos continguts en sodi.

La relació rMg/rCa inferiors a 0.2 o al voltant d'aquest valor, que indicaria la influència de terrenys esquistosos o ignis.

L'índex rCl/rHCO₃ permet caracteritzar el procés de concentració en el quimisme de les aigües subterrànies en el sentit del flux, el seu augment és en general paral·lel a l'augment de la mineralització de les aigües, i per tant, implica majors temps de residència i interacció amb el terreny. La interpretació dels valors baixos d'aquesta relació (entre 0.03 i 0.39) indiquen aigües que circulen per materials amb un grau de meteorització variable, i per processos de dissolució donen com a resultat lleugers augments d'aquesta relació

L'índex rSO₄/rCl marca la tendència a un augment en el contingut en sulfats, aquesta tendència que presenten algunes de les mostres d'aquesta unitat queda reflectida per uns valors mitjos d'aquesta relació superiors a 2,5 que tenen aquestes aigües.

El valor mig de la relació rNa / rCl en aquesta unitat està als voltants de 3, valors que indiquen un enriquiment de sodi en les aigües d'aquesta unitat, i tradueix el característic desequilibri clor – alcalis present en roques ígnies i esquistoses de gra gruixut.

El valor de l'índex Q en les mostres corresponen a aquesta unitat està per sota d'1 (**taula 8**), amb un valor mig de 0.64. Aquests valors indiquen un cert dèficit en Ca que presenten aquestes aigües en el context de les roques ígnies o pelítiques. Valors que també es podrien interpretar com a resultat de temps de residència elevats (**taula 8**).

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
45,5	7,3	17,2	24,5	Bicarbonatada càlcica	1,5 <As < 86
17 – 96	6,5 – 8,1	15,8 – 90,4	9 – 46,4	Bicarbonatada càlcico - sòdica	

Taula 11. Caracterització de les aigües de la Unitat Roques Silíciques de gra gros

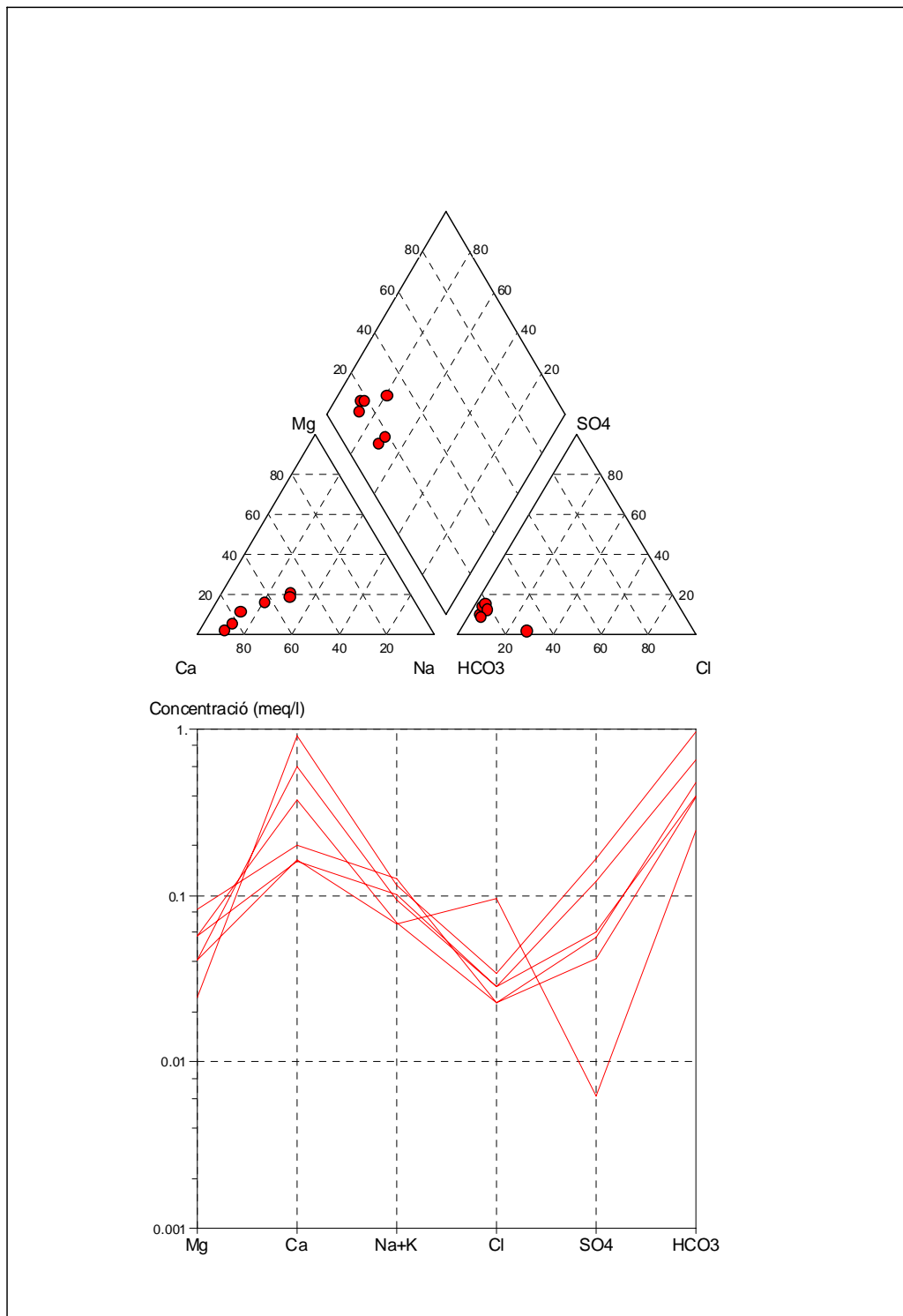


Figura 16 . Diagrama de Piper (part superior) i de Schoeller - Berkaloff (part inferior) de la Unitat Roques Silíciques de gra gros

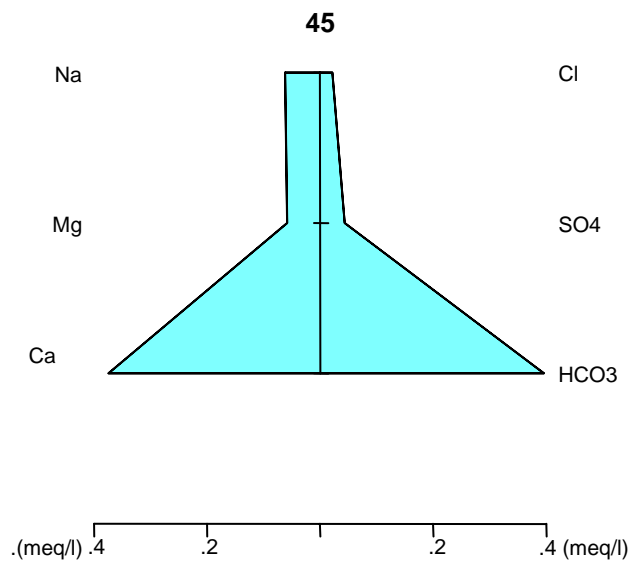


Figura 17 .Diagrama de Stiff (modificat) de la mostra del riu Madriu, com a característica de la unitat

	Tª	Eh	Cond	pH	HCO3	SO4	Cl	NO3	Ca	Mg	Na	K	COT	SiO2
	° C	mV	µS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Promig	8.2	368	45.5	7.3	31.8	3.8	2.8	0.8	8.9	0.7	2.8	0.9	2.2	6.0
Mediana	6.7	368	42	7.3	26.8	3.1	1	0.515	7.5	0.7	2.1	0.35	1.7	5.4
Mitjana geomètrica	6.4	368	42.7	7.3	29.0	3.1	1.4	0.6	7.2	0.6	2.3	0.5	1.7	5.9
Moda			41	7.4		5	1	0.5		0.7	5	0.3	0.5	
Desv. Estandar	5.0		16.9	0.4	15.5	2.0	3.6	0.8	6.0	0.3	1.7	1.6	1.6	1.4
Màxim	16.8	368	96	8.1	58.7	8	10	4.26	18.4	1.1	5	5	6.4	8
Mínim	1	368	17	6.47	14.9	0.25	0.1	0.2	3.2	0.3	0.8	0.15	0.5	5.1
N	7	1	28	28	6	19	31	28	7	7	23	8	13	4
Inferiors limit det.	0	0	0	0	0	8	6	1	0	0	6	0	10	0

Taula 12. Valors estadístics dels principals paràmetres que caracteritzen la unitat de Roques Silíciques de gra gros

	Alumini	Arsènic	Bor	Coure	Ferro total	Fluorurs	Manganès	Níquel	Plom	Bari	Zinc
	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Promig	0.023	8.1	0.033	1.0	0.018	0.120	0.002	2.6	0.2	1.9	2.9
Mediana	0.023	3	0.032	0.61	0.009	0.100	0.001	2.6	0.2	1.9	2.3
Mitjana geomètrica	0.019	3.5	0.025	0.6	0.011	0.109	0.001	2.5	0.2	1.7	2.5
Desv. Estandar	0.015	20.2	0.021	1.3	0.023	0.062	0.002	0.9	0.1	1.1	1.9
Màxim	0.053	86	0.069	3.96	0.100	0.230	0.005	3.2	0.33	2.7	6.1
Mínim	0.007	1.5	0.007	0.21	0.001	0.060	0.000	1.9	0.11	1.1	1.3
N	9	17	22	9	18	6	7	2	6	2	5
inferiors limit det.	18	10	6	18	10	21	20	25	21	2	2

Taula 13. Valors estadístics dels metalls pesants i altres elements traça que caracteritzen la unitat de Roques Silíciques de gra gros



3.3 Unitat materials del Silurià

Aquesta unitat només consta de 6 anàlisis químics complerts, amb tots els ions majoritaris analitzats. Cinc mostres corresponen a aigües de fonts i una a l'aigua que s'embotellava en la planta d'Aigües d'Arinsal. Totes les anàlisis d'aquesta unitat tenen un error analític dintre de l'error admissible, d'acord amb el criteri de Custodio (1983). En la **taula 14** es representa les principals característiques de les aigües d'aquesta unitat (rangs i valors mitjos).

Es tracta d'una unitat que comprèn un àmbit territorial restringit en el Principat, els afloraments d'aquests materials són superficialment poc extensos, però repartits en diferents indrets del Principat. La composició química de les aigües d'aquesta unitat són heterogènies, estant representats dos grups ben diferenciats (**figura 18**). El primer grup és el de les bicarbonatades – sulfatades càlciques. S'observa en el diagrama de Piper com en el triangle dels cations les mostres estan molt agrupades, en canvi en el triangle dels anions s'aprecia la tendència a distribuir-se entre el pol bicarbonat i el sulfat. Aquesta tendència també queda reflectida en els diagrames de Stiff (**figura 19**). El segon grup és el d'aigües sulfatades càlciques o magnèsiques (diagrames de Stiff de la figura 6, mostres Q4 – Font mina Llorts i Q17 – Font del Ferro de Els Orris).

Globalment les mostres incloses en aquesta unitat es caracteritzen per tenir una mineralització de baixa a mitjana, de caràcter entre àcides i alcalines, i lleugerament dures. El contingut en elements traça (**taula 16**) d'aquestes aigües és alt per bor, coure, ferro, fluor, plom i estronci. Els continguts es poden considerar com a baixos, respecte els fons geoquímics regionals de tot Andorra, per l'alumini, crom i manganès. El fons d'aquesta litologia en arsènic, de 11.3 µg/l, és superior al fons geoquímic del Principat (6,3 µg/l).

Les mostres tenen una relació iònica rK/rNa amb valors superiors a 2, quan els valors habituals en la majoria d'aigües del Principat acostuma a estar compresa entre 0,1 i 1, aquest augment indica l'existència d'aports extraordinaris de potassi, per alguna formació litològica característica, com són les pissarres negres del Silurià.

La relació rMg/rCa entre 0.1 i 0.2, aquest marge de variació tan estret, indicaria la influència de terrenys esquistosos, reflectint una major presència de minerals màfics que hi ha en les litologies d'aquesta unitat.

La relació $rCl/rHCO_3$ augmenta de forma paral·lela al procés de concentració en el quimisme de les aigües subterrànies en el sentit del flux. Els valors d'aquest índex en aquesta unitat, entre 0.005 i 0.02, indiquen aigües amb temps de residència reduïts i absència de processos d'interacció amb el terreny.

L'índex rSO_4/rCl marca la tendència a un augment en el contingut en sulfats, aquesta tendència que presenten en general la majoria de les aigües del Principat, en aquesta unitat està present de forma molt accentuada amb valors superiors a 6, i en alguna mostra superiors a 100.

El valor mig de la relació rNa / rCl en aquesta unitat està als voltants de 10, valor molt elevat que assenyala un fort enriquiment de sodi per aquestes aigües, així com l'existència del desequilibri clor – àlcalis típic de les litologies d'aquesta unitat.

Conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	Ió dominant	Elements traça ($\mu\text{g}/\text{l}$)
194	7,36	155	114,8	Bicarbonatada sulfatada càlcica	0,5 < Fe < 270
39 – 655	4,6 – 8,3	46,8 – 265,7	38,6 – 170,3	Sulfatada càlcica o magnèsica	6 < As < 16
					22 < Sr < 140
					10 < B < 160
					80 < F < 3270
					0,33 < Pb < 31,2

Taula 14. Caracterització de les aigües de la Unitat Materials del Silurià (valors de la mitjana i rang)

El valor de l'índex Q en les mostres corresponen a aquesta litologia està per sota d'1 (taula 8), assenyalant un cert dèficit en Ca que presenten aquestes aigües en el context pelífic, així com l'absència de processos de contaminació que venen assenyalats per un fort augment d'aquest índex.

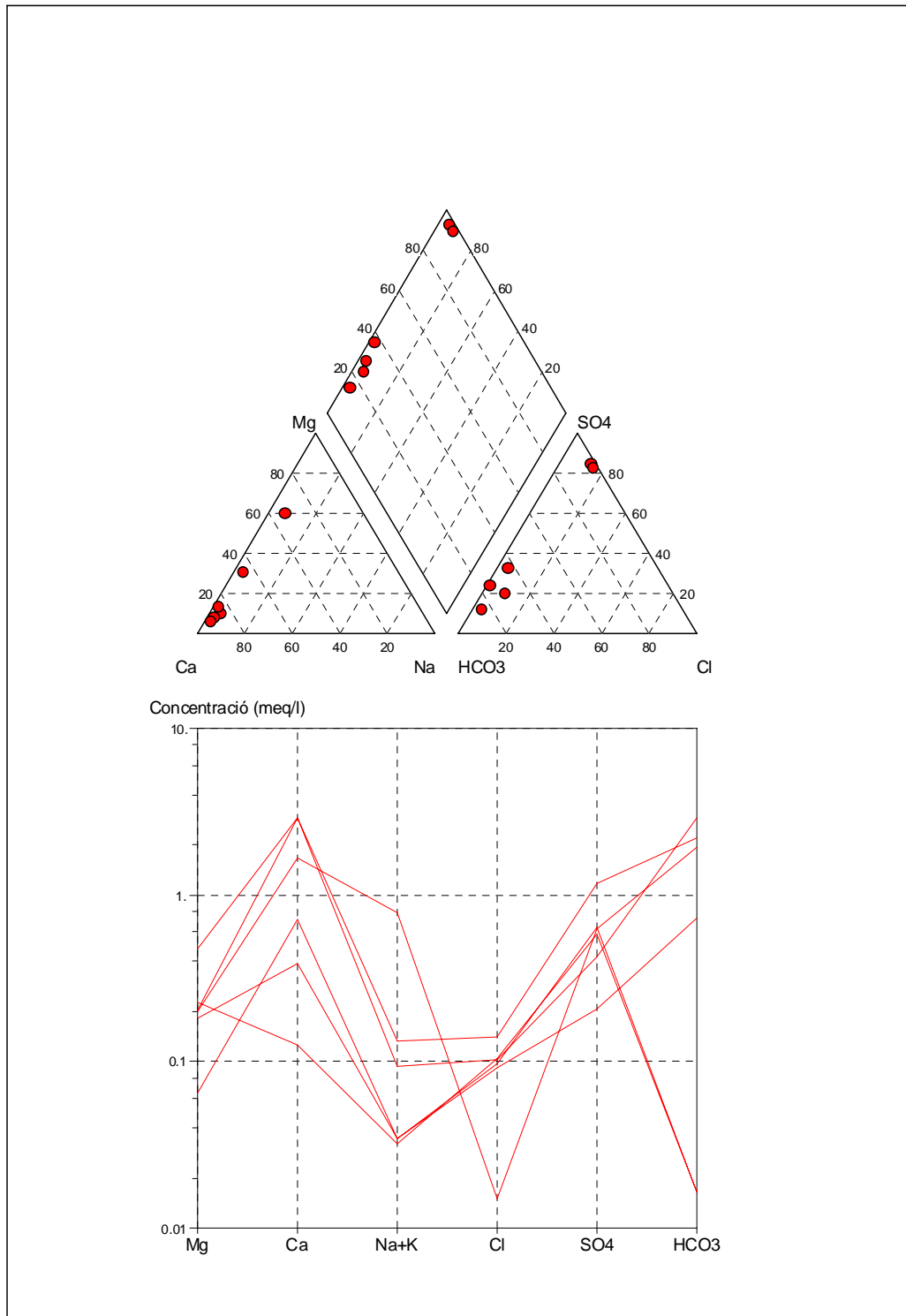


Figura 18. Diagrama de Piper (part superior) i de Schoeller - Berkaloff (part inferior) de la Unitat Materials del Silurià

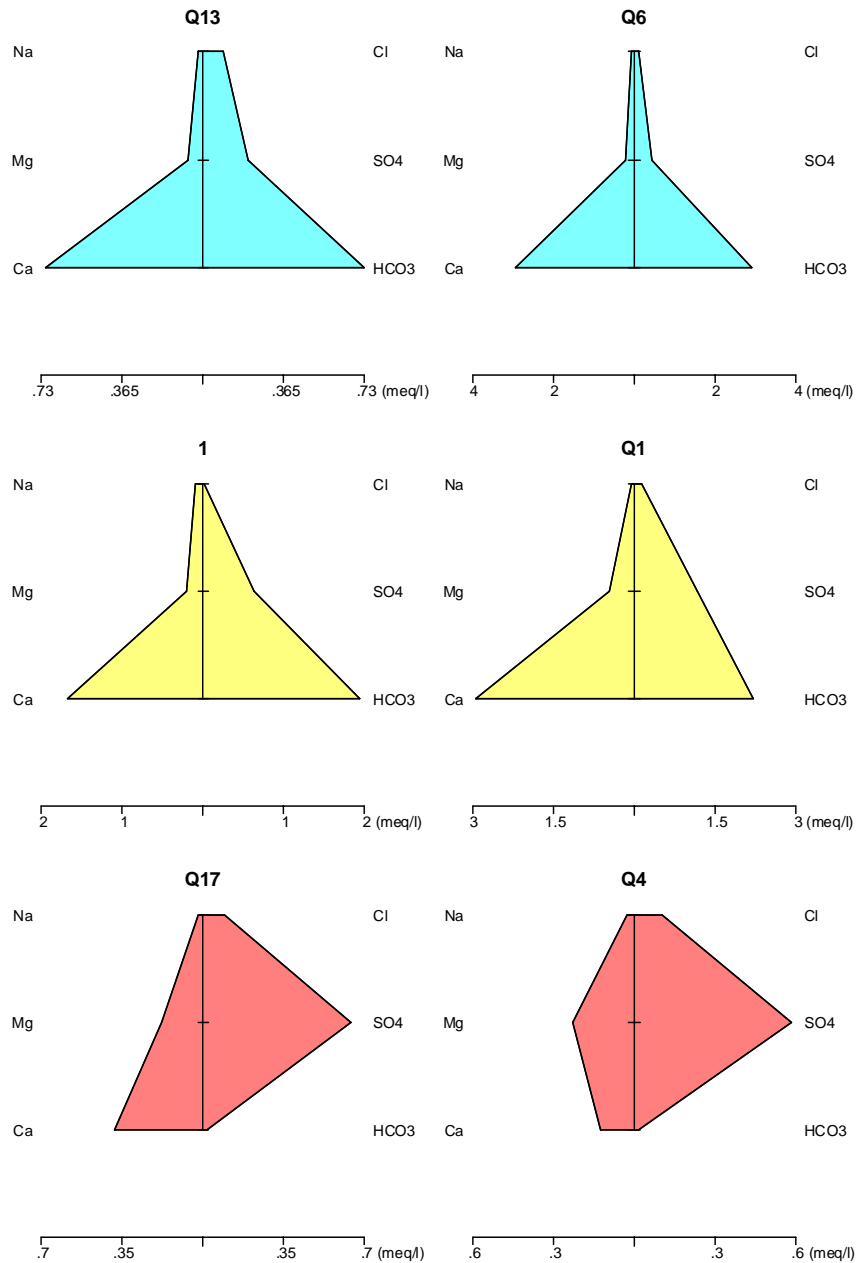


Figura 19. Diagrames de Stiff (modificat) de les mostres analitzades de la Unitat Materials del Silurà

	T ^a	Eh	Cond	pH	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	COT
	° C	mV	μS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Promig	8.5	256	194	7.36	79.7	30.2	2.3	1.3	29.2	2.7	3.2	5.3	1.2
Mediana	8	260	191.4	7.44	81.2	22.3	1.5	0.7	23.9	2.4	0.8	0.5	0.7
Mitjana geomètrica	6.4	253	148	7.31	22.4	21.5	1.4	0.6	17.8	2.3	1.1	1.2	0.8
Desv. Estandar	5.4	37	153	0.82	74.7	27.6	1.9	1.5	25.1	1.6	8.0	10.8	1.3
Màxim	16.5	290	655	8.25	178	113.3	8.1	4.8	58.8	5.8	33.8	27.4	3
Mínim	1.5	212	39.4	4.61	1	5	0.1	0.01	2.5	0.8	0.2	0.25	0.3
N	11	4	21	19	6	18	31	19	6	6	17	6	4
Inferiors limit det.	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	6

Taula 15. Valors estadístics dels principals paràmetres que caracteritzen la unitat Materials del Silurià

	Alumini	Antimoni	Arsènic	Bor	Cadmi	Coure	Crom total	Crom hexavalent	Ferro total	Fluorurs	Manganès	Níquel	Plom	Bari	Zinc	Estronci	Liti
	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	Mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Promig	0.015	1.2	11.3	0.048	2.0	95.2	1.3	20	0.096	0.756	0.003	6.9	7.1	2.1	15.7	100.6	7.6
Mediana	0.009	1.2	11.8	0.013	2.1	15.7	1.0	20	0.070	0.290	0.001	9.6	0.5	2.1	13.7	139.3	8.0
Mitjana geomètrica	0.011	0.5	10.6	0.023	1.1	16.8	1.0	17.3	0.057	0.350	0.002	3.9	1.7	1.9	12.5	75.9	6.9
Desv. Estandar	0.014	1.2	4.6	0.058	1.5	130.1	0.9	14.1	0.088	1.102	0.003	5.6	11.8	1.0	11.4	67.7	3.7
Màxim	0.048	3.1	15.8	0.16	3.5	380	2.6	30	0.27	3.27	0.009	12	31.2	3.2	31.2	140.0	12.9
Mínim	0.004	0.038	6	0.006	0.11	0.8	0.4	10	0.005	0.08	0.001	0.52	0.33	1	4.201	22.4	3.1
N	13	5	4	9	4	11	4	2	8	9	6	5	7	4	4	3	5
Inferiors límit det.	2	10	12	7	9	4	6	3	7	5	9	11	11	0	0	0	0

Taula 16. Valors estadístics dels metalls pesants i altres elements traça que caracteritzen la unitat Materials del Silurà

3.4 Unitat Calcàries del Devonianà

D'aquesta unitat es disposa de 18 anàlisis químics complerts, amb tots els ions majoritaris analitzats. Tres de les mostres corresponen a aigües de torrents i rius i les quinze restants corresponen a fonts. L'error analític de dues mostres és lleugerament superior a l'admissible, d'acord amb el criteri de Custodio (1983). En la **taula 17** es presenten les principals característiques de les aigües (rangos i valors mitjos).

Aquesta unitat comprèn un àmbit territorial restringit i una litologia molt homogènia, fets que expliquen que la composició química de les mostres que provenen d'aquesta unitat també sigui molt homogènia. La composició química dominant és la bicarbonatada càlcica o bicarbonatada – clorurada càlcica. S'observa en el diagrama de Piper com les mostres tenen tendència a desplaçar-se cap el pol clorurat (**figura 20**), també s'observa en el diagrama de Schoeller com el contingut de clorurs és el component que dona una major variabilitat composicional a aquestes aigües. En els diagrames de Stiff de la **figura 21**, s'observa com la composició bicarbonatada càlcica és dominant amb uns continguts en clorurs variables (**figura 21**).

Globalment les mostres incloses en aquesta unitat es caracteritzen per ser de mineralització dèbil a normal, amb tendència alcalina i lleugerament dures. El contingut d'elements traça d'aquesta unitat, comparat amb els valors de fons geoquímics de tot el Principat, es poden considerar alts per arsènic, l'estronci, i baixos per l'alumini, cadmi, ferro, manganès, níquel i liti, no es detecta ni seleni ni crom. El fons geoquímic d'aquesta unitat pel arsènic, de 12 µg/l, és superior al fons geoquímic del Principat (6,3 µg/l). Una mostra supera aquest valor de fons, la mostra de Font Birena amb un valor puntual de fins a 22 µg/l.

Les mostres d'aquesta unitat tenen una relació iònica rK/rNa al voltant de 0.32, aquests valors indiquen uns continguts en sodi i potassi com a la majoria de mostres de l'àrea, sense aportacions extraordinàries d'alcàlis subministrades per les litologies que formen aquesta unitat.

La relació rMg/rCa és inferior a 0.1 o al voltant d'aquest valor, que indicaria la influència de terrenys esquistosos o ignis.

L'índex rCl/rHCO₃ que caracteritza els processos de concentració en el quimisme de les aigües subterrànies segons el sentit del flux d'aquestes, el seu augment és en general paral·lel a l'augment de la mineralització de les aigües, i per tant, implica majors temps de residència i interacció amb el terreny. La interpretació dels valors baixos d'aquesta relació (entre 0.02 i 0.39) indiquen aigües que circulen per materials amb un desequilibri del contingut en bicarbonats respecte a l'augment per circulació assenyalat pel contingut en clorurs, i per processos de dissolució donen com a resultat la disminució d'aquesta relació.

L'índex rSO₄/rCl assenyalen la tendència a l'augment en el contingut en sulfats, aquesta tendència que presenten les aigües d'aquesta unitat queda reflectida per un valor mig superior a 6, i valors màxims de fins a 103.

El valor mig de la relació rNa / rCl en aquesta unitat està als voltants de 1,98, valor elevat que assenyalen un fort enriquiment de sodi per aquestes aigües, així com l'existència de temps de residència reduïts.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	lò dominant	Elements traça (µg/l)
159	7,9	112	100,8	Bicarbonatada càlcica	1 < As < 22
75 – 321	6,9 – 8,4	62 – 267	39 – 260	Bicarbonatada - clorurada càlcica	77 < Sr < 334

Taula 17. Caracterització de les aigües de la Unitat Calcàries del Devonian

Les mostres d'aigua d'aquesta unitat presenten valors de l'índex Q al voltant d'1 (taula 8), amb un valor mig de 0.95. Aquests valors indiquen un excés en Ca característic d'aquesta litologia. Valors que també es podrien interpretar com a temps de residència reduïts (taula 8).

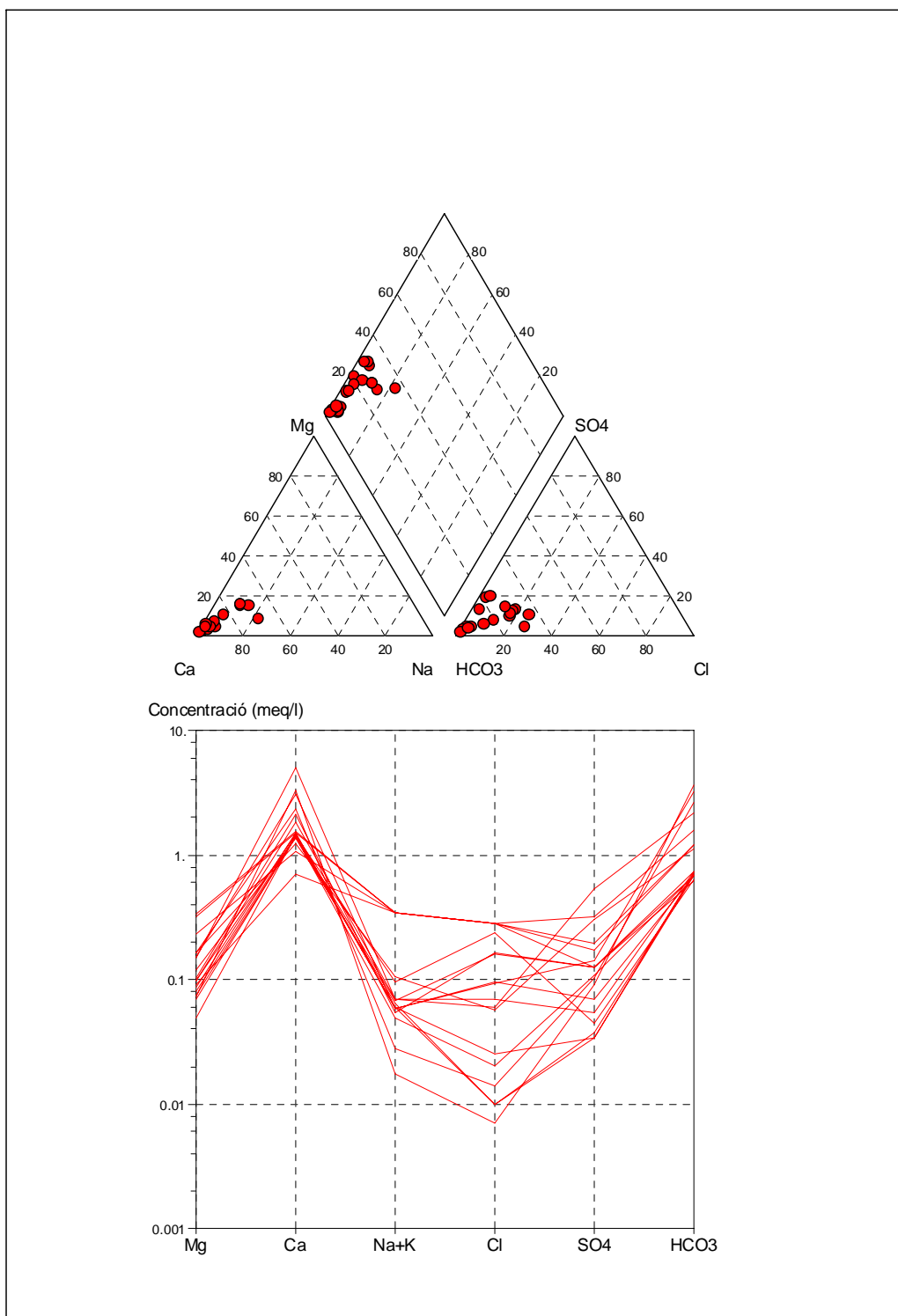


Figura 20. Diagrama de Piper (part superior) i de Schoeller - Berkaloff (part inferior) de la Unitat Calcàries del Devonian

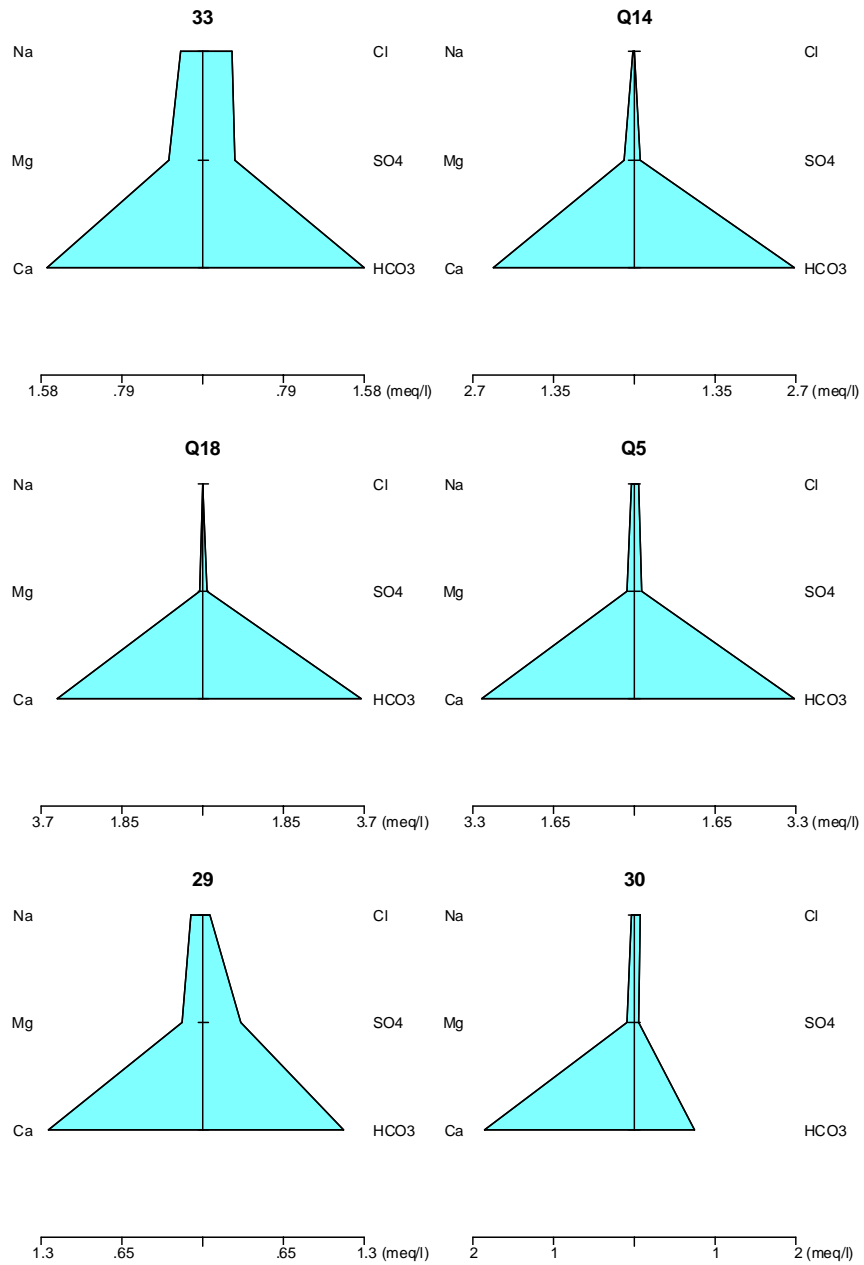


Figura 21. Diagrames de Stiff (modificat) d'algunes mostres representatives de la unitat

	Tª	Eh	Cond	pH	HCO3	SO4	Cl	NO3	Ca	Mg	Na	K	SiO2	COT
	° C	mV	µS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Promig	9.2	236	158.9	7.86	83.5	7.9	4.8	1.2	26.4	1.6	1.9	1.6	6.5	0.8
Mediana	9.2	238	119	7.86	47.9	6.0	4.3	1.0	18.6	1.2	1.3	0.3	7.0	0.4
Mitjana geomètrica	8.7	229.8	137.5	7.85	68.3	5.4	2.9		22.4	1.4	1.3	0.7	6.4	0.4
Moda	9.5		123	7.96	41.5	6.0	10	1.0		1.1	5.0	0.3	7.1	0.4
Desv. Estandar	3.1	65.0	86.9	0.33	59.8	6.5	3.7	1.0	17.4	1.0	1.6	2.1	1.1	1.4
Màxim	16.7	300	321	8.39	221.2	25.4	11.9	5.4	67.0	4.1	5.0	5.0	7.8	5.3
Mínim	2.4	170	75.3	6.93	38.0	0.2	0.1	0.0	13.7	0.6	0.1	0.2	4.1	0.1
N	24	3	34	35	20	35	52	34	19	19	33	19	10	13.0

Taula 18. Valors estadístics dels principals paràmetres que caracteritzen la unitat Calcàries del Devonianà

	Alumini	Arsènic	Bor	Cadmi	Coure	Ferro total	Fluorurs	Manganès	Níquel	Plom	Bari	Zinc	Estronci	Liti
	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Promig	0.018	14.6	0.016	0.1	29.8	0.016	0.118	0.668	1.4	1.1	1.9	4.5	182.2	1.7
Mediana	0.012	14.8	0.011	0.1	2.3	0.01	0.088	0.003	1.3	0.9	1.8	4.0	136.1	1.9
Mitjana geomètrica		12.8	0.014	0.1	3.3	0.007	0.099	0.012	1.1	0.7	1.7	4.2	151.8	1.6
Desv. Estandar	0.020	5.0	0.009		68.7	0.019	0.081	1.032	0.9	0.9	1.0	1.7	134.4	0.5
Màxim	0.065	22	0.026	0.1	170	0.07	0.31	2	2.8	2.4	3.5	7.4	333.6	2.0
Mínim	0	1.2	0.008	0.1	0.6	0.000	0.04	0.000	0.3	0.2	0.8	2.5	77.0	1.1
N	13	16	5	1	6	13	16	6	5	6	6	10	3	3

Taula 19. Valors estadístics dels metalls pesants i altres elements traça que caracteritzen la unitat Calcàries del Devonianà



3.5 Unitat mixta: Pissarres, cornubianites i granit

Aquesta unitat que agrupa totes les aigües que provenen d'àrees o conques amb litologies complexes i barreja de diferents formacions, és molt heterogènia en quan a la composició química de les mostres que s'hi inclouen. Consta de 29 anàlisis químics complerts, amb tots els ions majoritaris analitzats. Quatre mostres corresponen a aigües de fonts i cinc a aigües de torrents i rius. Hi ha alguna d'aquestes mostres de les que es disposen diverses anàlisis realitzades en diferents èpoques. L'error analític de varies mostres és superior a l'admissible, d'acord amb el criteri formulat per Custodio (1983), que tant pot ser degut a un dèficit d'anions com de cations. No es disposa d'elements per poder corregir-lo. En la **taula 20** es presenten les principals característiques de les aigües (rangs i valors mitjos).

Degut a que és la unitat que comprèn l'àmbit territorial més ampli del Principat i més heterogeni des del punt de vista litològic, hi estan representades diverses composicions químiques (**figura 22**), amb dos grups ben diferenciats. El primer grup és el de les bicarbonatades càlciques amb algunes mostres amb continguts més elevats en clorurs (diagrames de Stiff de la **figura 23**, mostres 18 – Torrent Comella). El segon grup és el d'aigües bicarbonatades – sulfatades càlciques amb una certa tendència cap a càlcico – sòdiques (diagrames de Stiff de la **figura 23**, mostres 14 – Riu Cuc i 10 – Torrent de Les Costes).

Degut a la variabilitat composicional, les mostres incloses en aquesta unitat es caracteritzen per estar entre poc mineralitzades i amb mineralització mitjana, entre neutres i amb tendència alcalina, i de lleugerament dures a dures. El contingut d'elements traça d'aquesta unitat si es comparen els valors amb els fons geoquímics del Principat es poden considerar com a alts per l'estronci; i baixos per l'alumini, cadmi, manganès i plom. El fons geoquímic d'aquesta litologia en arsènic és inferior al fons geoquímic del Principat (6.3 µg/l).

La relació iònica rK/rNa en les mostres d'aquesta unitat està al voltant de 0.13, aquests valors indiquen la influència d'aigües relacionades amb roques metamòrfiques o roques ígnies, en tot cas es tracta d'aigües poc potàssiques.

La relació rMg/rCa entre 0.0001 i 0.36, que també indicaria la influència de terrenys esquistosos i granítics, reflectint una major presència de minerals màfics que hi ha en aquestes litologies.

Els valors alts de l'índex $rCl/rHCO_3$ (**taula 8**) impliquen un augment de la mineralització de les aigües, és a dir marquen el procés de concentració en el quimisme de les aigües subterrànies en el sentit del flux. La interpretació dels valors més elevats d'aquesta relació (entre 0.003 i 1.2) indiquen aigües que circulen per materials pelítics o arenosos, i per processos de dissolució donen com a resultat un augment d'aquesta relació o bé un major temps de residència.

L'índex rSO_4/rCl marca la tendència a un augment en el contingut en sulfats, aquesta tendència que presenten en general la majoria de les aigües del Principat, en aquesta unitat degut a la heterogeneïtat de les litologies presents, aquesta tendència o bé no queda reflectida, amb valors inferiors a 0.5 que presenten algunes mostres o bé queda assenyalada per alts valors de la relació (superiors a 30).

El valor mig de la relació rNa / rCl en aquesta unitat està als voltants de 2.95, valor que marca un enriquiment de sodi per aquestes aigües, així com la existència del desequilibri clor – àlcals típic de les litologies granítiques o pelítics.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
161,3	7,8	92,9	71,4	Bicarbonatada càlcica	1 < As < 10
79 – 393	7,2 – 8,46	1 – 355	42 – 355	Bicarbonatada sulfatada càlcica	3 < Sr < 81

Taula 20. Caracterització de les aigües de la Unitat Pissarres, cornubianites i granits

El valor de l'índex Q en les mostres corresponen a aquesta unitat està als voltants de 1, amb valors màxims de 5, assenyalant un augment en Ca que presenten aquestes aigües en un context granític o pelític o una barreja d'aquestes litologies. També es pot interpretar com produït per temps de residència elevats.

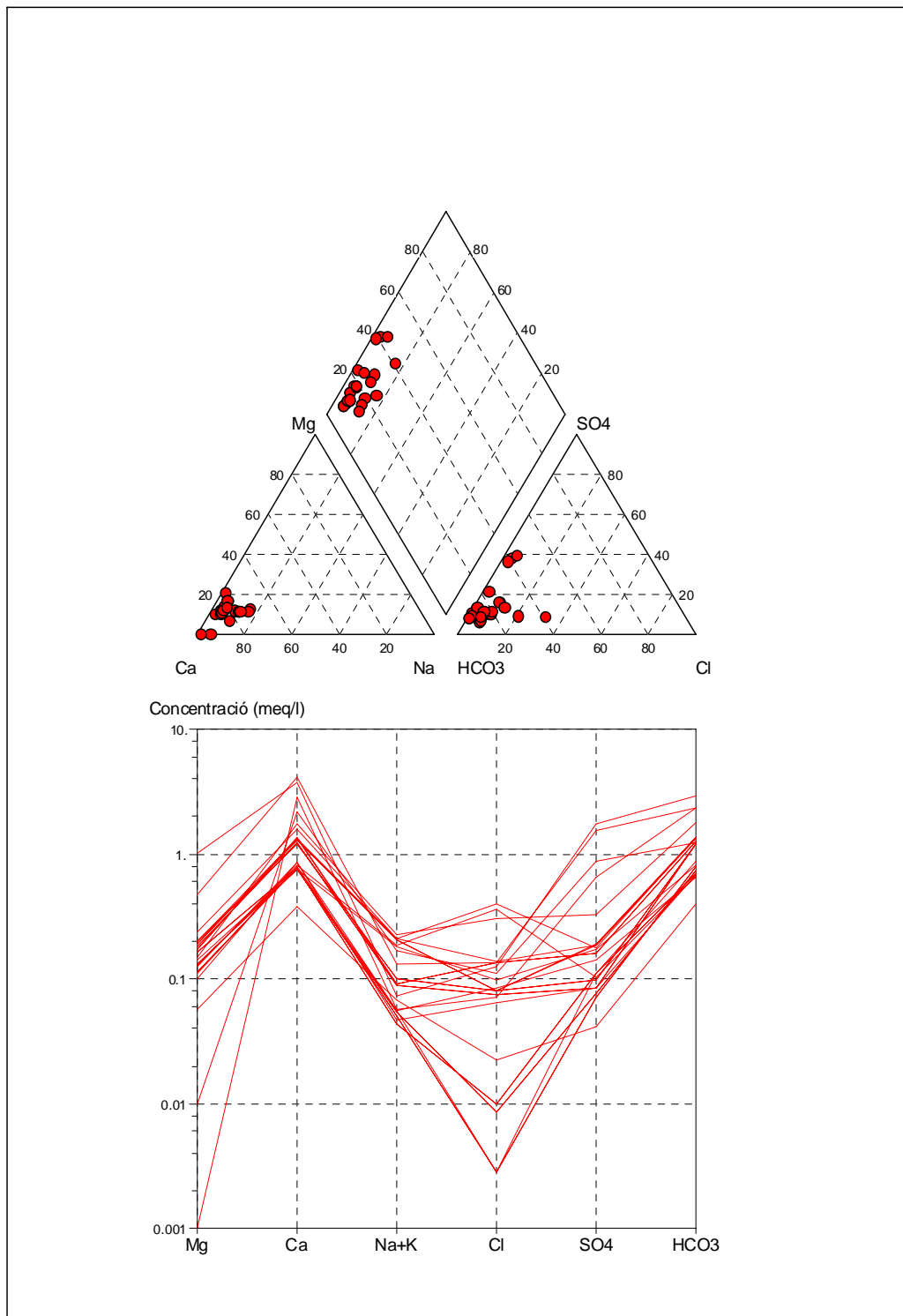


Figura 22. Diagrama de Piper (part superior) i de Schoeller - Berkaloff (part inferior) de la Unitat Pissarres, cornubianites i granits

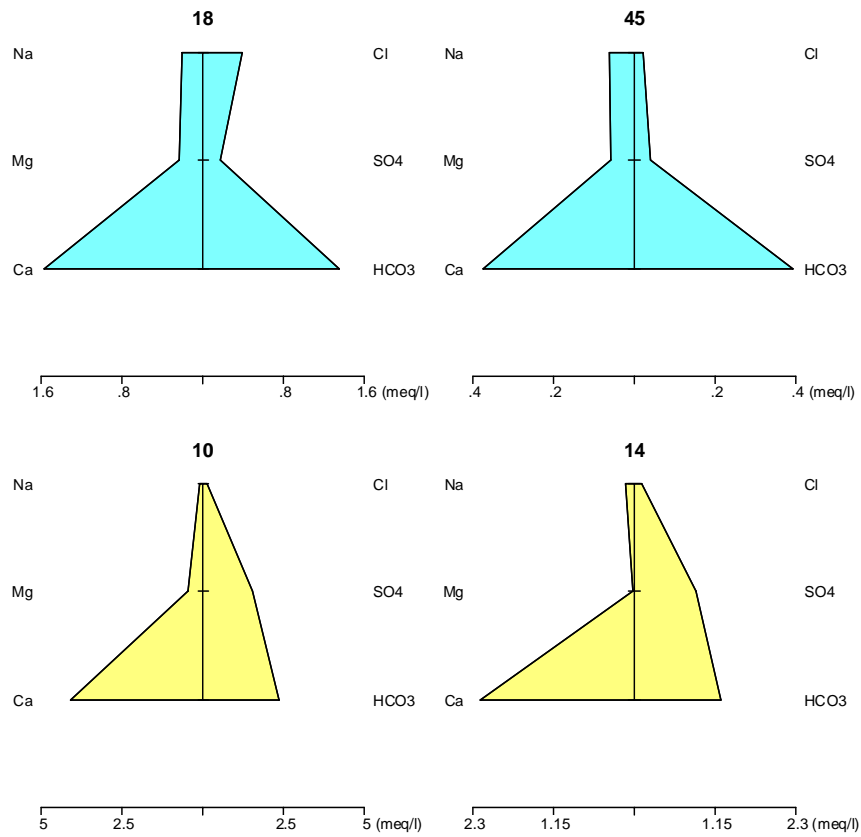


Figura 23. Diagrames de Stiff (modificat) d'algunes mostres representatives de la Unitat Pissarres, cornubianites i granits

	Tª	Cond	pH	HCO3	SO4	Cl	NO3	Ca	Mg	Na	K	COT	SiO2
	° C	µS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Promig	7.3	161.3	7.80	74.6	14.6	4.6	1.8	27.2	2.3	3.6	0.6	0.8	7.1
Mediana	7.9	148	7.72	73.2	8.0	2.8	1.7	24.8	2.0	2.7	0.4	0.6	7.5
Mitjana geomètrica	6.1	143.7	7.80	68.9	9.7	2.5	1.4	24.1	1.7	2.6	0.5	0.7	6.7
Moda	2.3	183	7.72	73.2	5.3	2.5	0.1		1.2	2.0	0.4		3.6
Desv. Estandar	4.2	84.3	0.33	32.1	17.6	4.2	1.0	15.9	2.0	3.3	0.6	0.6	2.0
Màxim	17.9	393	8.46	177.3	83.7	15.3	4.8	82.1	12.4	16.2	2.9	1.9	9.84
Mínim	1.2	79	7.21	40.0	3.4	0.1	0.05	14.3	0.013	0.9	0.1	0.3	2.5
N	36	36	33	37	47	47	53	39	39	39	35	6	26
Inferiors limit det.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	26	19

Taula 21. Valors estadístics dels principals paràmetres que caracteritzen la unitat Pissarres, cornubianites i granits

	Alumini	Antimoni	Arsènic	Bor	Cadmi	Coure	Crom total	Ferro total	Fluorurs	Manganès	Níquel	Plom	Bari	Zinc	Estronci	Liti
	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Promig	0.015	0.99	3.64	0.038	0.7	34.22	0.62	0.020	0.105	0.005	3.89	0.25	3	7.87	130.27	7.07
Mediana	0.012	0.99	2.50	0.029	1	1.2	0.3	0.012	0.105	0.001	1.4	0.25	2.6	4	85.9	2.9
Mitjana geomètrica		0.99	2.82	0.026	0.46	2.37	0.32	0.014	0.096	0.002	1.69	0.24	2.55	5.69	115.96	4.96
Desv. Estandar	0.015		2.68	0.033	0.52	66.41	0.80	0.025	0.053	0.008	4.49	0.07	1.63	8.11	81.04	7.39
Màxim	0.04	0.99	10.17	0.109	1	170	2	0.1	0.3	0.024	12	0.3	5.2	30	223.8	15.6
Mínim	0	0.99	1	0.004	0.1	0.1	0.1	0.004	0.06	0.000	0.3	0.2	1	2.7	81.1	2.7
N	16	1	16	8	3	9	5	19	23	11	7	2	8	11	3	3
Inferiors limit det.	26	46	36	33	46	43	40	25	30	41	45	50	26	31	18	18

Taula 22. Valors estadístics dels metalls pesants i altres elements traça que caracteritzen la unitat Pissarres, cornubianites i granits

3.6 Unitat Quaternari

Aquesta unitat consta de 17 anàlisis químics complerts, amb tots els ions majoritaris analitzats. Dues mostres corresponen a aigües de fonts, cinc a pous i una a un dren. L'error analític d'una mostra és superior a l'admissible, d'acord amb el criteri de Custodio (1983), que es deu a un dèficit d'anions. No es disposa d'elements per poder corregir-lo. En la **taula 23** es representa les principals característiques de les aigües (valors mitjos).

Aquesta unitat tot i incloure les mostres recollides en els materials quaternaris, ja sigui les cubetes al·luvials o el moviment en massa del Forn, la composició química de les aigües és força homogènia (**figura 24**). La composició química dominant és la bicarbonatada càlcica amb algunes mostres amb continguts alts en sodi i magnesi. Hi ha algunes mostres que en certes èpoques poden presentar composicions més clorurades o sulfatades, com la mostra del pou Comella o el pou de l'al·luvial de La Bartra (**figura 25**).

De forma global les mostres incloses en aquesta unitat es caracteritzen per tenir una mineralització mitjana, amb tendència alcalina i dures. El contingut en elements traça es caracteritza per valors alts en bor, ferro, níquel i estronci i baixos valors d'alumini, manganès i liti. No s'aprecien continguts significatius en cadmi i crom. El fons geoquímic en arsènic d'aquesta unitat és lleugerament inferior al fons geoquímic del Principat (6,3 µg/l). Només algunes mostres superen mínimament aquest valor de fons, i especialment la mostra de el Forn de Canillo, té un valor de 11 µg/l.

Les mostres d'aquesta unitat tenen un valor mig de la relació iònica rK/rNa al voltant de 0.2, aquests valors indiquen possible influència d'aigües relacionades amb roques metamòrfiques o roques procedents d'aquestes, amb continguts de potassi significatius o en tot cas també es tractaria d'aigües poc sòdiques.

La relació rMg/rCa (**taula 8**) entre 0.04 i 0.14 que presenten aquestes aigües, indicaria possibles processos de dissolució de calcita, en tot cas aquestes aigües, juntament amb les que circulen pels materials calcaris i pissarres del Devonià, són les que presenten uns valors més reduïts d'aquesta relació.

La relació $rCl/rHCO_3$ augmenta de forma paral·lela als processos de concentració en el quimisme de les aigües subterrànies en el sentit del flux. Els valors d'aquest índex en aquests materials, entre 0.19 i 1.3, indiquen processos d'interacció amb el terreny i aigües amb temps de residència elevats.

Alts valors de l'índex rSO_4/rCl indiquen la tendència a un augment en el contingut en sulfats, aquesta tendència que presenten en general la majoria de les aigües del Principat, en aquesta unitat no queda reflectida de forma tan evident, amb valors migs al voltant de 0.95, i valors màxims que arriben a 2.2.

El valor mig de la relació rNa / rCl en aquesta unitat està als voltants de 0.83, valor normal en la majoria d'aigües naturals (en concret aigua de la pluja), no assenyalant per tant cap tipus d'enriquiment de sodi per aquestes aigües, així com l'absència del desequilibri clor – àlcals típic d'altres litologies.

Conductivitat (μS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	lò dominant	Elements traça (μg/l)
241	7,6	193	122	Bicarbonatada càlcica	1 < B < 65
101 – 337	7,0 – 8,23	108 – 273,4	78 – 182	Bicarbonatada càlcica	2 < As < 11
				Sulfatada o Clorurada bicarbonatada càlcica	136 < Sr < 190
					1 < Ni < 18
					7 < Fe < 16000

Taula 23. Caracterització de les aigües de la Unitat Quaternària

El valor de l'índex Q en les mostres corresponen a aquesta litologia és aproximadament igual a 1, assenyalant un equilibri entre el contingut de calci i bicarbonats, que es podria interpretar com produït per temps de residència elevats.

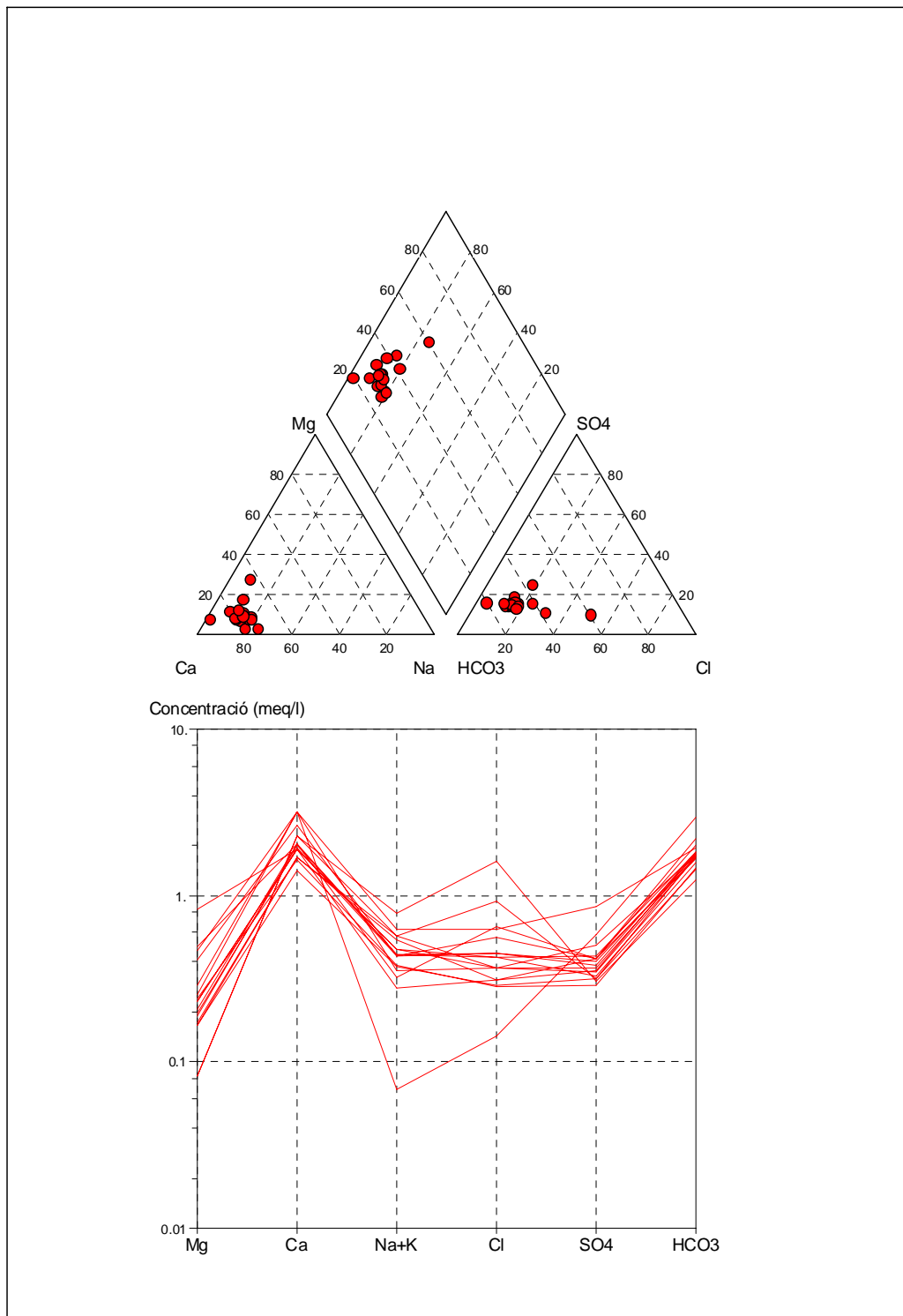


Figura 24. Diagrama de Piper (part superior) i de Schoeller - Berkaloff (part inferior) de la Unitat Quaternari

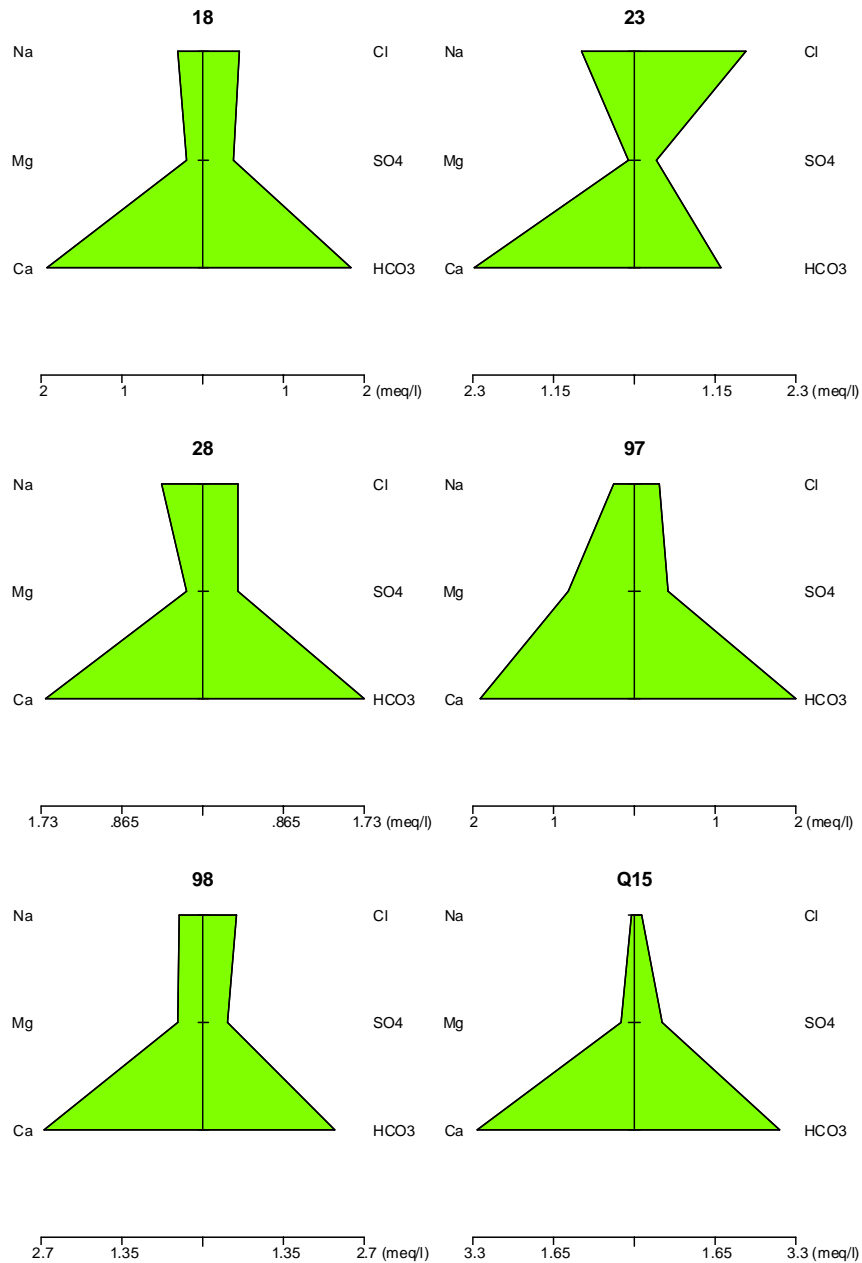


Figura 25. Diagrames de Stiff (modificat) de l'algunes mostres representatives de la Unitat Quaternari

	T ^a	Eh	Cond	pH	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	COT
	° C	mV	μS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Promig	10.2	216	229	7.34	110.2	16.2	12.2	6.1	37.0	3.3	8.5	2.8	5.2	0.9
Mediana	10.5	216	227	7.27	106.9	14.5	10.9	5.6	36.9	2.7	7.2	2.45	4.75	0.4
Mitjana geomètrica	10.1	216		7.34	108.0	14.5	10.6	5.6	36.6	2.8	4.3	2.1	5.0	0.5
Moda	10.5		248	7.20	111.6	14.0	10.9	5.3	45.7	1.0	7	5		0.4
Desv. Estandar	1.4		36	0.24	24.5	11.8	10.0	2.4	6.0	2.2	11.7	1.9	1.8	1.3
Màxim	14	216	366	8.23	181.7	114	100	11.9	64.4	10	62.9	5	8	5
Mínim	6.3	216	101	7	75.3	5.2	1.5	0.96	26.2	1	0.3	0.25	3.5	0.2
N	115	1	132	134	15	90	120	116	118	18	27	18	6	12

Taula 24. Valors estadístics dels principals paràmetres que caracteritzen la unitat Quaternari

	Alumini	Arsènic	Bor	Coure	Ferro total	Fluorurs	Manganès	Níquel	Plom	Bari	Zinc	Estronci	Liti
	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Promig	0.04	5.36	0.03	17.433	1.73	0.14	0.02	9.12	0.75	3.36	7.06	163.29	3.62
Mediana	0.03	5	0.035	3.9	0.02	0.12	0.003	9.12	0.75	2.70	5.19	163.29	3.62
Mitjana geomètrica	0.03	4.45	0.03	5.3588	0.05	0.13	0.01	2.03	0.71	2.97	5.46	161.10	3.61
Desv. Estandar	0.04	3.42	0.02	35.1	5.02	0.06	0.03	12.57	0.35	2.06	5.92	37.75	0.26
Màxim	0.095	11	0.065	110	16	0.3	0.08	18	1	6.9	17.2	189.98	3.8
Mínim	0.01	1.7	0.001	1.2	0.007	0.07	0.001	0.23	0.51	1.9	1.8	136.6	3.44
N	9	6	15	9	10	10	7	2	2	5	5	2	2
inferiors limit det.	13	20	11	17	16	14	19	24	24	0	12	0	0

Taula 25. Valors estadístics dels metalls pesants i altres elements traça que caracteritzen la unitat Quaternari



4 ESTAT QUÍMIC DE LES AIGÜES

4.1 Qualitat de les aigües segons la Directiva Marc de l'Aigua

De cara a definir l'estat químic de les aigües subterrànies es tindrà en compte, segons la Directiva Marc de l'Aigua :

- Conductivitat
- Concentracions de contaminants

La definició de bon estat químic vindrà donat quan les masses d'aigua no presentin efectes de salinitat o altres intrusions, i que no presentin concentracions per sobre dels establerts per legislació, o sigui que compleixi les normes de qualitat ambiental existents.

Segons la Directiva 2006/118/CE, per avaluar l'estat químic de les aigües subterrànies, les normes de qualitat serien les següents:

- Nitrats: norma de qualitat 50mg/L.
- Substàncies actives dels plaguicides, inclosos els metabolits i productes de degradació i reacció que siguin pertinents: norma de qualitat 0,5µg/L total.
- La resta de paràmetres no vénen especificats. Cal establir els valors límits per tots els contaminants i indicadors de contaminació de cada massa d'aigua. Es fixa els criteris per determinar els valors límits, i es dona la llista mínima de contaminants i els seus indicadors, que són: As, Cd, Pb, Hg, NH₄, Cl, SO₄, substàncies sintètiques artificials, conductivitat

4.2 Qualitat de les aigües del Principat

A l'hora de caracteritzar les aigües del principat en termes de qualitat s'ha fet ús de tres criteris:

- Valors generèrics de referència identificats: conductivitat, pH, elements traça
- Nivells màxims admissibles per a aigües potables:conductivitat, pH, elements traça
- Contingut en nitrats

4.2.1 Qualitat de les aigües segons nivells genèrics de referència

Els nivells genèrics de referència obtinguts permeten establir quines aigües poden presentar un quimisme alterat degut a contaminació antròpica. Es tracta de valors genèrics, per la qual cosa en cap cas s'aplicaran en estudis de detall.

Del conjunt d'anàlisis complets recollits, les mostres 17 (pou La Plana), 15 (Drens CTR), 16 (riu del Forn), 74 (lixiviats abocador Encodina), 75 (lixiviats abocador Encodina), 77 (SO₄, Encodina), i 49 (font Pardines) presenten elements impropis del medi hidrogeològic, associats a contaminació industrial (abocadors) o a la presència de vials on s'usa sal com a fondent del gel



de la carretera (cas del punt 49). Es tractaria d'aigües en mal estat químic. La resta d'aigües estan en bon estat químic.

De la mostra 73 es disposa d'índicis que permetrien parlar d'aigües alterades antròpicament però no presenten cap dels elements analitzats, amb valors per sobre dels valors de referència.

La qualitat de les aigües mostrejades és en conjunt bo.

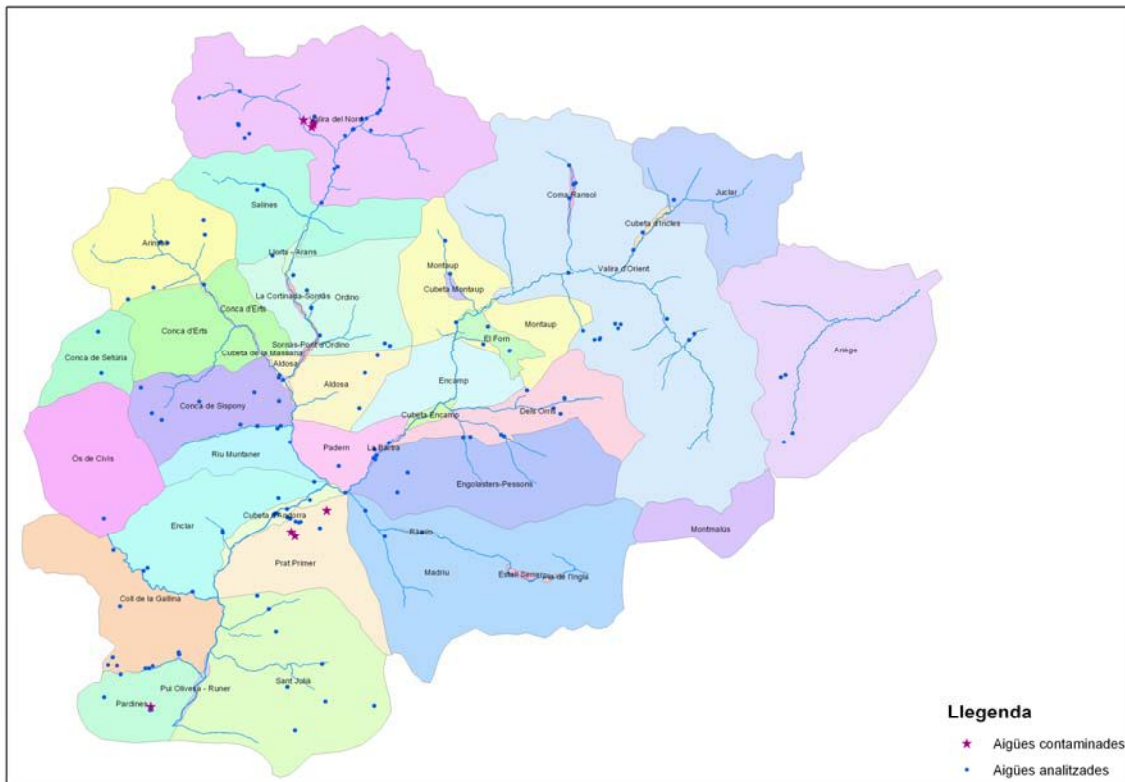


Figura 26. Situació de les aigües amb indicis de contaminació

4.2.2 Qualitat de les aigües segons nivells admissibles per Reglament

En termes de qualitat, les aigües del Principat presenten un bon estat químic. Aquest s'ha fixat en base als límits màxims establerts en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

En base als ions majoritaris, metalls pesants i pH i conductivitat s'ha identificat per cada unitat hidrogeològica els components que presenten concentracions mitges per sobre el límit de qualitat (LQ), **taula 26**. Els paràmetres usats són els que s'han usat per descriure la caracterització inicial de les aigües.

Unitat hidrogeològica	Paràmetre >LQ
Termal	pH>9,5; As>10ppb
St. Julià	As>10ppb; Fe>0,2ppm; Mn>0,05ppm; Cd>5ppb
Salines	Al>0,2ppm; Fe>0,2ppm; Ni>20ppb
Cubeta Andorra la Vella-Engolasters *	Fe>0,2ppm; Mn>0,05ppm; Sb>5ppb
Valira Nord**	Al>0,2ppm; Fe>0,2ppm; As>10ppb; Mn>0,05ppm
Ariege	As>10ppb
Orris	Fe>0,2ppm
Coll Gallina	As>10ppb; Fe>0,2ppm
Valira Orient	Fe>0,2ppm; Mn>0,05ppm
Enclar	As>10ppb
Sispony	Fe>0,2ppm; Mn>0,05ppm
Prat Primer	Al>0,2ppm; Fe>0,2ppm; Mn>0,05ppm
Muntaner	As>10; Mn>0,05ppm
El Forn	As>10ppm
Arinsal	Fe>0,2ppm; Mn>0,05ppm

*Mostra corresponent al pou de la carertera de la Comella

** Mostres corresponents als llixivats de l'abocador

Taula 26. Components que es troben en concentracions mitges per sobre els límits de qualitat

La identificació de les unitats que presenten aigües que no compleixen els requisits d'aigua potable no s'ha de confondre amb unitats contaminades ja que en la majoria dels casos es tracta de valors anòmals naturals, i només en les unitats de Valira del nord i de Prat primer cal associar-los a contaminació, tal i com s'ha comentat.

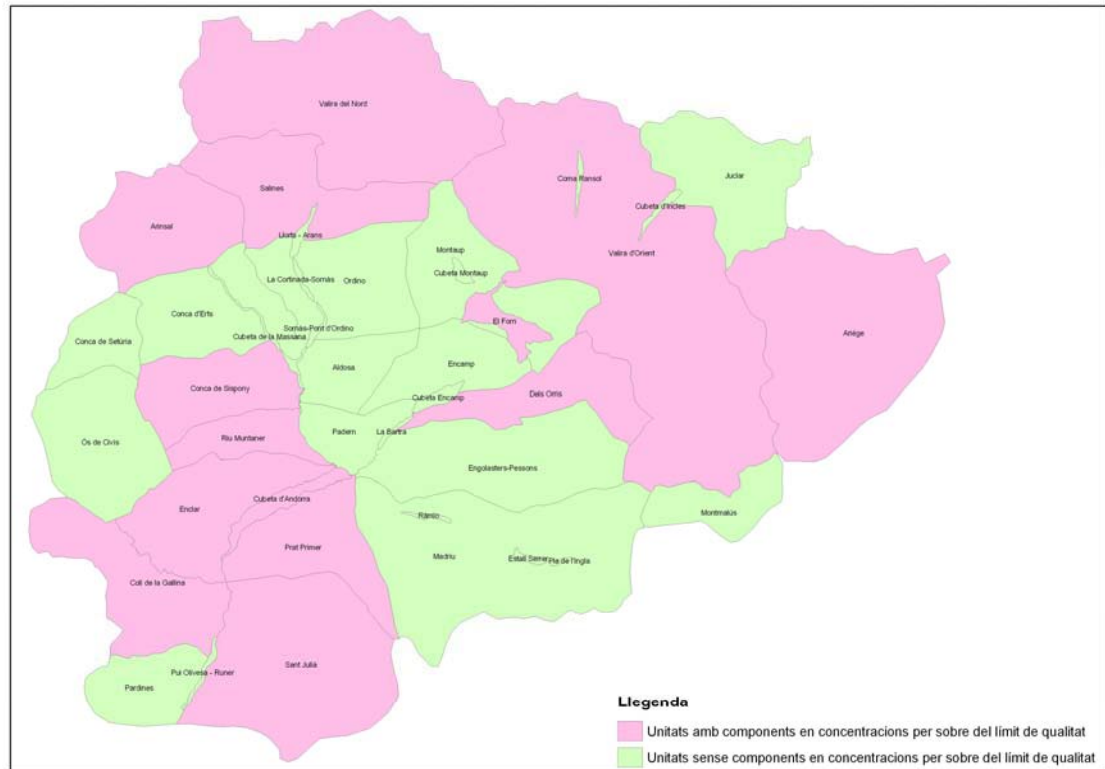


Figura 27. Unitats hidrogeològiques que no compleixen el Reglament tecnicosanitari

En el cas de l'As, les aigües que presenten concentracions superiors als màxims permessos pel consum humà s'emplacen arreu del país, tal i com s'observa en la següent figura.

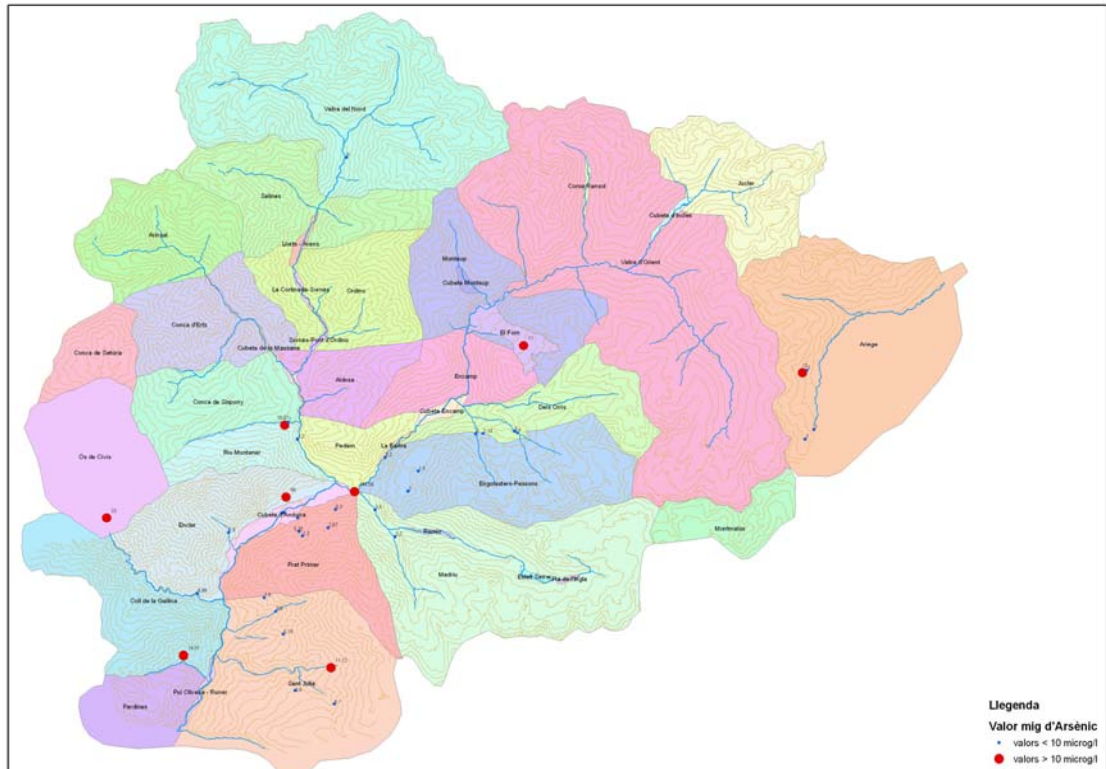


Figura 28. Aigües amb concentracions d'As superiors als 10µg/L

4.2.3 Qualitat de les aigües segons el contingut en nitrats

Les aigües analitzades no presenten concentracions de nitrats per sobre dels 50mg/L (valor límit). Així doncs, totes les aigües presenten una bona qualitat per nitrats. No obstant cal tenir en compte que les aigües mostrejades solen ubicar-se fora de zones amb activitat antròpica, generalment aigües destinades a consum humà. Es tracta per tant de resultats no representatius.

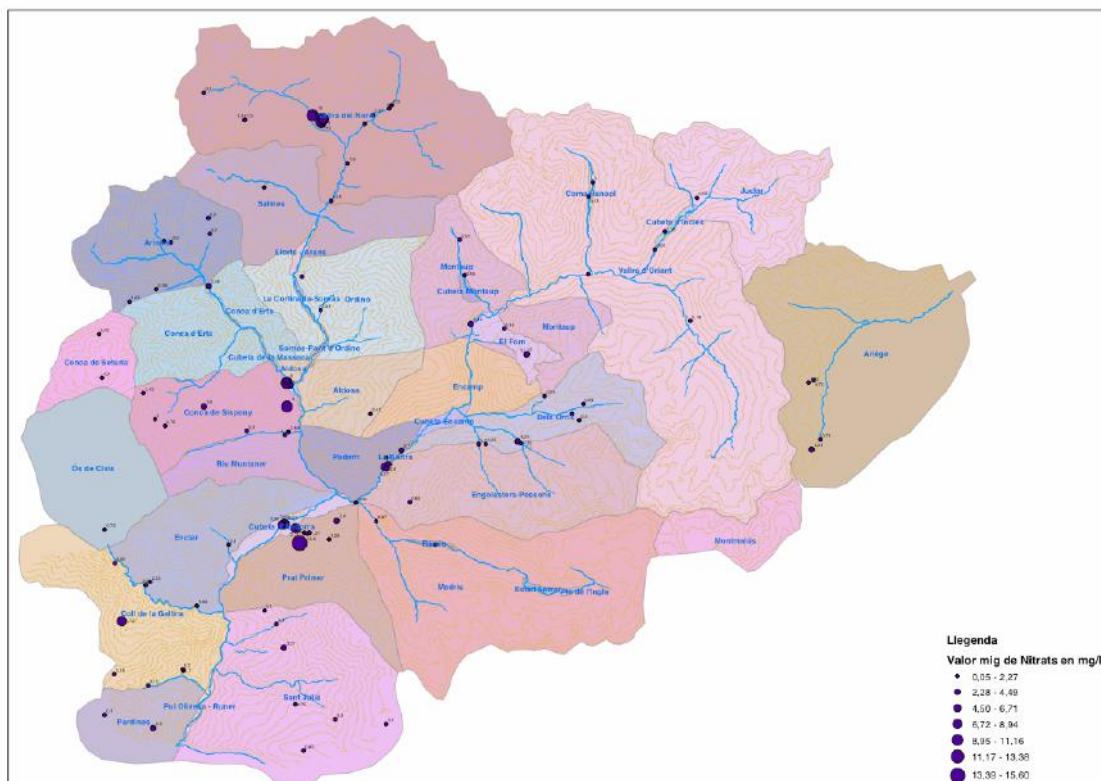


Figura 29. Valors de nitrats en les aigües mostrejades



5 CARACTERITZACIÓ ISOTÒPICA

Les mostres recollides que es disposa de valors d'oxigen 18 (O^{18}) i deuteri (D) s'han agrupat en dos conjunts a efectes del seu tractament i interpretació. Un conjunt agrupa 30 mostres recollides en una campanya duta a terme el juliol - agost de 2002 (**taula 27**) i l'altre conjunt inclou 33 mostres de diferents campanyes realitzades entre l'any 2002 i l'any 2006, excepte una mostra del riu Madriu recollida l'any 1984; en aquest darrer conjunt les mostres es van recollir a diferents èpoques de l'any (**taula 28**).

Taula 27. Situació i contingut isotòpic de les mostres de la campanya de juliol – agost de 2002.

Num	Localitat	X	Y	Z	Data	δO^{18}	δD	ΔD	T ^a
1	Font Obac Llorts 1	531751.7	34093.6	2063	23/07/2002	-11.4	-75.7	15.5	13.6
2	Font Obac Llorts 2	531749.9	34096	2063	23/07/2002	-11.3	-74.1	16.3	12.7
3	Font Obac Llorts 3	531722.2	34125	2067	23/07/2002	-10.94	-73.4	14.12	14.7
4	Font Obac Llorts 4	531844	34120	2005	23/07/2002	-11.08	-74.3	14.34	9.1
5	Font Obac Llorts 5	531903.2	34191.8	1963	23/07/2002	-11.08	-73.1	15.54	8.5
6	Font Obac Llorts 6	531900.6	34193.5	1963	23/07/2002	-10.88	-71.9	15.14	6.5
7	Font Obac Llorts 7	531896.2	34196.2	1963	23/07/2002	-10.52	-70	14.16	6.9
8	Font Obac Llorts captació superior	531881	34128	1993	23/07/2002	-10.51	-71.1	12.98	13.9
9	Font Obac Llorts captació inferior	531916	34183	1963	23/07/2002	-10.49	-71.3	12.62	13
10	Riu Angonella	531998.1	34281.9	1885	23/07/2002	-10.64	-69.2	15.92	
11	Font El Puntal	535133.1	36233.7	1657	23/07/2002	-11.63	-76.5	16.54	13.9
12	Font Encodina sota carretera	533767.7	36375.2	1703	23/07/2002	-11.22	-73.6	16.16	13.3
13	Font Navina mig	536391.9	28717.5	1795	25/07/2002	-10.82	-71.5	15.06	13.2
14	Font Navina inferior	536387.1	28732.2	1790	25/07/2002	-10.84	-70.9	15.82	12.9
15	Font Encodina a	533780.3	36649.6	1800	25/07/2002	-11.01	-74.4	13.68	15.3
16	Font Encodina b	533773.9	36649.6	1800	25/07/2002	-10.46	-73.4	10.28	14.2
17	Font Encodina e	533924.3	36747.6	1898	25/07/2002	-11	-74.6	13.4	13.4
18	Font Encodina c	533873.8	36674.1	1835	25/07/2002	-10.88	-73.9	13.14	13.9
19	Font Enciam	533122.8	36112.5	1775	25/07/2002	-10.1	-70.2	10.6	14
20	Font costat de l'Enciam	533147.4	36070.8	1860	25/07/2002	-9.98	-70	9.84	
21	Torrent Hortell	533271	36156	1773	25/07/2002	-9.59	-68.7	8.02	13.8
22	Torrent El Pont	532363	37093	1743	25/07/2002	-10.58	-71.3	13.34	14
23	Font Verda	536227	28827	1751	01/08/2002	-11.1	-71.1	17.7	8.3
24	Font Ansalonga	533505.3	30613.6	1575	01/08/2002	-11.43	-80.5	10.94	6.5
25	Font Arans nord	532310.9	21847.5	1555	01/08/2002	-10.8	-74.5	11.9	7.7
26	Font Arans sud	532307.8	31844.4	1555	01/08/2002	-10.38	-74.1	8.94	6.3

Num	Localitat	X	Y	Z	Data	δO^{18}	δD	ΔD	T^a
27	Font La Cortinada	533038.6	31128.3	1450	01/08/2002	-10.46	-76.5	7.18	9.5
28	Font El Canyar	534579.3	34915.3	1520	01/08/2002	-11.09	-77.4	11.32	13.3
29	Font Verda	536224.2	28814	1751	01/08/2002	-11.1	-71.1	17.7	9,3±0,7
30	Torrent Comella	533959	22324	1406	30/05/2002	-10.42	-69	14.36	

Taula 28. Situació i contingut isotòpic de les mostres de les campanyes realitzades entre l'any 2002 i 2006.

Num	Localitat	X	Y	Z	Data	δO^{18}	δD	ΔD
31	riu Madriu	535540.6	22947.5	1237	15/01/1984	-10.8	-71.9	
32	font Pleta	531135.4	36374.0	2107	27/08/2003	-10.74	-71.9	14.02
33	font abarsetar	531504.1	36063.7	2251	27/08/2003	-10.76	-70.5	15.58
34	estany abarsetar	531336.4	35924.1	2277	27/08/2003	-10.9	-72.2	15
35	font Coma	529740.8	37309.5	2275	29/07/2004	-9.91	-67.8	11.48
36	Riu de Creussans	529764.4	37296.1	2275	29/09/2003	-9.71	-69.4	8.28
37	Estany de Creussans	529565.4	27602.1	2441	27/08/2003	-9.7	-68.6	9
38	Font Freda	536343.4	37635.3	1938	26/08/2003	-11.21	-76.9	12.78
39	riu Rialb	536061.2	36864.0	1851	27/10/2003	-11.09	-72.5	16.22
40	Font cuiners d	535963.5	36757.4	1832	27/10/2003	-11.44	-76.6	14.92
41	Font cuiners f	535963.5	36757.4	1832	27/10/2003	-11.45	-77.5	14.1
42	Font Verda	536224.2	28814.0	1751	11/04/2003	-10.41	-69.4	13.88
43	Birena	532480.0	25829.0	1273	20/03/2002	-10.42	-70.1	13.3
44	Font Ribal	532928.0	22673.0	1043	30/05/2002	-10.23	-67.7	14.14
45	torrent Comella	533959.0	22324.0	1406	30/05/2002	-10.42	-69	14.36
46	font encodina	533767.6	36395.7	1703	23/07/03	-11.22	-73.6	16.16
47	Riu ribaescorxada	543123.8	29244.3	2153	29/10/2003	-11.5	-75.3	16.7
48	Riu ribaescorxada	543123.8	29244.3	2153	23/06/2004	-11.87	-79.8	15.16
49	Font 1 Ribaescorxada	543726.0	28998.0	2387	29/10/2003	-11.47	-74.7	17.06
50	Font 1 Ribaescorxada	543726.0	28998.0	2387	23/06/2004	-11.72	-79.1	14.66
51	Font 2 Ribaescorxada	543697.0	28942.0	2373	29/10/2003	-11.41	-74.2	17.08
52	Font 2 Ribaescorxada	543697.0	28942.0	2373	23/06/2004	-11.55	-77.2	15.2
53	Font 3 Ribaescorxada	543525.0	28934.0	2287	29/10/2003	-11.5	-75.2	16.8
54	Font 3 Ribaescorxada	543525.0	28934.0	2287	23/06/2004	-11.7	-78.95	14.65

Num	Localitat	X	Y	Z	Data	δO^{18}	δD	ΔD
55	Font 1 Espiolets	544343.0	29329.0	2309	23/06/2004	-11.86	-79.4	15.48
56	Font 2 Espiolets	544240.0	29475.0	2268	23/06/2004	-12.09	-82.1	14.62
57	Font 3 Espiolets	544241.0	29491.0	2266	23/06/2004	-12.12	-81.6	15.36
58	pou espiolets	544440.2	29468.5	2250	30/06/2004	-11.88	-79.75	15.29
59	torrent de les Costes	535862.6	25062.8	1205	20/01/2006	-9.51	-65.8	10.28
60	Riu Valira	535932.7	24843.7	1155	20/01/2006	-9.61	-65.9	10.98
61	Pou	535827.7	24753.7	1155	20/01/2006	-10.83	-73.6	13.04
62	Cata 3	536002.7	24979.2	1160.1	20/01/2006	-11.27	-73.3	16.86
63	Cata 4	536036.3	25033.8	1159.4	20/01/2006	-10.46	-72.4	11.28

El contingut isotòpic d'O¹⁸ de les dues campanyes varia entre -9,51 ‰ SMOW i -12,12 ‰ SMOW, amb un valor mig entre -10,79 i -10,99 ‰ SMOW. Pel que fa al D presenta valors que oscil·len entre -65,8 ‰ SMOW i -82,1 ‰ SMOW, amb un valor mig d'uns -73 ‰ SMOW (taules 27 i 28). A la taula 29 es presenten els valors de les dues campanyes i es pot apreciar que els valors són molt similars, com queda reflectit pels baixos valors de la desviació estàndard.

Campanya	Paràmetre	Màxim	Mínim	Mitjana	Desviació
Juliol 2002	d O ¹⁸	-9.59	-11.63	-10.79	0.45
	d D	-68.70	-80.50	-72.91	2.75
	Excés D	17.70	7.18	13.42	2.78
Entre 2002 - 2006 (i mostra 1984)	d O ¹⁸	-9.51	-12.12	-10.99	0.76
	d D	-65.80	-82.10	-73.75	4.55
	Excés D	17.08	8.28	14.18	2.29

Taula 29. Valors màxims, mínims, migs i desviació estàndard dels dos conjunts de mostres considerats

5.1 Línia meteòrica local

En no tenir dades de la pluja local s'han considerat les línies meteòriques locals de 7 punts diferents de Catalunya, la majoria localitzats en massissos muntanyosos o indrets dels Pirineus Centrals (taula 30). Les set línies meteòriques presenten pendents similars, i només es diferencien pel terme independent.

D'aquestes rectes, cinc han estat deduïdes a partir de les dades de la precipitació (Montseny i Prades, Les Gavarres, Barcelona, Vall d'Aran i Alta Ribagorça), mentre les dues restants s'ha calculat a partir del contingut isotòpic de fonts amb la zona de recàrrega coneguda (Montseny i Guillerics). Les diferències en aquestes rectes poden ser atribuïbles tant a la variabilitat espacial del règim pluviomètric com a processos modificadors que han afectat a les aigües (cas de les rectes calculades a partir de les fonts).

D'aquests estudis, només presenta dades sobre el contingut isotòpic dels episodis mensuals, el realitzat a Barcelona, on s'ha observat que les mostres més lleugeres corresponen als períodes hivernals mentre que les més pesades pertanyen a l'estiu.

Localitat	Recta meteòrica	Referència
Montseny i Prades (pluja)	$\delta 2H = 9.8 + 7.9\delta 18O$	Neal et al, 1992
Barcelona (pluja a 65 m)	$\delta 2H = 6.07 + 7.09\delta 18O$	IAEA, 1984 – 1997
Montseny (fonts)	$\delta 2H = 15.4 + 8.1\delta 18O$	Font et al., 2000
Guillerics (fonts)	$\delta 2H = 14.9 + 8\delta 18O$	ACA, 2002
Gavarres (pluja)	$\delta 2H = 7.98 + 7.8\delta 18O$	Vilanova, 2004
Vall d'Aran (pluja)	$\delta 2H = -2.96 + 6.8\delta 18O$	Font i Carmona, 1994
Alta Ribagorça (pluja)	$\delta 2H = 14.9 + 8.6\delta 18O$	Font i Carmona, 1994

Taula 30. Rectes meteòriques locals calculades a diversos punts de Catalunya

De totes aquestes dades, per proximitat a Andorra s'han utilitzat els valors trobats en un estudi realitzat en la zona de la Vall d'Aran i de l'Alta Ribagorça, amb dades de pluja recollides tant en la vessant mediterrània com en la vessant atlàntica. L'estudi realitzat entre l'any 1993 i

1994, va comportar la recollida de 34 mostres, 17 mostres corresponents a la vessant mediterrània i 17 més a la vessant atlàntica. Així la línia meteòrica local de les precipitacions d'origen atlàntic és:

$$dD = 6.85 d^{18}O - 2.96 \quad \text{amb } r^2 = 0.95$$

En relació a la línia meteòrica local de les precipitacions d'origen mediterrani és:

$$dD = 8.6 d^{18}O + 14.98 \quad \text{amb } r^2 = 0.97$$

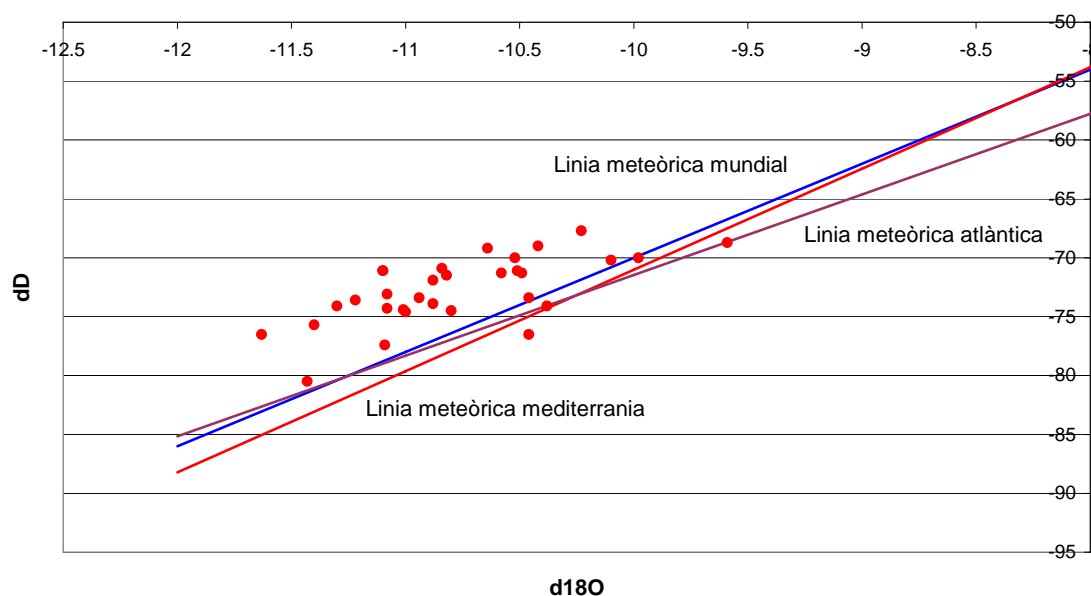


Figura 30. Relació dD i $d^{18}O$ en les mostres de la campanya de juliol de 2002

S'observa com la majoria de les mostres de la campanya de juliol de 2002 no es distribueixen al llarg de cap de les línies meteòriques dibuixades en el gràfic de la **figura 30**. No segueixen la línia meteòrica mundial (en blau a la **figura 30**), ni la línia meteòrica mediterrània (en vermell a la **figura 30**), ni tampoc la línia meteòrica atlàntica (en violeta a la **figura 30**). La majoria de mostres són més lleugeres que els valors d'aquestes línies de precipitació, possiblement assenyalant un origen a partir de pluges localitzades a majors alçades topogràfiques.

Són excepció les mostres corresponents al torrent Hortell, Font d'Arans sud i Font d'Ansalonga que segueixen de forma gairebé exacta la línia meteòrica atlàntica, suggerint que possiblement la recàrrega d'aquestes mostres pugui ser deguda a pluges amb un origen dominant atlàntic.

La mostra de la Font de la Cortinada es localitza a la dreta de totes les línies meteòriques, és a dir es tracta d'una aigua més pesada que la resta, això implicaria possiblement l'existència de processos d'evaporació i concentració dels isòtops deuteri i oxigen 18.

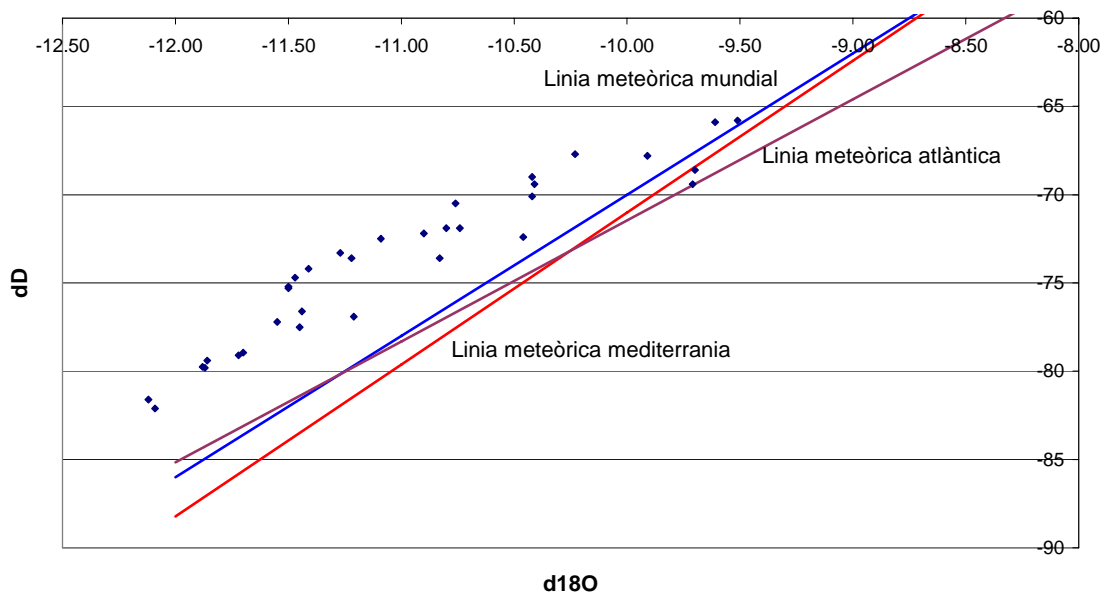


Figura 31. Relació dD i dO¹⁸ en les mostres de les campanyes realitzades entre 2002 i 2006.

Pel que fa a les mostres de les campanyes realitzades entre l'any 2002 i 2006, també s'observa, com en el cas de la campanya de juliol 2002, que la majoria de les mostres tampoc es distribueixen al llarg de la línia meteòrica mundial (en blau a la **figura 31**), mediterrània (en vermell a la **figura 31**), ni atlàntica (en violeta a la **figura 31**). La gran majoria de mostres són més lleugeres que els valors d'aquestes línies de precipitació, assenyalant també un possible origen a partir de pluges localitzades a majors alçades topogràfiques.

Tant sols les mostres corresponents al riu i estany de Creussans s'aparten d'aquesta distribució general i es localitzen a la dreta de la línia meteòrica mundial, és a dir es tracta d'una aigua més pesada que la resta, la qual cosa podria implicar l'existència de processos d'evaporació i concentració d'aquests dos isòtops.

5.2 Cota de recàrrega. Gradient altitudinal

La relació entre l'alçada de recollida de les mostres i el contingut en dO¹⁸ permet apreciar que l'ajust pels dos conjunts és molt similar, amb rectes de regressió que presenten un gradient de dO¹⁸ de -0,6 ‰ SMOW cada 100 m d'alçada (**Figures 32 i 33**).

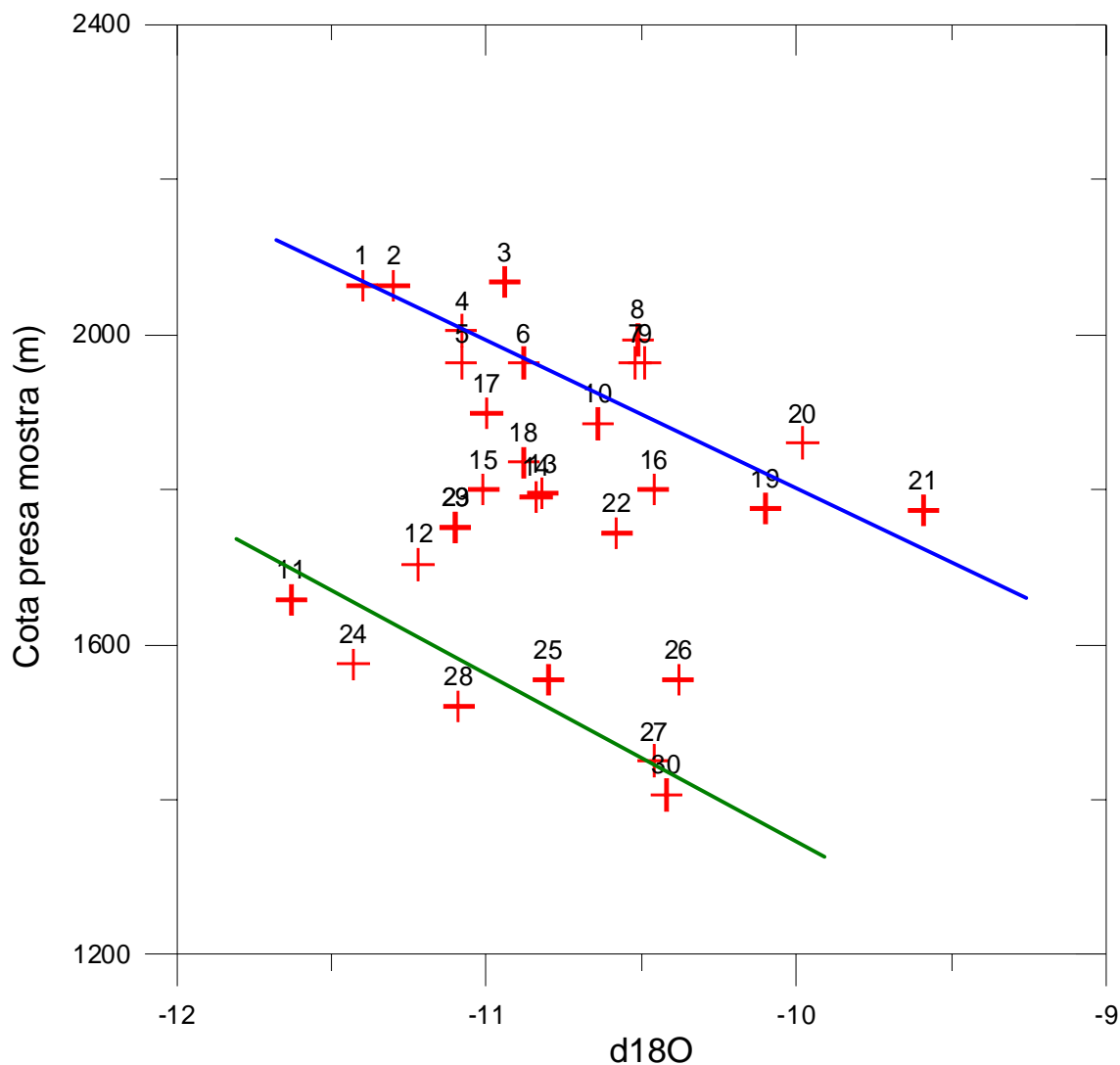


Figura 32. Relació dO^{18} i alçada de presa de la mostra del conjunt de mostres de la campanya de juliol – agost de 2002.

A la figura 32 s'observa l'existència de dos grups diferenciats, un corresponent a mostres situades a cotes més altes i que s'ajusten a la recta de regressió, com serien les mostres de la Font Obac Llorts, del riu Angonella, i de les fonts d'Encodina, font Enciam, font Costat d'Enciam i riu de l'Hortell. Aquestes mostres corresponen a aigües emplaçades a la conca del Valira del nord, a l'extrem nordoest del Principat, en capçaleres o part alta de vessants.

L'altre grup situat a cotes inferiors, inclouria les mostres de les fonts del Puntal, d'Ansalonga, Arans, de la Cortinada, d'El Canyar i el torrent Comella, coincidint amb aigües emplaçades en el fons de vall o part mitja de vessants.

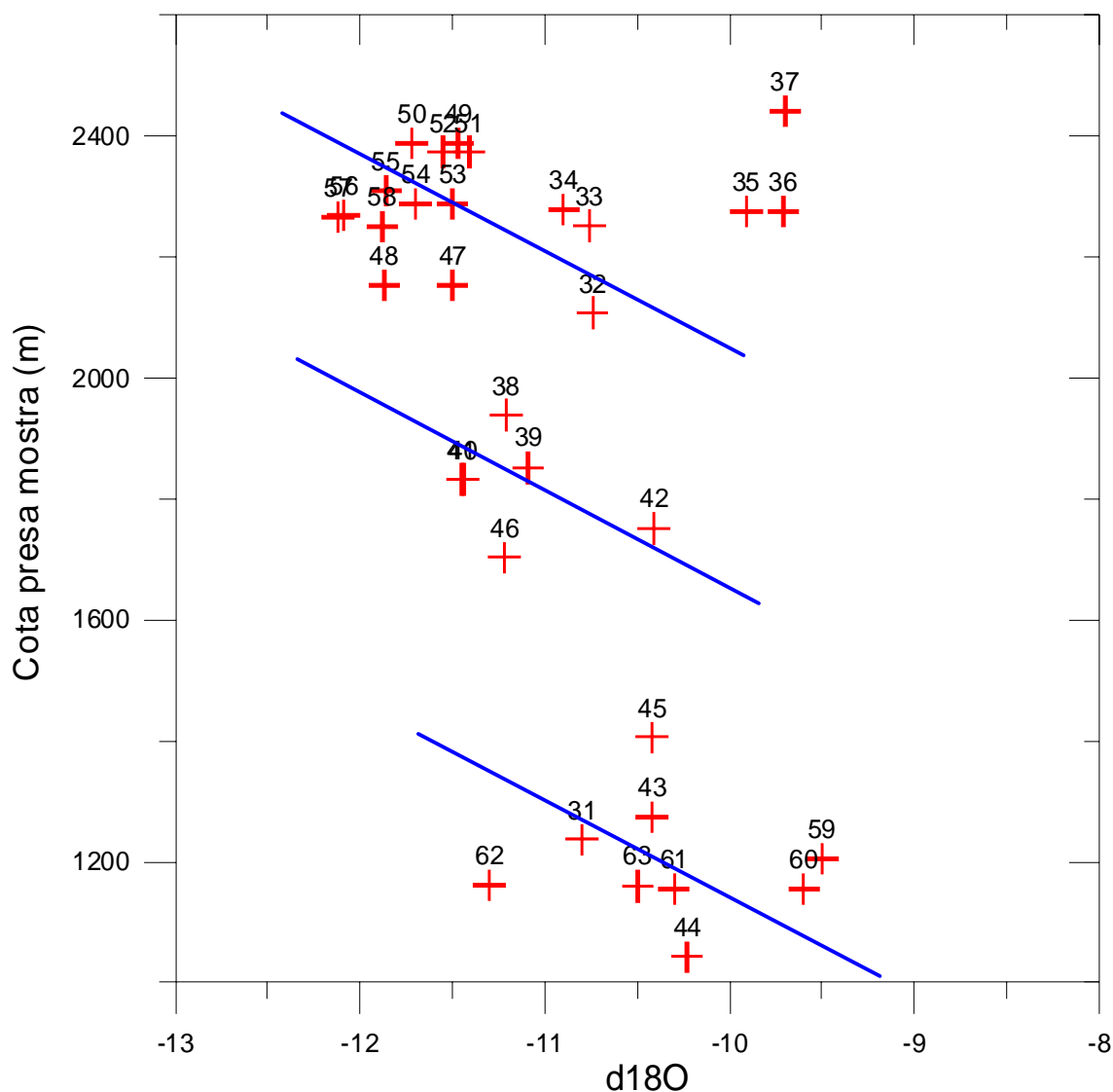


Figura 33. Relació dO^{18} i alçada de presa de la mostra del conjunt de mostres del conjunt de mostres de les campanyes realitzades entre l'any 2002 i 2006.

Entremig, sense ajustar-se a cap de les dues rectes de regressió, es localitza un grup de mostres que corresponen a la Font Navina, font Verda i Encodina, i al torrent del Pont, totes elles emplaçades en la conca del Valira del Nord, en vessants mitjos.

Pel que fa al conjunt constituït per les mostres de les campanyes realitzades entre l'any 2002 i l'any 2006, s'observa a la **figura 33** com formen tres grups diferenciats, tots tres grups s'ajusten a una mateixa recta de regressió, que reflecteix un gradient de dO^{18} de $-0,6\%$ cada 100 m de descens en la cota topogràfica.

En el grup situat a les cotes més altes (entre 2200 i 2400 m) inclou les mostres de la Font de la Pleta, de l'Abersetar, estany d'Abersetar, riu i font de Ribaescorxada, font i pou dels Espiolets, Font de la Coma i riu i estany de Creussans. Les desviacions més importants de la recta calculada corresponen a les mostres de la font de la Coma, riu de Creussans i estany de Creussans, i això podria indicar la recàrrega a partir d'aigües de fusió del mantell nival, segons



un procés de fraccionament que es produeix per sublimació i evaporació del mantell (Clark i Fritz, 1997), segons Arce, M et al (2001).

El grup d'aigües amb cotes intermitges està format per les mostres de les fonts Freda, font Cuiners, font Verda, font Encodina i riu de Rialb. Totes elles s'emplacen a la conca del Valira de Nord; mentre la font Freda, font Cuiners, font Encodina i riu Rialb es troben en el mateix massís, la font Verda cal trobar-la més al sud, en el sector del Coll Ordino.

El grup d'aigües amb cotes de recàrrega inferior agrupa principalment les aigües freàtiques del pou i cates de la Bartra, font del ribal i riu del Madriu, totes elles emplaçades en el fons de vall.



6 CARACTERITZACIÓ I MESURES DE SEGUIMENT I CONTROL

6.1 Generalitats

La Directiva Marc de l'Aigua proposa dos tipus de vigilància sobre les aigües subterrànies:

- Caracterització: general i addicional
- Programes de seguiment: de vigilància i de control operatiu

La caracterització inicial de les masses d'aigua té per objectiu conèixer la composició química, que haurà de permetre identificar dos grups de masses d'aigües: les que presenten afecció o tenen el risc de presentar-ne i les que no presenten cap risc o estan en bon estat.

Les masses d'aigua que tenen el risc de contaminar-se, seran objecte d'una caracterització addicional amb l'objectiu de valorar l'impacte de l'activitat humana. Sobre aquestes aigües s'aplicaran les mesures de correcció o reducció de l'impacte.

Sobre les masses d'aigua amb risc de contaminació es dissenyarà les mesures de control de vigilància a fi de verificar i valorar si estan en risc. Sobre les masses d'aigua que es confirmi que estan contaminades es durà a terme un control operatiu que ha de permetre establir l'estat químic de la massa i la tendència en l'evolució dels contaminants, i els resultats de les mesures preses per reduir l'impacte.

A l'hora de seleccionar els punts de control de mostreig s'ha de tenir en compte doncs, les masses en les quals s'ha detectat risc, i les masses d'aigua transfrontereres.

Des de la DMA, es diu que els paràmetres a analitzar en totes les masses d'aigua serà:

- contingut en oxigen
- pH
- conductivitat
- nitrat
- amoni

En les masses que s'hagi identificat un risc significatiu també s'analitzarà els paràmetres generadors de la mala qualitat de l'aigua.

En les masses d'aigua transfrontereres es controlaran també els paràmetres pertinents per a la protecció de tots els usos a que es sotmeti el flux d'aigua subterrània.

El control operatiu es durà a terme mínim un cop a l'any.

A partir de la informació obtinguda dels controls de vigilància i control operatiu es determinaran les tendències prolongades en l'augment de les concentracions d'origen antròpic i la inversió de les mateixes. Es determinarà l'any o el període de base a partir del qual es calcularà la definició de les tendències entre altres mesures a prendre.



En el cas de mostrejar aigües superficials i captacions d'aigua potable, la Directiva Marc presenta els requisits mínims a tenir en compte en relació a paràmetres a analitzar, freqüència i selecció dels punts a mostrejar.

6.2 Presentació de les dades

Els resultats obtinguts es presentaran seguint uns criteris uniformes com:

Totes les mostres d'un mateix punt es concentraran mitjançant la mitja aritmètica de cada component, excepte quan es detecti que a partir d'un cert període l'aigua es veu afectada, substituïnt-se abans els valors imprecisos <LD (inferior límit de detecció) pel 50%LD.

Totes les mostres d'una mateixa massa es concentraran espacialment mitjançant la mitja aritmètica sempre que es determini que no hi ha afectació o risc. En el cas que existeixi mostres amb afectació o risc, es mantindrà la individualitat.

La sèrie d'anys generada durant varis anys ha de permetre establir tendències que seran estudiades a partir del mètode linial.

7 PROTECCIÓ DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES

Seguint les directrius de la Directiva Marc, en el marc de la caracterització de les aigües, els programes d'actuacions a fer s'han de centrar en :

- Inventari de captacions: el present estudi s'ha dut a terme en base a dades semiquantitatives, i només d'algunes de les captacions. No s'ha tingut accés a les extraccions d'aigua per usos privats. Amb aquest programa es pretén formar una base de dades de les masses d'aigua en la qual hi figuri informació tècnica necessària per a la caracterització hidrogeològica dels aquífers (cabals captats, nivells piezomètrics, qualitat de les aigües, etc).
- Programa relatiu a l'establiment d'una xarxa oficial de control piezomètric i de qualitat, aforaments i estacions meteorològiques: amb aquest programa es pretén instal·lar i mantenir una xarxa de control piezomètric i de qualitat en les diferents masses d'aigua, així com d'una xarxa d'aforadors de rius i torrents emblemàtics, i una xarxa d'estacions meteorològiques que permeti avaluar els recursos hidrogeològics. Les diferents xarxes a instal·lar aprofitaran en la mesura que es pugui els punts ja existents.
- Programa enfocat a la identificació d'aquífers sobreexplotats: actualitzar les extraccions i els recursos hídrics disponibles a fi d'avaluar quines masses d'aigua poden patir sobreexplotació, i proposar mesures de control i disseny de mesures correctives.
- Programa dirigit a autoritzacions de noves captacions: normalitzar les autoritzacions de noves captacions, i regular les existents.
- Protecció d'aigües d'interès humà o captacions per ús humà, a partir de la delimitació dels perímetres de protecció, inventari de les activitats que es



desenvolupen en els perímetres, establiment de mesures de control de la qualitat i quantitat

- Protecció d'aigües d'interès ecològic, a partir de la delimitació dels perímetres de protecció, limitació de les activitats, l'establiment de mesures de control de la qualitat i quantitat, etc.
- Programa d'emplaçament dels residus. Està dirigit a l'anàlisi de la situació general dels abocadors, avaluant la incidència d'aquests sobre les aigües subterrànies.
- Programa de cara a la prevenció i control de contaminants d'origen industrial. Es basarà en l'inventari i situació de les activitats potencialment contaminants, avaluació del risc de contaminació, i en la proposta de mesures de prevenció, mesures de control i correcció enfocat als casos on està comprovada la contaminació.
- Programa de cara a la prevenció i control de contaminacions per nitrats. Es basarà en la identificació dels aqüífers afectats o potencialment afectats, i en la proposta de mesures de control i correcció.
- Programa de cara a la prevenció i control de contaminacions per pesticides. Es basarà en la identificació dels aqüífers afectats o potencialment afectats, i en la proposta de mesures de control i correcció.
- Programa enfocat a situacions d'emergència de les aigües subterrànies, per contaminació accidental
- Programa enfocat a situacions d'emergència de les aigües subterrànies, per períodes de sequera.
- Pla de gestió de les aigües conjunta que avarqui les diferents administracions i entitats explotadores, comunitats d'usuaris competents del Principat, etc. així com les administracions extrafrontereres que tenen competència sobre les aigües extrafrontereres.

En cada cas caldrà estudiar les incompetències amb legislacions actuals, i proposar modificacions ajustades als nous temps, sempre en coherència amb els plantejaments de la Directiva Marc.

La Directiva Marc, en un dels seus programes d'implantació, parla dels programes de seguiment i i de mesures.

De cara a mantenir l'estat químic de les aigües en bon estat o millorar l'estat químic de les aigües en mal estat, es dissenyaran diferents programes, coherents amb els establerts en la Directiva Marc de l'aigua. Cada programa de mesures inclourà les mesures bàsiques i si és necessari, les mesures complementàries.

Les mesures bàsiques haurien de complir els requisits mínims establerts en la Directiva Marc de l'aigua, com per exemple:

- mesures per fomentar l'ús eficaç i sostenible de l'aigua;



- mesures per garantir la qualitat de l'aigua a fi de reduir el nivell de tractament de purificació necessari per a la producció d'aigua potable;
- mesures de control de les captacions amb requisit d'autorització prèvia per a la captació i embassament
- mesures pels abocaments de fonts puntals que puguin causar contaminació, amb el requisit de reglamentació prèvia o el registre basat en normes generals que estableixin controls de l'emissió dels contaminants
- mesures per evitar o controlar les fonts difuses de contaminació
- prohibició d'abocaments directes de contaminants en les aigües subterrànies
- mesures per eliminar la contaminació de les aigües superficials segons la llista de substàncies prioritàries
- mesures per prevenir contaminacions procedents d'instal·lacions industrials i reduir els efectes de contaminacions accidentals, com inundacions

Així mateix cal ésser coneixedors de la incidència de l'activitat humana en les aigües subterrànies, o sigui disposar d'un inventari de les captacions, dels cabals extrets, de la qualitat de les aigües.

Les mesures complementàries tenen per objectiu d'aconseguir els objectius mediambientals proposats des de la Directiva Marc de l'aigua.



8 BIBLIOGRAFIA

- Adriano, D.C. 1986. *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. Springer-Verlag.
- Agència Catalana de l'Aigua (2004). *Model de gestió de la conca de la Riera d'Arbúcies (Montserrat – Guillerries)*. Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.
- Appelo, C.A.J. & Postma, D. (1993). *Geochemistry Groundwater and Pollution*. 536 pp. A.A. Balkeema. Rotterdam
- Arce M., García M.A. i Arqued V. 2001. *Caracterización del oxígeno 18, deuterio y tritio en las aguas del Pirineo*
- Carmona, J.M. i Font, X. (1995). *Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Nere (Val d'Aran)*. Dept. Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. Informe para FECSA. 206 p.
- Clark, I. i Fritz, P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Pub. 328 pp.
- Curso Internacional de Hidrologia Subterrànea. 1988. *Aguas Subterráneas. Instrumentación, medida y toma de muestras*. Prensa XXI S.A. Barcelona. 378 p.
- Custodio, E. i Llamas, R. 1983. *Hidrología Subterránea*. 2 tomos. 2ª ed. Ed. Omega. Barcelona. 2347 p.
- Drever, J. I. (1982). *The Geochemistry of natural Waters*. Prentice Hall, New Jersey, 437 pp.
- Enciclopedia Natural dels Països Catalans. 1985. *Recursos Geològics i sòls*. Tomo 3. Fundació Enciclopedia Catalana. Barcelona. 451 p.
- Font, X.; Viladevall, M. i Carmona, J.M. (2002). *Model de gestió del Sistema Hidrogeològic de Naturalesa granítica del Montseny – Guillerries*. Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. 3 tomos.
- Forstner, U. i Wittmann, G.T. 1979. *Metal Pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag.
- G.P.P.G. 1983. *Risc tòxic existent d'origen natural in Proposta d'estructuració de la xarxa toxicològica a Catalunya*. Cap a un mapa dels riscos toxicològics a Catalunya. Dep. Medicina Laboral i Toxicològica i Dep. Geoquímica, Petrologia i Prospecció. Universitat de Barcelona. 363 p.
- Hawkes, H.E. i Webb, J.S. 1962. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Harper & Row, Publ. New York. 415 p.
- IAEA 1981. *Stable Isotope Hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle*. Technical Reports Series n. 210. IAEA Vienna.
- Lepeltier, C. 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Economic Geology*, vol. 64, 538 – 550.



Lloyd, J. W., & Heathcote, J. A. (1985): Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater - An Introduction. Oxford: Clarendon Press.

Neal, C., Neal, M., Warrington, A., Avila, A., Piñol, J. I Rodà, F. (1992). Stable hydrogen and oxygen isotope studies of rainfall and streamwaters for two contrasting holm oak areas of Catalonia, northeastern Spain. *Journal of Hydrology*, 140: 163 - 178

Salomons, W i Förstner, U. 1984. *Metals in the Hydrocycle*. Springer-Verlag.

Sinclair, J. 1981. *Applications of Probability Graphs in Mineral Exploration*. The Association of Exploration Geochemists. Spec. Vol. 4. Richmond (Canada). 95 p.

Stumm, W., & Morgan, J. J. (1981): *Aquatic chemistry* (2 ed.). New York: John Wiley & Sons.



9 ANNEX DE DOCUMENTACIÓ: UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES

9.1 Aqüífer al.luvial La Bartra

Només consta de 5 anàlisis químiques, dues mostres corresponents a l'aigua del pou i tres mostres del riu Valira d'Orient. L'error analític de dues mostres és superior a l'admissible, que s'interpreta que es deu a un dèficit de $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$. No es disposa d'elements per poder corregir-lo. En la **taula 31** es representa les principals característiques de les aigües (valors mitjos).

Es tracta d'aigües bicarbonatades càlciques (**figures 34, 35 i 36**), lleugerament mineralitzades, alcalines, lleugerament dures, amb un contingut d'alumini, estronci i bor més significatiu, i traça de manganès, coure, liti, zinc, cobalt, plom, coure i arsènic, i sense que es detecti ni seleni ni níquel.

L'índex de Riznar (IR) indica que es tracta d'aigües mitjanament agressives.

Conductivitat ($\mu\text{S/cm}$)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça ($\mu\text{g/l}$)
261	8,2	214,9	139,5	7,8-8	Bicarbonatada càlcica	30<Al<90 80<Sr<140 20<B<23

Taula 31. Caracterització de les aigües de la Bartra

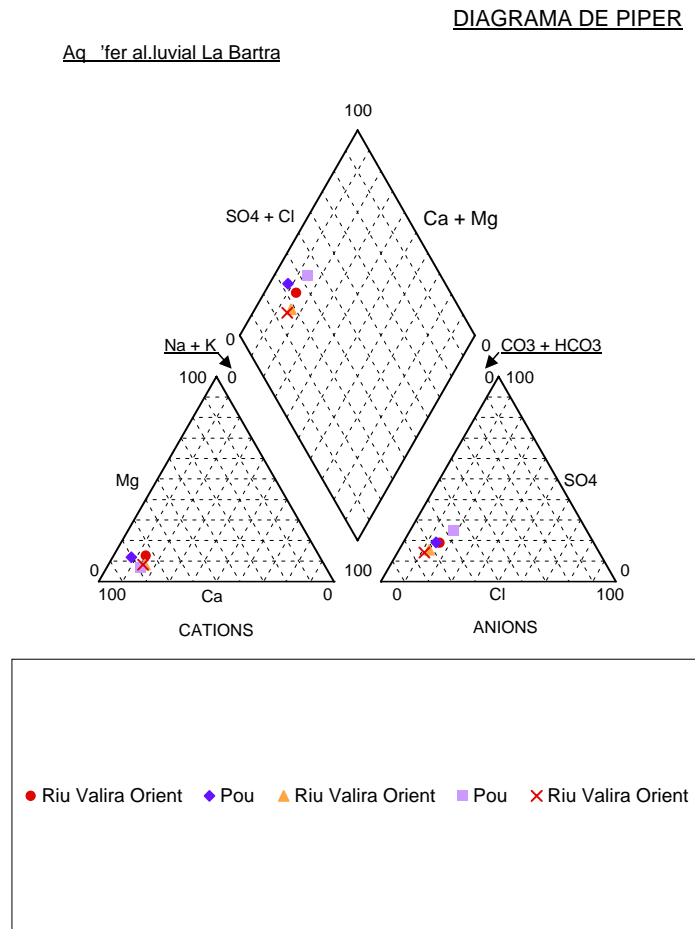


Figura 34. Diagrama de Piper (modificat)

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Aqüífer al·luvial La Bartra

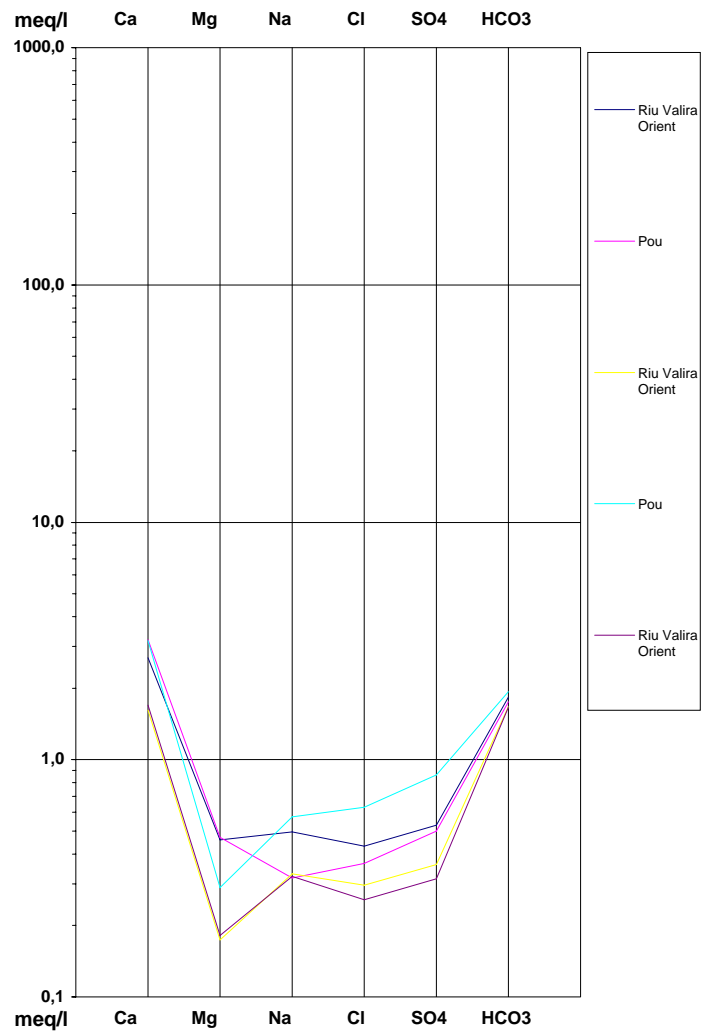


Figura 35. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)

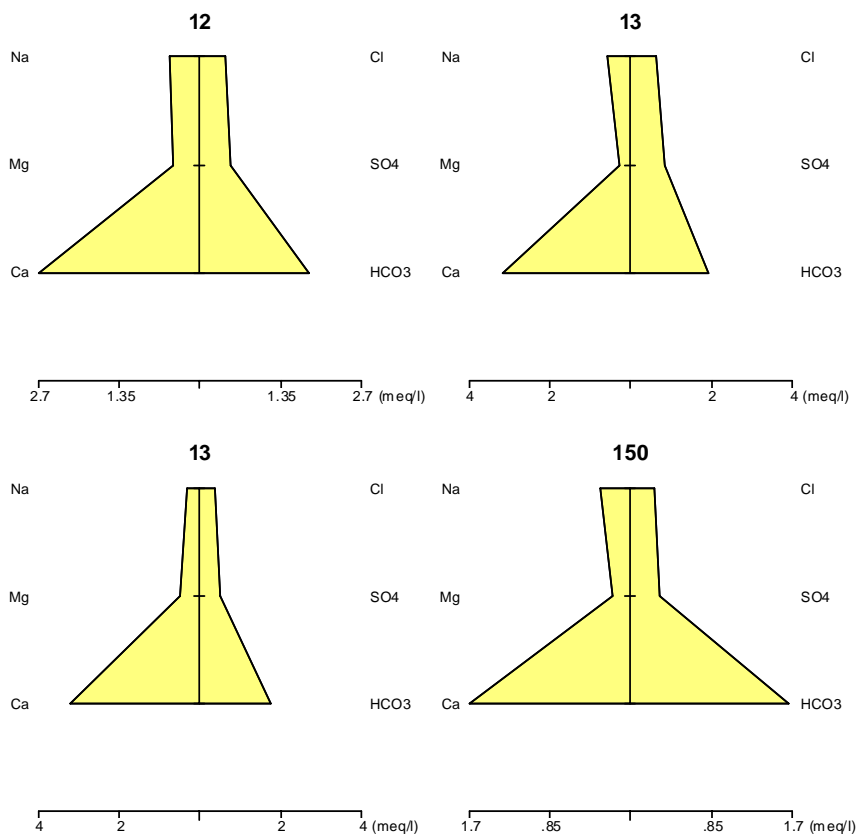


Figura 36. Diagrames de Stiff (modificat) d'algunes mostres característiques de la unitat

9.2 Unitat hidrogeològica Padern

Només consta de 3 anàlisis químiques que corresponen a dues mostres del torrent Les costes i una mostra del torrent de Can Diumenge. D'aquesta darrera mostra es té l'anàlisi química inorgànica (ions majoritaris i metalls pesants), així com de compostos químics orgànics (compostos aromàtics volàtils, fenols, PHAs, AOX, PCBs, dioxines-furans, etc.)

Cap de les anàlisis són completes, associades a que presenten certs elements que queden per sota el límit de detecció. En base als criteris de càlculs i validesa citats el **l'apartat 1**, s'ha completat quan ha estat necessari.

L'error analític d'una de les mostres (torrent de les Costes) és superior a l'admissible, que s'interpreta que es deu a un dèficit de $\text{CO}_3\text{H}+\text{SO}_4$. En la **taula 32** es representa les principals característiques de les aigües (valors mitjos).

Es tracta d'aigües bicarbonatades càlciques (**figures 37, 38 i 39**)-bicarbonatades-sulfatades càlciques, lleugerament mineralitzades, alcalines, dures, amb un contingut significatiu en estronci i liti, i traces de zinc, alumini, bari, bor, manganès, níquel i coure. Es detecten certs HPAs, així com dioxines-furans, sempre en concentracions per sota de les establertes en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

L'índex de Riznar (IR) indica que es tracta d'aigües estables-mitjanament agressives.

Conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça ($\mu\text{g}/\text{l}$)
297	8,2	214,9	201	6,1-7,5	Bicarbonatada càlcica/ bicarbonatada-sulfatada càlcica	Sr=224 Li=15,6

Taula 32. Caracterització de les aigües de la unitat de Padern

Figura 37. Diagrama de Piper (modificat)

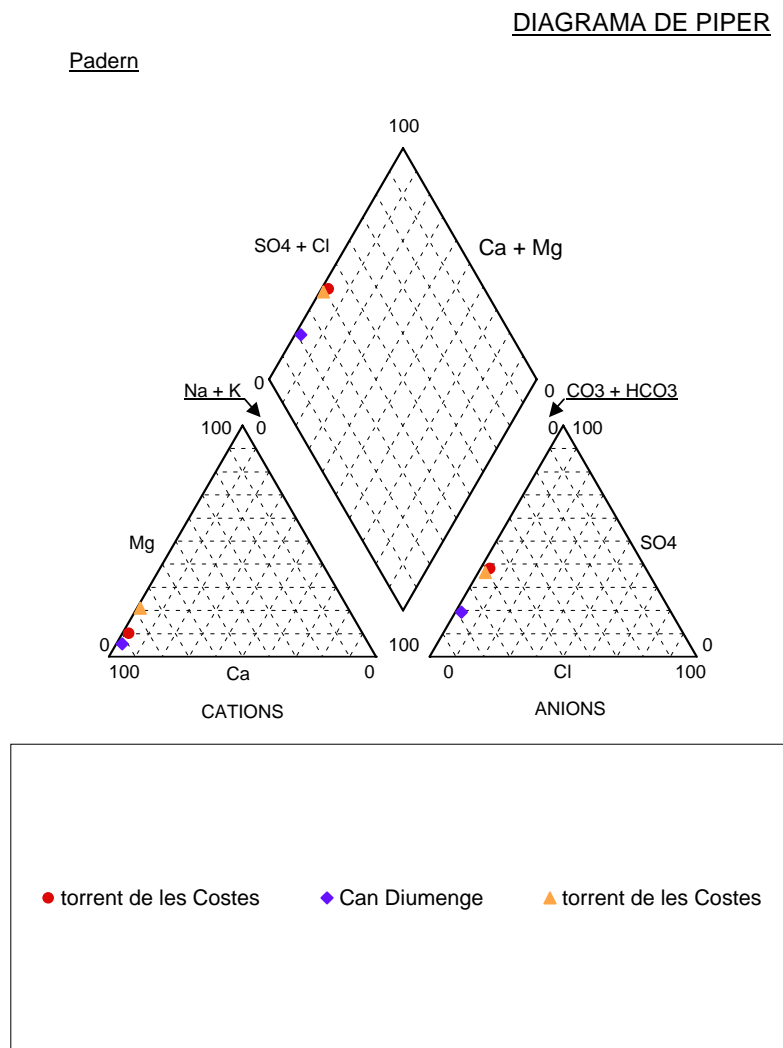


DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Padern

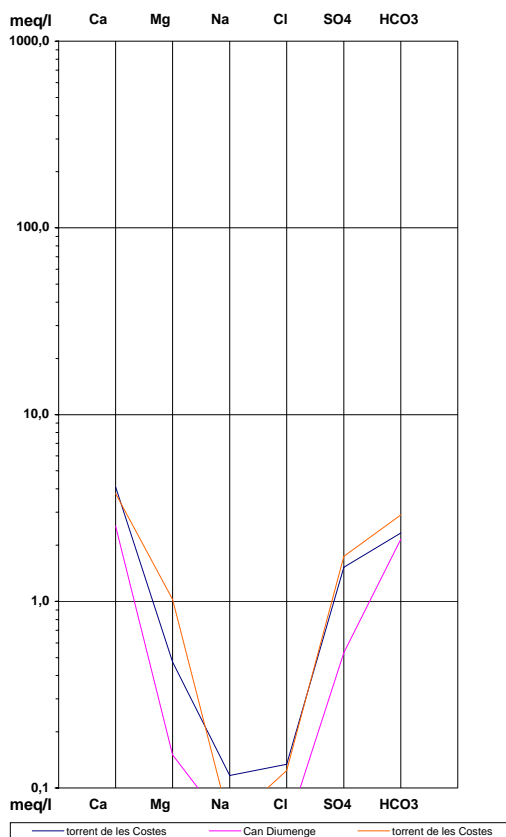


Figura 38. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)

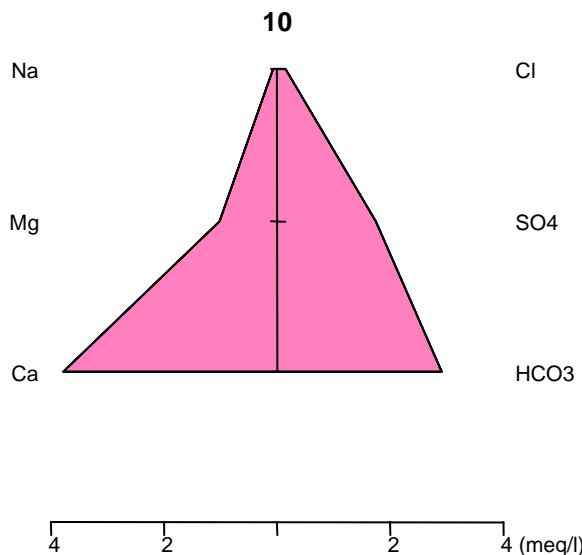


Figura 39. Diagrama de Stiff (modificat) de la mostra del Torrent de les Costes (bicarbonatada sulfatada càlcica)

9.3 Unitat hidrogeològica Arinsal

D'un total de 12 anàlisis, només es disposa d'una anàlisi química parcialment completa, corresponent a l'aigua de la font d'Arinsal. En base a la resta d'anàlisis d'aigües de la mateixa font i aplicant criteris com el de la duresa, s'ha estimat el valor del magensi, i amb l'equivalència iònica s'ha estimat el valor dels clorurs i del potassi. S'observa però, que en base a la conductivitat, la concentració de HCO₃+SO₄ és excessiva.

Són varies les litologies presents en aquesta unitat: pissarres carbonoses del Silurià, amb les fonts de Comallempla, Igloo, Obèlix i Arinsal, i gresopelites del Cambroordovicià, amb la resta de fonts. Amb els resultats que es disposa, s'observa que les aigües procedents de materials del Silurià són bicarbonatades-sulfatades càlciques (**taula 33**), presenten un contingut en sulfats superior, estan lleugerament mineralitzades, tot i que alguna font presenta conductivitat moderadament alta (superior a 400µS/cm), mitjanament dures, de pH neutre. En canvi les aigües que circulen entre les gresopelites estan molt poc mineralitzades, amb conductivitats per sota de 100µS/cm, i pH també neutre. Les aigües amb major conductivitat presenten un major contingut en sulfats. L'índex de Riznar (IR) indica que es tracta d'aigües agressives.

Quan als elements traça, s'observa que les aigües més mineralitzades, procedents del Silurià presenten concentracions importants en coure, fluorurs, ferro, manganès, i traça en mercuri, alumini, cadmi, crom, níquel i seleni. En les aigües menys mineralitzades destaca la presència de ferro, fluorurs, manganès i alumini, i concentracions traça en crom i plom.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
236	7,3	219	94,1	9,1	Bicarbonatada càlcica	130<Cu<380 50<Fe<150 260<F<380
31	7	-	-	-	-	420<Fe<1260 100<Mn<400 40<F<130 10<Cr<20

Taula 33. Caracterització de les aigües de la unitat d'Arinsal



Figura 40. Diagrama de Piper (modificat)

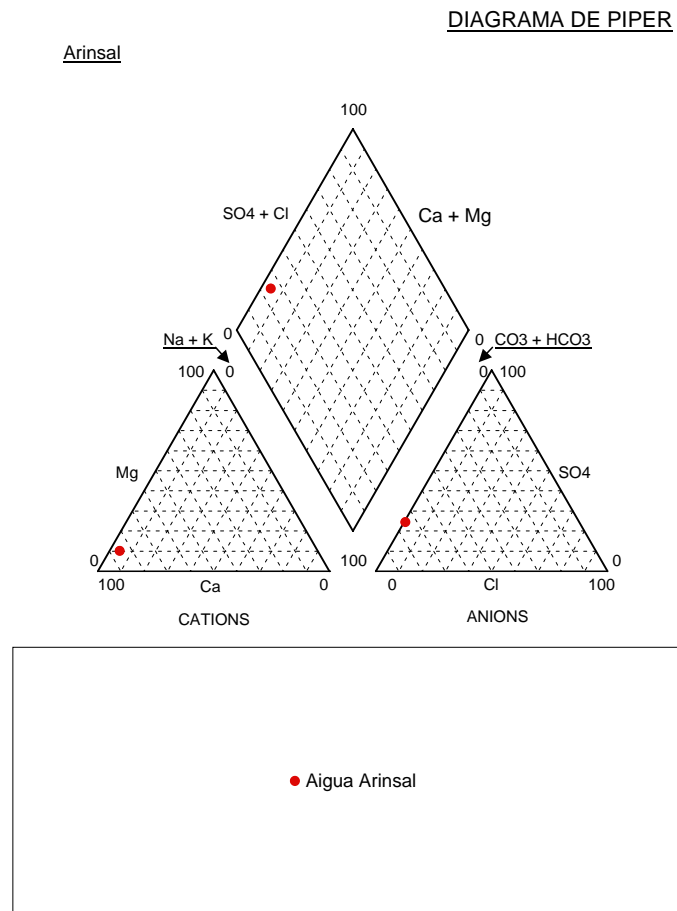




DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Arinsal

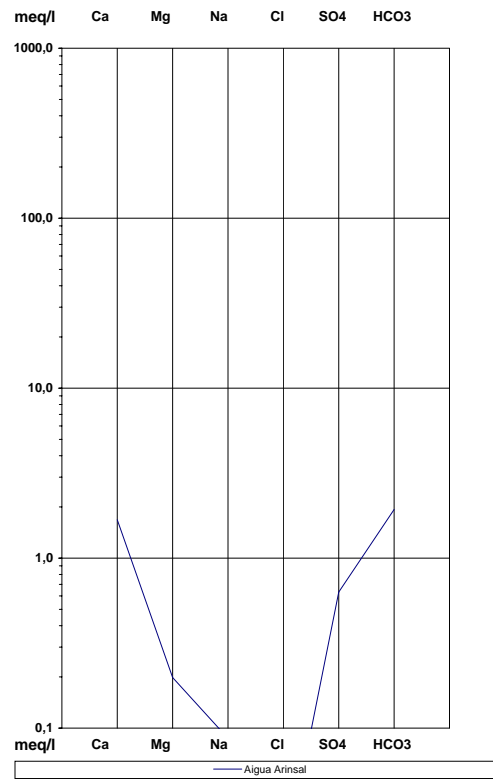


Figura 41. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)

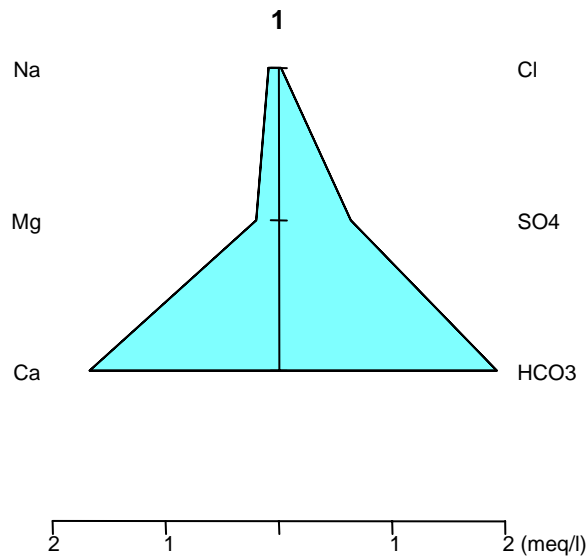


Figura 42. Diagrama de Stiff (modificat) d'aigües bicarbonatades càlciques



9.4 Unitat hidrogeològica Prat Primer

D'un total de 43 anàlisis, momés consta de 7 anàlisis químiques de tant elements inorgànics (ions majoritaris i metalls pesants), com de compostos químics orgànics (compostos aromàtics volàtils, fenols, PHAs, AOX, PCBs, dioxines-furans, etc.), d'aigües superficials (torrent del Cuc i del Forn) i subterrànies (drens CTR). Així mateix es disposa de vèries anàlisis químiques de la font del Ribal (1995-2006) i del torrent de la Comella (1990-2005), algunes de les quals són completes (ions majoritaris i metalls pesants), amb un error analític admissible. En la majoria d'anàlisis hi ha algun element que queda per sota el límit de detecció. En base als criteris de càlculs i validesa citats el **l'apartat 1**, i en base a altres analítiques de la mateixa aigua, s'ha completat quan ha estat necessari. En la **taula 34** es representa les principals característiques de les aigües (valors mitjos).

Per complementar aquestes anàlisis, es disposa d'un recull d'anàlisis incompletes de vèries fonts emplaçades en la zona.

Les aigües de la font del ribal i del riu de la Comella (valors mitjos), torrent del cuc i sondeig La plana són bicarbonatades càlciques, mentre que les aigües del riu del Forn són carbonatades calcicosòdiques i sulfatades càlciques, i les aigües dels drens CTR sulfatades-bicarbonatades càlciques.

En detall però s'observa que les aigües de la conca de la Comella presenten una conductivitat entre 85 i 151 μ S/cm (aigües del riu Comella i aigües de la font del Ribal, respectivament), un pH neutre, són entre mitjanament dures i poc dures (aigües del Ribal i del riu Comella, respectivament), i poc mineralitzades, i les de la conca del Forn i sector de la Plana (continguts mitjos) presenten una conductivitat superior, de 179 μ S/cm, un pH neutre, i són mitjanament dures i més mineralitzades.

L'índex de Riznar (IR) indica que les aigües no afectades són en conjunt agressives i molt agressives, mentre que les aigües afectades (riu del Forn) són molt incrustants.

En quan a elements minoritaris, les aigües de la Plana presenten fluorurs, metalls pesants (alumini, arsènic, coure, manganès, níquel, zinc), HPAs i dioxines-furans, mentre que les del riu Forn són les que presenten més elements, inclús per sobre dels nivells màxims permesos en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999), presentant fluorurs, fosfats, metalls pesants, fenols, ftalats, HPAs i dioxines-furans. El torrent del Cuc presenta fluorurs, fosfats, metalls pesants (alumini, zinc, bari, níquel), ftalats, HPA i dioxines-furans, i els drens CTR presenten fluorurs, metalls pesants (alumini, zinc, bari, níquel), fenols, ftalats, pesticides, HPA i dioxines i furans.

En qual a les aigües de la font del Ribal presenten arsènic, bor, cadmi, fluor, níquel, seleni, vanadi, zinc, ferro i HPA, i les aigües de la Comella presenten arsènic, coure, crom, ferro, fluor, manganès, mercuri, níquel, plata, bari zinc i AOX, sempre en concentracions per sota de les establertes en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Aigües	Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Ió dominant
Conca Comella	151,4-84,5	7,7	124-73	81-45,4	9,3-10,3	Bicarbonatada càlcica	Si=8ppm Al=0,012ppm As=2,7ppb Fe=0,015ppm Cu=0,33ppb
Conca Forn	178,5	7,3	142	85	2,4-11,2	Bicarbonatada càlcica amb sulfats	Si=5ppm Al=2ppm As=4ppb Fe=7ppm Cu=5,4ppb

Taula 34. Caracterització de les aigües de la unitat de Prat Primer (valors mitjos)

9.4.1 Observacions

La composició de les aigües del riu del Forn es deu a elements externs, aports antròpics possiblement associats al centre de tractament de residus de la Comella, essent la composició de la zona de tipus bicarbonatada càlcica.

Figura 43. Diagrama de Piper (modificat)

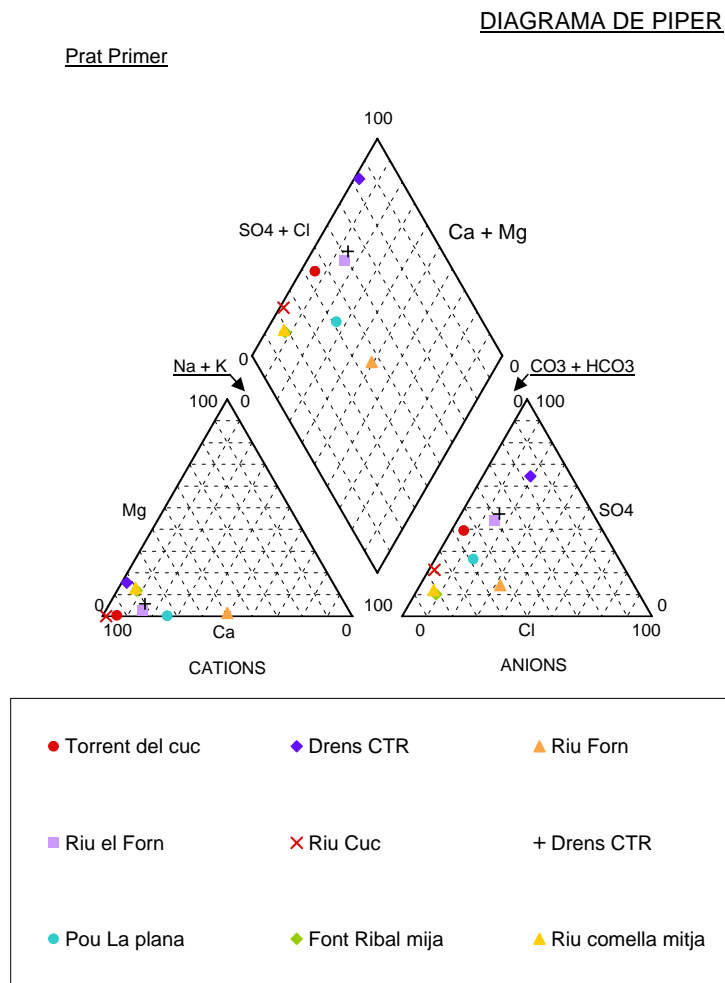




DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Prat Primer

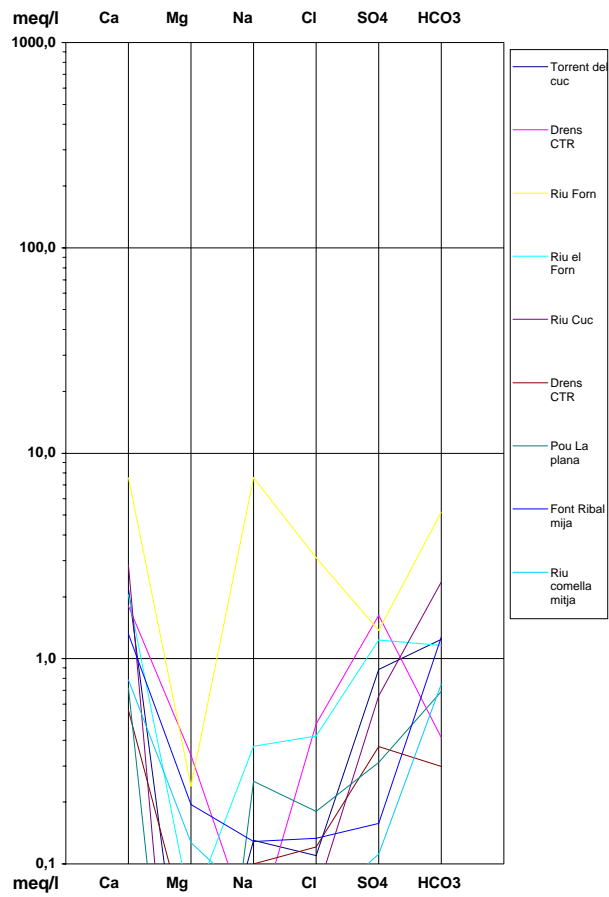


Figura 44. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)

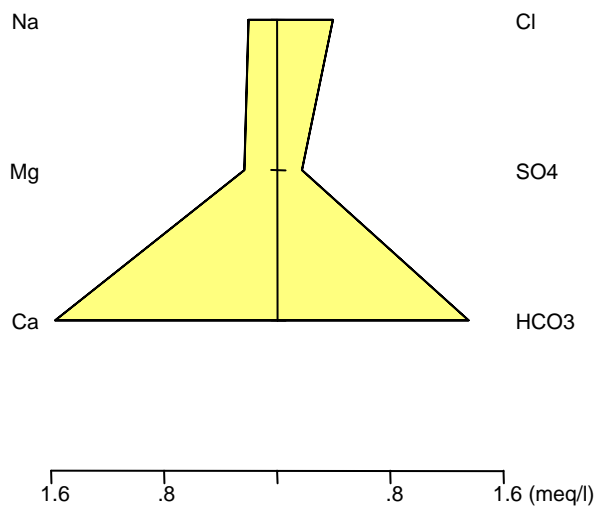


Figura 45. Diagrama de Stiff (modificat) d'aigües del Ribal

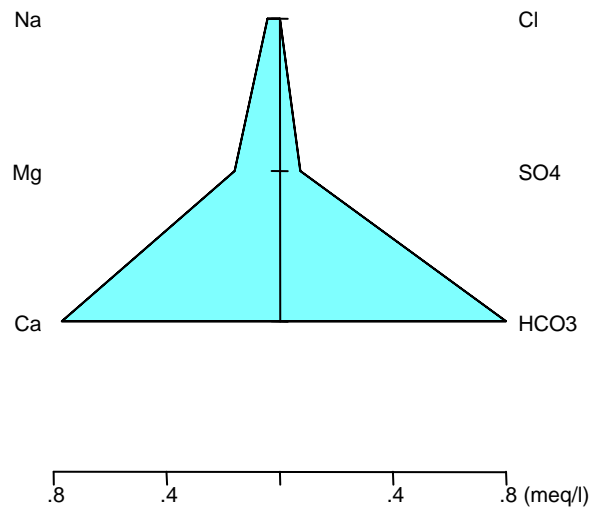


Figura 46. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües del riu Comella

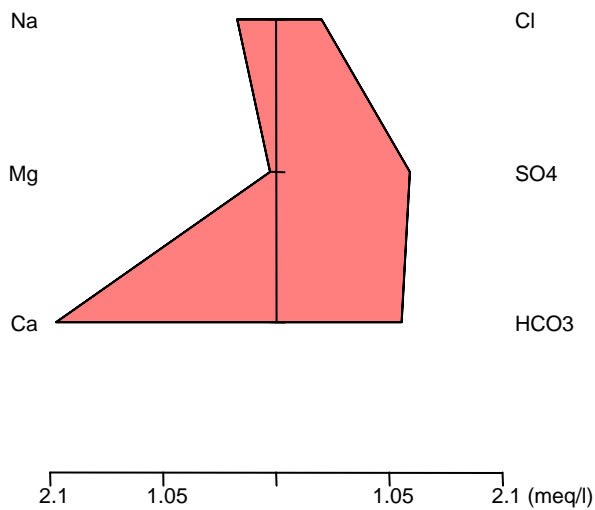


Figura 47. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de la conca Forn

9.5 Unitat hidrogeològica Muntaner

D'un total de 22 anàlisis, 10 anàlisis químiques de la font de la Birena (1990-2005) i 3 anàlisis del riu Muntaner (2004-2006), i 1 anàlisi química de les fonts de St. Antoni (2006) són les més completes. D'aquest darrer també es disposa de resultats de química orgànica. Els resultats de la font de la Birena, presenten un error admissible excepte pels anys 1992 i 1994, i que per tant no s'han tingut en compte. En algunes d'aquestes anàlisis, com també passa en les mostres del riu Muntaner s'ha hagut d'usar els càlculs citats en l'**apartat 1** per tal d'acabar d'estimar certs ions majoritaris, amb l'ajut d'altres anàlisis de les mateixes aigües. En la **taula 35** es representa les principals característiques de les aigües (valors mitjos).

Per complementar aquestes anàlisis, es disposa d'un recull d'anàlisis incomplets de diverses fonts emplaçades en la zona.

Totes tres aigües són bicarbonatades càlciques. Les aigües de la font de la Birena i de St. Antoni procedeixen del mateix massís. S'observa que amb l'alçada les aigües estan menys mineralitzades, així la font de la Birena presenta una baixa mineralització i conductivitat, són aigües toves i presenten un pH alcalí, mentre que les aigües de St. Antoni presenta una major mineralització i conductivitat, són aigües mitjanament dures i de pH alcalí-neutre.

Les aigües del riu Muntaner presenten un químic similar però s'observa una major mineralització i conductivitat, són també mitjanament dures i de pH neutre-alcalí. Aquesta diferència es deu a que les seves aigües són l'aiguabarreig de fluxos procedents de diferents vessants. L'índex de Riznar (IR) indica que es tracta d'aigües força agressives.

En quan a elements minoritaris, les aigües de les fonts de St. Antoni apareixen molt poc mineralitzades, destacant només la presència de fluorurs, arsènic i zinc. En canvi les aigües de la Birena apareixen més mineralitzades, i malgrat que no presenta concentracions molt altes (excepte per l'arsènic), destaca per detectar alumini, arsènic, ferro, fluor, mercuri, níquel, plom, plata, zinc i bari, tot i que depèn molt de la mostra. El riu Muntaner destaca per la presència de manganès, ferro, bor, níquel, seleni i fluor.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
81-128	7,9-8	55,2-144,4	20,9-82,8	8,5-10,3	Bicarbonatada càlcica	Varia segons les aigües. Destaca As en les aigües Birena

Taula 35. Caracterització de les aigües de la unitat del Muntaner



Figura 48. Diagrama de Piper (modificat)

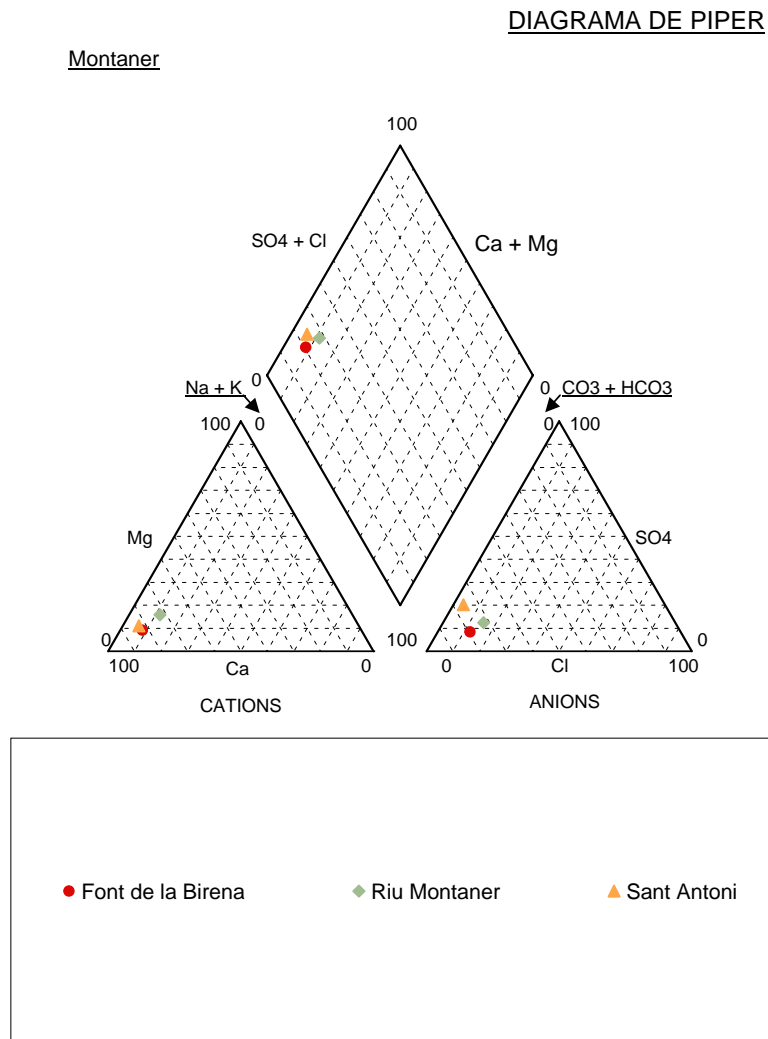


DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Montaner

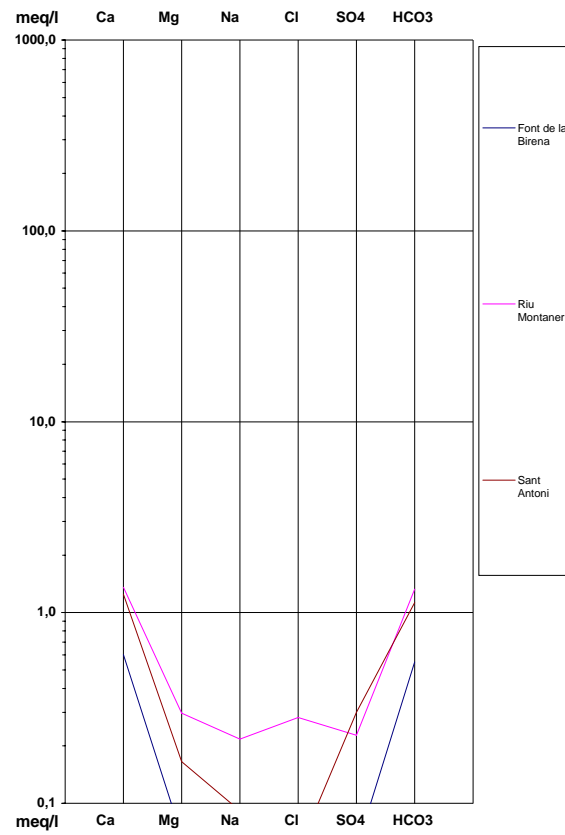
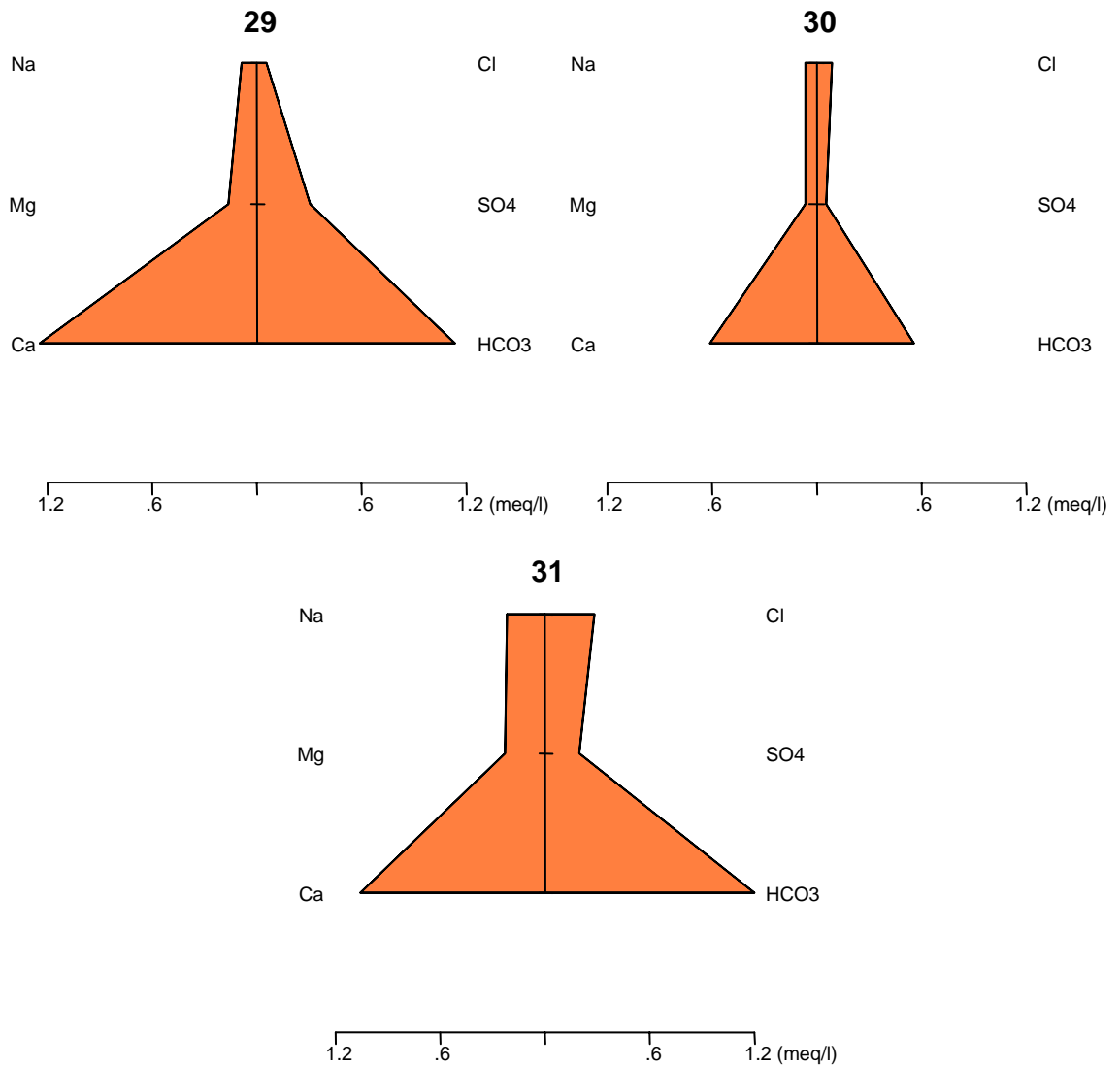


Figura 49. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)



(31) Figura 50. Diagrames de Stiff de les aigües de St. Antoni (29), Font Birena (30) i riu Montaner

9.6 Unitat hidrogeològica Setúria-Ós

Només consta de 2 anàlisis químiques que corresponen a aigües del torrent del Coll de la Botella, que recull les aigües superficials i freàtiques procedents de materials pissarrosos i calcaris, i a aigües d'una font (Port de Cabús) que és el punt de descàrrega de l'aquífer càrstic-fissurat. Només d'aquesta darrera mostra es té l'anàlisi completa dels ions majoritaris i dels elements traça, tot i que hi ha certs elements, com els clorurs, nitrats, potassi, i sodi que es troben en concentracions per sota del límit de detecció, corregint-se segons alguns dels criteris establerts en el **capítol 1**.

Malgrat que l'error analític de la mostra completa (font Port de Cabús) és admissible, degut a la correcció dels resultats, s'observa que la conductivitat és baixa segons el total de sòlids dissolts (TSD). En la **taula 36** es representa les principals característiques de les aigües. Malgrat que no es disposa d'anàlisis completes, s'observa com es tracta d'aigües químicament diferents. Les aigües procedents de l'aquífer calcari són clarament bicarbonatades càlciques (**figures 51, 52 i 53**), alcalines, lleugerament mineralitzades, dures, amb pocs clorurs, poc sodi i pocs sulfats. Les aigües superficials del Coll de la botella, en canvi, presenten un alt contingut en sulfats, associat a l'oxidació dels sulfurs presents en les pissarres, que possiblement permetrien definir les aigües com a sulfatades càlciques, i un cert contingut en sodi, i pocs clorurs i presenta un cert contingut en nitrats, atribuïbles a la presència de prats de pastura usats a l'estiu pel bestiar. El contingut en clorurs és inferior al que seria d'esperar. Caldria veure si es tracta d'un error analític o es tracta d'aigües que han sofert intencanvi catiònic. L'índex de Riznar (IR) indica que es tracta d'aigües estables.

En quan als elements traça, observem presència d'alumini, coure, crom hexavalent, i traces de fluor en les aigües superficials, i d'estronci, ferro, manganès, plom, coure i traces d'alumini, bari, zinc, estronci i liti en les aigües calcàries, sempre en concentracions per sota de les establertes en el Reglament tècnico sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
115-200	7.3-8.2	214,9	171	6,7	Bicarbonatada càlcica/ sulfatades-bicarbonatades càlciques*	Variable segons l'aigua

Taula 36. Caracterització de les aigües de la unitat de Setúria-Ós. * estimat



DIAGRAMA DE PIPER

Font del Port de Cabús

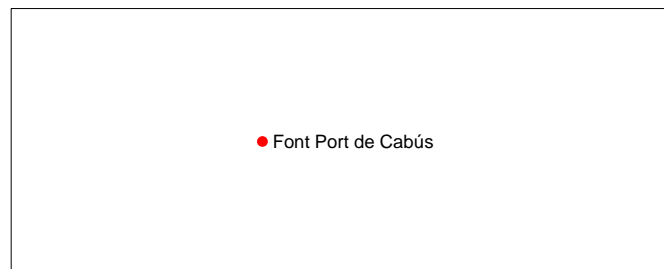
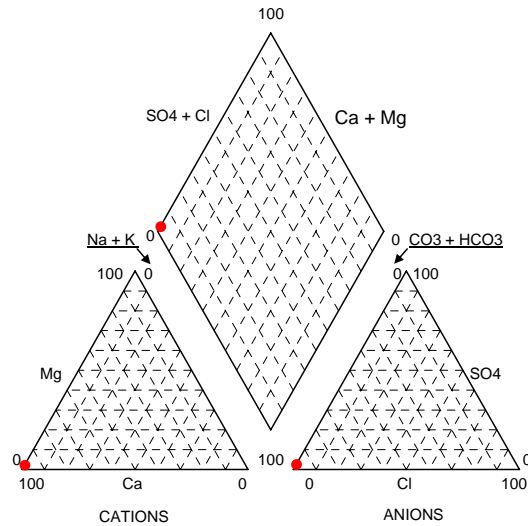


Figura 51. Diagrama de Piper (modificat)

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Font del Port de Cabús

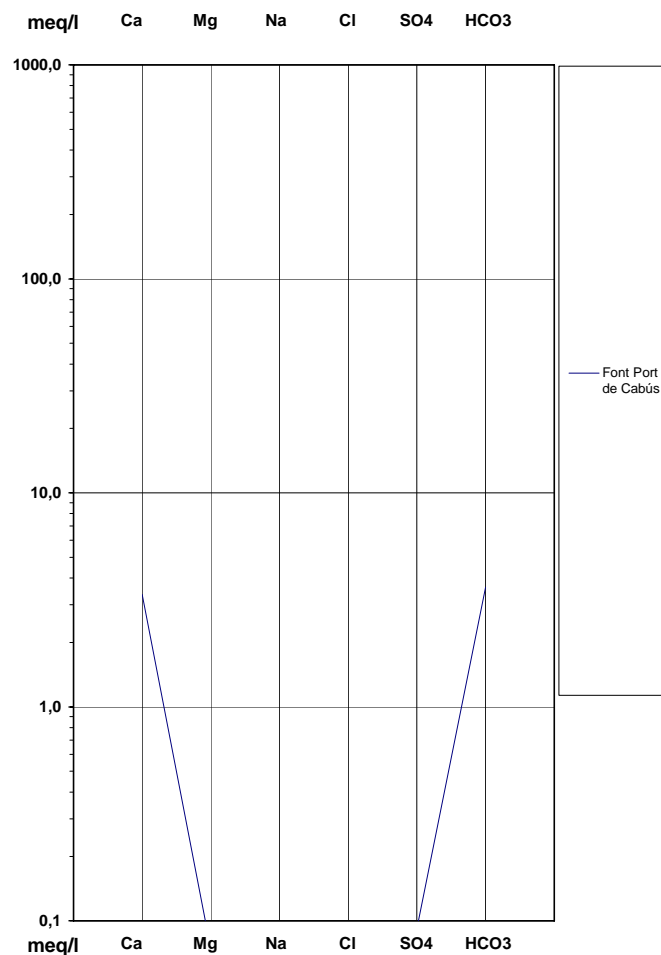


Figura 52. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)

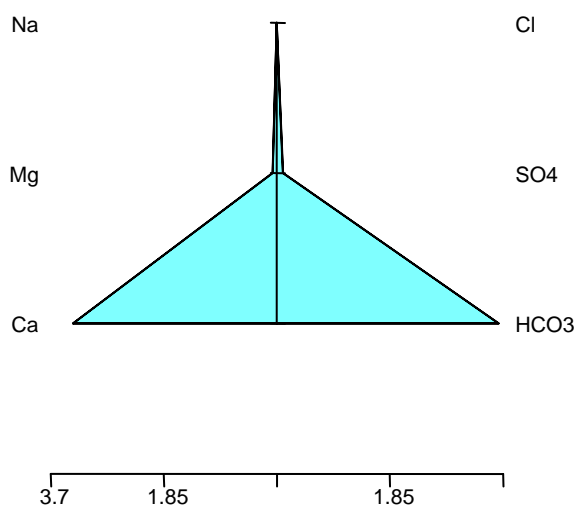


Figura 53. Diagrama de Stiff (modificat) característic (Font Port de Cabús)

9.7 Unitat hidrogeològica Sispony

Consta de 6 anàlisis químiques, 5 de les quals corresponen a mostres de fonts recollides en els dipòsits d'aigua, que s'emplacen entre les gresopelites del Cambroordovicià.

Es disposa de només una mostra completa (font del Bisbe) amb ions majoritaris i metalls pesants. Es tracta de mostra d'una font emplaçada en un substrat gresopelític del Cambroordovicià. El contingut en sodi i potassi és menor al límit de detecció, ajustant-se segons els criteris fixats en el **capítol 1**. Amb les dades recollides s'observa que presenten un pH alcalí, una conductivitat moderada (**taula 37**). Es tracta d'aigües dures, mineralitzades, bicarbonatades càlciques (**figures 54, 55 i 56**). En quan als elements traça i minoritaris, es troben traces d'estronci i zinc com a principals, seguit de bari, liti, bor, alumini i coure, sempre amb valors per sota els establerts en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999). Segons l'índex IR es tracta d'aigües mitjanament agressives.

En la resta de mostres les dades recollides, s'observa que totes presenten un pH neutre, una temperatura baixa que no és original o propi de les aigües freàtiques donat que el mostreig es féu en el dipòsit i no en les fonts directament. La conductivitat varia, entre valors per sota dels 50 μ S/cm i valors per sobre dels 100 μ S/cm. Les aigües amb major conductivitat (Pla de Borràs) presenten concentracions més altes en els ions mostrejats (clorurs, sulfats, nitrats i sodi). Les menys mineralitzades són les d'Escladella. En quan als elements traça, observem presència de ferro, manganès, coure i plom, en concentracions de ferro i manganès per sobre de les establertes en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Conductivitat (μ S/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	lò dominant	Elements traça (μ g/l)
20-112	6.7-7.2					Fe, Mn, Cu, Zn
200	8	258	152	7,8	Bicarbonat càlcic	Sr=127,6ppb Zn=32ppb

Taula 37. Caracterització de les aigües de la unitat de Sispony

DIAGRAMA DE PIPER

Sispony (font del Bisbe)

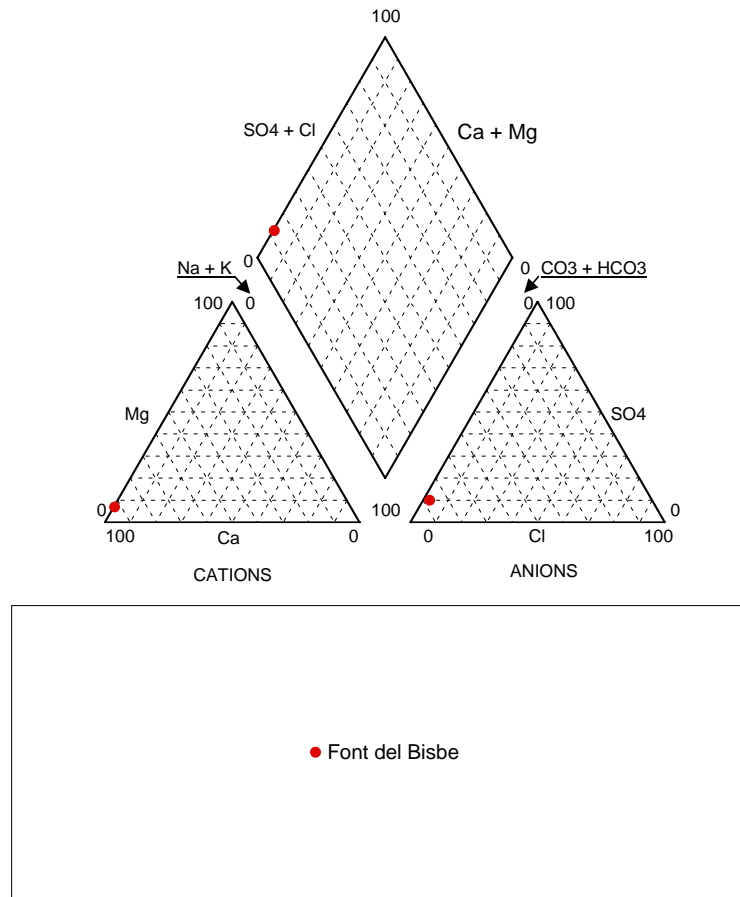


Figura 54. Diagrama de Piper (modificat), en la font del Bisbe

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Sispony (font del Bisbe)

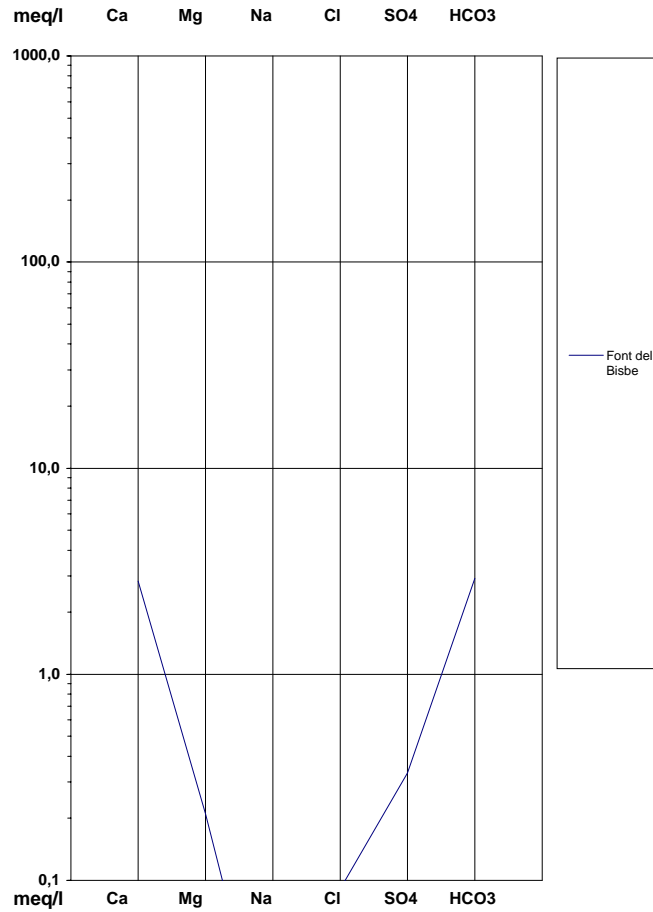


Figura 55. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) en la font del Bisbe

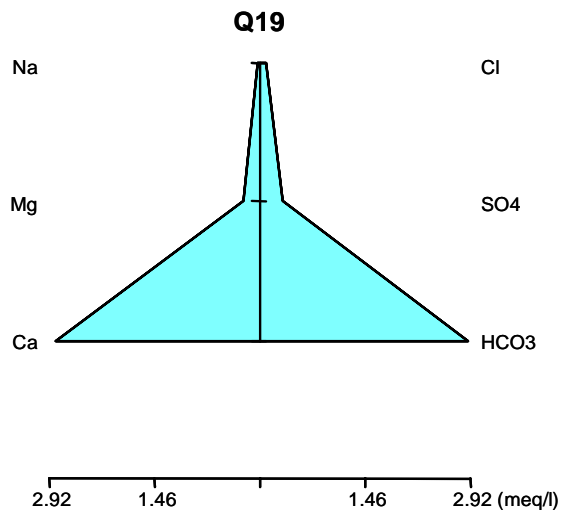


Figura 56. Diagrama de Stiff (modificat) de la mostra de la font del Bisbe

9.8 Unitat hidrogeològica El Forn

Es disposa de 9 mostres de 4 punts emplaçats entre la formació quaternària, dels quals només una l'anàlisi és completa en quan a ions majoritaris i metalls pesants. En la resta de mostres, manca l'anàlisi de bicarbonats, potassi, calci i magnesi, duresa i alcalinitat. En l'anàlisi completa el contingut en potassi és inferior al límit de detecció. S'ha donat un valor que s'ajusti amb els criteris exposats en el **capítol 1**. En aquesta mostra s'observa que la conductivitat és menor al que seria d'esperar segons el total de sòlids dissolts, TSD (**taula 38**).

Amb les dades recollides (fonts del Forn 2004, riu, font ponet i pou del Forn), s'observa que totes presenten un pH neutre, una conductivitat moderada, entre 240 i 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En base als ions analitzats, les aigües de les fonts del Forn són similars a les del pou (ambdós emplaçats en el mateix sector). El torrent, analitzat aigües avall, és el que presenta una mineralització més alta en sulfats i sodi. Pràcticament no presenten clorurs. La mostra amb anàlisi completa permet determinar que es tracta d'aigües dures, bicarbonatades càlciques (**figura 57, 58 i 59**).

Segons l'índex IR es tracta d'aigües mitjanament agressives.

En relació als elements traça, s'observen continguts en estronci, alumini, manganès, plom, bor, coure, fluor, níquel, però en quantitats mínimes, poc significatives, per sota de les establertes en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça ($\mu\text{g}/\text{l}$)
240-300	7.6-7.8	285	174	7,8	Bicarbonat càlcic	Sr=190ppb Al=70ppb

Taula 38. Caracterització de les aigües de la unitat del Forn

DIAGRAMA DE PIPER

El Forn. Font del Ponet (juliol 2006)

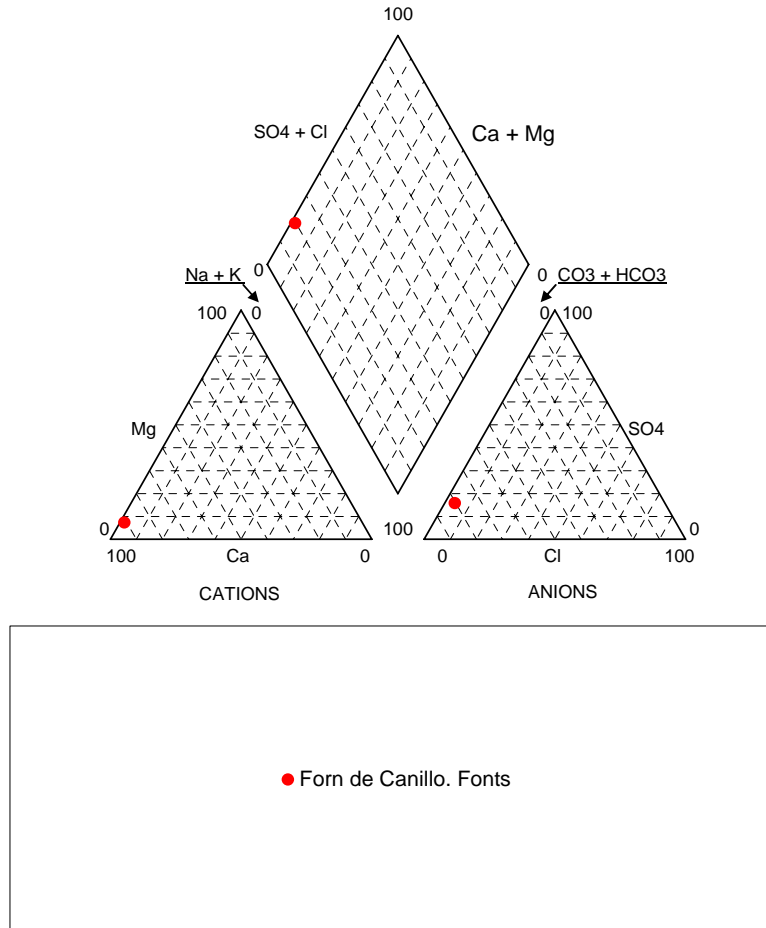


Figura 57 . Diagrama de Piper (modificat)

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF
 El Forn. Font del Ponet (juliol 2006)

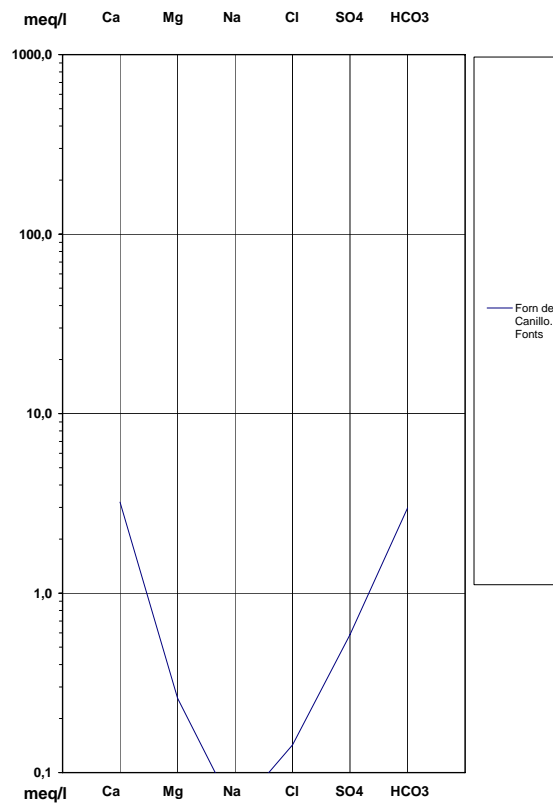


Figura 58. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)

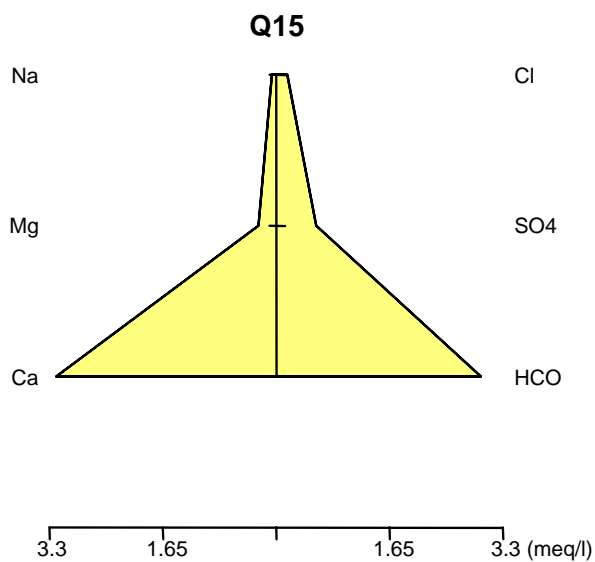


Figura 59. Diagrama de Stiff (modificat) característic de la mostra de la Font d'en Ponet

9.9 Unitat hidrogeològica Montaup

Es disposa de 3 mostres de fonts emplaçades entre les calcàries del Devonià i les pissarres del Silurià. De les tres anàlisis, en dues es tracta d'anàlisis completes en quan a ions majoritaris i metalls pesants. En l'altra mostra, manca l'anàlisi de bicarbonats, potassi, calci i magnesi, duresa i alcalinitat. En les anàlisis completes el contingut en potassi, sodi i clorurs és inferior al límit de detecció. S'ha donat un valor que s'ajusti amb els criteris exposats en el **capítol 1**. En tots dos casos la conductivitat és inferior a l'esperada segons el total de sòlids dissolts, TSD (**taula 39**).

Amb les dades recollides s'observa que presenten un pH neutre-alcalí, una conductivitat moderada, entre 66-320 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Es tracta d'aigües entre toves i poc dures, bicarbonatades càlciques (**figura 60, 61, 62 i 63**). Les aigües de la font de ferro-font blanca són les menys mineralitzades, malgrat que presenten uns continguts en clorurs i sulfats similars als de la font de la Cantina, amb valors superiors al de la font de Montaup. Segons l'índex IR es tracta d'aigües mitjanament agressives-agressives.

En quan als elements traça i minoritaris, s'observen continguts en alumini, bor, manganès, plom, coure, estronci, liti, zinc, bari, per sota dels establerts en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999). La mostra d'aigua procedent del substrat siliciclàstic presenta concentracions superiors de zinc, plom, alumini, bari, bor, liti i coure, i menors d'estronci.

Conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça ($\mu\text{g}/\text{l}$)
66-320	7.8-8.4	50-150	39-126	7,6-9,5	Bicarbonat càlcic	Al=36-8ppb Sr=136-22ppb Cu=15-1ppb

Taula 39. Caracterització de les aigües de la unitat de Montaup



DIAGRAMA DE PIPER

Montaup

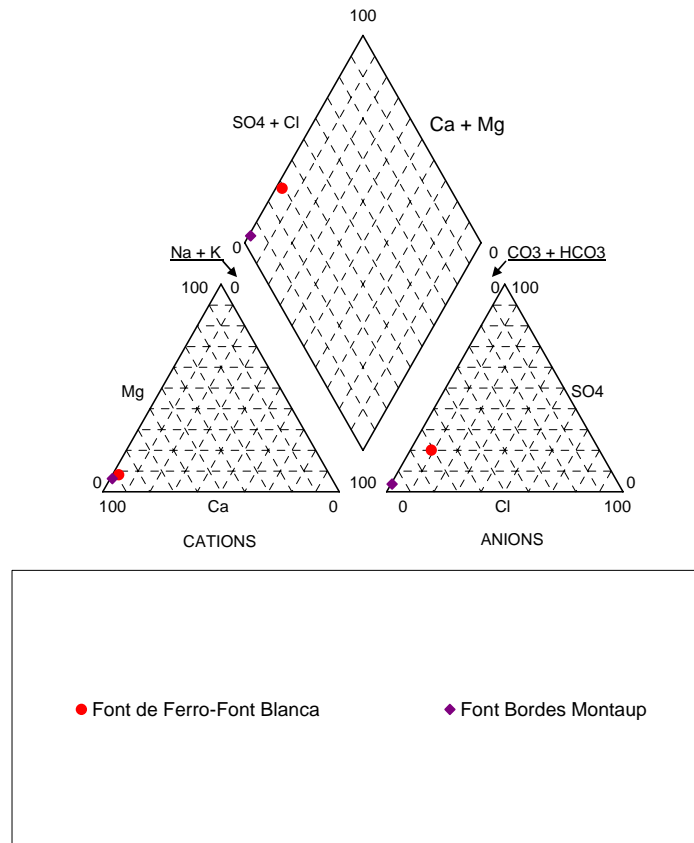


Figura 60. Diagrama de Piper (modificat)

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Montaup

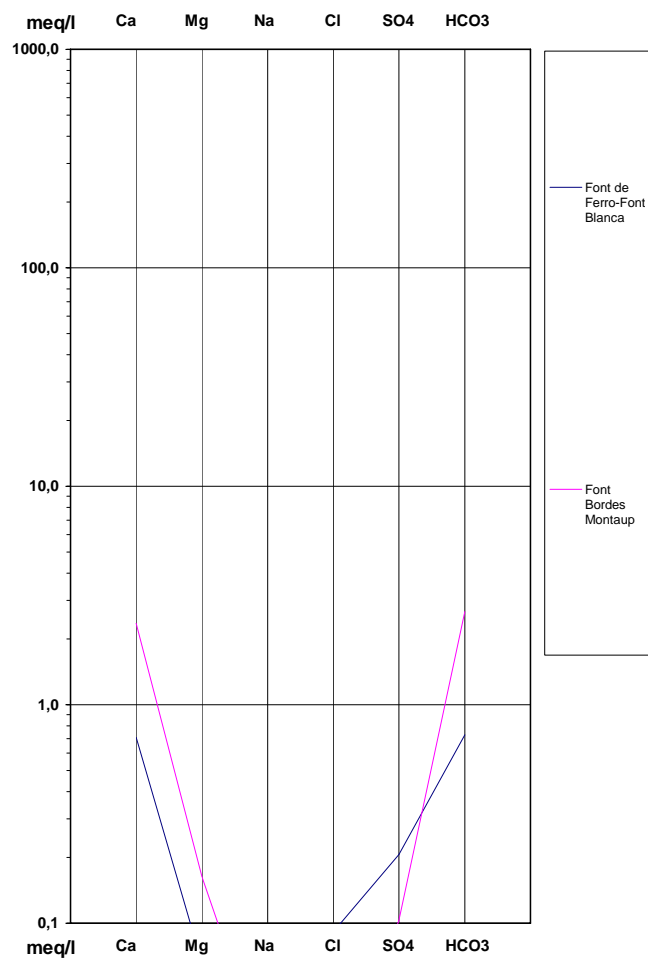


Figura 61. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)

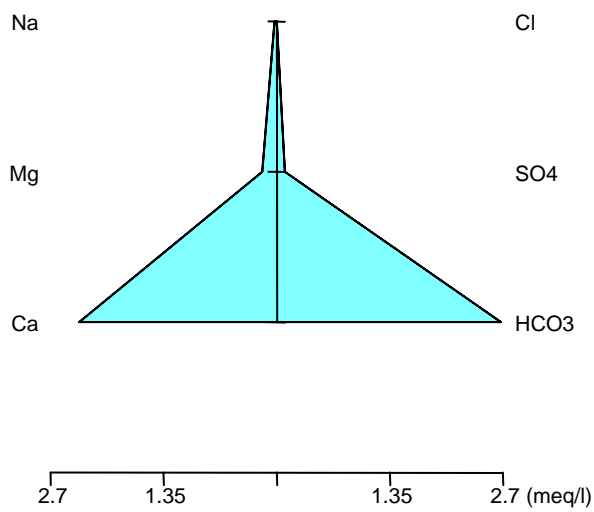


Figura 62. Diagrama de Stiff (modificat) de la font Blanca-font del Ferro

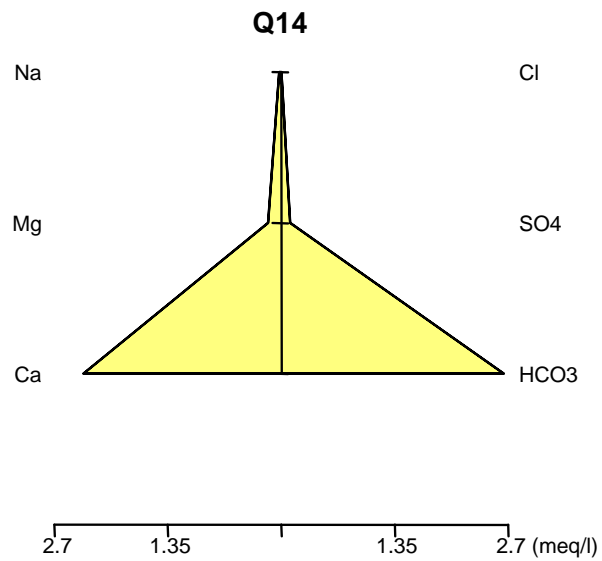


Figura 63. Diagrama de Stiff (modificat) de la font Bordes de Montaup

9.10 Unitat hidrogeològica Valira d'Orient

Es disposa de 19 punts mostrejats de fonts i torrents emplaçats en el substrat gresopelític del Cambroordovicà. La gran majoria de mostrejos recullen només el contingut en clorurs (seguiment 2003-2004). Només 3 mostres es tracta d'anàlisis completes en quan a ions majoritaris i metalls pesants. En la resta de mostres, manca l'anàlisi de bicarbonats, potassi, calci i magnesi, duresa i alcalinitat. En les anàlisis completes el contingut en potassi d'una de les mostres és inferior al límit de detecció. S'ha donat un valor que s'ajusti amb els criteris exposats en el **capítol 1**. En totes tres mostres el contingut en sulfats-bicarbonats és excessiu, sobretot si es té en compte la conductivitat, inferior a l'esperada.

Amb les dades recollides s'observa que presenten un pH neutre, una conductivitat baixa, de 64 $\mu\text{S/cm}$ de mitja. El contingut mig de clorurs (2003-2004) és de 0,66mg/l. Es tracta d'aigües toves, poc mineralitzades, bicarbonatades càlciques (**figura 64, 65, 66, 67 i 68**). En quan als elements traça i minoritaris, destaca la concentració del coure, estronci, alumini, ferro, amb valors de ferro i manganès per sobre de les establertes en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Segons l'índex IR es tracta d'aigües molt agressives.

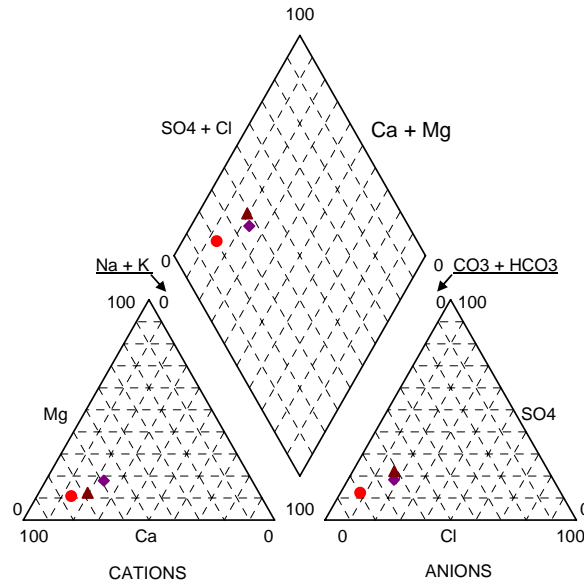
Conductivitat ($\mu\text{S/cm}$)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça ($\mu\text{g/l}$)
64	7.6	84-40	12-37	9,1-11,4	Bicarbonat càlcic	Cu=25ppb Al=9ppb Fe=46ppb Sr=36ppb (valors mitjos)

Taula 40. Caracterització de les aigües de la unitat del Valira d'Orient



DIAGRAMA DE PIPER

Valira Orient



● Torrent Bordes Envalira ◆ Font Incles ▲ Font dels Capellans

Figura 64. Diagrama de Piper (modificat)



DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Valira Orient

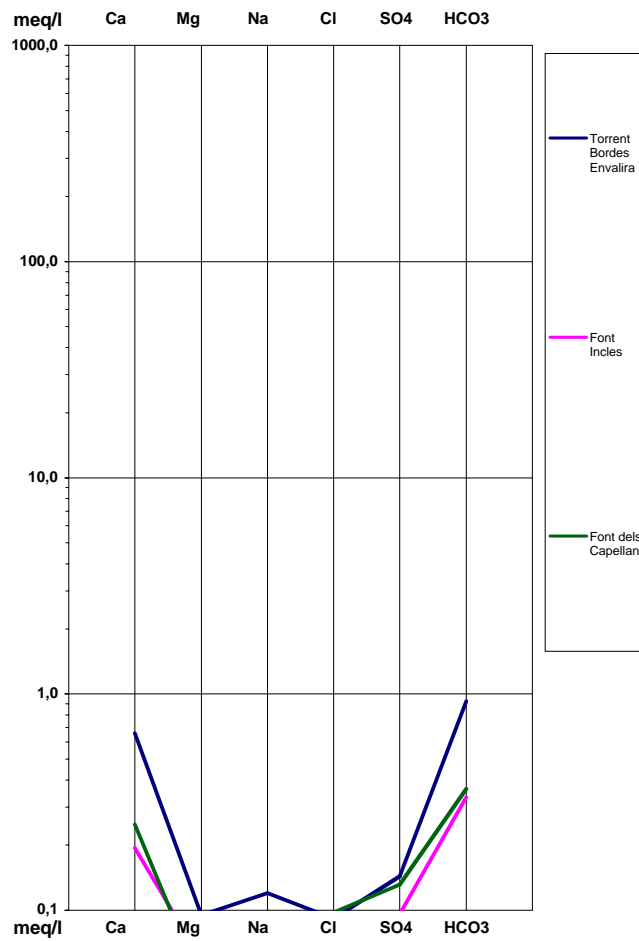


Figura 65. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat)

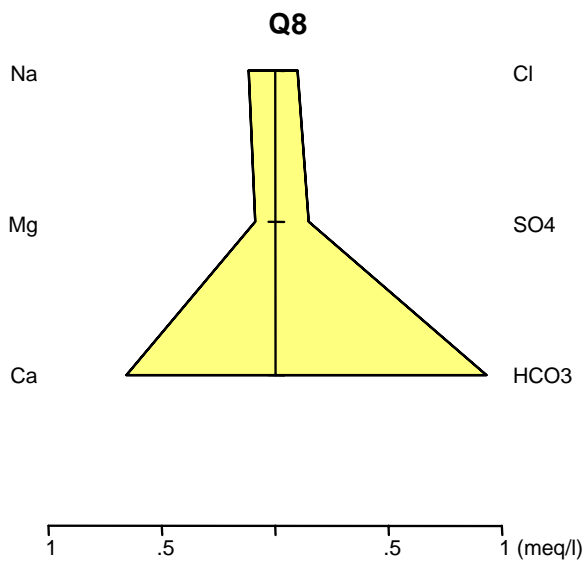


Figura 66. Diagrama de Stiff (modificat) del torrent de les Bordes d'Envalira

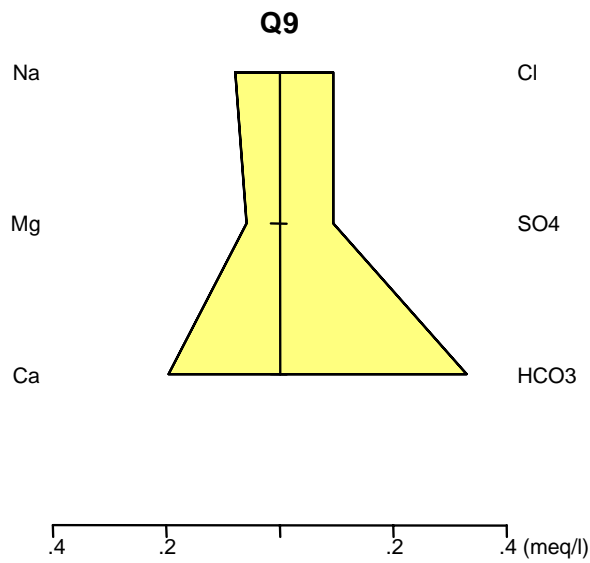


Figura 67. Diagrama de Stiff (modificat) de la font d'Incles

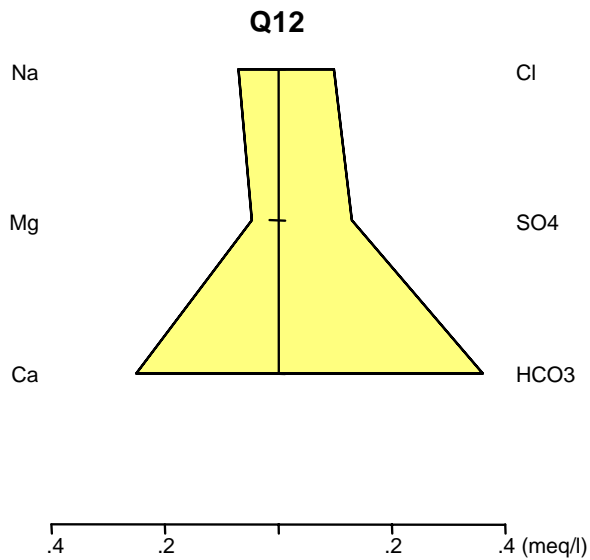


Figura 68. Diagrama de Stiff (modificat) de la font dels Capellans (vall Ransol)

9.11 Unitat hidrogeològica Coll de la Gallina

Es disposa de 13 mostres de fonts i torrents emplaçats en el substrat Devònic i Silúric. Només en dues mostres es disposa de l'anàlisi completa dels ions majoritaris i metalls pesants.

Amb les dades recollides s'observa que presenten un pH lleugerament alcalí, una conductivitat baixa, moderada. El contingut mig de clorurs (2004) és de 1,41mg/l. Es tracta d'aigües dures, mineralitzades, bicarbonatades càlciques (**figura 69, 70, 71 i 72**). En detall, comparant totes les mostres, s'observa que el contingut en clorurs és variable en iguals punts d'aigua (caldrà descartar l'error associat al laboratori). Les mostres d'aigües captades a Fontaneda i en la font del Pui presenten una mineralització superior en sulfats i clorurs. Les mostres del vessant d'Ós (torrent de Llimois, font Carrabiners, font Canòlich) presenten un baix contingut en sulfats i en clorurs. Així mateix s'observa que les aigües de la conca del riu de Fontaneda emplaçades a cota inferior està més mineralitzada. Segons l'índex IR es tracta d'aigües mitjanament agressives.

En quan als elements traça i minoritaris, destaca la concentració del coure, ferro, alumini i arsènic en les mostres de la font del Pui i la font dels Carrabiners, amb concentracions d'arsènic i ferro per sobre les establertes en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
150-370	7,8-8	266	160-170	7,3-7,4	Bicarbonat càlcic	Sr=139,6 Fe=87 Cu=73 As=19 Al=11 (valors mitjos)

Taula 41. Caracterització de les aigües de la unitat del Coll de la Gallina

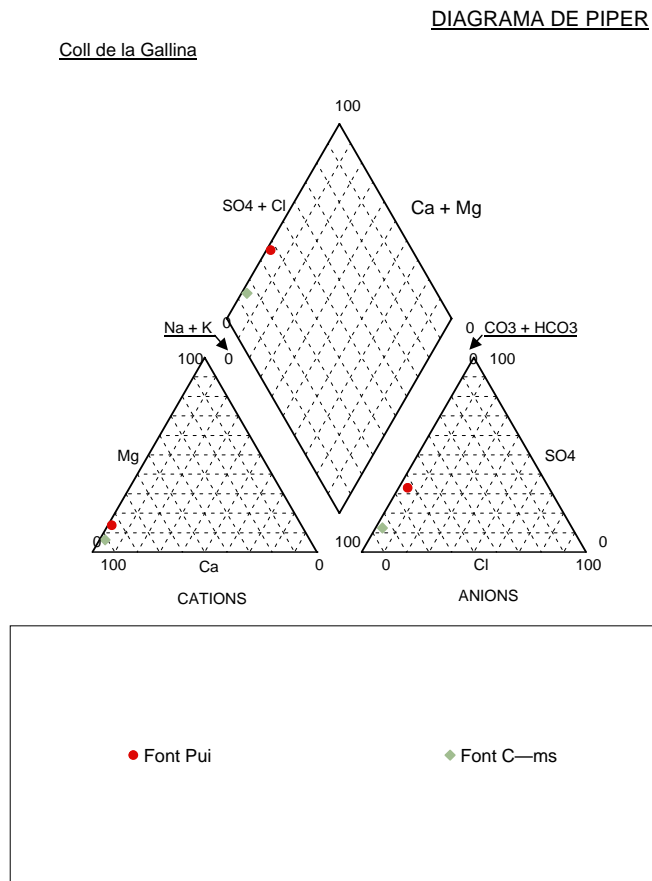


Figura 69. Diagrama de Piper (modificat) en les aigües de la conca de Fontaneda

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Coll de la Gallina

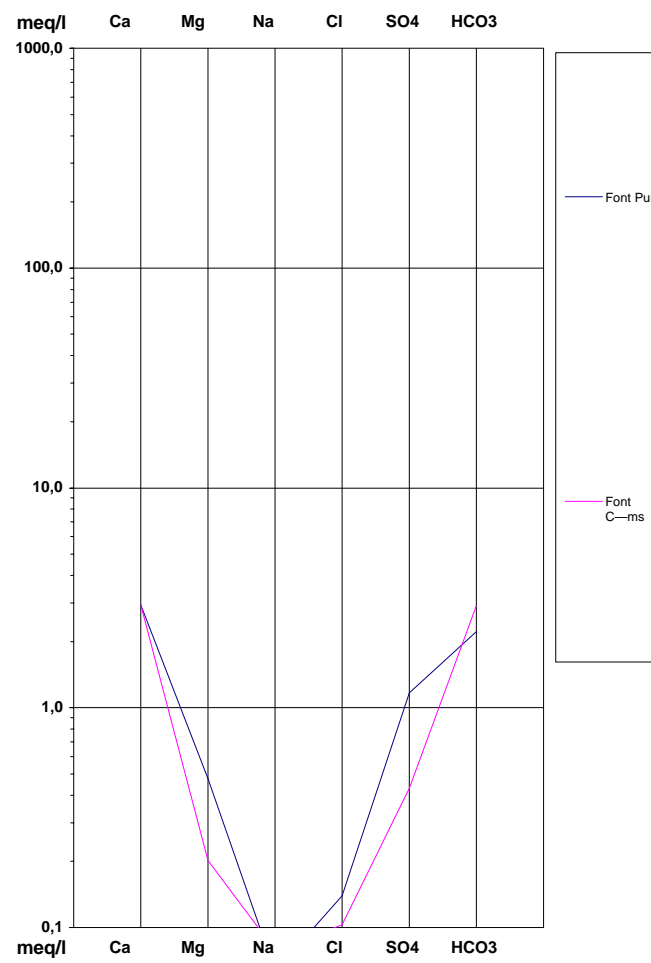


Figura 70. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) en les aigües de la conca de Fontaneda

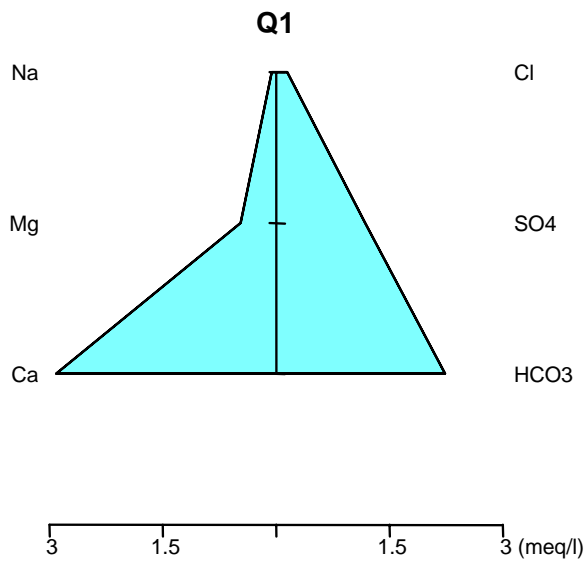


Figura 71. Diagrama de Stiff (modificat) en la font del Pui

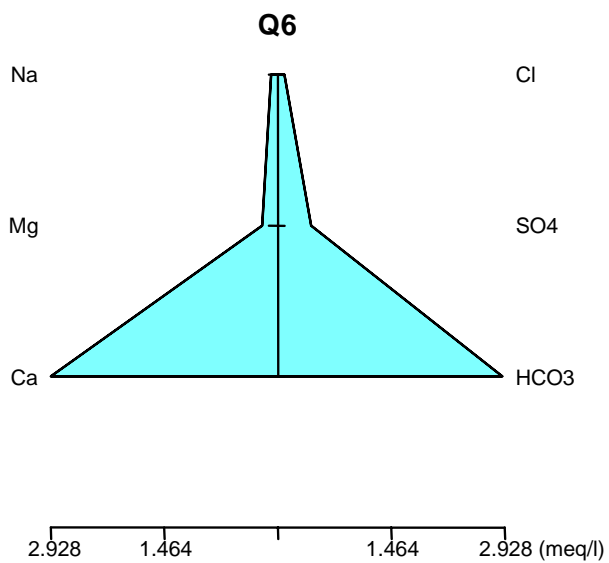


Figura 72. Diagrama de Stiff (modificat) de la font dels C6ms

9.12 Unitat hidrogeològica de Juclar

Es disposa d'una mostra completa, amb ions majoritaris i metalls pesants. Es tracta d'una mostra d'una font emplaçada en un substrat gneisític.

El contingut en potassi és menor al límit de detecció, fixant-se el valor segons criteris comentats en el **capítol 1**. S'observa un desajust entre el contingut d'anions i cations, suposadament per un excés de sulfats-bicarbonats. Es tracta d'una aigua tova, poc mineralitzada, de pH alcalí, i conductivitat baixa (**figures 73, 74 i 75**).

En quan als elements traça i minoritaris, es troben traces d'estronci i alumini com a principals, seguit de bor, liti i zinc, sempre amb valors per sota els establerts en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Segons l'índex IR es tracta d'aigües agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
57	8	68,6	30,8	10,2	Bicarbonat càlcic	Sr=18ppb Al=7,6ppb B=7,2

Taula 42. Caracterització de les aigües de la unitat de Juclar

DIAGRAMA DE PIPER

Juclar

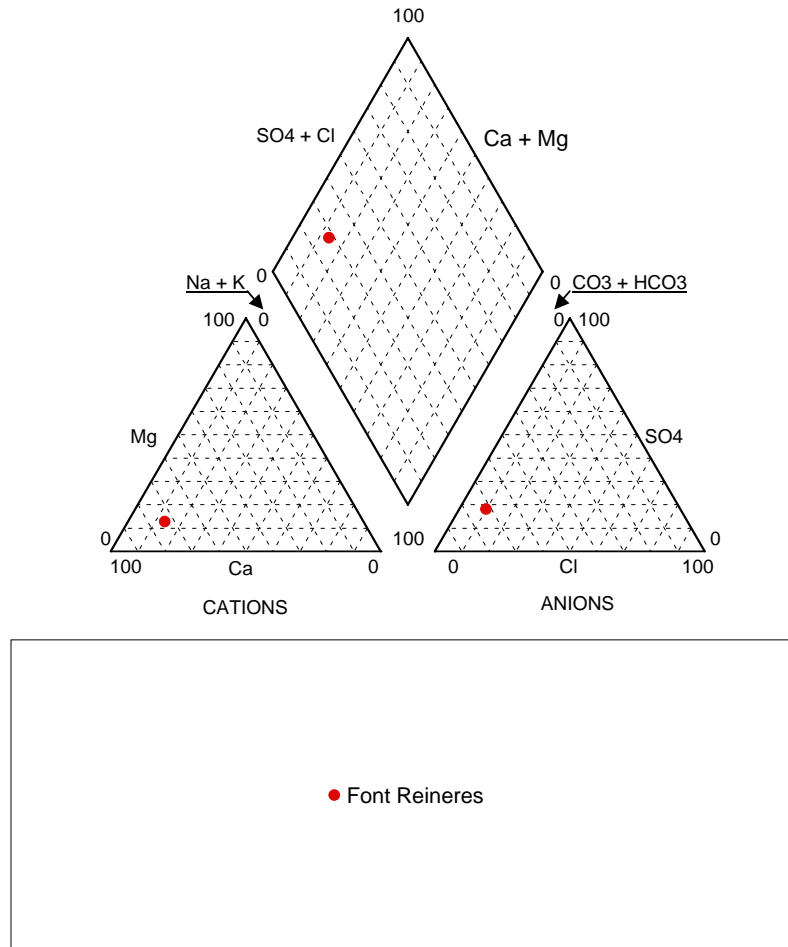


Figura 73. Diagrama de Piper (modificat), en la font de les Reineres

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Juclar

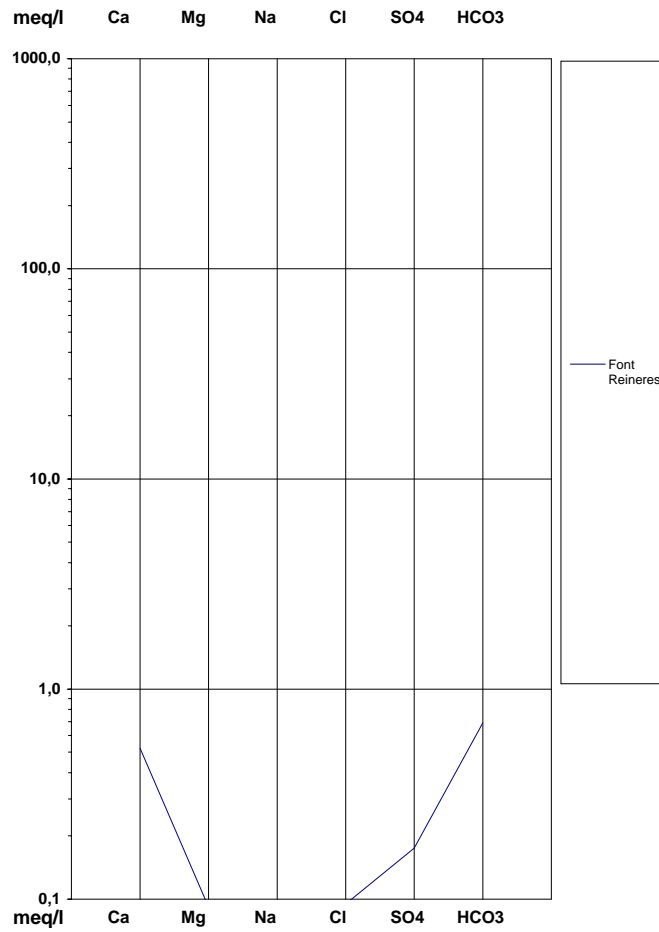


Figura 74. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) en la font de Reineres

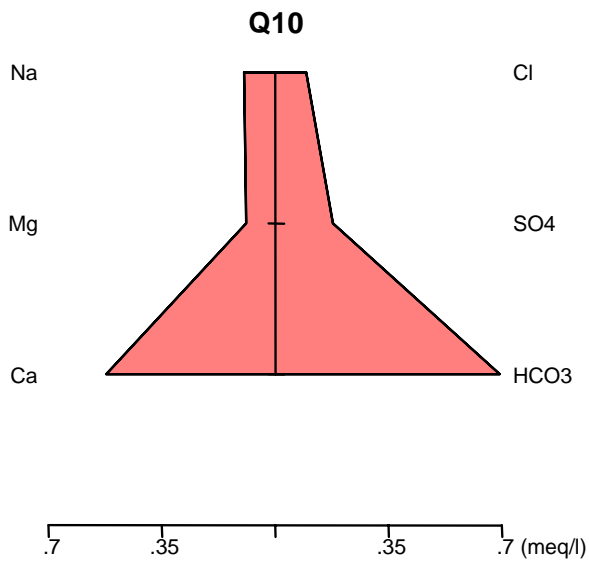


Figura 75. Diagrama de Stiff (modificat) en la font de les Reineres

9.13 Unitat hidrogeològica de l'Aldosa

De tres mostres, només es disposa d'una mostra completa, amb ions majoritaris i metalls pesants. Es tracta d'una mostra d'una font emplaçada en un substrat amb gresopelites del Cambroordovicià.

El contingut en potassi és menor al límit de detecció, fixant-se el valor segons criteris comentats en el **capítol 1**. S'observa un desajust entre el contingut d'anions i cations, suposadament per un excés de sulfats-bicarbonats. Es tracta d'una aigua tova, poc mineralitzada, de pH neutre, i conductivitat baixa (**figures 76, 77 i 78**).

En quan als elements traça i minoritaris, es troben traces d'estronci, alumini i bor com a principals, seguit de zinc, liti, sempre amb valors per sota els establerts en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Segons l'índex IR es tracta d'aigües molt agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
52	7,5	48	22	11,5	Bicarbonat càlcic	Sr=17ppb Al=9,2ppb B=9,8ppb

Taula 43. Caracterització de les aigües de la unitat de l'Aldosa

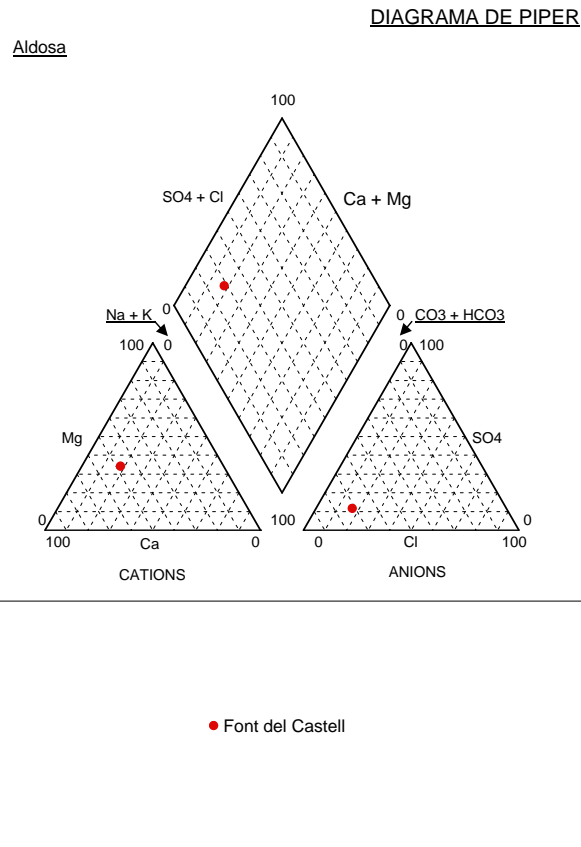


Figura 76. Diagrama de Piper (modificat), en la font del Castellà

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Aldosa

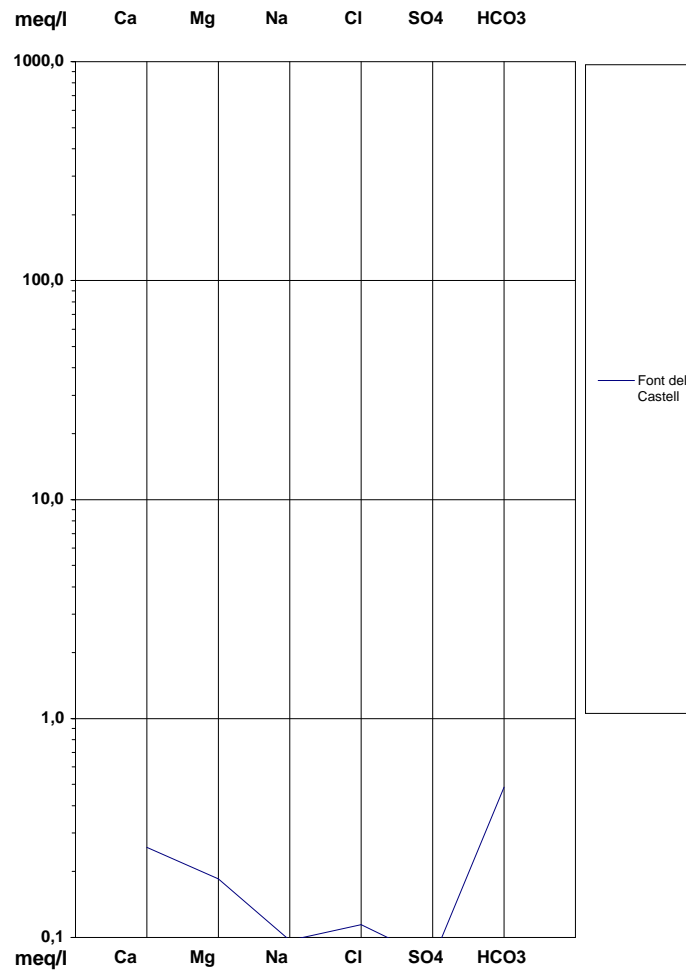


Figura 77. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) en la font del Castellà

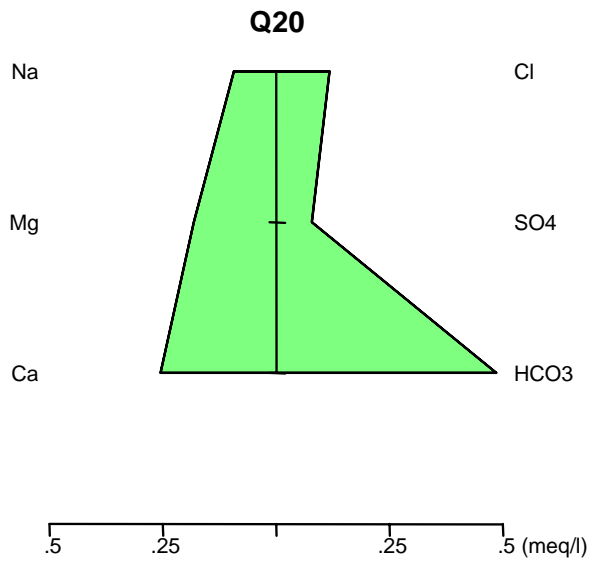


Figura 78. Diagrama de Stiff (modificat) en la font del Castellà

9.14 Unitat hidrogeològica dels Orris

Es disposa de 9 anàlisis de 6 punts d'aigua tant superficial com freàtica que circulen entre materials granodiorítics i calcaris i pissarrosos. Només en 2 de les 9 anàlisis es té components majoritaris i metalls pesants.

El contingut en potassi, sodi, nitrats, sulfats i bicarbonats és menor al límit de detecció, segons la mostra, fixant-se els valors segons criteris comentats en el **capítol 1**. S'observa un desajust entre el contingut d'anions i cations en les dues mostres. El total de sòlids dissolt (TSD) és inferior o superior, segons la mostra, al que seria d'esperar en base a la conductivitat.

En base al conjunt d'anàlisis es distingeixen dos grups d'aigües (**taula 44, figures 79, 80, 81 i 82**): un grup d'aigües associades a un substrat granodiorític i calcari (aigües de Feritxet i dels Orris i Griu), bicarbonatades càlciques, poc mineralitzades, molt toves, amb pH neutre, amb traces de bor, alumini, ferro principalment, i un segon grup d'aigües associades a un substrat del Silurià (aigües de la font del Ferro), sulfatades càlciques, moderament conductores, toves i de pH àcid, amb ferro (amb concentracions superiors al valor màxim establert en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999), i traces d'alumini, manganès, níquel, zinc, liti, estronci, com a principals components traça.

Segons l'índex IR es tracta d'aigües molt agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
43	7,4	24	10	12,2	Bicarbonat càlcic	B=69-6 0,01<Al<24 0,01<Fe<11 Sr=9 As=5
69	6,2	46	28	13,7	Sulfatades càlciques	Fe=3270 Ni=14 Mn=19,5 Zn=13,5 Li=13 Sr=12

Taula 44. Caracterització de les aigües de la unitat dels Orris

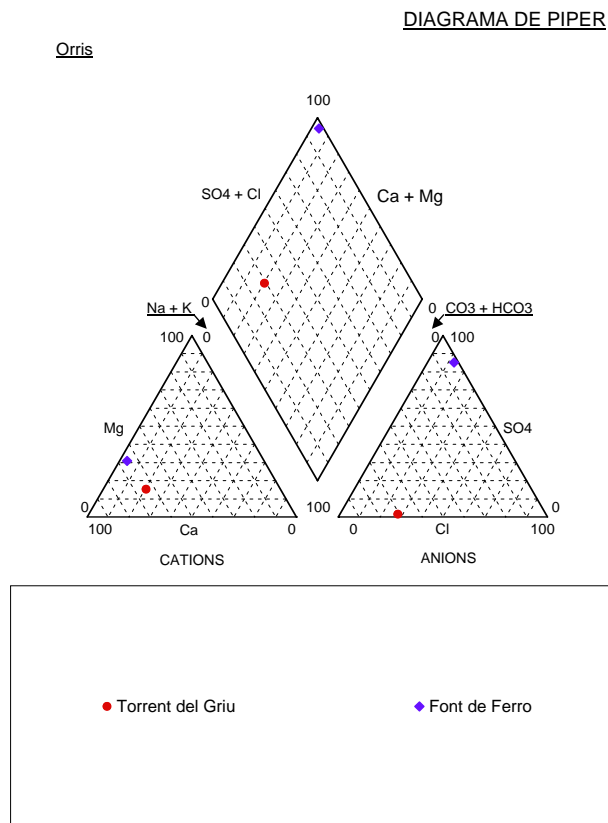


Figura 79. Diagrama de Piper (modificat), de les aigües de la font de Ferro i del riu del Griu

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Orris

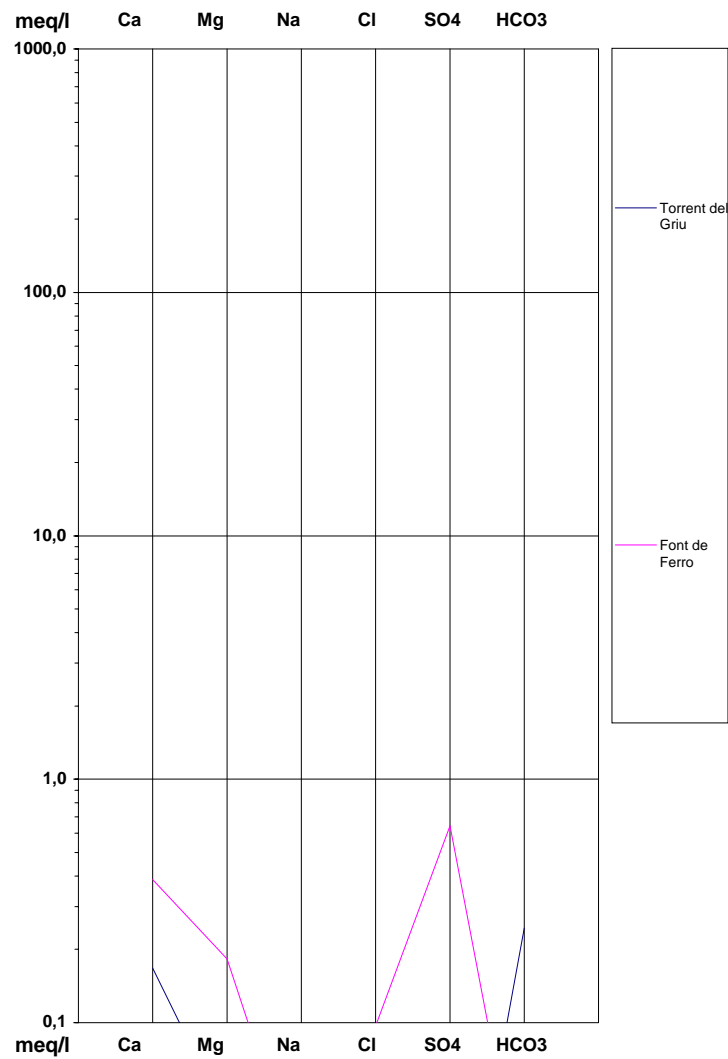


Figura 80. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de la font de Ferro i torrent del Griu

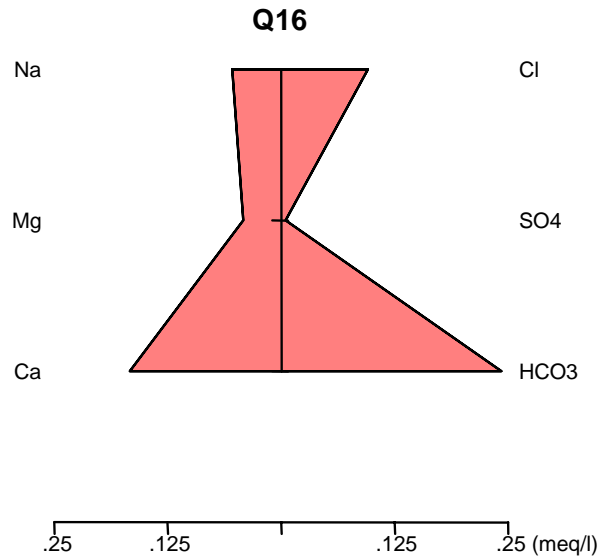


Figura 81. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües del torrent del Griu

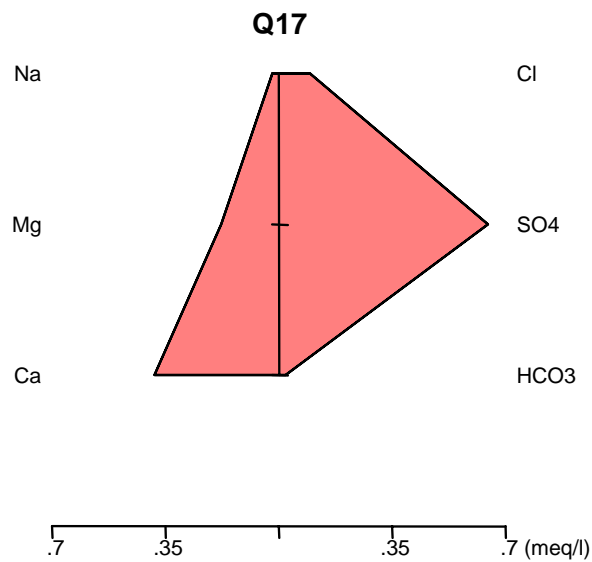


Figura 82. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de la font de Ferro

9.15 Unitat hidrogeològica de l'Ariege

Es disposa de 5 anàlisis de 3 punts d'aigua tant superficial com freàtica que circulen entre materials pissarrosos, calcaris, granodioritics i formació superficial. Només en 1 de les 5 anàlisis es té components majoritaris i metalls pesants.

La mostra amb anàlisi completa presenta un error analític lleugerament superior a l'admissible ($\pm 10\%$ segons conductivitat), amb un desajust iònic possiblement associat a un excés d'anions bicarbonats-sulfats. El total de sòlids dissolts (TSD) és inferior al que seria d'esperar en base a la conductivitat. Es tracta d'una aigua tova, de pH alcalí, moderadament conductora (**taula 45, figures 83, 84 i 85**).

En base al conjunt d'anàlisis es distingeixen dos grups d'aigües: un grup d'aigües associades a un substrat granodiorític (aigües de l'estany Abelletes i font Isards), poc mineralitzades, amb pH neutre-àcid, amb traces d'arsènic, i un segon grup d'aigües associades a substrat paleozoic (aigües Gasopàs, entre les quals es troba l'anàlisi completa), moderament conductores i de pH bàsic, amb traces d'estrónci, arsènic (amb concentracions superiors al valor màxim establert en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999)), alumini i zinc com a principals components traça.

Segons l'índex IR es tracta d'aigües agressives.

Conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça ($\mu\text{g}/\text{l}$)
32	7,1					As=3ppb
80	7,9	95	46,6	8,9	Bicarbonat càlcic	Sr=70ppb As=12-3ppb Al=12ppb Zn=4ppb

Taula 45. Caracterització de les aigües de la unitat de l'Ariege

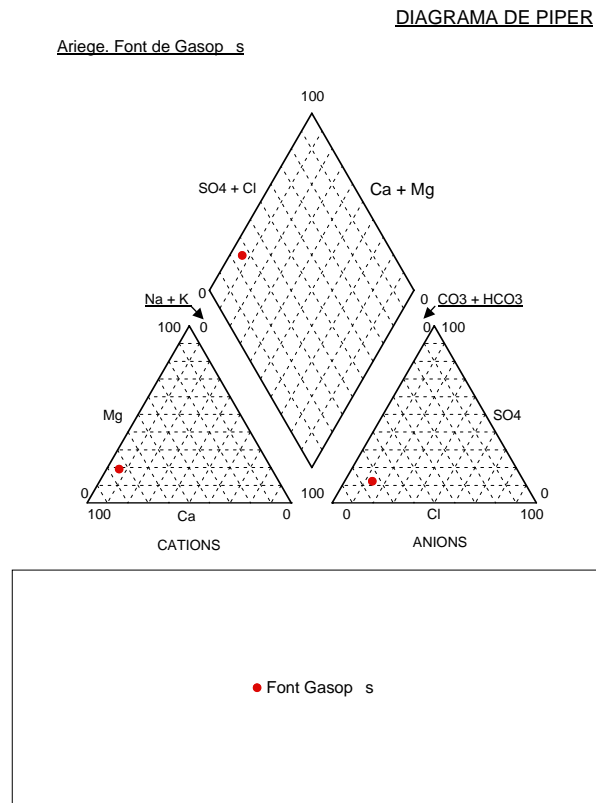


Figura 83. Diagrama de Piper (modificat), de les aigües de Gasopàs



DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Ariege. Font de Gasop s

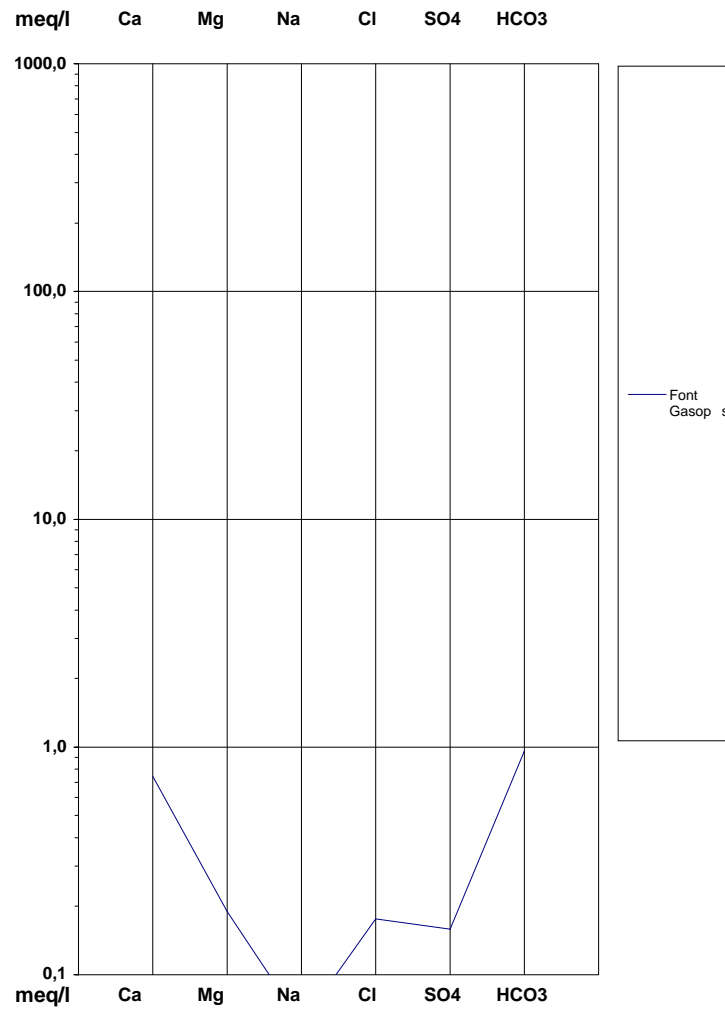


Figura 84. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de Gasopàs

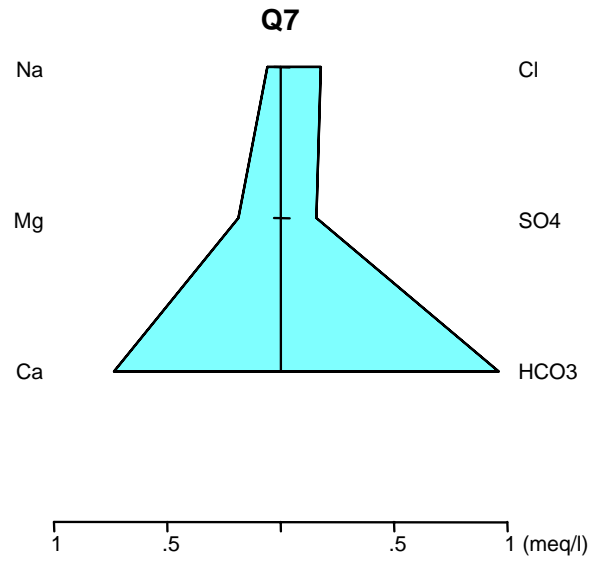


Figura 85. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de Gasopàs

9.16 Unitat hidrogeològica de la Massana

Es disposa de 4 anàlisis de punts d'aigua freàtica que circulen entre materials gresopelítics del Cambroordovicià. De quatre anàlisis es té components majoritaris i metalls pesants.

En base al conjunt d'anàlisis (**taula 46**) es tracta d'aigües bicarbonatades càlciques, de pH neutre, conductores, moderadament dures amb presència de ferro en algunes mostres (valors superiors al valor màxim establert en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999)), i manganès.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
282	7,2	226	138,8	bicarbonat càlcic	Fe=1012-<20 Mn=31-<20

Taula 46. Caracterització de les aigües de la unitat de la Massana

9.16.1 Observacions

La font de Canadilles presenta contaminació bacteriològica possiblement associada a fugues de la xarxa d'aigües residuals i abocaments.

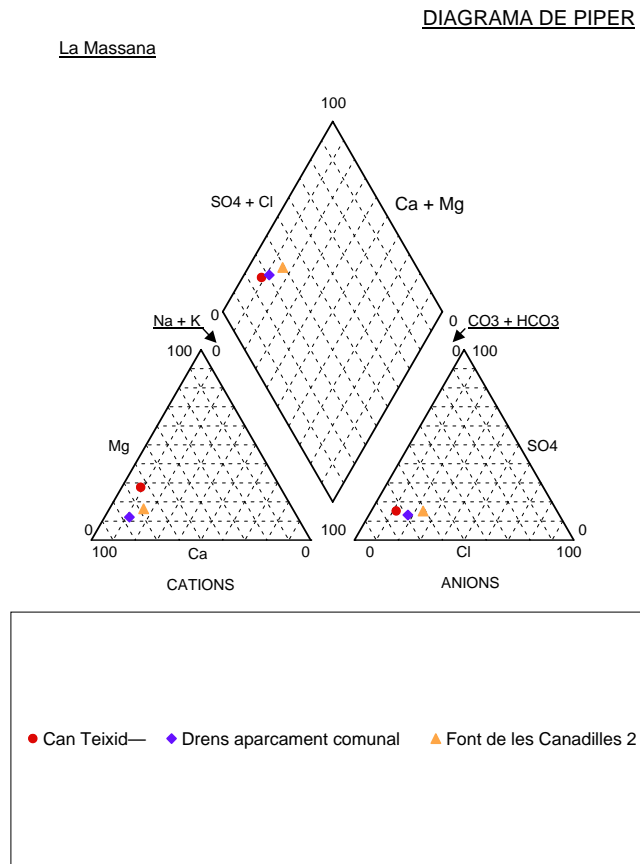


Figura 86. Diagrama de Piper (modificat), aigües de la zona



DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

La Massana

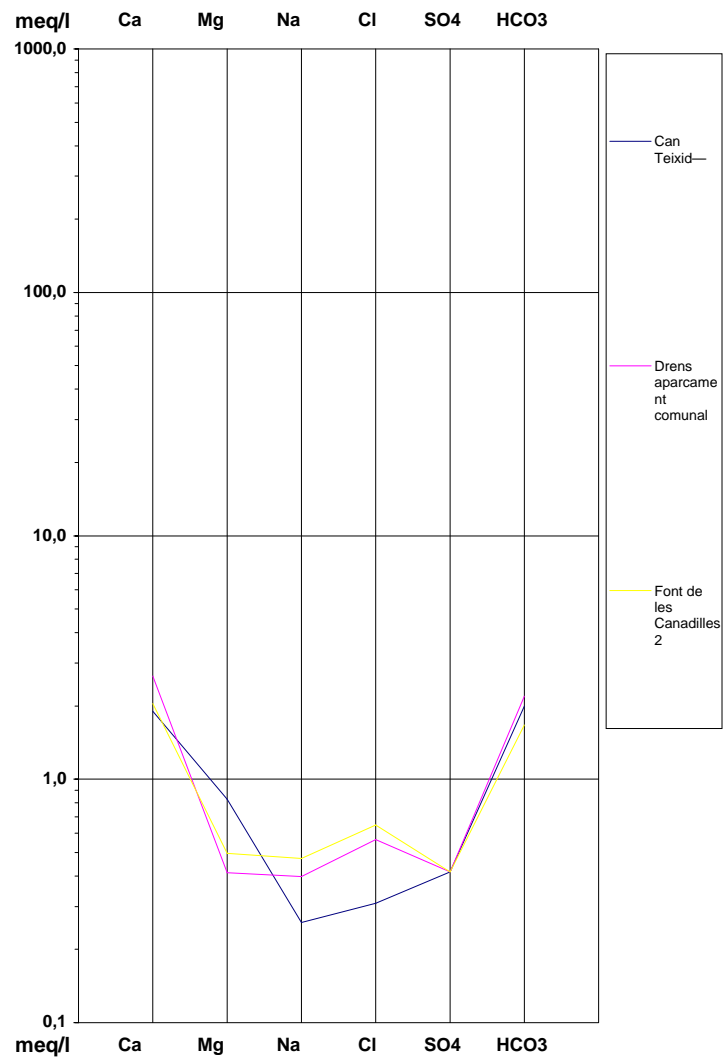


Figura 87. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de la zona

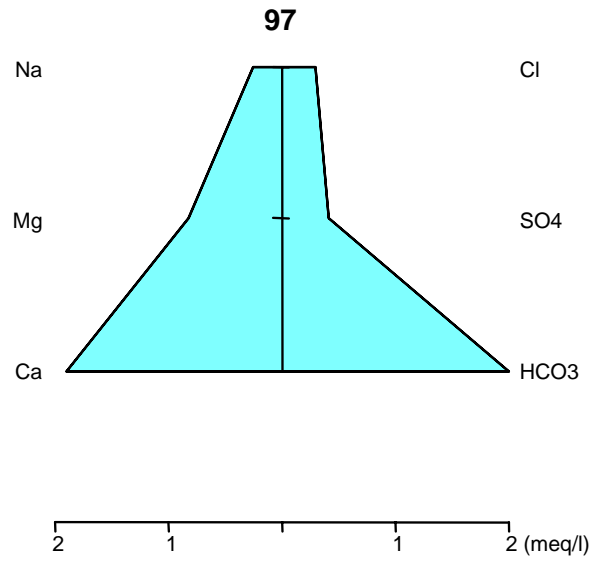


Figura 88. Diagrama de Stiff (modificat) característic de les aigües de la zona (Can Teixidó)

9.17 Unitat hidrogeològica del Valira del Nord

Es disposa de 109 anàlisis de punts d'aigua freàtica i superficial, que circulen entre materials gresopelítics del Cambroordovicià, dels quals només 10 són anàlisis completes. Algunes de les mostres presenten continguts en clorurs i nitrats inferiors al límit de detecció (cas de les aigües del sector d'Encodina). S'ha fixat un valor segons els criteris exposats en el **capítol 1**, sense obtenir un bon ajust iònic.

En base al conjunt d'anàlisis es distingeixen diferents grups (**taula 47, figures 89, 90 i 91**): un primer grup d'aigües amb una conductivitat alta i pH neutre amb arsènic (valors superiors al valor màxim establert en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999)), i core, representada per la font del Canyar.

Un segon grup format per aigües bicarbonatades -clorurades càlciques (aigües del Puntal) i bicarbonatades càlciques (aigües vessant Encodina, i sondejos S0b i S1 i font de la Pleta), i aigües de la Coma i Rialb, de pH neutre, conductivitat baixa, molt toves, amb estronci, alumini, ferro, alumni, bor i zinc com a traces principals; s'interpreta que el contingut en alumini de la font d'Encodina i de forro de la font de la Coma són anòmals fruit d'un error de transcripció.

Un tercer grup està format per les aigües contaminades del sector d'Encodina (sondejos, lixiviats, torrent), de tipus bicarbonatades sòdiques, clorurades sòdiques, bicarbonatades sòdiques, clorurades sòdiques, de conductivitat molt variable. S'interpreta que la contaminació es deu als lixiviats de l'abocador de cendres i residus urbans, així com dels lixiviats procedents de la carretera.

Segons l'índex IR es tracta d'aigües molt agressives, inclús les afectades.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
143	7,5					As=11-7 Cu=10-4
44-57	7,6-6,8	18-38	8,6-27	11-13,4	Bicarbonatada-clorurada- càlcica Bicarbonatada càlcica	Al=4-25 Sr=26 B=10-66 Zn=10 Fe=42
45-1056	7,1-7,7	37-594	17-202	12,5	Variable	variable

Taula 47. Caracterització de les aigües de la unitat del Valira del Nord



9.17.1 Observacions

Els sondejos S0c, aigües del torrent i lixiviats presenten evidències de contaminació (contingut en ions majoritaris, conductivitat) que es relaciona amb la presència de l'abocador de residus urbans i cendres del centre de tractament de residus, així com del rentat de la carretera.

DIAGRAMA DE PIPER

Valira del Nord

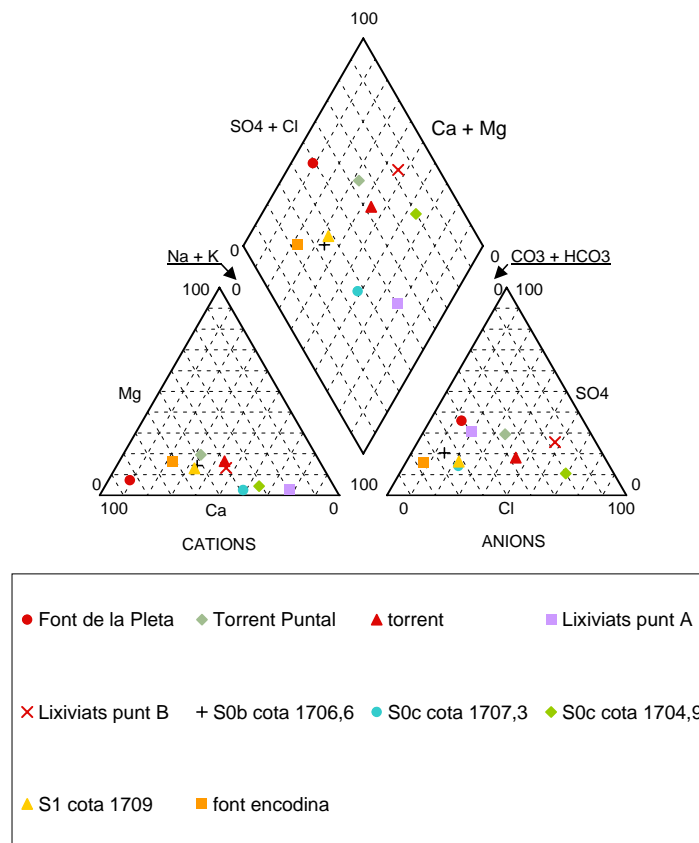


Figura 89. Diagrama de Piper (modificat), aigües de la zona

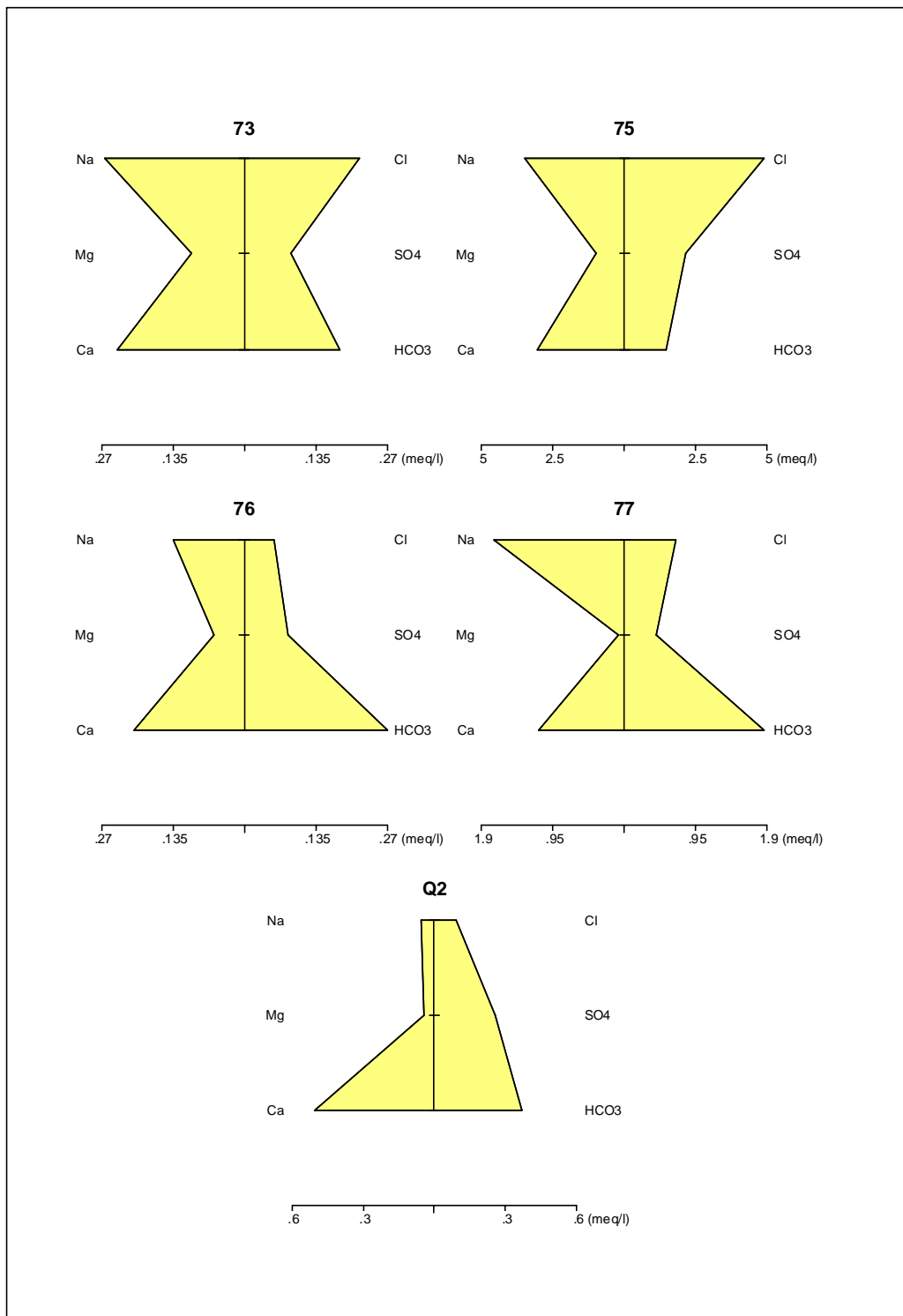


Figura 91. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de la zona: 73 (Torrent Puntal), 75 (Lixiviats punt B), 76 (SOB cota 1706), 77 (SOC cota 1707) i Q2 (Font de la Pleta).

9.18 Unitat hidrogeològica de les Salines

Es disposa de 4 anàlisis de 2 punts d'aigua freàtica i superficial, que circulen entre materials pissarrencs del Silurià i gresopelites del Cambroordovicià. Només en una mostra s'han analitzat els ions majoritaris i metalls pesants, amb continguts en potassi, bicarbonats i nitrts per sota dels límits de detecció. S'ha fixat un valor, en base als criteris exposats en el **capítol 1**, sense obtenir un bon ajust iònic, associat a una manca en cations.

Les aigües freàtiques, presenten un pH àcid, i una conductivitat baixa. Es tracta d'aigües poc mineralitzades en conjunt, toves, sulfatades magnèsico-sòdiques, de quimisme molt particular associat a les pissarres carbonoses del Silurià (**taula 47, figures 92, 93 i 94**). Les aigües superficials presenten un pH neutre i una conductivitat baixa. Segons l'índex IR es tracta d'aigües molt agressives.

En quan als metalls pesants, destaca l'alt contingut natural en ferro, níquel i alumini de les aigües freàtiques, amb valors superiors al valor màxim establert en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999), i zinc, manganès. Les aigües superficials estan més diluïdes, malgrat el superior contingut en bor.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
40	7,6					B=100
76	4,6	43	18	16,8	Sulfatada magnèsico-càlcica	Fe=1930 Al=1176 Zn=72 Mn=45 Ni=31

Taula 48. Caracterització de les aigües de la unitat del Valira de les Salines

DIAGRAMA DE PIPER

Salines (aigües mina Llorçs)

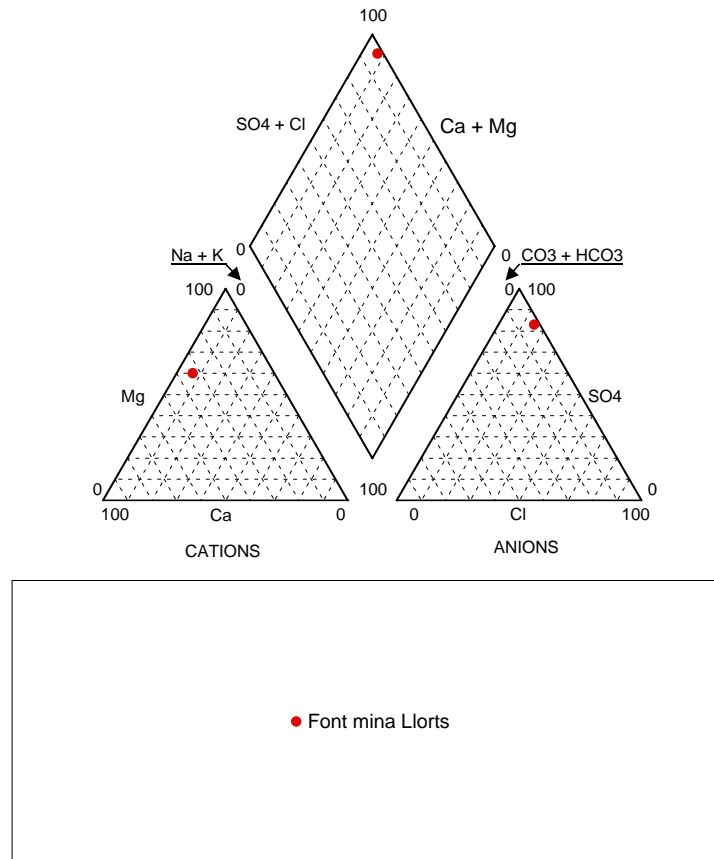


Figura 92. Diagrama de Piper (modificat), aigües de la mina de Llorçs

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Les Salines (aigües de la mina de Llorts)

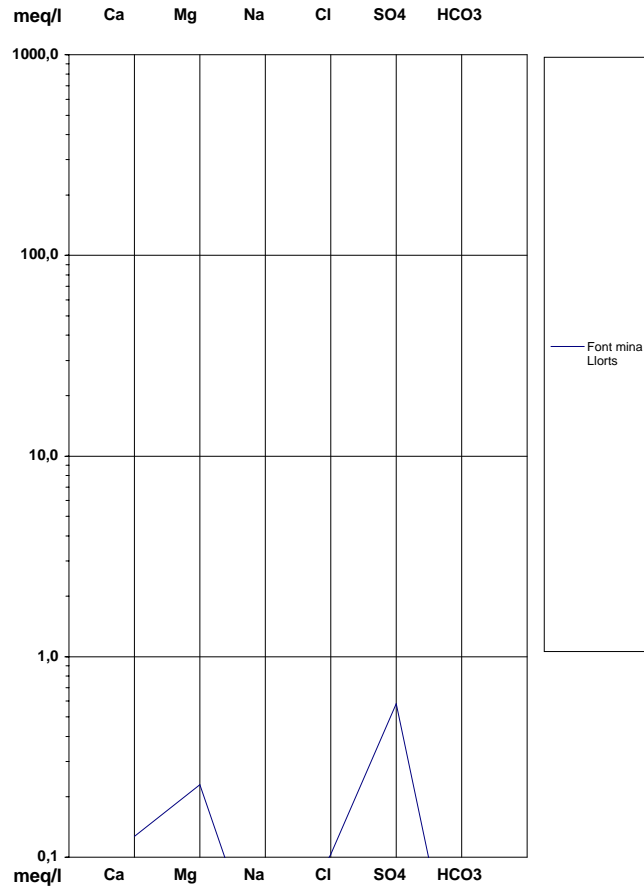


Figura 93. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de la mina de Llorts

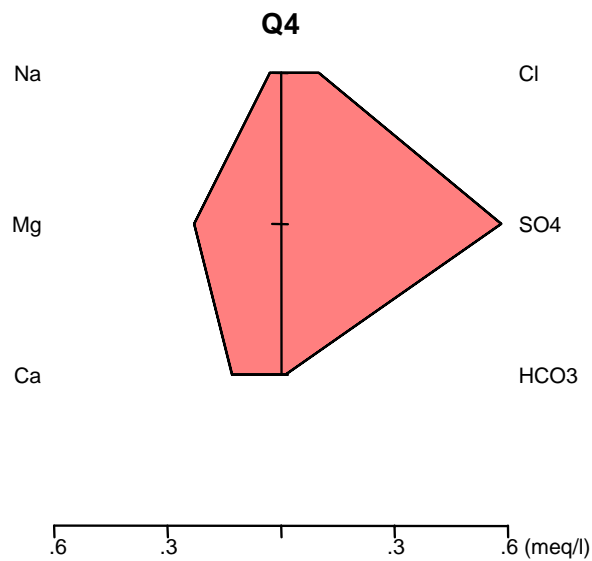


Figura 94. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de la mina de Llorts

9.19 Unitat hidrogeològica d'Ordino

Es disposa de 27 anàlisis de 9 punts d'aigua freàtica que circulen entre materials calcaris i calcoesquistis. Només en una mostra s'han analitzat els ions majoritaris i metalls pesants, amb continguts en potassi per sota dels límits de detecció. S'ha fixat un valor malgrat que s'observa que el total de sòlids dissolts (TSD) és superior al que seria d'esperar segons la conductivitat.

El conjunt de les aigües freàtiques presenten un pH neutre i una conductivitat moderada. Es tracta d'aigües mineralitzades en conjunt, dures, carbonatades càlciques (**taula 49, figures 95, 96 i 97**)

En quan als metalls pesants, destaca el contingut natural en estronci com a més destacable, seguit de traces d'alumini, i zinc, sempre amb continguts per sota els valors màxims establerts en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999).

Segons l'índex IR es tracta d'aigües mitjanament agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
252	7,6	275	163	7,8	bicarbonat càlcic	Sr=333ppb

Taula 49. Caracterització de les aigües de la unitat d'Ordino

9.19.1 Observacions

S'observa un contingut en clorurs en les aigües de la font Verda i font de la Navina amb valors per sobre de 5mg/l, superior a la resta d'aigües (valors per sota d'1mg/l), possiblement associat a l'ús de sals com a antigelants de la carretera.

DIAGRAMA DE PIPER

Ordino (font de Sornàs)

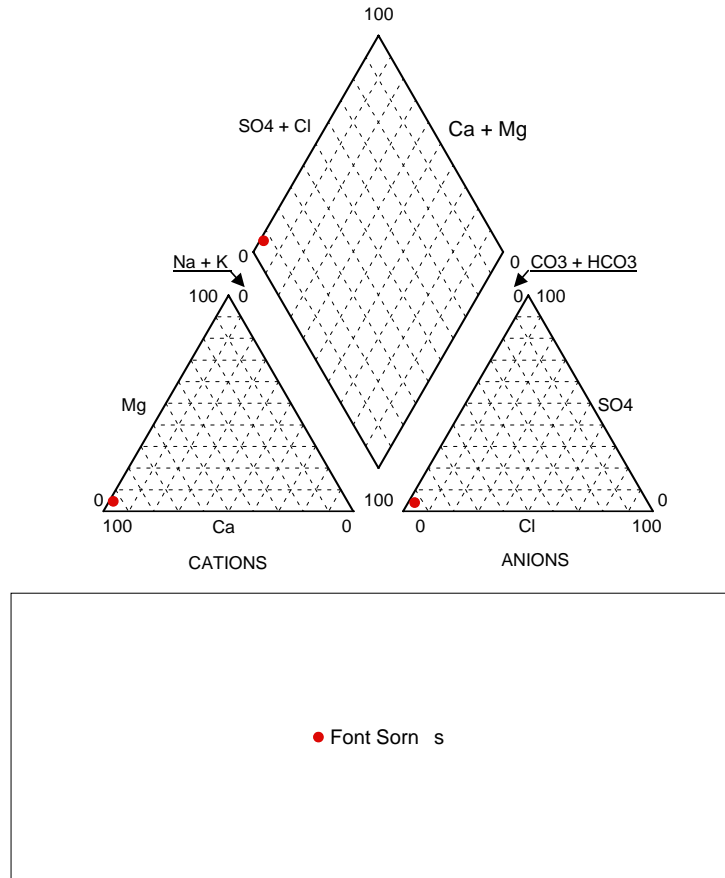


Figura 95. Diagrama de Piper (modificat), aigües de la font de Sornàs

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Ordino (font de Sorn s)

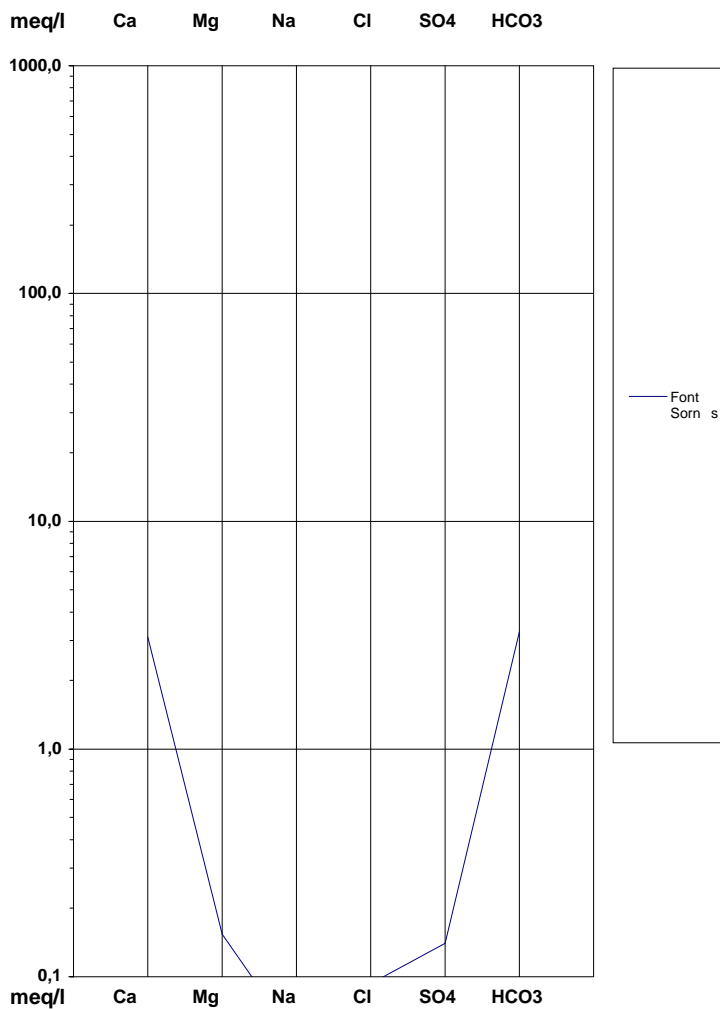


Figura 96. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de la font de Sornàs

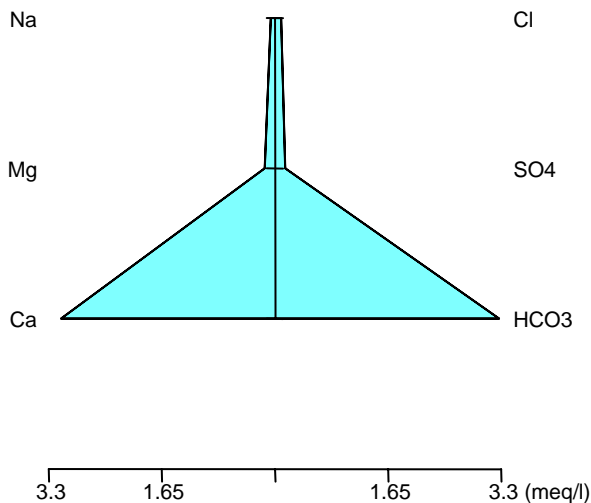




Figura 97. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de Sornàs

9.20 Unitat hidrogeològica de Sant Julià

Es disposa de 12 anàlisis de 8 punts d'aigua freàtica i superficial que circulen entre materials siliciclàstics del Cambroordovicià. Només en dues mostres s'han analitzat els ions majoritaris i metalls pesants, amb continguts en potassi i magnesi per sota dels límits de detecció. S'ha fixat un valor seguint els criteris exposats en el **capítol 1**, malgrat que no s'aconsegueix corregir l'excés d'anions. En dues mostres també s'ha analitzat altres paràmetres associats amb química orgànica.

El conjunt de les aigües freàtiques presenten un pH neutre i una conductivitat baixa-moderada. Es tracta d'aigües poc mineralitzades en conjunt, toves, carbonatades càlciques (taula 50, figures 98, 99 i 100).

En quan als metalls pesants, destaca el contingut natural en arsènic, ferro, manganès i cadmi com a més destacables (amb valors per sobre els màxims establerts en el Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999)), i coure, níquel i cobalt.

Segons l'índex IR es tracta d'aigües molt agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
86	7,2	20	30,3	10,7-10,9	bicarbonat càlcic	As=2,5-11 Fe>200 Mn>50 Cd>5 Cu=109 Ni=11 Co=12

Taula 50. Caracterització de les aigües de la unitat de Sant Julià

DIAGRAMA DE PIPER

Sant Juli

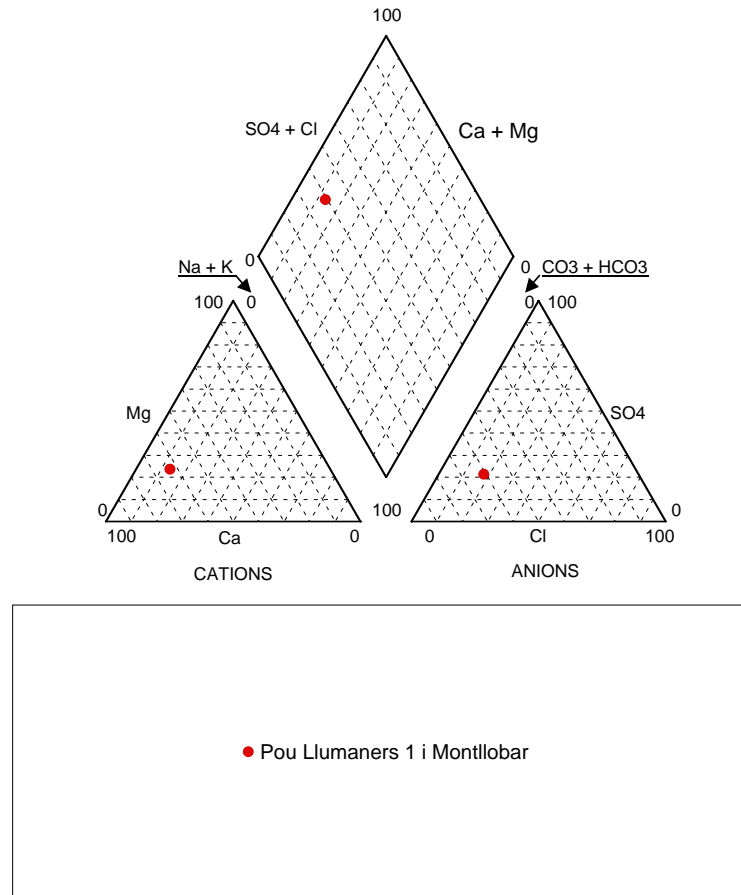


Figura 98. Diagrama de Piper (modificat), aigües del pou de Lluaneres 1 i Montllobar (mitja)



DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Sant Julià

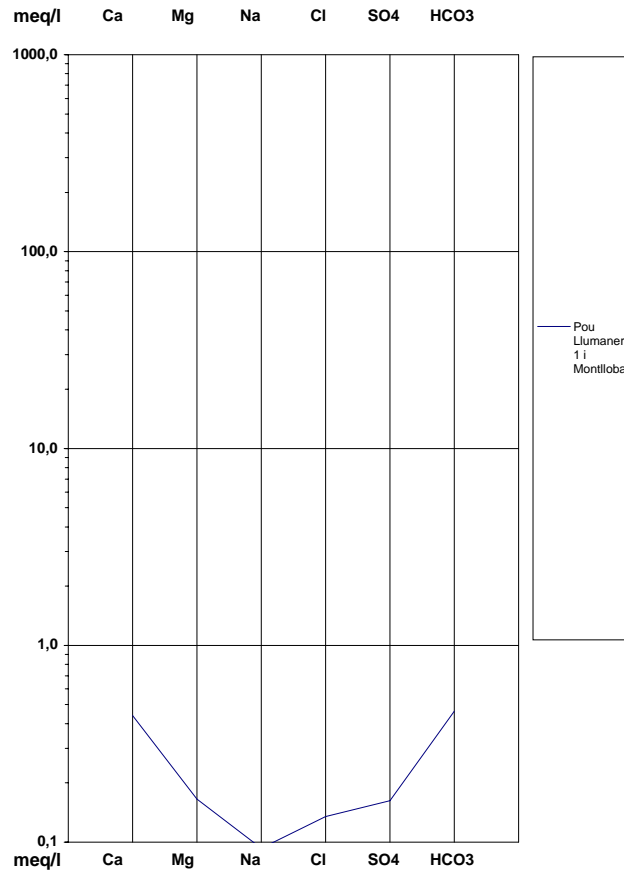


Figura 99. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de Sant Julià

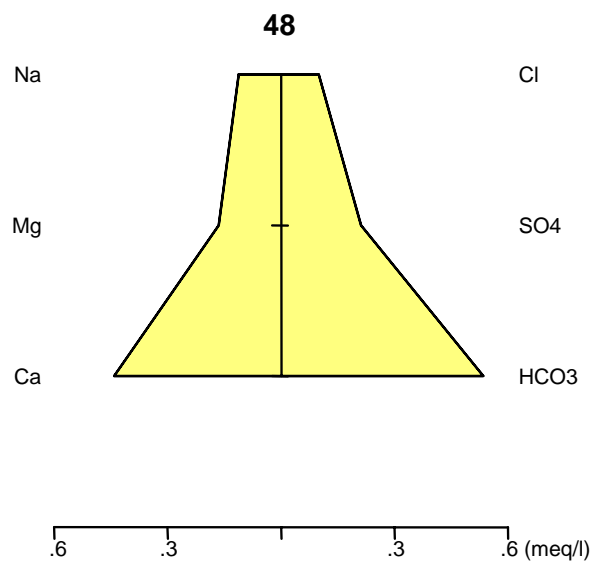


Figura 100. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de Sant Julià (Pou Lluaneres 1)

9.21 Unitat hidrogeològica de les Pardines

Es disposa de 6 anàlisis de 2 punts d'aigua freàtica que circulen entre materials carbonàtics i pissarrosos del Devonianà i Silurià. Només en una mostra s'han analitzat els ions majoritaris, amb continguts en nitrats per sota dels límits de detecció.

El conjunt de les aigües freàtiques presenten un pH neutre i una conductivitat alta-molt alta (període 2002-2006). Es tracta d'aigües molt mineralitzades en conjunt, molt dures, carbonatades càlciques (**taula 51, figures 101, 102 i 103**).

Segons l'índex IR es tracta d'aigües mitjanament agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
201-1500	6,7-8,2	574	354	7,5	bicarbonatàtic càlcic	-

Taula 51. Caracterització de les aigües de la unitat de Les Pardines

9.21.1 Observacions

Sembla existir una relació directa entre el període hivernal, i l'augment de la conductivitat, associat a l'ús de sals com a antigelandants de la carretera. Aquest fet dona peu a parlar d'una contaminació puntual i temporal.

DIAGRAMA DE PIPER

Pardines (font Pardines)

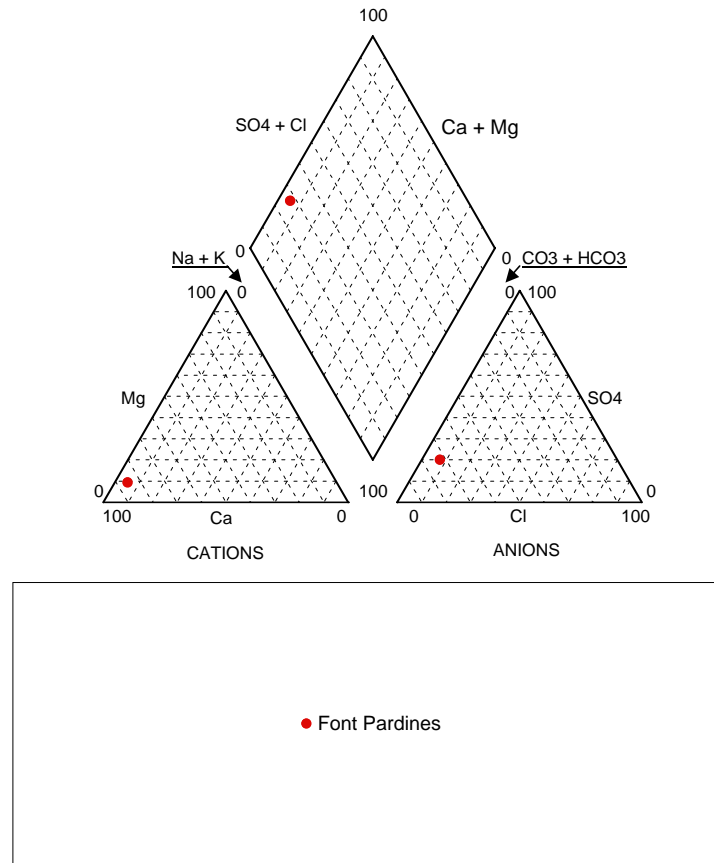


Figura 101. Diagrama de Piper (modificat), aigües de la font de les Pardines

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Les Pardines (font de les Pardines)

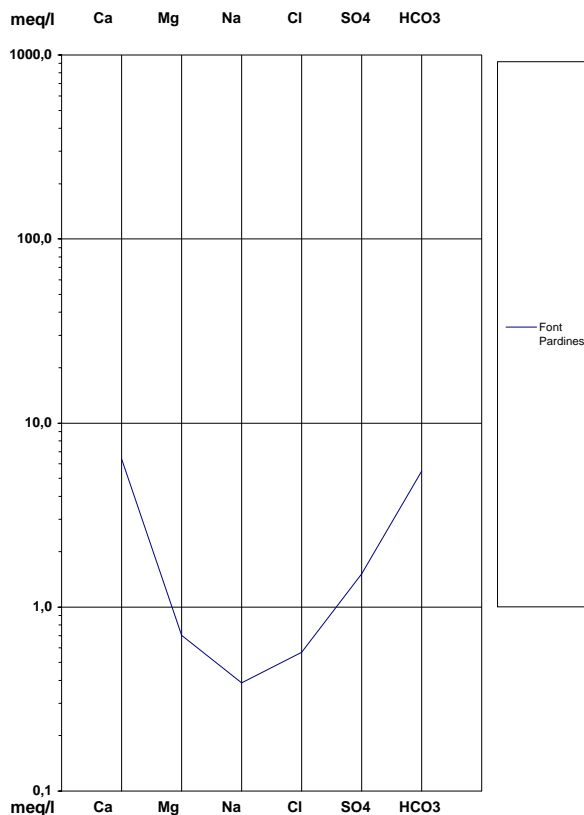


Figura 102. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de les Pardines

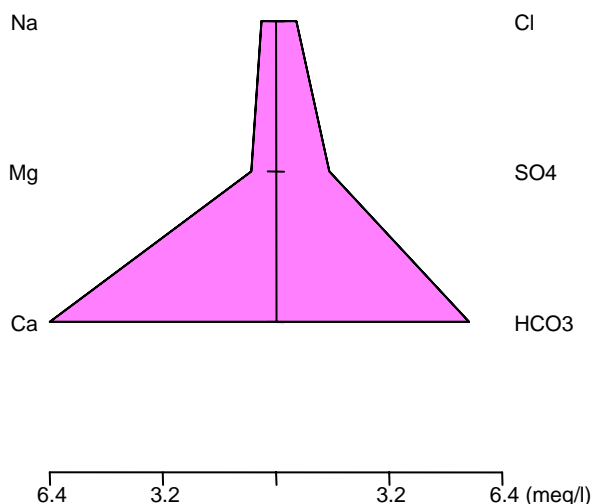


Figura 103. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de les Pardines (Font Pardines)

9.22 Unitat hidrogeològica del Madriu

Es disposa de 9 anàlisis de 3 punts d'aigua superficial i freàtica que circulen entre materials granodiorítics. Només en dues mostres s'han analitzat els ions majoritaris, i metalls pesants, amb continguts en nitrats, magnesi, potassi, clorurs per sota dels límits de detecció; en base als criteris fixats en el **capítol 1** s'ha estimat les concentracions, malgrat que no s'acaba d'aconseguir un bon ajust iònic. En una de les mostres també s'ha analitzat altres paràmetres associats amb química orgànica.

El conjunt de les aigües freàtiques presenta un pH neutre i una conductivitat baixa. Es tracta d'aigües poc mineralitzades, toves, carbonatades càlciques (**taula 52, figures 104, 105 i 106**).

En quan a components traça apareixen traces de ferro, alumini, coure i bor com a més significatius. En algunes mostres es detecta arsènic.

Segons l'índex IR es tracta d'aigües molt agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
43,5	7,4	35,3	8,9	11,9-12,2	bicarbonatàtic càlcic	Al=38 Fe=40 Cu=22 B=20 As=3,4

Taula 52. Caracterització de les aigües de la unitat del Madriu

DIAGRAMA DE PIPER

Madriu

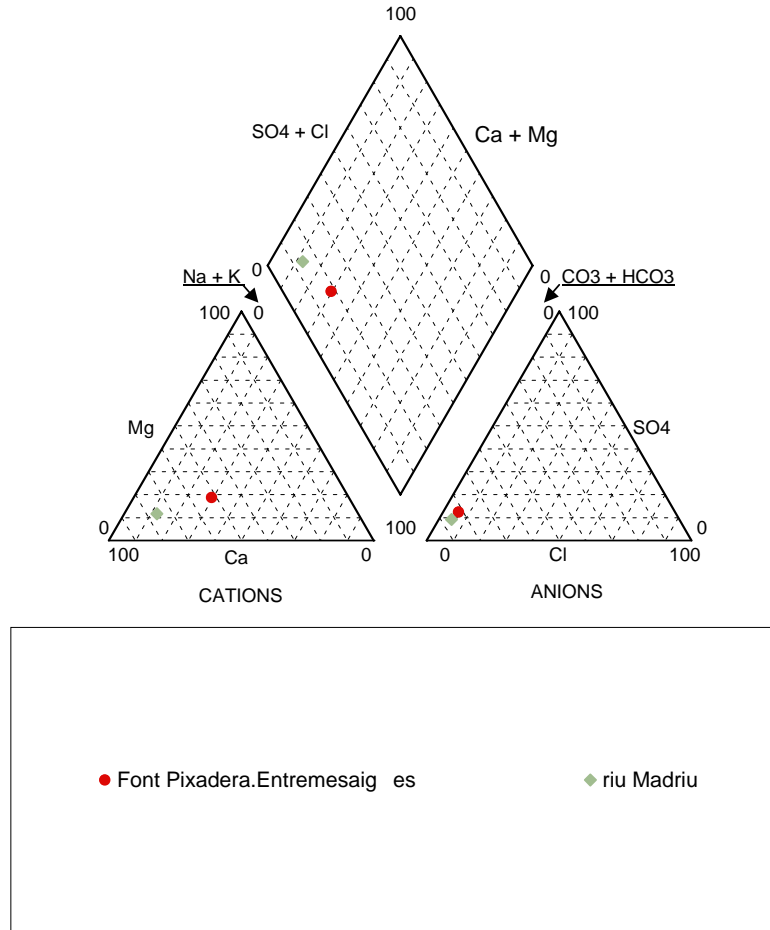


Figura 104. Diagrama de Piper (modificat), aigües del sector de Madriu

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

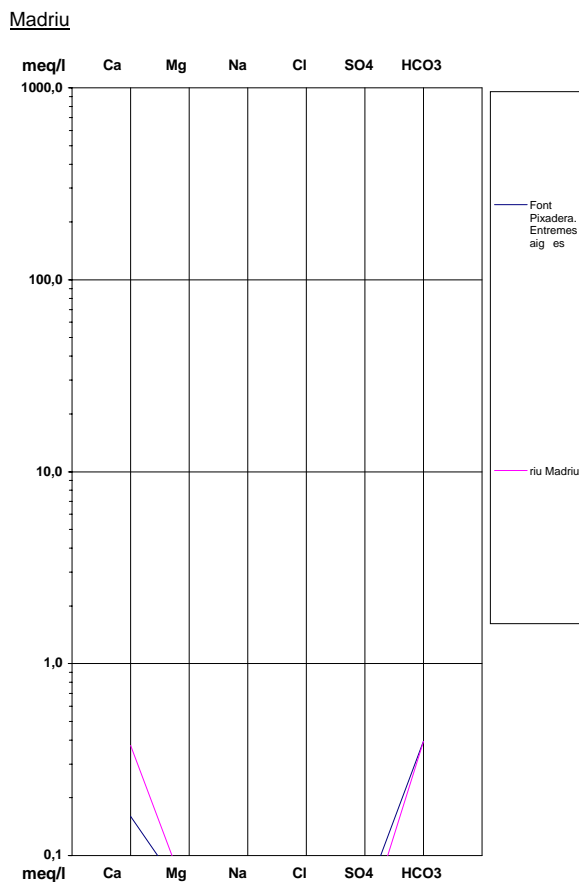


Figura 105. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de la unitat del Madriu

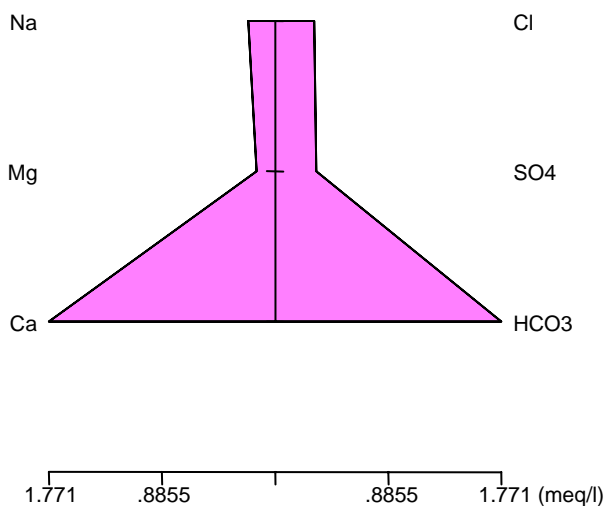


Figura 106. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de la unitat del Madriu (riu Madriu)

9.23 Unitat hidrogeològica d'Enclar

Es disposa de 12 anàlisis de 4 punts d'aigua superficial i freàtica que circulen entre materials granodiorítics, i siliciclàstics i carbonàtics del Paleozoic. En tres mostres s'han analitzat els ions majoritaris, i metalls pesants, amb continguts en nitrats, magnesi, potassi, clorurs i sodi per sota dels límits de detecció (segons la mostra); en base als criteris fixats en el **capítol 1** s'ha estimat les concentracions, malgrat que no s'acaba d'aconseguir un bon ajust iònic en cap de les 3 mostres. En dues de les tres mostres també s'ha analitzat altres paràmetres associats amb química orgànica.

Es distingeixen dos grups d'aigua. Per una banda es troba les aigües relacionades amb la granodiorita (font del rec del Solà, riu d'Enclar), de pH neutre, conductivitat baixa, es tracta d'aigües toves, poc mineralitzades, amb un contingut en clorurs per sota d'1mg/l i de sílice per sobre de 5mg/l, i amb arsènic, amb concentracions per sobre de 10 ppb -concentració màxima establerta pel Reglament tècnico-sanitari per al subministrament i el control de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà (BOPA núm 44-any 11-4.8.1999)-.

Un segon grup d'aigües, relacionat amb el substrat paleozoic, presenta un pH neutre, una conductivitat moderada, són aigües mitjanament dures i més mineralitzades; tenen un contingut en clorurs superior a 1 mg/l i de sílice inferior a 5mg/l. Com a elements traça presenten alumini i arsènic, tot i que en concentracions inferiors als 10ppb.

Segons l'índex IR es tracta d'aigües agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
83	7,3	90,4	46,4	11,3	Bicarbonat càlcic	As>10
263	7,5	156,9	94,6	8,3	Bicarbonat càlcic	Al=10 As<5

Taula 53. Caracterització de les aigües de la unitat d'Enclar

DIAGRAMA DE PIPER

Enclar

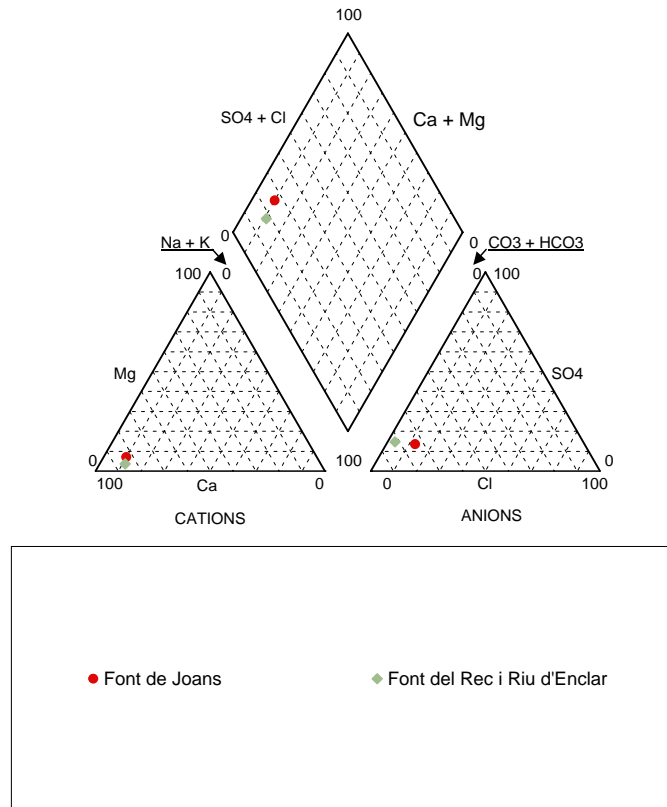


Figura 107. Diagrama de Piper (modificat), aigües del sector d'Enclar

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Enclar

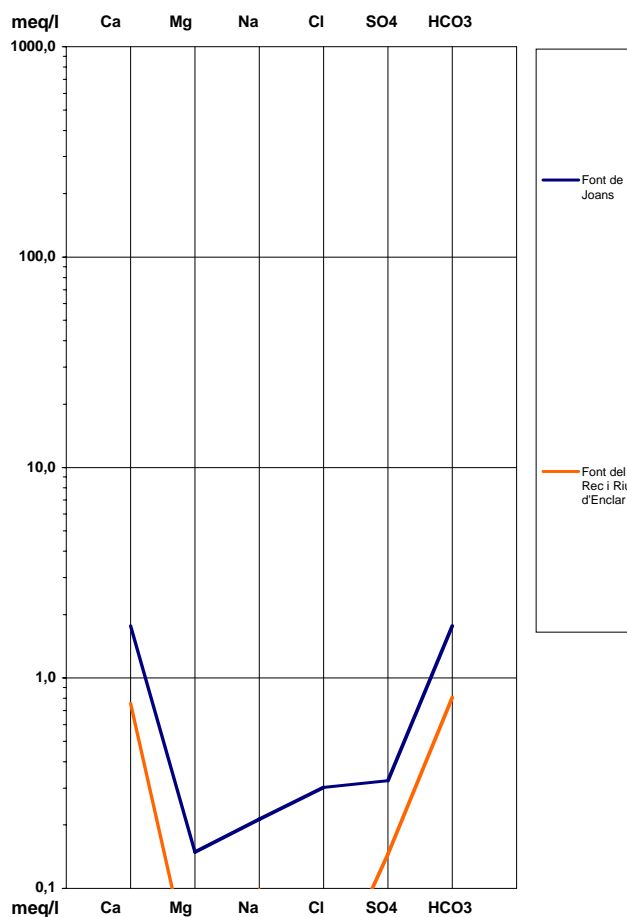


Figura 108. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de la unitat d'Enclar

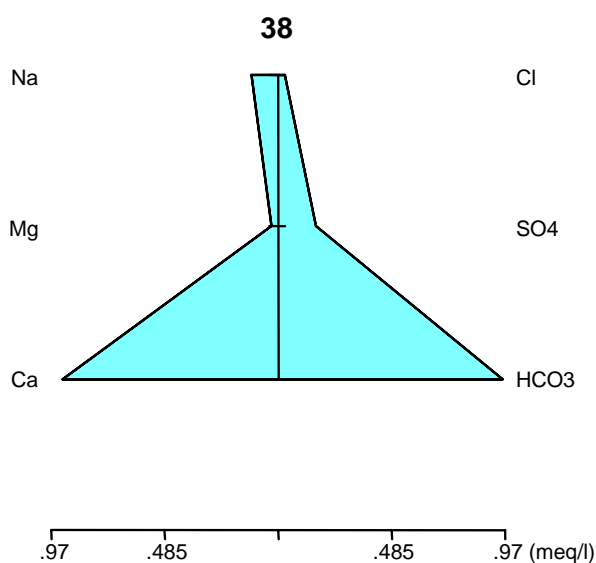


Figura 109. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües associades amb les granodiorites (Rec Solà)

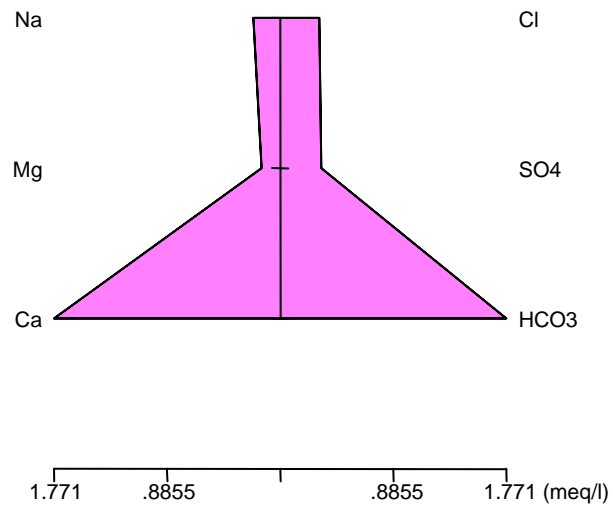


Figura 110. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües associades amb materials paleozoics (Font de Joans)

9.24 Unitat hidrogeològica de Pessons-Engolasters

Es disposa de 10 anàlisis de 4 punts d'aigua superficial i freàtica que circulen entre materials granodiorítics i formació superficial. Només en una mostra s'han analitzat els ions majoritaris, i metalls pesants, amb continguts en nitrats, magnesi, potassi, i clorurs per sota dels límits de detecció; en base als criteris fixats en el **capítol 1** s'ha estimat les concentracions, malgrat que no s'acaba d'aconseguir un bon ajust iònic. En aquesta mostra també s'ha analitzat altres paràmetres associats amb química orgànica.

Es distingeixen dos grups d'aigua (**taula 54**). Per una banda es troba les aigües relacionades amb la granodiorita (torrents i font de les Ordigues), de pH neutre, conductivitat baixa, toves i poc mineralitzades (**figures 107, 108, 109 i 110**), amb alumini, bor, ferro, arsènic i zinc com a traces principals, i un segon grup format per les aigües associades amb dipòsits quaternaris de reompliment de la cubeta d'Engolasters (pou de la Closa) que són de pH neutre-àcid, baixa conductivitat, amb bor, alumini, ferro i níquel com a traces majoritaris.

Segons l'índex IR es tracta d'aigües agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
40,4	7,4	41,3	18,3	11,4	Bicarbonat càlcic	B=37 Al=26 Fe=11 Zn=4,4 As=2,2
47,7	6,5				Bicarbonat càlcic	B=30 Al=16 Fe=11 Ni=3,2 As=2

Taula 54. Caracterització de les aigües de la unitat d'Engolasters-Pessons

DIAGRAMA DE PIPER

Engolaters-Pessons (font de les Ordigues)

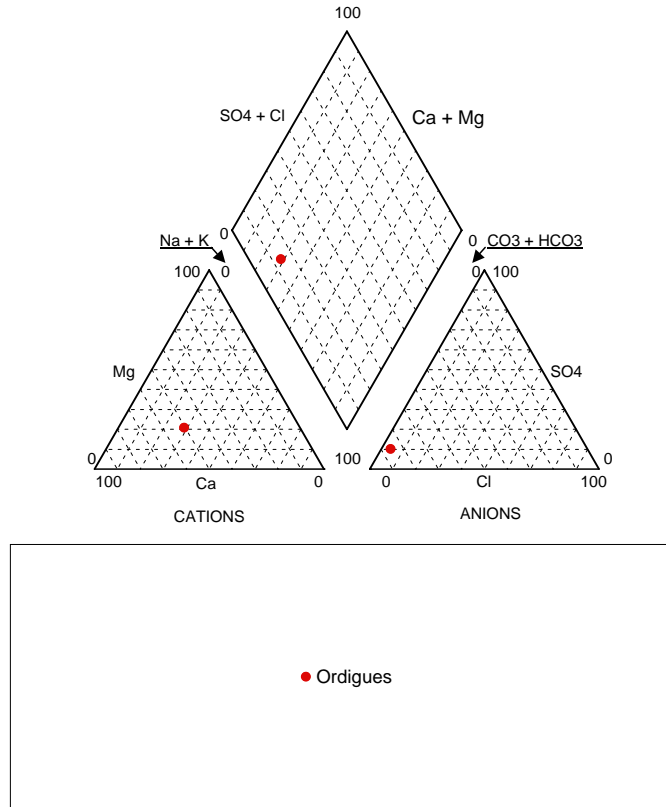


Figura 111. Diagrama de Piper (modificat), aigües associades amb la grandiorita

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Engolasters-Pessons

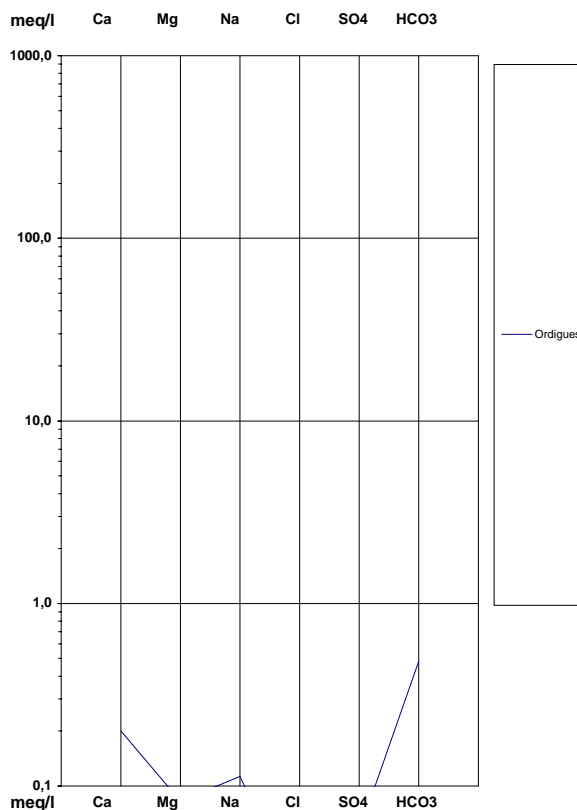


Figura 112. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües associades amb la granodiorita

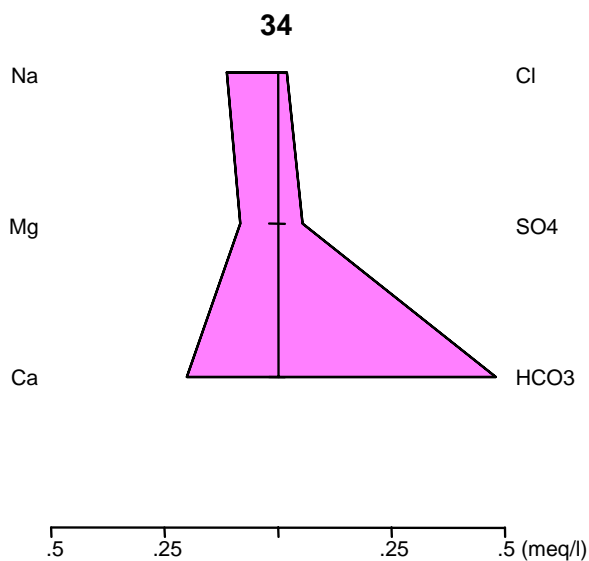


Figura 113. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües associades a la granodiorita (Ordigues)

9.25 Unitat hidrogeològica de la cubeta d'Andorra la Vella-Escaldes Engordany

Es disposa de 123 anàlisis de 7 punts d'aigua freàtica i superficial que circulen entre materials detrítics poligenètics (al.luvials, glaciaofluvials, mixtes). En 12 mostres s'han analitzat els ions majoritaris, i metalls pesants, amb continguts en magnesi, i potassi (variable segons cada mostra) per sota dels límits de detecció; en base als criteris fixats en el **capítol 1** s'ha estimat les concentracions, aconseguint-se en conjunt un bon ajust iònic. En dos punts de mostreig (pou carretera Comella, pou 2 estadi comunal) també s'ha analitzat altres paràmetres associats amb química orgànica.

Es separen 3 grups d'aigües (**taula 55**). Per una banda es troba les aigües relacionades amb els dipòsits de fons de vall (pous estadi comunal) de pH neutre, conductivitat moderada, mitjanament dures i mineralitzades (**figures 114, 115, 116 i 117 i 118**), amb alumini for, coure, ferro i arsènic. El pou 4 és que presenta una major mineralització.

Un segon grup d'aigües està format per les aigües associades amb els dipòsits laterals (pou comella); es tracta d'aigües similars en duresa, i en pH a les anteriors, més conductores i per tant més mineralitzades, amb alumini, ferro, manganès, antimoni i zinc com a elements traça majoritaris. El contingut en ferro i manganès no s'ha de prendre com a vàlid degut a que en el mostreig es recollí terbolesa associada a les parets del sondeig metàl·lic.

El tercer grup d'aigües respon a les del riu Valira. Es tracta d'aigües poc mineralitzades en comparació amb els altres dos grups.

Segons l'índex IR es tracta d'aigües agressives.

Conductivitat (µS/cm)	pH	TSD (mg/l)	Duresa (mg/l)	IR	Ió dominant	Elements traça (µg/l)
224	7,5	186,9	102,5	8,4-8,9	Bicarbonat càlcic	B=43-46 Al=33-<25 Cu=11-15 Fe=7-21 As=4-7
301,6	7,6	220,5	118,4	8-8,2	Bicarbonat càlcic	Al=95-<10 Zn=6,4-1,8
		134,4	62,2	9,5	Bicarbonat càlcic	

Taula 55. Caracterització de les aigües de la unitat de la cubeta d'Andorra la Vella-Escaldes Engordany

DIAGRAMA DE PIPER

Cubeta Andorra la Vella-Escaldes Engordany

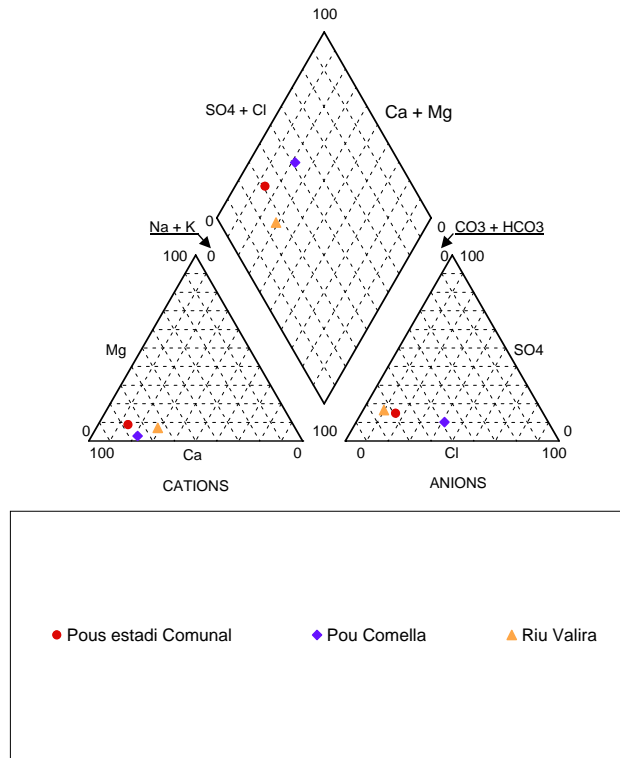


Figura 114. Diagrama de Piper (modificat), de les aigües de la cubeta d'Andorra la Vella-Escaldes Engordany

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Cubeta d'Andorra la Vella-Escaldes Engordany

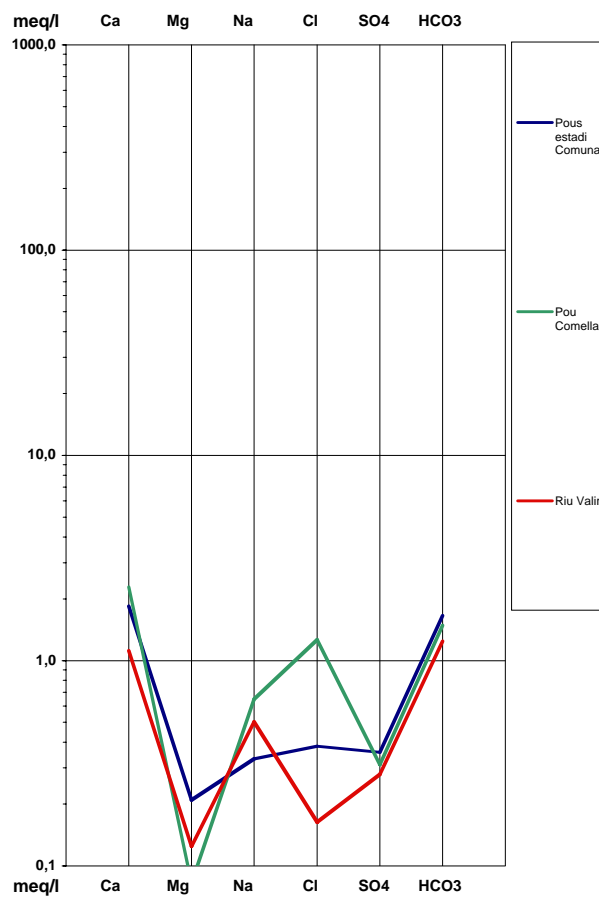


Figura 115. Diagrama Shoeller-Berkaloff (modificat) de les aigües de la cubeta d'Andorra la Vella-Escaldes Engordany

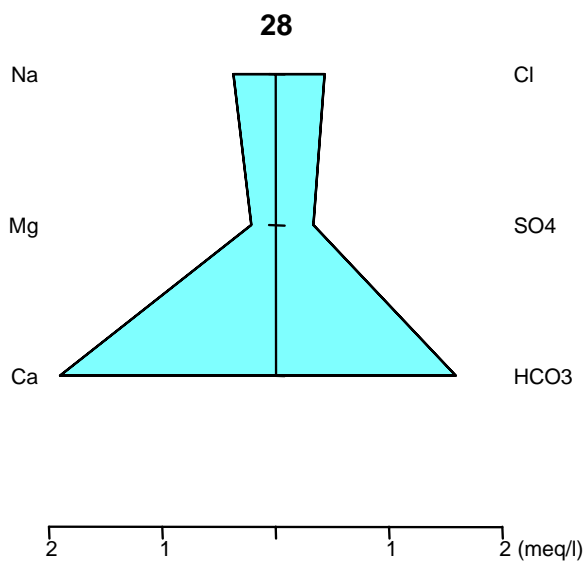


Figura 116. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües de la cubeta d'Andorra la Vella-Escalades Engordany (Pou Estadi nº 4)

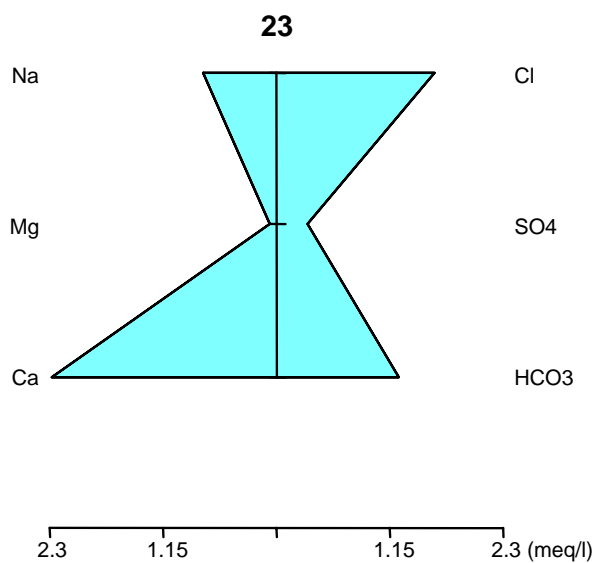


Figura 117. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües del pou de la Comella

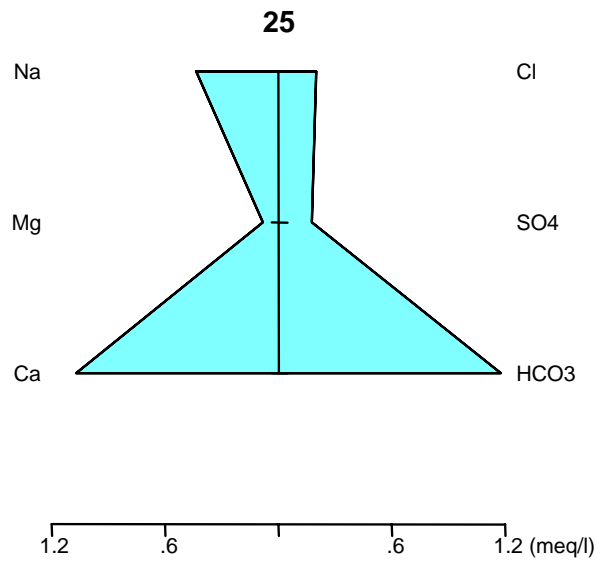


Figura 118. Diagrama de Stiff (modificat) de les aigües del riu Valira



10 ANNEX DE DOCUMENTACIÓ: METODOLOGIA MOSTREIG

10.1 Metodologia aplicada durant la campanya del 2006

La presa de mostres s'ha realitzat de la forma més acurada possible per tal que les mostres recollides siguin representatives, és a dir, que les mesures i anàlisis que es realitzin en les mostres reflecteixin amb el màxim de fiabilitat la composició de les aigües en el medi subterrani. Perquè es compleixin aquestes condicions tota mostra ha d'estar ben presa, correctament conservada i adequadament analitzada.

Els recipients o ampolles utilitzats eren nous, abans d'omplir el recipient amb la mostra recollida es netejava o s'esbandia unes 3 ó 4 vegades amb la pròpia aigua a mostrejar. Els recipients s'han omplert al màxim, i una vegada plens es tancaven perfectament, per tal d'evitar la formació d'una cambra d'aire que podria desnaturalitzar la mostra per intercanvis aigua - gasos durant el transport i conservació de la mostra, fenomen especialment important pel sistema carbonatat (contingut en carbonats i bicarbonats).

Els recipients majoritàriament utilitzats han estat de polietilè, ja que tenen un espectre d'utilització molt més ampli, i són molt més còmodes de transport i manipulació en el camp. Des del punt de vista químic, els recipients de polietilè no contaminen les mostres amb Na, K o Si, ni retenen els ions de petit radi iònic (F- i ió fosfat per exemple) com fa el vidre blanc. Per altre banda, el Mn i també el Pb, Zn i As poden lixiviar-se lentament dels recipients de vidre borosilicatat (pyrex).

En cada punt de mostreig es recollien cinc submostres (**Taula 56**):

- Una submostra per determinar carbonats i bicarbonats de la mostra. S'han utilitzat ampolles de 125 cc. de polietilè netejades amb nítric diluït. Prèviament a la presa de la mostra s'han fet diversos rentats amb l'aigua a mostrejar per eliminar els possibles residus de nítric no eliminats.

- Una submostra per determinar els altres anions majoritaris de la mostra. S'han utilitzat ampolles de 125 cc. de polietilè netejades amb nítric diluït. També prèviament a la presa de la mostra s'han fet diversos rentats amb l'aigua a mostrejar per eliminar els possibles residus de nítric no eliminats. Aquesta submostra es filtrava a pressió en el camp mitjançant un filtre Millipore de 0.45 µm.

- Una submostra per determinar cations, sílice i ferro. S'han utilitzat tubs de 10 ml. de polietilè netejats amb nítric diluït i esterilitzats. Aquesta submostra es filtrava a pressió en el camp mitjançant un filtre Millipore de 0.45 µm.

- Una submostra per determinar metalls traça. S'han utilitzat tubs de 10 ml. de polietilè netejades amb nítric diluït i esterilitzades. Aquesta submostra es filtrava a pressió en el camp mitjançant un filtre Millipore de 0.45 µm i s'acidificava immediatament després de recollida amb nítric Merck de qualitat analítica (amb baixos continguts de metalls traça) fins a valors de pH = 2. Aquesta acidificació de la mostra es duu a terme per mantenir tots els metalls i els altres elements traça en solució i evitar la seva precipitació.

Taula 56. Paràmetres i recipients utilitzats en cadascuna de les submostres recollides

Paràmetres	Recipient	Volum	Altres
Carbonats i bicarbonats	Polietilè	125 cc	
Altres anions	Polietilè	125 cc	Filtrat
Cations majoritaris	Polietilè	10 cc	Filtrat
Elements traça	Polietilè	10 cc	Filtrat i acidificat (HNO ₃)

Totes aquestes submostres una vegada recollides es conservaven en nevera a 4° C fins el seu trasllat als laboratoris dels Serveis Científic – Tècnics de la Universitat de Barcelona, on es conservaven en neveres especials fins al moment de la seva anàlisi, que s'ha dut a terme una setmana després de la seva recollida.

En tots els punts de mostreig s'han realitzat determinacions de precisió dels següents paràmetres físico-químics: temperatura, conductivitat, pH i Eh (**Taula 59**). Les mesures s'han realitzat "in situ" i immediatament després de la recollida de la mostra per evitar, en el possible, l'alteració d'aquesta per canvis en les condicions del seu medi. Quan ha estat possible, també s'han dut a terme mesures de cabal.

10.2 Anàlisis químiques

Les anàlisis químiques es van realitzar en els Serveis Científic - Tècnics de la Universitat de Barcelona, determinant-se els elements majoritaris i traça següents: bicarbonats, sulfats, clorurs, nitrats, sodi, potassi, calci, magnesi, ferro, manganès, bor, coure, níquel, zenc, cadmi, alumini, crom, plom, bari, liti, arsènic, seleni, molibdè, cobalt, antimoni, fòsfor total, silici i estronci.

Cations majoritaris: Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺

Anions majoritaris: HCO₃⁻, CO₃⁼, SO₄⁼, Cl⁻, NO₃⁻, NO₂⁻

Altres components: SiO₂, duresa, alcalinitat

Components traça: F⁻, Fe²⁺, Mn²⁺, Ba²⁺, Sr²⁺, B³⁺, Li⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Pb³⁺, As³⁺,

La precisió analítica ha estat satisfactòria si es té en compte que per a la majoria d'anàlisis l'error relatiu del balanç iònic no supera el 15 %, excepte per les mostres 4, 9 i 12 que han superat lleugerament aquest valor. Per controlar el possible error analític per determinacions individuals es va procedir a realitzar una anàlisi d'una aigua comercial sense coneixement del laboratori. Aquesta mostra analitzada amb el numero 22, s'ha comparat amb els valors expressats en l'etiqueta de l'ampolla comercialitzada (ampolla d'aigua Font Vella de 1500 cc). Els resultats es reflecteixen a la **taula 57**.

Taula 57. Resultats de la mostra de control (22) comparats amb els valors expressats en l'etiqueta de l'ampolla d'aigua comercialitzada com aigua Font Vella. En la darrera columna es reflecteix l'error analític en percentatge

	Mostra 22	Etiqueta	Error analític (%)
COND	306.3	294	2.05
HCO ₃	148.3	149	0.24
SO ₄	14.5	16.4	6.15
Cl	13.4	16.2	9.46
Na	14.17	13.20	3.54
Ca	34.66	38.50	5.25
Mg	8.52	9.70	6.49

Els mètodes analítics emprats estan detallats en la **Taula 58**, així com els límits de detecció de cadascun dels mètodes analítics utilitzats.



Taula 58. Mètodes analítics utilitzats per a les anàlisis químiques de les aigües i límits de detecció aconseguits pels procediments analítics utilitzats.

Paràmetre	Mètode	Límit de detecció
Carbonats	V	
Bicarbonats	V.	6 mg/l
Clorurs	C.I..	1 mg/l
Sulfats	C.I.	1.5 mg/l
Nitrats	C.I.	1 mg/l
Calci	ICP – OES	0.1 mg/l
Magnesi	ICP – OES	0.1 mg/l
Sodi	ICP – OES	0.5 mg/l
Potassi	ICP – OES	0.5 mg/l
Silici	ICP – OES	20 µg/l
Fòsfor total	ICP – OES	20 µg/l
Ferro	ICP – OES	1 µg/l
Manganès	ICP – MS	0.2 µg/l
Zenc	ICP – MS	0.5 µg/l
Níquel	ICP – MS	5 µg/l
Coure	ICP – MS	0.2 µg/l
Estronci	ICP – MS	0.2 mg/l
Alumini	ICP – MS	5 µg/l
Plom	ICP – MS	0.2 µg/l
Cobalt	ICP – MS	0.2 µg/l
Bor	ICP – MS	5 µg/l
Seleni	ICP – MS	5 µg/l
Arsènic	ICP – MS	5 µg/l
Bari	ICP – MS	0.2 µg/l
Liti	ICP-MS	0.2 µg/l

C.I. = Cromatografia iònica; ICP-OES = Plasma d'Inducció Acoblada Òptic; V. = Volumetria; ICP-MS = Espectrometria de Masses amb font de Plasma d'Inducció Acoblada



10.3 Distribució de les mostres

La densitat de mostreig s'estima d'unes 11 mostres/Km², essent 8,9 punts /100Km² o de 2,2/25 Km², mentre que des de la CHE es recomana per a una caracterització general un mínim d'1punt cada 100Km² en masses d'aigua no afectades, com és el cas, i d'1punt cada 25Km² en masses amb algun tipus d'afecció. En la **figura 119** es mostra la situació dels punts mostrejats.

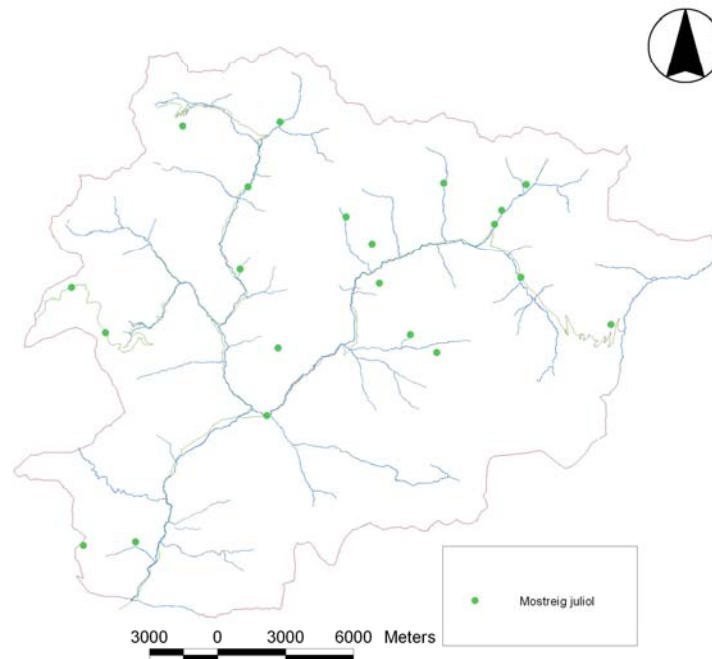


Figura 119. Mapa de situació dels punts mostrejats



11 ANNEX DE TAULES

Taula 59. Paràmetres in situ analitats.

Nom	Id	X	Y	data	Conductivitat μS/cm	pH	Eh mV	T °C	Cabal m3/dia
Font Pui	1	529049,2	17991,51	11/7/06	235	8,03	290	16,45	
Font de la Pleta	2	531135,4	36374	11/7/06	51	8,2	313	4,3	
Torrent Puntal	3	535425,9	36547,6	11/7/06	17	7,8	315	12,2	
Font mina Llorts	4	534020,3	33657,9	11/7/06	76	4,61	282	11,9	42,60
Font Sornàs	5	533662,8	30017,4	11/7/06	250	7,8	300	8,4	
Font Còms	6	526752,17	17819,55	13/7/06	253	8,13	212	10,6	4,84
Font Gasopàs	7	550018,3	27584,7	12/7/06	83	8,3	292	16,4	305,67
Torrent Bordes Envalira	8	546051	29654,1	12/7/06	67	8,26	238	10,65	
Font Incles càmping	9	545202,6	32648,6	12/7/06	26	7,76	290	7,7	12,19
Font Reineres	10	546281,7	33763,5	12/7/06	57	8,05	280	7	
Pou termal Incles	11	544882,2	32039,9	12/7/06	115	10,5 9	-20	19,35	
Font dels Capellans	12	542647,5	33814,3	12/7/06	24	7,98	248	7,5	
Font de Ferro-Font Blanca	13	538328,1	32366,4	12/7/06	66	8,25	238	13,75	320,9
Font Bordes Montaup	14	538498,7	31173,7	12/7/06	200	8,37	238	6,95	21,65
Font del Ponet	15	539808,6	29386,6	12/7/06	244	7,85	216	7,6	9,40
Torrent del Griu	16	542340,1	26333,2	13/7/06	17	7,96	224	6,6	
Font de Ferro	17	541175,8	27134,6	13/7/06	69	6,27	147	15,05	
Font Port de Cabús	18	526236	29208	13/7/06	202	8,24	170	16,65	
Font del Bisbe	19	527725,4	27231,4	13/7/06	200	8,03	242	5,4	13,85
Font del Castellà	20	535335,71	26534,02	13/7/06	42	7,55	194	9	2,63
Font termal Roc del metge	21	534847	23565,6	13/7/06	170	9	167	45,45	

Num	Topònim	Localitat	X Lambert	Y Lambert	Data	COND (μ S/cm)	pH lab	CO3 ppm	HCO3 ppm	SO4 ppm	Cl ppm	NO3 ppm
1	Font Pui	Fontaneda	529049.2	17991.51	11/07/2006	353.9	7.96		135.6	56	4.95	0.5
2	Font de la Pleta	Arcalís	531135.4	36374	11/07/2006	77.8	7.45		22.3	12.3	3.34	1.3
3	Torrent Puntal	Sorteny	535425.9	36547.6	11/07/2006	35.4	7.13		6	3.85	3.37	0.17
4	Font mina Llorts	Llorts	534020.3	33657.9	11/07/2006	114.2	3.80		< 5	28	3.68	< 0.1
5	Font Sornàs	Sornàs	533662.8	30017.4	11/07/2006	310.4	8.32		199	6.73	3.31	0.58
6	Font Còms	Mossers	526752.17	17819.55	13/07/2006	314.4	8.00		178	20.6	3.65	0.26
7	Font Gasopàs	Pas de la Casa	550018.3	27584.7	12/07/2006	109.2	7.82		58.5	7.6	6.23	1.32
8	Torrent Bordes Envalira	Bordes Envalira	546051	29654.1	12/07/2006	93	7.70		56.5	6.9	3.25	0.14
9	Font Incles	Incles	545202.6	32648.6	12/07/2006	41.5	6.93		20.3	4.6	3.42	1.16
10	Font Reinetes	Incles	546281.7	33763.5	12/07/2006	76.8	7.37		42.2	8.4	3.37	0.58
11	Pou termal Incles		544882.2	32039.9	12/07/2006	142.6	9.49	21.30	9.1	19.6	3.87	< 0.1
12	Font dels Capellans	Ransol	542647.5	33814.3	12/07/2006	44.5	7.06		22.2	6.3	3.47	0.48
13	Font de Ferro-Font Blanca	Montaup	538328.1	32366.4	12/07/2006	89	7.83		44.4	9.9	3.24	0.65
14	Font Bordes Montaup	Montaup	538489.2	31168.7	12/07/2006	251.7	8.07		162.9	4.95	< 0.5	0.58
15	Font del Ponet	El Forn	539808.6	29386.6	12/07/2006	348.8	7.87		181.7	28.2	5.06	0.96
16	Torrent del Griu	Cortals d'Encamp	542340.1	26333.2	13/07/2006	34.4	7.18		14.9	< 0.5	3.39	0.5
17	Font de Ferro	Cortals d'Encamp	541175.8	27134.6	13/07/2006	106.2	6.57		< 5	30.8	3.43	< 0.1
18	Font Port de Cabús	Setúria	526236	29208	13/07/2006	326.6	7.99		221.2	4.4	< 0.5	< 0.1
19	Font del Bisbe	Coll botella	527725.4	27231.4	13/07/2006	308.4	7.70		178	15.9	3.23	1.43
20	Font del Castellà	Beixalís	535335.71	26534.02	13/07/2006	61.7	7.20		29.6	3.81	4.06	0.41
21	Font termal Roc del metge	Escaldes poble	534847	23565.6	13/07/2006	199.2	9.30	28.16	16.99	14.1	7.8	0.19
L.D.									5	0.5	0.5	0.1

Num	Topònim	NO2	Na	K	Ca	Mg	Al	Sr	Ba	Se	B	Li
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
1	Font Pui	< 0.1	1.45	2.73	58.77	5.75	8.7	139.3	3.2	< 5.0	13.5	8.9
2	Font de la Pleta	< 0.1	1.25	0.59	10.07	0.53	17.1	26.6	1.3	< 5.0	10.2	0.5
3	Torrent Puntal	< 0.1	1.92	0.58	2.46	0.60	25.1	23.5	2.9	< 5.0	10.5	0.3
4	Font mina Llorts	< 0.1	0.59	< 0.50	2.54	2.78	1176.8	8.0	1.9	< 5.0	10.0	21.3
5	Font Sornàs	< 0.1	1.20	< 0.50	62.15	1.86	11.0	333.6	1.2	< 5.0	11.2	1.9
6	Font Còms	< 0.1	1.82	0.58	58.66	2.45	11.5	140.0	1.5	< 5.0	13.0	5.4
7	Font Gasopàs	< 0.1	1.41	3.24	14.84	2.29	12.3	70.1	1.4	< 5.0	13.2	1.2
8	Torrent Bordes Envalira	< 0.1	2.76	< 0.50	13.19	1.15	8.6	61.7	1.5	< 5.0	8.0	0.8
9	Font Incles	< 0.1	1.76	1.10	3.88	0.71	6.7	22.4	2.9	< 5.0	8.2	0.9
10	Font Reinetes	< 0.1	2.22	< 0.50	10.48	1.11	7.6	18.1	0.9	< 5.0	7.2	2.6
11	Pou termal Incles	< 0.1	29.44	< 0.50	2.62	< 0.10	17.3	45.9	1.1	< 5.0	22.8	11.6
12	Font dels Capellans	< 0.1	1.64	0.57	4.98	0.55	12.1	23.9	1.9	< 5.0	9.8	0.5
13	Font de Ferro-Font Blanca	< 0.1	< 0.5	< 0.50	14.18	0.79	36.0	22.4	2.8	< 5.0	9.2	3.1
14	Font Bordes Montaup	< 0.1	< 0.5	< 0.50	47.15	1.97	7.9	136.1	1.4	< 5.0	7.6	2.0
15	Font del Ponet	< 0.1	1.39	< 0.50	64.38	3.14	6.5	190.0	2.0	< 5.0	7.8	3.4
16	Torrent del Griu	< 0.1	1.23	0.60	3.35	0.48	15.1	9.2	2.7	< 5.0	6.9	0.5
17	Font de Ferro	< 0.1	< 0.5	< 0.50	7.73	2.21	38.1	12.9	3.9	< 5.0	11.6	13.9
18	Font Port de Cabús	< 0.1	< 0.5	< 0.50	66.99	0.89	13.4	77.0	2.2	< 5.0	9.6	1.1
19	Font del Bisbe	< 0.1	< 0.5	< 0.50	56.65	2.55	7.0	127.6	10.9	< 5.0	8.1	9.7
20	Font del Castellà	< 0.1	2.23	< 0.50	5.16	2.24	9.2	16.9	0.8	< 5.0	9.8	1.2
21	Font termal Roc del metge	< 0.1	41.08	2.08	2.64	0.05	47.3	18.6	2.2	< 5.0	150.9	111.3
L.D.		0.1	0.50	0.50	0.10	0.10	5.0	0.2	0.2	5.0	5.0	0.2

Num	Topònim	As	Ni	Co	Zn	Pb	Cu	Fe	Mn
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
1	Font Pui	14.5	< 5.0	< 0.2	31.2	0.5	0.9	< 10	0.6
2	Font de la Pleta	< 5.0	< 5.0	< 0.2	5.8	0.7	2.0	< 10	0.9
3	Torrent Puntal	< 5.0	< 5.0	< 0.2	10.6	0.9	3.7	< 10	0.8
4	Font mina Llorts	< 5.0	31.2	8.3	72.7	0.5	2.6	1930	45.4
5	Font Sornàs	< 5.0	< 5.0	< 0.2	4.1	1.5	0.6	< 10	0.2
6	Font Còms	< 5.0	< 5.0	< 0.2	4.2	0.5	1.0	< 10	4.1
7	Font Gasopàs	12.0	< 5.0	< 0.2	4.4	0.5	0.9	< 10	0.7
8	Torrent Bordes Envalira	< 5.0	< 5.0	< 0.2	2.6	0.7	0.7	< 10	< 0.2
9	Font Incles	< 5.0	< 5.0	< 0.2	2.8	0.4	0.8	< 10	< 0.2
10	Font Reinetes	< 5.0	< 5.0	< 0.2	2.0	0.2	0.5	< 10	< 0.2
11	Pou termal Incles	< 5.0	< 5.0	< 0.2	3.5	0.5	0.6	< 10	0.2
12	Font dels Capellans	< 5.0	< 5.0	< 0.2	3.1	0.3	0.9	< 10	< 0.2
13	Font de Ferro-Font Blanca	< 5.0	< 5.0	< 0.2	11.5	2.7	15.7	< 10	0.7
14	Font Bordes Montaup	< 5.0	< 5.0	< 0.2	3.7	0.4	0.9	< 10	1.0
15	Font del Ponet	< 5.0	< 5.0	< 0.2	5.2	0.5	1.5	< 10	< 0.2
16	Torrent del Griu	< 5.0	< 5.0	< 0.2	2.0	0.3	0.7	< 10	0.5
17	Font de Ferro	< 5.0	14.3	2.5	13.5	1.5	1.3	3270	19.5
18	Font Port de Cabús	< 5.0	< 5.0	< 0.2	7.4	2.4	1.6	20	0.8
19	Font del Bisbe	< 5.0	< 5.0	< 0.2	32.7	0.5	1.2	< 10	< 0.2
20	Font del Castellà	< 5.0	< 5.0	< 0.2	4.0	0.3	0.6	< 10	0.3
21	Font termal Roc del metge	193.1	< 5.0	< 0.2	12.1	1.0	3.5	< 10	0.6
LD		5.0	5.0	0.2	0.5	0.2	0.2	10	0.2

Taula 60. Resultats analítics de les mostres recollides en la campanya de juliol de 2006. LD= límit de detecció



Font	Nom	Tipus	X	Y	Data	C=captació
MSB	Aigua Arinsal	Pou	529920	30808	28/3/01	
MSB	Obac Llorts	Font	531776	34110	22/10/02	
MSB	C1 pla de l'estany	Font	528425	32312	16/12/03	C
MSB	C2 font de les fonts	Font	529911,7	33084,4	16/12/03	C
MSB	C3 font del moixó	Font	528652,2	32285,2	16/12/03	C
MSB	C4 riu de les fonts	Riu	529950,8	32571,4	16/12/03	C
MSB	Comallempla	Font	528532,3711	30768,025	22/11/04	C
MSB	Igloo	Font	528170,3234	30705,7601	22/11/04	C
H	Torrent de les Costes	Riu	535862,62	25062,82	8/11/05	C (ramaderia)
H	Riu Can Diumenge	Riu	534621,1	24485,2	22/5/06	C
H	Riu Valira Orient	Riu	535932,68	24843,69	8/11/05	
H	Pou Prats Ribera	Pou	535827,73	24753,71	8/11/05	C
H	Torrent del cuc	Riu	533105,51	22008,61	8/3/06	
H	Drens CTR	Drens	533089,76	22043,4	8/3/06	
H	Riu Forn	Riu	532972,47	22199,96	8/3/06	
H	Pou La plana	Pou	534205,9	22958,8	18/5/06	
MSB	torrent Comella	Riu	533959	22324	1996	C
MSB	Font Ribal	Font	532928	22673	1995	C
MSB	Font Queco	Font	533227,50	22524,7	23/4/03	
MSB	Torrent Comella Queco	Riu	533295,00	22558,5	23/4/03	
MSB	Font Costa	Font	533115,10	22565,3	23/4/03	
H	Pou Comella	Pou	532829,58	22715,62	8/3/06	
H	Pou 2 Estadi	Pou	532387,46	22839,65	26/5/06	C
MSB	Riu Valira	Riu	532813	23000	1996	
MSB	Pou 1 Estadi	Pou	532358,87	22807,7	9/4/97	
MSB	Pou 3 Estadi	Pou	532430,84	22854,17	14/5/99	C
MSB	Pou 4 Estadi	Pou	532464,46	22845,55	9/4/97	C
H	Sant Antoni	Font	532919,9	25336,4	22/5/06	
MSB	Font birena	Font	532480	25829	12/11/90	C
MSB	Riu Montaner	Riu	531781,3	25916,6	29/2/04	
MSB	Font Bollissoles	Font	531786,8	25924	29/2/04	
MSB	riu Montaner	Riu	532602	25924	12/7/04	C
H	Ordigues	Font	537014,8	24245,8	22/5/06	C
MSB	riu Molina	Riu	538960,5	25520,7	10/10/01	C
MSB	pou La Closa	Pou	536665,16	23578,4	17/7/02	C
MSB	riu Montuèll	Riu	539204,7	25528,8	26/5/05	C
H	Rec Solà	Font	532523	23378,2	22/5/06	
H	Font de Joans	Font	529525,2	20111	26/5/06	C
MSB	riu Enclar	Riu	530570,83	22236,95	octubre-nov-des 04	
MSB	riu Enclar	Riu	530579	22159	12/7/04	C
MSB	Bixessarri	Font	527821,2	20804,9	15/11/04	C
MSB	font aixàs (post tractament)	Font	527957,3	20909,9	7/6/06	C
H	Font Pixadera. Entremesaigües	Font	536226,7	22018	26/5/06	
MSB	riu Madriu	Riu	535540,56	22947,49	1237,51	C
MSB	Ràmio riu	Riu	537516,3	22161,3	20/10/03	C
H	Montllobar	Font	532835	16815	26/5/06	C
H	Pou 1 Lluaneres	Pou	532185	19500	26/5/06	C
H	Font Pardines	Font	528069,16	16130,81		
MSB	Font Arduix	Font	526443,6	16460,82		C
MSB	Certers	Font	531783	19965	22/11/04	C
MSB	Claror	Font	535858,7	16156,3	22/11/04	C
MSB	pou de Conangle (Rabassa)	Pou	533100	15260	22/11/04	C



MSB	Font de caboreu	Font	534160	16305	15/11/04	C
MSB	torrent de l'Escobet	Riu	532435	18705	15/11/04	C
MSB	riu Peguera (post tractament)?	Riu	534043,5	17594,1	27/6/06	C
MSB	Font Ansalonga	Font	533505,2	30613,6	29/10/02	C
MSB	Cortinada	Font	533038,6	31128,3	29/10/02	C
MSB	Arans	Font	532309,2	31845,7	29/10/02	C
MSB	Font Verda	Font	536224,2	28814	15/4/03	C
MSB	Font Navina mitja	Font	536391,9	28717,5	26/8/03	
MSB	Navina	Font	536411,5	28722,1	19/8/02	C
MSB	riu Angonella	Riu	531998,1	34281,9	23/9/04	C
MSB	font Puntal	Font	535133,1	36233,7	29/10/02	C
MSB	riu Puntal	Riu	535130,07	36227,86	28/10/02	C
MSB	Font Canyar	Font	534579,3	34915,3	22/10/02	C
MSB	torrent -Abocador	Riu	533548,4	36546,5	novembre 91	
MSB	Lixiviats punt A		533397,5	36528,8	15/10/03	
MSB	Lixiviats punt B		533687,2	36315,3	15/10/03	
MSB	S0b cota 1706,6	Pou	533751,3	36407,84	14/10/03	
MSB	S0c cota 1707,3	Pou	533741,58	36408,49	14/10/03	
MSB	S1 cota 1709	Pou	533739,2	36428,36	14/10/03	
MSB	font Encodina	Font	533767,59	36395,7	estiu-tardor 03	
MSB	font Pleta	Font	531135,4	36374	16/7/03	C
MSB	font abarsetar	Font	531504,13	36063,74	27/8/03	
MSB	estany abarsetar	Estany	531336,36	35924,08	27/8/03	
MSB	torrent Arcalis	Riu	531110,8	36393,4	29/9/03	
MSB	font Coma	Font	529740,8	37309,5	25/6/03	C
MSB	Riu de Creussans	Riu	529764,4	37296,1	25/6/03	
MSB	Font cuiners f	Font	535963,50	36757,4	26/8/03	C
MSB	Font freda	Font	536343,36	37635	15/5/03	
MSB	Font torrent	Font	536338,77	37954	26/8/03	
MSB	Riu rialb	Riu	536061,15	36864	26/6/03	
MSB	riu Rialb	Riu	535582,63	36571,45	juliol-agost- setembre 04	
MSB	canaleta=riu tristaina		531170,00	37525	25/8/04	C
MSB	Fonts Encodina	Font	533780,30	36649,6	20/7/04	C
MSB	Can Teixidó	Font	532550	27650	30/4/98	C
MSB	Drens aparcament comunal	Drens	532525	27575	30/4/98	C
MSB	Font de les Canadilles 2	Font	532540	26775	30/4/98	C
MSB	Prat del molí	Font	532675	27489	10/9/04	C
MSB	torrent Gasopàs nord	Riu	550176	27661	17/6/02	C
MSB	font isards	Font	550120	25335	17/7/01	C
MSB	estany Abelletes	Estany	550419,3	25673,3	10/10/01	C
MSB	riu Feritxet nova	Riu	540375,4	25553	21/10/03	C
MSB	Font Orris	Font	542098,8	26532,4	17/6/02	C
MSB	riu Feritxet vella	Riu	540275	25615	17/6/02	C
MSB	Font de les Taules	Font	535968,1	28364,5	26/8/03	
MSB	Font Mallol	Font	535527,9	27748	26/8/03	
MSB	Era de mitges	Font	527000	19600	22/11/04	C
MSB	Font dels Carabiners	Font	526440,17	22670,7	22/11/04	C
MSB	Riu Ilinois	Riu	526770,6	21540,1	15/11/04	C
MSB	Fontaneda, riu	Riu	527885	17440	15/11/04	C
MSB	pou Coma de Ransol (riu ransol)	Riu	542785	34290	30/5/01	C
MSB	Pou bordes d'envallira (riu Massat)	Riu	546816,7	28921,8	24/8/04	C
MSB	Riu Massat	Riu	547000	29149	24/8/04	C



MSB	fonts Conxa	Font	542870	34350	3/11/04	C
MSB	riu Ransol	Riu	542640	34967	3/11/04	C
MSB	Caves manacor	Font	542620	31210	24/10/05	C
MSB	Font Entalàs	Font	542473,3	26866,7	17/6/02	C
MSB	Font cantina Racons	Font	538700	29540	22/12/04	C
MSB	Forn de Canillo. Fonts	Font	540565	28520	12/8/03	C
MSB	torrent Pla de Llúcia	Riu	539650	28770	15/10/03	C
MSB	Forn pou	Pou	540580	28540	28/9/04	C
MSB	Fontanals de les roques	Font	528453,9	26132,3	22/11/04	C
H	Coll botella	Riu	526350,67	27737,34	4/1/05	C
H	Riu Valira Orient	Riu	536374,5	25315,1	6/9/06	
MSB	Riu Valira Orient	Riu	535884,6	24711,5	6/9/06	
C	Font Pui	Font	529049,2	17991,51	11/7/06	
C	Font Reinetes	Font	546281,7	33763,5	12/7/06	
C	Pou termal Incles	Pou	544882,2	32039,9	12/7/06	C
C	Font dels Capellans	Font	542647,5	33814,3	12/7/06	
C	Font de Ferro-Font Blanca	Font	538328,1	32366,4	12/7/06	C
C	Font Bordes Montaup	Font	538498,7	31173,7	12/7/06	C
C	Font Port de Cabús	Font	526236	29208	13/7/06	
C	Font del Bisbe	Font	527725,4	27231,4	13/7/06	
C	Font de la Pleta	Font	531135,40	36374	11/7/06	C
C	Font del Castellà	Font	535335,71	26534,02	13/7/06	
C	Font termal Roc del metge	Font	534847	23565,6	13/7/06	
C	Torrent Puntal	Riu	535425,90	36547,6	11/7/06	
C	Font mina Llorts	Font	534020,3	33657,9	11/7/06	
C	Font Sornàs	Font	533662,8	30017,4	11/7/06	
C	Font Còms	Font	526752,17	17819,55	13/7/06	C
C	Font Gasopàs	Font	550018,3	27584,7	12/7/03	
C	Torrent Bordes Envalira	Riu	546051	29654,1	Juliol 2006	
C	Font Incles	Font	545202,6	32648,6	12/7/06	
MMA	font fontaneda	Font	528144,86	17520,58		C
MMA	riu Pui A-riu Negre	Riu	529043,49	17920,98		C (ramader)
MMA	riu Pui B-riu Pedrós	Riu	529068,22	17926,99		C (ramader)
MSB	pou espiolets	Pou	544440,2	29468,5		C
MSB	Font 2 Espiolets	Font	544240	29475		C
MSB	Font 3 Espiolets	Font	544241	29491		C
MSB	Riu ribaescorxada	Riu	543123,8	29244,3		C
MSB	Font 1 Ribaescorxada	Font	543726	28998		C
MSB	Font 2 Ribaescorxada	Font	543697	28942		C
MSB	Font 3 Ribaescorxada	Font	543525	28934		C
MSB	Font 1 Espiolets	Font	544343	29329		C
H	font Artic	Font	530371,4	20206,9	3/9/06	C
H	font Fornell	Font	531243,9	16598,4	7/9/06	
H	torrent Serrat	Riu	534516,1	34754,93	4/9/06	
H	font Esclops	Font	528549	15930	9/7/06	

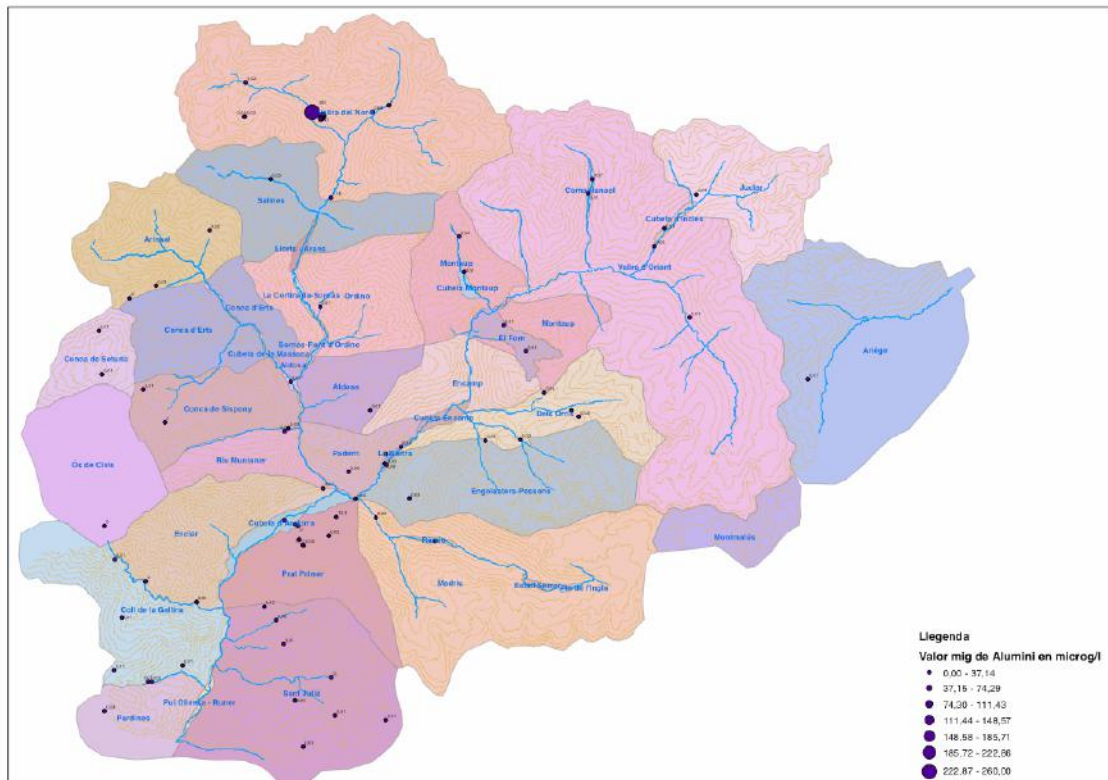
Taula 61. Punts d'aigua amb anàlisis químiques, incloses captacions



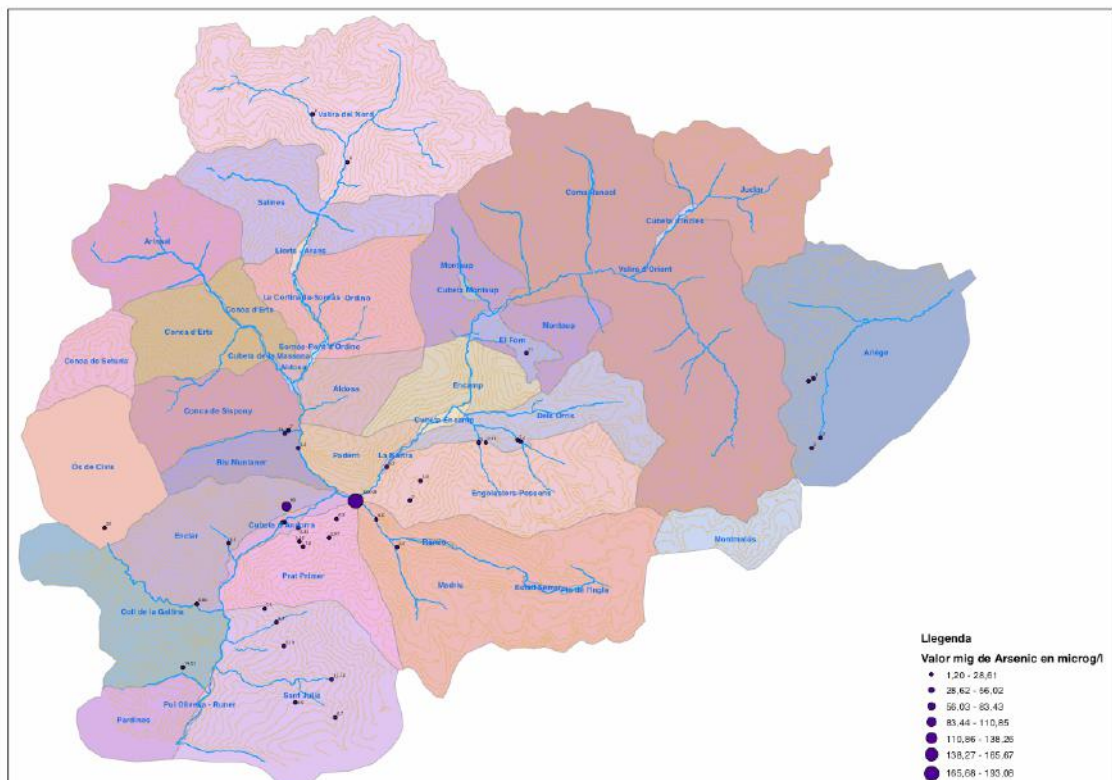
12 ANNEX DE FIGURES



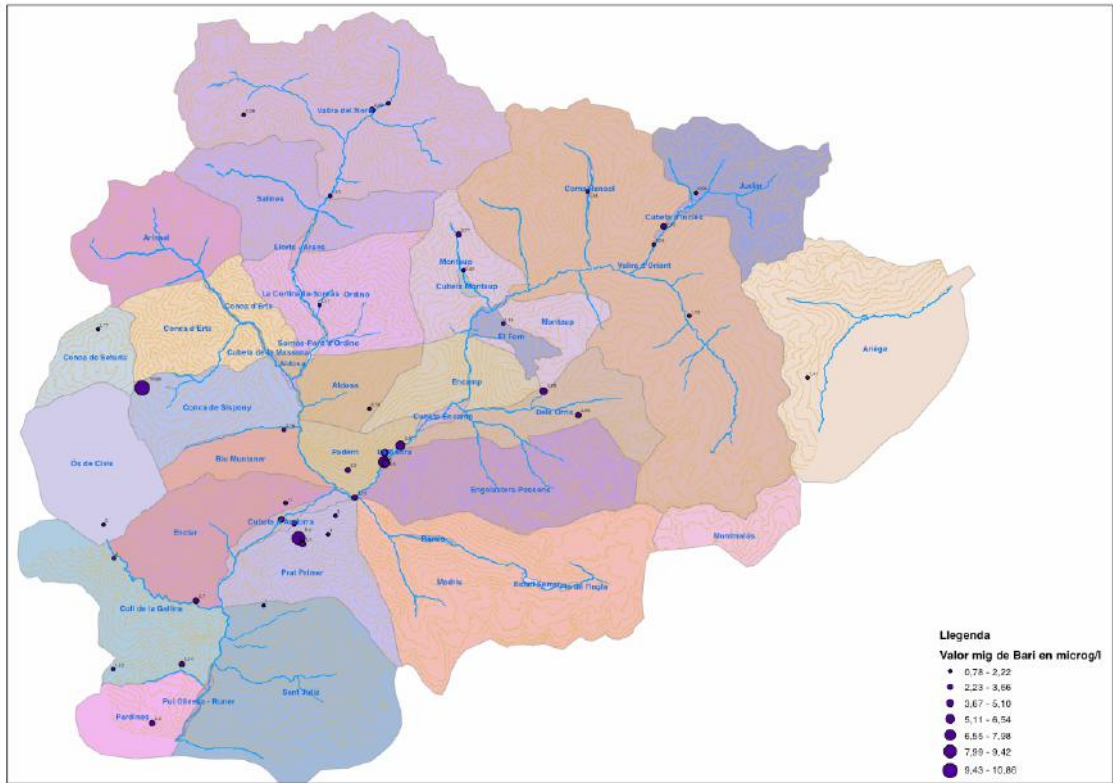
12.1 Mapa de l'alumini



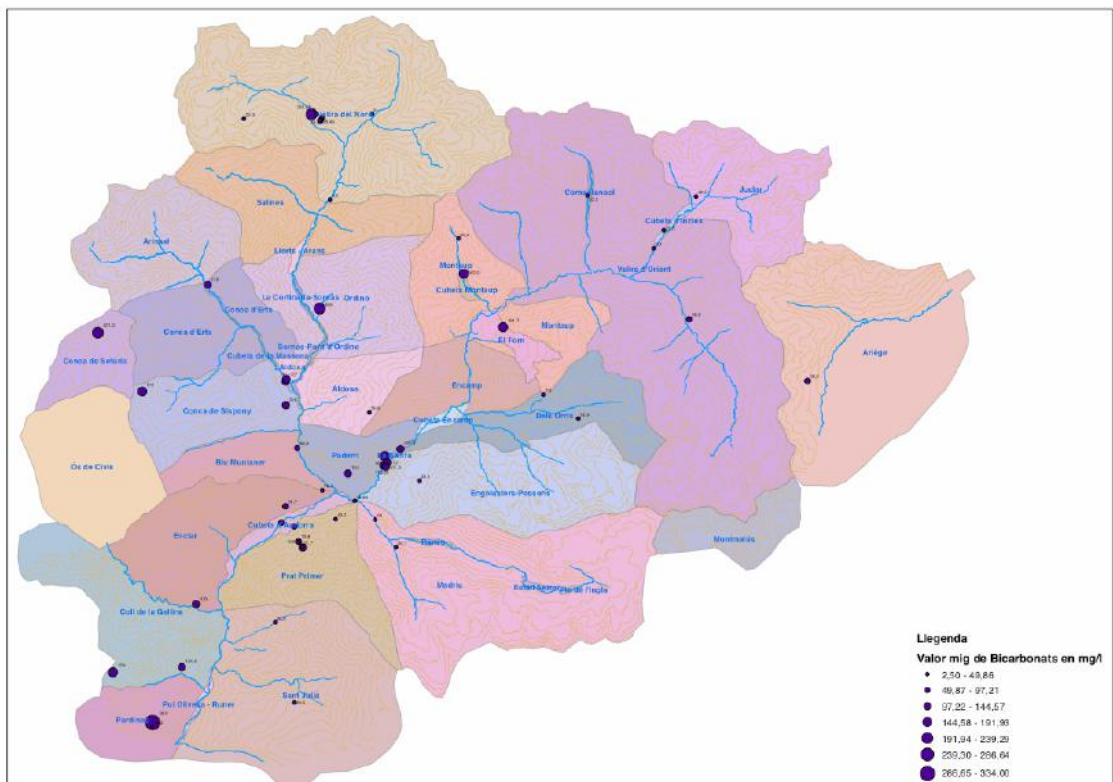
12.2 Mapa de l'arsenic



12.3 Mapa del bari

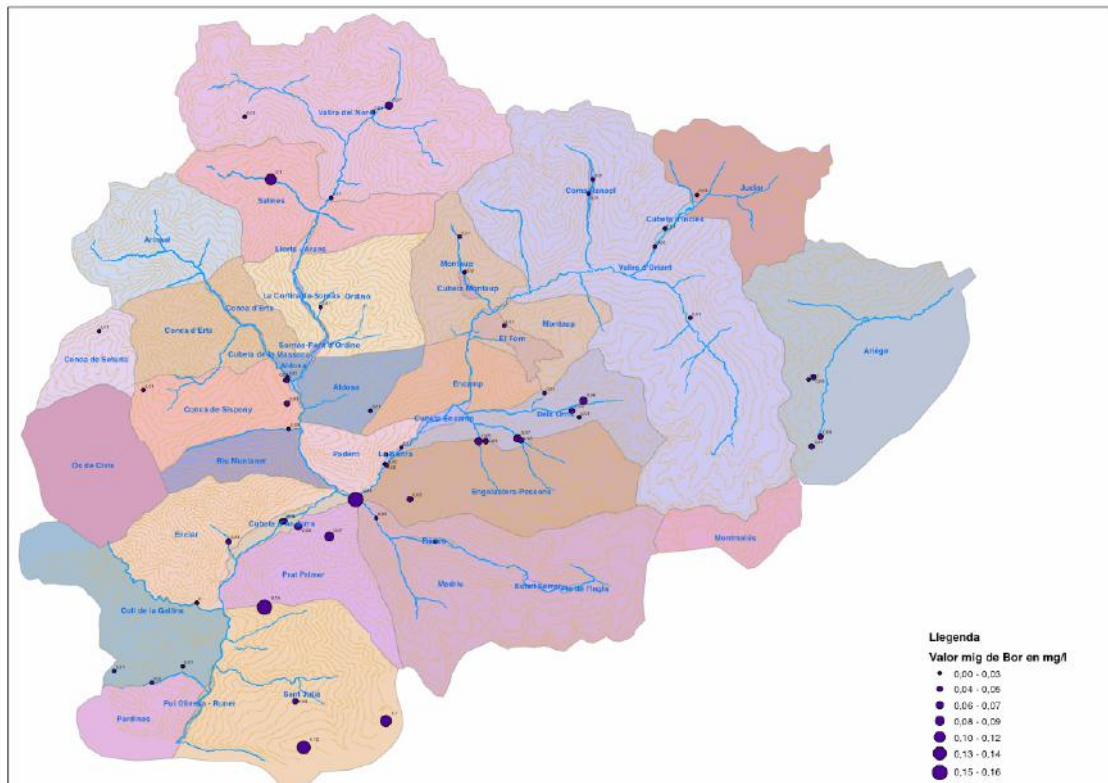


12.4 Mapa dels bicarbonats

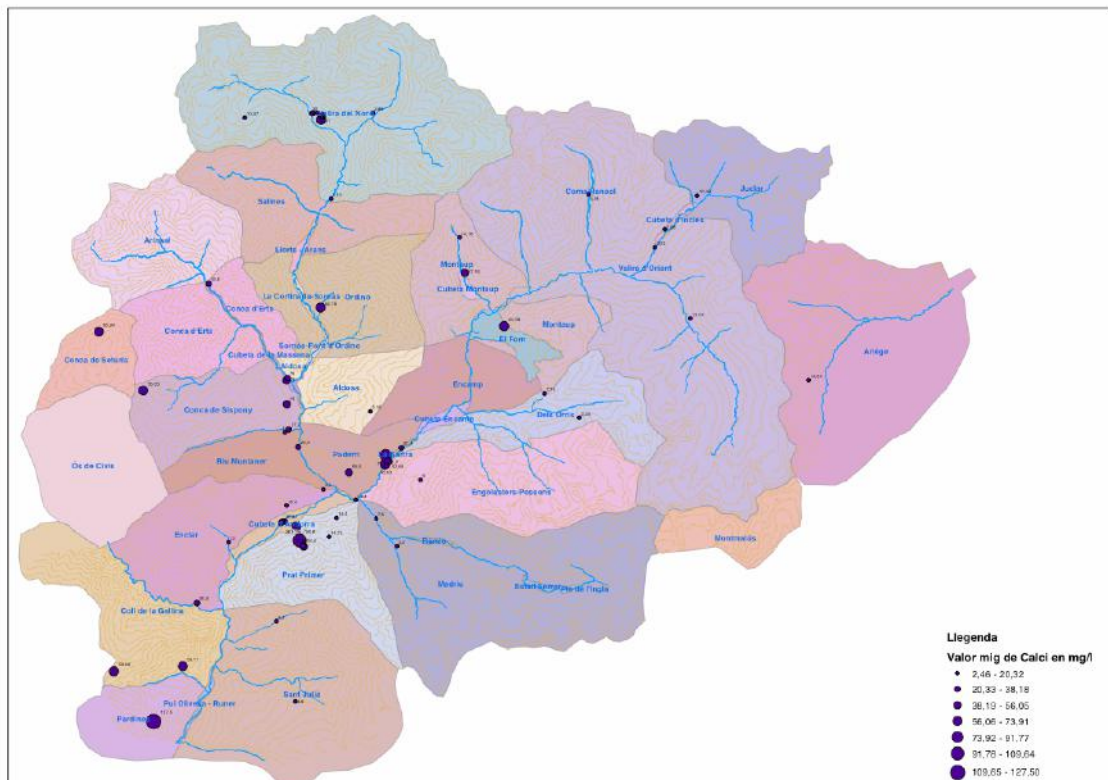




12.5 Mapa del bor

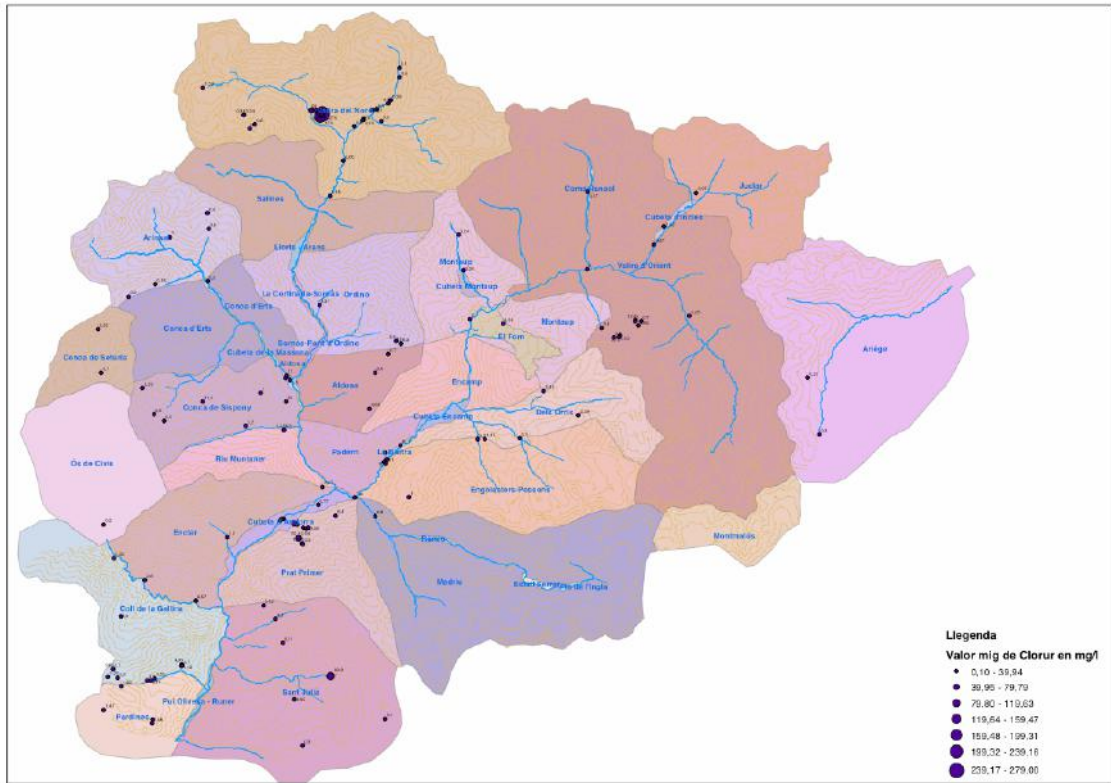


12.6 Mapa del calci

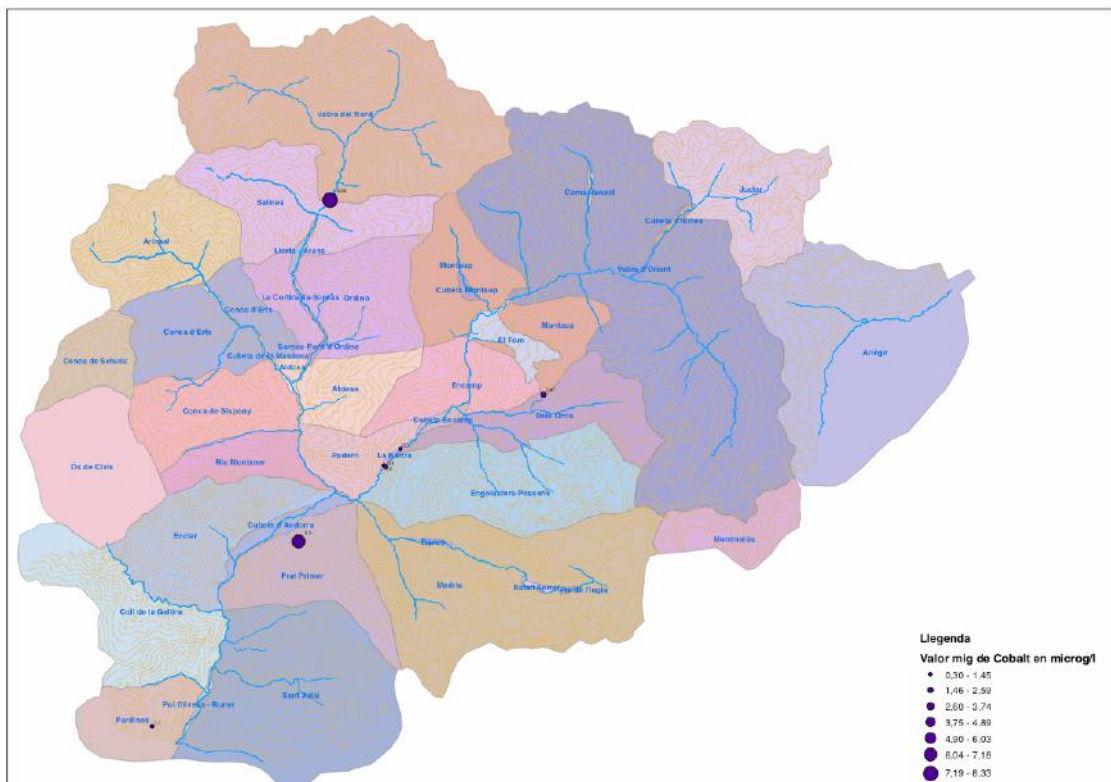




12.7 Mapa dels clorurs

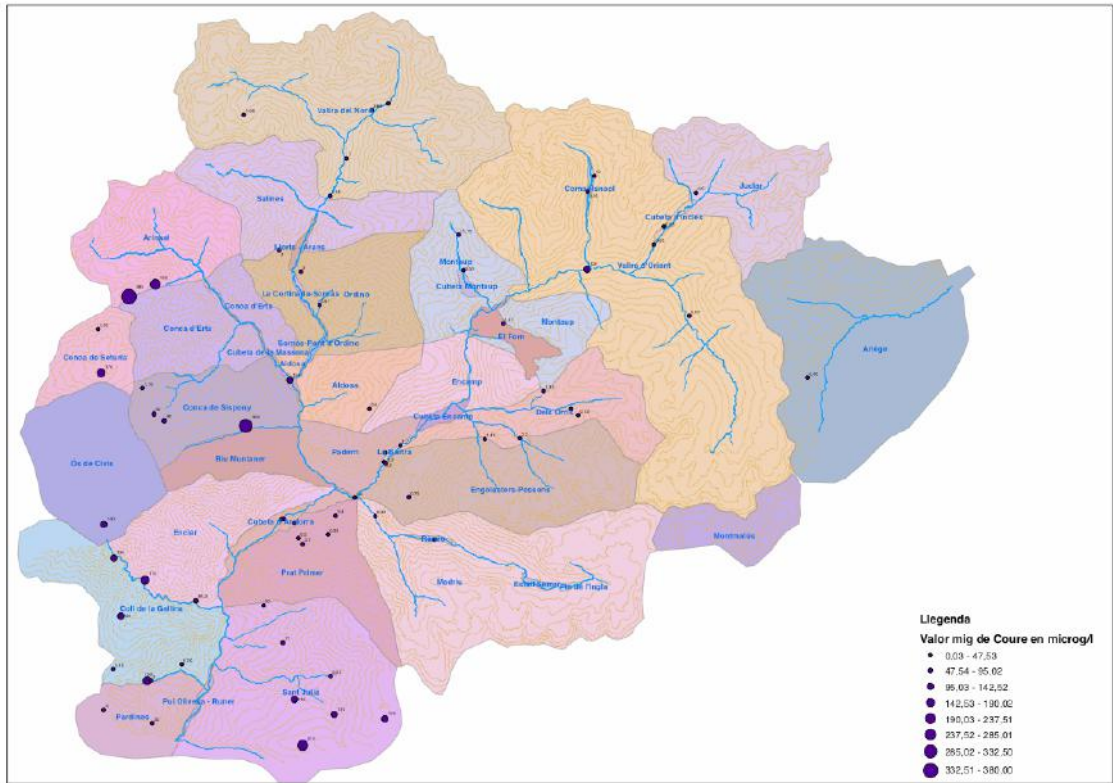


12.8 Mapa del cobalt

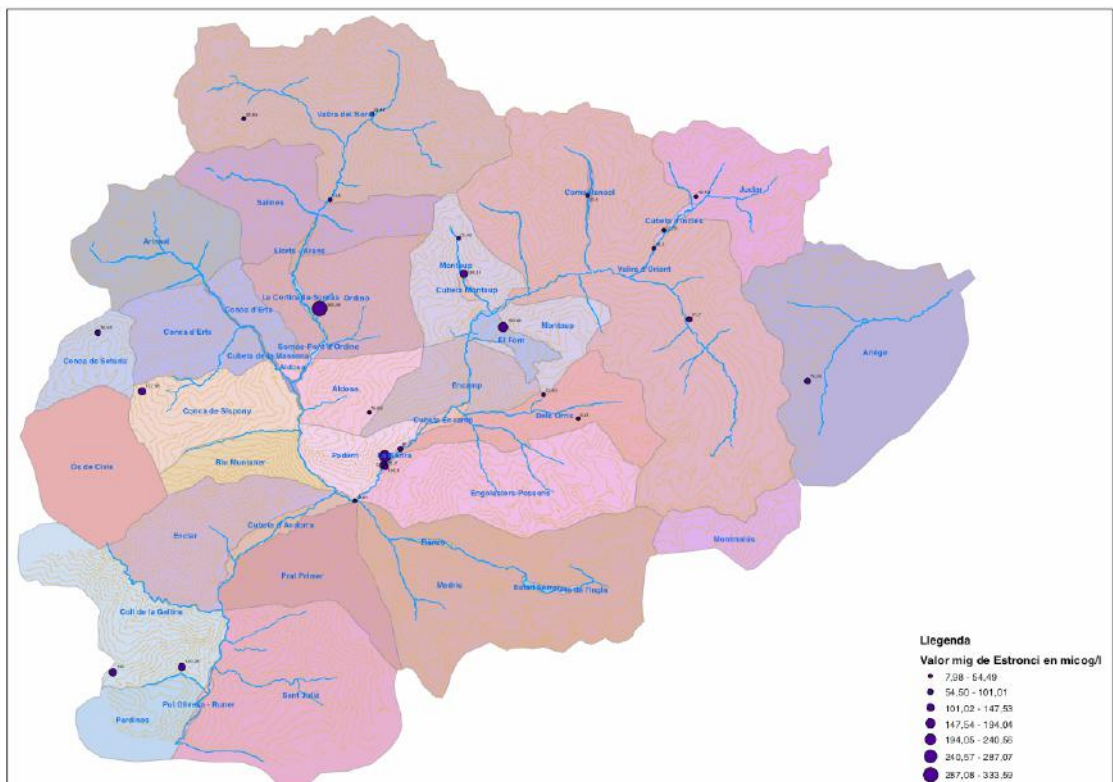




12.9 Mapa del coure

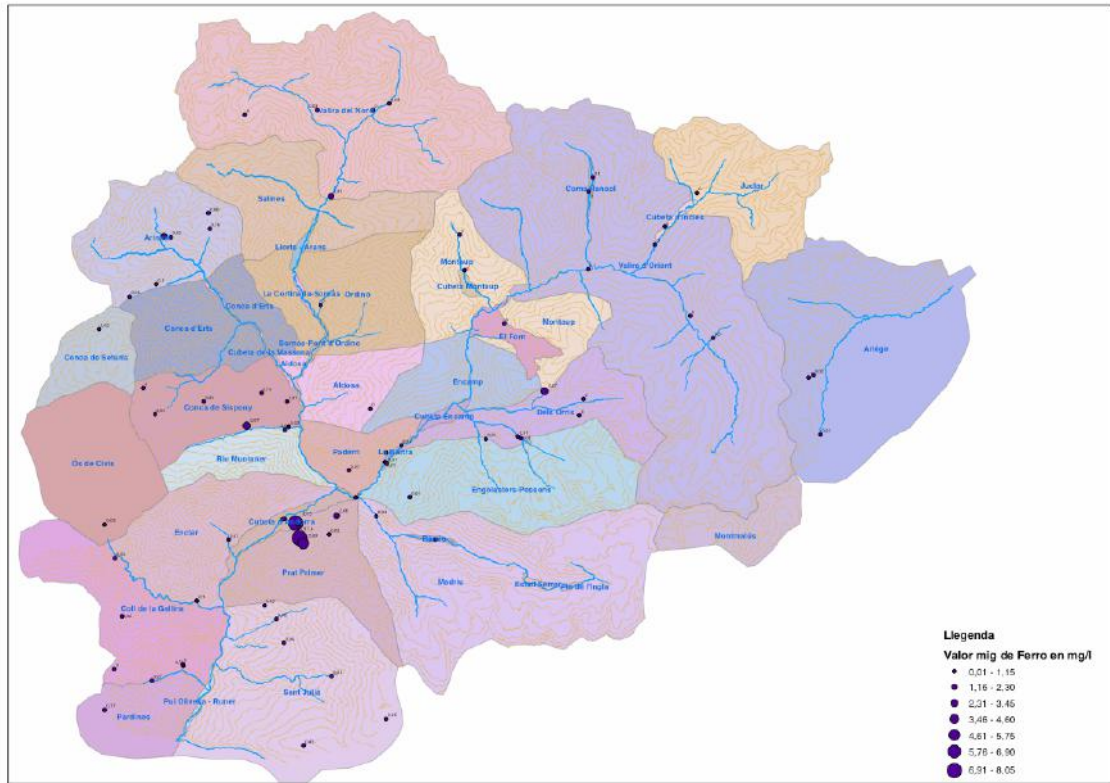


12.10 Mapa de l'estronci

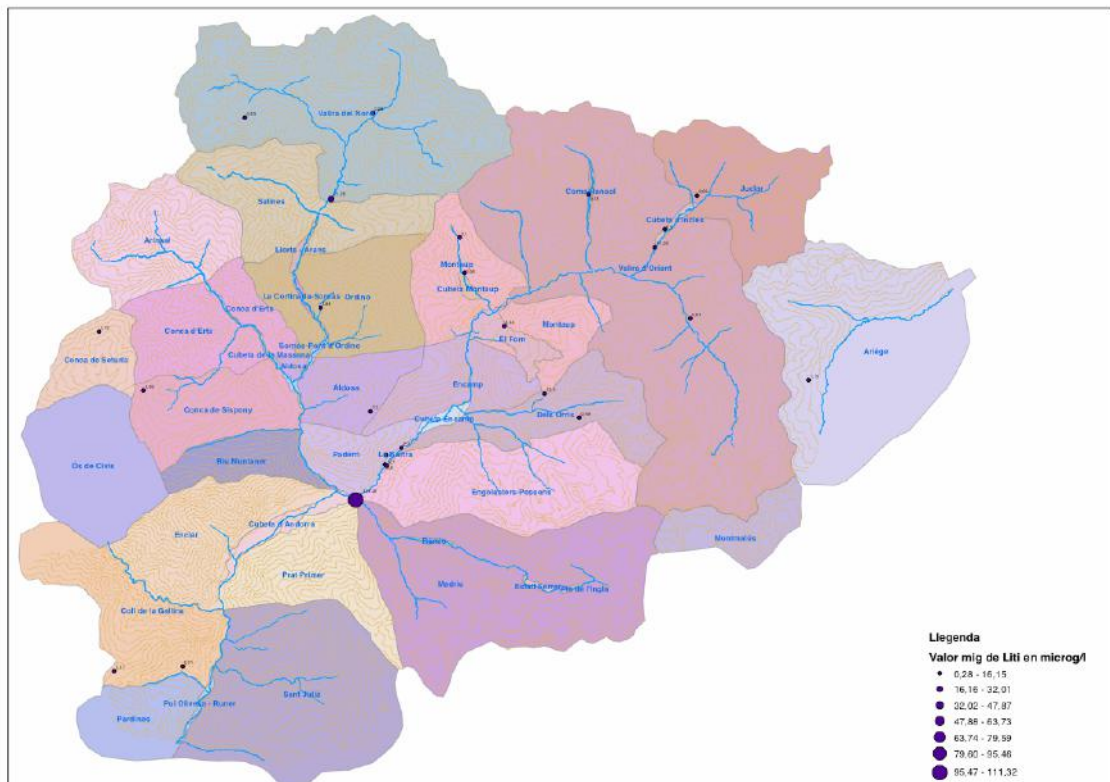




12.11 Mapa del ferro

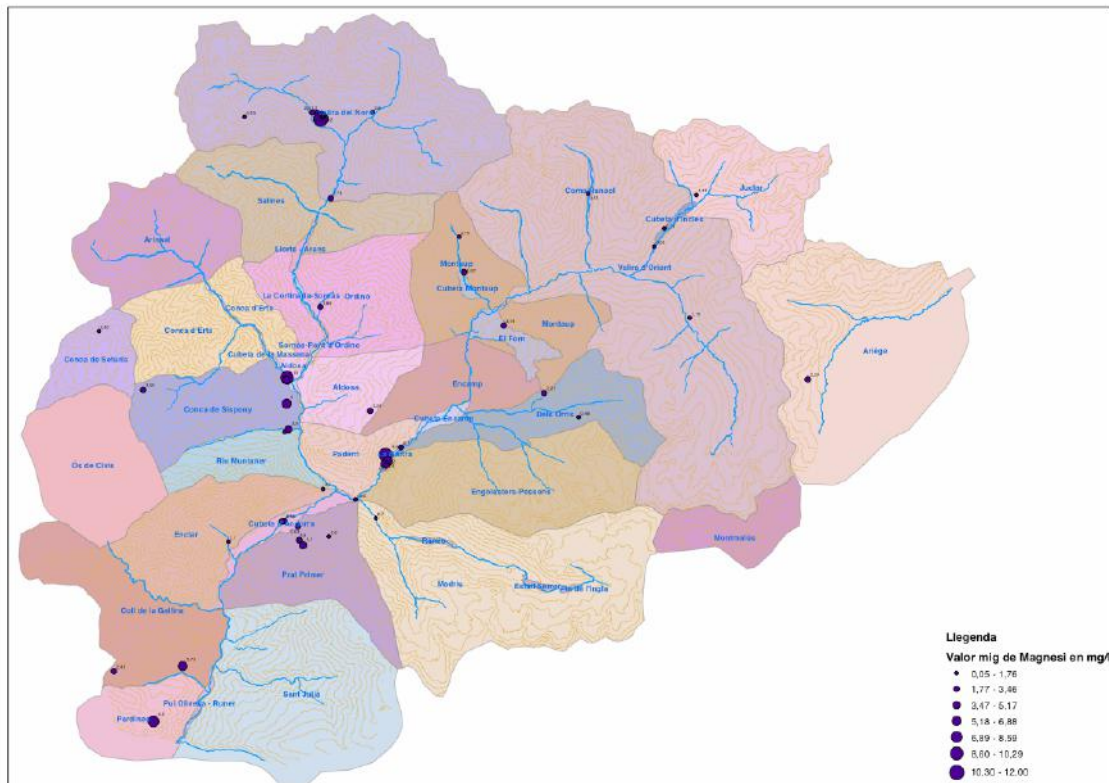


12.12 Mapa del liti

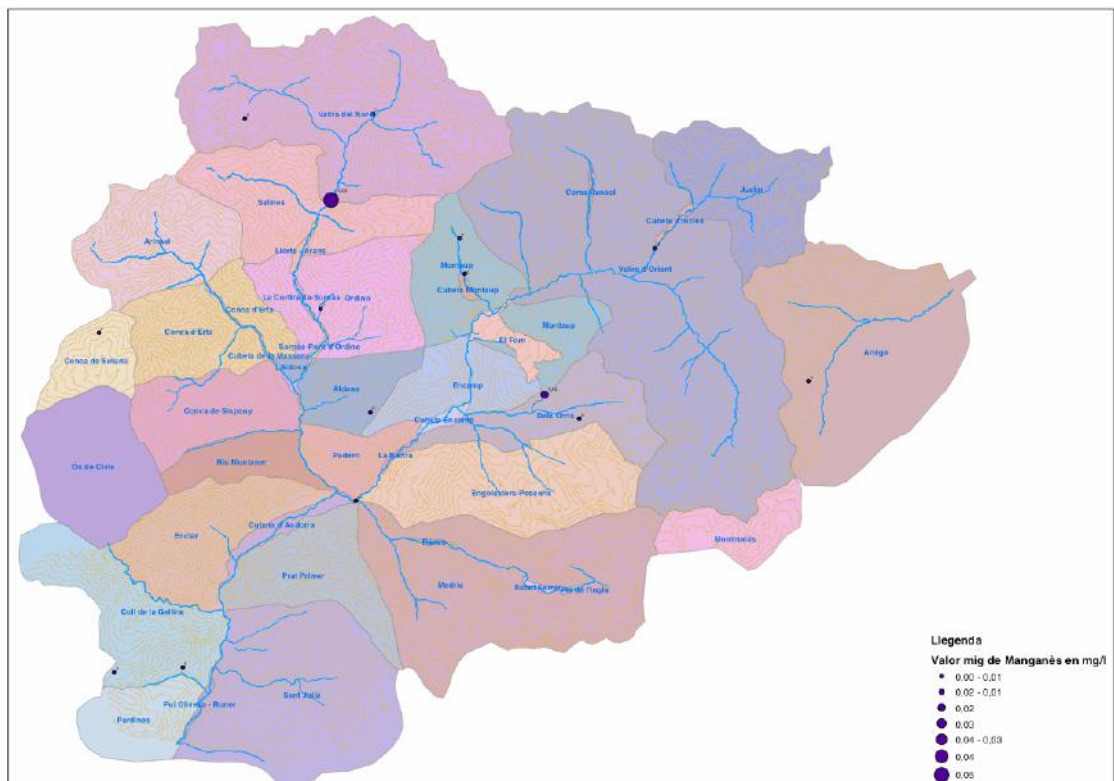




12.13 Mapa del magnesi

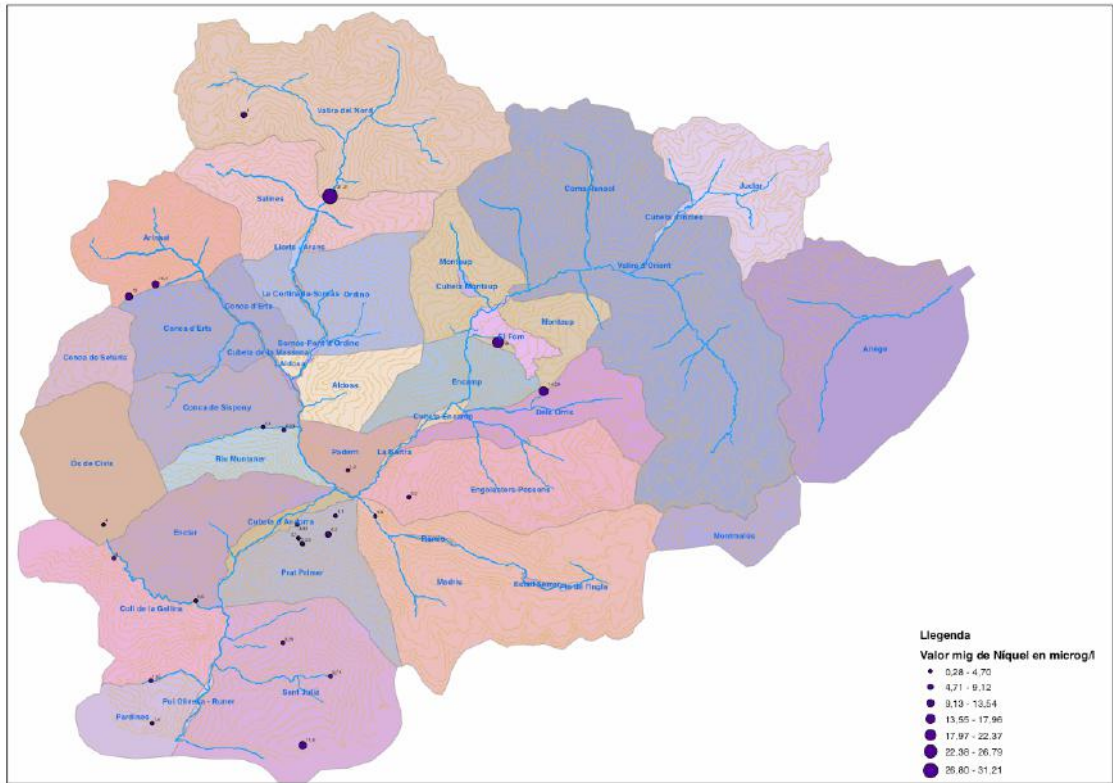


12.14 Mapa del manganès

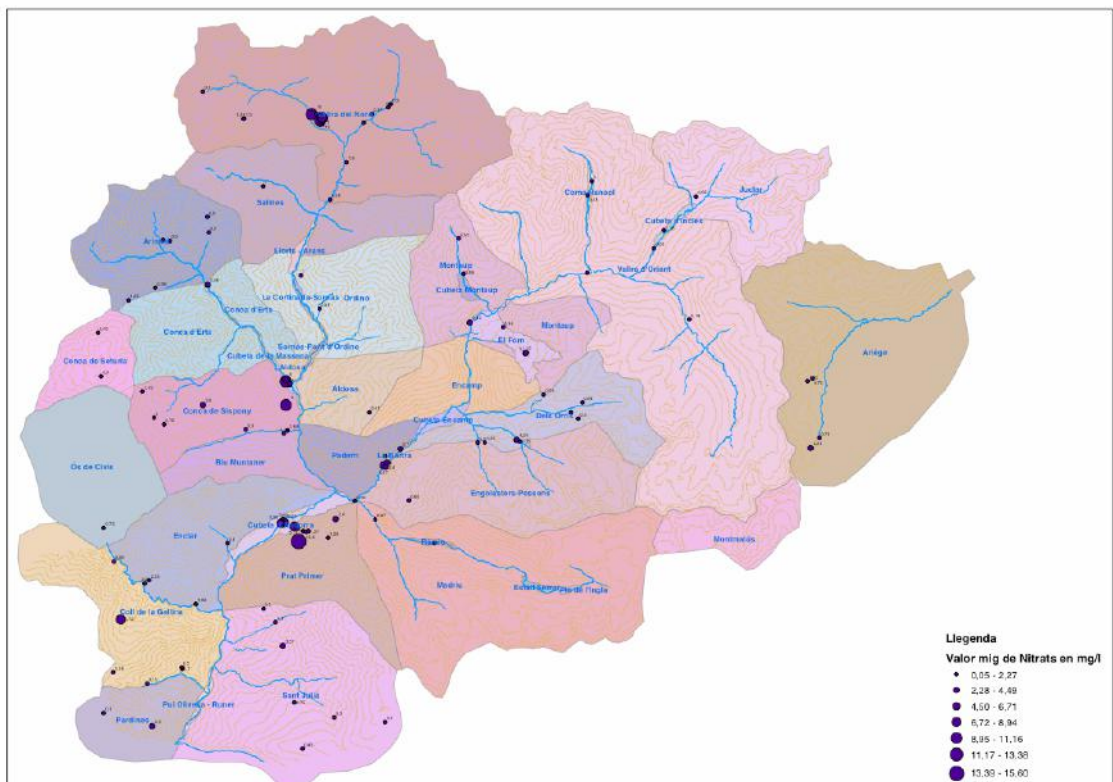




12.15 Mapa del níquel

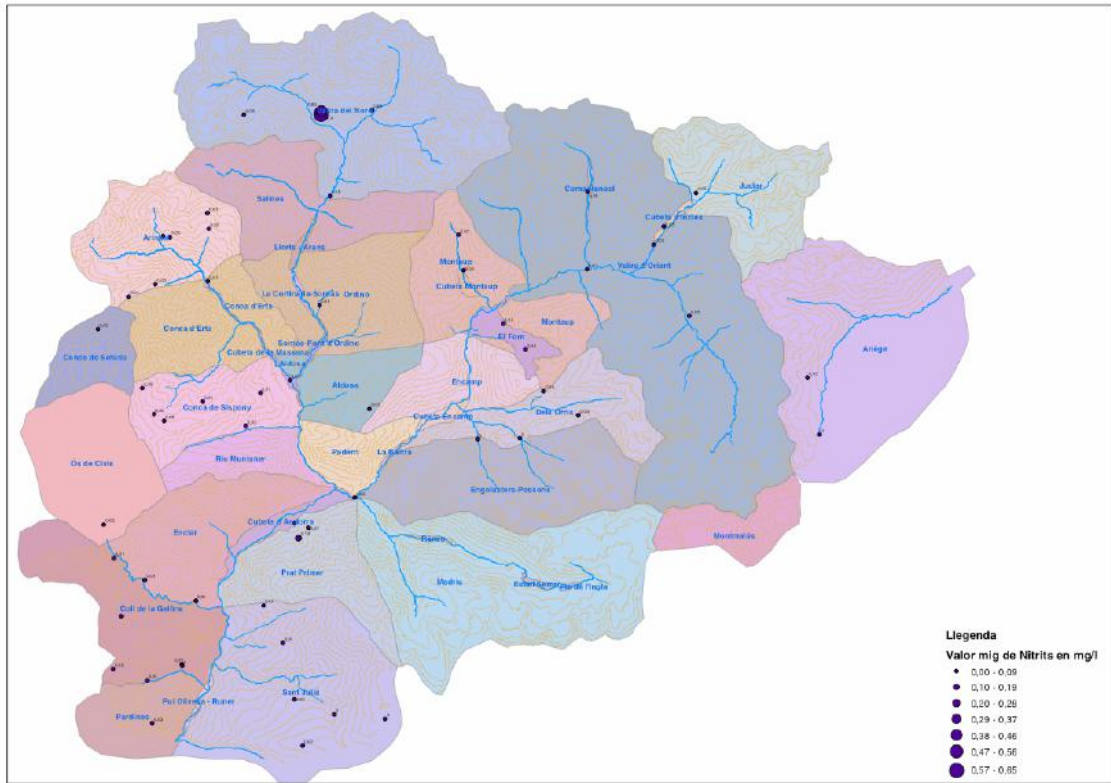


12.16 Mapa de nitrats

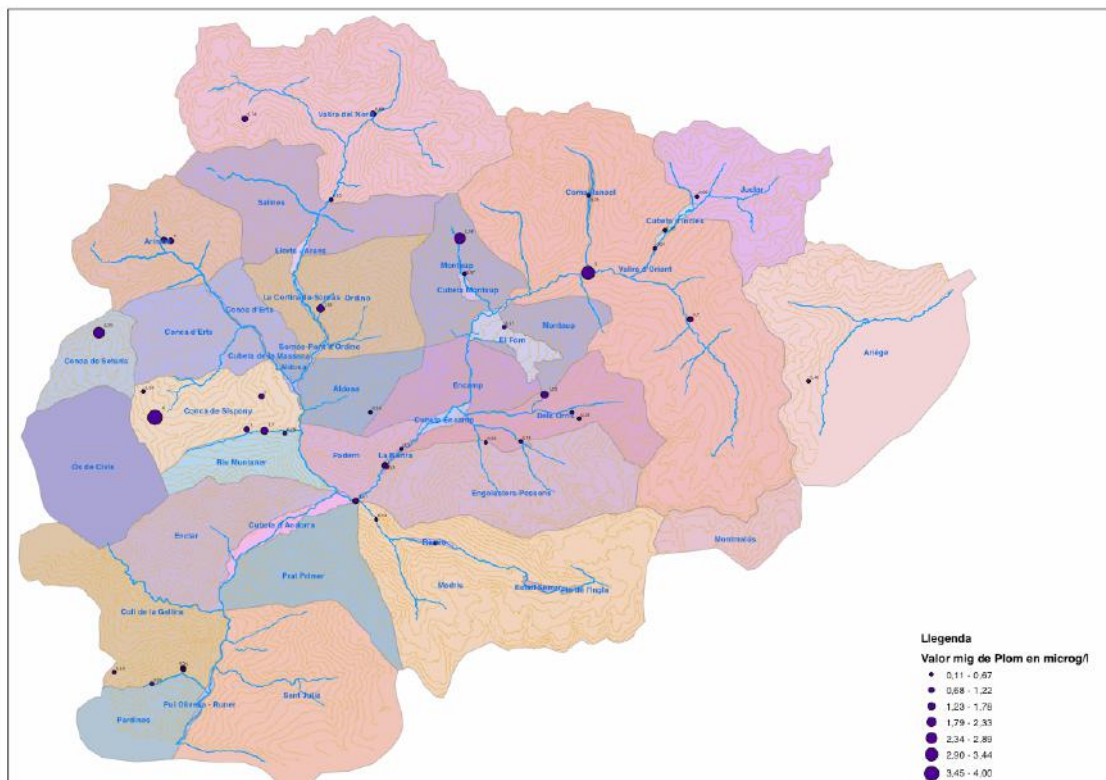




12.17 Mapa de nitrats

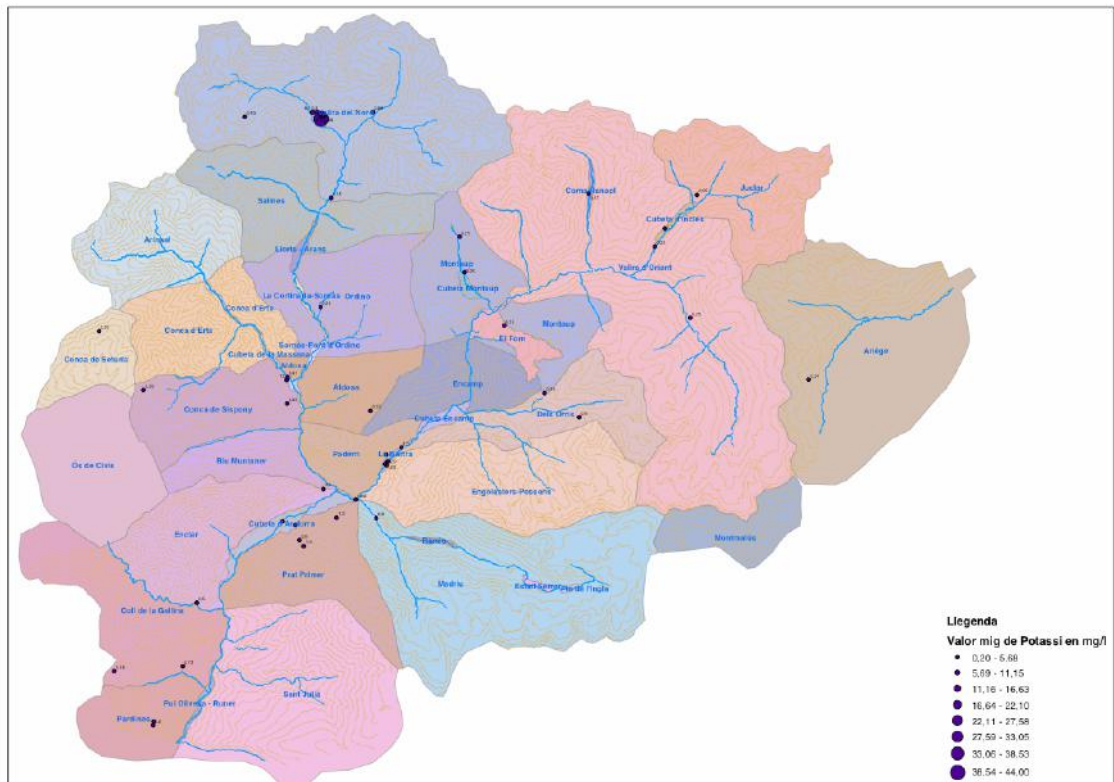


12.18 Mapa del plom

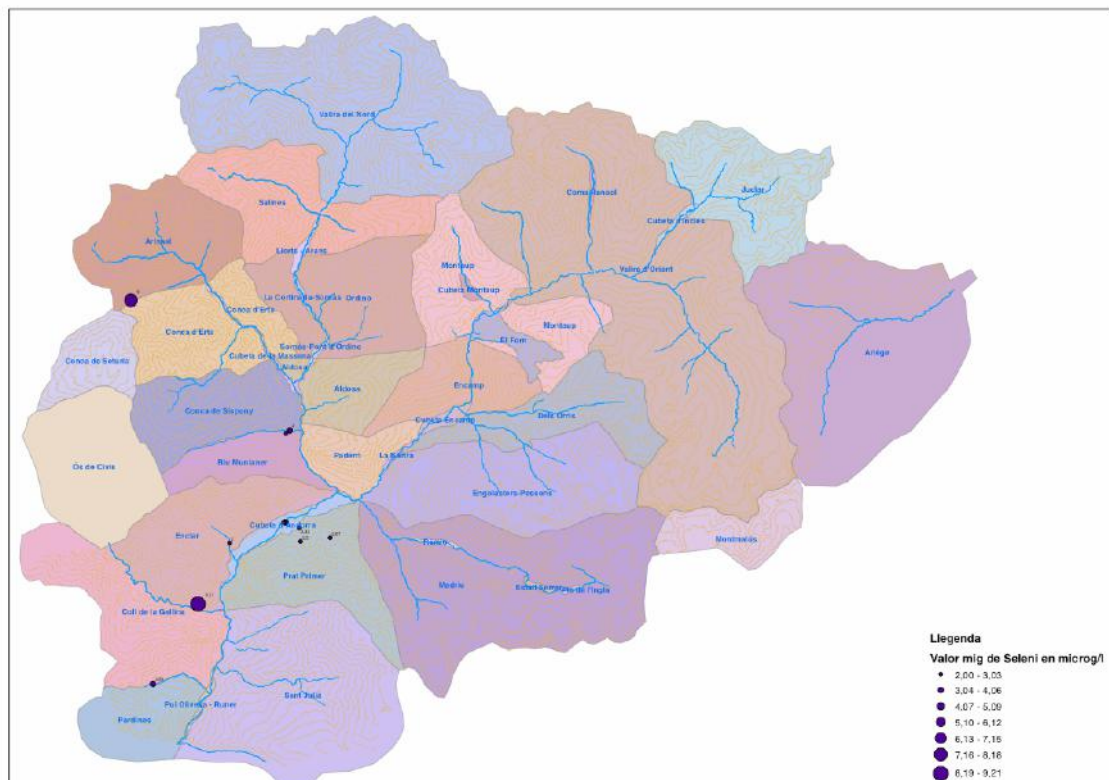




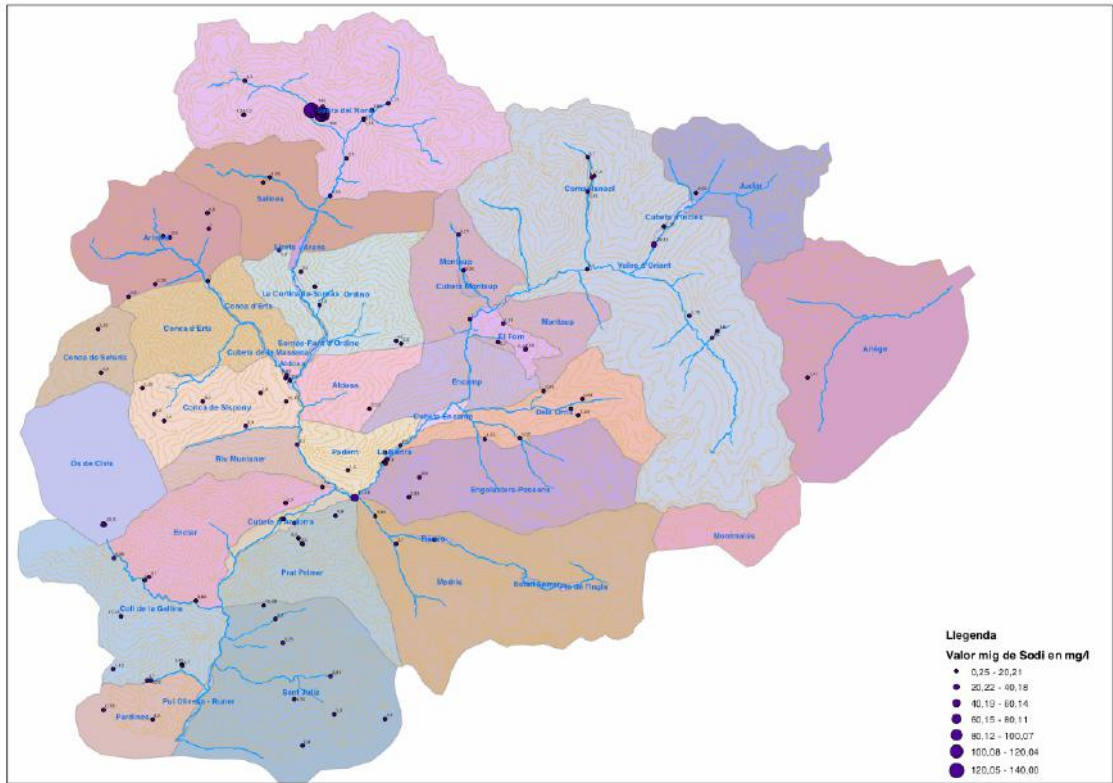
12.19 Mapa del potassi



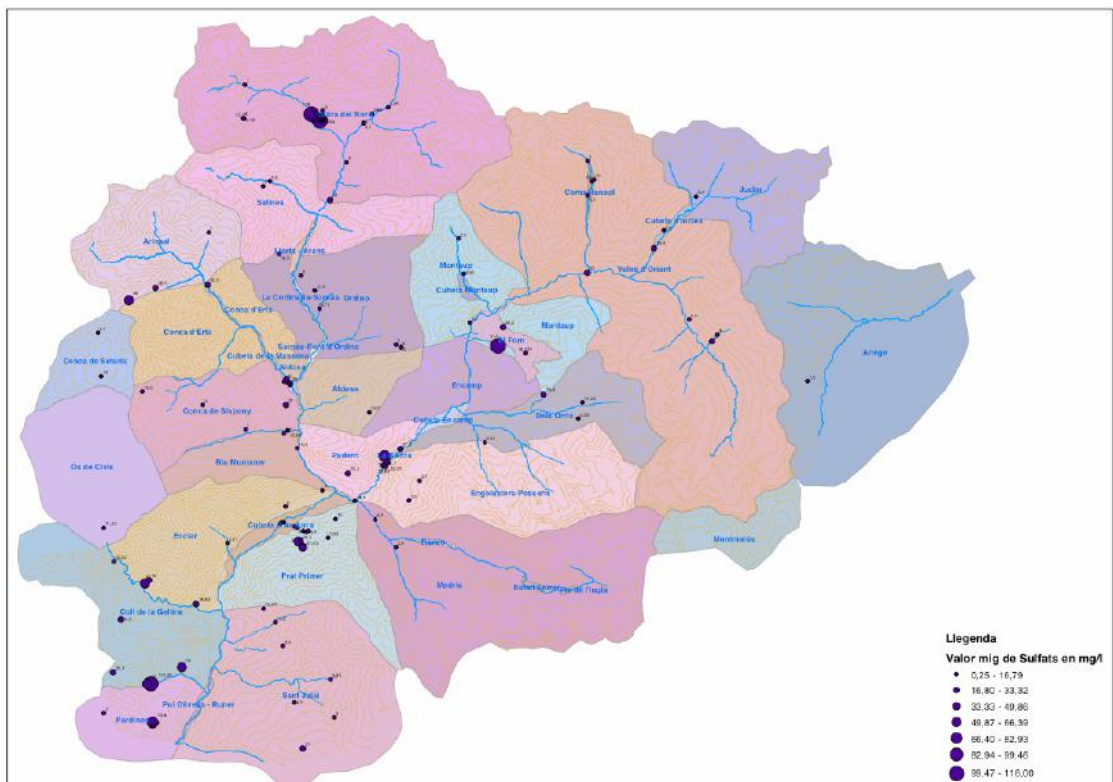
12.20 Mapa del seleni



12.21 Mapa del sodi



12.22 Mapa dels sulfats





12.23 Mapa del zinc

