



GAO-003/12

Juliol de 2012

Continguts

1	Antecedents	2
2	Característiques del medi	4
3	Reconeixement in situ del fenomen	6
4	Treballs realitzats	7
4.1	Caracterització química dels materials geològics	7
4.2	Caracterització química de les aigües	9
5	Discussió: La composició de les pàtines, el seu procés de formació i implicacions ambientals	11
6	Recomanacions	16
7	Referències	17

Annexos:

Annex 1: Documentació cartogràfica i altres gràfics

Annex 2: Caracterització geoquímica

Annex 3: Caracterització hidroquímica

1 Antecedents

L'Institut Geològic de Catalunya (IGC) ha estat encarregat d'investigar la composició i l'origen d'uns materials que formen unes taques blanques observades a l'àrea del riu de Baiau i a la capçalera de la Noguera de la Vall Ferrera (Parc Natural de l'Alt Pirineu, Pallars Sobirà).

Segons els guardes del Parc Natural de l'Alt Pirineu i veïns d'Àreu, aquestes taques blanques es van detectar aproximadament l'any 2005 i posteriorment, s'han estès al llarg del llit de la Noguera de Vallferrera fins al Pla de Boet.

Anteriorment, l'Associació de Pesca de la Vall Ferrera i l'EMD d'Àreu, presenten conjuntament una instància a l'Oficina Comarcal de Medi Ambient del Pallars Sobirà, que la deriva a l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA). En aquesta instància se sol·licita la realització d'una presa de mostres i anàlisis d'aquests materials per tal d'avaluar els seus efectes a la Noguera de Vallferrera.

L'ACA realitza una inspecció del medi (ACA, 2010) i analitza l'aigua i les taques blanques. Els resultats de les anàlisis posen de manifest que l'aigua té un pH àcid i una concentració elevada d'Alumini i Níquel. Els resultats analítics de les taques blanques són concloents.

En aquest context, l'IGC inicia els treballs de caracterització del fenomen el mes de setembre del 2011. Es realitza una primera campanya de reconeixement de camp, que ve succeïda per una campanya de mostreig d'aigües i materials geològics. Els resultats obtinguts se sintetitzen en dos informes de seguiment titulats:

1) Caracterització hidroquímica de les aigües superficials i caracterització geoquímica regional a la capçalera del riu Noguera de Vallferrera (Circ de Baiau-Pla de Boet) finalitzat el novembre del 2011 (IGC, 2011).

2) Caracterització geoquímica dels materials geològics de la zona de capçalera del riu Noguera de Vallferrera (Circ de Baiau-Pla de Boet) finalitzat el juny del 2012 (IGC, 2012). En aquests dos informes de seguiment les dades obtingudes. En el present informe s'aprofundeix en els resultats d'aquests dos informes precedents i es discuteixen les composicions, els processos i els efectes associats de les pàtines blanques de la capçalera de la Noguera de Vallferrera.

Aquest darrer informe que es presenta inclou uns apartats preliminars referents a les característiques del medi físic de l'àmbit de treball, el reconeixement in situ del fenomen objecte d'estudi i les accions realitzades (anàlisi química d'aigües i de materials geològics) per caracteritzar-lo. Un cop exposades les interpretacions sobre les composicions, processos i efectes relacionats amb les pàtines blanques, es presenten unes recomanacions a emprendre, enfocades a millorar el coneixement del fenomen i les seves implicacions en el medi. El text principal de l'informe es recolza en tres annexes referents a la documentació cartogràfica i altres gràfiques representatives, les metodologies i resultats de les caracteritzacions geoquímiques i hidroquímiques.

2 Característiques del medi

L'àrea on es realitza l'estudi ocupa aproximadament 40 km² dins la vall de la Noguera de Vallferrera, des del circ de Baiau fins a la zona del Pont de la Farga (vegeu Mapes 1, 2, 3 i 4, i Làmina 1 de l'Annex 1). La zona se situa al Pirineu axial, entre la cota 3.143 m (Pica d'Estats) fins a 1.450 m (el Pont de la Farga). El relleu és de tipus glacial, el qual s'identifica per les valls en forma d'U i les cubetes de sobreexcavació glacial.

Els cursos d'aigua més importants són el riu principal que s'anomena la Noguera de Vallferrera-Barranc d'Arcalís-Riu de Baiau (a partir d'aquí l'anomenem Noguera de Vallferrera), el Barranc d'Aixeus, situat al marge esquerre i els Barrancs del Port Vell, Areste i Sotllo, que se situen al marge dret. Cal destacar també, la presència de llacs alpins d'una superfície màxima de 0.1 km² i situats a cotes entre 2.340 i 2.485. Els més importants són els de Baiau, Port Vell, Areste, Sotllo, Fondo, Baborte, Aixeus i Escorbes.

La climatologia de la zona està molt condicionada per l'orografia. En general és de tipus Mediterrani Pirinenc Occidental. La precipitació mitjana anual oscil·la al voltant dels 1000 mm. L'hivern és l'estació més seca, la resta de l'any generalment la precipitació supera els 50 mm mensuals. Pel que fa a la temperatura, els hiverns són freds i, els estius són suaus a les zones baixes i frescos a l'alta muntanya.

A conseqüència, també, de la variabilitat altimètrica la zona presenta una gran diversitat d'ambients naturals. A les parts baixes, fins aproximadament 2.250 metres, domina el pi negre (*Pinus uncinata*) amb sotabosc de neret (*Rhododendron ferrugineum*) i acompanyat per bedolls (*Betula pendula* i *Betula pubescens*), moixeres de guilla (*Sorbus aucuparia*), trèmols (*Populus tremula*) i avets (*Abies alba*). També abunden els matollars de bàlec (*Genista balansae*) a les solanes i els prats subalpins de pel caní (*Nardus stricta*) i molleres àcides en les antigues cubetes de sobreexcavació glacial (p.e. Pla de Boet). Cal destacar la presència a la zona del riu de Baiau d'una població de *Salix lapponum*, un salze arbustiu de petit tamany, típic de la tundra àrtica i molt rar al Pirineu. Per damunt, progressivament, la densitat d'arbrat disminueix, arribant a definir-se un ambient de prat alpi amb nombrosos afloraments rocosos i algunes zones de matollar subalpi dominat pel neret. A partir d'uns 2.400 metres d'altitud la coberta vegetal és només de prat alpi acidòfil, majoritàriament de gespet (*Festuca eskia*) i *Festuca airoides*, i d'espècies herbàcies típiques dels hàbitats de tartera i roquissars silícis.

Des d'un punt de vista geològic, el subsòl de l'àrea d'estudi està constituït per roques que es troben heterogèniament cobertes per sediments quaternaris. El substrat rocós està constituït fonamentalment per pelites pissarroses que en base al context geològic regional pertanyen al Cambroordovicià, algunes d'elles poden ser del Proterozoic. Al marge de les pelites, el substrat geològic que constitueix la zona d'estudi, inclou nivells de poca entitat de roques carbonàtiques, pissarres negres, riolitoids, metagresos i quarzites. El conjunt d'aquests materials es troben intensament deformats per estructures hercinianes (bàsicament plecs) i presenten associacions minerals associades a un metamorfisme regional hercinià de baix grau. Aquesta associació de roques defineixen una sèrie que aflora de forma extensa en el conjunt del Pirineu Axial. Cal destacar que la sèrie inclou dominis rics en Ferro i altres metalls, que al llarg de la història han estat explotats en diferents punts de l'àrea de la Noguera de Vallferrera. Els sediments quaternaris inclouen dipòsits morrènics, dipòsits de vessant i dipòsits de llera de riu. Els dipòsits morrènics, associats al desgel, cobreixen una bona part de les parts altes de les valls principals, sovint dificultant la circulació de l'aigua i afavorint la formació de llacs. Els dipòsits de vessant a les parts altes es corresponen a tarteres amb poca matriu fina i, a les zones boscoses més baixes, es corresponen a col·luvions heteromètrics i mal classificats entapissant el relleu. Els dipòsits de llera són de poca entitat, s'intercalen entre el substrat rocós i estan constituïts fonamentalment de còdols arrodonits.

Des del punt de vista hidrogeològic els sediments quaternaris es corresponen a uns materials porosos i permeables; en canvi, les roques del substrat són de matriu impermeable. Tot i així, s'ha de destacar que en superfície el substrat rocós presenta discontinuïtats i estructures de meteorització que li confereixen una porositat secundària que conseqüentment, els hi confereix la capacitat d'emmagatzemar i transmetre aigua.

Les aigües de la conca defineixen un sistema estacional que s'estructura en tres períodes: i) a finals de la tardor i durant l'hivern s'acumula neu; ii) a la primavera fins a principis d'estiu es fon la neu i l'aigua es drena cap el curs principal de forma ràpida i en menor mesura s'infiltra en el subsòl i; iii) finalment durant l'estiu i part de la tardor el drenatge del subsòl és la font principal d'aigua del riu, sempre i quan no hi hagi pluges significatives. En aquest context, el règim hídric dels llacs té unes característiques particulars, que retarden el flux global i en conseqüència, poden modificar la composició de les aigües.

3 Reconeixement in situ del fenomen

Basant-se en els antecedents i en les característiques del medi descrits anteriorment, durant el setembre de 2011 l'IGC ha reconegut in situ la problemàtica. A partir del treball de camp s'ha pogut realitzar una caracterització a visu de les taques blanques i el seu entorn.

Les taques blanques es distribueixen al llarg d'un tram de la llera del curs de la Noguera de Vallferrera (vegeu fotografia A de la làmina 2 de l'Annex 1). Apareixen visualment de forma destacada a la confluència dels cursos d'aigua procedents de les subconques del Circ de Baiau, l'Estanyet de Baiau, l'Estanyet de Baiau II i Escorbes II. Aigües avall, les pàtines continuen fins passat el Pla de Boet. A la confluència amb el riu Areste no s'han observat, i aigües avall les observacions puntuals realitzades no les han detectat.

Les taques blanques consisteixen en unes pàtines blanques generalment de menys d'un mil·límetre de gruix que embolcallen indistintament la superfície del substrat rocós i dels còdols de la llera (vegeu fotografies B i C, respectivament, de la làmina 2 de l'Annex 1). En condicions seques, les pàtines es diferencien clarament respecte les roques sense pàtina. En canvi, en condicions humides, les pàtines poden passar desapercebudes perquè adopten coloracions griseses similars a les de les roques sense pàtina.

Les roques que es troben submergides sovint presenten una petita pel·lícula d'algues que li confereixen una textura llefiscosa superficial. Quan aquestes roques s'assequen la textura canvia i queda un polsim blanquinós que amb el dit se separa fàcilment de la pàtina pròpiament dita. A l'àmbit de llera on s'identifiquen, la vegetació subaquàtica té coloracions marrons i grises, que contrasten amb el verd de la vegetació subaquàtica de les zones on no s'observa la pàtina. En general, se situen en superfície, a una alçada inferior a 1m de la llera.

4 Treballs realitzats

Un cop valorada la problemàtica es va decidir que per abordar els objectius calia realitzar un treball hidrogeològic, fonamentalment centrat en la química dels materials geològics i de les aigües de l'àmbit d'estudi. Als annexos 2 i 3 es descriuen de forma detallada els resultats referents a la caracterització geoquímica i hidroquímica, respectivament. A continuació es presenten els resultats principals que deriven d'aquests annexes.

4.1 Caracterització química dels materials geològics

Amb l'objectiu de caracteritzar la composició geoquímica dels materials geològics de la capçalera de la Noguera de Vallferrera (entre la Farga i el circ de Baiau) els dies 18 i 19 d'octubre del 2011 es recullen unes mostres representatives d'aquest entorn (vegeu mapa 5 de l'Annex 1 i, fotografies D, E, F, G i H de la làmina 2 de l'Annex 1).

S'ha mostregjat 6 tipologies diferents de mostres, concretament: Roques representatives del substrat geològic, materials d'alteració del substrat geològic, sediments de tartera, sediments de la llera del riu, còdols amb pàtines blanquinoses de la llera del riu i precipitats groguencs rics en sofre emplaçats damunt les roques en talussos.

Per tal de caracteritzar des d'un punt de vista composicional, el conjunt de mostres s'han emprat els següents mètodes: microscòpia òptica, microscòpia electrònica de rastreig, difracció de rajos X, anàlisi total d'elements majoritaris i traça, i l'anàlisi parcial d'elements majoritaris i traça.

- A partir de les observacions realitzades amb el **microscopi òptic**, s'ha pogut determinar les principals fases minerals que constitueixen el substrat rocós de l'àmbit d'estudi. En general es tracta de roques de gra fi a molt fi, amb una textura definida per plans de foliació continus i penetratius (textura foliada), catalogables com a fil·lites pelítiques (roques foliades amb una certa lluïssor en que el contingut de miques, quars i feldspats és superior al 90%, i el contingut en miques: biotita, moscovita i clorita, és superior al 40%).

- Mitjançant el **microscopi electrònic de rastreig (SEM)**, s'ha de destacar que s'ha pogut determinar semiquantitativament la composició de minerals opacs inclosos dins les pelites, els precipitats groguencs i les pàtines blanquinoses. Les anàlisis realitzades mostren que: i) les pelites pissarrores contenen sulfurs de Ferro; ii) els precipitats groguencs inclouen sulfurs i sulfats de Ferro; iii) les pàtines blanquinoses estan constituïdes fonamentalment per alumini.

- A partir de la **difracció de rajos X (DRX)**, s'ha determinat les fases minerals que constitueixen els diferents tipus de materials mostrejats. En relació al substrat rocós, s'ha de destacar que les fases minerals majoritàries que el constitueixen són el quars, la plagiòclasi, la moscovita, la clorita i en menor mesura, la biotita. En relació als precipitats groguencs s'ha de destacar que estan constituïts fonamentalment de sulfats de ferro hidratats. Mitjançant la difracció de rajos X no s'han pogut determinar amb suficient fiabilitat les fases que constitueixen les pàtines blanquinoses, a conseqüència de la mida de gra reduïda o bé a que es tracta de material amorf.

- Mitjançant l'**anàlisi total d'elements majoritaris i traça**, s'ha obtingut la composició geoquímica de les 6 tipologies de mostres. Les anàlisis realitzades s'han comparat amb composicions de referència amb l'objectiu de detectar possibles anomalies. Aquestes composicions de referència utilitzades han estat les concentracions medianes i el percentil 90 dels subsòls (sòls per sota 25 cm) i els stream sediments (sediments de llera) del conjunt d'Europa (atles geoquímic d'Europa del FOREGS); i les concentracions medianes i el percentil 90 del Cambroordovicià i el Neogen de la conca del Besòs (dades de l'IGC). A grans trets, les pelites pissarroses de l'àmbit d'estudi (la litologia dominant) no presenten concentracions anòmalament elevades en comparació a les composicions de referència. Els materials d'alteració i els sediments de tartera, no presenten concentracions significativament diferents a la roca mare, bàsicament pelites pissarroses. Les calcàries i els riolitoides, que en superfície representen una àrea molt reduïda, no destaquen per presentar unes concentracions de metalls significativament anòmales. Els sediments de llera, que són representatius dels materials superficials del conjunt de la conca, tenen una composició similar a la de les pelites pissarroses. Els precipitats groguencs, que només s'han identificat en uns àmbits reduïts recobrint el substrat rocós, en comparació a les pelites pissarroses presenten concentracions elevades en As, Co, Cu, Fe, Ni, P, Th, U i Zn. Les pàtines blanquinoses es caracteritzen per estar enriquides en Al respecte la resta de materials geològics mostrejats, així mateix també s'observa que tenen una concentracions relativament elevada en Ag, Cs i Hf.

- Mitjançant l'**anàlisi parcial d'elements majoritaris i traça** s'ha obtingut quina part de la concentració total determinada anteriorment és extraïble mitjançant un atac amb àcid tipus Aigua Regia. Les concentracions de cada element obtingudes mitjançant aquesta tècnica representen concentracions màximes de disponibilitat en el medi. Per cada mostra s'han comparat les composicions parcials amb les totals i s'observa que en conjunt el Fe, Mn, Mg i P són solubles a l'atac d'Aigua Regia i que la resta d'elements

majoritaris fonamentalment són insolubles. En relació als elements traça, s'observa que en general els més solubles a l'atac d'Aigua Regia són As, Co, Cu, Mo, Ni i Th.

4.2 Caracterització química de les aigües

Amb l'objectiu de caracteritzar la composició química de les aigües de la capçalera de la Noguera de Valferrera (entre la Farga i el circ Baiau), els dies 5 i 6 d'octubre del 2011 es realitza una campanya de mesures in situ de temperatura, conductivitat, Eh i pH (vegeu mapa 6 de l'Annex 1). En aquesta campanya també es recullen unes mostres representatives d'aigua per tal d'analitzar en el laboratori els components majoritaris, i el seu contingut en metalls (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Sb, Zn), sulfurs i sulfats. El conjunt de punts i mostres d'aigües estudiades s'agrupen en 4 tipologies en funció de les característiques hidrològiques: i) Punts i mostres d'aigua dels llacs de la part alta de la conca; ii) Punts i mostres d'aigua del curs fluvial principal entre la zona dels estanys i la zona de la Farga; iii) Punts i mostres de cursos fluvials secundaris i; iv) fonts, una situada al pla de Boet anomenada font de Mossèn Batlle, i l'altra, coneguda amb el nom de la font del Ferro, a un 1km aigües avall del pla de Boet.

En relació a les mesures in situ, cal destacar que:

- La **temperatura** de les aigües, en general està molt condicionada per la temperatura ambient i en conseqüència, no aporta informació rellevant.
- La **conductivitat**, a grans trets ens revela que es tracta d'aigües molt lleugeres (amb baixes concentracions de components majoritaris dissolts). S'observa que les aigües de llac presenten conductivitats lleugerament superiors que les dels cursos fluvials.
- Les mesures de **pH**, defineixen dues tipologies: una d'aigües àcides amb valors entre 4,4 i 5,2, i l'altra d'aigües no tant àcides amb valors entre 5,9 i 6,9. Les aigües del llac de Baiau i del seu sistema de drenatge fins a la confluència amb el sistema de drenatge de l'estany d'Escorbes defineixen la primera tipologia. Aigües avall, el pH augmenta significativament.
- Exceptuant l'aigua de les fonts, el **potencial redox** (Eh) oscil·la entre 150 i 250 mV sense definir una tendència clara. La font de Mossèn Batlle té un Eh de 282 i la del Ferro de 95.

Les mostres analitzades en el laboratori s'han seleccionat en funció dels resultats de la campanya in situ.

Les anàlisis de components majoritaris mostren que es tracta en general d'aigües molt poc mineralitzades catalogables com a sulfatades calcico-magnèsiques.

La concentració de sulfurs es troba per sota del límit de detecció i la concentració de sulfats és entre 16 i 55 mg/l, un rang de valors equiparable al que defineixen les aigües superficials dels Pirineus axials.

En relació als metalls, s'ha de destacar l'elevada concentració d'Al de les aigües de l'estany de Baiau i de la font de Mossèn Batlle. Les mostres riques en Al també tenen una concentració elevada de Mn, Zn i Ni.

5 Discussió: La composició de les pàtines, el seu procés de formació i implicacions ambientals

Les anàlisis realitzades a les mostres de pàtines posen de manifest que aquestes estan constituïdes d'un agregat amorf o bé nanocristal·lí d'hidròxisulfats d'alumini. El SEM indica que els elements químics majoritaris que constitueixen les pàtines són Al i O; també inclou concentracions considerables de S i Si. L'anàlisi total corrobora les composicions semiquantitatives determinades amb el SEM. A més a més posa de manifest que les pàtines també estan significativament enriquides en P, Ag, Cs i Hf. La DRX indica que les pàtines estan constituïdes d'un material poc cristal·lí, els difractogrames no s'ajusten de forma clara amb cap patró mineral.

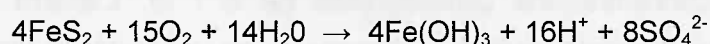
El fet que les pàtines blanquinoses es localitzin a les lleres del curs fluvial, posa de manifest que la composició de l'aigua i els processos hidrogeològics tenen un paper important en la seva gènesi. En aquest sentit, en base al conjunt de dades i observacions hidrogeològiques és important remarcar els següents punts relacionats:

- Les pàtines blanques s'inicien a la confluència entre el curs que drena el llac de Baiau i el curs que drena el llac d'Escorbes. Aigües avall les pàtines blanquinoses són ben visibles fins al menys passat el Pla de Boet.
- En conjunt, l'aigua de la conca es classifica com a sulfatada càlcico-magnèsica i de mineralització molt dèbil.
- Les aigües del llac de Baiau, en comparació a les del llac d'Escorbes, es diferencien fonamentalment per ser més àcides i tenir una concentració molt elevada d'Al. A la font del Mossèn Batlle, que drena les muntanyes del SW del Pla de Boet, s'ha analitzat aigua amb un pH i una concentració d'Al similar a la dels estanys de Baiau.

La precipitació dels hidròxisulfats d'Al s'inicia en un punt en què es barreja una aigua amb un pH de 4.5 i una concentració d'Al de 2.4 mg/l amb una aigua de pH 6.4 i una concentració d'Al de 0.07 mg/l. Aquestes dades i observacions indiquen que la precipitació dels hidroxisulfats d'Al està relacionada amb un canvi brusc del pH i és coherent amb el diagrama d'estabilitat de fases minerals de Pourbaix (Takeno, 2005), que preveu que a partir de $\text{pH} > 4.8-5.2$ l'Al dissolt en l'aigua precipita en forma d'hidroxisulfats d'Al.

La presència de pàtines blanques riques en Al també s'ha observat en altres indrets amb aigües sulfatades àcides. El fenomen està àmpliament identificat en zones mineres d'extracció de sulfurs (e.g. Peiffer et al., 1996; Bigham & Nordstrom, 2000; Hammarstrom et al., 2005) i en menor mesura en ambients naturals, en conques amb un substrat geològic amb presència de sulfurs (e.g. Munk et al., 2002; Darmody et al., 2007).

En condicions oxidants i humides, com és a l'aire lliure, els sulfurs s'oxiden donant lloc a la precipitació d'hidròxids de Ferro i a una aigua àcida i sulfatada. Aquesta reacció s'expressa de forma sintètica de la següent forma:



L'aigua àcida producte de la meteorització dels sulfurs dissol parcialment les fases minerals presents a la roca, enriquint-se en metalls, especialment en Al ja que és amb diferència el metall més abundant, i altres components. Per $\text{pH} < 5$ els models termodinàmics (Takeno, 2005) indiquen que l'Al es manté dissolt a l'aigua; en canvi per $\text{pH} > 5$ l'Al precipita en forma d'hidroxisulfats.

La determinació de la fase o fases d'Al que constitueixen les pàtines blanques és molt complexa a conseqüència de la mida de gra o la baixa cristallinitat. Nombrosos estudis (p.e Bigham & Nordstrom, 2000; Furrer et al, 2002) han abordat la caracterització d'aquestes fases i els seus resultats apunten a què es tracta d'hidroxisulfats d'Al tipus basaluminita, aluminita, alunogen o bayerita. Des d'un punt de vista geoquímic les pàtines analitzades són similars a les d'aquests estudis i en conseqüència considerem que s'ha de tractar d'alguns d'aquests hidroxisulfats d'Al.

A l'àmbit d'estudi, s'ha de destacar que en el substrat geològic s'han identificat sulfurs, bàsicament pirita. Aquests sulfurs se situen de forma dispersa a la sèrie pelítica i són abundants especialment en els nivells de pelites negres. Cal destacar que a la part alta del circ de Baiau es defineix una franja de fins uns 250 m d'amplada ric en pelites negres i molt deformat, que suposem que és una font important sulfurs. L'anàlisi de la informació geològica regional disponible, suggereix que aquest nivell possiblement té una continuïtat cartogràfica considerable, definint una traça d'orientació WNW-ESE que s'estén del Comapedrosa en sentit Lladorre (vegeu mapa 7 de l'Annex 1).

En relació a l'Al, les analítiques indiquen que en aquest sector de la Noguera de Vallferrera el substrat geològic és ric en Al. Les pelites i els seus sediments derivats, que

representen els litotips dominants, tenen una concentració d'Al entre el 16% i el 23%. La resta de materials geològics que afloren a la conca tenen concentracions d'Al inferiors a les de les pelites. Les concentracions d'Al de les pelites de l'àmbit d'estudi no són anòmales, són característiques d'aquesta tipologia de materials, els quals abunden de forma extensa al llarg de bona part del Pirineu Axial i altres zones com ara les Serralades Costaneres Catalanes, la Serralada Ibèrica i la Muntanya Negra. A grans trets, la composició química i mineralògica del substrat geològic de l'àmbit d'estudi és comparable a la d'altres dominis del planeta sotmesos als efectes d'aigües àcides sulfatades (e.g Darmody et al., 2007; Hammarstrom et al., 2005; Munk et al., 2002).

En base a les anàlisis químiques realitzades dels materials geològics i de l'aigua, les observacions in situ del fenomen i els treballs previs relacionats amb els processos d'interacció aigua-roca de Bigham & Nordstrom (2000), Furrer et al. (2002), Munk et al. (2002), Hammarstrom et al. (2005) i, Darmody et al. (2007); de forma sintètica s'interpreta que les pàtines blanques que cobreixen parcialment la capçalera de la Noguera de Vallferrera estan relacionades a la següent seqüència de processos:

- a) En condicions superficials, els sulfurs de Fe presents en el substrat geològic s'alteren quan entren en contacte amb oxigen i aigua.
- b) A conseqüència de l'alteració de sulfurs, l'aigua s'acidifica i s'enriqueix en sulfat, i precipiten hidròxids de Fe. L'abundància de pàtines riques en Fe a l'àrea d'estudi i a bona part de la conca de la Noguera de Vallferrera és testimoni d'aquest procés.
- c) L'aigua àcida producte de la meteorització és capaç de dissoldre una quantitat considerable d'Al, especialment present a les miques i als feldspats.
- d) Per pH lleugerament inferiors a 5, l'Al dissolt es manté en solució.
- e) Quan l'aigua rica en Al es dilueix amb aigües menys àcides, a l'arribar a un pH entorn a 5, l'Al precipita en forma d'hidroxisulfats. Aquest procés és el que s'observa a la confluència de les aigües de Baiau i les d'Escorbes.
- f) La precipitació dels hidroxisulfats d'Al comporta una disminució de la concentració d'Al a l'aigua.
- g) El funcionament d'aquesta seqüència de processos ve condicionada per la climatologia. En períodes de pluja i de desglaç en què la interacció aigua-substrat és baixa, els processos d'acidificació i dissolució d'Al no es manifesten en superfície. En canvi, aquests processos sí que es manifesten en períodes secs, en els que bona part de l'aigua superficial que circula per la capçalera de la conca deriva d'aigües subterrànies que han interactuat significativament amb el substrat geològic.

- h) En el cas dels llacs, no es pot desestimar que el pH i la mineralització de les seves aigües estiguin condicionades per processos limnològics, fonamentalment amb l'evolució de la termoclina.
- i) La localització de la problemàtica dels hidroxisulfats d'Al en les parts altes de la conca es pot relacionar a un procés de dilució associat a l'augment progressiu del cabal aigües avall i a la mescla amb aigües menys àcides i empobrides en Al.
- j) Per altra banda s'ha de destacar que la presència d'aigües àcides sulfatades riques en Al estarà molt lligada a l'existència propera de materials geològics rics en sulfurs, capaços d'acidificar suficientment el medi. La distribució d'aquests materials en el conjunt de l'àrea d'estudi probablement juga un paper clau com a detonant dels fenòmens estudiats.
- k) La presència de petites algues envoltant les pàtines blanquinoses d'hidroxisulfats d'Al posa de manifest que el procés de fixació de l'Al pot veure's influenciat per l'activitat orgànica.
- l) L'aparició dels hidroxisulfats d'Al a partir d'aproximadament l'any 2005 pot estar relacionada amb l'evolució climatològica al llarg dels darrers anys. No es disposa d'una sèrie climàtica suficientment llarga i representativa de la zona d'estudi per avaluar aquesta possible relació (vegeu gràfica 1 de l'Annex 1). Malgrat això, és important destacar que el període 2005-2008 va ser molt sec, així com la tardor del 2011 (època en què es va mostrejar).
- m) Des d'un punt de vista ambiental, cal destacar que l'elevada concentració d'Al en l'aigua pot comportar un risc toxicològic molt important. Poléo (1995) posa de manifest els efectes nocius de l'Al dissolt en els peixos. Per altra banda cal destacar que 4 de les 6 mostres d'aigua analitzades tenen concentracions d'Al per sobre de la normativa d'aigües per a consum de boca (RD140-2003). Dues de les mostres tenen una concentració un ordre de magnitud superior al valor límit de referència (0.2 mg/l).
- n) Aquests fenòmens també s'han detectat a la capçalera de la conca del riu de Comapedrosa (La Massana, Andorra). Aquesta conca veïna, té unes característiques hidrogeològiques similars a les de l'àmbit d'aquest estudi. En zones més allunyades amb un substrat geològic constituït predominantment per pelites, com ara al Pirineu Oriental o a les Serralades Costaneres Catalanes, hi ha indicis de l'existència de pàtines blanquinoses similars a les que s'observen a la capçalera de la Noguera de Vallferrera. Tenint en compte les implicacions ambientals, si es confirma que aquests fenòmens succeeixen en altres àrees, veïnes i allunyades, caldria aprofundir-hi.

o) L'estudi realitzat posa de manifest que, al marge de l'anomalia d'Al, les aigües presenten concentracions anòmalament elevades en altres metalls com ara Mn o Ni. Aquestes anomalies, que també s'associen a ambients d'aigües àcides i sulfatades, requeririen un estudi més exhaustiu. A la present discussió ens hem centrat en l'Al, tenint en compte que és el component principal i protagonista de les pàtines blanques.

Finalment, volem remarcar que la seqüència de raonaments comunicats anteriorment es basen en la interpretació de les dades i observacions descrites, les quals són inherents a les característiques de les zones mostrejades i al moment en que es va realitzar al mostreig. Bona part de les interpretacions tenen alt grau d'incertesa a conseqüència, no només de les limitacions de les dades disponibles, si no també, de la pròpia naturalesa del fenomen natural que es vol conèixer. L'aprofundiment en els diferents aspectes tractats requereix uns estudis més complets i detallats, que en el futur recomanem que es realitzin.

6 Recomanacions

Aquest estudi posa de manifest que les pàtines blanques de la capçalera de la Noguera de Vallferrera estan associades a aigües amb una concentració anòmla d'Al i altres metalls, sovint pel damunt dels límits de referència que marca el reial decret RD140/2003 per a ús de boca i, per tant, poden comportar risc toxicològic.

Atès la concentració elevada en determinats metalls, tal com s'ha expressat en aquest informe, i els nivells d'acidesa mesurats recomana la senyalització corresponent per evitar el consum de l'aigua del riu i en particular de les fonts Mossèn Batlle i Font de Ferro.

En aquest sentit, basant-se en els resultats obtinguts i a l'anàlisi del conjunt d'informació tractada, l'equip redactor proposa un seguit d'accions a emprendre en el futur, concretament:

- 1) Cartografia geològica i geoquímica de detall de l'àmbit d'estudi enfocat a localitzar dominis rics en sulfurs, en primer terme l'origen del fenomen estudiat.
- 2) Mostreig i anàlisi periòdic de les aigües de l'àmbit d'estudi enfocat a una millor caracterització geogràfica i temporal del procés.
- 3) Estudi limnològic dels llacs de Baiau i d'Escorbes i zones properes amb l'objectiu d'avaluar el paper dels llacs en l'acidificació de les aigües.
- 4) Aprofundiment en l'estudi de l'estabilitat de l'Al en ambients d'aigües àcides sulfatades fredes, que permetrà acotar de forma genèrica el procés químic.
- 5) Localització i caracterització química preliminar d'altres àrees, veïnes i llunyanes, amb pàtines blanques similars, per conèixer l'abast del fenomen en el conjunt del territori de Catalunya.

7 Referències

- ACA, 2010. Acta d'inspecció a medi nº TOD/270810/01.
- Bigham J.M. et al., 2000. Iron and aluminium hydroxysulfates from acid sulfate waters. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 40: 351-403.
- Darmody R.G. et al., 2007. Pyrite-enhanced chemical weathering in Kärkevagge, Swedish Lapland. *GSA Bulletin*, 119: 1477-1485.
- Furrer G. Et al, 2002. The origin of aluminum flocs in polluted streams. *Science*, 297: 2245-2247.
- Hammarstrom et al., 2005. Secondary sulfate minerals associated with acid drainage in the eastern US: recycling of metals and acidity in surficial environments. *Chemical Geology*, 215: 407-431.
- IGC, 2011. Caracterització hidroquímica de les aigües superficials i caracterització geoquímica regional a la capçalera del riu Noguera de Vallferrera (Circ de Baiau-Pla de Boet). Informe de seguiment (1).
- IGC, 2012. Caracterització geoquímica dels materials geològics de la zona de capçalera del riu Noguera de Vallferrera (Circ de Baiau-Pla de Boet). Informe tècnic de seguiment GAO-001/2012.
- Munk L., 2002. Sorption of trace metals to an aluminium precipitate in a stream receiving acid rock-drainage; Snake River, Summit County, Colorado. *Applied Geochemistry*, 17: 221-430.
- Peiffer S. et al., 1996. Impact of high aluminium loading on a small catchment area (Thuringia slate mining area) – geochemical transformations and hydrological transport. *Water, Air, and Soil Pollution*, 94: 401-416.
- Poléo A.B.S., 1995. Aluminium polymerization - a mechanism of acute toxicity of aqueous aluminium to fish. *Aquatic Toxicology*, 31: 347-353.
- Takeno N., 2005. Atlas of Eh-pH diagrams. Intercomparision of thermodynamic databases. NIAIST, Geological Survey of Japan Open File Report Nº 419.

1 Introduction

ASA 1990 Publications Award of 1997-1998

Editorial Board of ASA 1990 Publications Award of 1997-1998

The award is given to the author(s) of the paper(s) published in the

Journal of the American Statistical Association, December 1997

Volume 95, Number 4, pp. 1155-1165

Pages 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165

1155-1165

Abstracts of the 1997-1998 ASA Publications Award of 1997-1998

The award is given to the author(s) of the paper(s) published in the

Journal of the American Statistical Association

Volume 95, Number 4, pp. 1155-1165

Pages 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165

1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165

Abstracts of the 1997-1998 ASA Publications Award of 1997-1998

The award is given to the author(s) of the paper(s) published in the

Journal of the American Statistical Association

Volume 95, Number 4, pp. 1155-1165

Pages 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165

1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165

Abstracts of the 1997-1998 ASA Publications Award of 1997-1998

The award is given to the author(s) of the paper(s) published in the

Journal of the American Statistical Association

Volume 95, Number 4, pp. 1155-1165

Pages 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165, 1155-1165

Abstracts of the 1997-1998 ASA Publications Award of 1997-1998

The award is given to the author(s) of the paper(s) published in the

Annex 1: Documentació cartogràfica i altres gràfics

Aquests són els peus de les figures que es mostren en aquests annex:

Mapa 1: Localització de l'àrea d'estudi en l'ortofomapa de Catalunya 1:25.000.

Mapa 2: Localització de l'àrea d'estudi en el mapa topogràfic comarcal de Catalunya 1:50.000.

Mapa 3: Localització de l'àrea d'estudi en el mapa geològic comarcal de Catalunya 1:50.000. Les unitats de tonalitats clares (Qgp, Qgr, Qepb, Qpn, Qve, Qgt, Qt0, Qco, Qpm) es corresponen a dipòsits sedimentaris quaternaris, la resta (ÇOrgl, ÇOrgls, ÇOrln, ÇOrcm i Oriq) es corresponen a unitats de roques atribuïdes al Cambroordovicià afectades per un metamorfisme regional de baix grau.

Mapa 4: Localització de l'àrea d'estudi en el model d'ombres del terreny derivat del model d'elevacions del terreny de 5 metres d'espaiat de l'ICC. En el mapa s'hi ha sobreposat la xarxa de drenatge de la base topogràfica 1:50.000. El contorn de color vermell delimita la capçalera de la conca hidrogràfica de la Noguera de Vallferrera.

Làmina 1: Conjunt de mapes geomorfomètrics derivats del model digital del terreny de 5 metres d'espaiat: A) Relleu. B) Pendent. C) Curvatura en el sentit del pendent (els valors negatius indiquen geometries còncaves i els positius geometries convexes). D) Índex de convergència (els valors negatius indiquen posicions en què la geometria del relleu convergeix i els positius en què divergeix). E) Índex d'humitat, relacionat amb el grau d'humitat del terreny, els valors més elevats es corresponen amb les àrees més susceptibles a contenir aigua (per cada pixel expressa el quocient entre la superfície que drena aigües amunt i el logaritme del pendent). F) Alçada respecte la xarxa de drenatge, que és la diferència entre el relleu i el nivell de base que defineix la xarxa de drenatge.

Làmina 2: Fotografies representatives dels materials estudiats i del seu entorn. A) Vista de la Noguera de Vallferrera al Pla de Boet en què s'observa el color blanc de la llera. B) Còdols amb pàtines a la zona del pla d'Arcalís. C) El substrat rocós cobert per pàtines per sota de la confluència entre les aigües dels llacs de Baiau i les dels llacs d'Escorbes. D) Detall de les pelites pissarroses que afloren a la zona del Pla de Baiau i que constitueixen bona part del substrat rocós de l'àmbit d'estudi. Els nivells més clars d'aproximadament un cm de gruix es corresponen a intercalacions gresoses. E) Vista del sector occidental del circ de Baiau. Bona part de les mostres recollides (vegeu fotografia F) se situen a la zona de la tartrera de colors ataronjats que s'observa al sector dret de la fotografia. F) Zona de mostreig al sector W del circ de Baiau. Fixeu-vos en els dominis vermellosos rics en òxids de Fe i en les pàtines blanquinoses que cobreixen discontinuament el substrat rocós. G) Detall dels materials que es descriuen a la fotografia E. H) Vista del sector oriental del circ de Baiau en sentit el Comapedrosa. Els materials que s'observen a la meitat dreta s'associen a la Sèrie de Lladorre, són rics en pelites negres i és possible que tinguin un percentatge important de sulfurs.

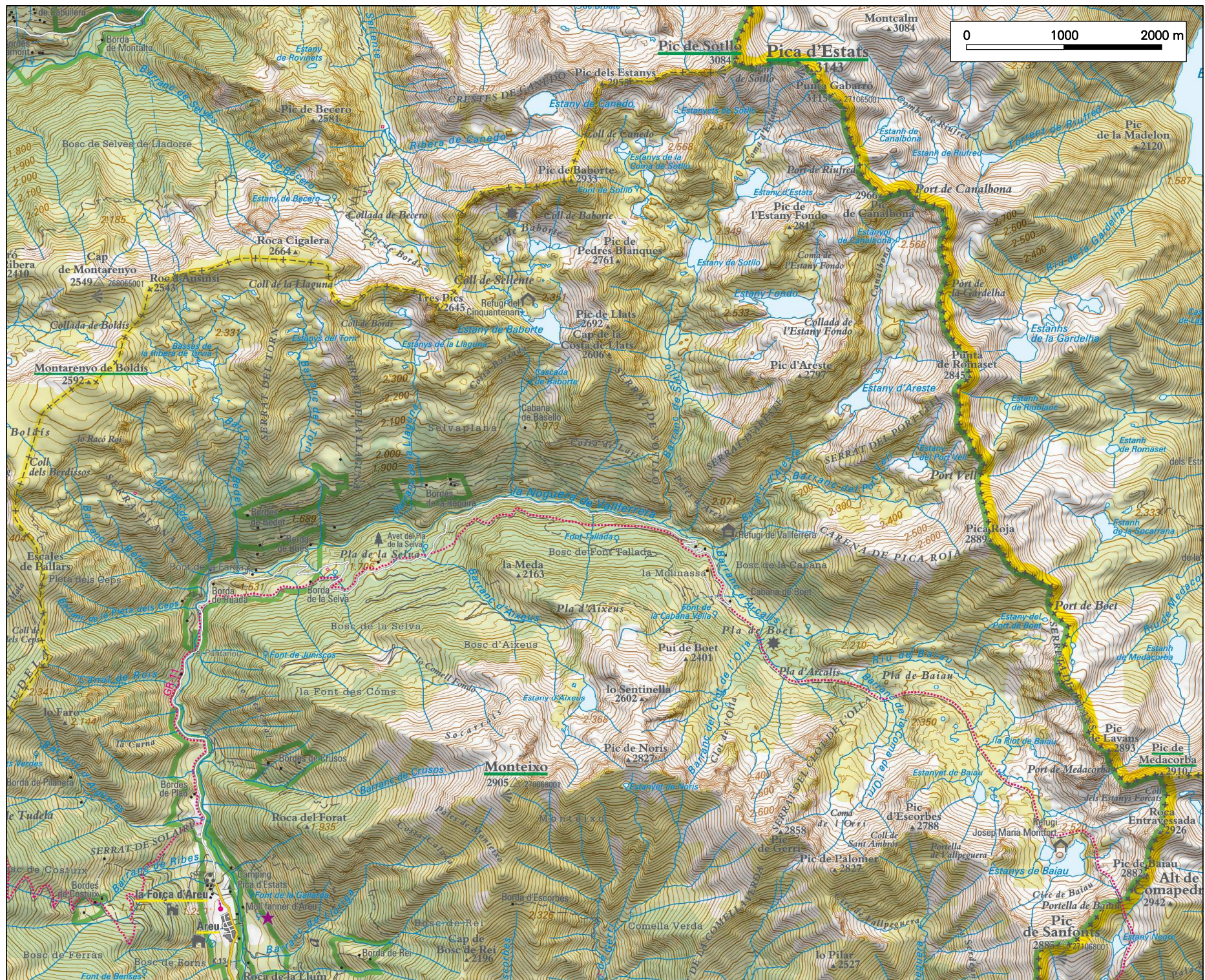
Mapa 5: Localització de les mostres de materials geològics de la zona de capçalera del riu Noguera de Vallferrera

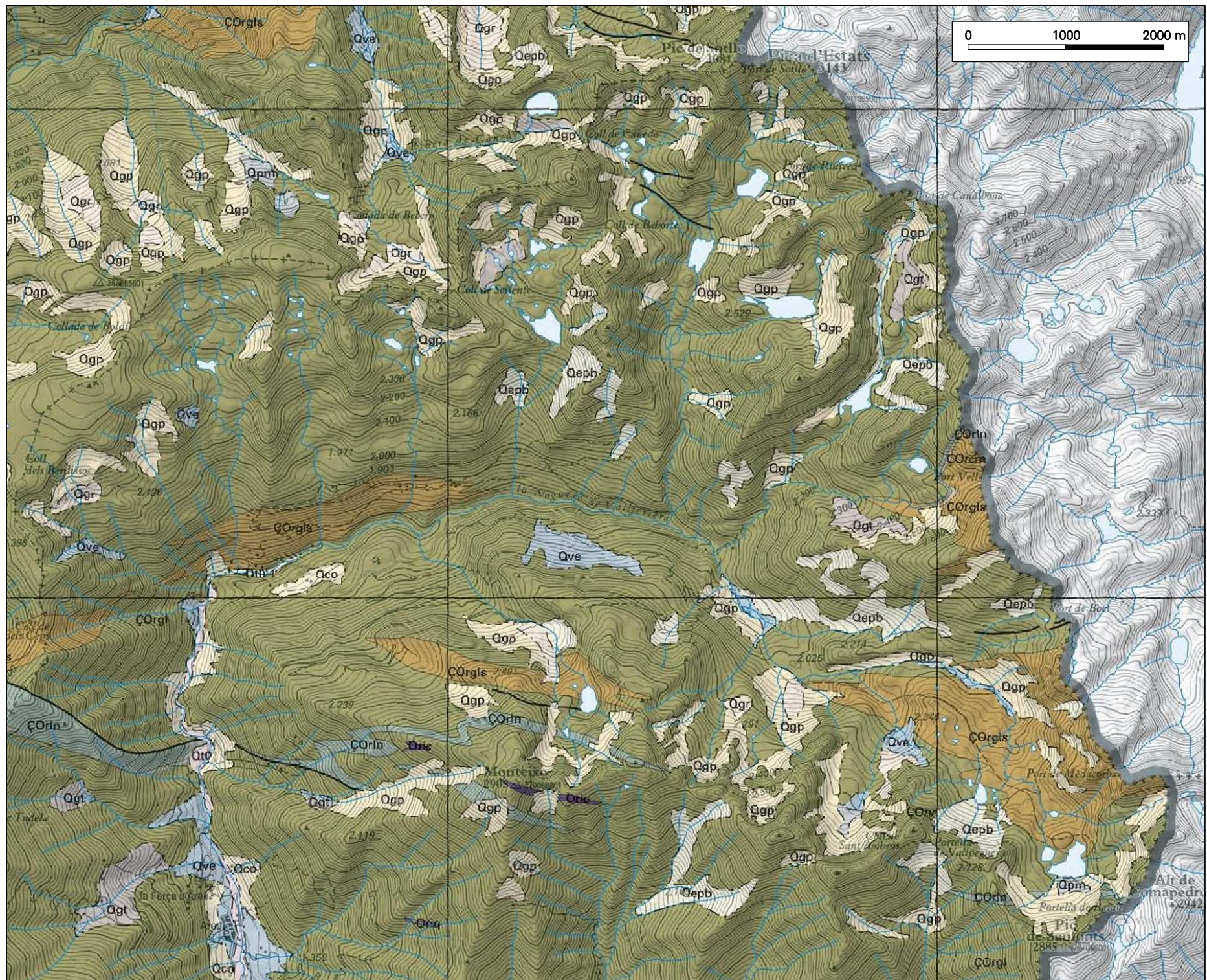
Mapa 6: Localització de les mostres d'aigües i assajos hidrològics insitu.

Mapa 7: Traça aproximada del nivell ric en pelites negres (en el mapa expressada amb una trama verda) extreta de documentació inèdita associada a la realització de la base geològica 1:50.000 de l'IGC. Aquest nivell pertany al que es coneix amb el nom de Sèrie de Lladorre.

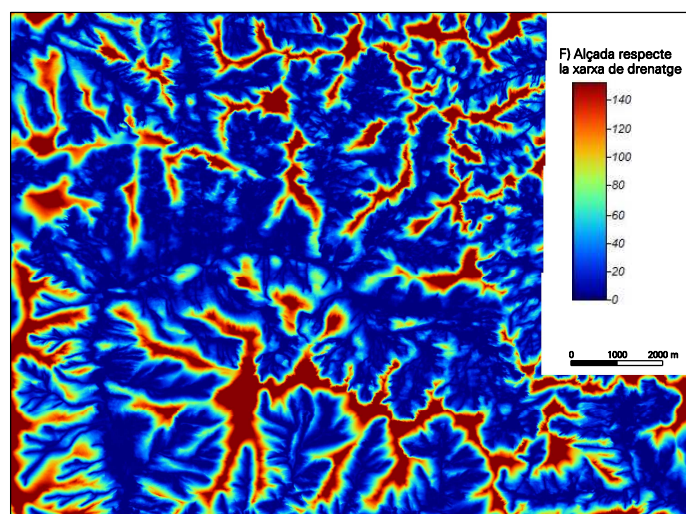
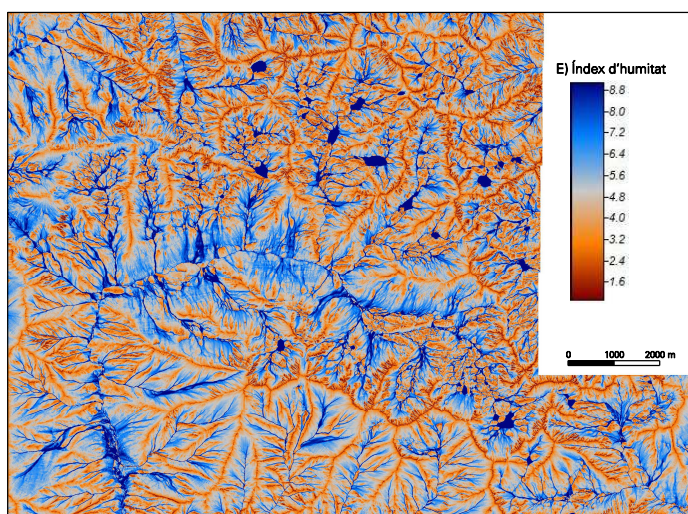
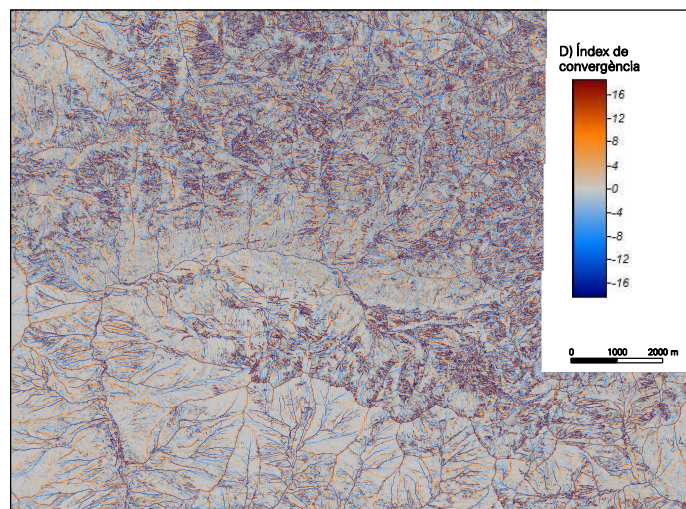
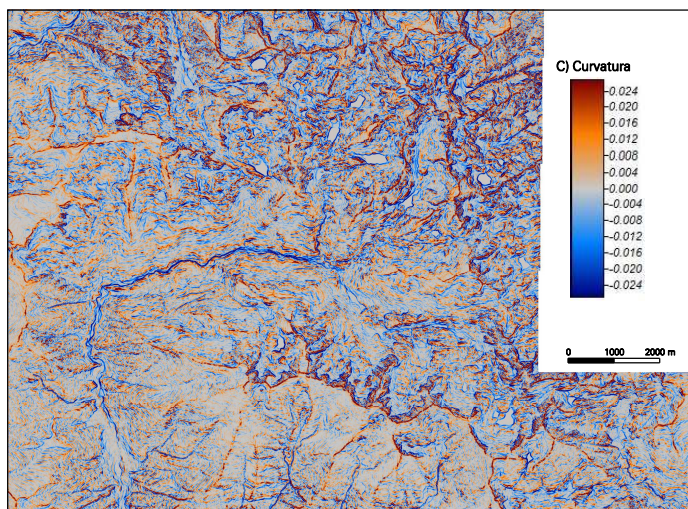
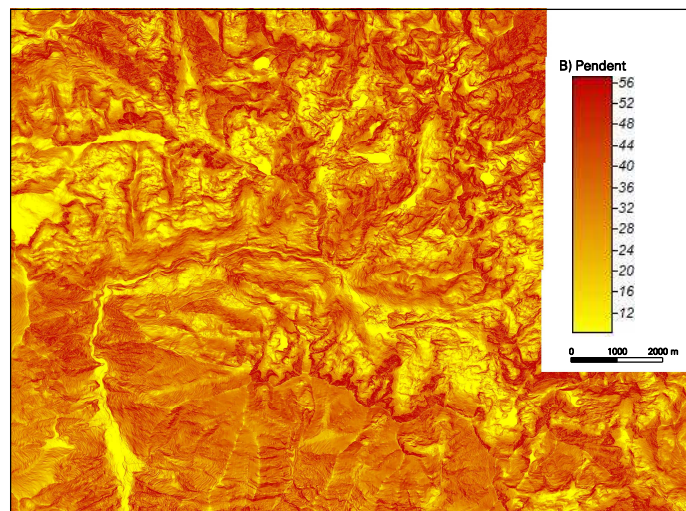
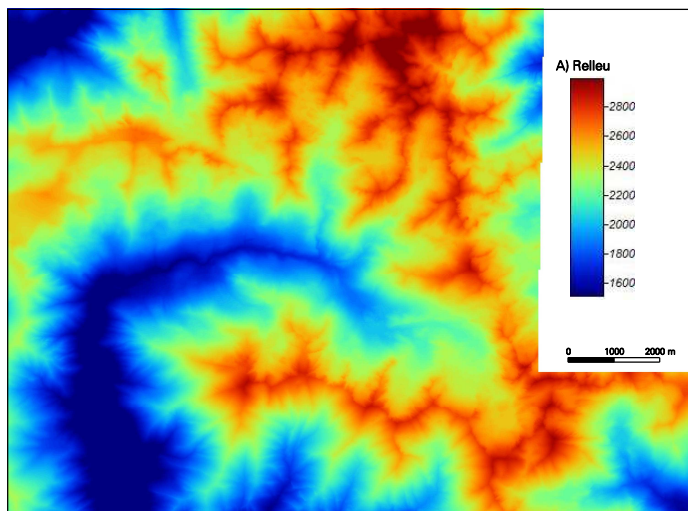
Gràfica 1: Dades termopluiomètriques de les estacions meteorològiques automàtiques de Sort, Certascan i Salòria del Servei Meteorològic de Catalunya.







Mapa 3





A)



B)



C)



D)



E)



F)



G)

Làmina 2



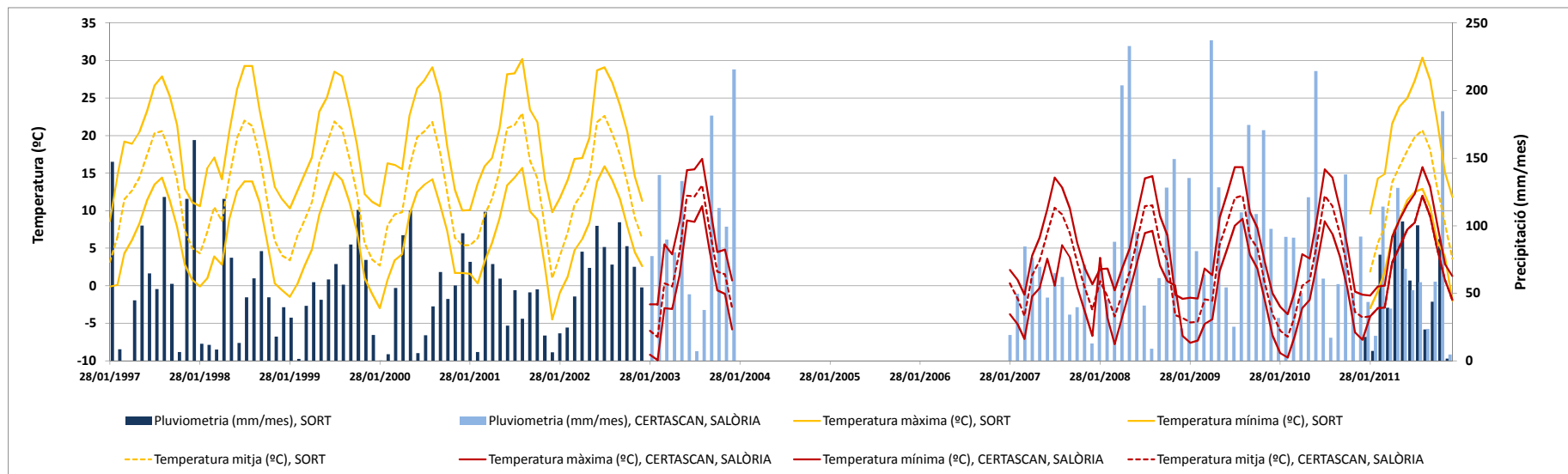
H)



Mapa 5



Mapa 6



Gràfic 1

Annex 2: Caracterització geoquímica

Metodologia

Mostreig

Amb l'objectiu de caracteritzar la composició geoquímica dels materials geològics de la capçalera de la Noguera de Vallferrera (entre la Farga i els circs glacials que voltegen els estanys de Baiau) els dies 18 i 19 d'octubre del 2011 es recullen unes mostres representatives d'aquest entorn. S'ha mostrejat 6 tipologies diferents de mostres, concretament:

Roques representatives del substrat geològic

D'alguna forma la composició dels materials geològics superficials, l'aigua i els sers vius que constitueixen el medi ambient de l'àrea d'estudi està influenciada per la composició del substrat rocós. Per aquests motius, s'ha cregut convenient estudiar la composició geoquímica de les roques. Per evitar confusions a l'hora d'interpretar els resultats en la mesura del possible s'han mostrejat roques fresques. A continuació es llisten les mostres de roques representatives del substrat geològic:

M3_Baiou: Pissarres ben foliades situades aprop de la zona mineralitzada del circ de Baiau.

M4_Baiou: Riolitoid de gra fi situat aprop al SE dels estanys de Baiau. Representatiu d'un cos subvertical que possiblement intruïx la sèrie cambroordoviciana.

M5_Baiou: Nivells carbonàtic intercalat entre pelites procedent d'un bloc caigut al marge de l'estany gran de Baiau (la mostra es considera representativa de les calcàries de Baiau, nivells d'ordre cm-dm intercalats entre la sèrie detrítica).

M7_Baiou: Psamites aflorants a l'Oest de Baiau aprop de la zona rica en crostes ferruginoses amb intercalacions de nivells plagioamfibòlics.

908: Ritmites (alternança mm de pelites i psamites) plegades molt fresques situades entre els estanys de Baiau i Escorbes.

913: Lutites negres amb sulfurs.

M2_Baiou: Pissarres negres alterades.

904: Pissarres rovellades alterades representatives de la zona mineralitzada.

915b: Pissarres alterades i rovellades properes als precipitats groguencs 915a i 916.

Materials d'alteració del substrat geològic

Les roques del substrat geològic, a les proximitats del circ de Baiau localment presenten crostes de tonalitats fosques, riques en mineralitzacions i de poc gruix. Aquests materials d'alteració a priori poden tenir una signatura geoquímica significativament diferent al conjunt de roques representatives del substrat geològic. Per aquest motiu s'han agafat dues mostres, concretament:

M1_Baiou: Crosta amb mineralitzacions de Ferro que recobreix unes pissarres fosques molt alterades.

905: Crostes negres amb una patina superficial molt prima blanquinosa que embolcallen unes pissarres rovellades i alterades tipus 904. Similar a M1_Baiou.

Sediments de tartera

Al circ de Baiau al peu de la zona amb crostes s'hi desenvolupa una tartera constituïda d'uns sediments taronjosos. Aquests sediments en gran mesura inclouen fragments de crostes tipus les mostres M1_Baiou i 905. Tenint en compte la seva localització en relació a l'Estany de Baiau i, que es tracta d'uns materials molt poc consolidats i fàcilment lixiviables s'ha considerat oportú agafar una mostra (906) de sediments lutítics i sorrençs (excluint manualment els fragments més grollers) d'aquesta tartera. El pes aproximat de la mostra és d'uns 2 kg. A priori la composició global de la mostra és un reflex de la composició rocós del vessant.

Sediments de llera

Per controlar la composició global del substrat geològic de l'àmbit d'estudi s'han mostrejat els sediments de la llera en tres punts significatius de la conca. Per tal que les mostres siguin representatives, aquestes s'han garbellat i s'han descartat els grans de més de 2 mm de diàmetre. El pes aproximat de cada mostra és d'uns 2 kg. Les mostres de sediments de llera són:

911: A la llera de la Noguera de Vallferrera, a la part baixa del Pla de Boet.

912: A la llera del riu Areste, sota el refugi de la Pica.

917: A la llera de la Noguera de Vallferrera, a la zona de la Farga.

Còdols amb pàtines blanquinoses

El detonant de l'estudi, és la presència de pàtines blanquinoses embolcallant els còdols i les roques que defineixen la llera la Noguera de Vallferrera. Per aquest motiu s'ha cregut oportú agafar mostres d'aquestes pàtines i analitzar-les des d'un punt de vista geoquímic i mineralògic. El conjunt de material agafat de la llera s'ha agrupat en tres mostres, concretament:

910: Dos còdols amb pàtina blanquinosa de la Noguera de Vallferrera a la zona del Pla d'Arcalís.

PIÑA: Còdol amb pàtina blanquinosa de la Noguera de Vallferrera a la zona del Pla d'Arcalís.

CD: Pàtina blanquinosa estreta de diferents còdols del conjunt de la Noguera de Vallferrera.

Precipitats groguencs

A la carretera que puja cap al Pla de Boet en diferents talussos rocosos generalment rics en pelites negres, s'observen uns precipitats groguencs reomplint o cobrint discontinuïtats. Aquests precipitats, o eflorescències, que pel seu hàbit i estructura s'interpreten com a rics en sofre, en comparació a la resta de materials mostrejats tenen una composició diferent, molt particular i per aquest motiu s'ha considerat oportú analitzar-los. Concretament s'han agafat dues mostres de precipitats groguencs, a la zona de la font del Ferro, que es trobaven cobrint unes pissarres molt alterades. Els codis de les mostres són 915a i 916 respectivament.

Mètodes analítics

Per tal de caracteritzar des d'un punt de vista composicional el conjunt de les mostres s'han emprat els següents mètodes analítics:

Caracterització petrogràfica amb el microscopi òptic

Objectiu: Caracteritzar microscòpicament, els components i les textures característiques de les roques fresques que constitueixen el substrat geològic.

Laboratori: Geomar Enginyeria del Terreny (Barcelona)

Número de làmines: 8

Microscopi electrònic de rastreig:

Objectiu: Caracterització química semiquantitativa de les mostres de pàtines i mineralitzacions de les roques fresques i dels materials d'alteració.

Laboratori: Servei Científic-Tècnic de la Universitat de Barcelona.

Número de mostres: 4

Difracció de rajos X

Objectiu: Caracteritzar les fases minerals qualitativament, i en la mesura del possible quantitativament, que constitueixen les mostres de roques, pàtines i sediments.

Laboratori: Servei Científic-Tècnic de la Universitat de Barcelona i Actlabs (Canadà)

Número de mostres: 4 (Servei Científic-Tècnic de la Universitat de Barcelona) + 7 (Actlabs)

Anàlisi total d'elements majoritaris i traça

Objectiu: Conèixer quantitativament la concentració total en elements majoritaris i traça de mostres representatives de roques, pàtines i sediments.

Laboratori: Actlabs.

Número de mostres: 18

Anàlisi parcial d'elements majoritaris i traça

Objectiu: Conèixer quantitativament la concentració parcial, extraïble amb Aigua Regia, en elements majoritaris i traça de mostres representatives de roques, pàtines i sediments.

Laboratori: Actlabs

Número de mostres: 11

A la taula que es presenta a continuació hi ha una síntesi de les mostres estudiades.

Codi camp	Descripció de camp	GQ Total	GQ Parcial	SEM	DRXActiabs	DRXUB	Làmina
M1_Baiau	Crosta amb mineralitzacions de Fe	1					
M2_Baiau	Pissarres negres alterades properes a la crosta M1_Baiau	1					
M3_Baiau	Pissarres fresques ben foliades	1					1
M4_Baiau	Riolitoid de gra fi	1					1
M5_Baiau	Nivells en carbonatats (bullen amb clorhídric) procedents d'un bloc caigut	1					1
M7_Baiau	Gresos amb intercalacions de nivells plagiocimfíbolics	1					2
904	Pissarres rovellades foliades més o menys alterades	1	1	1	1		1
905	Pàtines blanques properes a M1_Baiau	1	1	1			
906	Sediment de la tartera	1	1	1		1	1
908	Ritmites molt fresques (sèrie pelítica de Baiau no rovellada)	1	1	1	1		1
910	dos còdols amb pàtina blanquinosa						1
911	Sediments garbellats (<2 mm) lutític sorrenc	1	1	1			1
912	Sediments garbellats (<2 mm) lutític sorrenc	1	1	1			
913	Lutites negres amb sulfurs (pelita rovellada foliada amb sulfurs)	1	1	1	1	1	1
915A	Concrecions blanquinoses i grogues	2	1	1		1	
915B	Pissarres alterades i rovellades	1	1	1		1	
916	Concrecions blanquinoses i grogues 5 m envall de 915	2	1	1	1	1	1
917	Sediments garbellats (<2 mm) lutític sorrenc	1	1	1			
PIÑA	Còdol amb pàtina blanquinosa					1	
CD	Pàtines blanques	1					

Resultats

Caracterització petrogràfica mitjançant el microscopi òptic

Mitjançant la utilització del microscopi òptic de llum polaritzada s'han caracteritzat des d'un punt de vista petrogràfic 5 làmines primes de mostres representatives de les pissarres i fil·lites que constitueixen majoritàriament el substrat rocós de l'àrea d'estudi (Baiau m-7, Baiau m-3, 908, 904 i 913). Es tracta de mostres de roca fresca, que presenten pocs símptomes de meteorització, llevat de la mostra 904, que destaca per la porositat lligada a la dissolució de fases minerals pre-existents (aproximadament un 3% del total).

Els components minerals observats en el conjunt de les mostres són: quars, feldspats, moscovita, biotita, clorita, i minerals opacs (interpretats com òxids de ferro).

La proporció de les diferents fases principals varia entre les làmines. Dintre d'una mateixa làmina, a escala mil·limètrica i inferiors, s'observen canvis mineralògics o composicionals considerables, producte de les laminacions que ja es diferencien a escala de mostra de mà. Aquestes alternances generalment venen definides per bandes riques en miques i nivells rics en quars i feldspats.

En general es tracta de roques de gra fi a molt fi, amb una textura definida per plans de foliació continus i penetratius (textura foliada), catalogables com a fil·lites pelítiques (roques foliades amb una certa lluïssor en que el contingut de miques, quars i feldspats és superior al 90%, i el contingut en miques: biotita, moscovita i clorita, és superior al 40%).

Els plans de foliació venen definits per l'orientació preferent dels cristalls de miques. En algunes mostres (i.e. 907) només s'observa una família de plans de foliació i en d'altres (i.e. 913) se n'observen dues. La segona família plega els plans de foliació de la primera, i en conseqüència és una foliació de crenulació. Aquests dominis de foliació sovint inclouen petits cristalls opacs.

Al marge de les pelites, el substrat geològic que constitueix la zona d'estudi inclou nivells de poca entitat de roques carbonàtiques, riolitoides i psamites. S'ha realitzat l'anàlisi d'una làmina prima representativa de cadascun d'aquests litotips.

MBaiou-7 A: Es tracta d'una psamita. Per ordre descendent de percentatge modal les fases que s'han identificat són quars, amfíbol, clorita, granat i biotita ilmenita. En el camp aquesta mostra s'ha catalogat com a nivell plagiambfíolic, l'anàlisi petrogràfica realitzada posa de manifest que el percentatge de feldspat no és significatiu.

Baiou-5: Es tracta d'una roca metacarbonàtica. Per ordre descendent de percentatge modal les fases que s'han identificat són calcita, quars, amfíbol (actinolita), clorita i ilmenita.

Baia-4: Es tracta d'una roca fèlsica de textura porfírica en que es diferencia una matriu microcristalina que inclou fenocristalls idiomorfs i subidiomorfs de quars i feldspat potàssic.

A continuació es presenten unes fotografies representatives de les mostres estudiades.

Mostra 908:

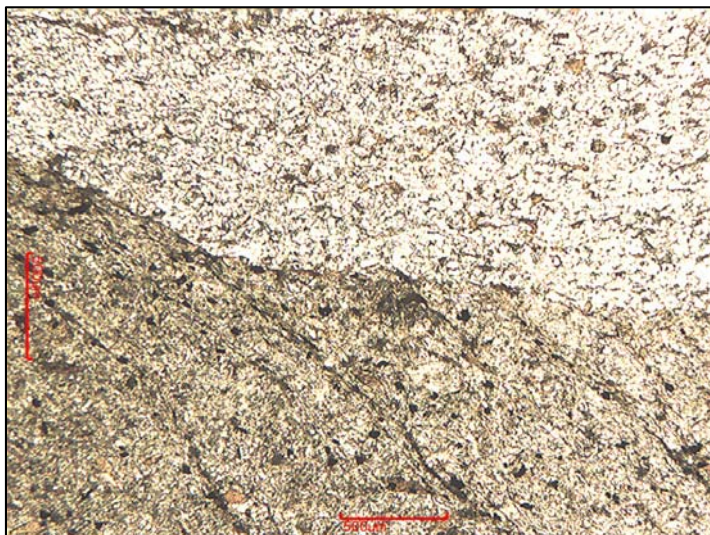
Mostra de mà



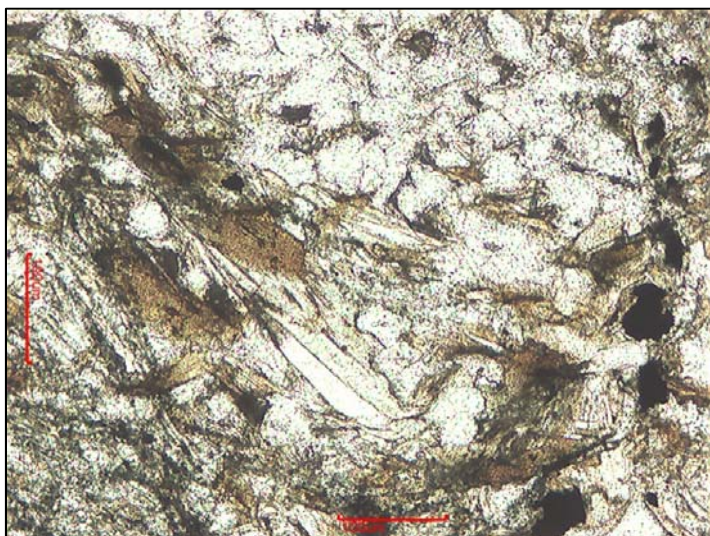
Làmina prima



Fotografia microscòpica (X4) en nícols paral·lels



Fotografia microscòpica (X20) en nícols paral·lels



Mostra M3_BAIAU:

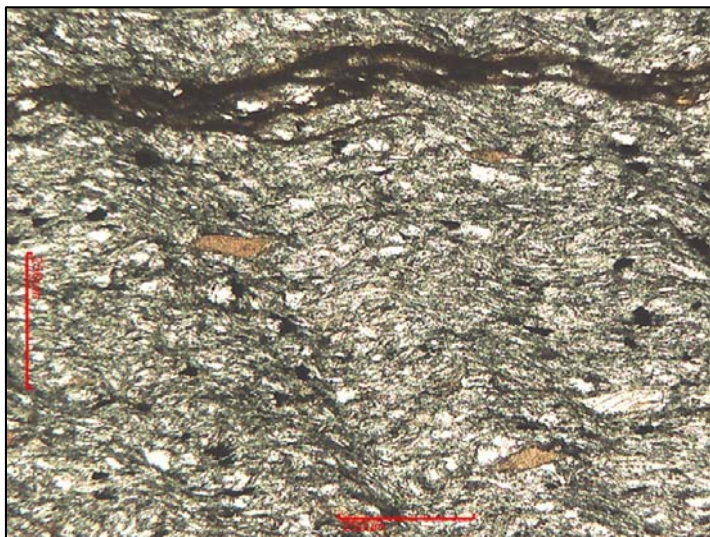
Mostra de mà



Làmina prima



Fotografia microscòpica (X10) en nícols paral·lels



Fotografia microscòpica (X20) en nícols paral·lels



Mostra 913:

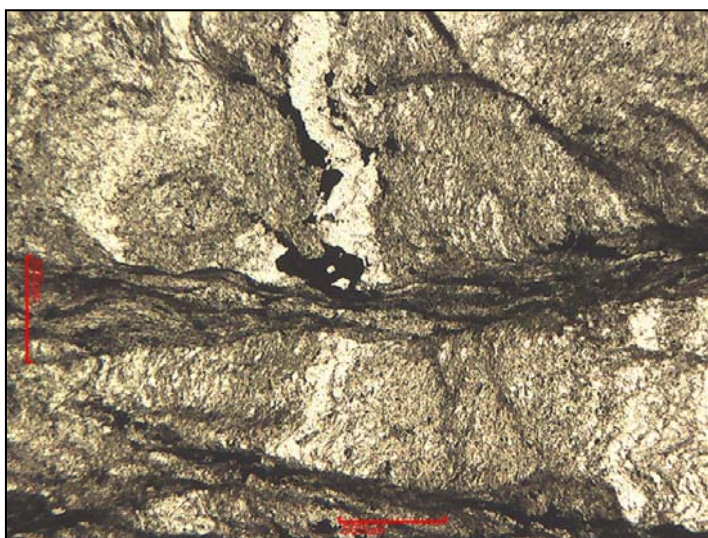
Mostra de mà



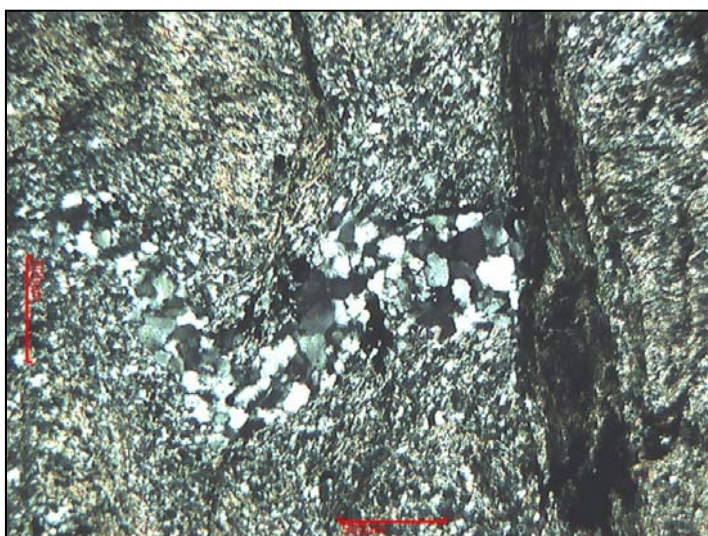
Làmina prima



Fotografia microscòpica (X10) en nícols paral·lels



Fotografia microscòpica (X10) en nícols creuats



Mostra M7_BAIAU_B:

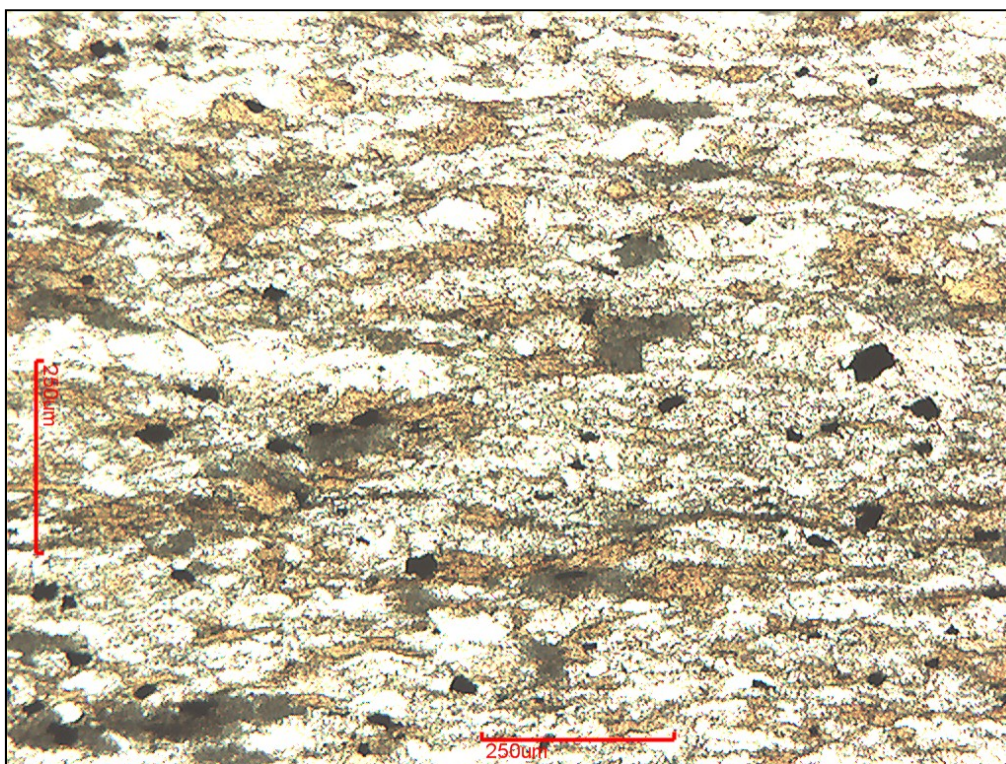
Mostra de mà



Làmina prima



Fotografia microscòpica (X10) en nícols paral·lels



Mostra 904:

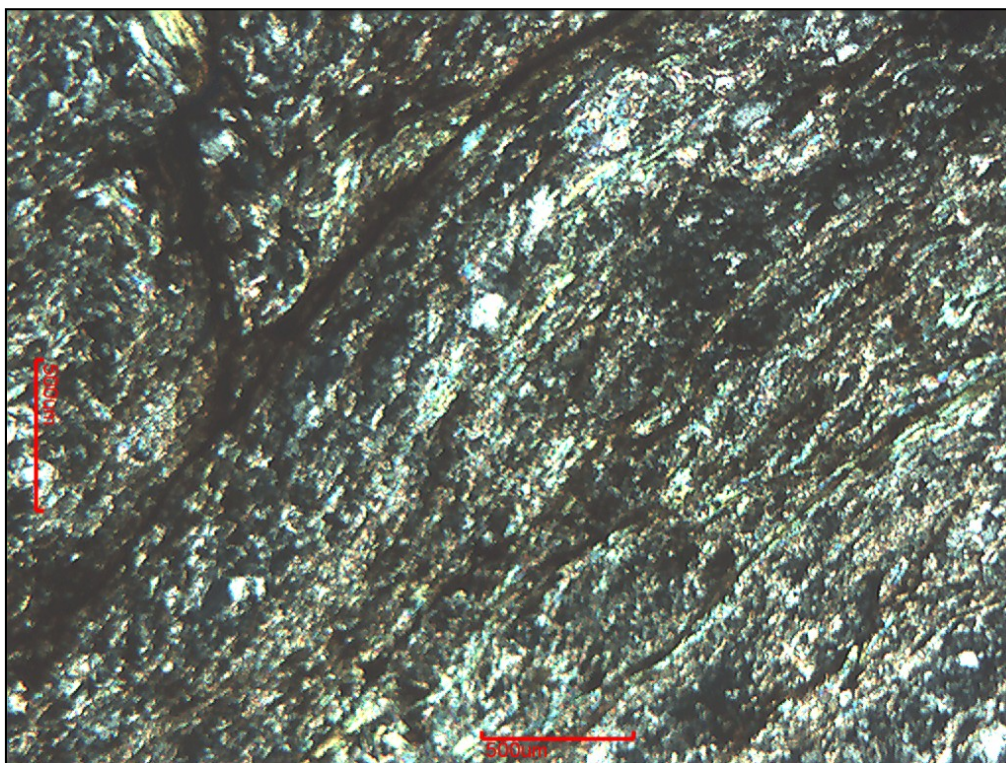
Mostra de mà



Làmina prima



Fotografia microscòpica (X4) en nícols creuats



Mostra M5_BAIAU:

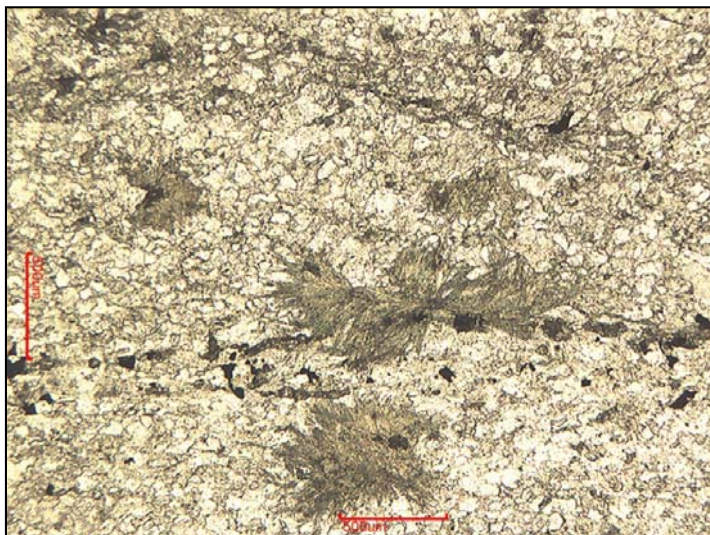
Mostra de mà



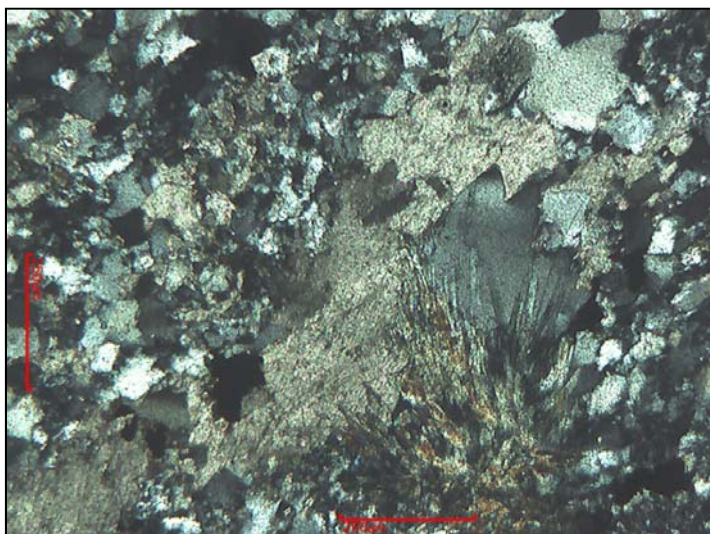
Làmina prima



Fotografia microscòpica (X4) en nícols paral·lels



Fotografia microscòpica (X10) en nícols creuats



Mostra M7_BAIAU_A:

Mostra de mà



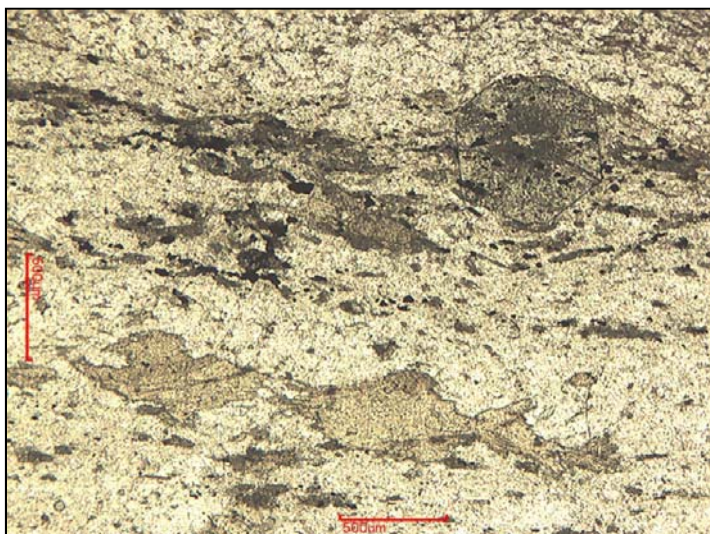
Làmina prima



Fotografia microscòpica (X4) en nícols paral·lels



Fotografia microscòpica (X4) en nícols paral·lels



Mostra M4_BAIAU:

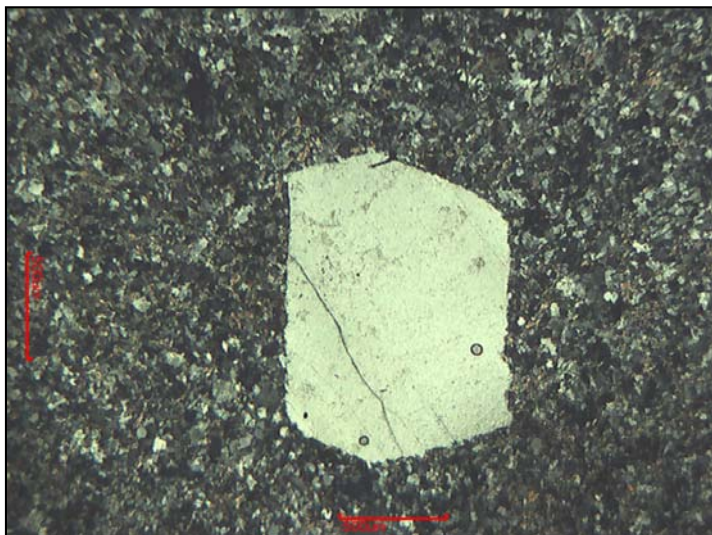
Mostra de mà



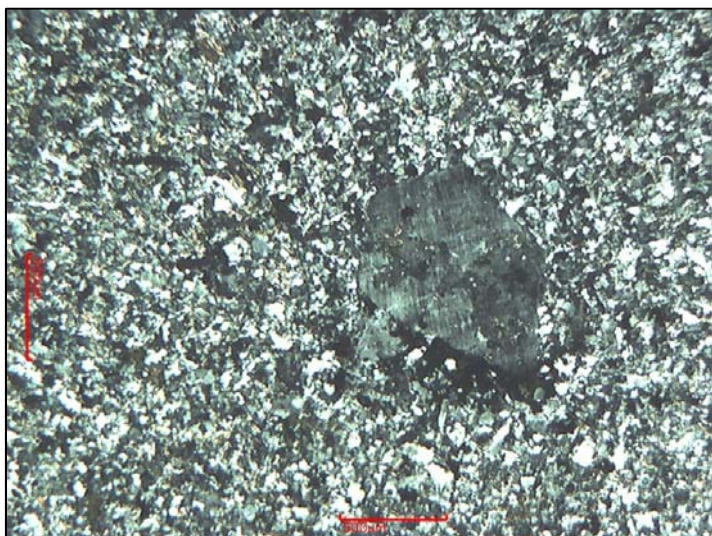
Làmina prima



Fotografia microscòpica (X4) en nícols creuats



Fotografia microscòpica (X4) en nícols creuats

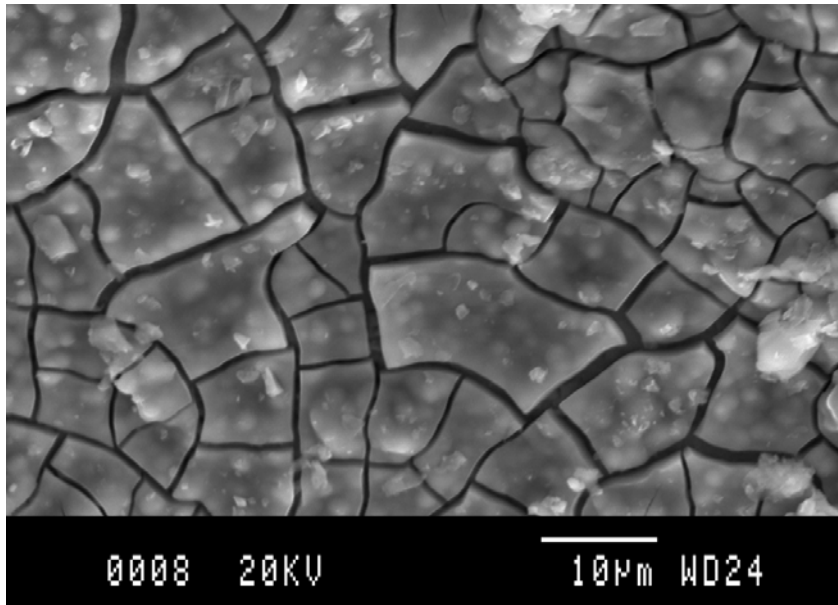


Anàlisi de mostres amb el microscopi electrònic de rastreig

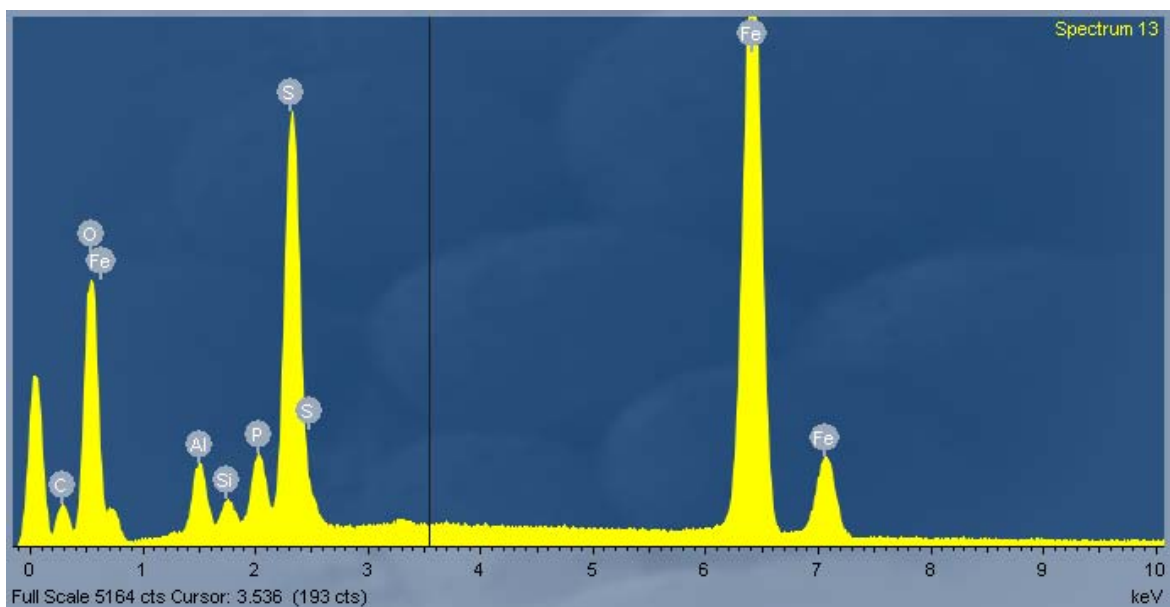
Mitjançant el microscopi electrònic de rastreig s'ha determinat la composició geoquímica semiquantitativa de pàtines i mineralitzacions de les roques fresques i dels materials d'alteració. A continuació es mostren un conjunt d'imatges microscòpiques de diferents fases característiques de les mostres estudiades acompanyades de l'anàlisi composicional qualitatiu realitzades amb el microscopi electrònic de rastreig del Servei Científic-tècnic de la Universitat de Barcelona.

Mostra 913:

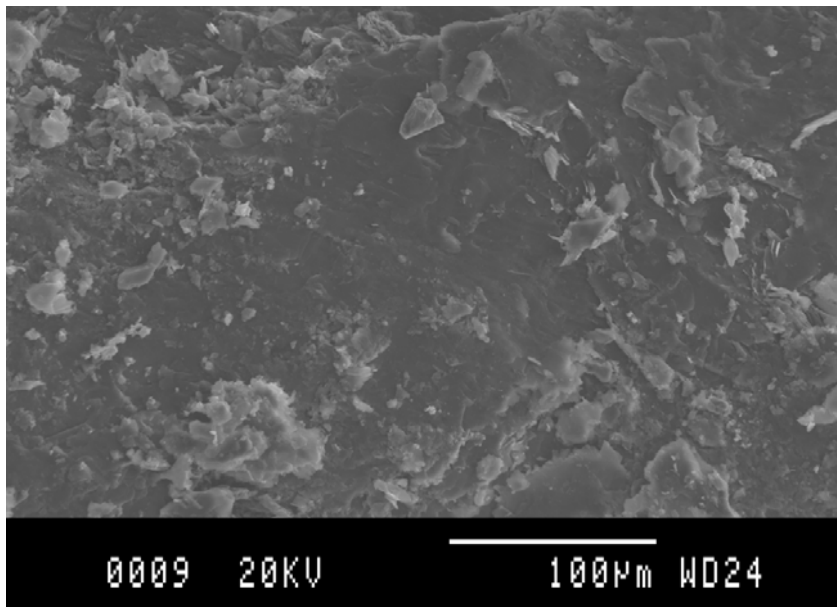
Fotografia 1: Fotografia de microscòpi electrònic d'agregats de sufurs de Fe (a priori pirita)



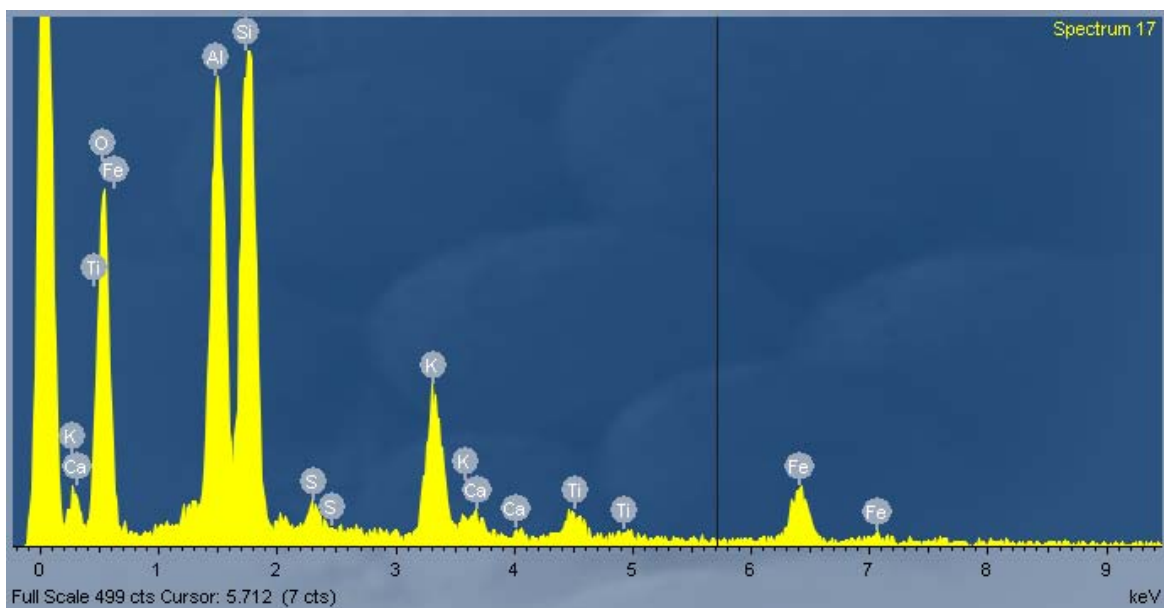
Anàlisi composicional semiquantitatiu 1: L'anàlisi indica que els components observats a la fotografia 1 es corresponen a sulfurs de Ferro.



Fotografia 2: Fotografia de microscopi electrònic de la matriu mineral silicatada en que es troben els sulfurs descrits anteriorment.

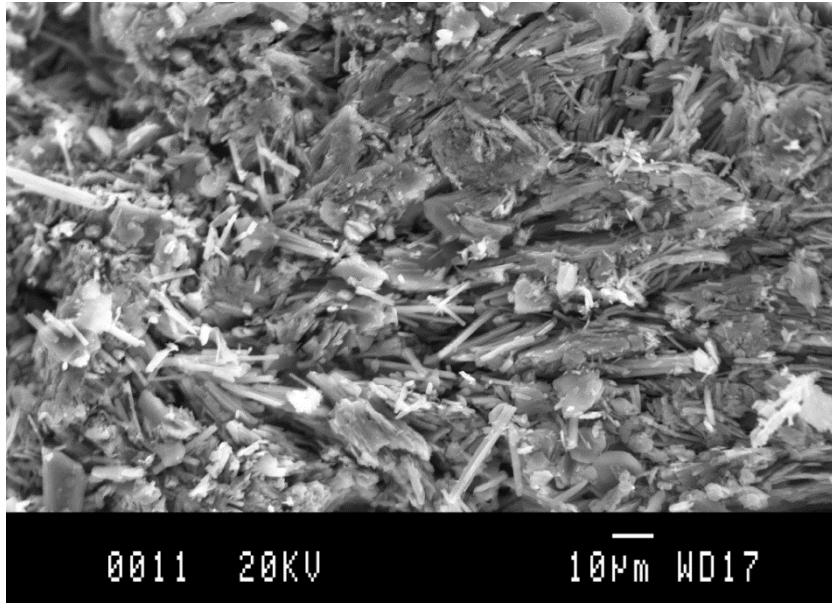


Anàlisi composicional semiquantitatiua 2: L'anàlisi indica que el domini està compost fonamentalment per Si, Al, O, K, Fe, Ca, i Ti. Aquesta composició a priori és compatible amb la de les roques pelítiques.

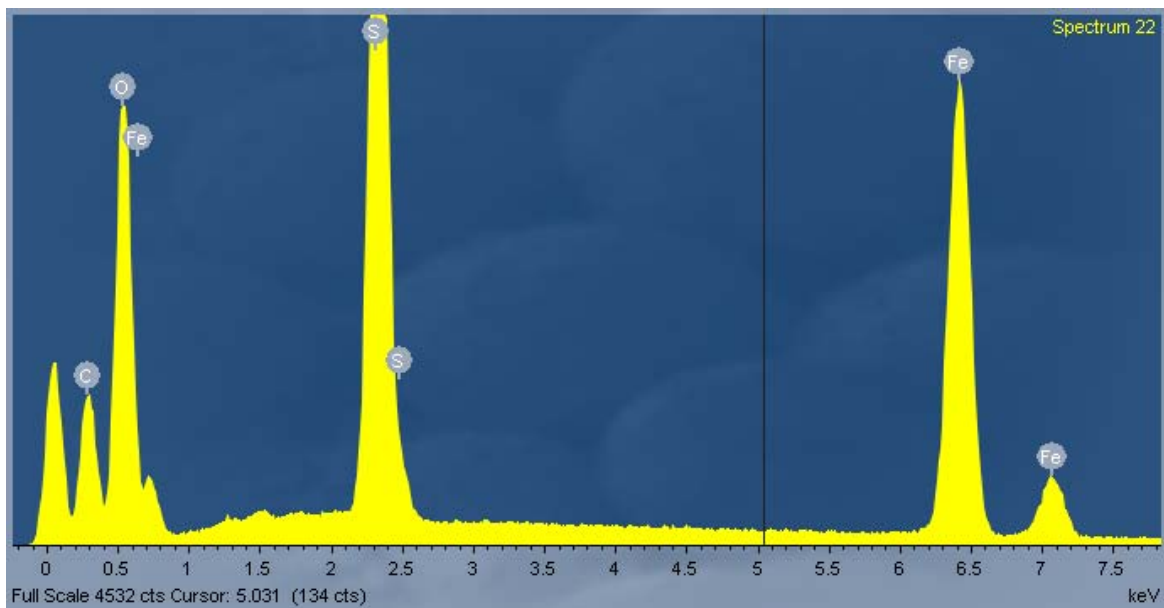


Mostra 916:

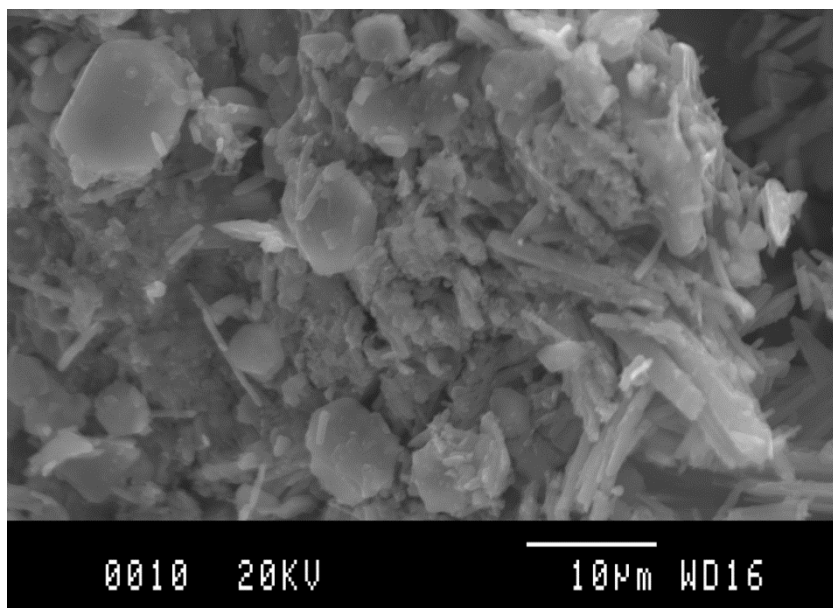
Fotografia 1: Fotografia de microscopi electrònic que ens permet veure com en detall els precipitats groguencs fonamentalment estan constituïts per unes fases minerals d'hàbit acicular.



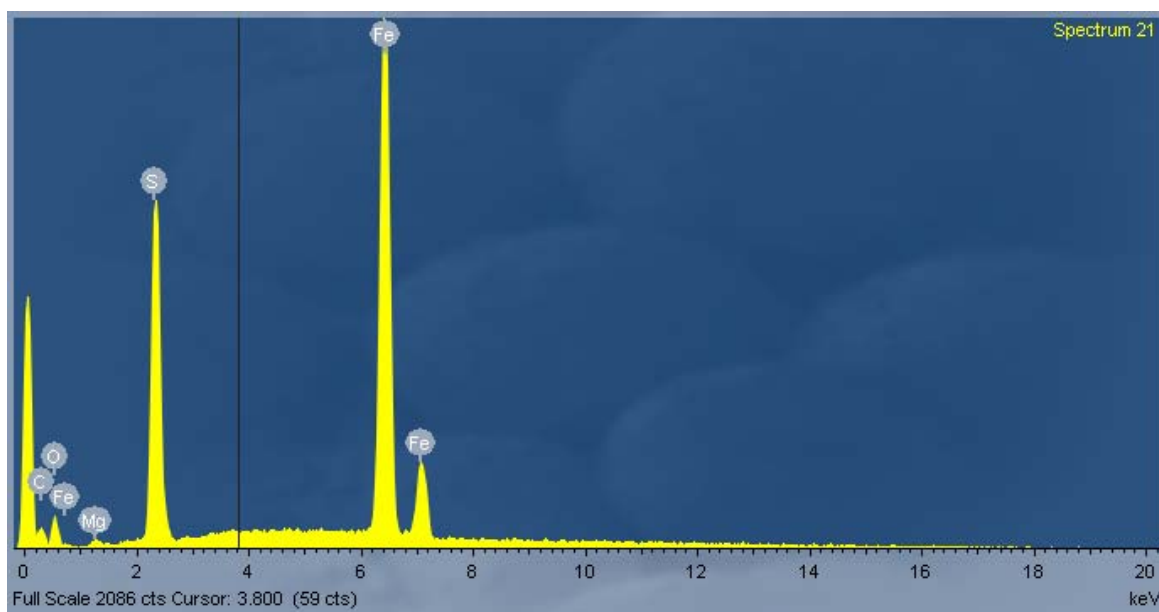
Anàlisi composicional semiquantitatiua 1: L'anàlisi indica que aquestes fases aciculars són riques en Fe, S i O. Possiblement es tracta de sulfat de ferro.



Fotografia 2: Fotografia de microscopi electrònic de mineralitzacions laminars intercalades entre les acícules anteriorment descrites.

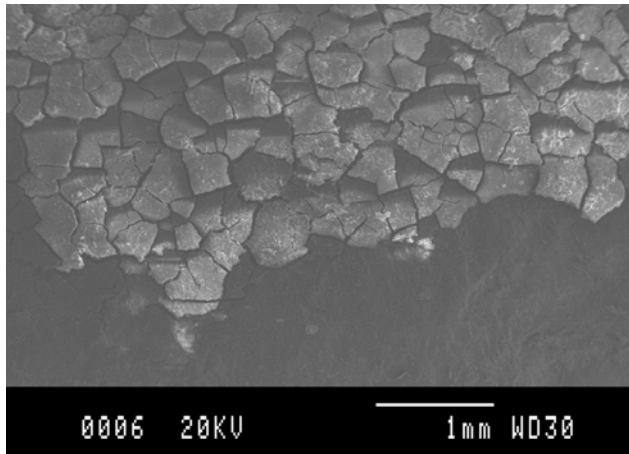


Anàlisi composicional semiquantitatiua 2: L'anàlisi de les fases laminars indica que aquestes són riques en Fe i S. Possiblement és un sulfur de ferro.

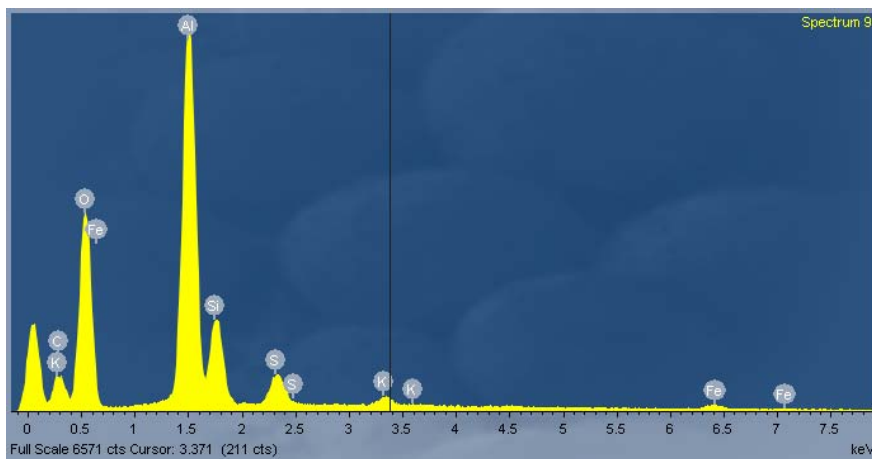


Mostra 910:

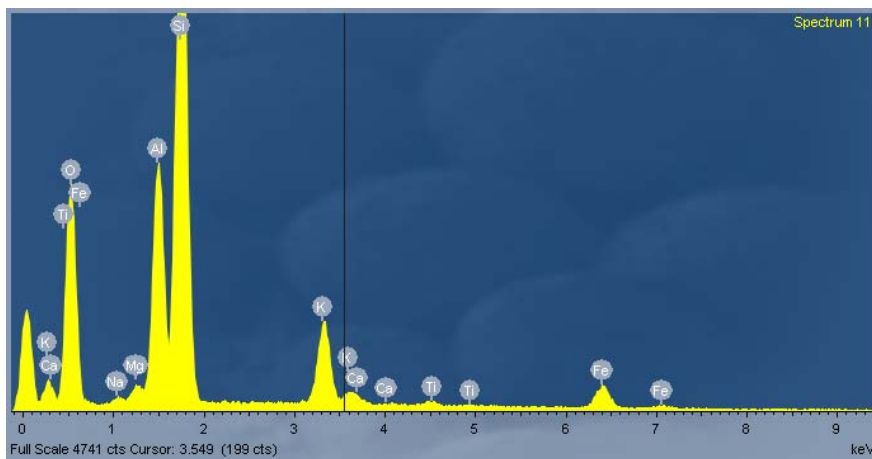
Fotografia de microscopi electrònic de les pàtines blanquinoses. La part inferior es correspon a un domini sense pàtines, al substrat.



L'anàlisi de la pàtina indica que fonamentalment aquesta està constituïda de Al i O, i en menor mesura S. Aquesta composició és comparable a la d'alguns hidròxids i hidroxisulfats d'alumini.

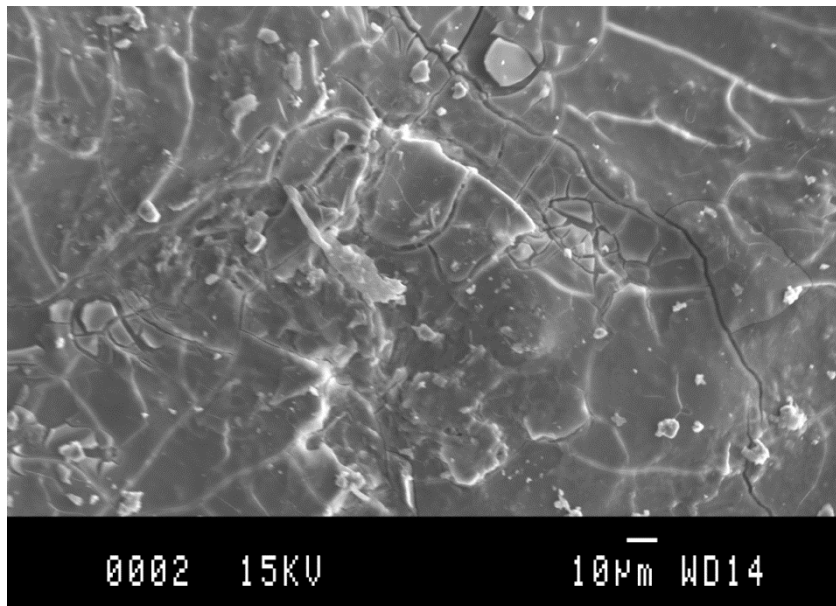


L'anàlisi del substrat en el que reposa la pàtina indica que està compost fonamentalment de Si, Al, O, K, Fe, Mg, Ca, Na i Ti. És compatible amb composicions pelítiques.

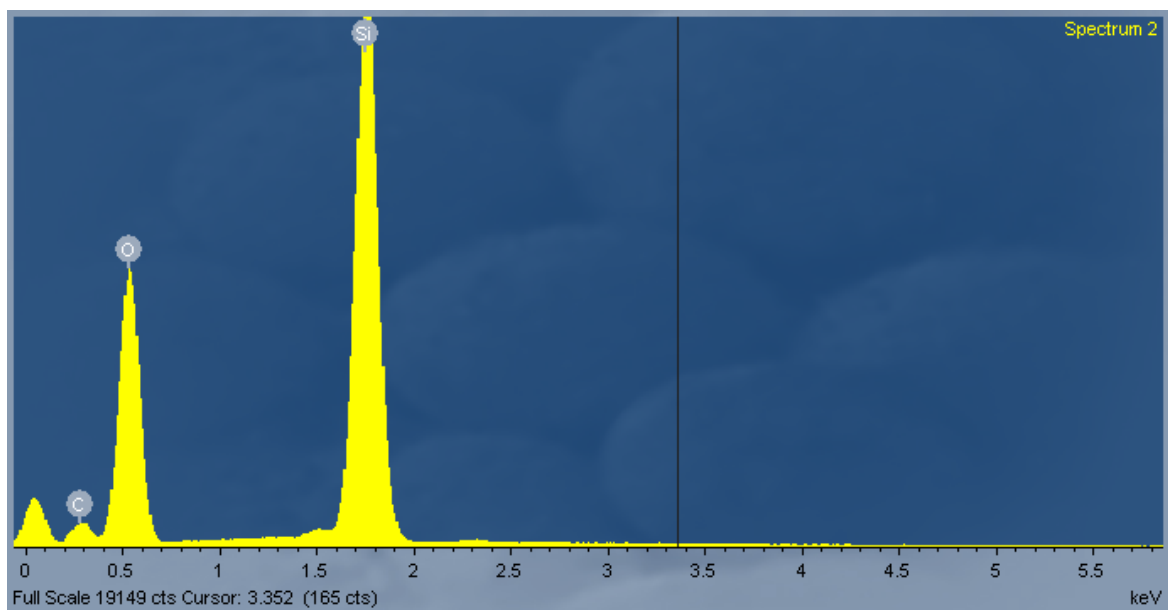


Mostra 905:

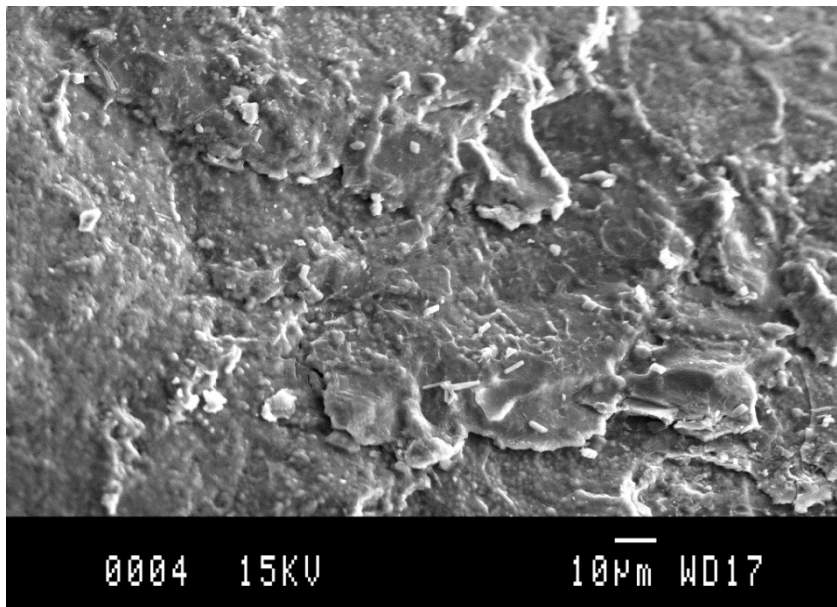
Fotografia 1: Fotografia de microscopi electrònic d'una crosta superficial.



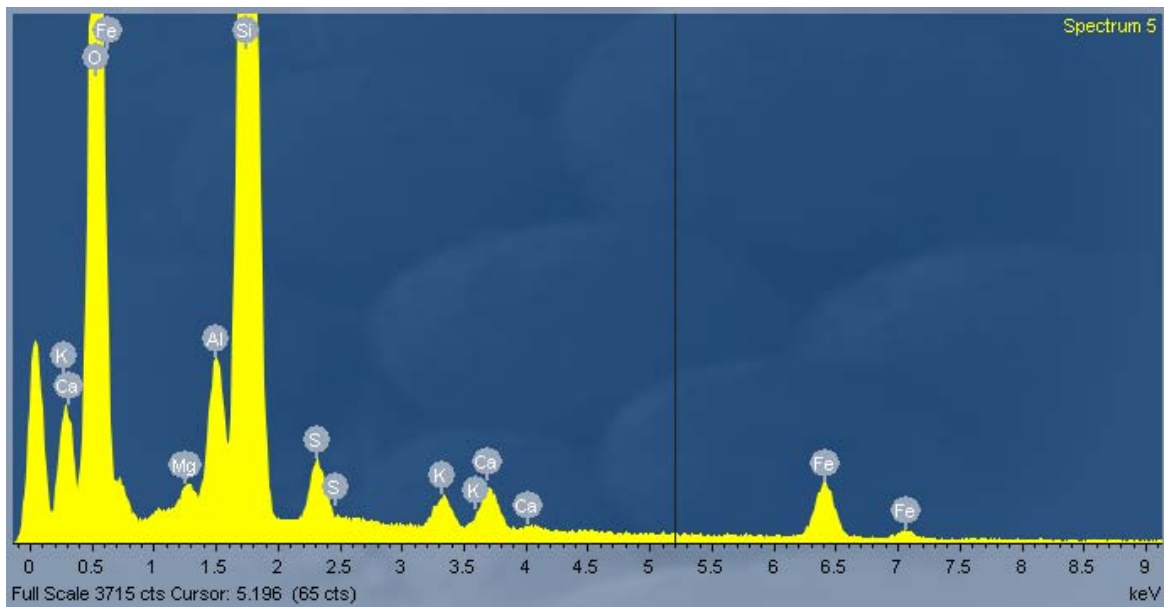
Anàlisi composicional semiquantitatiu 1: L'anàlisi mostra que la pàtina està constituïda exclusivament de Si i O, és a dir quars.



Fotografia 2: Fotografia de microscopi electrònic de la matriu mineral silicatada que es troba coberta per la pàtina descrita anteriorment.



Anàlisi composicional semiquantitatiua 2: L'anàlisi indica que la matriu silicatada que sustenta la pàtina està constituïda fonamentalment per Si, Al, O, K, Fe, Mg i Ca. Aquesta composició és compatible amb la de les pel·lites.



Difracció de RajosX (DRX)

Mitjançant la tècnica de difracció de Rajos X s'han identificat i, en la mesura del possible, quantificat les fases minerals de set mostres (904, 908, 913, 915B, 915A, 916, PIÑA) en el laboratori Actlabs i de quatre mostres (906, 911, 916, 910) als Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona. A continuació es presenten per separat els resultats obtinguts en els diferents laboratoris:

DRX Actlabs

Les mostres 904, 908, 913 i 915B que es corresponen a roques pelítiques més o menys alterades, representatives del substrat geològic de l'àrea d'estudi es caracteritzen per presentar proporcions variables de quars, plagiòclasi, moscovita i clorita. La mostra 908 a més a més inclou un percentatge considerable de biotita i, la 904 inclou un percentatge considerable de material amorf que no s'ha pogut identificar (tenint en compte les característiques petrogràfiques possiblement es tracta d'òxids i hidròxids de Ferro).

Les mostres 915A i 916 que es corresponen a precipitats groguencs producte de l'alteració de les pelites es caracteritzen per estar compostes per un percentatge important de material amorf, Mikasaite (un sulfat de ferro), plagiòclasi, quars i moscovita.

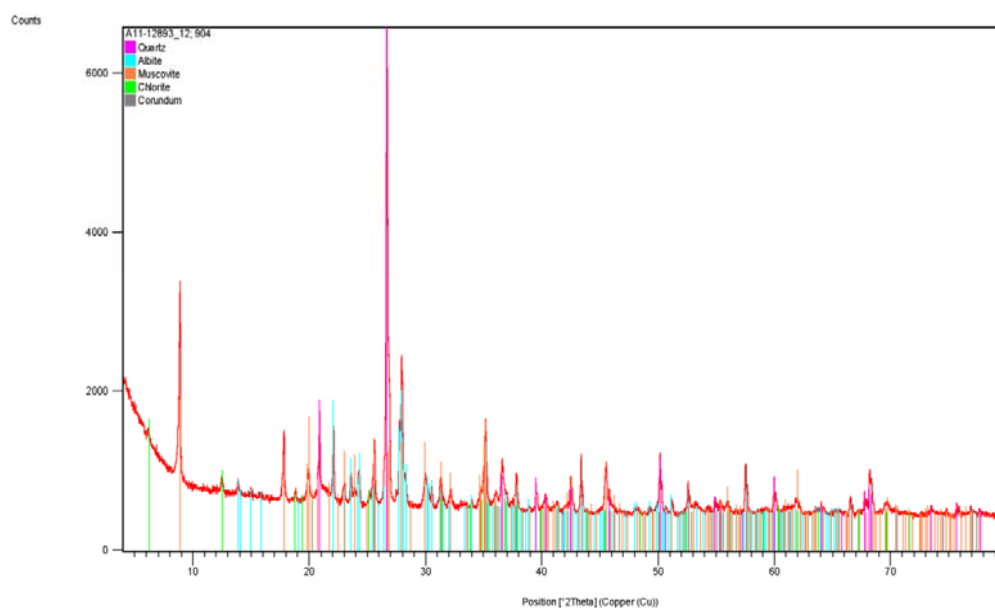
A la mostra 916, que també ha estat analitzada pel mateix mètode en els Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona, s'identifiquen sulfats de Ferro, concretament amarantita, fibroferrita.

La mostra de pàtina blanca PIÑA, té un percentatge important (però no determinat) de material amorf a més a més de plagiòclasi, quars, moscovita i clorita. Aquesta mostra és equivalent a la mostra 910 que ha estat analitzada als Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona.

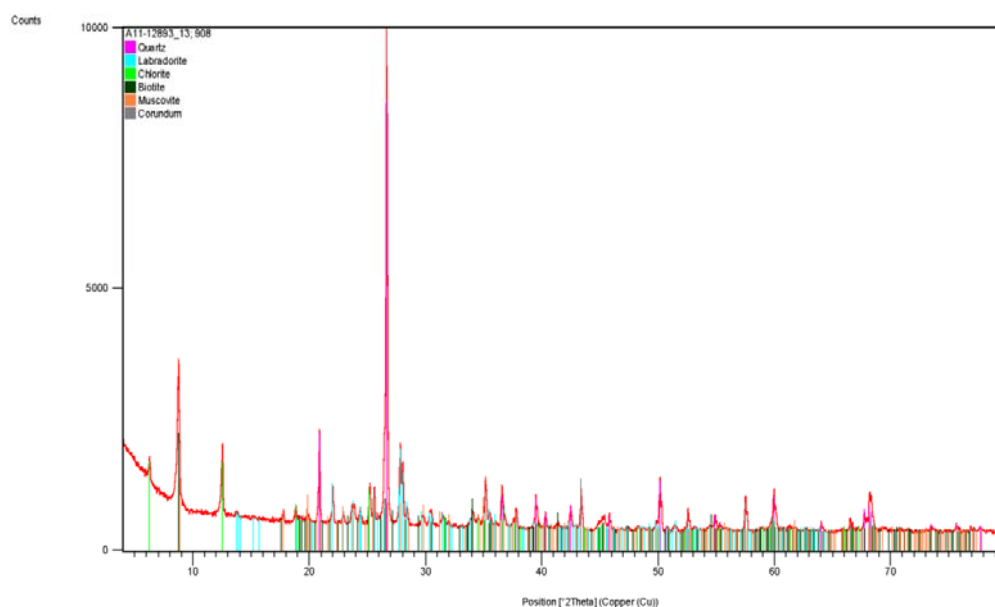
La taula que s'adjunta a continuació conté el percentatge modal de les diferents fases identificades:

Mostra	Quars	Plagiòclasi	Moscovita	Biotita	Clorita	Mikasaita	Amorf
904	20,5	27,6	32,6	n.d.	2,9	n.d	16,3
908	29,3	25,7	5,3	30	9,6	n.d	n.d
913	27,1	19,3	32,9	n.d.	20,7	n.d	n.d
915B	26,7	10,5	43,4	n.d.	19,4	n.d	n.d
915A	8,8	18,2	7,1	n.d.	traça	18,8	47,1
916	6,1	16,6	5,8	n.d.	n.d.	23,6	47,9
PIÑA	26,1	28,5	32,7	n.d.	12,7	n.d	?

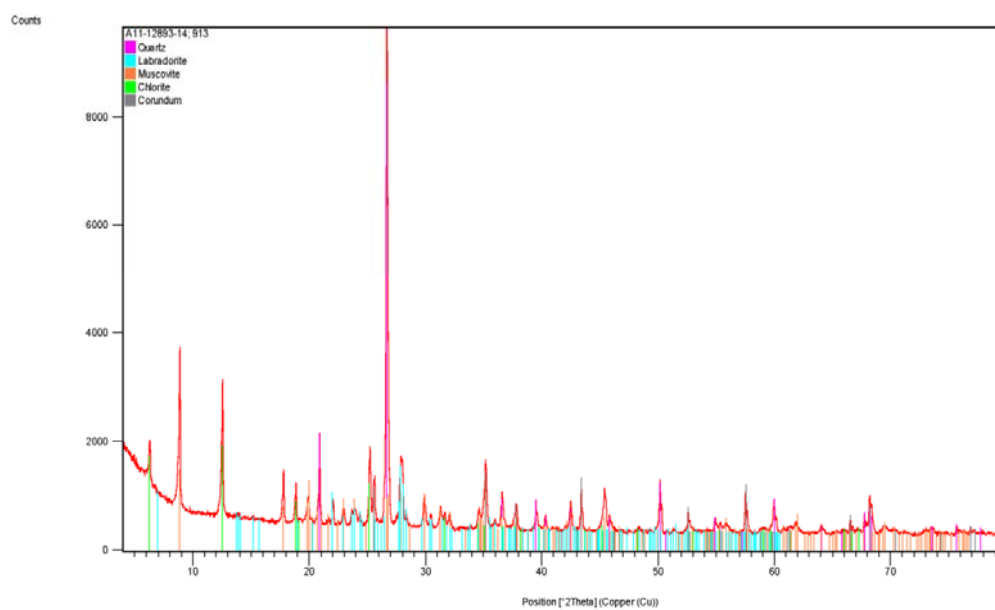
A continuació es presenten els difractogrames de les set mostres caracteritzades:



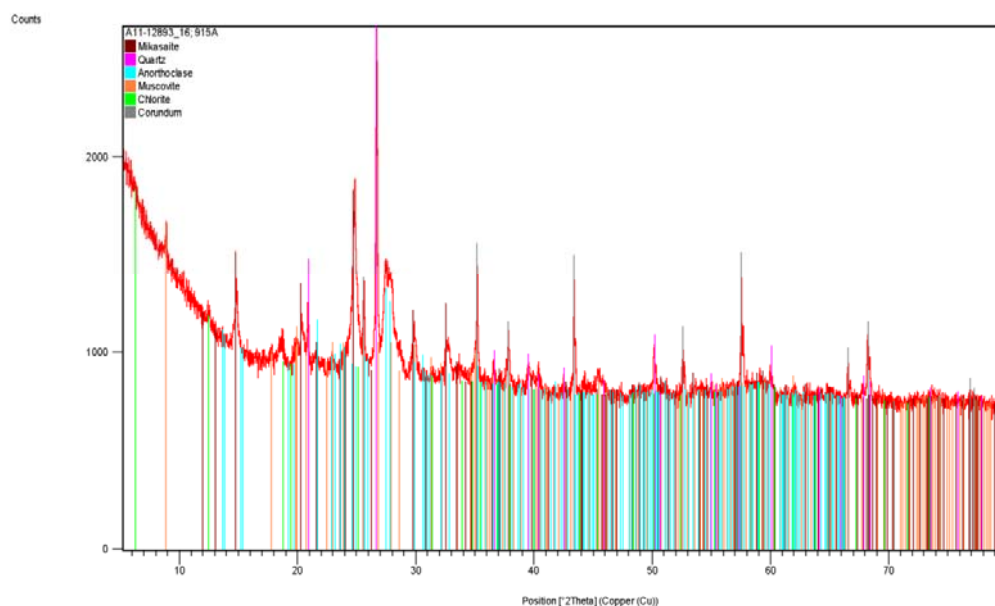
Difractograma de la mostra 904



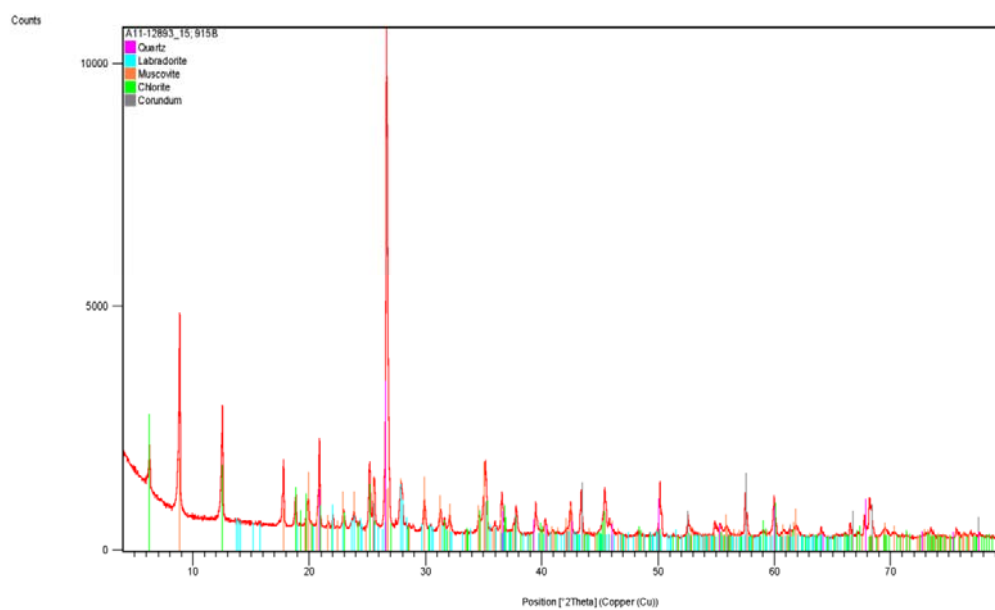
Difractograma de la mostra 908



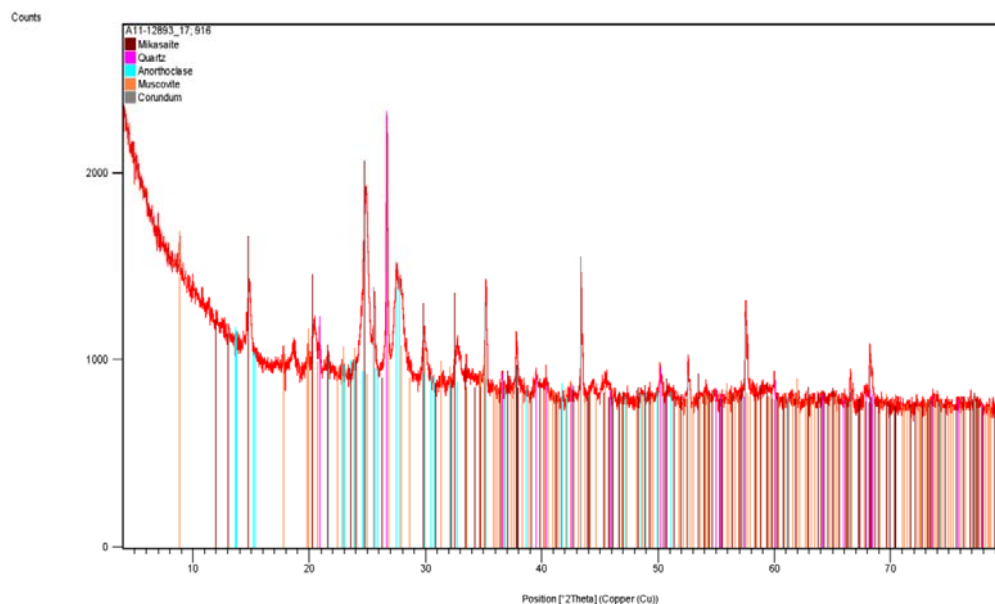
Difractograma de la mostra 913



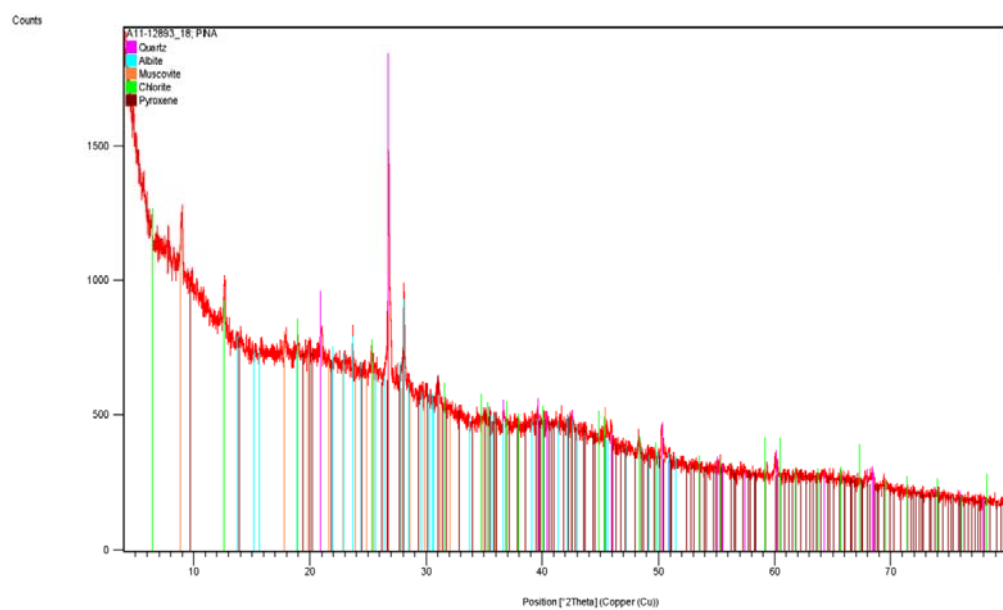
Difractograma de la mostra 915A



Difractograma de la mostra 915B



Difractograma de la mostra 916

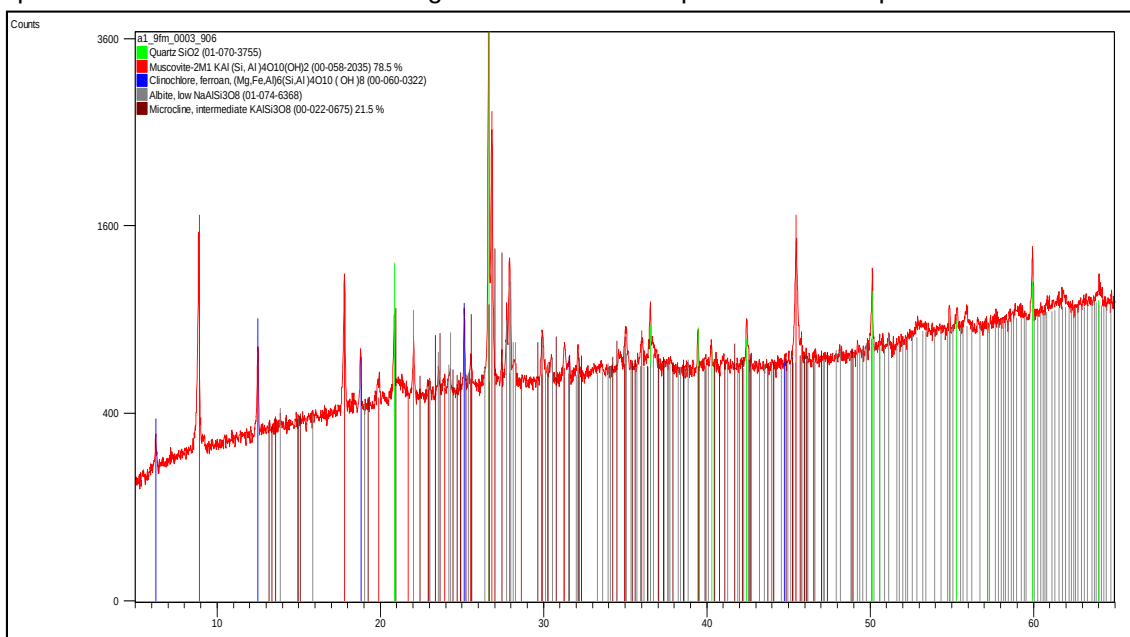


Difractograma de la mostra PIÑA

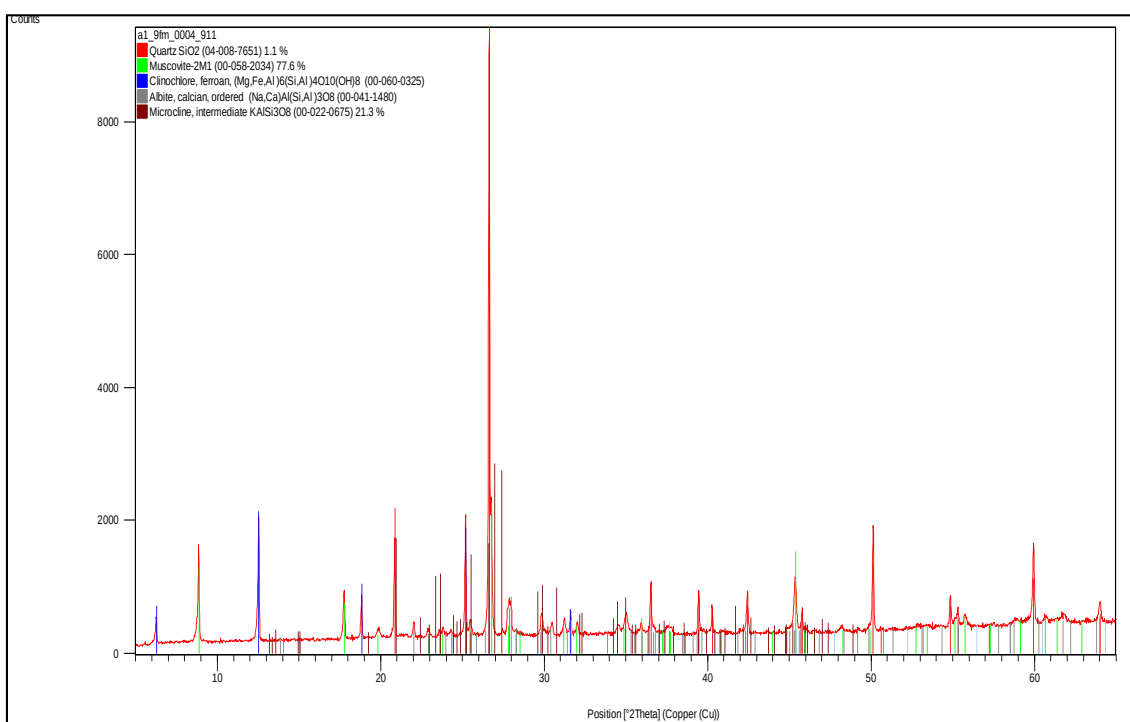
DRX Serveis Cientifictècnics

En el cas de les difraccions realitzades als Serveis Cientifictècnics de la Universitat de Barcelona només s'ha obtingut l'anàlisi qualitativa de les fases principals que les constitueixen. A continuació per cada mostra es descriuen els resultats obtinguts i el difractograma corresponent.

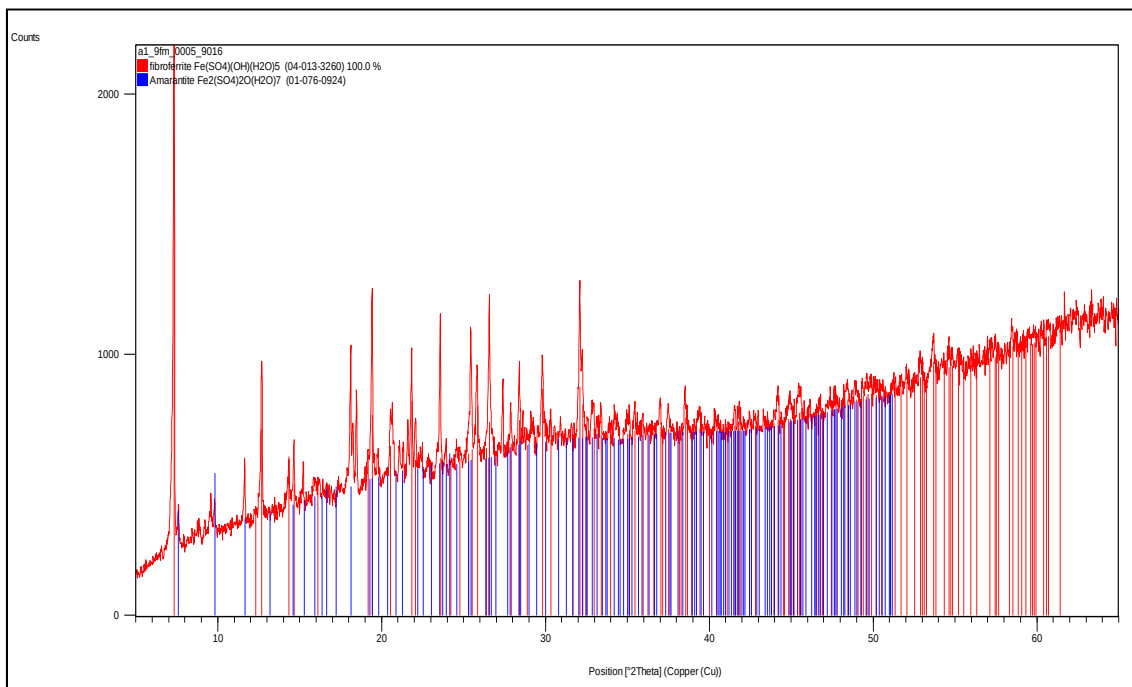
Mostra 906: Per ordre d'importància del pic més intens de cada fase s'identifiquen Moscovita, Clorita, Quars, Plagiòclasi (probablement propera a l'Albita) i Feldespat potàssic. A més, el tipus de fons del diagrama indica presència important de Fe.



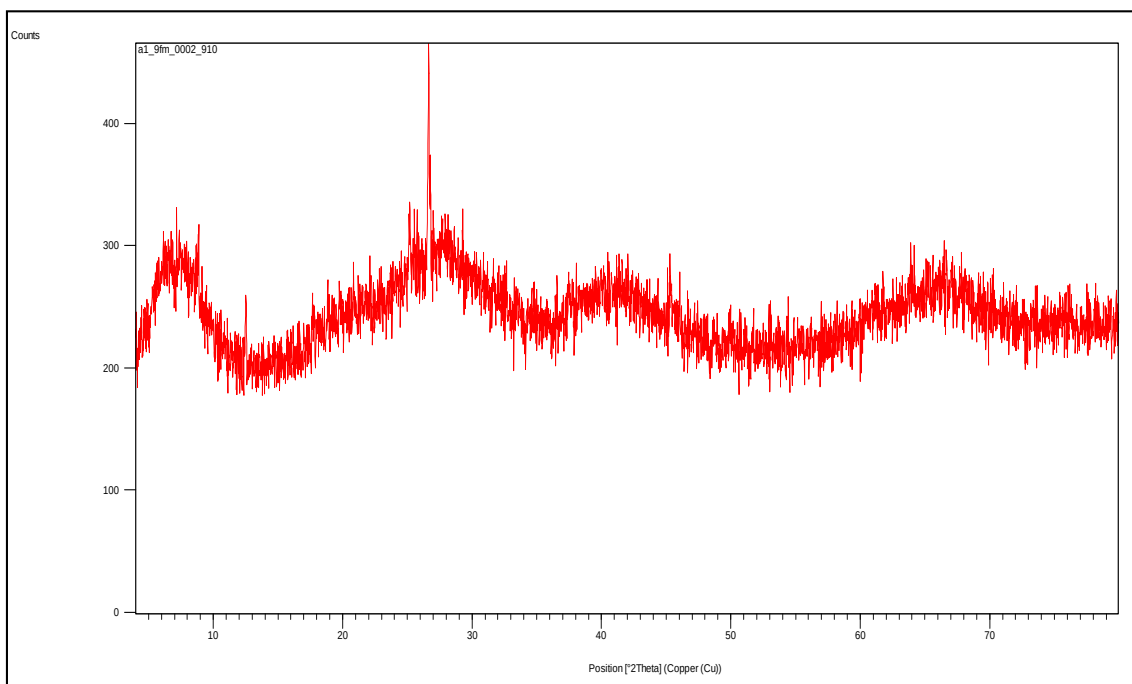
Mostra 911: Per ordre d'importància del pic més intens de cada fase s'identifiquen Quars, Clorita, Moscovita, Plagiòclasi i Feldespat potàssic.



Mostra 916: La fase cristal·lina majoritària és Fibroferrita $\text{Fe}(\text{SO}_4)(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5$ i com a fase menor s'identifica també Amarantita $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2\text{O}(\text{H}_2\text{O})_7$. Queden pics per signar corresponents a altres fases menors que no s'han pogut identificar.



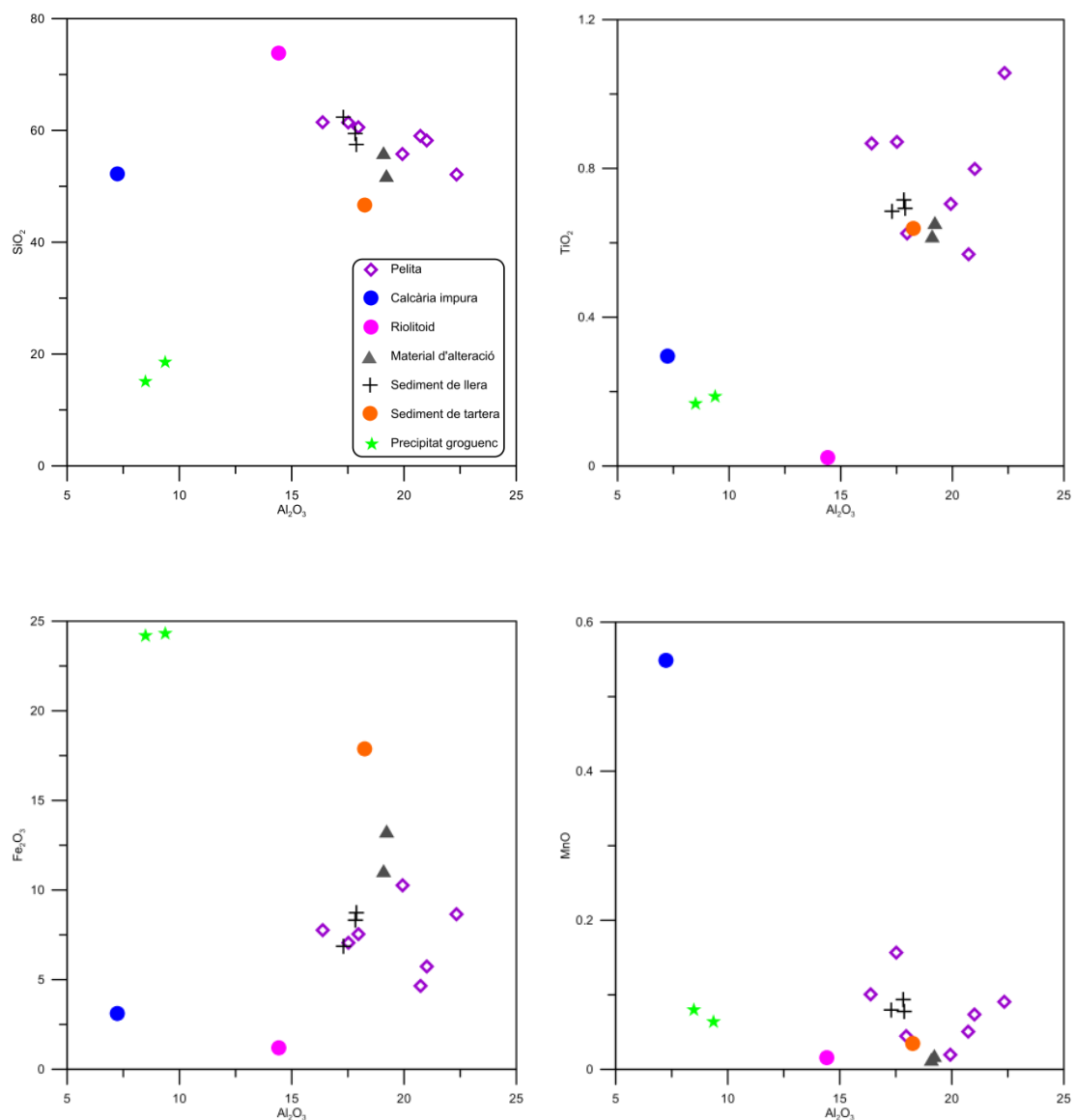
Mostra 910: El diagrama obtingut indica que la mostra és poc cristal·lina. S'observen pocs pics i molt amples. Segurament conté materials nanocristal·lins. A priori, la gràfica no s'ajusta de forma clara amb cap patró mineral. Amb tot, tenint en compte que sabem que han de ser fases d'alumini, el diagrama podria ser compatible amb alguns oxihidròxids d'Al. Entre ells la Bayerita però també d'altres amb estequiometries més complexes. A part el diagrama té algun pic estret corresponent a alguna fase cristal·lina molt minoritària (probablement quars i alguna altra).

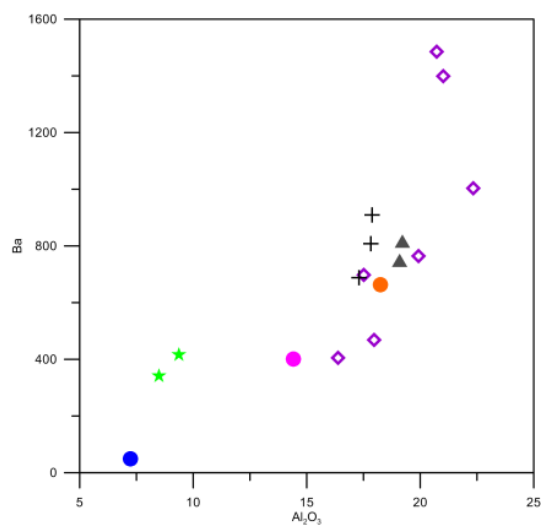
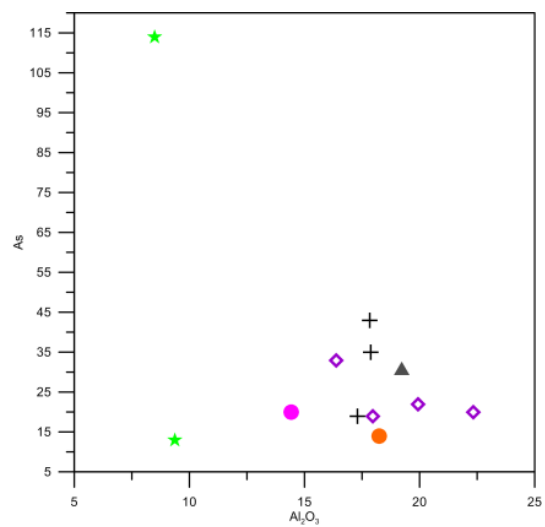
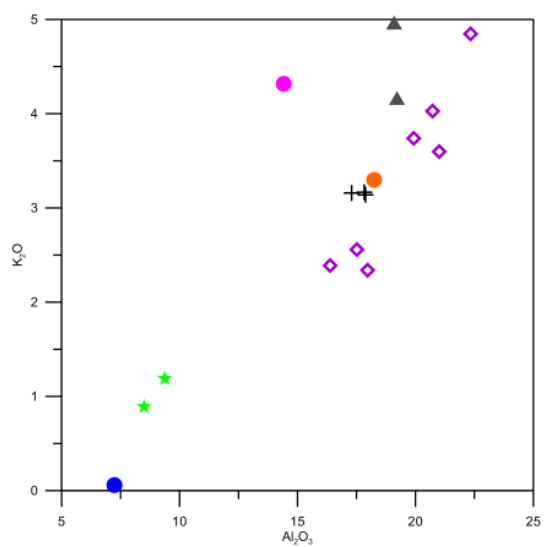
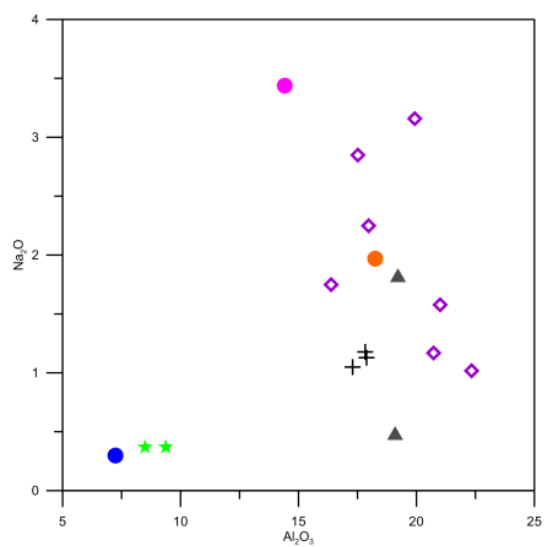
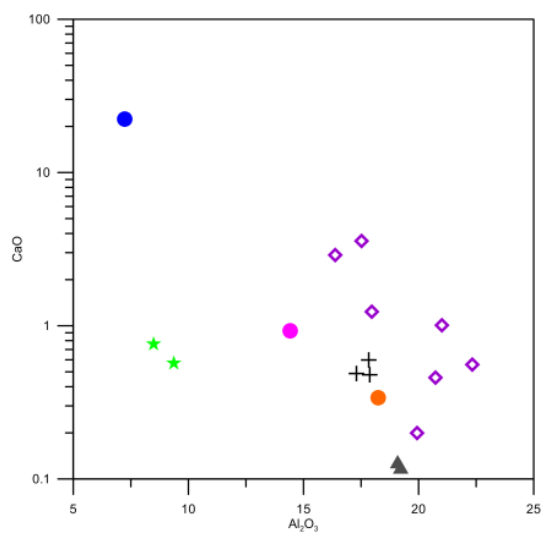
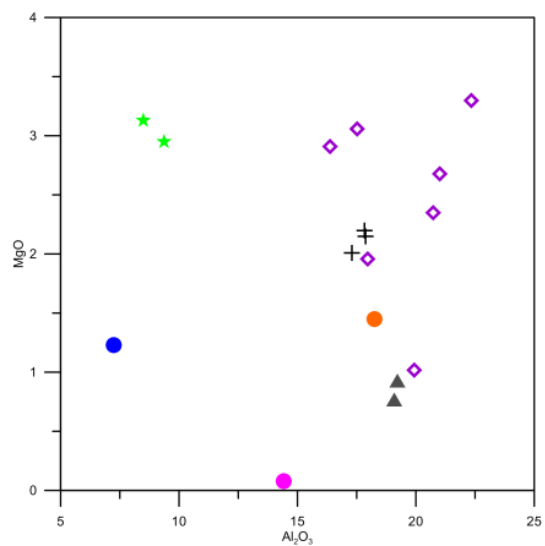


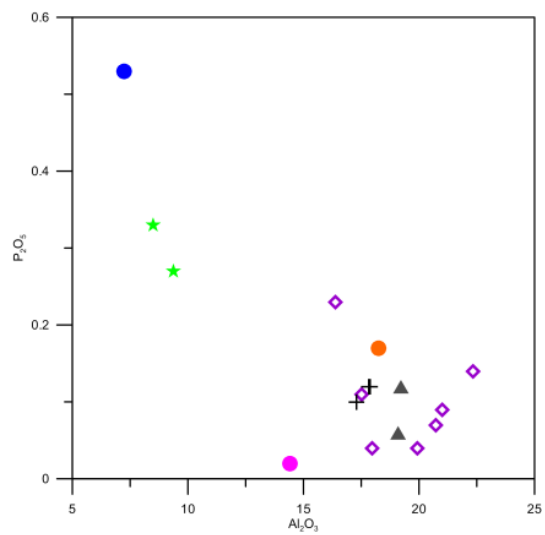
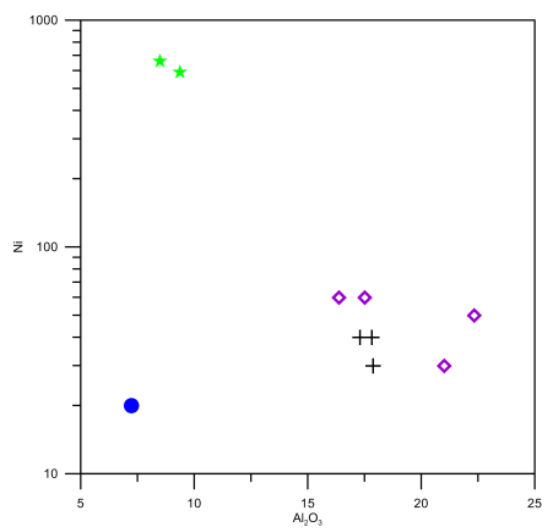
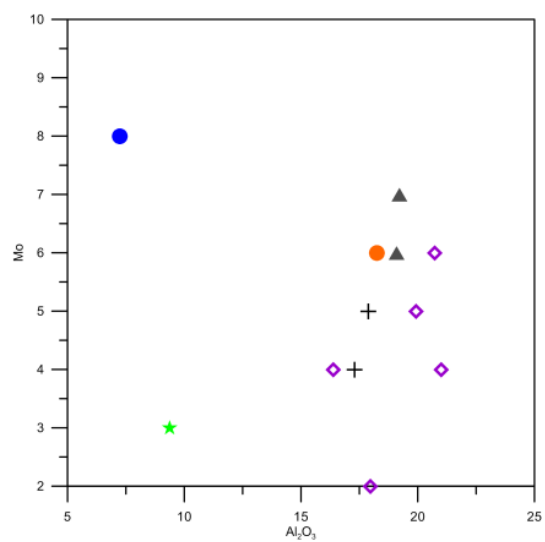
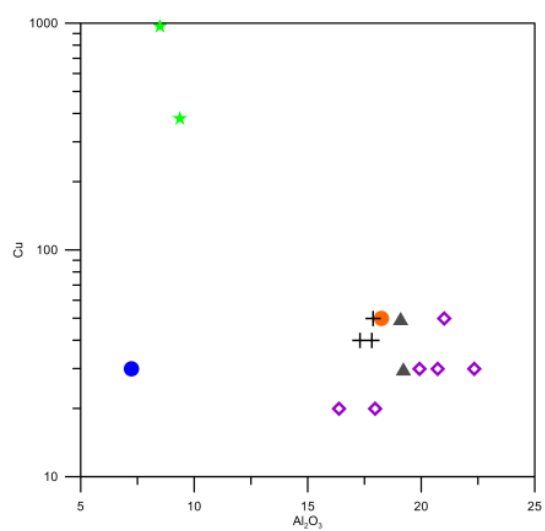
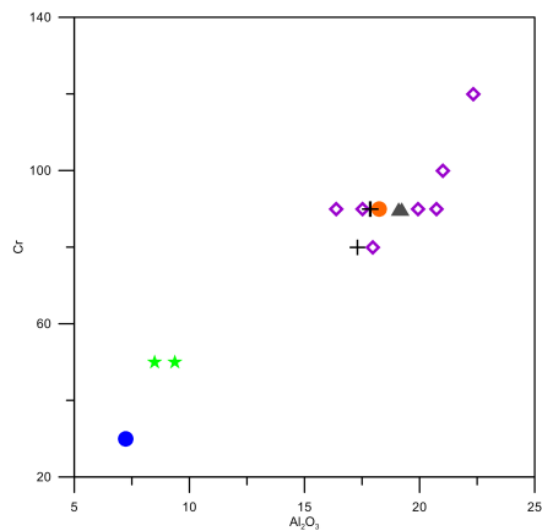
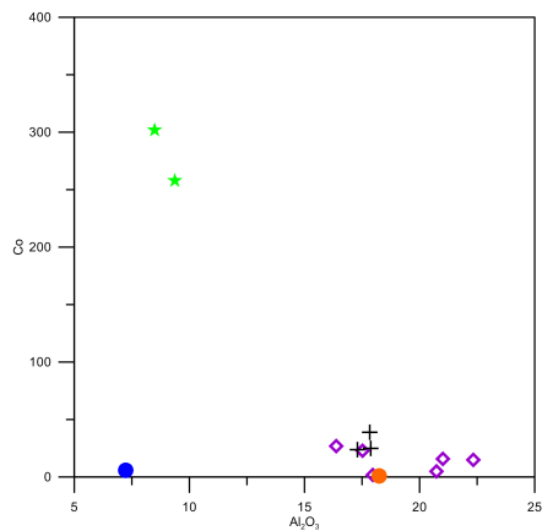
Composicions geoquímiques totals

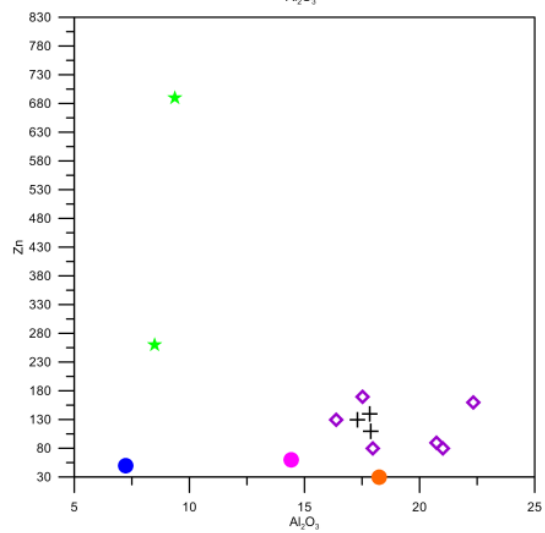
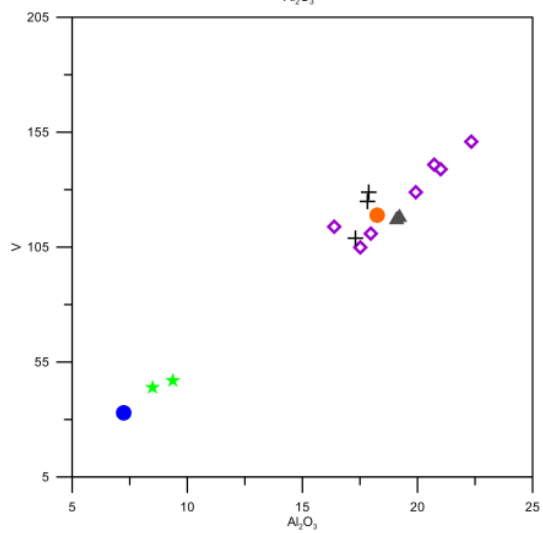
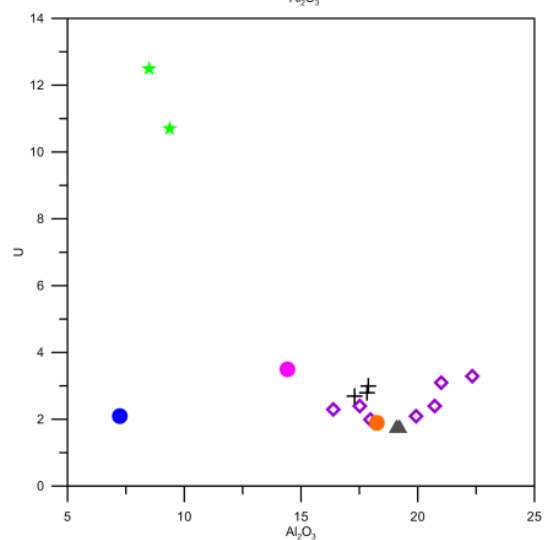
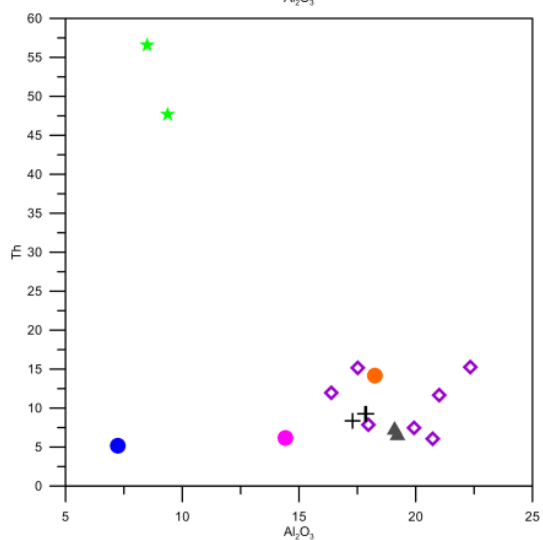
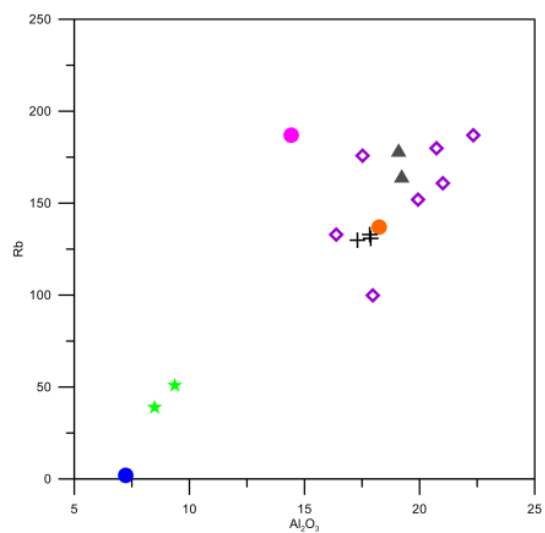
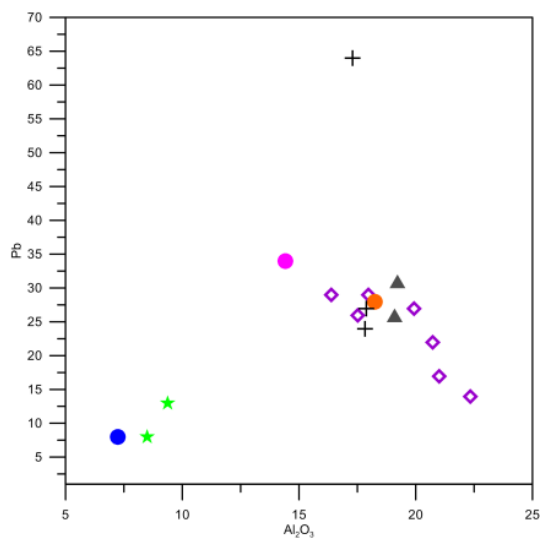
A la taula que s'adjunta al final d'aquest apartat hi ha les composicions geoquímiques totals de les diferents mostres analitzades. La taula inclou unes composicions de referència que permeten contrastar els resultats obtinguts. Concretament s'han inclòs les concentracions medianes i el percentil 90 dels subsòls (sòls per sota 25 cm) i els stream sediments (sediments de llera) del conjunt d'Europa (atles geoquímic d'Europa del FOREGS). Per altra banda també s'inclouen les concentracions medianes i el percentil 90 del Cambroordovicià i el Neogen de la conca del Besòs (dades de l'IGC).

A continuació es presenten les composicions de les diferents mostres analitzades en una sèrie de diagrames de Harker en què es compara la concentració d' Al_2O_3 amb la resta d'elements majoritaris i, una sèrie d'elements traça representatius.









ELEMENTS MAJORITARIS

Mostra	Libèria	Analit	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ (T) %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	LOI %	Total %
M1-BAU	Crosta ferruginosa	Limit detectat	56,06	19,09	11,09	0,014	0,77	0,13	0,49	4,97	0,619	0,06	5,61	98,9
M2-BAU	Pissarres alterades		60,59	17,97	7,55	0,045	1,96	1,24	2,25	2,34	0,626	0,04	4,15	98,76
M3-BAU	Pissarres		52,14	22,34	8,66	0,091	3,3	0,56	1,02	4,85	1,057	0,14	4,85	98,81
M4-BAU	Roloid		73,87	14,42	1,21	0,016	0,08	0,93	3,44	4,32	0,023	0,02	0,86	99,21
M5-BAU	Calçars impura		52,26	7,24	3,12	0,549	1,23	22,33	0,3	0,06	0,296	0,53	11,51	99,43
M7-BAU	Psarmita		61,46	17,52	7,07	0,157	3,06	3,59	2,56	2,56	0,672	0,11	1,7	101
906	Sediment de ariera		46,69	18,25	17,89	0,039	1,45	0,34	1,97	3,3	0,639	0,17	7,81	98,55
917	Sediments garbellats		59,48	17,83	8,33	0,094	2,2	0,6	1,18	3,17	0,716	0,12	5,62	99,53
911	Sediments garbellats		62,4	17,3	6,87	0,08	2,01	0,49	1,05	3,16	0,685	0,1	5,91	100,1
912	Sediments garbellats		57,5	17,88	8,75	0,078	2,15	0,48	1,13	3,14	0,693	0,12	7,36	99,27
905	Crosta		51,98	19,22	13,3	0,019	0,93	0,12	1,83	4,17	0,655	0,12	6,8	99,13
904	Pissarres rovellades		55,62	19,93	10,26	0,02	1,02	0,2	3,16	3,74	0,706	0,04	4,93	99,84
908	Ritmes		61,51	16,38	7,77	0,101	2,91	2,9	1,75	2,39	0,868	0,23	2,27	99,08
913	Pissarres negres		58,23	21,01	5,75	0,074	2,68	1,01	1,58	3,6	0,799	0,09	4,76	99,59
915B	Pissarres alterades		59,07	20,73	4,67	0,051	2,35	0,46	1,17	4,03	0,57	0,07	5,41	98,59
915A	Concrecions grogues		18,58	9,37	24,32	0,064	2,95	0,57	0,37	1,19	0,187	0,27	39,91	97,79
916	Concrecions grogues		15,1	8,49	24,19	0,08	3,13	0,76	0,37	0,89	0,188	0,33	44,23	97,73
SSEM	Subsòl Europa mediana		68	11,7	3,75	0,06	0,98	1,13	0,86	2,02	0,586	0,066	x	x
SSEP90	Subsòl Europa p90		85,6	17,1	7,06	0,143	2,76	1,35	2,97	3,43	0,936	0,189	x	x
STEM	Stream Sediment Europa mediana		61,7	10,4	3,57	0,077	1,2	2,44	0,8	2,01	0,634	0,13	x	x
STEP90	Stream Sediment Europa p90		77,1	16,1	7,14	0,203	3,3	18,5	2,5	3,25	1,06	0,32	x	x
BCOM	Bessòs Cambròndovicià mediana		61,45	18,22	6,635	0,0465	1,705	0,34	1,025	3,715	0,897	0,16	4,44	99,48
BCOP90	Bessòs Cambròndovicià p90		71,44	22,3	8,375	0,1025	2,07	1,19	1,97	4,465	1,146	0,2	6,395	100,1
BNM	Bessòs Neàgen mediana		64,69	12,79	3,28	0,0575	0,88	2,19	1,34	3,595	0,4035	0,065	7,26	100,6
BNP90	Bessòs Neàgen p90		73,58	14,68	4,38	0,09	1,63	9,335	2,095	3,985	0,6535	0,13	11,8	100,9

ELEMENTS TRACA

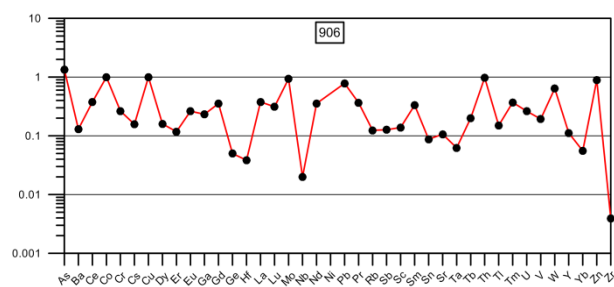
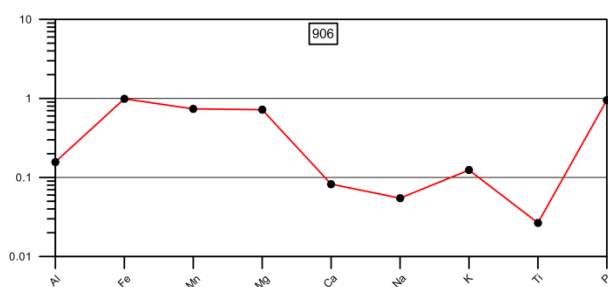
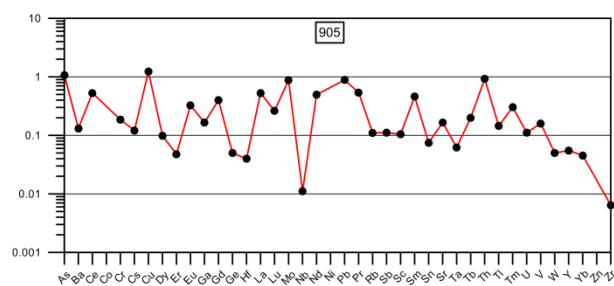
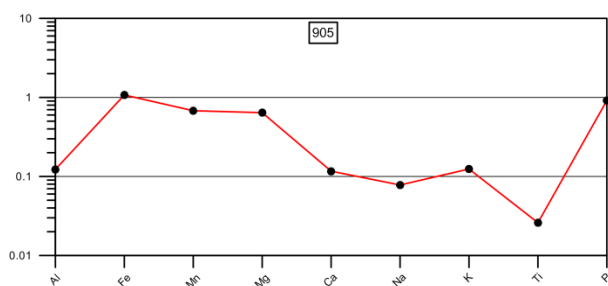
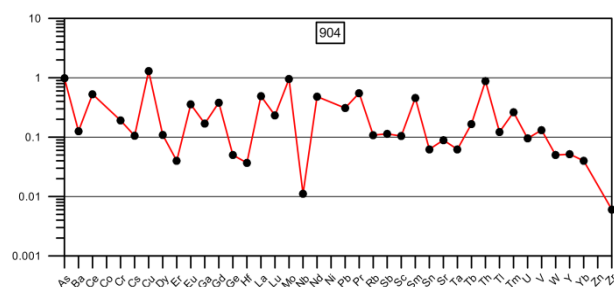
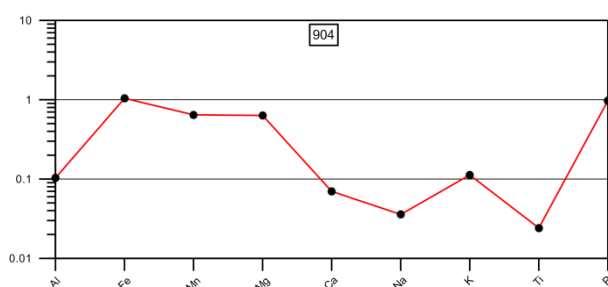
Mostra	Libèria	Analit	Ag ppm	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm
M1-BAU	Crosta ferruginosa	Limit detectat	0,7	<5	750	2	1,1	10,7	<1	90	6,2	50	2,1	1,5	0,3	26
M2-BAU	Pissarres alterades		0,6	19	469	4	0,5	40,4	2	80	3,4	20	2,2	1,2	0,93	23
M3-BAU	Pissarres		1,1	20	1004	2	0,6	63,5	15	<20	9,2	30	5,2	3,3	0,94	32
M4-BAU	Roloid		<0,5	20	402	3	0,7	31	<1	<20	3,3	<10	0,3	<0,1	0,71	21
M5-BAU	Calçars impura		0,6	<5	50	2	<0,4	42,6	6	30	<0,5	30	3,7	2,1	1,38	9
M7-BAU	Psarmita		0,9	<5	689	4	<0,4	81,8	23	90	8,7	<10	4,6	2,6	1,34	25
906	Sediment de ariera		<0,5	14	664	3	0,7	44,9	1	90	6,1	50	3	1,7	0,76	27
917	Sediments garbellats		0,8	43	809	3	<0,4	69,1	39	90	4,7	40	5	2,7	1,2	24
911	Sediments garbellats		0,9	19	689	3	<0,4	65,9	24	80	5,4	40	5,9	3,2	1,54	22
912	Sediments garbellats		0,8	35	910	3	0,4	62,7	25	90	4,7	50	4,9	2,9	1,27	24
905	Crosta		0,6	31	818	3	0,5	30	<1	90	6,1	30	3,4	2,1	0,61	28
904	Pissarres rovellades		0,6	22	765	3	0,6	39,4	<1	90	5,4	30	4,1	2,5	0,84	28
908	Ritmes		0,9	33	406	4	<0,4	79,1	27	90	6,1	20	5,5	3	1,55	23
913	Pissarres negres		<0,5	<5	1400	3	<0,4	71,3	16	100	6,1	50	4,2	2,3	1,19	29
915B	Pissarres alterades		0,6	<5	1486	3	0,7	63	5	90	6,2	30	3,8	2,1	1,2	28
915A	Concrecions grogues		<0,5	13	417	1	<0,4	54,5	258	50	2	380	3,5	1,8	0,93	10
916	Concrecions grogues		<0,5	114	342	<1	<0,4	72,5	302	50	1,3	970	3,7	1,9	1,16	9
SSEM	Subsòl Europa mediana		0,25	6,02	385	<2	<0,5	53,7	8,97	62	3,69	13,9	3,66	2,18	0,84	13,8
SSEP90	Subsòl Europa p90		0,5	22	663	3,47	0,7	93	20,3	129	12,5	34,8	6,07	3,5	1,52	22
STEM	Stream Sediment Europa mediana		x	6	370	1,42	x	65,1	8	64	3	17	4,45	2,6	0,99	12
STEP90	Stream Sediment Europa p90		x	22	644	3,9	x	135	21	139	10	38	8,65	5,35	1,79	20
BCOM	Bessòs Cambròndovicià mediana		0,25	16	811	3	0,2	99,55	13,5	110	5,7	30	6,35	3,7	1,54	23,5
BCOP90	Bessòs Cambròndovicià p90		0,25	43	1289	4	1	124	21,5	140	9,8	95	7,6	4,6	2,245	27,5
BNM	Bessòs Neàgen mediana		0,25	2,5	660,5	2	0,45	59,65	3	20	3,3	20	4,2	2,35	0,91	13
BNP90	Bessòs Neàgen p90		0,25	13,5	888,5	2,5	1,3	84,75	9	50	4,85	40	5,55	3,15	1,175	17

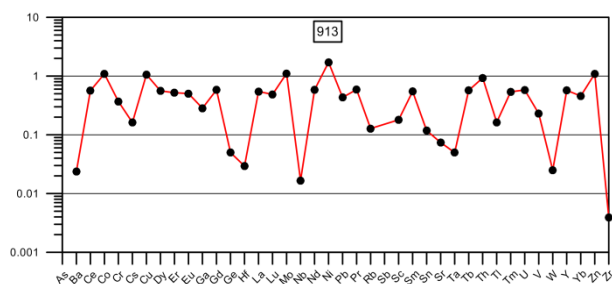
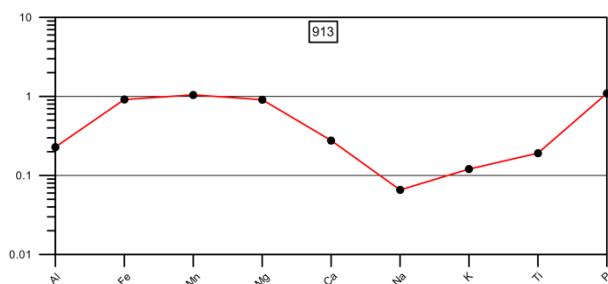
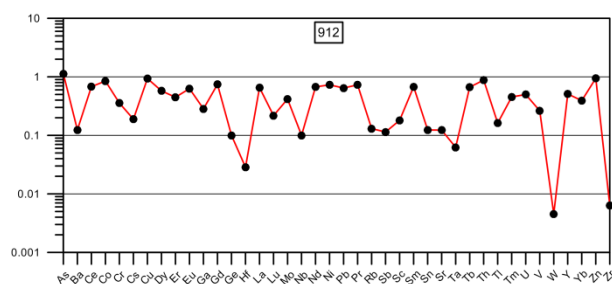
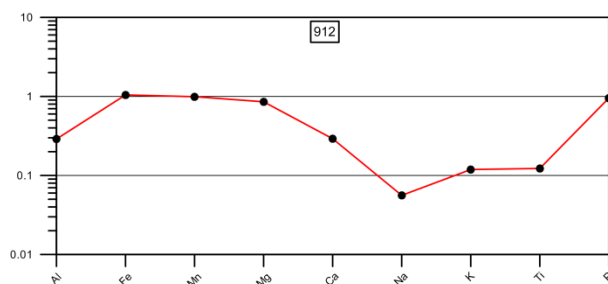
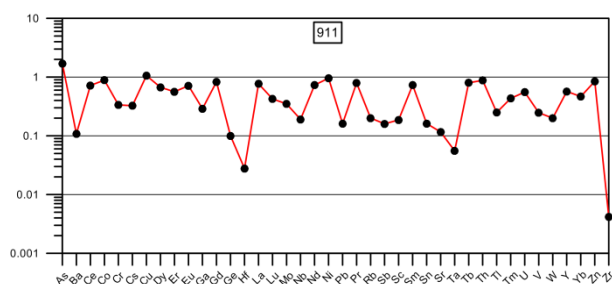
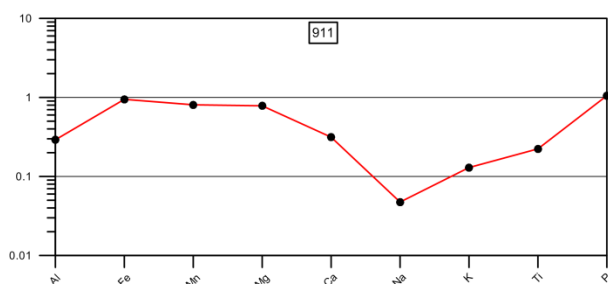
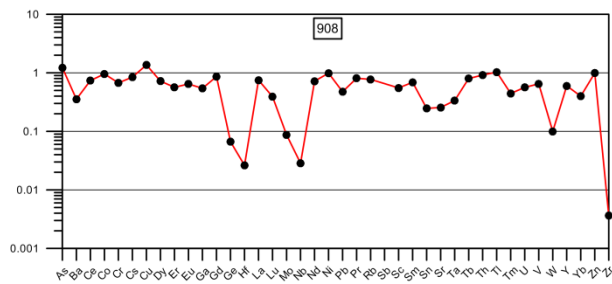
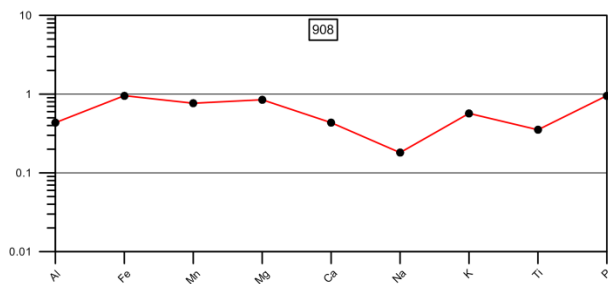
ELEMENTS TRACA CONTINUACIO

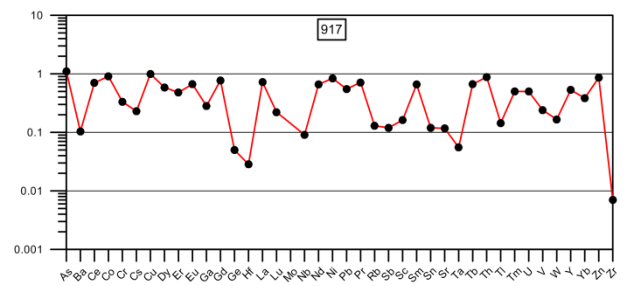
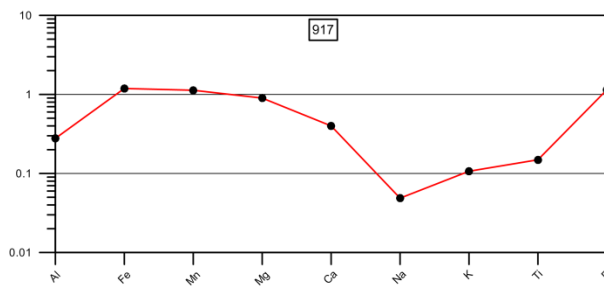
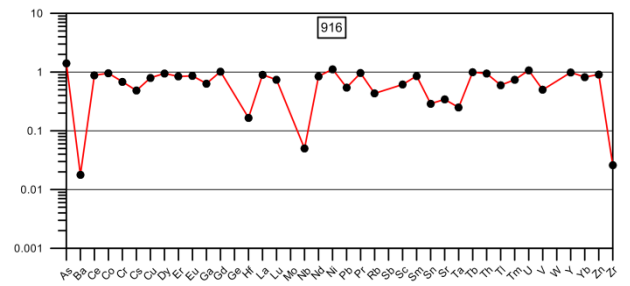
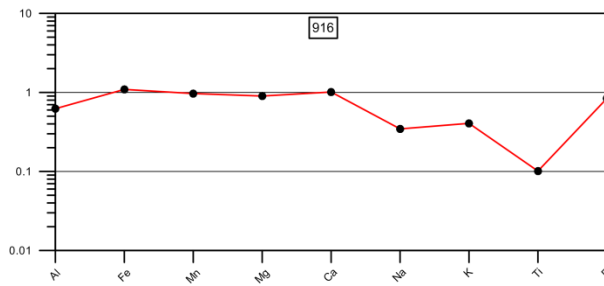
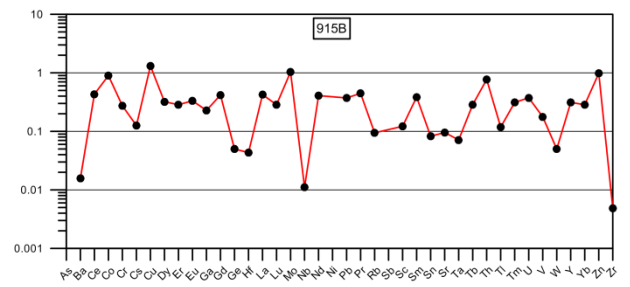
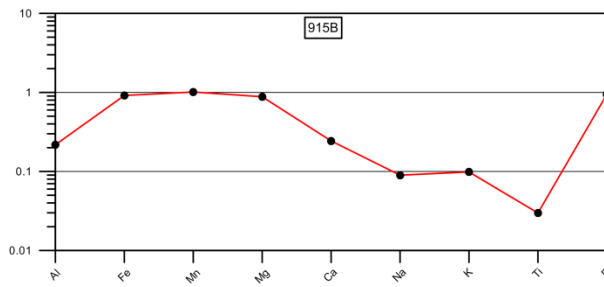
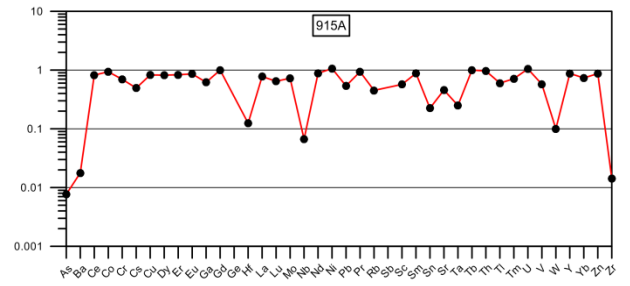
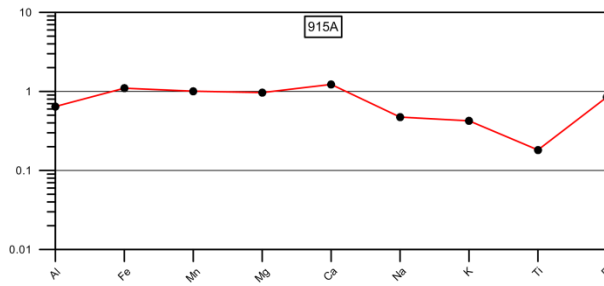
	Gd	Ge	Hf	Ho	In	La	Lu	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Sc	Sm	Sr	Ta	Tb	Th	Ti	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn		
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
Mostra	0.1	1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.04	2	1	0.1	20	5	0.05	2	0.5	1	0.1	2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.1	5	1	2	0.1	30		
M1-BAU	1.2	2	2.6	0.5	<0.2	6.9	0.32	6	9	4.4	<20	26	1.2	179	1.4	18	1	4	121	0.7	0.3	7.5	1	0.24	1.8	118	3	14	1.7	<30	98
M2-BAU	2.7	2	2.5	0.4	<0.2	22.2	0.25	2	9	17.3	<20	29	4.62	100	0.6	17	3.4	3	359	0.8	0.4	7.9	0.6	0.18	2	111	2	10	1.3	80	91
M3-BAU	4.4	2	4.6	1.1	<0.2	31.5	0.56	<2	15	28.3	50	14	7.55	187	0.6	23	5.3	7	71	1.2	0.8	15.3	0.9	0.52	3.3	151	2	30	3.4	160	168
M4-BAU	1.5	2	2.1	<0.1	<0.2	16	<0.04	<2	12	13.5	<20	34	3.53	187	<0.5	<1	3.3	8	142	1.3	0.1	6.2	0.8	<0.05	3.5	<5	<1	<2	<0.1	60	45
M5-BAU	3.7	2	2.7	0.8	<0.2	19.6	0.33	8	6	18.5	20	8	4.58	2	<0.5	6	4	3	1415	0.5	0.6	5.2	<0.1	0.32	2.1	33	1	22	2	50	104
M7-BAU	5.3	3	4.3	0.9	<0.2	42.9	0.41	<2	15	35.1	60	26	9.38	176	<0.5	16	6.8	4	355	1.2	0.8	15.2	0.5	0.38	2.4	105	<1	11	2.5	170	155
917	4.9	2	3.5	1	<0.2	32.7	0.45	<2	11	30.4	40	24	7.7	133	0.5	16	5.9	5	135	0.9	0.9	9.3	0.9	0.4	2.8	125	3	27	2.6	140	128
906	3.1	2	2.6	0.6	<0.2	24.1	0.32	6	10	19.6	<20	28	5.47	137	2.6	18	3.9	4	229	0.8	0.5	14.2	0.8	0.27	1.9	119	10	15	1.8	30	102
911	5.9	2	3.6	1.1	<0.2	30.1	0.47	4	11	33.1	40	64	8.3	130	0.5	15	7.1	5	117	0.9	1	8.4	0.8	0.46	2.7	109	2	30	3	130	143
912	5.1	2	3.5	1	<0.2	34	0.46	5	11	29.5	30	27	7.67	131	0.7	16	5.9	5	135	0.8	0.9	9.3	0.8	0.44	3	129	22	28	2.8	110	126
905	2.5	2	2.5	0.7	<0.2	16.6	0.38	7	9	13.4	<20	31	3.52	165	1.8	20	2.6	4	188	0.8	0.5	6.8	1.1	0.33	1.8	119	2	19	2.2	<30	94
904	3.4	2	2.7	0.9	<0.2	22.7	0.43	5	9	18.7	<20	27	4.71	152	1.5	22	3.7	4	223	0.8	0.6	7.5	0.9	0.38	2.1	129	2	23	2.5	<30	99
908	5.9	3	3.8	1.1	<0.2	39.8	0.51	4	14	35.5	60	29	8.9	133	<0.5	17	7.4	4	212	1.1	1	12	0.6	0.45	2.3	114	1	29	3	130	137
913	4.8	2	3.4	0.8	<0.2	37.3	0.41	4	12	30.7	30	17	8.65	161	<0.5	20	6.2	5	181	1	0.7	11.7	1.1	0.37	3.1	139	4	21	2.4	80	127
915B	4.3	2	2.3	0.7	<0.2	33.9	0.35	6	9	29.1	<20	22	7.61	180	<0.5	18	5.7	4	188	0.7	0.7	6.1	1.1	0.32	2.4	141	2	20	2.1	90	82
915A	3.8	<1	0.8	0.6	<0.2	26	0.31	3	3	26.2	590	13	6.71	51	<0.5	7	5.1	2	62	0.2	0.6	47.7	0.3	0.28	10.7	47	1	16	1.9	690	28
916	4.8	<1	0.6	0.7	<0.2	35.8	0.27	<2	2	35.1	660	8	8.93	39	<0.5	7	6.4	1	51	0.2	0.7	56.6	0.2	0.27	12.5	44	<1	17	1.7	260	23
SSEM	4.24	x	5.3	0.74	0.05	25.6	0.31	0.52	9.76	22.4	21.8	17.2	8.04	82.5	0.47	9.96	4.38	3	95	0.69	0.641	7.63	0.67	0.31	2.03	62.8	<5	23	2.13	47	222
STEEM	7.46	x	9.28	1.19	0.09	46.7	0.51	1.56	16.3	40.5	58.5	36.4	10.1	144	1.53	17.5	7.71	7	270	1.22	1.08	14.4	1	0.37	3.94	130	<5	39	3.47	107	388
STEM	4.88	x	8.11	0.89	x	31.9	0.38	0.6	13	27.6	23	21	7	70	0.64	x	5.2	2	124	1.01	0.77	10	0.37	0.39	2	62	1.24	34.9	2.48	71	386
STEP90	9.69	x	23	1.77	x	63.2	0.79	1.46	21	58.4	59	51	15	133	21	x	11	8.76	327	2.13	1.47	21	0.83	0.79	6	123	3.53	44.6	5.16	164	962
BOCM	6.2	2	6.15	1.2	0.1	47.65	0.49	2.5	14.5	37.6	40	15	10.2	140.5	0.9	17	7.7	2.5	57.5	1.3	1.05	13.95	0.65	0.55	3.35	136	3	33.5	3.4	95	221
BOCP90	8.1	2	7.25	1.55	0.1	63.3	0.565	8.5	18.5	46.3	70	154	14.06	175	1.8	21.5	9.5	5.5	152	1.6	1.4	17.65	1.2	0.67	4.7	187	5	42.5	4.1	240	266.5
BNM	4.2	1	4.2	0.8	0.1	31	0.455	1	7.5	23.85	10	10.5	6.725	116	0.75	9	5	1.5	105	0.75	0.7	10.85	0.5	0.36	1.45	57	2	20.5	2.3	35	154
BNP90	5.4	2	7.5	1.1	0.1	41.5	0.455	1	11.5	32.45	10	27	9.065	133.5	2.9	11.5	6.4	5	128	1.15	0.9	14.5	0.8	0.51	2.5	85.5	5.5	27	3	70	266.5

Composicions geoquímiques parcials

A la taula que s'adjunta al final de l'apartat hi ha les composicions geoquímiques parcials (digerides amb aigua regia) de les diferents mostres analitzades. La taula inclou unes composicions de referència que permeten contrastar els resultats obtinguts. Concretament s'han inclòs les concentracions medianes i el percentil 90 dels subsòls (sòls per sota 25 cm) i els stream sediments del conjunt d'Europa (atles geoquímic d'Europa del FOREGS). Per altra banda també s'inclouen les concentracions medianes i el percentil 90 del Cambroordovicià i el Neogen de la conca del Besòs (dades de l'IGC). De les diferents mostres analitzades, també es coneix la composició geoquímica total. A continuació, per cada mostra analitzada, mitjançant diagrames d'Spider es comparen les concentracions d'elements majoritaris i traça que s'han obtingut per cada mètode (concentració parcial/concentració total).







ELEMENTS MAJORITARIS

Mostra	Litiologia	Anàlisi		Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S
		Unitats	Límit detectat	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
906	Sediment de la tartera			<0.01	1.52	12.4	0.02	0.63	0.02	0.08	0.34	0.071	0.242
917	Sediments garbellats			0.06	2.55	5.72	0.07	1.09	0.14	0.038	0.28	0.05	0.033
911	Sediments garbellats			0.09	2.67	4.55	0.05	0.95	0.11	0.037	0.34	0.046	0.033
912	Sediments garbellats			0.05	2.74	6.4	0.06	1.11	0.1	0.047	0.31	0.05	0.052
904	Pissarres rovellades			<0.01	1.09	7.5	0.01	0.39	0.01	0.084	0.35	0.017	0.162
908	Rimlles molt fresques			0.18	3.77	5.2	0.06	1.49	0.9	0.235	1.13	0.096	0.049
913	Lutites negres			0.09	2.55	3.68	0.06	1.47	0.2	0.077	0.36	0.043	0.805
915B	Pissarres alterades			<0.01	2.39	2.99	0.04	1.25	0.08	0.078	0.33	0.029	1.023
915A	Concrecions grogues			0.02	3.2	18.7	0.06	1.72	0.5	0.13	0.42	0.1	14.03
916	Concrecions grogues			<0.01	2.8	18.5	0.06	1.7	0.55	0.095	0.3	0.121	15.86
905	Crosta			<0.01	1.25	10	0.01	0.36	0.01	0.106	0.43	0.048	0.393
SSEM	Subsòl Europa mediana			x	x	2.1	0.03	x	x	x	x	x	0.0105
SSEP90	Subsòl Europa p90			x	x	4.1	0.1	x	x	x	x	x	0.0331
STEM	Stream Sediment Europa mediana			x	x	2	0.05	x	x	x	x	x	0.0502
STP90	Stream Sediment Europa p90			x	x	3.9	0.13	x	x	x	x	x	3.17
BCOM	Beds Cambroordovicià mediana			0	2.2	4	0.02	0.8	0.2	0.033	0.2	0	0
BCOF90	Beds Cambroordovicià p90			0	3.1	5.8	0.06	1.3	0.5	0.049	0.4	0	0
BNM	Beds Neògen mediana			0.05	2.4	2.4	0.04	0.6	1.5	0.0335	0.4	0.035	0.012
BNP90	Beds Neògen p90			0.104	3.2	3.2	0.06	1	5	0.0529	0.6	0.058	0.046

ELEMENTS TRAÇA

Ag	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Ge
ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0.002	0.1	5	1	0.5	0.1	0.02	0.01	0.01	0.1	0.5	0.02	0.01	0.001	0.1	0.1	0.02	0.1
0.079	18.8	<5	1	86.3	0.5	0.57	<0.01	16.9	1	23.8	0.66	49.9	0.48	0.2	0.2	6.28	0.1
0.086	47.3	5	1	84.3	1	0.28	0.15	48.4	35.5	30	1.08	40	2.93	1.3	0.8	6.79	0.1
0.275	32.1	<5	2	74.4	1	0.21	0.08	47.5	21.3	26.9	1.76	42.4	3.96	1.8	1.1	6.37	0.2
0.097	39.4	6	2	113	1	0.26	0.09	42.6	21.2	32.1	0.89	46.8	2.83	1.3	0.8	6.82	0.2
0.047	21.6	<5	<1	96.4	0.4	0.4	<0.01	20.9	0.2	17.2	0.57	39	0.449	0.1	0.3	4.73	0.1
0.043	40.4	<5	2	144	0.8	0.17	0.08	58.4	25.9	60.7	5.17	27.3	3.98	1.7	1	12.5	0.2
0.088	2	<5	4	33.2	0.6	0.28	0.06	40.3	17.5	36.9	0.99	53.1	2.35	1.2	0.6	8.23	0.1
0.198	0.9	<5	4	23.4	0.5	0.47	0.07	27.2	4.5	24.6	0.78	39.3	1.22	0.6	0.4	6.39	0.1
0.113	<0.1	<5	5	7.4	1	0.18	4.13	44.8	242	34.8	0.99	314	2.87	1.5	0.8	6.2	0.2
0.068	181	<5	8	6.1	0.7	0.08	1.53	64	289	34.3	0.63	775	3.51	1.6	1	5.74	0.2
0.182	33.2	9	1	108	0.5	0.47	<0.01	15.9	0.4	16.7	0.74	36.9	0.336	<0.1	0.2	4.63	0.1
x	5	x	x	68	x	x	x	x	8	24	x	13	x	x	x	x	x
x	20	x	x	151	x	x	x	x	17	58	x	33	x	x	x	x	x
x	6	x	x	87.5	x	x	x	x	8	22	x	15	x	x	x	x	x
x	19.5	x	x	209	x	x	x	x	20	48.5	x	34	x	x	x	x	x
0.3	0.6	0.3	2	142	0.9	0.2	0.4	85.2	14.7	46.5	19	67.6	2.7	1	1.1	6.9	0.1
4.5	19.1	0.3	3	176	1.3	0.6	0.5	88.2	23	81.6	3.5	186	3.4	1.7	1.3	9.6	0.1
0	3.2	0.3	4.5	128	1.2	0.3	0.1	55.3	7.1	14.9	2	19	2.7	1.4	0.8	8	0.1
0.1	10.1	1.2	7.1	291	1.4	0.5	0.3	71.8	11.4	34.5	2.9	29.5	4.6	2.5	1	11.3	0.1

ELEMENTS TRAÇA CONTINUACIÓ

Mostra	Hf	Ho	In	La	Li	Lu	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Re	Sb	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
906	<0.1	<0.1	0.03	9.1	26.3	<0.1	5.6	0.2	6.96	2.3	21.9	2	17	0.001	0.33	2.5	1.1	1.3	35	24.4	<0.05	0.1	0.16	13.9	0.12	<0.1	0.5	23	6.4	1.68	0.1	26.8	0.4
917	<0.1	0.5	<0.02	23.6	41.8	0.1	2.45	1	20.1	33.6	13.2	5.5	17.2	0.002	0.06	2.6	0.9	3.9	0.6	15.8	<0.05	0.6	0.05	8.2	0.13	0.2	14	30	0.5	14.4	1	121	0.9
911	<0.1	0.7	<0.02	23.2	44.9	0.2	1.4	2.1	24.2	38.4	10.3	5.6	26.1	0.002	0.08	2.8	1	5.2	0.81	13.6	<0.05	0.8	<0.02	7.4	0.2	0.2	15	27	0.4	17.1	1.4	110	0.6
912	<0.1	0.5	<0.02	22.3	40.8	0.1	2.09	1.1	19.9	21.9	17.4	5.6	17.1	0.002	0.08	2.9	1.3	4	0.62	16.6	<0.05	0.6	<0.02	8.2	0.13	0.2	15	34	<0.1	14.3	1.1	104	0.8
904	<0.1	<0.1	<0.02	11.2	14.3	<0.1	4.77	<0.1	9.04	1.9	8.36	2.6	16.5	0.001	0.17	2.3	0.8	1.7	0.25	19.9	<0.05	0.1	0.08	6.6	0.11	<0.1	0.2	17	<0.1	1.19	<0.1	9.7	0.6
908	<0.1	0.7	0.02	29.9	53	0.2	0.35	0.4	25.6	59.4	13.8	7.2	103	<0.001	0.02	9.4	0.9	5.1	0.99	54.3	0.37	0.8	<0.02	11	0.62	0.2	13	74	<0.1	17.4	1.2	129	0.5
913	<0.1	0.5	<0.02	20.4	71.5	0.2	4.43	0.2	17.9	51.6	7.38	5.1	20.6	0.002	<0.02	3.6	1.1	3.4	0.59	13.4	<0.05	0.4	<0.02	10.9	0.18	0.2	18	32	0.1	12	1.1	87.6	0.5
915B	<0.1	0.2	<0.02	14.4	55.8	<0.1	6.21	<0.1	11.9	10.9	8.2	3.4	17	0.004	<0.02	2.2	1.4	2.2	0.33	18	<0.05	0.2	0.07	4.7	0.13	<0.1	0.9	25	<0.1	6.25	0.6	88.4	0.4
915A	<0.1	0.5	0.07	20.2	71.4	0.2	2.18	0.2	23.1	627	6.99	5.3	23	0.007	<0.02	4	3.1	4.5	0.45	28.4	<0.05	0.6	0.1	46.1	0.18	0.2	11.2	27	<0.1	14	1.4	600	0.4
916	<0.1	0.6	0.05	32.3	67	0.2	1.53	0.1	29.8	739	4.37	8.6	16.9	3.01	<0.02	4.3	2.9	5.5	0.29	17.5	<0.05	0.7	0.04	53.4	0.12	0.2	13.4	22	<0.1	16.8	1.4	236	0.6
905	<0.1	<0.1	<0.02	8.8	13.9	<0.1	6.16	<0.1	6.64	0.6	27.5	1.9	18.3	<0.001	0.2	2.1	0.8	1.2	0.3	31.1	<0.05	<0.1	0.11	6.3	0.16	<0.1	0.2	19	0.1	1.05	<0.1	8.4	0.6
SSSEM	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	18	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	33	x	x	44	x	
SSSEP90	x	x	x	x	x	x	x	x	x	47	25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	67	x	x	90	x	
STEM	x	x	x	x	x	x	x	x	x	17	14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	29	x	x	59.5	x	
STP90	x	x	x	x	x	x	x	x	x	47	39	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	55	x	x	141	x	
BCOM	0.1	0.4	0	42.4	?	0.1	0.9	0.1	40.5	48.5	17.6	10.6	17.5	0.002	0.1	2.2	0.5	7.6	0.5	11.8	0.025	0.6	0.04	8.4	0.18	0.05	0.6	36	0.05	9.54	1.8	139	1.5
BCOF90	0.1	0.6	0	44.3	?	0.1	4.1	0.1	41.5	80.9	26.5	11.1	43.7	0.003	0.17	2.6	0.7	8	0.9	16.7	0.025	0.7	0.06	9.6	0.55	0.2	1	39	0.05	15.1	2.1	183	3.3
BNM	0.1	0.5	0	29	?	0.2	0.5	0.1	26.3	8.7	16.6	7.4	32.9	0.005	0.115	4.6	0.3	5.2	1.5	31	0.025	0.5	0.03	9.3	0.19	0.2	0.6	44.5	0.075	14.5	1.8	68.4	3.5
BNP90	0.1	0.9	0.1	35.7	?	0.3	1	0.3	34	26.3	32.7	9.1	45	0.0021	0.33	9.4	0.6	6.7	2.6	62.1	0.025	0.8	0.06	15.8	0.27	0.3	1.18	85.7	0.54	25.6	2.8	90.5	4.7

Composició de les pàtines blanques

La presència de pàtines blanques envoltant els còdols del riu és una característica molt particular de l'àmbit d'estudi, que des d'un punt de vista geològic es considera una anomalia.

Mitjançant el microscopi electrònic de rastreig s'ha obtingut que aquestes pàtines qualitativament eren riques en alumini. La difracció de rajos X indica que aquestes pàtines estan compostes d'un material amorf o nanocristal·lins, s'observen pocs pics i molt amples. Alguns dels pics poden ser compatibles amb algun oxihidròxid d'Alumini, però no queda clar.

Per aprofundir en la composició química de les pàtines s'ha extret pols d'aquestes i s'ha analitzat la composició total. A continuació es llista la composició que s'ha obtingut:

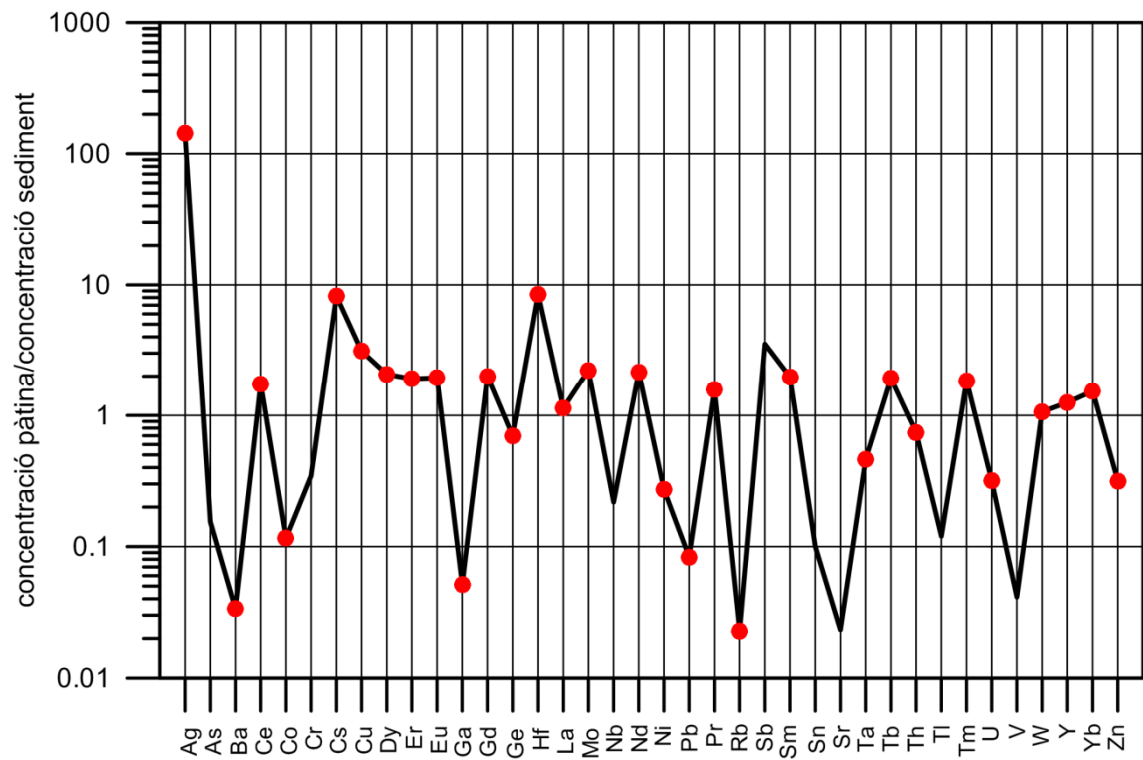
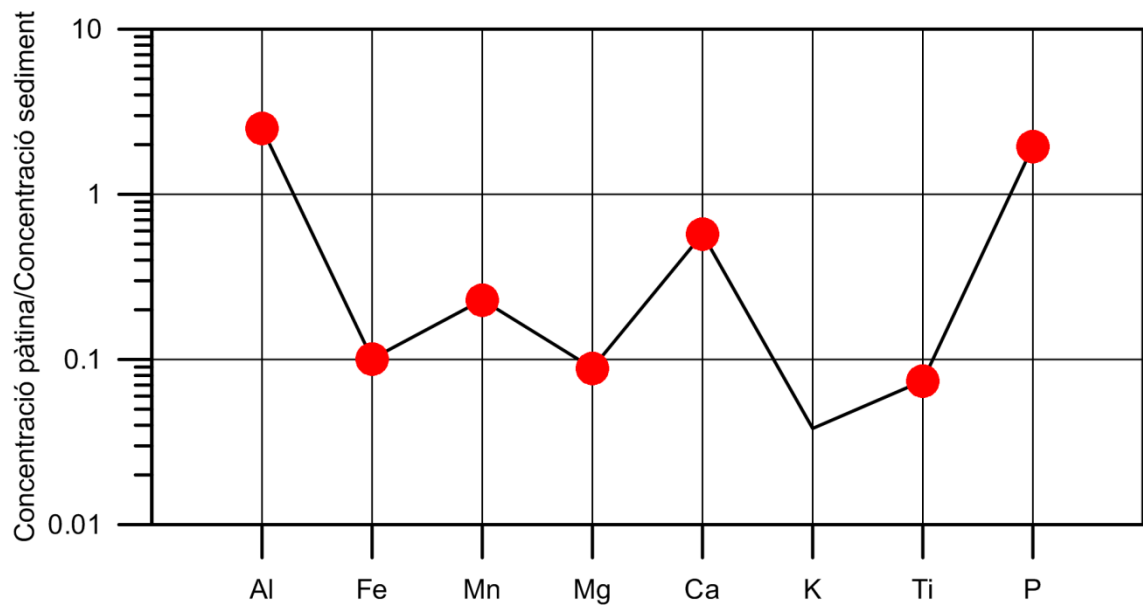
Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S	Si	Ti
%	%	%	%	%	%	%	%	%
23,3	0,2	0,53	< 0.1	0,11	0,091	2,71	4,46	0,03

Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
120	<5	140	27	< 3	< 2	< 2	115	3,4	< 30	40,5	135	10,9	5,6	2,6	1,2

Gd	Ge	Hf	Ho	In	La	Li	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
10,6	1,4	30	2	< 0.2	36,8	19	141	10	< 2.4	66,5	10	3,2	12,5	3	< 2

Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
< 0.8	12,4	< 0.5	< 3	0,4	1,8	< 6	6,7	< 0.1	0,8	0,9	< 5	9,6	35,6	4,3	40

Les anàlisis indiquen que les pàtines globalment són molt riques en Alumini i alguns elements traça, especialment plata. Els diagrames d'spider d'elements majoritaris i traça que es presenten a la pàgina següent, en què es compara la composició de les pàtines amb la composició mitjana dels stream sediments analitzats, mostren aquestes anomalies.



Annex 3: Caracterització hidroquímica

Funcionament Hidrogeològic

En la capçalera de les conques hi ha el circs de Baiau i Escorbes, existeixen diversos llacs que es nodreixen d'aigües superficials de pluja i de la fosa de la neu, i d'aigua subterrània que entra als llacs a través dels dipòsits de vessant adjacents als llacs. Aquests llacs es drenen mitjançant cursos d'aigua superficial.

El **funcionament hídric** i les característiques de les aigües poden ser diferents segons l'origen de l'aigua:

- Si prové de la **fosa de la neu**: la precipitació en forma de neu fa que aquesta s'acumuli i es preservi en forma de neu, durant part de la tardor, hivern i part de la primavera, durant la tardor i hivern la fosa i per tant la circulació d'aigua, es produeix en el contacte entre el terra i la neu una part s'infiltra, durant la primavera la fosa de la neu es produeix també en superfície de la neu per insolació i aquesta esdevé aigua líquida, en ambdós casos les seves característiques químiques són les d'un aigua similar a l'aigua de pluja, amb escàs contingut iònic.
- Si prové de les **pluges**, la part més important es converteix en escorriment i una part menor s'infiltra en el terreny. Es produeix durant tot l'any, de forma esporàdica. L'aigua té un escàs contingut iònic.
- L'aigua que **s'infiltra** circula per la roca i posteriorment es drena pels llacs, fonts i eixos fluvials. Aquest drenatge es concentra a l'estiu i tardor i en èpoques de sequera. L'aigua té un relativament alt contingut iònic.
- Un altre factor que influeix en les característiques de l'aigua a l'estiu aquesta és escalfada i se situa sobre la més freda (més densa) separada per la termoclina. Quan tota l'aigua està a uns 4°C, la termoclina desapareix, cap a la tardor, i l'aigua oxigenada superior es barreja amb l'aigua inferior que arriba a la superfície. Els llacs profunds, com el llac de Baiau, es produeix aquest fenomen, en altres com Escorbes no es produeix per no existir profunditat suficient.

El funcionament **hidroquímic** de les aigües, i per tant la seva càrrega de sals, depèn de les característiques i processos que es donin en el contacte entre l'atmosfera, l'aigua i el terreny. Per exemple, quan els minerals que contenen sofre es posen en contacte amb l'atmosfera, es produeix oxidació i es forma àcid sulfhídric i ferro dissolt. Aquesta reacció genera acidesa i produeix un lixiviat que reacciona amb roques de l'entorn produint la hidròlisi d'altres minerals i fent que es dissolguin altres elements. La cinètica d'aquestes reaccions és molt lenta.

Aquest processos depenen de la superfície de contacte aigua-roca (en aquests cas molta superfície de contacte), la longitud del trajecte recorregut (en aquest cas escàs), la concentració de sals a la roca (en aquests cas alta, però diferent a cada una de les conques de la zona), temps de contacte amb la roca (més aviat curt), temperatura (baixa) i pressió (en aquest cas l'atmosfèrica). I lògicament de les característiques químiques de l'aigua.

Les aigües subterrànies de la zona circulen majoritàriament pels materials de cobertura que cobreixen tènuement la roca en forma de dipòsits glacials, periglacials i col·luvials associats als vessants de les muntanyes, i per la part superficial alterada de la mateixa roca.

No es coneix el gruix de la roca meteoritzada (alterada). Els processos com canvis de temperatura, procés de congelació/descongelació i els processos químic d'hidròlisi, dissolució, oxidació, fan sospitar que aquesta zona alterada, que constitueix el magatzem d'aigua i àrea font dels minerals presents a l'aigua, pot ser gran.

Les característiques de l'aigua procedent del drenatge d'aqüífers poden ser modificades al seu pas pels llacs, en la zona es coneixen llacs que destaquen per les característiques àcides de les seves aigües, com Baiau i Aixeus (DGMNiB, 2011a i DGMNiB, 2011b), de la resta de llacs de la zona on els pH no són àcids. En el cas del llac de Baiau, durant les estacions amb l'aigua àcida diferents metalls i metal·loides poden ser mobilitzats.

Treballs realitzats

Els dies 16 i 21 de setembre de 2011 es va realitzar una inspecció visual de la zona amb l'objectiu de delimitar geogràficament l'àrea d'afecció. Posteriorment, amb l'objectiu de caracteritzar hidroquímicament i obtenir una cartografia dels diferents tipus d'aigües de la zona, els dies 5 i 6 d'octubre de 2011, es va efectuar una campanya de mesures de camp i

de mostreig de les aigües superficials, amb la recollida de 8 mostres, les quals es van enviar al laboratori per a les seves anàlisis.

Inspecció visual i delimitació de l'àrea d'afecció

A ull nu les taques blanques tenen l'aspecte de ser precipitats que impregnen les roques i sediments de la llera de cursos fluvials (Figura1). La delimitació cartogràfica de la zona on es detecten aquests precipitats es pot observar al mapa 1. Es visualitza que a la vall dels estanys de Baiau - Noguera de Vallfarrera, la zona està acotada al llit del riu, allà on circula o ha circulat l'aigua. Les taques es comencen a veure en la confluència dels cursos d'aigua procedents de les subconques del Circ de Baiau, l'Estanyet de Baiau, l'Estanyet de Baiau II i Escorbes II. A partir d'aquest punt, els sediments del Riu Noguera estan completament impregnats de taques fins a poc menys de 150 metres aigües amunt de la descarrega de l'aigua procedent de la conca de l'Estany del Port Vell.

A partir d'aquestes observacions i de l'existència d'antecedents on es cita el Llac de Baiau com un dels pocs llacs amb aigües àcides del Pirineu (DGMNiB, 2011), es plantegen dues hipòtesis de treball o la combinació d'ambdues:

- Que el caràcter sulfatat i ric en metalls de l'aigua de l'aigua sigui deguda a la composició geoquímica de les roques que formen la conca i que per tant la seva concentració en les aigües dels llacs tingui relació amb les contribucions que hi arriben principalment des dels cons de dejecció i roca alterada mitjançant la meteorització com a drenatge àcid de les mineralitzacions. Aquest drenatge es produeix quan els minerals fèrrics s'oxiden en presència d'oxigen.
- Que l'acumulació de llots orgànics al fons dels llacs i l'estratificació de les seves aigües afavoreixin el desenvolupament de processos anaeròbics que desprendrien H_2S . Aquest es troba en aigua caracteritzada per pH relativament àcids ($pH < 5$) i baixes concentracions d'oxigen dissolt. En concentracions més altes de pH, quan les aigües flueixen i hi ha oxigen dissolt, es produeix una reacció d'oxidació i el sofre precipita.

Campanya de mesures *in situ* i mostreig per a la caracterització hidroquímica preliminar de les aigües

La selecció dels punts de mesura i mostreig s'ha realitzat amb l'objectiu de caracteritzar les aigües de la zona afectada en funció de la seva procedència geogràfica, és a dir, de les diferents conques que desguassen a la conca principal en el seu marge meridional i en funció del seu origen, és a dir, superficials de cursos fluvials, superficials de llacs a diferents profunditats, superficials de zones entollades i subterrànies en fonts.

Cal per tant, caracteritzar el curs principal d'aigua al llarg del seu recorregut, les aportacions laterals superficials, les aportacions laterals subterrànies i els diferents tipus de llacs.

Per a la campanya de mesures i mostreig de les aigües s'han escollit uns paràmetres bàsics d'obtenció ràpida en camp amb la finalitat de conèixer, almenys de manera general, les condicions d'acidesa, la conductivitat elèctrica i el potencial d'oxidació reducció.

A partir de les tipologies d'aigua identificades mitjançant els paràmetres mesurats en camp, s'han pres sis mostres d'aigua per analitzar sulfurs, sulfats i metalls següents: alumini, antimoni, arsènic, cadmi, coure, crom, ferro, manganès, níquel, plom, seleni i zinc. També s'han seleccionat dues mostres d'aigua per analitzar components majoritaris (calci, magnesi, sodi, potassi, sulfats, nitrats, bicarbonats i clorurs).

Mesures *in situ*

Els paràmetres de camp que s'han mesurat *in situ* són la temperatura, el pH, el potencial redox o Eh i la conductivitat elèctrica. Els equips utilitzats per a les mesures de camp han estat:

- Mesurador de Conductivitat HI9033 de Hanna.
- Mesurador de pH (PCE-PHD1) amb elèctrodes externs de pH (PCE-228), Eh (ORP-14) i temperatura (TP-07).

El mètode de mesura és la introducció del sensor de l'aparell portàtil a l'aigua fins a l'estabilització de la mesura (lectura constant de temperatura, pH, conductivitat i Eh), la qual indica que el valor és representatiu del medi.

En totals s'han pres 27 mesures de la temperatura, pH, Eh i conductivitat elèctrica (veure taula 1). La seva localització està representada en el mapa 2.

Taula 1: Resultats de les mesures de camp

Topònim	Mostra	pH	Conductivitat 25°C (µs/cm)	Temp. (°C)	REDOX (mV)	Procedència aigua
Cascada Baiau Blanc	18	6,46	21,8	12,0	168,6	Aportacions als cursos fluvials: Circ de Baiau
Coma de l'Orri/Socalma	10	6,84	20,0	6,4	166,4	Aportacions als cursos fluvials
Toll Plà d'Arcalís	6	5,92	19,2	11,5	207,1	Aportacions als cursos fluvials
Cascada Coma Orri/Socalma	5	6,44	49,5	9,3	226,3	Aportacions als cursos fluvials
Barranc d'Arcalís	3	6,85	32,0	8,0	229,6	Aportacions als cursos fluvials
Font Mn Batlle	8(M7)	4,69	109,0	4,8	281,9	Aportacions als cursos fluvials
Font del Ferro	1(M1)	6,62	91,6	7,6	94,9	Aportacions als cursos fluvials
Baiou petit	15(M3)	4,88	120,0	13,6	226,3	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Circ de Baiau
Baiou petit (prof 1m)	26	4,98	130,7	13,6	226,3	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Circ de Baiau
Baiou Gran	16(M4)	4,69	134,4	12,3	229,1	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Circ de Baiau
Llac Escorbes Gran	13(M2)	6,63	157,0	10,6	181,8	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Escorbes i Escorbes II
Llac Escorbes petit	14	6,52	12,8	9,6	189,5	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Escorbes i Escorbes II
Estanyet de Baiau	19	4,79	90,0	12,0	225,2	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Estanyet de Baiau
Cascada Baiau	17	4,41	129,0	11,2	219,2	Curs fluvial secundari: Circ de Baiau
Cascada Baiau b	27	4,56	129,3	11,3	223,6	Curs fluvial secundari: Circ de Baiau
Afluent Meandret Baiau	21	6,95	41,4	13,0	155,9	Curs fluvial secundari: Circ de Baiau
Escorbes	22(M5a)	6,90	110,7	12,9	164,7	Curs fluvial secundari: Escorbes i Escorbes II
Torrent Escorbes Petit	11	6,62	9,0	12,4	163,1	Curs fluvial secundari: Escorbes i Escorbes II
Torrent Escorbes Gran	12	6,44	155,5	13,2	174,1	Curs fluvial secundari: Escorbes i Escorbes II
Clot de l'Olla	2	6,30	32,7	7,2	232,4	Curs fluvial secundari
Meandret Baiau	20	4,91	82,9	13,3	236,8	CURS FLUVIAL PRINCIPAL
Baiou	23(M5b)	5,10	83,3	12,9	218,6	CURS FLUVIAL PRINCIPAL
Escorbes x Baiau	24	5,18	87,0	12,8	222,5	CURS FLUVIAL PRINCIPAL
Pla d'Arcalís	4	6,45	50,0	9,0	244,5	CURS FLUVIAL PRINCIPAL
Cascada Boet	7	6,83	48,4	8,4	228,0	CURS FLUVIAL PRINCIPAL
Pla de Boet	25(M6)	6,17	58,7	9,8	207,1	CURS FLUVIAL PRINCIPAL
Noguera de Vallferrera (sota font ferro)	9	6,30	45,9	8,2	144,4	CURS FLUVIAL PRINCIPAL

Recollida i anàlisi de mostres d'aigua

La presa de mostres s'ha fet seguint els protocols adequats en funció del tipus d'analítica:

- Per a l'anàlisi de metalls totals, les mostres han estat preses en zones sense terbolesa, s'ha netejat l'ampolla amb l'aigua a analitzar, per mantenir les condicions de solubilitat pròpies dels metalls s'ha afegit àcid nítric al 25% i les mostres han estat traslladades al laboratori refrigerades, en pots de PVC de 100ml.
- Per a l'anàlisi de sulfats, les mostres han estat preses en zones sense terbolesa, s'ha netejat l'ampolla amb l'aigua a analitzar, i les mostres han estat traslladades al laboratori refrigerades, en pots de PVC de 100ml.
- Per a l'anàlisi de sulfurs, les mostres han estat preses en zones sense terbolesa, s'ha netejat el pots de vidre de 250ml amb l'aigua a analitzar, per mantenir les condicions pròpies dels sulfurs s'ha afegit acetat de zenc a l'ampolla, i les mostres han estat traslladades al laboratori refrigerades.

Per a l'anàlisi dels components majoritaris les mostres han estat preses en zones sense terbolesa, s'ha netejat el pots de PVC de 1500ml amb l'aigua a analitzar i les mostres han estat traslladades al laboratori refrigerades.

A partir de les tipologies d'aigua identificades mitjançant els paràmetres mesurats en camp, s'han seleccionat un total de 8 mostres:

- 6 mostres d'aigua per anàlisi de sulfurs, sulfats i metalls (alumini, antimoni, arsènic, cadmi, coure, crom, ferro, manganès, níquel, plom, seleni i zinc).
- 2 mostres d'aigua per anàlisi d'espècies majoritàries (calci, magnesi, sodi, potassi, sulfats, nitrats, bicarbonats i clorurs).

Les mostres han estat analitzades pels laboratoris Vidal.

La localització d'aquestes mostres es mostra en l'annex 1 i els resultats en les taules 2 i 3.

Taula 2: Resultats de camp, metalls, sulfurs i sulfats

	Aportacions als cursos fluvials					Curs fluvial principal
	Llac Circ de Baiau	Llac Circ de Baiau (1 metre de profunditat)	Llacs d'Escorbes	Font Mossèn Batlle	Font del ferro	Pla de Boet
	15 (M3)	15b (M4)	13 (M2)	8 (M7)	1 (M1)	25 (26)
pH	4,88	4,69	6,63	4,69	6,62	6,17
Conductivitat 25°C (µS/cm)	120	134,4	157	109	91,6	58,7
eH (mV)	226,3	229,05	181,75	281,85	94,85	207,05
Temperatura (°C)	13,6	12,3	10,6	4,8	7,6	9,8
Alumini (mg/l)	2,5	2,6	0,07	1,2	<0,05	0,28
Antimoni (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Arsènic (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmi (mg/l)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Coure (mg/l)	0,02	0,02	<0,005	0,01	<0,005	<0,005
Crom (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ferro (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	8,8	0,06
Manganés (mg/l)	0,14	0,15	0,01	0,09	0,03	0,02
Níquel (mg/l)	0,09	0,09	0,04	0,04	<0,002	0,02
Plom (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Seleni (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zenc (mg/l)	0,08	0,09	0,01	0,04	<0,01	0,02
Sulfurs (mg/l)	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40		<0,40
Sulfats (mg/l)	46	49	55	38	16	19

Taula 3: resultats analítics dels components majoritaris de les aigües. Ambdues aigües es classifiquen com a sulfatades càlciques/magnèsiques

	Curs fluvial principal: Baiau	Curs fluvial secundari: Escorbes i Escorbes II	Curs fluvial principal: confluència conques Baiau i Escorbes
	23 (M5b)	22 (M5a)	24
pH	5,1	6,9	5,18
Conductivitat 25°C (µS/cm)	83,3	110,7	87
Temperatura (°C)	12,9	12,9	12,8
eH (mV)	218,6	164,7	222,45
Sulfat (mg/L)	26	38	
Bicarbonat (mg/L)	<25	<25	
Clorur (mg/L)	1,6	1	
Calci (mg/L)	5,1	12	
Sodi (mg/L)	1,4	1,8	
Potassi (mg/L)	0,34	0,74	
Magnesi (mg/L)	2,8	2,4	
Nitrat (mg/L)	1,2	0,97	

Resultats

Els resultats analítics s'han agrupat segons els paràmetres de camp, la procedència de les dades, o bé resultats de laboratori (Veure taula 4 i figures 1 i 2).

Taula 4: Classificació de les aigües de la conca de la Noguera de Vallferrera.

Mostra	Topònim	Classificació	Símbol
4	Pla d'Arcalís	CURS FLUVIAL PRINCIPAL	
7	Cascada Boet	CURS FLUVIAL PRINCIPAL	
9	Noguera de Vallferrera (sota font ferro)	CURS FLUVIAL PRINCIPAL	
20	Meandret Baiau	CURS FLUVIAL PRINCIPAL	
23	Baiau	CURS FLUVIAL PRINCIPAL	
24	Escorbes x Baiau	CURS FLUVIAL PRINCIPAL	
25	Pla de Boet	CURS FLUVIAL PRINCIPAL	
17	Cascada Baiau	Curs fluvial secundari: Circ de Baiau	
27 (17b)	Cascada Baiau b	Curs fluvial secundari: Circ de Baiau	
21	Afluent Meandret Baiau	Curs fluvial secundari: Circ de Baiau	
11	Torrent Escorbes Petit	Curs fluvial secundari: Escorbes i Escorbes II	
12	Torrent Escorbes Gran	Curs fluvial secundari: Escorbes i Escorbes II	
22	Escorbes	Curs fluvial secundari: Escorbes i Escorbes II	
15	Baiau petit	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Circ de Baiau	
26 (15b)	Baiau petit (prof 1m)	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Circ de Baiau	
16	Baiau Gran	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Circ de Baiau	
19	Estanyet de Baiau	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Estanyet de Baiau	
13	Llac Escorbes Gran	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Escorbes i Escorbes II	
14	Llac Escorbes petit	Aportacions als cursos fluvials (llacs): Escorbes i Escorbes II	
18	Cascada Baiau Blanc	Aportacions als cursos fluvials: Circ de Baiau	
1	Font del Ferro	Aportacions als cursos fluvials	
3	Barranc d'Arcalís	Aportacions als cursos fluvials	
5	Cascada Coma Orri/Socalma	Aportacions als cursos fluvials	
6	Toll Plà d'Arcalís	Aportacions als cursos fluvials	
8	Font Mn Batlle	Aportacions als cursos fluvials	
10	Coma de l'Orri/Socalma	Aportacions als cursos fluvials	
2	Clot de l'Olla	Aportacions als cursos fluvials	
		Aportacions als cursos fluvials	

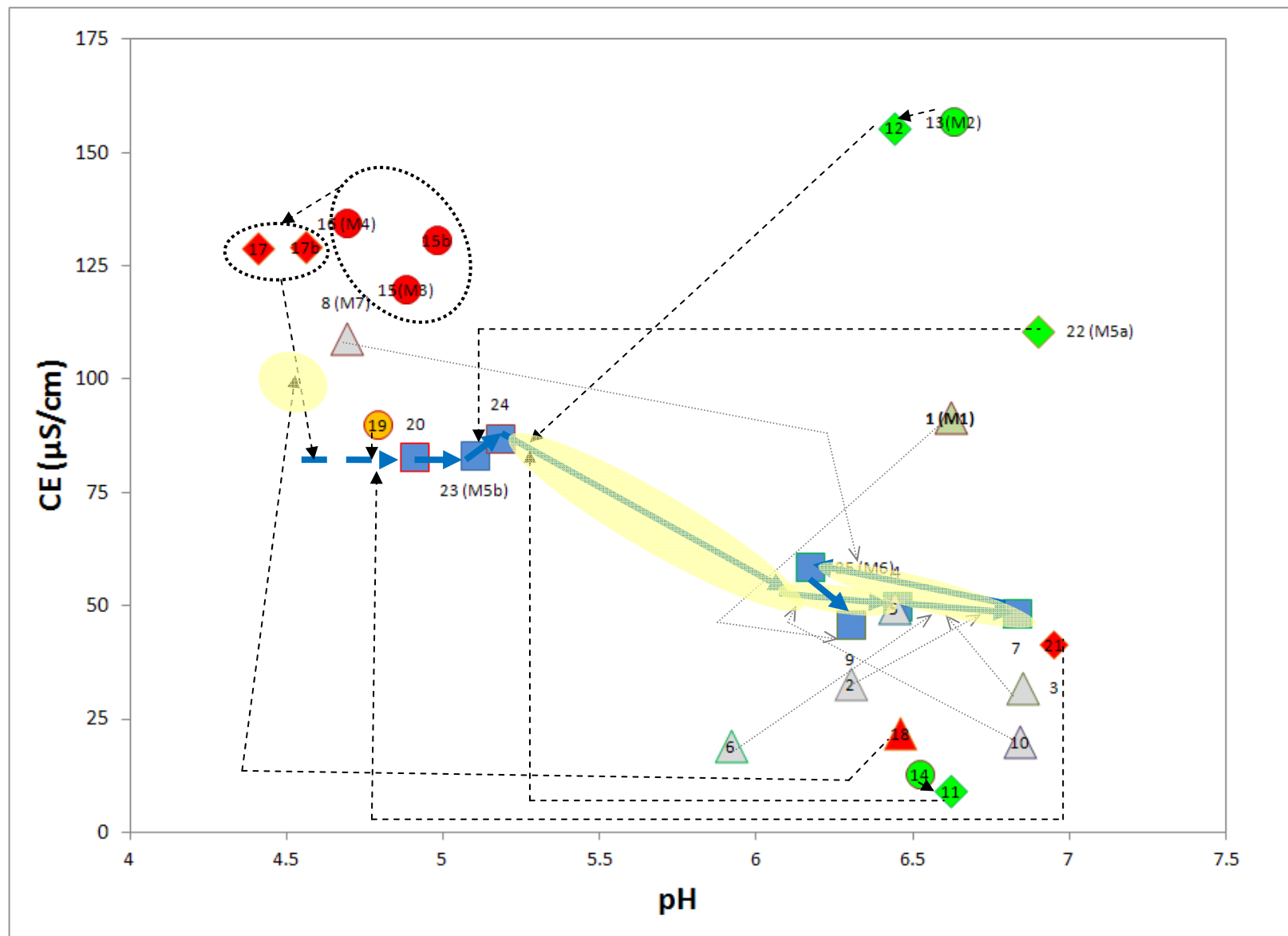


Figura 1: Esquema geogràfic de les aigües, conductivitat versus pH, en groc poden veure les zones de taques blanques. Aquesta figura mostra les relacions entre conductivitat i pH al llarg del curs fluvial (Fletxes blaves). Observem que hi ha dues zones amb pH molt diferents i les taques en la confluència d'aigües de característiques ben diferenciades en quant al pH i independents de la conductivitat.

Respecte a la conductivitat, les aigües mesurades són molt lleugeres (amb baixes concentracions d'espècies majoritàries dissoltes) tal com ho indiquen els seus valors de conductivitat molt baixos, entre 9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que pràcticament és aigua sense espècies dissoltes i 157 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que igualment és un aigua de mineralització molt baixa. En quant al pH, les mesures es poden classificar en dues tipologies: unes aigües àcides amb pH compresos entre 4,4 i 5,2. i unes aigües no tant àcides amb pH entre 5,9 i 6,9. Respecte a la temperatura de les aigües no se'n pot treure cap conclusió donat que les aigües superficials de cursos petits estan molt condicionades per la temperatura ambient.

Segons el potencial redox (Eh) de les aigües les aigües estarien majoritàriament en la zona són similars (Classificades en la zona de reducció dels nitrats i manganès (IV)) amb l'excepció de les aigües procedents de la font del ferro (Punt 1 de l'inventari).

Totes les aigües de les conques del circ de Baiau i Estanyet de Baiau (a excepció de les mostres 18 i 21) tenen pH àcids (4,4 a 5,0), conductivitats elèctriques relativament més altes (120 a 134 $\mu\text{S}/\text{cm}$) i potencial redox poc variable compresos entre 219 i 237 mV. En els dos dies que es va mostrejar, les aigües classificades com a àcides més extremes no es van mesurar en els llacs de les capçaleres, sinó aigües avall en el torrent (mostres 17 i 27). La diferència, tot i ser molt petita, pot estar posant de manifest una certa variació estacional en les aigües de sortida dels llacs o bé, una possible component de circulació subterrània o hipodèrmica de sortida d'aigua dels llacs.

Les mostres que tenen característiques diferents a altres aigües mesurades en aquestes conques són les 18 i 21. Aquestes no corresponen a aigües de sortida dels llacs, ni aigües de circulació del torrent principal, sinó que són aportacions al torrent principal que, per les seves característiques (els pH no són àcids, relativament més baixa conductivitat elèctrica i potencial redox també quelcom més baix), provenen d'aigües subterrànies procedents de pluja amb relativament poc període de residència i/o que discorren per substrat rocós poc alterat.

En la zona de barreja entre les aigües d'aquestes aportacions i el torrent principal es donen precipitats blancs. Aquests precipitats són locals, afecten a una àrea inferior a 1 m^2 .

Les aigües de les conques d'Escorbes i Escorbes II són diferents a les de les conques d'aigües amunt (Baiau i Estanyet de Baiau). Tots els pH mesurats són més alts (6,4 a 6,9),

presenten majors variacions de conductivitat elèctrica (9 a 157 $\mu\text{S}/\text{cm}$) i potencials redox més baixos.

És en la confluència entre les aigües procedents de la conca de Baiau (mostra 23) i Escorbes (mostra 22) on els comencen les taques (mostra 24) i tenen continuïtat aigües avall. Aquest fet que torna a relacionar els precipitats amb la barreja d'aigües àcides i no tant àcides.

A partir d'aquest punt, els sediments de la Noguera de Vallferrera estan completament impregnats de taques fins a poc menys de 150 metres aigües amunt de la descarrega de l'aigua procedent de la conca de l'Estany del Port Vell. Aigües avall d'aquesta zona es troba la Font del Ferro, on es donen un altre tipus de precipitats, per l'aspecte visual, es tracten de precipitats de ferro, en aquest punt és on s'han mesurat menors potencials redox a les mostres.

Aigües avall de la conca d'Escorbes, pH àcids només s'han mesurat en un punt (Punt 8, M7) i corresponen a aigües subterrànies que afloren en la Font de Mossèn Batlle (procedents de l'aigua subterrània). Al voltant d'aquesta zona de surgència no s'han observat precipitats. Les aigües àcides d'aquesta surgència entren en contacte amb les aigües de la Noguera de Vallferrera de pH superiors a 6. En la resta de punts els pH són superiors a 5,9 i, tenen conductivitats elèctriques relativament baixes.

Els precipitats blancs de la llera s'acaben pocs metres aigües avall de la confluència amb l'aigua procedent de la Font de Mossèn Batlle i el torrent del marge dret provinent de la conca dels estanys d'Areste i de Port Vell.

El resultat de laboratori d'espècies majoritàries (Taula 3) indiquen, tal com s'intuïa a partir de la conductivitat elèctrica, que es tracta d'aigües amb baixes concentracions d'ions dissolts. No obstant, cal subratllar les relativament elevades concentracions de sulfats que es donen, tant en l'aigua de pH àcid, com la de pH més proper al neutre. Altre aspecte a destacar és la baixa concentració de bicarbonats en l'aigua de pH no àcid; fet que suggereix que els pH més elevats no són deguts a neutralització per carbonats.

Valoració resultats

Processos químics

L'anàlisi dels precipitats indica la presència sobretot d'alumini en les mostres (Veure annex II).

En primer lloc, l'alumini detectat a les mostres d'aigua analitzades, a les aigües amb pH àcid del llac del circ de Baiau (15 i 15b) i de la Font de Mossen Batlle (8), mostra que és un possible al Noguera per primera vegada en la confluència entre la conca d'Escorbes II (veure mapa 1) i la conca del Circ de Baiau. la presència a l'aigua es dona una reacció química que dona lloc als precipitats, aquests són presents

Cal notar, que en aquest context es barreja un aigua (procedent del circ de Baiau) de pH 4,5 i potencial REDOX de 220 amb un aigua (procedent del llac d'Escorbes) de pH 6,5 i potencial REDOX de 165. Les precipitacions es produeixen a partir d'aquest punt.

Les figures següents mostren la projecció, en funció del pH i el potencial REDOX, dels valors dels camp de totes les mostres sobre el diagrama de Pourbaix (Takeno N., 2005) amb línies que representen l'equilibri estable en les fases d'un sistema electroquímic aquós per a l'Alumini (a 25°C). Utilitzem aquest gràfic a causa de la presència majoritària d'alumini a les mostres geoquímiques dels precipitats (taques blanques) de la Noguera de Vallferrera i per entendre els rangs d'estabilitat de l'alumini a l'aigua i sota quines condicions i en quines formes precipitarà.

En ell observem que totes les mostres se situen en les zones límits, és a dir on es produiran canvis en els components de les aigües amb l'augment del pH, que es produeix en la zona de barreja d'aigües. Passem de la zona on tindríem l'alumini dissolt a zones amb precipitats d'Alumini.

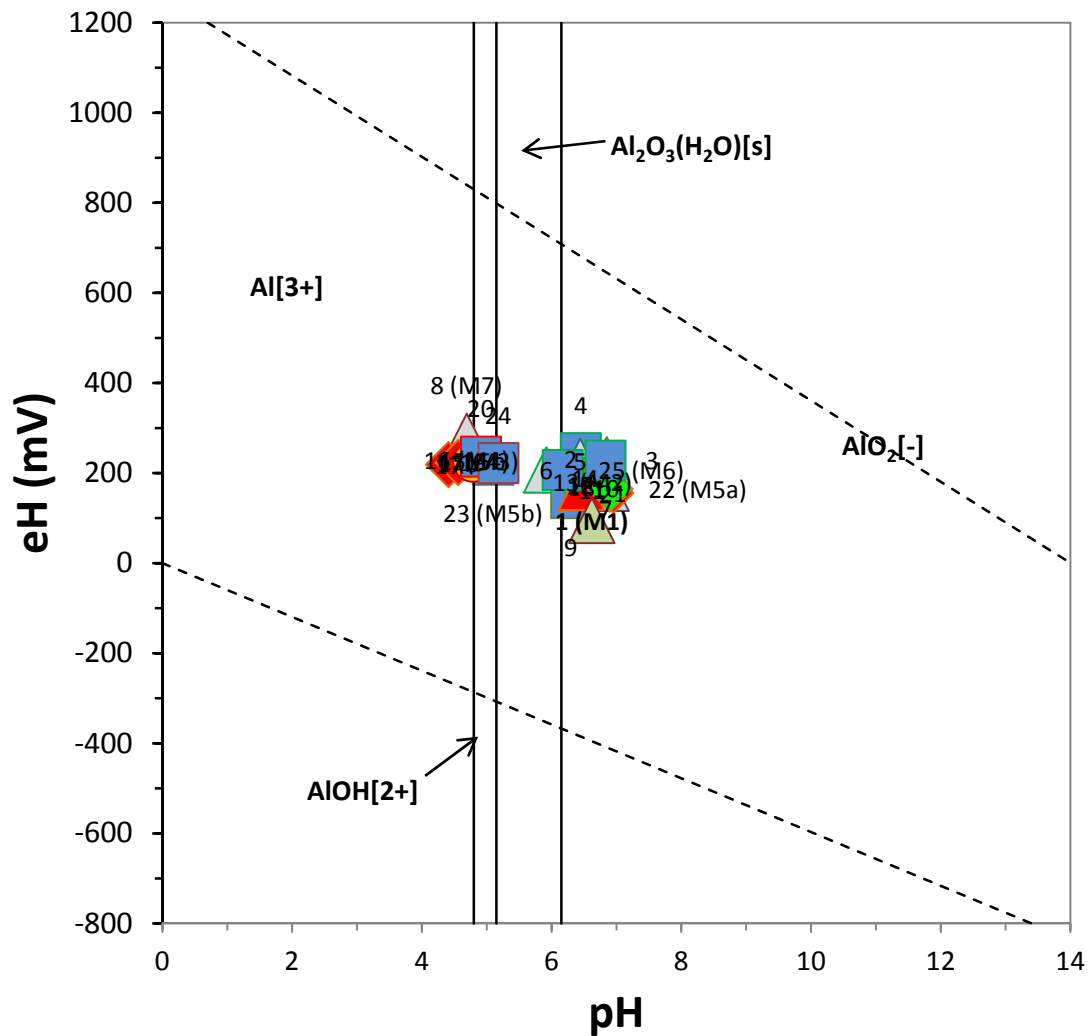


Figura 3: Representació de en diagrama de Pourbaix per a l'Alumini, dels valors analítics de les mostres d'aigua agafades a la campanya de camp. Observem que hi ha dues zones amb pH molt diferents amb espècies d'alumini estables diferents a cada una d'elles.

Així, és clar, que un procés químic que dona lloc a les precipitacions és la barreja d'aigües àcides carregades en Al^{3+} amb aigües de pH més alt donant lloc a hidròxisulfats d'Al (veure Annex II).

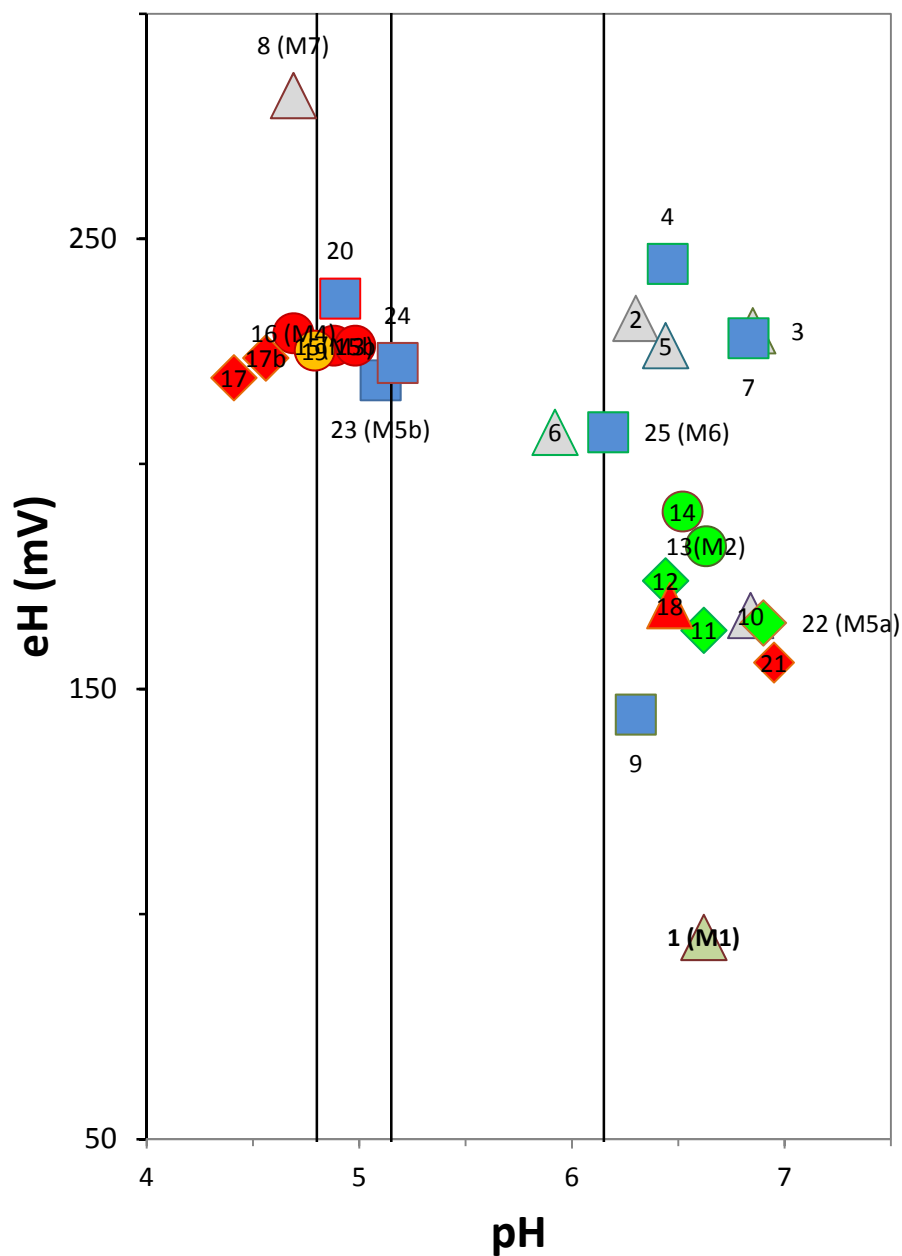


Figura 4: El gràfic que segueix és una ampliació la figura 3, mostra com les mostres d'aigua sobre el paper han de tenir uns o altres components passen d'estar en un estat on en l'aigua hi són presents els compostos AlOH^{2+} i Al^{3+} a un aigua on els compostos en equilibri són uns altres $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})_2[\text{s}]$ i AlO_2^- , produint-se canvis en la solubilitat i per tant precipitant diferents formes de compostos d'alumini.

L'anàlisi dels precipitats indica l'enriquiment de la patina en plata (Ag) en les mostres (Veure annex II). Cal dir que no s'han analitzat la plata a les mostres d'aigua, per tant es deconeix si és present.

En el diagrama de Pourbaix (Takeno N., 2005) amb línies que representen l'equilibri estable en les fases d'un sistema electroquímic aquós per a la Plata (a 25°C). Aquests diagrames indiquen que el procés de precipitació de la Plata és possible a aquest lloc.

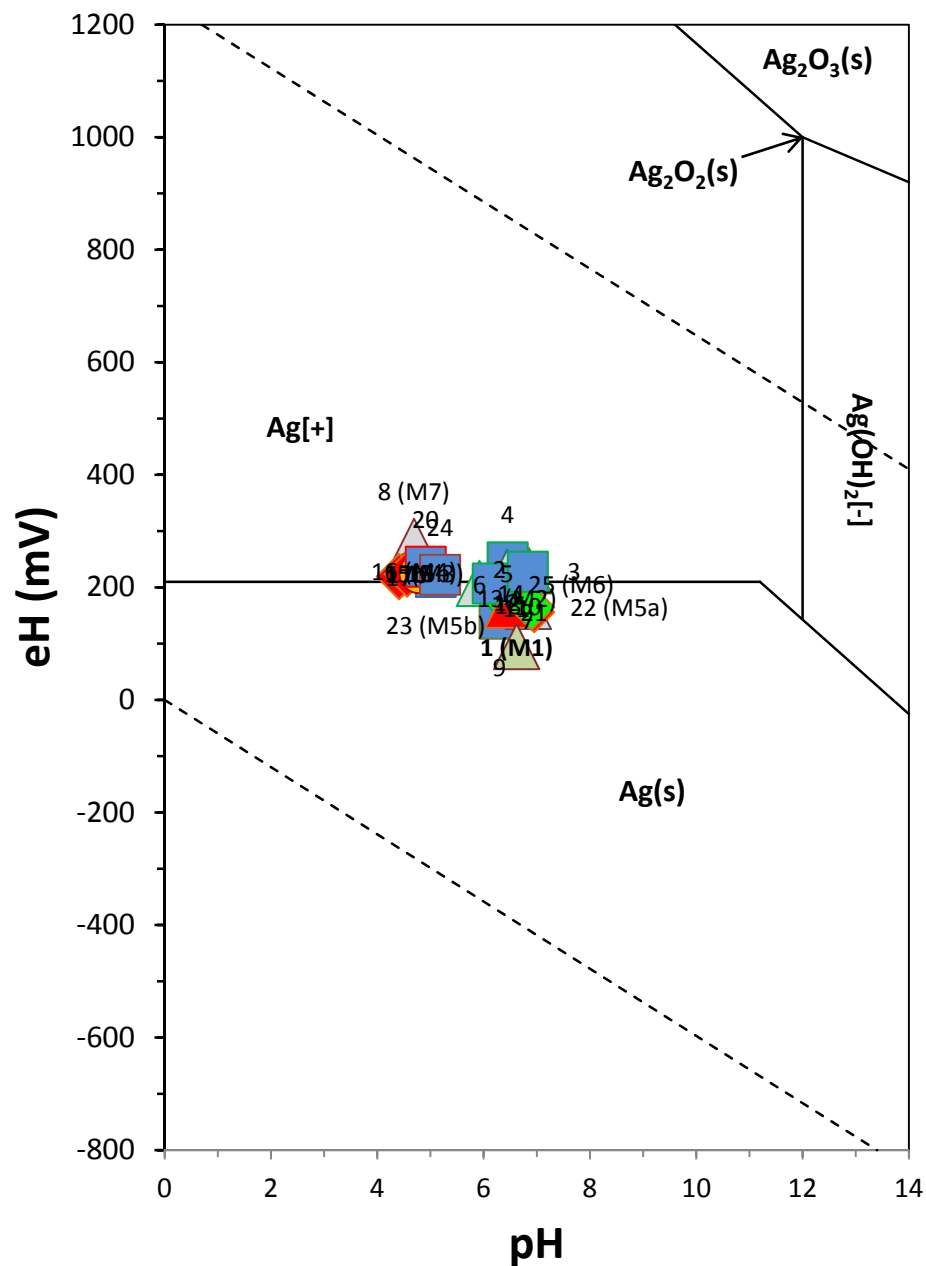


Figura 5: Representació de en diagrama de Pourbaix per a la plata dels valors analítics de les mostres d'aigua agafades a la campanya de camp. Observem les mostres es situen a ambdues bandes de la zona d'estabilitat de la plata dissolta i de la precipitada, en aquest cas depenent de la variació del valor de Eh.

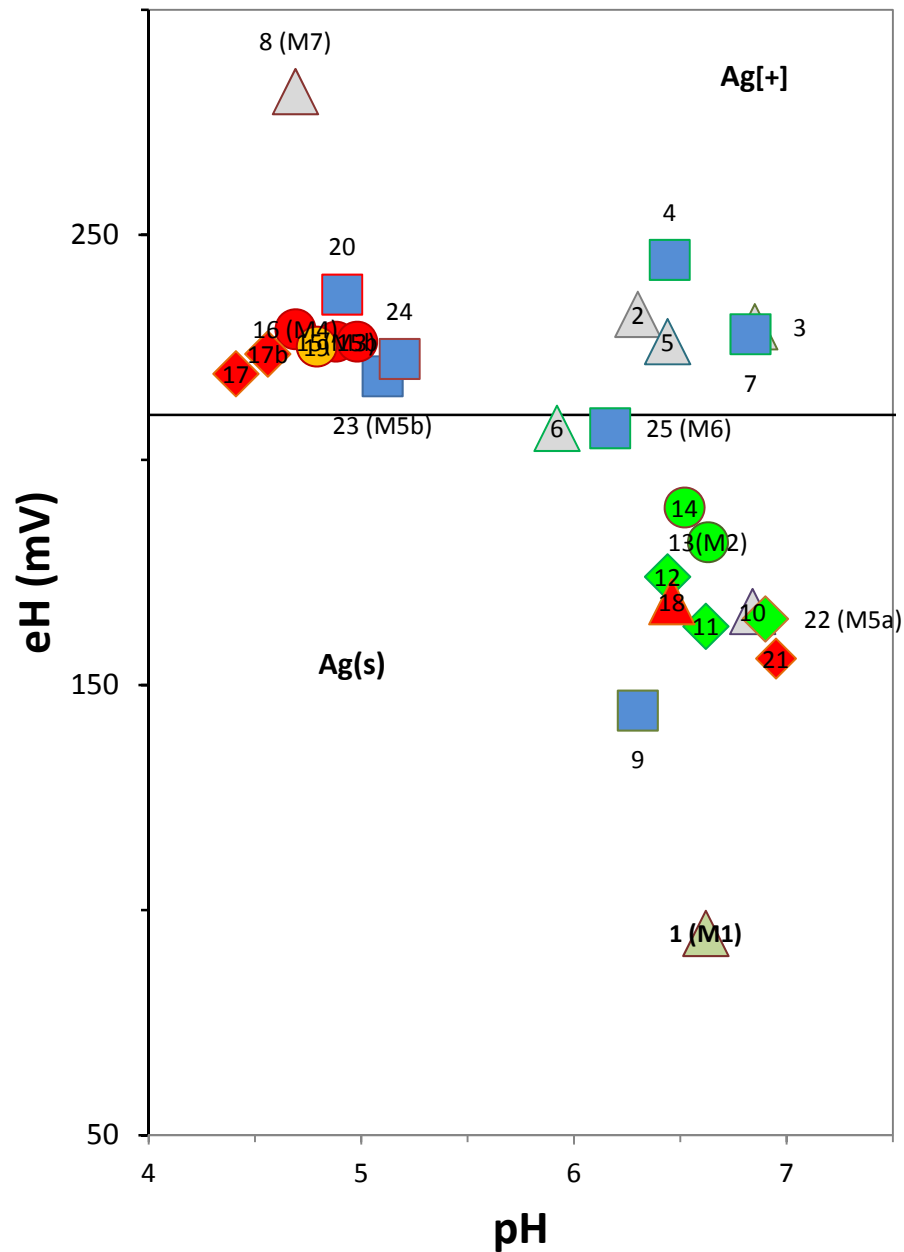


Figura 6: El gràfic que segueix és una ampliació la figura 5, mostra com les mostres d'aigua sobre el paper han de tenir uns o altres components passen d'estar en un estat on en l'aigua hi són presents els compostos Ag[+] a un aigua on els compostos en equilibri són Ag[s].

Potabilitat de l'aigua

Les característiques de l'aigua analitzada són les del moment concret de la presa de mostres, les seves característiques hidroquímiques són molt variables al llarg del temps (Veure apartat de funcionament hidrogeològic).

Prenent com a valors de referència les concentracions màximes de metalls en aigua destinada a consum humà que proposa el Reial Decret RD 140/2003 cal remarcar que s'han obtingut continguts per damunt d'aquestes concentracions. A continuació, per a cada metall analitzat es llisten les mostres amb valors superiors als que fixa el RD:

Concentració màxima de referència RD 140/2003

Mostres amb concentracions superiors

Al	200,00 (µg/l)	Incompleixen la normativa les mostres 15; 15b; 13 i 8
Sb	5,00 (µg/l)	No detectat, per tant compleix la normativa
As	10,00 (µg/l)	No detectat, per tant compleix la normativa
Cd	5,00 (µg/l)	No detectat, per tant compleix la normativa
Cu	2,0 (mg/l)	Tots els valors sota la el valor paramètric de la normativa
Cr	50,00 (µg/l)	No detectat, per tant compleix la normativa
Fe	200,0 (µg/l)	Incompleix la normativa la mostra 1 (font del Ferro)
Mn	50,00 (µg/l)	Incompleixen la normativa les mostres 15; 15b i 8
Ni	20,00 (µg/l)	Incompleixen la normativa les mostres 15; 15b; 13; 25 (26) i 8
Se	10,00 (µg/l)	No detectat, per tant compleix la normativa
Zn (Sense legislar)		Compleix normativa

El RD 140/2003 fixa que les aigües potables han de tenir un pH entre 6,5 i 9,5. Respecte a aquest paràmetre indicador les mostres 18; 6; 5;15; 26; 16; 19; 17; 27; 12; 2; 20; 23; 24; 4; 25 incompleixen la normativa, donant en tots aquests casos valors inferior de pH.

Referències

Brookins, D.G. (1988). Eh-pH Diagrams for Geochemistry. Ed. Springer-Verlag. New-York.176pp.

DGMNiB (2011a): Fitxa 16002604 Estanys de Baiau. Inventari de zones humides de Catalunya. Departament d'agricultura, Ramaderia, Pesca Alimentació i Medi Natural Generalitat de Catalunya.

DGMNiB (2011b): Fitxa 16002605 Conjunt del Barranc de Sotllo: Estats, Sotllo, Fons i Areste. Departament d'agricultura, Ramaderia, Pesca Alimentació i Medi Natural Generalitat de Catalunya.

Kadlec, R.H. i Knight, R.L., (1996): Treatment wetlands. Lewis Publishers, Boca Raton FL.

Munk, L., Faure, G., Douglas, E.P., Bingham, J.M. (2002). Sorption of trace metals to an aluminum precipitate in a stream receiving acid rock-drainage; Snake River, Summit County, Colorado. *Applied Geochemistry* 17 (2002) 421-430.

Takeno N., (2005). Atlas of Eh-pH diagrams. Intercomparision of thermodinamic databases. NIAIST, Geological Survey of Japan Open File Report N° 419.