



Universitat Autònoma de Barcelona

**ESTUDI DE LES AIGÜES SALINES A LA CONCA
DEL RIU LLOBREGAT I CARDENER:
Implicacions ambientals**

Projecte Final de Carrera de la Llicenciatura de Ciències Ambientals

Marta Viladés Ribera

Dirigit per: Jordi Garcia Orellana

Albert Folch Sancho

Bellaterra, 1 de Juliol de 2013

A totes les persones que volen preservar i s'estimen
la terra on van néixer

AGRAÏMENTS

Primer de tot vull donar les gràcies als directors del meu projecte, al Dr. Jordi Garcia Orellana i al Dr. Albert Folch. Des del primer dia que em vaig presentar amb la idea de fer un estudi sobre les fonts salades del Bages han mostrat el seu entusiasme. Apassionats per la seva feina sempre m'han guiat i m'han explicat com havia de treballar. M'he sentit molt afortunada de poder treballar amb ells.

Al Dr. Albert Soler de la Universitat de Barcelona. Gràcies per haver-me atès sempre que ho he necessitat, per les correccions d'última hora i per haver-me proporcionat tota la informació sobre la zona estudiada i els isòtops estables. També per l'interés dels resultats d'aquest projecte i per fer possible un estudi complet dels isòtops i de la hidroquímica de les mostres recollides. Al Dr. Fidel Ribera per haver-nos acompanyat al camp i explicar-nos tot el que sabia sobre els piezòmetres estudiats.

Al Valentí Rodellas per haver-me ajudat en tot moment en els mostrejos al camp i l'anàlisi al laboratori. He après molt treballant amb ell, sempre m'ha posat les coses molt fàcils aconsellant-me i aportant idees que han estat imprescindibles per a que el projecte pogués tirar endavant.

Al Roberto Espinola, per ser un company de viatge en aquest estudi. Espero que continuï els estudis amb noves línies de recerca i que els resultats aconseguits en aquest projecte siguin molt útils en un futur.

A tots ells gràcies per haver participat en la sortida de camp del dia 22 d'Octubre del 2012.

Als tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua que em van permetre acompanyar-los a una sortida de camp per ensenyar-me les localitzacions de mostreig que estudien periòdicament. També per haver-me proporcionat les seves dades que han servit per poder comparar amb els resultats finals.

A la Mercè Olamendi, tècnica dels laboratoris de la Universitat de Barcelona per les hores dedicades a treballar amb les dades de les analítiques i l'ajuda que m'ha proporcionat en tot moment. Mai no m'hauria imaginat les hores de feina necessàries per a aconseguir uns bons resultats que sense ella no haurien estat possibles.

Als companys de feina que sempre m'han donat facilitats quan he necessitat més temps per acabar el projecte i els seus ànims en tot moment. També m'agradaria donar les gràcies a tots els amics i companys de carrera que sempre han estat al meu costat i amb qui he après en aquesta etapa de la vida. Sé que a alguns de vosaltres sereu molt bons amics per sempre.

Finalment, vull donar les gràcies a la meva mare, al meu pare i a la meva germana per estar sempre al meu costat i aconsellar-me en tot el que he necessitat. Gràcies, sense vosaltres no hauria arribat fins aquí.

I al Josep, per ser-hi sempre.

PREFACI

Aquest projecte es va iniciar amb la motivació de fer un inventari de les diferents fonts salades que es troben a la conca del Llobregat i Cardener. Tot i que aquesta zona no és l'única on aflora aigua salada a la superfície de Catalunya ens trobem en un context social, econòmic i geològic molt interessant per a dur-hi a terme el projecte final de carrera de Ciències Ambientals. La mineria de la sal i la potassa als municipis de Cardona, Súria i Sallent ha modelat el paisatge, la societat, l'economia i l'entorn d'aquest territori en l'últim segle. Tenint en compte aquestes peculiaritats es va decidir que era el lloc idoni per a fer un estudi ambiental sobre les aigües subterrànies salines.

En la primera recerca s'observà que l'origen de la salinitat de les fonts o surgències presents a la comarca era prou incert. Segons el coneixement popular existeixen fonts naturals on la salinitat, en alguns punts superiors a la salinitat de l'aigua de mar, hauria de provenir de la interacció de l'aigua en formacions geològiques salines naturals. En d'altres casos les fonts poden ser afectades per l'explotació minera a la comarca. Així, la infiltració de la pluja en els runams salins de les explotacions mineres, podria salinitzar els aqüífers i posteriorment les surgències i fonts de la zona.

Segons Otero i Soler (2002) els isòtops de sofre i de l'oxigen dels sulfats permeten diferenciar l'origen de les fonts salades. Tot i això, els fertilitzants utilitzats en els camps agrícoles interferien substancialment amb la metodologia utilitzada en alguns indrets ja que també podrien ser la causa de la salinitat de l'aigua.

L'objectiu principal d'aquest projecte és veure si els isòtops radioactius de Ra poden ser utilitzats com a traçadors de l'origen de les aigües de la comarca i aportar noves informacions. El Ra és un element radioactiu que es troba en la matriu geològica del subsòl. És un metall alcalino-terri que és insoluble en aigua dolça però que augmenta la seva solubilitat en aigua salada. La presència d'aigües salines i hipersalines a la comarca minera del Bages representa un context idoni per estudiar el Ra com a traçador de les diverses aigües subterrànies de la zona. La presència dels diversos isòtops del Ra en les aigües subterrànies dependrà de la geologia del subsòl i del temps de residència dins l'aqüífer.

L'estudi es va portar a terme en dues fases: una primera campanya on es va mostrejar quatre punts per comprovar si les aigües presents a la comarca estaven enriquides en Ra i un segon mostreig en dotze punts de la conca del Llobregat i del Cardener incloent-hi surgències, fonts salines i piezòmetres als municipis d'Avinyó, Sta. Maria d'Oló, Santpedor, Sallent i Súria. Els diferents punts de mostreigs es van seleccionar classificant-les segons el seu origen natural, la seva clara influència minera o sense una informació clara sobre la seva salinització.

La comparació dels resultats del ^{226}Ra amb la hidroquímica convencional i la concentració isotòpica del sofre dels sulfats hauria d'oferir nous indicis sobre de l'origen de les aigües salades. Així, per exemple, es podrien quantificar l'èxit de possibles restauracions dels runams salins abandonats quan l'empresa deixi d'extreure material en l'explotació d'entre d'altres.

ÍNDEX

AGRAÏMENTS

PREFACI

ÍNDEX

1.- Introducció	pàgina 9
1.1.- Descripció de la zona d'estudi	pàgina 11
1.2.- Context geològic	pàgina12
1.3.- Context hidrogeològic	pàgina 16
2.- Context Socioeconòmic	pàgina 19
2.1.- Història de la mineria de la sal i la potassa	pàgina 21
2.1.1.- Primers indicis de l'existència de sal a la comarca del Bages	pàgina 21
2.1.2.- El descobriment i l'extracció de la potassa	pàgina 22
2.2.- Producció de potassa	pàgina 2
2.2.1.- Els minerals de la potassa	pàgina 24
2.2.2.- Metodologia d'extracció dels minerals de la potassa	pàgina 26
2.3.- Els runams salins	pàgina 27
2.4.- Nova ampliació de les mines; El Projecte Phoenix	pàgina 32
2.5.- El col·lector de salmorres	pàgina 34
2.6.- Influència de la indústria minera sobre la població	pàgina 35
3.- Objectius	pàgina 37
4.- Zona d'estudi	pàgina 42
4.1.- Determinació de les zones de mostreig	pàgina 45
4.1.1.- Primeres anàlisis	pàgina 45
4.1.2.- Zones de mostreig	pàgina 49
5.- Metodologia i Tècniques analítiques	pàgina 55
5.1.- Hidroquímica	pàgina 57
5.1.1.- Conductivitat elèctrica	pàgina 57
5.1.2.- pH, Acidesa	pàgina 57
5.1.3.- Temperatura	pàgina 57
5.1.4.- Concentració d'elements químics	pàgina 58

5.2.- Isòtops estables	pàgina 59
5.2.1.- Isòtops de l'hidrogen; ^1H i ^2H (deuteri, D) i Isòtops de l'oxigen; ^{16}O i ^{18}O	pàgina 59
5.2.2.- Isòtops del $\delta^{34}\text{S}$ i del ^{18}O del sulfat	pàgina 60
5.3.- Isòtops radioactius	pàgina 61
5.3.1.- Isòtops del Radó (Rn)	pàgina 62
5.3.2.- Isòtops del Radi (Ra)	pàgina 63
6.- Resultats	pàgina 64
6.1.- Salinitat i Conductivitat Elèctrica	pàgina 67
6.2.- Caracterització Química	pàgina 69
6.2.1.- Cations Majoritaris	pàgina 69
6.2.2.- Anions Majoritaris	pàgina 70
6.2.3.- Elements Traça	pàgina 71
6.2.4.- Balanç Iònic	pàgina 72
6.3.- Isòtops estables	pàgina 77
6.4.- Isòtops radioactius	pàgina 82
7.- Discussió	pàgina 89
8.- Conclusions i Futures Línies d'estudi	
8.1.- Conclusions	pàgina 99
8.2.- Futures Línies d'Estudi	pàgina 100
9.- Bibliografia	pàgina 103
10.- Annex	pàgina 111

1.- INTRODUCCIÓ

1.1.- DESCRIPCIÓ DE LA ZONA D'ESTUDI

Els nuclis principals on s'ha fet l'estudi són els municipis de Balsareny, Sallent, Santpedor, Súria, Avinyó i Sta Maria d'Oló. Aquesta comarca té un tret diferencial, és el seu subsòl i la geologia diferenciada que hi podem trobar, la conca potàssica catalana.

Aquest fet ha estat molt important al llarg de la història i ha modelat el paisatge i l'economia locals. El desenvolupament de la mineria en els municipis de Cardona, Súria i Sallent ha canviat radicalment la comarca en l'últim segle.

Els recursos miners han influenciat ja des de molt abans tot el territori, tal i com podem apreciar amb diversos topònims dins de diversos municipis, com el Torrent Salat de Cardona, la riera Salada d'Oló o el Salí de Súria serien alguns de molts exemples que es podrien trobar.

Les conques dels rius Cardener i Llobregat, que creuen la comarca, també han influït en tots els municipis modelant-los tal i com són ara i sent un recurs natural per tots els habitants.

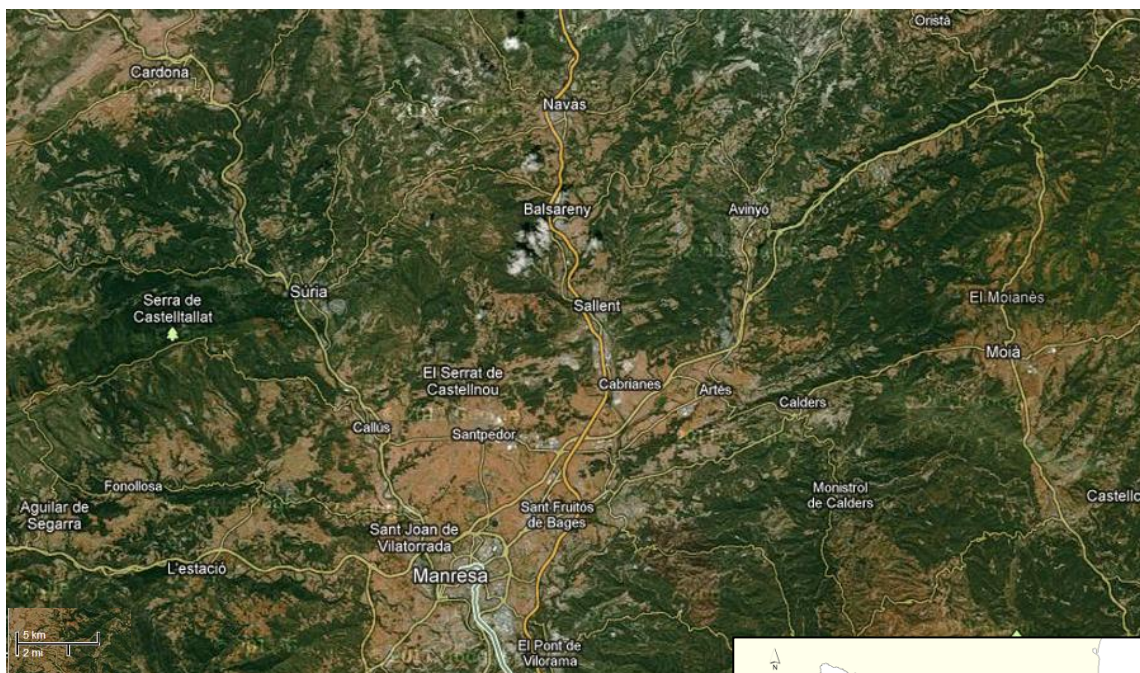


Figura 1.1. Ortofotomapa de la zona estudiada. Font; Google Maps

Figura 1.2. Mapa de Catalunya on es diferencia la comarca del Bages. Font; Atlas Nacional de l'ICC



1.2.- CONTEXT GEOLÒGIC

La Depressió Central Catalana està limitada al nord pels Pirineus, les muntanyes de Montserrat al sud, la plana de Vic a l'est i el riu Segre a l'oest. Dins d'aquests límits hi trobem la conca potàssica catalana, la seva formació es situa fa uns 40 milions d'anys, a l'Eocè Superior.

Fa uns 70 milions d'anys, a final de l'era Secundària, la microplaca ibèrica es desplaça en direcció a la placa europea impulsada per moviments convectius de l'astenosfera. Un mar interior i càlid que comunicava amb l'oceà Atlàntic pel golf de Biscaia separava les dues plaques situades en latitud tropical en aquella època (Fàbrega, 2006).

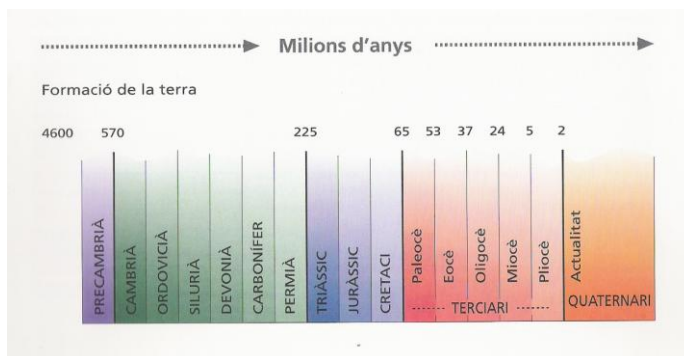


Figura 1.3. Taula dels temps geològics Font; Fàbrega, 2006.

Aquesta conca marina, que arriba a 40 km d'amplada a Catalunya, rebia l'aportació de grans quantitats de sediments dels rius provinents d'ambdues serralades, creant-ne així importants sistemes deltaics, actualment transformats en massissos rocosos com són St. Llorenç del Munt i Montserrat.

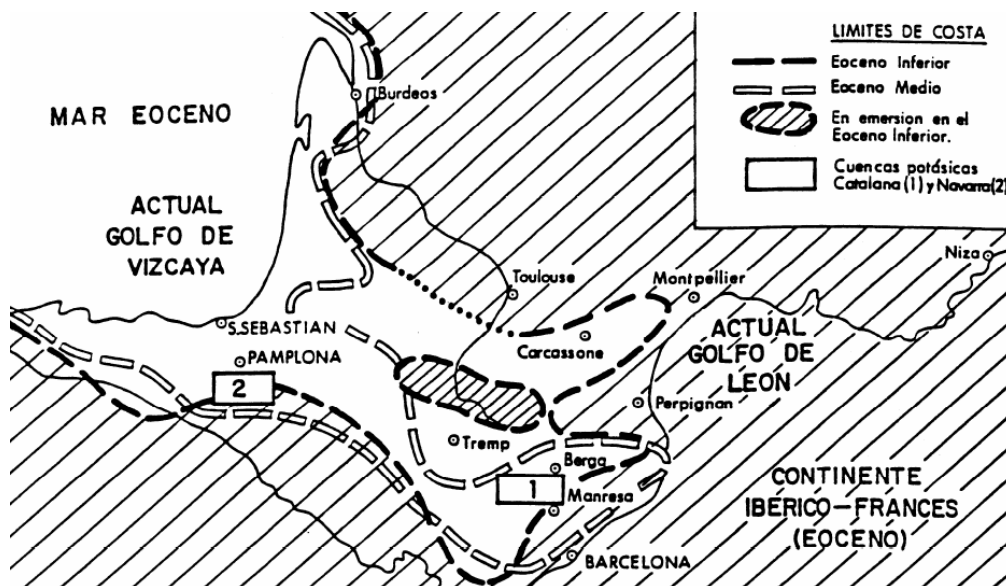


Figura 1.4. Esquema paleogeogràfic de les conques potàssiques eocèniques, on es situen les explotacions de Catalunya (1) i Navarra (2) (Ramos, 1990) Font: Rovira, 2008.

L'acostament de les dues plaques, a finals del període del Cretaci i inici de l'era Terciària, inicia el creixement del massís Catalano-Balear i dels Pirineus provocant un aixecament de tot el terreny i el tancament de la connexió amb l'Atlàntic a finals de l'Eocè, fa 40 milions d'anys. Les zones més profundes d'aquest mar eren la Catalunya Central i la Navarra actuals. El clima

tropical i càlid provoquen l'evaporació intensa de la superfície del mar i el volum d'aigua disminueix progressivament i augmenta simultàniament la precipitació de les sals dissoltes. Aquestes precipiten segons el seu producte de solubilitat, és a dir, primer les menys solubles i després les més solubles produint-se la cristallització massiva de guix, de les sals sòdiques i de les sals potàssiques que s'acumulen majoritàriament en les dues fosses marines més profundes que actualment afloren a Navarra i a Catalunya (Rovira, 2008).

Posteriorment el procés erosiu dels rius i torrents dels Pirineus i del massís Catalano-Balear recobreixen les antigues sals precipitades amb importants formacions sedimentàries continentals.

La deposició salina es produeix com a conseqüència de fenòmens que constitueixen el cicle geològic extern, substàncies que han tingut un transport en dissolució fins a zones de deposició, la qual es produeix a partir de l'evaporació del dissolvent i passant per una fase de saturació de la solució. L'ordre de disposició de les sals és en funció del seu producte de solubilitat, de la temperatura ambiental i de la concentració dels diferents ions (Rovira, 2008).

La seqüència estratigràfica dels materials salins en la zona d'estudi mostra quatre unitats molt diferenciades: 1 *unitat d'anhidrita basal* situada sobre margues d'origen marí, 2 *unitat salina inferior* constituïda majoritàriament per halita, 3. *Unitat potàssica* formada per silvinita i halita en la seva base i carnal-lita i halita en el sostre i finalment 4. *Unitat salina superior* (Sal Nova) constituïda majoritàriament per capes d'halita separades per làmines d'argila grisa i anhidrita. Tot el conjunt té per sostre margues, guixos i lutites de formacions d'origen continental (Rovira, 2008).

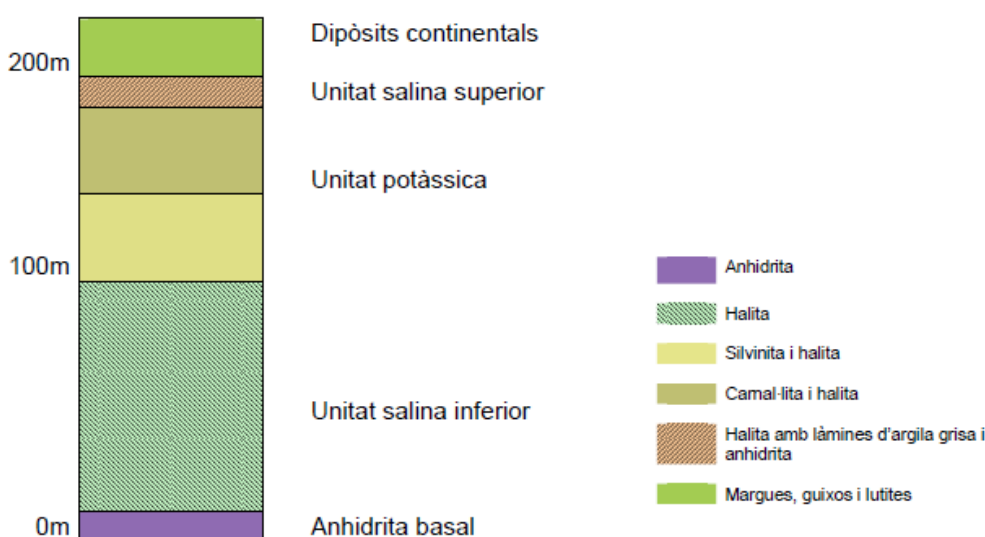


Figura 1.5. Seqüència estratigràfica que indica la disposició dels materials en profunditat de la formació Cardona (segons Pueyo, 1974) Font; Rovira, 2008.

Ja que les formacions sedimentàries recobreixen els dipòsits salins, es conservaren ja que la major part estaven formades per materials argilosos impermeables que impedièn la seva dissolució. Paral·lelament a aquesta dinàmica de sedimentació, es produeix el creixement i eixamplament de la serralada pirenaica, les tensions generades afecten a la regió i les capes de sal i potassa, potencialment plàstiques, es deformen intensament, creant estructures diapíriques, anticlinals, sinclinals i falles. En la zona estudiada es troben l'anticlinal de Cardona-Pinós, el sinclinal de Vilafruns i de Saló i la falla del Tordell a Súria.

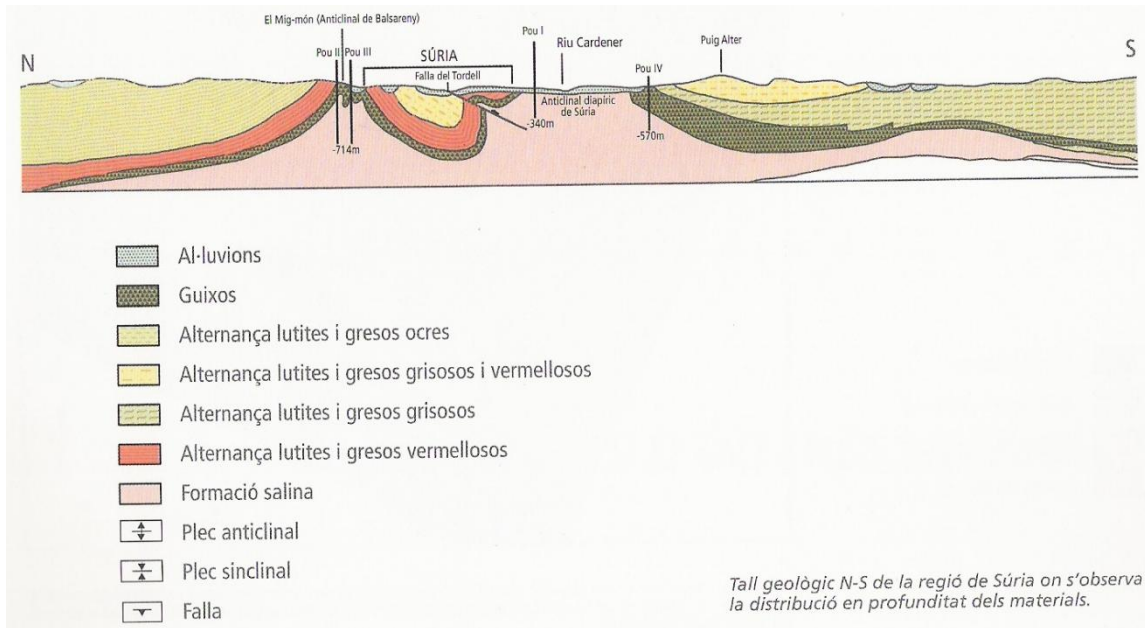


Figura 1.6. Tall geològic N-S a la zona de Súria que permet distingir esquemàticament els diferents materials dels subsòl de Súria i la falla del Tordell. Font; Fàbrega, 2006.

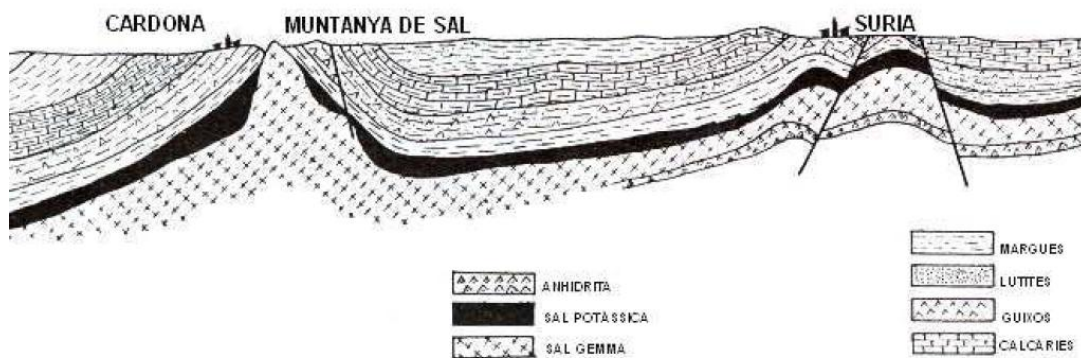


Figura 1.7. Tall geològic de la conca potàssica del Bages: Cardona-Súria (Marín, 1950) Font; (Rovira, 2008)

La formació salina en general es troba a importants fondàries, més de 200 metres, i molt localment les capes de mineral salí afloren a la superfície, com és el cas del diapir de Cardona i de Santa Maria d'Oló. En el cas concret de les sals potàssiques (silvita i carnalita), l'únic aflorament el trobem en el diapir de Cardona, tot i això a Súria els nivells de carnalita es troben a prop de la superfície però no hi arriben a aflorar.

Tots aquests esdeveniments ocorreguts fa milions d'anys han modelat el paisatge fent que sigui únic i excepcional. Per tal de conservar-lo el Parc Geològic i Miner de la Catalunya Central ha estat acceptat oficialment com a membre de la Xarxa Europea de Geoparcs, avalada per la UNESCO el setembre del 2012. D'aquesta manera el Parc geològic es converteix en el primer Geoparc de Catalunya que a partir d'ara vetllarà per la conservació, permetrà estudiar i promocionar el territori geològic de pràcticament tota la comarca del Bages.



Figura 1.8. Logotip del Parc Geològic i miner.

1.3.- CONTEXT HIDROGELÒGIC

La Conca potàssica Catalana és una part de la conca de l'Ebre en la qual es poden distingir l'al·luvial de Terciari i l'al·luvial del Quaternari.

La salinització dels aqüífers d'aquesta zona és un greu problema ja que gran part del reservori d'aigua d'aquests aqüífers representa un dipòsit estratègic d'aigua dolça per a l'àrea Metropolitana de Barcelona.

L'aparició de surgències i fonts d'aigua salada ha promogut diversos estudis per determinar el seu origen. La salinització de la zona pot provenir de la salinització natural de l'aigua subterrània al estar en contacte amb la formació de sals de la conca potàssica catalana o de la infiltració d'aigua de pluja sobre els runams salins, residus de l'activitat minera de la potassa a la zona (Ribera, et al. 2009).

El coneixement hidrogeològic de la conca és molt pobre i està basat en les formacions superficials.

La salinització de l'aqüífer del Quaternari és relativament baixa (entre 1000 i 2000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) ja que està molt influenciat pel riu i per les aportacions de l'aqüífer del Terciari, el qual s'ha pogut veure que la salinització de l'aigua augmenta amb la profunditat (Figura 1.10).

La relació piezomètrica entre els dos aqüífers controla la hidroquímica de la conca, però l'existència de galeries de la mina abandonades, de diverses falles i diversos problemes de subsidència del terreny probablement han modificat el gradient hidràulic de la zona (Ribera et al., 2009).

La caracterització dels aqüífers al·luvials del Terciari i Quaternari permeten definir un model conceptual de la hidrogeologia de la zona i el seu comportament. Diversos piezòmetres instal·lats en punts estratègics han permès obtenir resultats que permeten definir una piezometria de l'aqüífer del Terciari, indicant un flux des de N-S cap a NO-SE (Figura 1.9). De totes maneres s'ha de tenir en compte tres aspectes que poden variar aquest flux localment:

- a) L'existència preferencial de l'aigua a passar per les diferents estructures del terreny, per exemple falles, pot modificar el gradient hidràulic. En algunes zones el nivell piezomètric pot ser superior que el nivell del riu.
- b) Els principals rius de la conca, el Llobregat i el Cardener, i els seus afluents són els principals sistemes de drenatge de la conca.
- c) Els dipòsits de runams salins poden modificar localment el nivell piezomètric actuant com una zona de recàrrega.

La transmissivitat baixa en les formacions del terciari i més alta en els sediments al·luvials. D'altra banda, la transmissivitat local en fractures del terreny pot augmentar fins a dos ordres de magnitud respecte la transmissivitat regional (Ribera, et al. 2009).

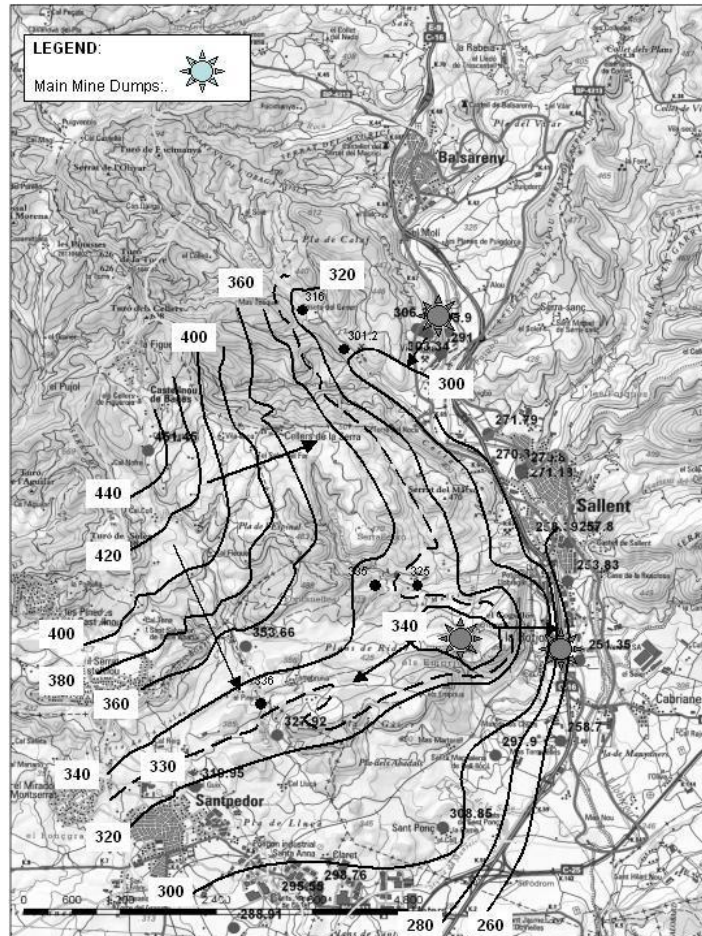


Figura 1.9. Plànol de piezometries del l'aquífer del Terciari en la conca del Llobregat, a l'alçada del municipi de Sallent (Ribera, et al. 2009).

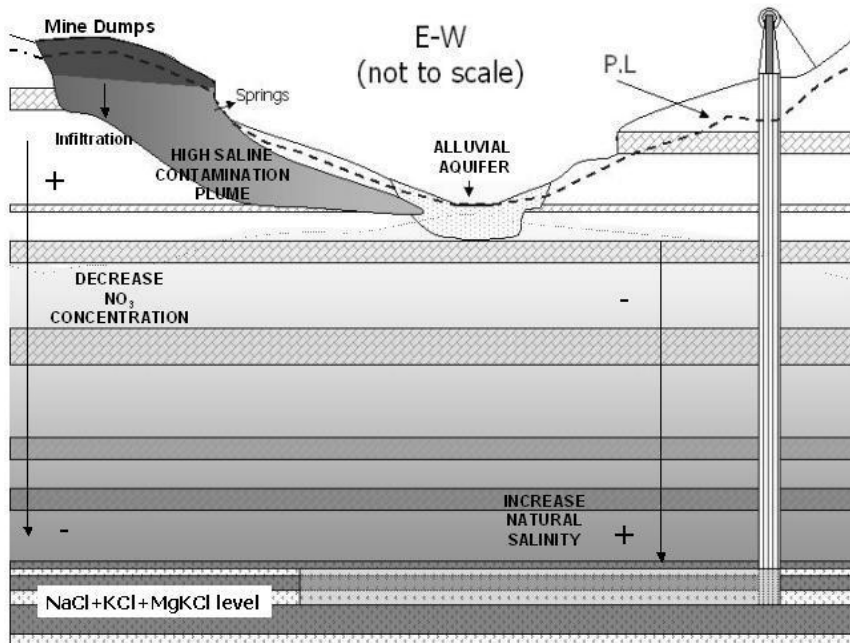


Figura 1.10. Secció conceptual dels principals aquífers de la zona i representació dels efectes que poden tenir els dipòsits de runam salí (Ribera et al.2010).

2.- CONTEXT SOCIOECONÒMIC

2.1.- HISTÒRIA DE LA MINERIA DE SAL I POTASSA AL BAGES

2.1.1.- Primers indicis de l'existència de sal a la comarca del Bages

Els pobles de Súria i Cardona han estat fortament influenciats per la presència de sal a la seves rodalies fet que ha condicionat el seu desenvolupament socioeconòmic durant tota la seva història.

La sal és coneguda pels éssers humans des de temps immemorials. Localment, s'han trobat restes arqueològiques datades del neolític relacionades, segurament, amb l'aprofitament de la sal aprop de la muntanya de sal de Cardona. Durant l'època dels romans la sal també va ser molt apreciada i important ja que s'utilitzava com a eina de bescanvi, tal com indica l'etimologia de *salari* que prové del *salarium argentum* o pagament amb sal a les legions (Font, 2005).

A Cardona la sal aflora a la superfície. Antigament s'extreia directament de la roca mitjançant eines rutinàries i a partir del segle XVIII mitjançant les detonacions amb pólvora. La història del poble de Cardona ve determinada per la sal, el simbolisme del castell de Cardona, actual paradís nacional, és un exemple de la riquesa i poder polític que tenien els Ducs i Senyors del Castell de Cardona.

A Súria la sal no aflora però, es troba a tant sols 12 m de profunditat, prop del riu Cardener. Hi ha varies llegendes i mites que parlen del possible descobriment de la sal a Súria. Un dels indicis haurien pogut ser l'aparició de bòfies, esfondrament del terreny que podrien haver deixat al descobert la sal, ja que és un fenomen que ha ocorregut sovint al poble. Un altre exemple, l'aparició de sal a la superfície per capil·laritat en èpoques de sequera i conseqüentment la diferència de vegetació o la salubritat de les aigües haurien alertat els pastors. D'una forma o altra algú hauria descobert que al subsòl hi havia algun mineral prou apreciat com per començar a excavar en busca de sal (Fàbrega, 2009).

Al municipi de Súria és molt significatiu el nom del lloc on es va descobrir la sal i posteriorment la potassa, el Salí. Aquest topònim sembla ser força recent, del principi del segle XIX i relativament freqüent a Catalunya. Tot i això la primera notícia de l'existència i l'explotació de la sal és el mes d'abril de 1185, un document signat pel rei Alfons I on deixa clar que el castell i el terme de Súria són propietat del rei. Per contra, a Cardona la sal i les seves mines són propietat únicament del senyors del castell de Cardona. Aquesta diferència va fer que la mina de Súria no fos explotada de forma sistemàtica ja que era preferible donar prioritat a la zona de Cardona, lloc on hi habitaven polítics i religiosos més influents de la zona.

El lloc on es troba el Salí, la primera mina de sal de Súria, tampoc va ser un lloc idoni per a l'explotació. La seva situació a prop de la llera del riu podia produir esfondraments del terreny i fer molt difícil el seu accés i la seva explotació. Contràriament la mina de Cardona on una gran muntanya de sal es troba a cel obert, l'extracció es pot dur a terme més fàcilment.

2.1.2.- El descobriment i l'extracció de la potassa

La primera explotació subterrània es produeix a Súria l'any 1900 quan l'enginyer Emili Viader Solé introdueix reformes en els sistemes d'extracció de sal construint un pou de 50 m de profunditat que segueix operatiu fins el 1934 (Fàbrega, 2009).

L'any 1908 Viader constata l'existència de potassa a la comarca, però davant la negativa que troba per la seva explotació a Cardona busca d'altres indrets on poder explotar-la. L'any 1911 es constitueix la societat *Macary i Viader*, juntament amb René Macary, amb la finalitat d'explotar el pou del Salí de Súria. Durant l'any 1911 i 1912 es realitzen treballs d'aprofundiment d'un pou mestre de 68 m de profunditat amb una galeria horitzontal de 30 m de longitud, que permeten trobar les primeres evidències de sals potàssiques. Durant aquests anys es registren al Districte Miner de Barcelona unes onze concessions mineres situades a Súria, Cardona i Balsareny, assegurant-se el dret d'explotació de la conca potàssica.

L'any 1913 *Macary i Viader* cedeixen els drets de les seves concessions mineres a la "*Societat Solvay*". Durant els següents anys es realitzen sondejos arribant a una profunditat de 680 m. L'any 1923 el Pou I de Súria ja tenia 300 m de profunditat i l'any 1926 es comença l'extracció de la potassa (Fàbrega, 2009).

A Cardona els estudis per l'explotació de potassa es reinicien l'any 1915 i en un primer moment es planteja la possibilitat d'iniciar l'explotació obrint-se dues galeries de 400 m de longitud a partir de la cambra d'explotació existent. En aquell moment es va desistir del projecte pel fet de que el rierol salat podia provocar la inundació del jaciment i per la degradació que presentava el contacte d'aigua dolça amb la carnal·lita. Al maig del 1926 s'inicien els treballs d'aprofundiment dels primers pous i es construeixen les fàbriques i els tallers de manteniment. L'any 1933 la nova mina ja es troba en total funcionament juntament amb la planta de transformació i producció de sals potàssiques. L'any 1990 l'explotació és clausurada per la poca rendibilitat, en aquell moment la fondària màxima de la mina de Cardona és de 1340 m (Rovira, 2008).

L'any 1929 es fan les primeres prospeccions a Sallent per part de "*Potassas Ibéricas*" i entre els anys 1929 i 1932 es realitzen els treballs per posar a punt l'explotació minera i començar a extreure el mineral. A Balsareny són els mateixos anys que es fan les primeres prospeccions i sondejos però no serà fins l'any 1948 amb l'empresa "*Unión Española de Explosivos*" quan es començarà l'explotació del mineral (Fàbrega, 2009).

2.2.- PRODUCCIÓ DE POTASSA

La producció mundial de potassa és des de 2002 d'uns 33 milions de tones anuals. Aquesta producció prové de tretze països, el més important Canadà, seguit per Rússia i Bielorrússia (Figura 2.1). Actualment, la producció de potassa a nivell de l'estat espanyol es situa a la província de Barcelona representada per l'empresa *Iberpotash S.A.* La seva producció està al voltant del milió de tones anuals de matèria prima (Taula 2.1. i Figura 2.1.) Pertany al grup *ASHLI CHEMICALS BV*, amb seu a Holanda i la israeliana *ICL Fertilzers Europa*, la qual disposa d'una gran xarxa de comercialització dels compostos de potassi per tot el continent europeu. (IGME, 2010)

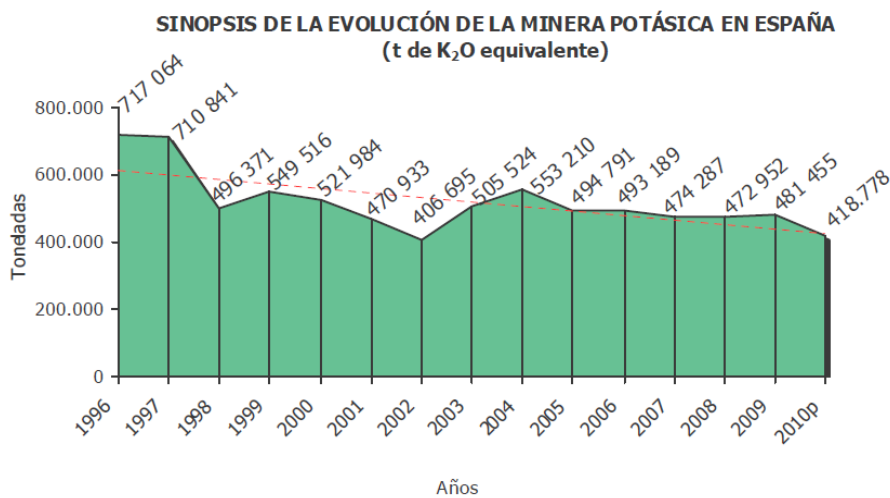


Figura 2.1. Evolució de la producció anual de potassa a Espanya en t d'òxids de potassi (K₂O). Font: Estadística Minera de España (2010).

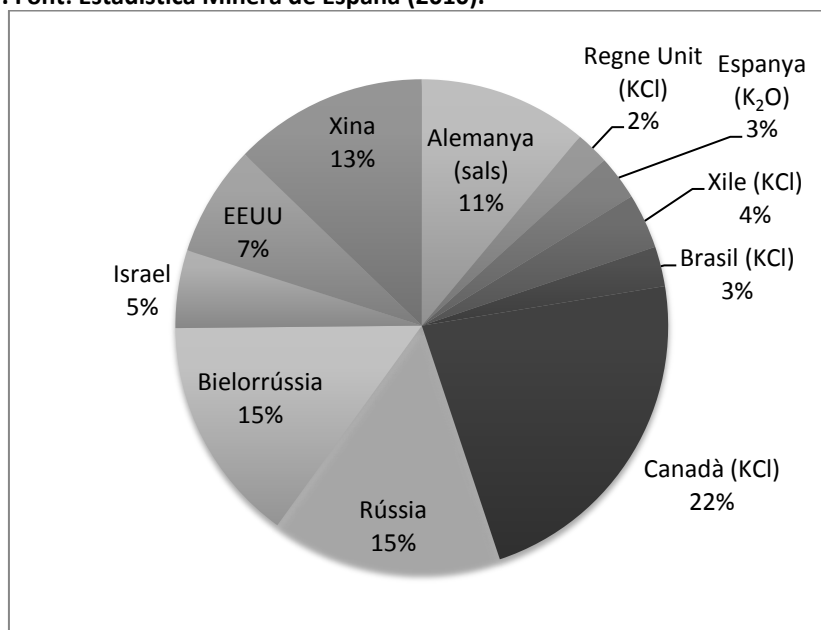


Figura 2.2. Producció mundial de potassa (% tones de K₂O). Font: IGME Dades; World Mineral Statistics 2005-2009, BGS (2009).

2.2.1.- Els minerals de la potassa

La potassa es va descobrir a Almenya, Stassfurt, en una explotació de sal gemma i de forma casual. Les capes de sals potàssiques i magnèsiques (carnal·lita) van fer tancar l'escombrera ja que representava un impediment per l'explotació de la sal fins que es va descobrir la utilitat com a fertilitzant que van fer reobrir l'explotació a Alemanya.

Els mineral que trobem a Alemanya estan constituïts per silvinita, carnal·lita i halita, els que es troben a les explotacions Franceses hi predomina la silvinita i en les catalanes capes separades de silvinita i carnal·lita. El terme potassa fa referència a qualsevol roca sedimentària que conté minerals rics en potassi (Vial, 2006).

L'halita s'utilitza en la indústria química com a font de Sodi i de Clor per a produir tot tipus de materials; plàstics, lleixiu, sabó, vidres, etc. També s'utilitza a la indústria de la pell, en l'alimentació per la ramaderia i per la prevenció de gelades a les carreteres.

El sodi s'utilitza en la industria del PVC, en la industria química s'utilitza per a fabricar àcid clorhídric, per a construir làmpades amb vapor de sodi, tot tipus de sals per a l'alimentació i fins i tot en aspectos mèdics, és un component del serum fisiològic entre molst d'altres (Figura 2.5).

El potassi s'utilitza principalment per produir fertilitzants i explosius (Figura 2.6).

Taula 2.1. Composició i característiques dels minerals de la potassa. Font: web de ICHN delegació Bages: <http://ichn.eic.cat>

MINERAL	COMPOSICIÓ	%K ₂ O	Duresa	Color
Halita (sal gemma, sal comuna)	Na Cl (clorur de Sodi)	-	2	Incolora
Silvina	KCl (clorur de potassi)	63.2	2	Incolores (veremells si hi ha presència de ferro)
Carnal·lita	KMgCl ₃ ·6H ₂ O (clorur de magnesi i de potassi hidratat)	16.96	2.5	Incolora, rosada o de color vermell carn



Figura 2.3. Fotografies dels minerals d'esquerra a dreta; Halita, Silvinita, Carnal·lita. Fotografia: Museu de Geologia Valentí Masachs de Manresa.

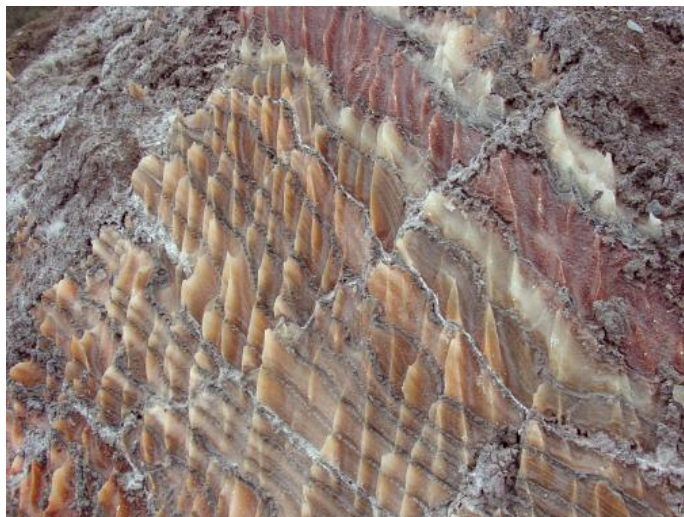


Figura 2.4. Detall dels materials disposats en capes de la muntanya de sal de Cardona. Fotografia: Museu de Geologia Valentí Masachs de Manresa.



Figura 2.5. Usos del sodi. Fotografia: Museu de Geologia Valentí Masachs de Manresa.



Figura 2.6. Usos del potassi. Fotografia: Museu de Geologia Valentí Masachs de Manresa.

2.2.2.- Metodologia d'extracció del mineral de sals potàssiques.

La metodologia d'extracció del mineral varia en cada explotació minera tenint en compte les peculiaritats geològiques del terreny, però coincideixen en el fet que són mines profundes i amb molta producció.

Cardona s'utilitzava el mètode d'*explotació de grans cambres*. Per dur a terme, amb aquest primer cal adequar una determinada massa salina per poder extreure'n el mineral perforant-ne dues galeries separades per uns 100m en profunditat que es comuniquen. Les galeries tenen unes dimensions de 3,5m d'alçada i 5m d'amplada tot i que poden variar. Per arrencar el material es realitzaven voladures amb explosius.

A les mines de Sallent i Súria el mètode d'extracció que s'utilitza s'anomena de *Cambres i Pilars* en què s'exploten cambres de mineral on es deixen zones sense explotar per formar pilars que serveixen de sosteniment del sostre. Des de la galeria central es van obrint galeries perpendiculars d'on s'extreu el material amb minadors, màquines d'extracció.



Figura 2.7. Minador a les mines de Cabanasses (Súria) on s'observa com el raspall a la part dreta de la fotografia arrenca el material de la paret de pedra.

El minador arranca el material de les parets que seguidament és recollit per camions, que l'aboquen en un embut que comunica amb cintes transportadores que traslladen el material fins a l'exterior, finalment a la planta transformadora es separa la silvinita de la resta de materials.

2.3.- ELS RUNAMS SALINS

Durant les primeres dècades d'extracció de sal potàssica a les mines de Súria i Cardona, Sallent i Balsareny el material de rebuig es quedava a l'interior de la mina dipositat a les galeries a mesura que s'anaven abandonant. És a partir dels anys 60 quan la producció de material augmenta i per tant també ho fa el material de rebuig que es comença a abocar a l'exterior de l'explotació formant grans escombreres anomenades runams salins.

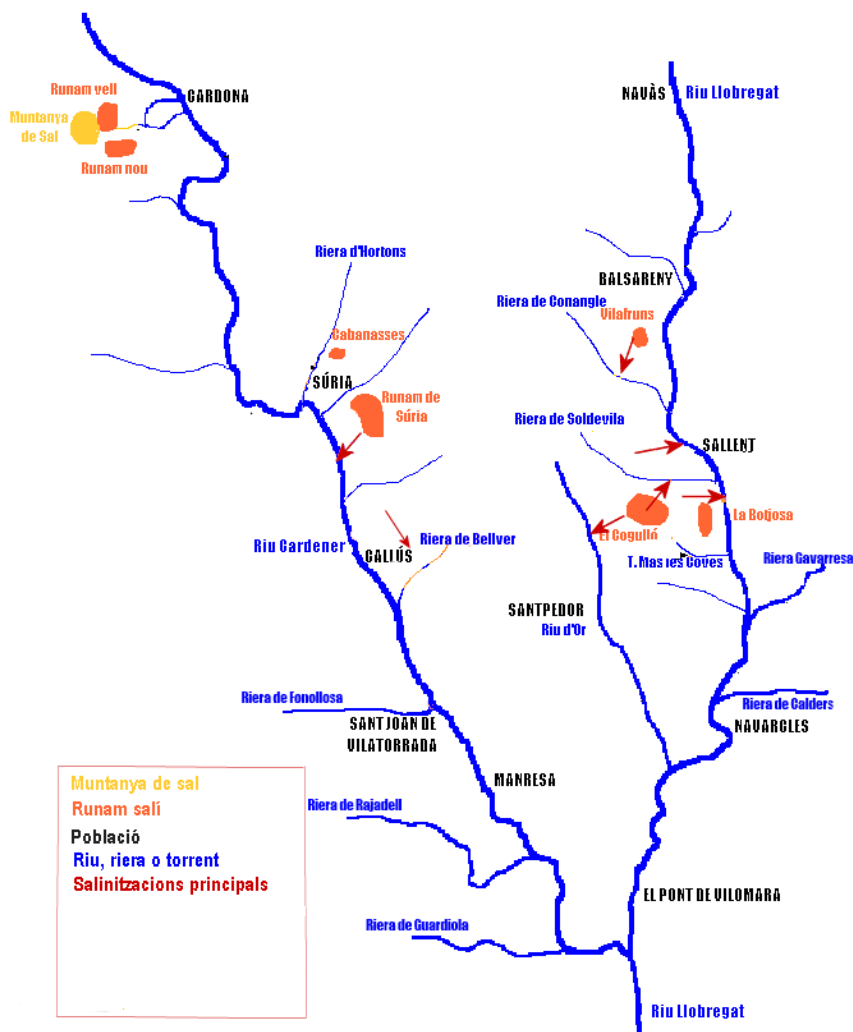


Figura 2.8. Mapa esquemàtic de la distribució dels diferents runams de la comarca a la conca del Cardener i del Llobregat amb les seves respectives rieres principals. Font: www.montsalat.com

Per el disseny dels runams no van tenir en comte la impermeabilització prèvia del terreny. Tampoc es troben recoberts de cap forma o contenen cap tipus de drenatge que eviti la infiltració de l'aigua de pluja i vagin a parar a l'aqüífer i/o a la xarxa de drenatge superficial (Badia, 2001).

L'any 2006 es va construir una rasa revestida amb material impermeable que ressegueix tot el perímetre de les escombreres de Súria i Sallent, amb la funció de canalitzar les aigües de la pluja i conduir-les al col·lector de salmorres. Malgrat això la influència d'aquests runams sobre el medi ambient són evidents des de que les escombreres creixen en extensió i volum sense cap tipus d'impermeabilització inicial del terreny.

La composició dels runams varia depenent de l'antiguitat i de l'explotació però en tots la major part és constituïda per clorur de sodi, clorur de potassi, clorur de magnesi, sulfat de calci, argila i aigua. Actualment el mètode de separació dels minerals extrets és per flotació en totes les explotacions actives, que afegeixen un seguit de nous compostos orgànics provinents dels additius utilitzats en el procés de flotació mineral (Soler et al, 2006).

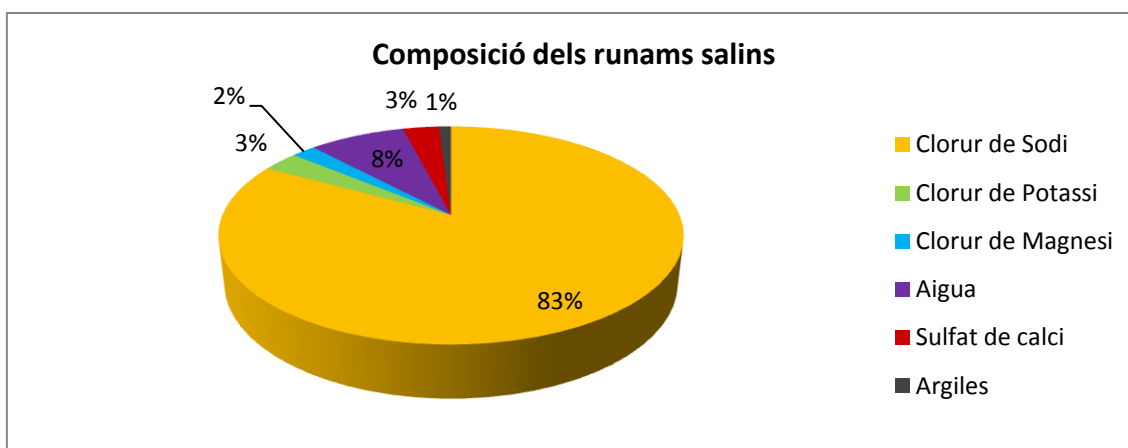


Figura 2.9. Composició majoritària dels runams salins (Badia, 2011).

El funcionament hidrogeològic dels runams no és ben conegut, inicialment l'aigua de la pluja dissol les sals més solubles deixant tan sols un tipus de material argilós, de forta consistència i pendent acusat. Els continguts salins dissolts poden discórrer per la superfície del sòl o filtrar-se en el subsòl fins a capes impermeables causant la salinització d'aqüífers. El dinamisme que té l'aigua en contacte amb els materials salins queda palès amb la formació de sistemes kàrstics en el seu interior i la formació de bòfies per l'entrada d'aigua (Rovira, 2008).

A continuació es descriuen tots els runams salins;

CARDONA

1.- Runam vell

En funcionament des de l'any 1925 fins el 1971. Ocupa una extensió de 9,5 hectàrees, volum de 3 milions de m³ aproximadament i 5 milions de tones de residu. Conté tot tipus de residus dels primers anys de l'explotació.

2.- El runam nou

Comença a funcionar l'any 1972 fins el 1990 quan es clausura la mina a Cardona. En els últims anys l'empresa Ercros ha estat duent a terme l'explotació del runam aprofitant els seus

components sòdics, per la producció de clor, reduint el seu volum fins a ser gairebé inexistent en l'actualitat. Actualment el runam vell també s'està explotant de la mateixa manera.



Figura 2.10. Runam vell de Cardona que cada dia va disminuint degut a la seva explotació per part d'ERCROS, S.A. .

SÚRIA

3.- Cabanasses

Actualment està en desús, ocupa una hectàrea de terreny i té un volum de 0,05 milions de m³ i 0,1 milions de tones de residu. Aquest volum de residu és petit en comparació amb la resta ja que tant sols és el residu de les sals extretes per la construcció dels pous d'accés a la mina, per tant no conté els mateixos materials que els altres runams. La profunditat d'aquests residus és tant sols de les capes més superiors de la formació salina.



Figura 2.11. Panoràmica dels pous de la mina de Cabanasses, el barri que es veu just a sota s'anomena Cal Trist del municipi de Súria.

4.- Fusteret

Actualment és el runam que està en actiu i que creix més ràpidament (Figura XX). La màxima producció de la mina es troba en aquest municipi i per tant el màxim de residu generat també s'aboca aquí. Tal com s'ha explicat anteriorment aquest runam inicialment no està proveït de cap impermeabilització, excepte d'una rasa perimetral construïda el 2006 per controlar parcialment les aigües d'escolament superficial. Actualment s'acumulen al voltant de 24 milions de tones de residus salins amb una extensió de 27 hectàrees i s'hi aboquen 0,7 milions de tones de residu cada any. Amb el nou projecte Phoenix que duu a terme l'empresa Iberpotash aquest nombre augmentarà fins a 1,2 Mt l'any major que l'actual i durant més temps (Folch, 2013).



Figura 2.12. Aspecte actual dels runams salins de Súria, es pot observar també la fàbrica i el nucli de l'empresa Iberpotash, S.A.

BALSARENY

5.- Colònia minera de Vilafrunys

Runam actualment clausurat i restaurat. Tot i que l'impacte paisatgístic és molt inferior després de la restauració, l'impacte sobre el Cardener i la riera de Conangle no ha canviat gaire. Ocupa una extensió de 6 hectàrees, té volum aproximat de 1,7 milions de m³ i uns 3 milions de tones de residu acumulats. Aquest runam tenia una composició diferent ja que el material se separava mitjançant cristal·lització fraccionada, un procés diferent al de flotació mineral. Actualment la restauració s'ha acabat amb èxit i s'espera que d'aquí un cert temps l'impacte s'hagi reduït considerablement.

SALLENT

6.- Botjosa

El runam de la Botjosa està situat just al costat de la carretera que va a Berga, la C-16, causant un gran impacte visual. Actualment en desús i amb perspectives que en un futur tot el material

acumulat es transporti al del Cogulló restaurant aquell espai, l'impacte sobre la població de Sallent es veu a simple vista. Aquest runam ocupa una superfície de 13,5 hectàrees, amb un volum de 2,3 milions de m³ i uns 4 milions de tones de residu acumulats.



Figura 2.13. La Botjosa, petit runam al costat de la carretera C-16 i molt proper al nucli del poble de Sallent

7.- Coquilló

Actualment en actiu juntament amb el runam de Fusteret de Súria són els dos runams més importants i de més extensió. Aquest però ha arribat a ser una de les muntanyes de més alçada de la comarca del Bages fent que la seva existència es pugui veure des de diversos punts. Igual que el runam de Fusteret també hi ha una rasa perimetral per recollir les aigües d'escolament superficial. Ocupa una superfície de 35 hectàrees, amb un volum de 20 milions de m³ i 35 milions de tones de residus acumulats.



Figura 2.14. Runam del Cogulló al municipi de Sallent

2.4.- NOVA AMPLIACIÓ DE LES MINES; EL PROJECTE PHOENIX

El projecte Phoenix impulsat l'any 2012 per Iberpotash, SA consisteix en un ambiciós i potent pla d'expansió i diversificació que ja s'ha començat a executar augmentant la producció de la potassa.

Una de les infraestructures més importants és la construcció d'una rampa d'accés de 4,7 Km de longitud amb una profunditat de fins a 900 metres que es construeix a la mina de Cabanasses, permetrà el transport directe de potassa per l'interior de les galeries de la mina eliminant així el transport urbà de camions pel nucli urbà de Súria i millorant la ventilació a l'interior de les galeries. Amb aquesta nova obra es permetrà l'extracció de 1500tones/hora quan la capacitat actual és de 8700 tones/dia suposant el 100% de disponibilitat. La perforació del túnel suposa una inversió de 200 milions d'euros i serà el segon túnel més llarg després del Cadí i alhora amb més desnivell de tot l'estat (revista comunicació Iberpotsh, 2012).

La falla del Tordell i el pas de l'anticlinal de Cabanasses han estat determinants per la concreció del traçat de la Rampa, condicionant el seu recorregut i la pendent, tal i com explica el director de Medi Ambient i Geologia d'Iberpotash.



Figura 2.15. Ortofotomapa on s'indica la ubicació de la rampa subterrània. També es pot observar les dimensions del runam salí, el nucli del poble de Súria i la planta de tractament. Font; revista de comunicació d'Iberpotash.

Juntament amb la rampa d'accés també està previst construir una planta de sal vacuum, que estarà en funcionament l'any 2014. En aquesta instal·lació es realitzarà el tractament de clorur sòdic que actualment s'emmagatzema als runams salins. Per tant la seva posada en marxa comportarà millores mediambientals com la reducció de lixivats del col·lector de salmorres, la reducció de consum d'aigua del riu, i la futura reducció del dipòsit salí. Amb aquesta instal·lació es produiran unes 750.000 tones de clorur sòdic d'una puresa del 99,97% emprada per la indústria electroquímica, la qual generarà 150 llocs de treball indirectes per a les tasques de muntatge i 32 nous llocs de treball directes (Iberpotash, 2012).

El projecte Phoenix ha aconseguit un acord amb FGC per la connexió amb el futur corredor del Mediterrani, adequant les vies actuals a l'ample internacional entre Manresa i Martorell. Aquest projecte també implica un trasllat de treballadors de les mines de Vilafrunys, ja que l'esgotament del mineral provocarà el seu tancament, cap a Cabanasses, assegurant així l'estabilitat laboral de tota la plantilla. L'empresa i els treballadors d'Iberpotash signaren un acord que garanteix el manteniment dels llocs de treball per al conjunt de la plantilla actual, objectiu primordial per a dur a terme el projecte Phoenix (Iberpotash 2012).

En total, el projecte Phoenix d'ampliació de les instal·lacions d'Iberpotash pot suposar una inversió de fins a 600 milions d'euros i la creació de 600 nous llocs de treball amb l'execució de totes les seves fases, que podrien finalitzar l'any 2020.

Tot i la bona notícia de l'ampliació de l'empresa i la garantia que l'extracció de potassa que permetrà donar feina a la població durant bastants anys més ja s'han publicat diverses notícies que indiquen que el problema mediambiental encara no està resolt de forma satisfactòria.

Segons la notícia publicada per Regió7 el 6 de novembre del 2012, *"els fabricants estatals de sal s'alien contra el projecte d'Iberpotash"*. Segons un informe de l'estudi Ramon Folch sobre l'impacte de l'activitat minera, que hauria estat encarregat per alguna de les empreses competidores, consideren que *"els runams salins del Bages continuaran creixent"*. L'estudi xifra en 71 milions d'euros la fiança que hauria de dipositar Iberpotash per cobrir els costos potencials de restauració dels runams salins del Cogulló i de Fusteret. Asfal, l'Associació Ibèrica de Fabricant de Sal va demanar aquest informe per esbrinar si l'empresa minera estava *"vulnerant el principi de lleial competència"* ja que no haurien fet les inversions mediambientals que corresponen.

El nou i ambiciós projecte Phoenix no està exempt de crítiques i d'opinions, sobretot tenint en compte que els residus salins en un primer moment del projecte augmentaran. Tot i això, s'ha de tenir en compte que és una de les poques empreses catalanes que en un moment de context de crisi econòmica, poden fer una inversió d'aquestes característiques, generant nous llocs de feina i garantint els que ja ofereixen, actualment uns 1200 en tota la comarca del Bages.

2.5.- EL COL·LECTOR DE SALMORRES

Des de l'inici de l'activitat minera es constata analíticament que les aigües dels rius Cardener i Llobregat augmenten la seva salinitat així com també rieres, pous i fonts de les dues conques. Per això la Generalitat de Catalunya va incloure dins del Pla d'Obres d'Urgència la construcció d'un col·lector de salmorres, l'any 1982. Que entrà en servei a començaments de l'any 1990 (www.montsalat.com).

El col·lector de salmorres es construeix amb la finalitat de recollir les aigües amb alts continguts en clorurs procedents de les diverses rieres, escorrenties dels runams i les aigües residuals de les fàbriques de Cardona, Súria i Sallent. Aquest són recollits i transportats sense tractament previ directament al mar. Consta de dues conduccions situades al llarg de les dues conques dels rius Cardener i Llobregat amb un total de 120 km de canalitzacions. Les dues canalitzacions s'uneixen a Castellgalí en una única canonada que arriba a Sant Boi de Llobregat. Des de l'any 2004 són reconduïdes a l'EDAR del Prat de Llobregat per al seu tractament on, seguidament són transportades i bombejades al mar. La canonada està construïda de fibrociment i pot arribar a transportar un cabal màxim de 150 L·s⁻¹.

L'augment de producció de les empreses mineres també ha provocat que el col·lector hagi arribat a les 650.000 tones de sal a l'any, assolint el cabal màxim (www.lasequia/montsalat.org).

L'any 2008 es va construir, amb un cost aproximat de 64 milions d'euros, un nou col·lector de salmorres, el desdoblant l'antic amb capacitat per transportar molt més cabal. El primer tram comprés entre la potabilitzadora d'Abrera i la depuradora del Baix Llobregat té més de 32 km, i recull les noves aportacions de salmorra procedents dels nous tractaments incorporats a les plantes potabilitzadores d'Abrera i de Sant Joan Despí.

Tot i que el col·lector de salmorres ha millorat molt les condicions dels rius Cardener i Llobregat s'han produït diverses fuites ens els últims anys posant d'evidència el mal estat en alguns dels seus trams de la canonada, tal com evidencien notícies a diferents diaris tant comarcals com nacionals:

04/11/08:

El Punt, Avui. *Una nova fuga del col·lector de salmorres afecta al paratge protegit de la Corbatera de Sallent.*

17/07/11:

Regió7.cat. *El vell col·lector de salmorres vessa a Sant Joan de Vilatorrada.*

04/09/11

Naciódigital.cat. *Un error mecànic del col·lector de salmorres del Bages malmet 1,5 ha a l'alçada de Martorell.*

2.6.- INFLUÈNCIA DE LA INDÚSTRIA MINERA SOBRE LA POBLACIÓ

La influència de les mines de potassa en la població és indiscutible. Els municipis de Cardona, Súria i Sallent van multiplicar els habitants al llarg del segle XX com a conseqüència de l'obertura de les mines i la falta de mà d'obra local. Moltes famílies de la resta d'Espanya van emigrar i es van instal·lar en els diferents municipis, nous barris naixien i els pobles es transformaven.

Des d'aleshores les mines han estat el principal lloc de treball i de riquesa de moltes famílies i encara ara continuen sent-ho.

Una enquesta realitzada l'any 2007 per Sara Puig Vall per al seu Treball de Recerca ens pot donar una idea de quina és la visió de la població de Súria i Sallent.

Fent un resum ràpid de les preguntes més interessants es destaquen diferents punts sobre la importància que dóna la població als runams salins i els seus impactes;

La població de Sallent expressa en un 100% que els runams salins perjudiquen el medi natural, i els de Súria ho afirmen un 80,2%. Pel que fa a les aigües salinitzades els dos municipis consideren que l'impacte és molt important, però el percentatge de gent que no dóna gens d'importància a aquest fet a Súria és d'un 17,8% mentre que a Sallent és pràcticament inexistent.

Els dos municipis consideren que els runams salins s'han convertit en un problema mediambiental en una majoria àmplia, però tant la població de Súria com la de Sallent expressen que el municipi més afectat és sens dubte Sallent.

Tenint en compte aquestes enquestes i sobreentenenent que aquestes dades haurien pogut variar actualment, es pot afirmar que la població té en compte l'impacte sobre tot ambiental que produeixen els grans runams salins.

Tot i això l'única plataforma ciutadana que s'ha constituït denominada *Prousal!* Es tracta d'una plataforma ciutadana defensora del medi natural per la contaminació dels residus salins que intenta buscar solucions per resoldre la problemàtica ambiental que generen. Aquesta plataforma està composta generalment per població sobretot de Sallent.



Figura 2.16. Logotip de la plataforma ProuSal!



Figura 2.17. Logotip de la plataforma Montsalat
montsalat@gmail.com

Una altra plataforma defensora del medi natural existent des de la dècada dels noranta és *Montsalat*, que denuncia les afectacions ambientals de les muntanyes de residu salins, a més d'aportar informació molt rellevant i detinguda amb diverses analítiques en les aigües del Llobregat, Cardener i rieres diverses.

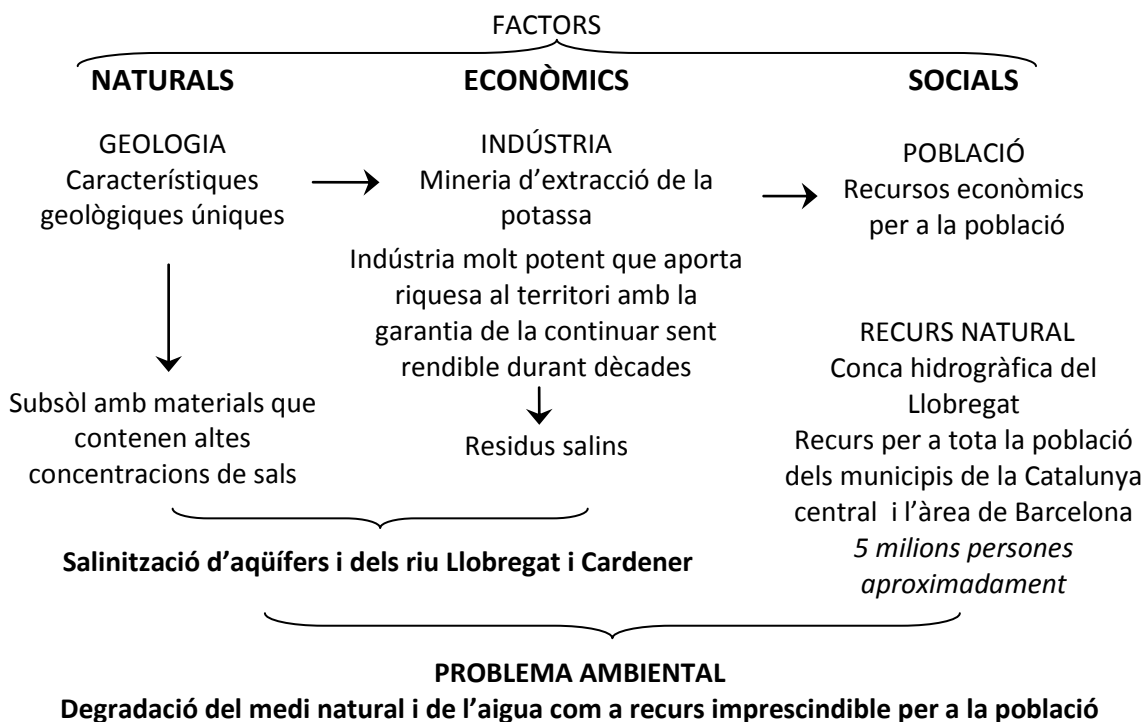
3.- OBJECTIUS

La localització d'aquest projecte té unes característiques molt peculiars que fan que tingui tots els ingredients per estudiar el problema ambiental que afecta a les aigües del Llobregat i el Cardener en el seu curs.

La zona estudiada té la particularitat de tenir aspectes molt diversos que conflueixen en un mateix problema. La geologia és única en aquest indret, les formacions geològiques de sals potàssiques són explotades per una empresa minera que aporta riquesa a tota zona donant feina a un gran nombre de treballadors i famílies i sent una de les més importants del país. Aquesta explotació però, produeix un gran volum de residus en forma de runams salins. La dissolució de les sals dels runams salins amb l'aigua de la pluja i que seguidament s'infiltra en el subsòl, és una contaminació potencial d'aqüífers i rieres de la zona. Tot i això moltes d'aquestes fonts o surgències salines també poden tenir un origen natural que derivi del contacte de l'aigua dels aquífers amb la capa de sals subterrànies. Algunes d'elles es troben a poca profunditat en alguns indrets a causa de plegament o falles que han elevat el terreny.

La salinització de les aigües és un problema especialment greu a la conca dels rius Llobregat i Cardener ja que aquesta, serveix per abastir a una de les regions més poblades del país que són les comarques de la província de Barcelona. La utilització de l'aigua com a recurs és tant per part d'usos urbans i domèstics com industrials i agraris, per exemple, la mateixa indústria minera també utilitza un gran volum d'aigua en el seu procés industrial.

Figura 3.1. Esquema representatiu dels diferents factors que impliquen un problema ambiental a la zona estudiada.



S'ha de tenir en compte que algunes surgències salines són recollides pel col·lector de salmorres abans d'incorporar-se al riu Llobregat. D'altres però, són tributaris directes cap al riu Llobregat i tot i el poc cabal que tenen la suma de totes elles afecta negativament el riu. A més, la salinitat que s'observa en el lloc de la surgència i el medi del voltant és clara, però és molt difícil d'avaluar la magnitud de l'impacte en el medi subterrani que pot haver causat la salinització dels aqüífers.

En aquest treball no s'avaluarà el problema final sinó que s'intentaran donar mecanismes per identificar l'origen del problema i determinar la diferència de contaminació que es troba en les aigües salinitzades de la zona.

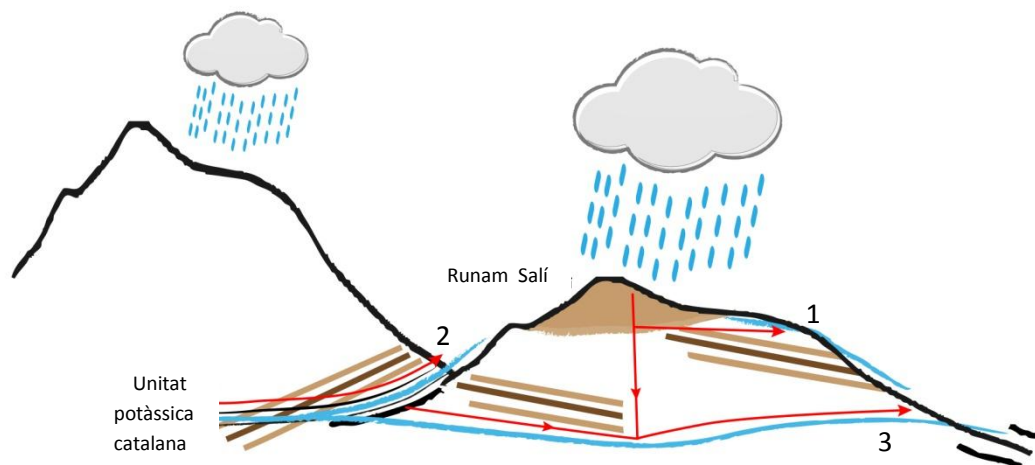
Per fer-ho s'analitzen mostres de diferents orígens que s'esquemmatitzen a la Figura 3.2.

1.- L'aigua de la pluja s'infiltra en el runam salí i dissol tot tipus d'elements químics, entre ells el clorur sòdic que produeix l'alta salinitat en l'aigua. Aquesta s'infiltra pel subsòl i salinitza els aqüífers fins que torna a sortir a la superfície en forma de font o de surgència.

2.- L'aigua de pluja s'infiltra en el subsòl i queda emmagatzemada a l'aqüífer subterrani. El seu moviment o transport vindrà determinat per les característiques químiques, físiques i geològiques de la zona. Si l'aigua infiltrada es troba en contacte amb materials de la conca potàssica aquesta interaccionaran amb la roca i l'aigua es salinitzarà. A les zones on l'aqüífer surt a la superfície en forma de font o de surgència trobarem aigua salada. Normalment en aquestes zones els materials de la conca potàssica es troben més a prop de la superfície.

3.- L'origen de l'aigua salada pot ser una barreja de les dues anteriors i adoptant propietats que no permetin identificar clarament quin és l'origen principal de la salinitat.

Figura 3.2. Esquema representatiu de la possible circulació de l'aigua en l'aqüífer. Les fletxes vermelles indiquen la direcció de l'aigua.



Primer de tot es realitzarà un estudi de camp per identificar diferents localitzacions on hi hagi aigua salada d'origen natural, altres afectades per la clara contaminació per la mineria o d'altres amb un origen incert.

Seguidament es faran anàlisis que es podran dividir en tres parts principals amb la hidroquímica bàsica, els isòtops estables i els isòtops radioactius.

La hidroquímica ens permet extreure uns resultats inicials aportant una informació molt específica i diversa per a cada localització. Un dels aspectes més importants a valorar en aquest anàlisi és la conductivitat elèctrica i la salinitat de les aigües, ja que serà el primer mètode d'anàlisi en aquestes mostres.

Els isòtops estables ens aporten informació sobre l'origen de l'aigua. S'utilitzarà la mateixa metodologia emprada per Otero i Soler l'any 2002 per identificar els diferents orígens de la salinitat de la zona. Dels diferents isòtops estudiats l'isòtop del sofre del sulfat ($\delta^{34}\text{S-SO}_4$) és el que ha de tenir més rellevància ja que la seva avaluació permet definir clarament l'origen de la salinitat de l'aigua.

El principal isòtop radioactiu estudiat és el Ra. És un element radioactiu que es troba en la matriu geològica del subsòl. És un metall alcalino-terri que és insoluble en aigua dolça però que augmenta la seva solubilitat en aigua salada. La presència d'aigües salines i hipersalines a la comarca minera del Bages representa un context idoni per estudiar el Ra com a traçador de les diverses aigües subterrànies de la zona. La presència dels diversos isòtops del Ra en les aigües subterrànies dependrà de la geologia del subsòl i del temps de residència dins l'aqüífer.

El tret diferencial que ens ha portat a escollir l'isòtop de Radi com a traçador es basa en el fet que els seus isòtops tenen rangs de temps de semidesintegració molt diferents. ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600$ anys), el ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,75$ anys), el ^{224}Ra ($T_{1/2} = 3,66$ dies) i el ^{223}Ra ($T_{1/2} = 11,43$ dies) Tots ells tenen un comportament fisicoquímic similar ja que són el mateix element químic, però els seus de temps de semidesintegració comprenen rangs de temps molt diversos que ens permetran discernir entre els orígens de l'aigua.

Si l'aigua salada prové d'aqüífers subterranis on el temps de residència de l'aigua serà elevat, trobarem ^{226}Ra en concentracions altes indicant que l'aigua de l'aqüífer ha estat en contacte amb la roca mare i ha desabsorbit altes quantitats de ^{226}Ra .

D'altra banda l'aigua que provingui de la dissolució de sals dels residus produïts per la indústria de la mineria haurà fet un recorregut menor en l'aqüífer reduint el temps d'interacció de l'aigua amb el residu salí. El resultat d'aquesta interacció serà una salinitat igualment elevada, però amb continguts diferents, tant d'elements químics com isotòpics.

D'aquesta manera s'aconsegueix diferenciar l'origen de salinitats de diverses localitzacions indicant els possibles orígens. S'ha de tenir en compte que la interacció antròpica en els últims metres de l'aqüífer, com per exemple la utilització de fertilitzants, pot fer variar els resultats fisicoquímics de l'aigua i modificar la composició dels isòtops estables. Utilitzant traçadors radioactius com els isòtops del radi es pretén disminuir aquesta influència i obtenir resultats clarificadors sobre l'origen de la salinitat.

S'intentarà definir una nova metodologia d'anàlisi que pot aportar noves informacions d'un problema ambiental important de la zona o simplement, corroborar els resultats d'estudis anteriors deu anys després.

Finalment, els resultats obtinguts s'utilitzaran per avaluar l'impacte dels runams salins sobre el medi hidrològic de la zona i definir per a què poden ser importants respecte a la situació social i ambiental de la zona.

4.- ZONA D'ESTUDI

4.1.- DETERMINACIÓ DE LES ZONES DE MOSTREIG

4.1.1.- Primeres anàlisis

Tal com s'ha exposat en la introducció a la zona dels municipis de Cardona, Sallent i Súria trobem surgències d'aigua salada de les quals l'origen de l'elevada salinitat és incert.

A partir de l'inventari de punts d'aigua salada de la Catalunya central publicat per Font, (2005) es van fer les primeres visites de les fonts i surgències dels municipis de Callús, Súria, Sallent i Balsareny. Un cop es van haver visitat es van analitzar quatre mostres representatives per justificar l'anàlisi d'aquestes amb els isòtops del radi, i veure, si tal i com es suposava inicialment, la seva concentració en isòtops era elevada. A continuació es fa una petita descripció de la zona i de l'origen de la salinitat de cadascuna d'elles;

Font Salada d'Oló; És una surgència que es troba al municipi de Sta Maria d'Oló, a les afores del nucli urbà. A partir d'aquesta surgència es forma el torrent de l'Abadal que a continuació recull aigua de d'altres fonts, en aquest cas no salinitzades.

A la zona de la surgència es pot comprovar la inclinació dels estrats que arriba a ser vertical en alguns llocs. La presència d'un anticlinal produeix un alçament de les capes salines cap a al superfície. El contacte d'aquestes capes de materials salins amb l'aigua provoquen una dissolució de les sals en l'aigua que posteriorment neix en una part de la muntanya. Diversos topònims fan pensar que aquesta salinitat hi és present al llarg del temps, per exemple la carretera "La Salada" la qual és anomenada d'aquesta manera pels habitants de la zona.

Font del Borinot; Així s'anomenava una antiga font a la llera del riu Llobregat al nucli de la població de Sallent. Actualment aquesta font es troba en desús tal i com es pot comprovar per la presència d'unes escales antigues escales de pedra que conduïen a la font. Aquesta font té un cabal molt reduït i hi ha diverses surgències al seu voltant. No hi ha cap canalització que reculli l'aigua salada que vagi a parar al riu Llobregat. L'origen de la salinitat d'aquesta hipotèticament serien els runams salins de la Botjosa ja que és molt pròxim a ella.

Font de la Torre; Font d'aigua dolça que es troba entre els municipis de Sallent i Balsareny i molt propera a la vall de Conangle, a qual la seva riera es troba salinitzada. L'aigua d'aquesta font és utilitzada pels habitants de la zona degut a la seva accessibilitat, al costat de la carretera.

En el primer mostreig, la conductivitat va ser d'aproximadament $2 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ i va ser descartada, ja que la presència d'isòtops de radi no era segura deguda a la seva baixa salinitat.

Cal Filosa; Surgència que es troba dins del terme municipal de Callús molt propera a la masia de Cal Filosa. La surgència es troba a la llera de la riera de Viladelleva, afluent del riu Cardener. La seva localització és de difícil accés i la surgència es troba sota del nivell de l'aigua de l'estany que es forma en aquest punt. La salinitat de la riera abans de la

surgència és de 2,5 ppt i la de l'estany després de la surgència és de 36,6 ppt. Aquesta diferència de salinitats ens indiquen un alt impacte de la surgència sobre el medi natural.

La difícil accessibilitat a la zona de la surgència descarta aquest punt en el disseny de la zona d'estudi. Tot i això, s'ha de considerar la seva mesura en posteriors estudis, ja que és una de les surgències d'aigua salada més allunyades dels runams de les mines de Súria i de Sallent.

Taula 4.1. Primer mostreig de fonts salades. Resultats inicials que permeten justificar la continuació del projecte.

	Font Salada d'Oló	Font del Borinot	Font de la Torre	Cal Filosa
Municipi	Sta Maria d'Oló	Sallent	Sallent	Callús
Coordenades	41°52'18.50"N 2° 2'16.00"E	41°49'33.5"N 1°53'28.7"E	41°49'53.57"N 1°52'39.27"E	41°47'26"N 1°48'01.5"E
Dia	7/08/12	7/08/12	7/08/12	8/08/12
Temperatura (°C)	17.4	20.9	16.4	16.5
Salinitat (ppt)	34.7	30.3	1	36.6
Conductivitat (mS·cm⁻¹)	52,6	66,61	2,050	54,5
Radi (cpm·10L⁻¹)	36	75	-	45

Posteriorment, s'amplien les zones visitades i se'n fan mesures inicials de conductivitat i salinitat. També s'observa el cabal de sortida de l'aigua i l'accessibilitat al lloc per a recollir les mostres.

Després de diverses sortides i amb l'ajuda d'experts en la matèria es van incorporar a la llista diversos piezòmetres que van ser construïts per l'Agència Catalana de l'Aigua per avaluar la salinitat de les aigües subterrànies de la zona continuadament.

Moltes de les surgències visitades durant els mesos d'Agost i Setembre tenen la característica que estan abandonades o que són surgències en que l'aigua surt de la roca amb molt poc cabal i/o per diferents punts. A més, la majoria de piezòmetres estan al costat de la surgència estudiada prèviament, com és el cas de Conangle, Soldevila, Illa o Fusteret (Taula 4.2). Els piezòmetres són una eina molt útil ja que ens permeten recollir l'aigua d'una profunditat concreta evitant la influència de l'aigua de la pluja, la qual es queda a menor profunditat, i recollir-ne un volum prou gran amb un temps menor que si es recull de la surgència directament, on l'aigua surt amb molt poc cabal.

Aquests piezòmetres també es van visitar el 22 d'octubre acompanyant una visita trimestral que fan els tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua i que recullen mostres de punts d'aigua subterrània i d'aigua superficial. Les dades que es van recollir al camp es poden comparar amb les mesures dels mesos d'Agost i Setembre. En la comparació (veure Taula 4.2) es pot veure

que el conductímetre utilitzat no està calibrat per aigües tant salines i per tant, s'haurien de posar en dubte les dades preses. Tot i això aquests resultats són previs i tant sols ens serveixen per fer un primer inventari de les zones salinitzades.

Després de realitzar les diferents sortides es descarten les següents fonts;

- Font del Borinot: Aquesta font es troba a la llera de riu Llobregat al nucli urbà de Sallent, però té molt poc cabal i la seva recollida és molt difícil.
- Surgència de la C-55 al municipi de Súria: Aquesta surgència es troba al mur de formigó que protegeix la carretera de possibles esllavissades. Només s'hi troba aigua quan plou, però té la característica que a vint metres de distància es troba la mateixa surgència però d'aigua dolça. La recollida de mostres d'aquest punt és molt difícil degut a la seva proximitat a la carretera i al cabal intermitent que té l'aigua.
- Font dels horts del Mas Filosa, al municipi de Callús. Tal i com s'ha descrit anteriorment, aquesta font es troba per sota del nivell de l'aigua de l'estany on descarrega, està abandonada i s'hauria d'acondicionar la zona abans de recollir-ne mostres. Tot i això el cabal que produïa era força abundant, per tant seria convenient tenir-la en compte en futurs estudis.
- Pou del Cabré: Aquest és un pou al sud del nucli urbà de Sallent i proper a la surgència de l'Illa. Es tracta d'un pou tradicional on l'aigua hi queda estancada, cosa que ens perjudica en l'anàlisi dels isòtops del radi i el radó.
- Totes les surgències que tenen un piezòmetre proper no s'avaluaran, ja que el seu anàlisi és molt més còmode i més fiable en el piezòmetre.

Taula 4.2. Taula que recull totes les fonts i surgències visitades amb les mesures de ACA i les realitzades per compte pròpia. Es diferencien els piezòmetres de les fonts. A la part inferior de la taula s'indiquen totes les zones descartades. Totes les zones estan georeferenciades amb coordenades UTM.

	Municipi	Mesures ACA		Mesures Setembre i Agost			Coordenades X/Y
		Temperatura (°C)	C.E. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Salinitat (ppt)	Temperatura (°C)	C.E. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	
Piezòmetres							
Conanlge Alt	Balsareny	15,4	17.380	11,6	16,6	19.430	405228/4633239
Conanlge Mig	Balsareny			5,7	14,1	10.050	405654/4632883
Conangle Baix	Balsareny	18,3	116.000				406436/4632203
Torrent Soldevila	Sallent	17,5	189.200				406564/4629687
Zona 0	Sallent						406330/4629472
Riu d'Or	Santpedor						404701/4628093
Fusteret	Súria	16	43.000				397007/4630252
Surgència de l'Illa	Sallent			13	19,1	36.900	408776/4629701
Fonts							
Font de Cal Lluçà	Santpedor			12,2	19,4	20.400	405096/4627775
Font de Cal Trist (riera d'Hortons)	Súria	16,9	10.140	5	15	33.000	396125/4632950
Fonts d'origen Natural							
Torrent Salat de l'Abadal	Avinyó			35,2	17,2	53.200	413697/4632053
Font d'Oló	Sta Maria d'Oló			34,7	17,4	52.600	420150/4635995
FONTS DESCARTADES							
Surgència polígon de l'Illa	Sallent			46,4	17,5	64.700	408711/4629484
Font Fusteret (de la Serra)	Súria	Actualment està canalitzada al col·lector de salmorres					397596/4630724
L'antiga font del Borinot	Sallent			30	21	66.610	407930/4631049
Surgència Horts Filosa	Callús			36,6	16,5	54.500	400460/4627455
Surgència C-55 (aigua només quan plou)	Súria			63,4	21,6	89.200	397352/4630017
Surgència C-55 aigua dolça	Súria			0,7	16	1.413	397255/4629791
Pou del Cabré	Sallent	16,3	3.620				408760/4628168

També es van realitzar algunes mesures en rieres i torrents que es veuen afectats per la descàrrega d'aigua d'aquestes fonts salades. Es comprova la diferència de conductivitats i salinitats abans i després de la incorporació de l'aigua salada al riu. Aquestes mesures ens indiquen que les altes conductivitats de les surgències i fonts tenen un impacte sobre les rieres i torrents als quals l'aigua hi descarrega, canviant-ne considerablement la salinitat en pocs metres de distància.

Taula 4.3. Recull de mesures en punts abans i després de la incorporació de l'aigua de les fonts salades als torrents o rius. Es pot veure la diferència de conductivitats abans i després de la surgència.

RIERES I TORRENTS	Municipi	Salinitat (ppt)	Temp (°C)	Conductivitat ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Riera d'Hortons abans de la font de Cal Trist	Súria	1	14	1.915
Riera d'Hortons abans d'incorporar-se al riu Cardener	Súria	2,4	14	4.513
Riu Llobregat abans de la surgència Illa	Sallent	0,7	13	1.326
Riu Llobregat després de la surgència de l'Illa	Sallent	2,1	18	3.920
Gorg del torrent de Conangle	Balsareny	6	14	10.050
Riera de Conangle Alt	Balsareny	9	16	15.000

4.1.2- Zones de mostreig

Les zones de mostreig definitives (Taula 4.2) es poden classificar segons la seva localització i en podem diferenciar sis grups que es descriuen a continuació.

Totes les fonts, surgències i piezòmetres estudiats es van visitar diverses vegades els mesos d'Agost, Setembre i Octubre del 2012 i la recollida de mostres va ser el 11 i 13 de Novembre del 2012.

1.-Fonts d'origen Natural

Les fonts d'origen natural es troben molt allunyades de la influència dels runams miners, però degut a la geologia existent les capes d'halita que es troben properes a la superfície causen una salinització de l'agua de l'aquífer que es troba en contacte amb aquests materials. Per això podem afirmar que la salinitat no prové dels runams miners

- Riera salada d'Oló: Es troba al municipi de Santa Maria d'Oló. La riera salada d'Oló va ser una de les primeres fonts visitades, la seva salinitat es considera d'origen natural tal i com s'ha explicat anteriorment. La seva salinitat és semblant a l'aigua de mar 30 ppt aproximadament, al cap d'uns metres l'aigua de les fonts del poble s'ajunten amb aquesta creant la riera d'Oló que baixa fins al municipi d'Avinyó on trobem la següent font.

- Surgència salada d'Oló: Aquesta surgència es troba molt a prop del restaurant de l'Abadal al trencall de la C-25 a l'alçada d'Avinyó. La surgència forma una riera que

desemboca a la riera la Gavarressa i que en pocs metres també hi desemboca la riera d'Oló, les tres rieres són afluents del Llobregat. La surgència d'aquesta font forma un petit estany en que no permet distingir prou bé quin és el punt exacte de la sortida d'aigua i que permet créixer una vegetació molt particular degut a la salinitat de l'aigua. Les algues que creixen a l'aigua tenen un color vermellós molt particular i es formen capes de vegetació a la superfície del petit estany.

2.- Vall de Soldevila

La vall de Soldevila es troba situada a l'oest del municipi de Sallent i recull gran part de les filtracions d'aigua que discorren pel runam del Cogulló i que es recullen al col·lector de salmorres abans d'anar desembocar al riu Llobregat. Tot i això l'impacte de l'alta salinitat de l'aigua afecta a tota la vall i es pot comprovar els seus efectes a simple vista abans de que sigui drenades cap al col·lector. A la zona de les surgències hi trobem tres piezòmetres, dels quals només seran avaluats dos. Els dos piezòmetres estudiats són els més propers al runam salí del Cogulló, i per tant, seran els més salinitzats que utilitzarem com a referència de l'aigua més influenciada pels residus miners.

- Soldevila: La surgència es troba al costat del camí que travessa la vall, és la zona més propera al runam del Cogulló de Sallent. Es pot observar també indicis d'una esllavissada en la vessant que fa que la surgència es dispersi per tota la paret que encara aguanta dreta. Just a sobre de la paret hi trobem un camp on hi ha el piezòmetre estudiat.

- Zona 0: Es troba a uns cent metres més amunt de la vall en relació a l'anterior, és l'espai en que es pot comprovar l'alt impacte de la salinitat en el medi, ja que es pot veure una línia que separa la vegetació completament morta de la resta a una determinada alçada.

3.- Vall de Conangle

La vall de Conangle es troba situada al sud-est del municipi de Balsareny. Hi trobem tres piezòmetres construïts ja que el torrent de Conangle neix aporta aigua salada des de la seva primera surgència. Els tres piezòmetres estan denominats com a Conangle Alt, Conangle Mig i Conangle Baix.

- Conangle Alt: El piezòmetre construït té una profunditat aproximada de deu metres i es troba molt proper a la surgència natural que surt de sota d'una vauma de roques argiloses i calcàries. El nivell piezomètric és superior que el de la riera, és l'únic piezòmetre surgent que s'analitza.
- Conangle Mig: Piezòmetre és localitzat al costat d'una bassa que forma una petita resclosa abandonada. L'aigua prové del torrent que neix a Conangle Alt i amb el seu curs disminueix considerablement la salinitat.
- Conangle Baix: El piezòmetre estudiat es troba al mig d'un camp agrícola i s'hi recull la mateixa aigua de la surgència que es troba en el mateix vessant de la vall. La salinitat d'aquesta aigua és considerablement superior a la dels altres dos piezòmetres, ja que prové de l'escombrera abandonada i actualment restaurada de Vilafrunys.

Aquest piezòmetre ha de permetre estudiar l'èxit de la restauració del runam de Vilafrunys i comprovar que amb el pas del temps, la salinitat i la resta d'elements amb altes concentracions es redueix.

4.- Polígon de l'Illa

- Illa: La surgència denominada Illa Sud es troba al polígon industrial de l'Illa, al sud del nucli urbà de Sallent. La seva salinitat probablement és deguda al runam de la Botjosa, que es troba situat al costat de la carretera C-16. Entre la carretera i el riu hi ha el polígon industrial i el barri de l'Estació, actualment desallotjat per problemes de subsidències en el terreny.

A la llera del riu Llobregat podem trobar diverses surgències d'aigua salada que han anat en augment amb el pas dels anys. La majoria d'elles són canalitzades abans d'arribar al riu Llobregat per disminuir el seu efecte sobre el riu. El piezòmetre estudiat recull l'aigua d'una d'aquestes i es troba en el mateix polígon.

5.- Súria

- Fusteret: Al barri de Fusteret es situa al sud del nucli urbà de Súria, just a sota de l'escombrera denominada pel mateix nom. A la llera del riu Cardener, en un dels pilars del pont de la cinta transportadora que comunica el pou IV amb el nucli de la indústria minera hi trobem una surgència que descarrega aigua salada al riu Cardener. A la vora hi trobem el piezòmetre estudiat d'uns vint metres de profunditat. En aquest punt s'observa com l'aigua dolça es situa en els punts superficials i la salinitat augmenta amb la profunditat. L'impacte de la salinitat en aquest cas no es veu a simple vista ja que amb el pas del riu la salinitat es redueix considerablement i no afecta a la vegetació de la zona. A més, és una zona on hi veiem el cultiu d'horts, cosa que indica que la salinitat no afecta al medi.

- Font de Cal Trist (Riera d'Hortons): La riera d'Hortons és un afluent del Cardener al nord del municipi. És una riera amb molt poc cabal d'aigua i que en passar per sota del pou de Cabanasses l'aigua comença a salinitzar-la (veure Taula 5.3). La font estudiada té la particularitat que es troba a la vessant contrària del pou de Cabanasses, aquesta es troba dins d'una propietat privada. La roca d'on surt la surgència s'hi pot apreciar vegetació, ja que la salinitat no és gaire elevada. La salinitat de la riera no està causada per aquesta font ja que la salinitat comença a aparèixer a mes alçada d'on es situa la font. Igualment aquesta font descarrega a la riera d'Hortons que pocs metres després es converteix en afluent del riu Cardener.

6.- Santpedor

- Riu d'Or: El piezòmetre de Riu d'Or es situa molt proper al naixement del riu amb el mateix nom i que abasteix el poble de Santpedor. Al mateix voral de la resclosa es pot apreciar la surgència d'aigua salada en un costat que es dissol en l'aigua dolça de la riera.

- Font de Cal Lluçà: La masia de Cal Lluçà es situa al nord est del nucli urbà de Santpedor i la font es troba dins d'aquesta propietat. El riu d'Or passa propera a la masia i a la seva llera hi trobem la font, la qual és la sortida d'un magatzem d'aigua dins de la roca. La seva salinitat no és gaire elevada però per la informació que ens donen els habitants de la masia no és segur que l'aigua de la font sigui la mateixa que la de la riera, per això trobem necessari recollir l'aigua d'aquest punt.

A les Figures 4.1 i 4.2 s'observa la localització de totes les mostres analitzades amb un punt negre. Els mapes topogràfics permeten distingir millor els torrents i rieres i els rius Llobregat i Cardener en cada cas.

A la Figura 4.1 s'observa l'àrea que ocupa els runams salins del municipi de Súria. L'ortofotomapa del municipi permet comparar l'àrea que ocupa el runam en comparació amb el nucli del municipi i el plànol topogràfic ens indica que la seva alçada és superior als 450 metres sobre el nivell del mar. En els mapes topogràfics trobem en detall la ubicació de les mostres de Cal Trist i de Fusteret. En la mateixa Figura 4.1 també es localitza les mostres d'Avinyó i de Santa Maria d'Oló, que no tenen la influència de cap dels residus miners.

A la Figura 4.2 s'observen les mostres de la Vall de Conangle on també s'hi distingeix el runam de Vilafrunys, actualment restaurat. El runam de la Botjosa i del Cogulló s'observen en el mapa topogràfic del municipi de Sallent. En aquest cas les mostres amb una major proximitat al runam són les denominades Zona 0 i Soldevila i en l'ortofotomapa de la Figura 4.2 es distingeix la magnitud del runam salí del Cogulló que es diferencia de la resta de la zona pels seus colors grisosos, en aquest cas el runam arriba a tenir una altitud de 500 metres sobre el nivell del mar.

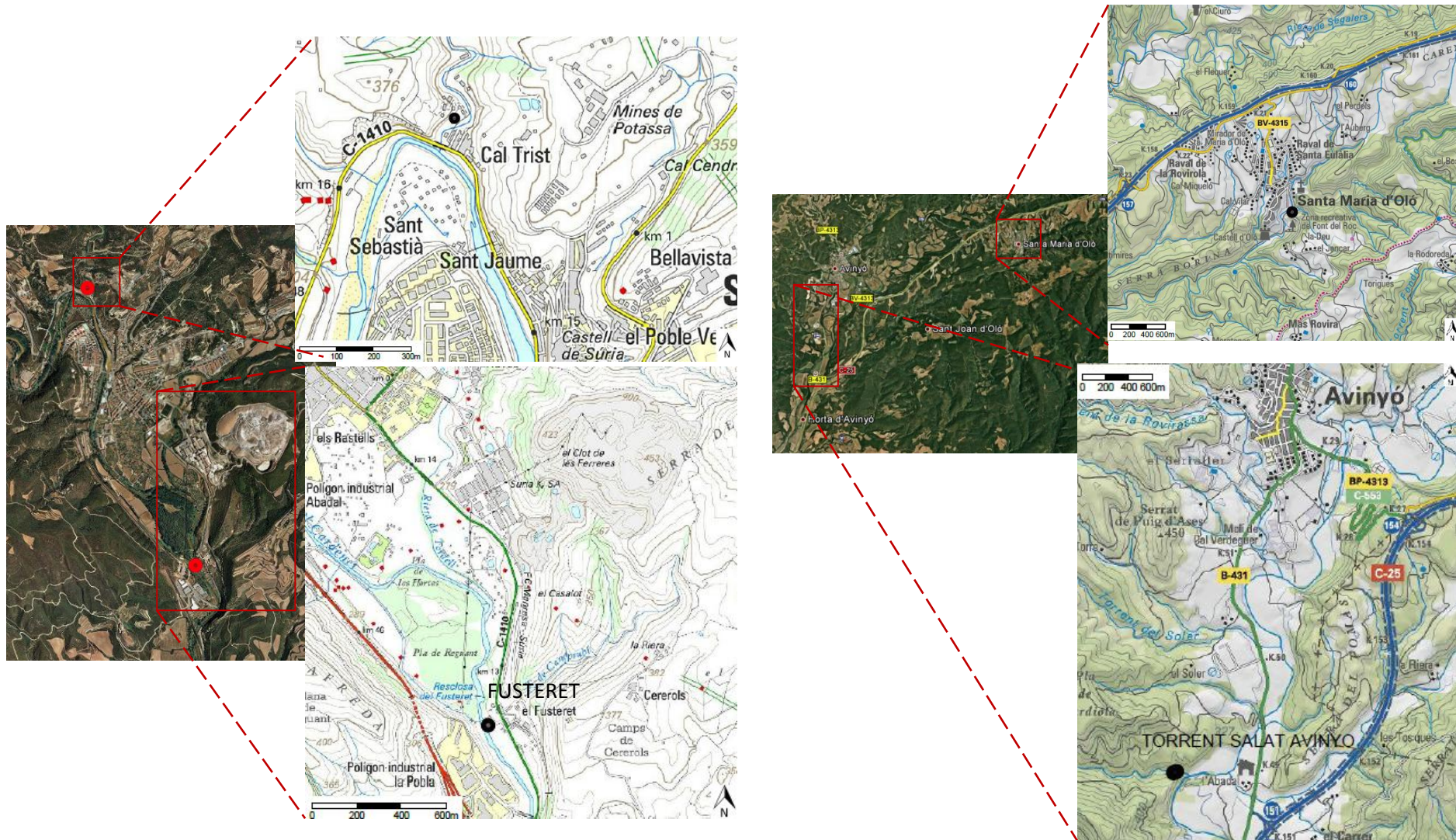


Figura 4.1. Ortofotomapes del municipide Súria (esquerra) i d'Avinyó i Sta Maria d'Oló (dreta) Els mapes topogràfics són a escala 1:50000 de l'ICC.

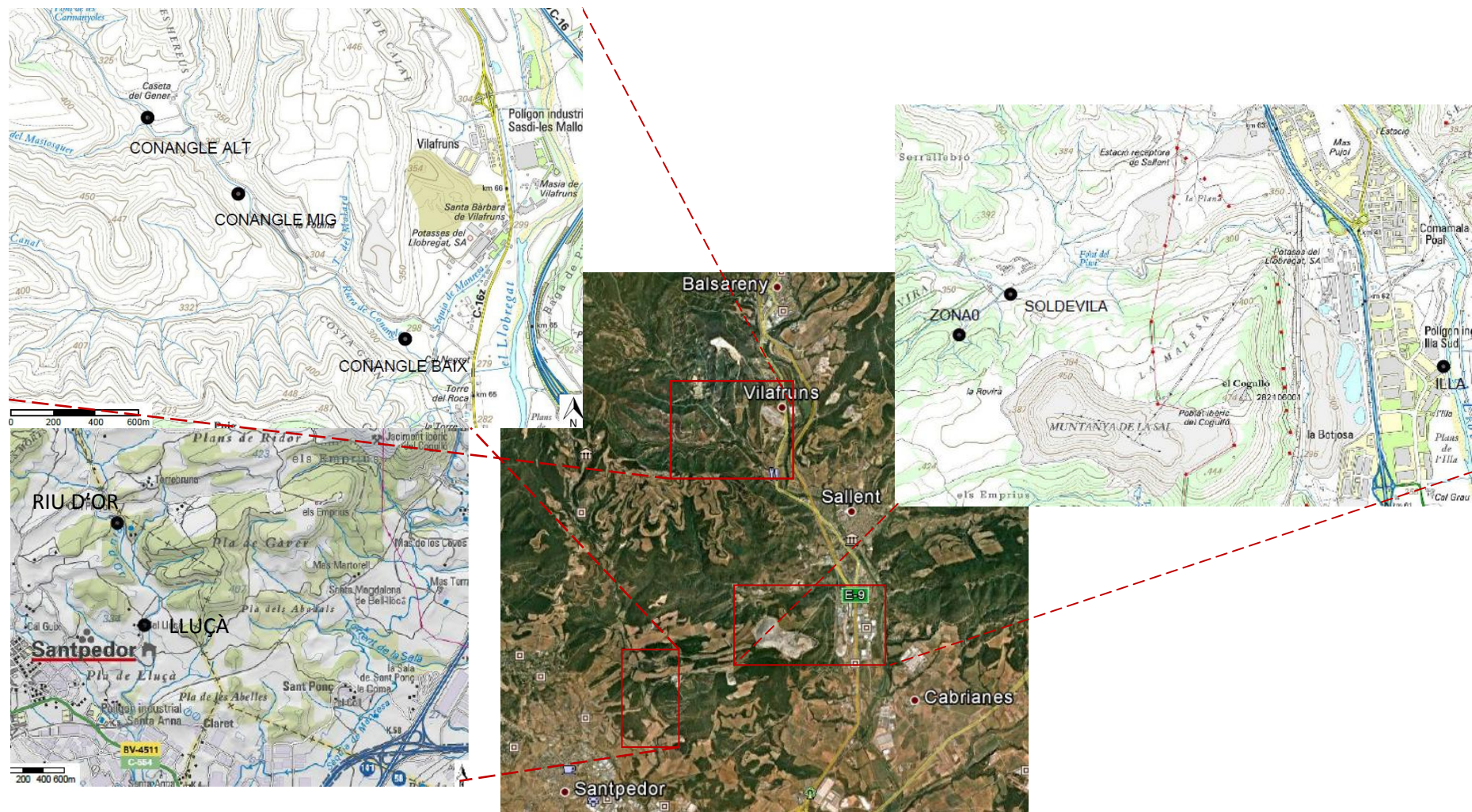


Figura 4.2. Ortofotomapa dels municipis de Santpedor, Salient i Balsareny. Els mapes topogràfics corresponen a les mostres de la vall de Conangle (dalt a l'esquerra), a les mostres de Riu d'Or i Cal lluçà (baix a l'esquerra) i de la vall de Soldevila i l'Illa.

5.- METODOLOGIA I TÈCNIQUES ANALÍTIQUES

Els mètodes d'anàlisi de les mostres d'aigua recollides s'han diferenciat en tres parts, hidroquímica bàsica, isòtops estables i isòtops radioactius. A continuació s'exposa una petita explicació teòrica de cada un d'ells i la metodologia d'anàlisi i mesura.

5.1.- HIDROQUÍMICA

5.1.1.- Conductivitat Elèctrica

a) Fonament; És la capacitat de conduir la càrrega elèctrica. Depèn de la concentració de ions, de la seva càrrega i de la mobilitat en l'aigua. Els canvis de pH i de temperatura poden afectar a la conductivitat. Es mesura en microsimens ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) (Martínez, 2005)

b) Metodologia d'anàlisi; És va mesurar in-situ en el moment de la recollida de mostres. Es van utilitzar dos conductímetres, un per poder registrar la conductivitat en el pou i posteriorment, fer el perfil de canvis de CE a cada piezòmetre (CTDiver Shlumberger). El segon estava calibrat per salinitats altes. Al laboratori dels Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona també es va mesurar amb un conductímetre multi 3430 (SET F).

5.1.2.- pH, Acidesa

a) Fonament; El pH mesura l'acidesa i/o la basicitat de l'aigua i està afectada per pèrdues de CO_2 del subsòl. El pH és adimensional. El pH inferior a 7 correspon a medis àcids i, per contari, pH més gran de 7 corresponen a medis bàsics. El pH d'aigües naturals oscil·la entre 6.5 i 8 (aigua de mar) (Martínez, 2005).

b) Metodologia d'anàlisi; Als laboratoris dels Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona es mesura amb un pH-metre micropH 2001 (CRISON) a partir de la mostra sense filtrar.

5.1.3.- Temperatura

a) Fonament; La temperatura ens indica el potencial calorífic de l'aigua i es mesura en $^{\circ}\text{C}$. A partir d'uns pocs metres de profunditat l'aigua subterrània no pateix variacions importants en un mateix punt de l'aqüífer, el seu valor coincideix aproximadament amb la temperatura ambient mitjana anual del lloc on s'agafa la mostra. L'increment amb la profunditat es produeix segons el gradient geotèrmic, 1°C cada 30 m de profunditat. La variació de la temperatura influeix en la solubilitat de les sals i els gasos dissolts (Martínez Alfaro, 2005).

b) Metodologia d'anàlisi; Es mesura en el mateix moment de recollir la mostra amb un termòmetre integrat en el conductímetre.

5.1.4.- Concentració elements químics

a) **Fonament;** La composició de l'aigua subterrània comença a modificar-se en el moment que aquesta es descarrega en forma de precipitació. En aquest moment l'aigua ja comença a absorbir els compostos químics que es troben dissolts a l'atmosfera, augmentant la concentració de substàncies proporcionalment amb el temps de residència del vapor d'aigua en l'atmosfera. Per aquest motiu, l'aigua de pluja és lleugerament àcida com a conseqüència del contacte amb el CO₂ de l'atmosfera. Aquest caràcter àcid promou la dissolució dels minerals existents al subsòl una vegada és descarregada en forma de precipitació.

L'aigua de pluja a mesura que s'infiltra pel subsòl va equilibrant-se amb els minerals del sòl fins arribar a l'aqüífer o zona saturada. Un cop assoleixi la Zona Saturada es mourà depenent de la direcció del flux de l'aqüífer. Mentre l'aigua es troba emmagatzemada en l'aqüífer depenent de diferents paràmetres físics i químics la seva concentració en els diferents compostos químics variarà. Un dels factors més importants per entendre el contingut dels elements dissolts en l'aigua és la geologia de l'aqüífer i el temps de residència en aquest. Per tant la composició de l'aigua ens donarà informació sobre de la geologia de l'aqüífer.

Per tant, la concentració dels elements dissolts en l'aigua analitzada ens donaran informació del recorregut i procedència de l'aigua (Martínez Alfaro, 2005).

Les substàncies presents en aigua subterrània es poden distingir quatre grans grups segons la seva concentració:

Taula 5.1. Agrupació de la composició química de les aigües subterrànies agrupades en 4 grups principals.

Elements Principals	Elements Secundaris	Elements minoritaris	Elements Traça
(entre 1 i 1000 mg·L ⁻¹)	(entre 0,01 i 10 mg·L ⁻¹)	(entre 0,0001 i 10 mg·L ⁻¹)	(inferiors a 0,001 mg·L ⁻¹)
CATIONS; Sodi, Calci, Magnesi ANIONS; Clorurs, sulfats i Bicarbonats	CATIONS; Ferro, Estronci, Potassi ANIONS; Carbonats nitrats i fluorurs	Alumini, Arsènic, Bari, Borm , Coure, Crom, Fòsfor, Urani, Iode i Plom.	Beril·li, Cesi, Or, Platí, Radi, etc.

b) **Metodologia d'anàlisi;** La concentració dels elements ha estat analitzada pel laboratori dels Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona.

- **Anions;** La concentració dels principals anions (NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ i NO₂⁻) han estat analitzats per cromatografia líquida d'alt rendiment HPLC (High Performance liquid Chromatography) mitjançant un aparell WATER 515 HLPC bombejat amb una columna d'anions IC-PAC i amb uns detectors WESCAN I UV/VIS KONTRON, prèviament filtrats a 0,45µm i diluïdes si la conductivitat és elevada.
- **Cations;** La concentració dels cations principals ha estat determinada mitjançant espectrometria d'emissió plasma-òptic acoblat inductivament (ICP-OES) model

Perkin-Elmer Optima 3200 RL. Inicialment les mostres han estat filtrades per mitjançant un filtre Milipore de 0,2µm per evitar el particulat sòlid i els col·loids, i posteriorment acidificades amb HNO_3 al 1%.

- **Amoni;** Anàlisi de les mostres mitjançant espectrometria amb un aparell ALPKEM, Flow Solution IV amb el previ filtratge de les mostres amb un filtre Milipore de 0,45µm.
- **Elements Traça;** L'anàlisi dels elements traça també comporta un filtratge de les mostres mitjançant un filtre Milipore de 0,2µm per evitar el particulat sòlid i els col·loids. Seguidament es realitza la mesura mitjançant espectrometria d'emissió plasma-massa acoblada inductivament (ICP-MS) model Perkin Elmer Elan 6000 dels Centres científics i tecnològics de la Universitat de Barcelona.
- **Carbonats, bicarbonats i clorurs;** les mostres han estat previament filtrades amb un filtre Milipore de 0,45µm. La mesura s'ha realitzat per tritiació amb un aparell METROHM 702 SM Titrino dels Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona.
- **DOC (Disolved Organic Compounds);** Les mostres també s'han filtrat un filtre Milipore de 0,45µm. L'anàlisi s'ha realitzat per combustió de matèria orgànica amb un aparell TOC 500 SHIMADZU dels Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona.

5.2.- ISÒTOPS ESTABLES

De forma natural l'aigua conté isòtops, que són elements que tenen el mateix nombre atòmic però diferent pes atòmic. En hidrogeologia s'utilitzen diversos isòtops estables essent els més habituals l'hidrogen i l'oxigen. En aquest treball a més també s'inclou isòtops del sofre i oxigen del sulfat dissolt a les aigües.

Els estudis basats en isòtops ambientals contribueixen a la identificació de la dinàmica dels aqüífers i dels processos hidrogeològics. Poden donar informació per determinar les zones de recàrrega dels aqüífers, el temps de residència de l'aigua a l'aqüífer, la direcció del flux d'un aqüífer i la seva possible afectació de contaminants.

5.2.1.- Isòtops de l'hidrogen; ^1H i ^2H (deuteri, D) i Isòtops de l'oxigen; ^{16}O i ^{18}O

a) Fonament; De la combinació dels isòtops de l'oxigen i l'hidrogen n'obtenim nou molècules d'aigua diferents on trobem que $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ és la molècula més lleugera i abundant i $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ és la més pesada. Les molècules més lleugeres tendeixen a evaporar-se més ràpid que les més pesades, aquesta tendència a separar-se s'anomena *fraccionament isotòpic* i es mesura en relació a un patró o estàndard denominat SMOW (Standard Mean Ocean Water). Com que la diferència entre la mostra i

l'estàndard normalment és molt petita sempre s'expressa en tan per mil (‰). La notació per expressar la composició isotòpica es defineix:

$$\delta(\text{‰}) = (R_{\text{mostra}}/R_{\text{estàndard}} - 1) * 1000$$

Les desviacions respecte la SMOW i els diferents valors ens aportaran informació sobre les característiques climàtiques de la zona on es produeix la recàrrega de l'aqüífer (Martínez Alfaro, 2005).

b) Metodologia d'anàlisi; La tècnica utilitzada per analitzar la composició isotòpica és l'espectrometria de masses de relació isotòpica (Isotopr Ratio Mass Spectrometry o IRMS), que es basa en comparar la mostra, en forma de gas, amb un gas de referència de composició isotòpica coneguda. S'utilitzen patrons internacionals i interns de laboratori. Els patrons interns de laboratori són fabricats a cada laboratori per treballar diàriament i es calibren respecte l'estàndard i un material de referència. (Otero, 2002). La determinació de la composició isotòpica de l'oxigen de l'aigua ($\delta^{18}\text{O}$) s'ha realitzat per equilibri amb CO_2 i la del deuteri (δD) per pirolisis en un forn de Carboni acoblat en flux continu amb un IRMS₂. L'aparell utilitzat és un equilibrador Finnigan Equunit i un espectròmetre de masses de doble entrada DELTA S Finnigan MAT.

5.2.2.- Isòtops del $\delta^{34}\text{S}$ i del $\delta^{18}\text{O}$ del sulfat

a) Fonament; Els isòtops del sofre i de l'oxigen permeten determinar l'origen del sulfat que tenim en dissolució. A la zona d'estudi, els isòtops del sofre i de l'oxigen s'han utilitzat com a traçadors ambientals per diferenciar l'origen de la salinització de l'aigua de la conca del riu Llobregat (Otero i Soler, 2002).

b) Metodologia d'anàlisi;

El sofre del sulfat: La preparació de la mostra consisteix en convertir la mostra en un compost adequat per al seu posterior processament o anàlisi, aquest compost és el sulfat de bari. Posteriorment, la composició isotòpica del sofre s'ha determinat per un mètode de flux continu, amb un analitzador elemental acoblat a un espectròmetre de masses de relació isotòpica (EA-IRMS). L'equip utilitzat consta d'un analitzador elemental Carlo Erba 1108 i un Espectròmetre de masses de relació isotòpica Delta C Finnigan MAT. Els resultats s'han de recalculer segons els resultats dels patrons utilitzats mitjançant rectes de regressió (Otero, 2004).

L'oxigen del sulfat: La seva composició isotòpica es determina mitjançant un analitzador termoquímic acoblat a un espectròmetres de masses de relació isotòpica. La mostra s'introdueix en el reactor de l'analitzador a altes temperatures on es forma monòxid de carboni que es transportat a la cromatografia de gasos. Finalment, és reconduït cap a l'espectròmetre de masses on es determina la composició isotòpica. La configuració utilitzada per l'anàlisi d'oxigen en sulfats és un analitzador elemental

termoquímic (TC/EA) Thermo Quest Finnigan MAT mitjançant una interfície Conflo III Finnigan Mat (Otero, 2004).

5.3.- ISÒTOPS RADIOACTIUS

La radioactivitat natural comprèn totes les fonts de radioactivitat que no han estat originades per l'activitat humana (Ortega i Jorba, 1994). La radioactivitat natural s'agrupa en dos grans grups: els productes d'espall·lació que trobem per la interacció de la radiació còsmica amb l'atmosfera i en els radionúclids que trobem a l'escorça terrestre.

Dels diferents radionúclids trobem dos grans grups els primordials que tenen un període de semidesintegració semblant a la Terra (Gesell, 1997) i els secundaris, els quals són originats a partir dels primers.

L'activitat humana pot produir canvis en els processos naturals i acumulant o redistribuint d'una forma diferent a la natural aquests isòtops. Això pot tenir conseqüències en els sistemes hidrològics com per exemple trencar l'equilibri químic dels aqüífer redistribuint els components naturals de l'aigua (IAE, 2003).

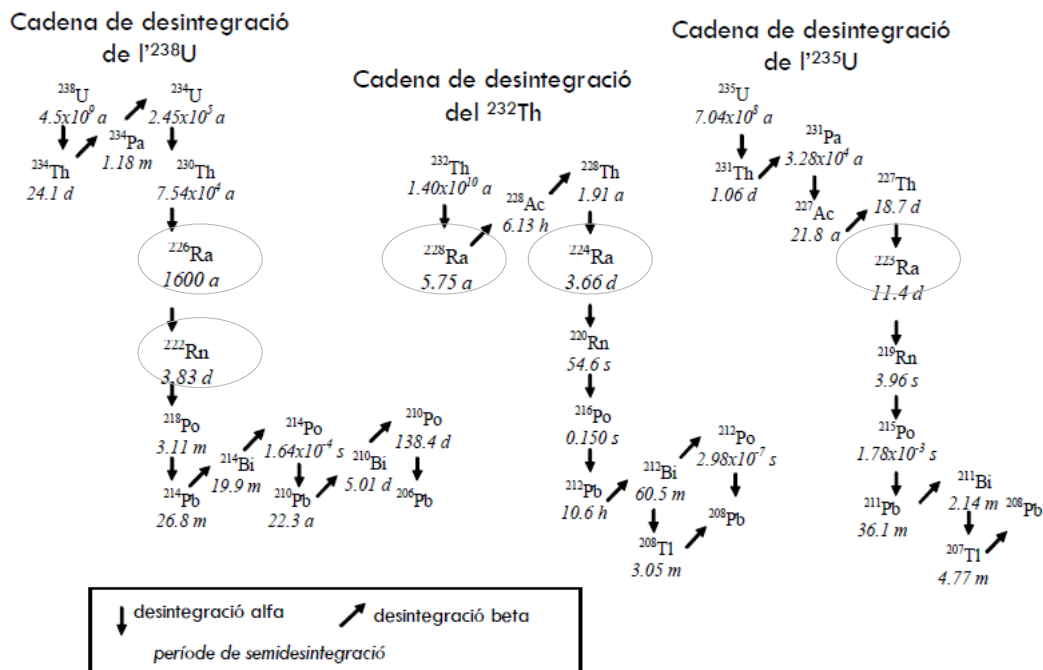


Figura 5.1. Representació gràfica de les 3 cadenes de desintegració natural presents a la Terra actualment. (Rodellas, 2008)

La gran part dels radionúclids presents a la Terra formen part d'una sèrie de desintegració que es classifiquen en tres cadenes naturals i independents entre elles. El radionúclid produït de la desintegració també és radioactiu, per tant s'anirà formant una cadena fins a arribar a un isòtop estable (Ivanovich & Harmond, 1992).

Les quatre cadenes principals es denominen a partir del seu radionúclid principal que és el que té el període de desintegració més gran de la cadena i el de major número màssic. Aquestes són les sèries de l'Urani (^{238}U), el neptuni (^{237}Np), de l'actini (^{235}U) i del tori (^{232}Th).

La cadena del Neptuni ha desaparegut ja que el seu període de desintegració és menor a l'edat de la Terra. Per tant, actualment només tres cadenes de desintegració es troben a la Terra i poden ser detectades (Eikenberg, 2002).

Cadascun dels precursors d'aquestes cadenes generen els radionúclids denominats secundaris ja que són el resultat de les diferents desintegracions (Figura 5.1). El principals són U, Th, Pa, Ra, Rn, Pb i el Po que finalment es desintegren en un últim isòtop estable de Pb (Eisenbud i Gesell, 1997).

Cada element secundari presenta unes característiques químiques i físiques diferents que determinaran, el seu comportament en el medi natural. Tenint en compte aquestes característiques i el període de semidesintegració de cadascun dels isòtops podem determinar diferents processos naturals o antropogènics utilitzant-los com a traçadors.

5.3.1.- Isòtops de Radó (Rn)

a) Fonament; Existeixen tres isòtops del Rn (^{222}Rn , ^{220}Rn i ^{219}Rn) procedents de la desintegració d'isòtops de Radi. El ^{220}Rn i ^{219}Rn tenen període de desintegració de segons, per tant la seva utilització com a traçador és reduïx notablement. (Eisenbud i Gesell, 1997)

El ^{222}Rn ($T_{1/2}=3.82$ dies) és un gas que es produeix per la desintegració del ^{226}Ra es considera un important traçador en l'estudi de la descàrrega d'aigües subterrànies al mar, ja que en el subsòl l'aigua s'enriqueix altament d'aquest gas provinent de la roca del subsòl i es dissol en l'aigua (Burnett i Dulaiova, 2003). La seva concentració en aigua subterrània és tres ordres de magnitud superior a l'aigua superficial. El ^{222}Rn no és un gas reactiu i exhala ràpidament a l'atmosfera, aquest fet permet els estudis per distingir entre les aigües subterrànies d'alt temps de residència en l'aquífer i les d'un temps de residència més baix.

b) Mètode d'anàlisi: L'anàlisi de ^{222}Rn es determina a partir de les mostres d'aigua emmagatzemades en ampolles de vidre de 250 mL sense contingut d'aire dins de la mostra, ja que és necessari que el ^{222}Rn no s'exhali.

El detector utilitzat Durrige Co RAD7, es basa en un detector que fa un seguiment continu de les concentracions de ^{222}Rn convertint la radiació alfa en un senyal elèctric. Es basa en un detector semiconductor de silici amb un alt camp elèctric per atraure isòtops del Po (descendents de ^{222}Rn) i emissors alfa. Per a mesurar el ^{222}Rn en aigua es requereix un sistema de reequilibri d'aire-aigua RAD-Aqua que s'aconsegueix amb la difusió del flux d'aigua de la mostra facilitant que l'aire i el ^{222}Rn de l'aigua aconseguixin l'equilibri ràpidament.

L'aire de l'equilibrador, que ja conté ^{222}Rn en equilibri amb ^{222}Rn de l'aire, flueix a través de la RAD/ per determinar la concentració de ^{222}Rn en l'aire i d'aquest es deriven la concentració de ^{222}Rn en aigua final.

Abans de qualsevol mesura el detector ha de tenir una humitat inferior al 10%. Així, l'aire que circula per una columna de dièrica que disminueix la humitat abans d'entrar al detector, d'aquesta manera s'aconsegueix purgar el sistema.

5.3.2.- Isòtops de Radi (Ra)

a) Fonament; El Radi és un dels traçadors ambientals més estudiats, ja que els seus quatre isòtops amb períodes de desintegració molt diferents permeten estudiar els processos de la barreja d'aigües en períodes de temps molt distants entre ells. ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600$ anys), el ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,75$ anys), el ^{224}Ra ($T_{1/2} = 3,66$ dies) i el ^{223}Ra ($T_{1/2} = 11,43$ dies). Els quatre isòtops es creen contínuament a partir de la desintegració radioactiva de quatre isòtops de Tori, (^{230}Th , ^{232}Th , ^{228}Th i ^{227}Th , respectivament) (Rama i Moore, 1996).

En aquest treball aprofitem la característica del radi de presentar-se en forma dissolta en aigua salada a través de l'intercanvi catiònic per a utilitzar-lo com a traçador i determinar el temps de residència de l'aigua en l'aqüífer.

Els processos d'intercanvi catiònic en aigua salada són conseqüència de la competència iònica en l'aigua de mar i de la formació de complexos de ClRa^+ (Krest et al., 1999; Moore et al., 1995).

En aigües dolces és poc soluble però es pot trobar com a espècie Ra^{2+} adherit a la superfície de partícules en suspensió, en particular argiles i hidròxids de metalls (Krest et al, 1999) (Porcelli i Swarzenski, 2003).

La diferència de solubilitat entre aigua salada i l'aigua dolça permet l'utilització del radi en molts estudis de descàrrega d'aqüífer en el mar. En aquest treball s'han adaptat els materials i mètodes utilitzats en aquests projectes per determinar si el Ra podria servir com a traçador també en aigües salades continentals.

b) Mètode d'anàlisi; Per a l'anàlisi del Ra dissolt es van utilitzar volums de 10L. En els piezòmetres va ser necessari l'ajuda d'un sistema de bombeig, a les fonts la recollida es feia directament de la surgència. Després aquestes aigües es van filtrar a través de columnes amb uns 25g (pes sec) de fibra acrílica impregnada d'òxid de manganès (fibra de Mn). Als extrems de la columna s'hi va col·locar fibra blanca per retenir les partícules en suspensió de l'aigua. Un cop filtrada la mostra, la fibra de Mn va emmagatzemar-se a una bossa de plàstic convenientment etiquetada.

L'anàlisi dels isòtops del Ra es va comprovar al laboratori utilitzant dues columnes de fibra-Mn connectades en sèrie.

Hi ha dues metodologies per a analitzar els isòtops de radi, un per determinar els isòtops de vida curta (^{224}Ra i ^{223}Ra) i l'altre per determinar els isòtops de vida llarga (^{226}Ra i ^{228}Ra).

Isòtops de vida curta (^{224}Ra i ^{223}Ra); Posteriorment a la recollida, cada mostra de fibra Mn es neteja amb aigua destil·lada, per eliminar diverses partícules que poden interferir amb la mesura (Sun i Torgersen, 1998). Seguidament, les fibres són assecades de tal manera que la relació fibra/aigua sigui exacte per a totes i òptima per l'anàlisi en el detector.

Les activitats de Ra^{223} i Ra^{224} són mesurades amb un detector alfa de coincidència retardada RaDeCC (*Radium Delayed Coincidence Counter*). El calibratge del sistema és duu a terme al Laboratori de Radioactivitat Ambiental de la UAB sistemàticament a través de mesures periòdiques de fibra estàndard amb activitat conegudes de Ra^{223} ; Ra^{224} .

El RaDeCC és un equip de detecció alfa basat en un sistema tancat de flux de gas heli a través de la mostra de fibra de Mn.

Es mesuren les partícules alfa produïdes per la desintegració del Rn en Po a la cèl·lula de centelleig, utilitzant la diferència entre les constants de desintegració d'isòtops de Po procedent de la descomposició de ^{219}Rn i ^{220}Rn amb les activitats de ^{223}Ra i ^{224}Ra (Moore i Arnold, 1996).

La mateixa mostra es mesura tres vegades amb RaDeCC;

- 1.- Després de la recollida de mostres per reduir al mínim la desintegració del ^{224}Ra ($T_{1/2} = 3,66$ dies).
- 2.- Una setmana després de la primera mesura per determinar ^{223}Ra ($T_{1/2} = 11,43$ dies).
- 3.- Després d'un mes de la recol·lecció de la mostra per permetre que l'excés inicial de ^{224}Ra s'equilibri amb ^{228}Th absorbits a la fibra.

Isòtops de vida llarga (^{226}Ra i ^{228}Ra); Per espectrometria gamma amb un detector de Ge en configuració de pou de baix fons. Aquestes mesures permeten la determinació del ^{226}Ra i del ^{228}Ra . Les fibres de Mn s'incineren en una mufla a 820 °C durant 16 hores (Charette et al., 2001) per tal de preparar la geometria del detector gamma. La fibra incinerada es tritura, s'homogeneïtza i s'emmagatzema en vials de polietilè. Els vials van ser segellats i emmagatzemats durant tres setmanes per aconseguir l'equilibri secular entre el ^{226}Ra i els fills de vida curta.

6.- RESULTATS

6.1.- SALINITAT I CONDUCTIVITAT ELÈCTRICA

Durant la recollida de mostres es va mesurar in situ la salinitat, la conductivitat elèctrica i la temperatura (Taula 6.1). El valor de la conductivitat elèctrica oscil·la entre 10,8 i 246 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, essent les conductivitats més elevades aquelles que pertanyen a mostres recollides molt a prop dels runams salins.

La temperatura de l'aigua dels piezòmetres oscil·la entre 15 i 18 °C. L'aigua del piezòmetre de Conangle Alt, l'únic que era surgent és el que mostra una temperatura més baixa, mentre que la aigüa superficial del torrent de Soldevila és la que mostra una temperatura més elevada (18°C). En canvi l'aigua de les fonts tenen temperatures relativament més baixes que la dels piezòmetres. La font d'Oló mostra la temperatura més baixa, fet que podria justificar-se pel fet que és la que es troba a major altitud respecte el nivell del mar.

Taula 6.1. Dades de salinitat, conductivitat elèctrica i temperatura mesurades al camp en el moment de recollida de les mostres. També s'hi mostra la conductivitat obtinguda en el laboratori.

Municipi	Mostra	Salinitat ppt	Conductivitat $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$	Temperatura °C	Conductivitat Laboratori $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$
PIEZÒMETRES					
Balsareny	Conangle Alt	17	30	15	32
Balsareny	Conangle Mig	6	11	16	10
Balsareny	Conangle Baix	85	119	17	120
Sallent	Torrent Soldevila	144	242	18	242
Sallent	Zona 0	149	250	16	246
Sallent	Surgència de l'Illa	17	29	15	28,8
Santpedor	Riu d'Or	29	46	16	47
Súria	Fusteret	106	145	16	142
FONTS					
Santpedor	Cal Lluçà	13	23	16	23
Avinyó	Torrent salat d'Avinyó	31	51	14	51
Súria	Cal Trist	7	12	16	12
Sta Maria d'Oló	Font salada Oló	35	57	13	56

Els piezòmetres estudiats, son molt superficials, amb una profunditat de deu metres. Tanmateix alguns d'ells han vist reduir la seva fondària degut a la sedimentació de fangs, per tant, totes les mostres han estat recollides a la part superficial dels diferents aquífers. (Taula 6.2)

Abans de realitzar el mostreig s'han realitzat perfils verticals de la conductivitat elèctrica per a mesurar la variabilitat de la conductivitat elèctrica segons la profunditat de l'aigua. Aquests perfils han permès veure com es distribueixen les aigües més salines dins dels piezòmetres i poder mostrejar una mostra representativa. Els diferents perfils realitzats mostren

l'estratificació de l'aigua en els piezòmetres més profunds degut a les diferències de densitat de les aigües d'elevada salinitat.

S'observa que hi ha una estratificació de l'aigua en els piezòmetres més profunds degut a les diferències de densitats causades per l'elevada salinitat.

Taula 6.2. Profunditat on s'ha recolectat la mostra per a cada piezometre, juntament amb el nivell freàtic, e temps de bombeig(*), el volum(*) i el cabal de la bomba(*) (* dades aproximades)

	Profunditat mostra m	Nivell freàtic m	Temps bombeig min	Volum extret L	Cabal bomba L·min ⁻¹
Conangle Alt	9	0,12	30	150	5
Conangle Mig	6	3,6	30	120	4
Conangle Baix	7,5	6	60	120	2
Torrent Soldevila	3,5	2	20	60	3
Zona 0	3,5	1	25	75	3
Surgència de l'Illa	8	7	60	60	1
Riu d'Or	7,5	2,8	30	50	2
Fusteret	7	4,3	30	60	2

6.2.- CARACTERITZACIÓ QUÍMICA

S'han analitzat els cations i anions majoritaris i els elements traça. Els resultats es representen agrupats en sis grups diferents segons la seva localització.

- Les tres mostres de la vall de Conangle
- La font de Cal Lluçà i el piezòmetre de Riu d'Or formen el grup denominat Santpedor
- El torrent salat d'Avinyó i la font salada d'Oló pertanyen al grup Naturals
- Cal Trist
- Polígon de l'Illa (Sallent)
- Els piezòmetres de la vall de Soldevila: Zona 0 i Soldevila.
- Piezòmetre de Fusteret.

6.2.1.- Cations Majoritaris

El quimisme de les mostres estudiades es caracteritzen per continguts majors de clorurs (Cl⁻) i sulfats (SO₄⁻) (Taula 6.4). Malgrat l'elevada concertació d'altres ions, l'alta correlació observada entre la concertació de clorur i la conductivitat elèctrica indica que la salinitat ve controlada principalment per aquest element (Figura 6.1).

Taula 6.3. Cations majoritaris. "n.d." són dades no detectades en les analítiques.

		CATIONS MAJORITARIS								
mostra		Na	K	Mg	Ca	Sr	P	S	Si	Fe
		mg·L ⁻¹								
Conangle	Conangle Alt	6165	25	284	975	17	0,2	988	4,2	0,0
	Conangle Mig	1652	16	186	684	13	0,8	732	3,9	0,1
	Conangle Baix	28988	4175	1035	1290	31	6,5	1380	3,1	0,1
Cal Trist	Cal Trist	1999	23	140	344	10	0,5	82	5,1	0,0
Santpedor	Lluçà	2869	511	690	944	34	3,3	248	4,2	0,1
	Riu d'or	6937	2632	1049	841	26	2,8	272	4,5	0,1
Naturals	Avinyó	11174	390	224	857	20	2	1000	5,1	0,0
	Oló	12914	39	215	949	30	5	1139	4,6	0,1
Illa	Illa	4136	2000	449	391	8	1,7	233	4,6	0,1
CE>100	Fusteret	28025	9706	3527	1566	77	n.d	688	2,5	0,1
	Soldevila	86948	18183	4145	647	17	12	4816	1,5	0,4
	Zona 0	78357	25156	5353	749	22	18	4350	1,0	0,4

El quimisme de les diferents mostres estudiades, es caracteritzen per una concentració elevada de sodi, potassi i magnesi (Taula 6.3). Tal i com s'ha explicat en el punt 1.2., la geologia i les activitats mineres de la zona permeten justificar aquest quimisme. Així l'elevada concentració de Na, K i Mg estaria relacionada amb minerals com l'halita (NaCl), la carnal·lita ($\text{MgKCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) i la silvinita (KCl). El calci, i el sofre estarien relacionats amb la presència en els materials evaporítics d'anhidrita (CaSO_4) i altres sulfats (polihalita, etc). Altres elements com el fòsfor, l'estronci, el brom és relacionen amb la seva presència com elements traça en els minerals previament descrits. Així el Br, sol substituir el Cl en minerals com l'halita, i l'estronci al Ca en l'anhidrita. Coherentment aquests elements es troben en concentracions menors.

6.2.2.- Anions Majoritaris

La concentració de nitrat (NO_3^-) és variable en funció de les diferents mostres, oscil·lant entre valors per sota el límit de detecció fins a mostres amb una concentració de $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, límit a partir del qual l'aigua és considerada no potable. Al no haver-hi a la zona d'estudi materials naturals que permetin interpretar la presència de nitrat, cal pensar amb un aport local, relacionada amb activitats agràries o ramaderes.

Taula 6.4. Anions majoritaris. Les dades ressaltades corresponen a dades que han estat extrapolades ja que en els resultats el límit de detecció variava depenent de la dilució de les mostres. Les dades es mostren en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. "n.d." indica paràmetres no determinats. *Aquesta analítica es provisional i en el moment de redactar aquesta memòria s'està repetint l'anàlisi.

		ANIONS MAJORITARIS				
		Cl	NO_3	SO_4	NH_4	HCO_3
mostra		$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				
Conangle	Conangle Alt	2250	0,00	2153	2,43	277
	Conangle mig	8970	0,05	3157	0,18	212
	Conangle Baix	39717	46	3290	1,45	331
Cal Trist	Cal trist	3407	5	314	0,18	221
Santpedor	Lluçà	6303	32	610	0,18	184
	Riu d'or	13476	28	696	0,23	453
Naturals	Avinyó	17070	0,07	3038	0,86	269
	Oló	15849	0,01	2805	1,79	203
Illa	Illa	7596	33	543	0,17	594
CE>100	Fusteret	49262	0,03	1579	5,67	242
	Soldevila	116054	28	11000	2,02	295
	Zona 0	49905	101	13134	4,73	n.d.

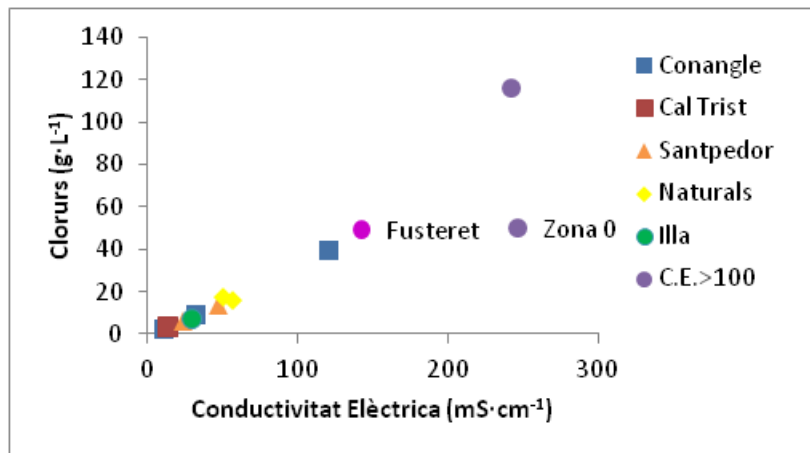


Figura 6.1. Correlació entre la concentració de clorurs i la conductivitat elèctrica. Únicament la mostra de “zona 0” no s’adapta a aquesta proporcionalitat.

6.2.3. Elements Traça

Els elements traça són els elements químics presents a les aigües en una concentració inferior al 0,1%. Els metalls amb major concentració són el bari, el liti, el manganès i el coure (Taula 6.5). En les mostres “Fusteret” i “Soldevila” tots els elements tenen majors concentracions que en la resta de mostres, ja que es tracta de mostres amb una salinitat molt més elevada. La mostra Soldevila no hem disposats de les dades en el moment de redactar aquesta memòria i per tant, no serà tractada en aquesta memòria.

Taula 6.5. Elements Traça de les diferents mostres estudiades. Tots els resultats estan representats en $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. “n.d.” són valors per sota del límit de detecció .

	Ba	Li	Mn	Zn	Al	Se	As	Cr	Pb	Cu	U
	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$										
Conangle Alt	16	427	23	34	13	41	4	3	0,1	17	16
Conangle Mig	25	1408	127	55	11	132	24	9	n.d.	41	3
Conangle Baix	58	394	28	5	28	233	87	48	0,1	161	27
Cal trist	61	230	0,7	25	25	46	14	4	0,3	16	4
Lluçà	103	147	2,8	78	19	109	10	6	2,1	58	22
Riu d'or	147	98	62	89	64	211	41	22	0,0	52	42
Avinyó	25	196	62	98	15	12	38	22	n.d.	83	2,6
Oló	34	315	78	125	168	8	30	21	n.d.	85	1,0
Illa	74	94	328	58	17	89	17	7	0,9	35	7
Fusteret	182	190	919	455	37	515	336	113	68	237	28
Soldevila											
Zona 0	73	250	2859	1089	114	1254	400	183	465	482	71

6.2.4. Balanç iònic

En una anàlisi química la suma dels equivalents dels cations ha de ser igual a la suma dels equivalents dels anions, ja que l'aigua és elèctricament neutra. Amb aquesta premissa es pot establir un error de l'anàlisi químic de la següent manera segons Martínez, (2006):

$$Error (\%) = \frac{\sum CATIONS \left(\frac{meq}{L}\right) - \sum anions \left(\frac{meq}{L}\right)}{\sum CATIONS \left(\frac{meq}{L}\right) + \sum anions \left(\frac{meq}{L}\right)} \times 100$$

En aquest estudi es tenen en compte els anions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) i cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) majoritaris i s'hi inclouen alguns elements traça amb concentracions més elevades com el liti, l'estronci i el ferro.

Taula 6.6. Balanç iònic de les mostres estudiades.

	Conductivitat ($mS \cdot cm^{-1}$)	Suma Anions ($meq \cdot L^{-1}$)	Suma Cations ($meq \cdot L^{-1}$)	Error (%)
Conangle Alt	32	322	341	6
Conangle Mig	11	112	122	9
Conangle Baix	120	1194	1518	24
Cal trist	12	106	117	9
Lluçà	23	194	243	23
Riu d'or	47	402	499	28
Avinyó	51	549	558	1,7
Oló	56	508	628	21
Illa	29	230	288	23
Fusteret	142	1425	1839	25
Soldevila	242	3504	4622	28
Zona 0	246	1686	4869	97

Els errors observats són menors al 30% en tots els casos excepte en la mostra Zona 0. Aquesta mostra per tant, s'hauria de repetir ja que hi ha algun error analític, segurament en alguna de les dilucions realitzades. La correlació de la concentració de Cl^- amb la conductivitat elèctrica (Figura 6.1) ja ens indicava que els resultats de clorurs d'aquesta mostra no coincidien amb la conductivitat elèctrica estudiada, fet que es confirma amb el balanç iònic. Per aquest motiu, i a falta del resultat de la repetició d'aquesta mostra, els resultats s'hauran de discutir amb la incertesa de la mostra Zona 0.

D'altra banda, tots els errors superiors a 20% corresponen a mostres amb conductivitats elevades, fet raonable considerant que l'error és funció de la dilució. Els percentatges d'incertesa, en alguns casos elevats, són deguts a la dificultat d'analitzar aquestes mostres amb elevada salinitat. Per a poder realitzar les diferents analítiques, les mostres es van haver de diluir varies vegades, en alguns casos fins a 200 vegades. Aquest fet comporta un increment en l'error de les anàlisis. Aquests errors s'hauran de tenir en compte al llarg de la discussió dels resultats.

Per a la interpretació dels resultats, aquest treball es basa en l'estudi de Otero y Soler (2002). Així, les dades són representades en els mateixos gràfics i estan diferenciades entre mostres amb un origen de la salinitat natural provinent de la interacció natural de les aigües i el substrat geològic, altres provinents dels lixiviats dels runams miners (Figura 6.2, 6.3, 6.4). Aquestes mostres corresponen a mostres a les quals es coneixia prèviament l'origen i altres que els autors determinen a partir de la composició isotòpica del sulfat dissolt a les aigües.

Les mostres han estat agrupades en tres grans grups (Figura 6.2 i 6.3) d'acord als continguts en sodi, potassi i magnesi. Alguns dels punts mostrejats per Otero (2002) coincideixen amb els estudiats en el nostre projecte, per tant, s'han avaluat conjuntament per veure'n les diferències.

Un primer grup que hem denominat A que mostra continguts de Na^+ entre 2.000 i 40.000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ que agrupa les mostres de surgències d'aigua salada d'origen natural. En el grup B, agrupa mostres salines d'origens miners segons Otero y Soler (2002, 2003), i que també si projecten mostres del present estudi. Per últim les mostres del grup C es caracteritzen per ser aigües sòdiques amb continguts menors en magnesi i potassi que el grup B.

Segons Otero y Soler (2002, 2003) aquesta disminució del contingut de magnesi i potassi respecte al grup B indica que els lixiviats estudiats estan relacionats amb residus miners de mines inactives (Figura 6.2 i 6.3). De les mostres estudiades en el present estudi no cap d'elles projecta en el grup C. Aquest fet és degut a que les mostres estudiades han estat recollides en piezòmetres de zones properes a mines en actiu, i en cap cas properes a mines inactives (Cardona, Balsareny).

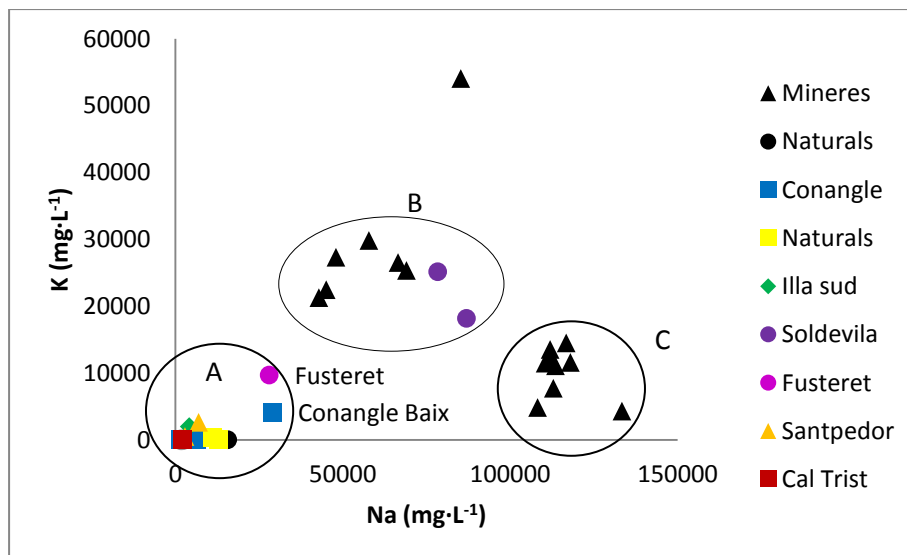


Figura 6.2. Diagrama sodi versus potassi. Les mostres de color negre pertanyen a l'estudi (Otero y Soler, 2002) i són comparades amb les d'aquest projecte, simbolitzades de colors.

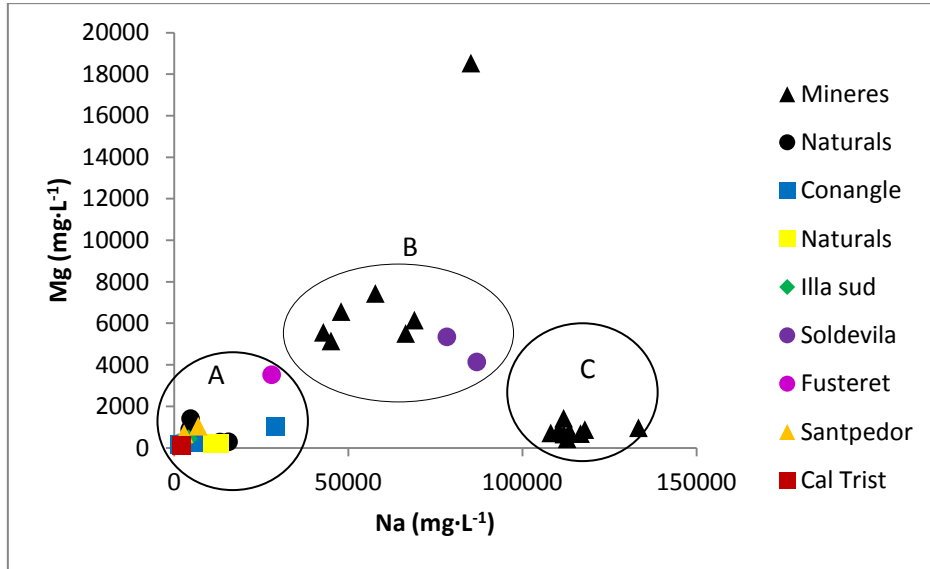


Figura 6.3. Representació de la concentració de magnesi respecte la concentració de sodi. Les mostres de color negre pertanyen a l'estudi (Otero y Soler, 2002) i són comparades amb les d'aquest projecte, simbolitzades de colors.

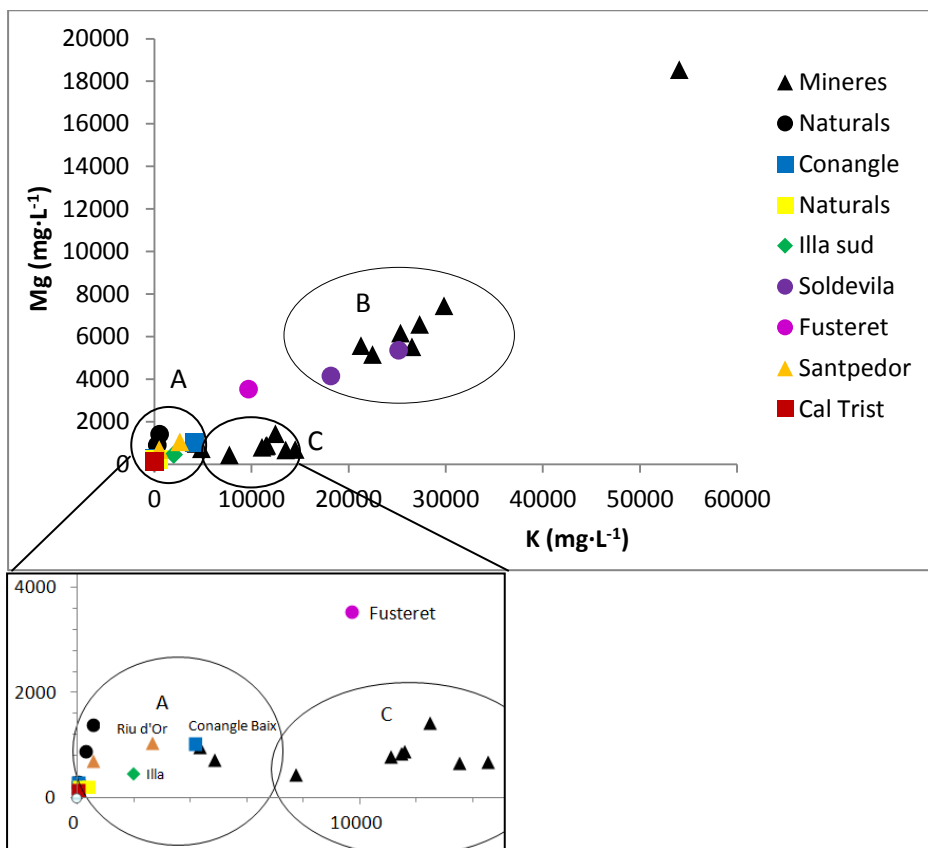


Figura 6.4. Representació de la concentració de magnesi respecte la concentració de potassi. Les mostres de color negre pertanyen a l'estudi (Otero y Soler, 2002) i són comparades amb les mostrejades en aquest projecte, simbolitzades de colors. La figura de sota amplia la secció on es troba la mostra de Conangle Baix i de Riu d'Or, el zoom també permet veure la distribució de la resta de mostres.

Segons Otero y Soler (2002) la disminució de magnesi i potassi del grup C respecte a les mostres del grup B indica que l'aportació d'aquests elements prové de residus miners que ja no són actius, ja que la solubilitat de la silvinita i de la carnal·lita és major que la de l'halita i els continguts d'aquests minerals a l'escombrera molt menors, fet que fa que rapidament siguin dissolts i eliminats de l'escombrera (Figura 6.2, 6.3 i 6.4). Cap de les mostres del present estudi correspon a aquest grup, ja que no s'ha treballat prop de zones mineres abandonades. Tot i això amb les dades actuals la mostra que més s'hi aproxima és Conangle Baix (Figura 6.4), que justificaria l'afirmació d'Otero y Soler (2002) ja que es situa prop de l'escombrera de la mina inactiva de Vilaforns, el qual està abandonat i recentment restaurat.

En canvi els valors de les mostres de Fusteret, Soldevila i Zona 0 mostren una elevada salinitat i concentracions pròpies del runam de Fusteret i del Cogulló, que es troben en actiu, es trobarien dins del grup B (Figura 6.4).

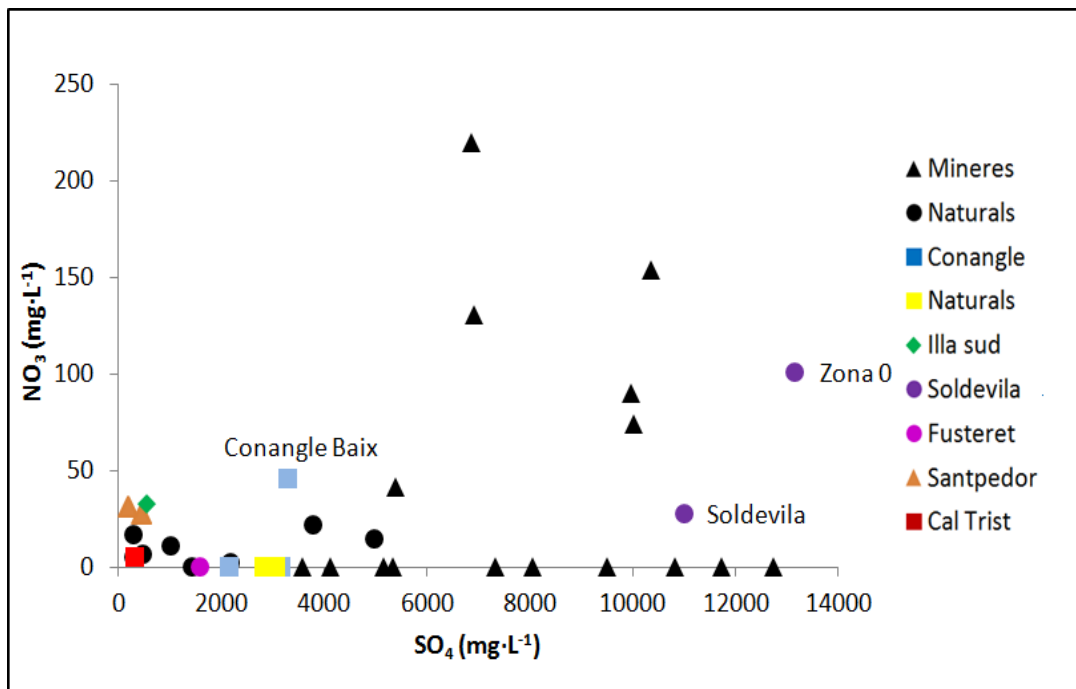


Figura 6.5. Gràfic on es representen la concentració de nitrat versus la de sulfat. Les mostres de color negre pertanyen a l'estudi de Otero y Soler (2002) i les d'aquest projecte es simbolitzen de colors.

A la Figura 6.5 s'observa que algunes mostres presenten concentracions de nitrat relativament elevades (< 50 mg/L), però no s'observa una correlació entre el contingut en nitrat i sulfat significativa posant de manifest que no tenen el mateix origen. Així, les mostres Soldevila, Zona 0, Conangle Baix, Cal Lluça i Riu d'Or es troben prop d'activitats agrícoles i ramaderes que permeten explicar les concentracions de nitrat més elevades.

La presència de nitrat indica una afectació antròpica local no relacionada amb les activitats mineres. Els fertilitzants, a més de nitrat, contenen molts altres elements. Concretament solen presentar continguts de sulfat que poden arribar a continguts superiors al 20% de sulfat, fins a un 50% atòmic (cas del sulfat amònic) (Otero et al., 2005).

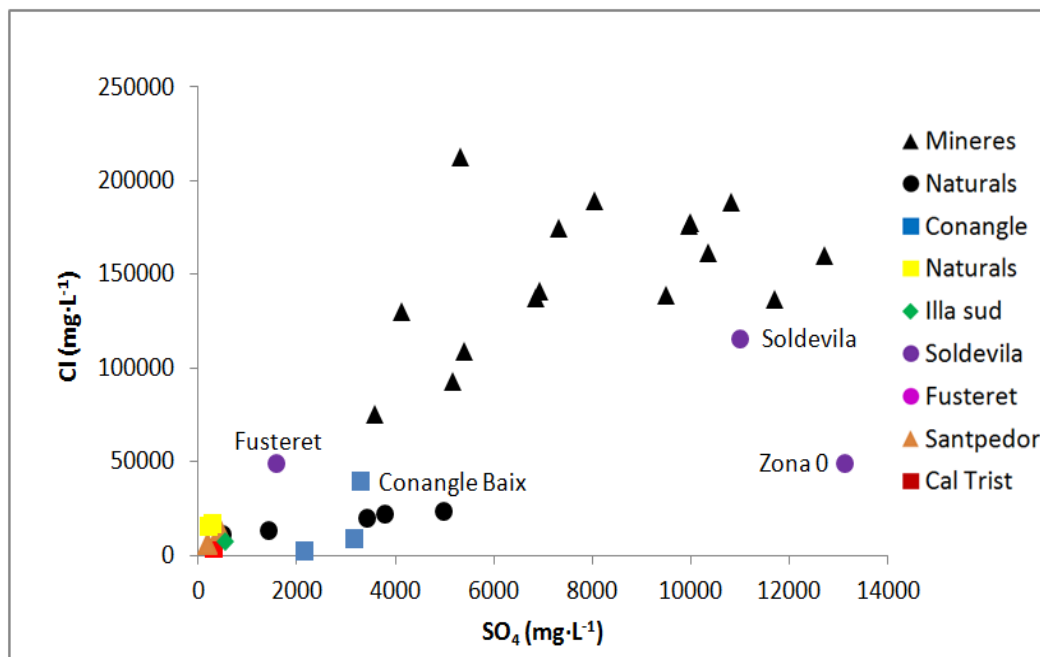


Figura 6.6. Representació dels clorurs respecte sulfat. Les mostres de color negre pertanyen a l'estudi (Otero y Soler, 2002) i les d'aquest projecte, estan simbolitzades de colors.

Les mostres Conangle Alt i Conangle Mig que presenten els continguts més baixos en clorur i sulfat, (Figura 6.6), indiquen que l'afectació antròpica és menor, la seva ubicació ho confirma ja que no hi ha camps agrícoles propers.

6.3.- ISÒTOPS ESTABLES

La composició isotòpica de la majoria de compostos, entre ells el sofre, l'oxigen o el deuteri, no estan afectades per els processos de dilució, absorció, adsorció o dispersió per transport, etc. Per aquest motiu, els isòtops estables s'utilitzen com a traçadors de l'origen de l'aigua i dels soluts i d'alguns dels processos que modifiquen la seva composició (Rovira, 2008).

En el cas del sulfat present en les aigües, aquest pot tenir diversos orígens:

1. Dissolució de sulfats o sulfurs presents en el substrat geològic de la conca.
2. Per contribució meteòrica ja sigui com a deposició seca o dissolta en l'aigua de pluja de sulfat procedent de l'aerosol marí o de l'oxidació del SO₂ atmosfèric.
3. Per procedència antropogènica de sofre com per exemple els fertilitzants agrícoles o lixiviats industrials.

Geològicament, la zona d'estudi és constituïda per materials sedimentaris de l'Eocè superior de procedència marina i continental amb la intercalació d'una formació evaporítica. La sèrie estratigràfica de la Figura 6.7 representa un primer tram d'anhidrita basal situada sobre margues marines, després un tram d'halita anomenada "sal de mur", un tram de sals potàssiques (zona d'on s'extreuen els materials per la mineria) i finalment la sèrie s'acaba amb un tram d'halita "sal de sostre" sobre la qual es dipositen els materials de l'Oligocè constituïts per alternances de materials silícis, clàstics i guixos (Rovira, 2008).

Aquests materials corresponen a sediments marins d'edat Terciària, en els quals els sulfats tenen la composició isotòpica del sulfat marí del Terciari ($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4} = 18$ a 21‰ $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ de $7,6\text{‰}$ a $9,8\text{‰}$), mentre que la part alta de la sèrie correspon a guixos precipitats en un ambient continental de salars on l'aport de sulfat corresponents als afloraments emergents dels materials Secundaris per l'orogenia Alpina a les serralades dels Pirineus, Iberica i Catalanids ($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4} = 12$ a 14‰ $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ de $12,2\text{‰}$ a $14,6\text{‰}$).

La composició isotòpica que s'analitza a les aigües salinitzades de la comarca del Bages ens indica que l'aigua ha estat en contacte amb els diferents materials de la sèrie estratigràfica i per tant, la composició isotòpica serà diferent.

Basant-se amb aquesta diferència de composició isotòpica del sulfat, Otero i Soler(2002) i Otero(2003) diferencien els orígens de l'aigua salinitzada de la conca del Llobregat i del Cardener. Aquests estudis determinen que la composició isotòpica dels lixiviats dels runams miners presenten els mateixos valors isotòpics que els valors del nivell de potasses. També es determina que la composició isotòpica del sofre i l'oxigen del sulfat dissolt pot determinar l'origen natural o antròpic de les aigües tant superficials com subterrànies de la Conca Potàssica Catalana.

Segons Otero y Soler (2002, 2003), aquesta metodologia pot ser utilitzada a tota la conca excepte a Cardona, on els materials potàssics afloren a la superfície per diapirisme i, per tant, els valors isotòpics dels runams i de les sals aflorants són idèntics en aquest indret. De la mateixa manera a Súria a l'entorn del runam de Cabanasses, com que està format per materials extrets de les capes superiors de la unitat evaporítica (sal de sostre), els valors

isotòpics dels lixiviats d'aquest runam són coincidents amb els valors naturals. Aquest fet no va ser observat per Otero y Soler (2002, 2003) però sí per Rovira (2008).

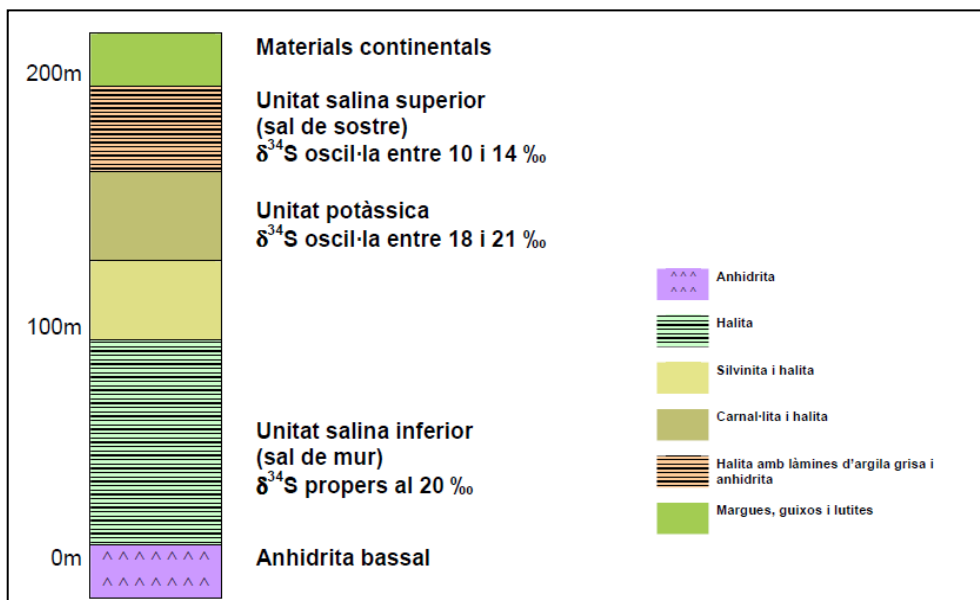


Figura 6.7. Columna estratigràfica on es mostra la composició isotòpica dels sulfats de la formació evaporítica de l'Eocè superior de la zona d'estudi. Dades de Taberner et al., 2000. Font: (Rovira, 2008).

Taula 6.7. Composició isotòpica de l'aigua i el sulfat de les mostres estudiades.

mostra	ISOTÒPS			
	$\delta^{18}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$	$\delta^2\text{H}-\text{H}_2\text{O}$	$\delta^{34}\text{S}-\text{SO}_4$	$d^{18}\text{O}-\text{SO}_4$
	‰			
Conangle Alt	-6,80	-44,49	3,54	14,27
Conangle mig	-6,60	-44,14	2,44	14,27
Conangle Baix	-6,60	-44,99	15,09	10,66
Cal trist	-7,55	-50,45	13,91	12,92
Lluçà	-6,03	-40,60	10,22	11,55
Riu d'or	-6,74	-44,69	14,11	9,25
Avinyó	-7,16	-47,48	15,01	12,65
Oló	-7,99	-52,77	14,42	13,28
Illa	-6,72	-44,56	15,65	10,13
Fusteret	-7,22	-49,42	17,62	8,34
Soldevila	-7,09	-46,14	18,82	9,09
Zona 0	-6,96	-45,92	18,54	8,33

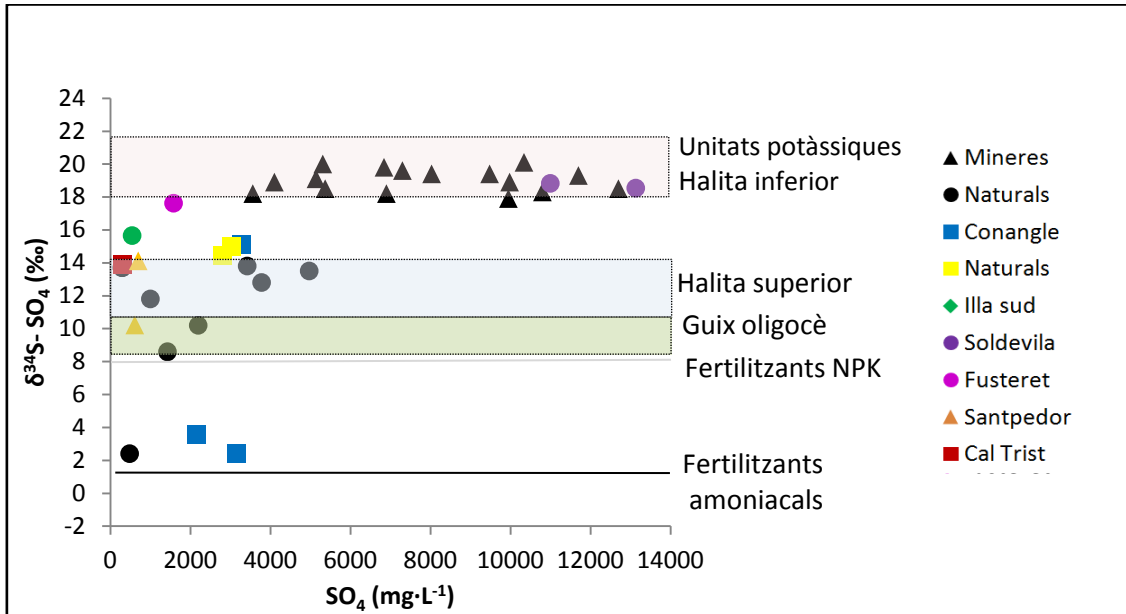


Figura 6.8. Gràfic on es mostra els sulfats en funció dels isòtops de sofre del sulfat. Basat en (Otero y Soler, 2002). La sèrie estratigràfica està representada a la dreta de la gràfica indicant els materials de cada nivell. En color s'observen les mostres recollides el 2012, les quals poden ser comparades amb les estudiades per Otero y Soler (2002).

Les mostres amb valors de $\delta^{34}S_{SO_4} = 18$ a 21‰ corresponen al nivell de materials s'extreu de les mines, els quals després del procés industrial que es duu a terme per separar el potassi i la sal els residus queden emmagatzemats als runams salins sense cap variació en la seva composició isotòpica, per tant, quan l'aigua de la pluja s'infiltra pels runams el sulfat dissolt manté al composició isotòpica típica de la mineria.

Dins d'aquest grup s'hi poden distingir les mostres de Fusteret, Soldevila i Zona 0 que són les més properes als runams salins i amb elevades salinitats. La diferència entre les tres és que Fusteret té unes concentracions de sulfat de $2.000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ i Soldevila i Zona 0 de més de $10.000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Fusteret, malgrat que per la química d'elements majors i presentar una conductivitat elèctrica de $100 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, es situa separada de las mineres, d'acord amb la seva composició isotòpica aquesta mostra té un origen miner.

Les mostres que tenen una $\delta^{34}S$ compresa entre 10 i 14‰ provenen de la unitat de l'halita superior indicant l'origen natural d'aquestes ja que aquesta unitat de sals no és explotada per l'empresa minera. En aquests rangs també es troben els materials de sals que surten a la superfície com per exemple Santa Maria d'Oló. En aquests nivells trobem les mostres de Cal Trist i Santpedor. D'altra banda les mostres Illa i Conangle Baix mostren valors intermedis entre els miners i els naturals posant en evidència una barreja entre salmorres naturals i mineres.

Les mostres de Conangle Alt i Mig tenen uns valors de $\delta^{34}S$ entre 2 i 4‰ , indicant que els isòtops del sofre provindrien de fertilitzants amoniacals. Per contrari, els nivells de nitrats en

aquestes mostres (veure Figura 6.4) són molt baixos. Aquest fet, hauria de ser objecte d'estudis posteriors per tal de clarificar l'origen del sulfat d'aquestes dues surgències.

La composició isotòpica de l'aigua de pluja depèn del desgast cinètic de la pluja, de la temperatura en el moment de ploure i del grau d'evaporació, principalment. Moltes d'aquestes variables són funció de la temperatura. Assumint que la composició de l'aigua sols és funció de la l'alçada de recàrrega (Figura 6.9) permet determinar de manera aproximada l'alçada de recàrrega de les mostres. Així les que tenen valors més elevats són les que tenen una alçada de recàrrega més elevada.

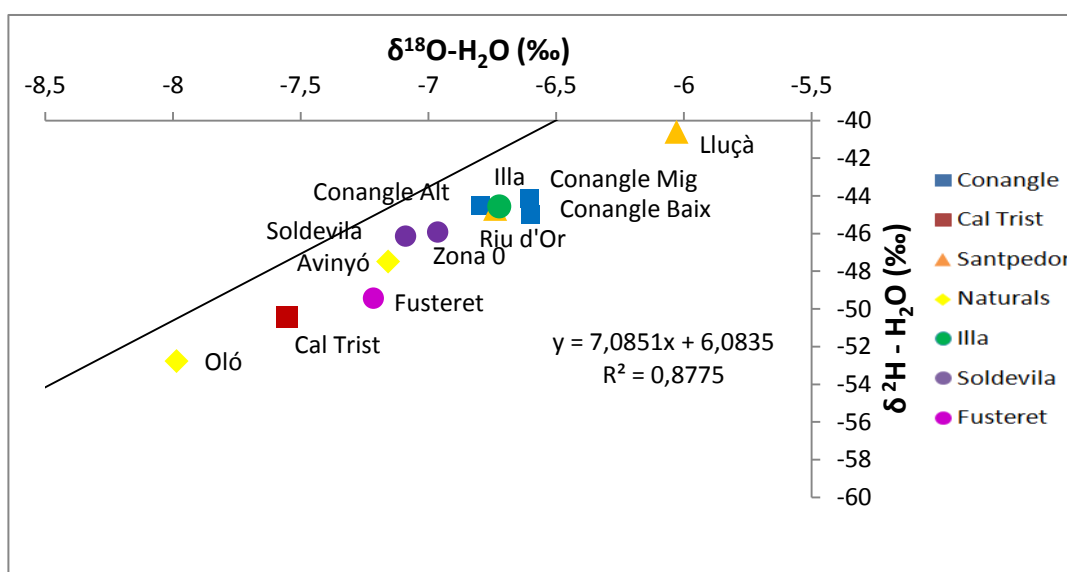


Figura 6.9. Representació de la composició isotòpica de l'aigua de les mostres estudiades amb la representació de la Recta Meteòrica Local de Barcelona.

Les mostres d'Oló, Cal Trist i Fusteret serien les que tindrien una alçada de recàrrega major que la resta. Pel contrari Lluçà ens indica una alçada de recàrrega menor i la resta de mostres ens indiquen que la zona de recàrrega és similar.

Com que la concentració dels compostos dissolts a l'aigua (sulfat, clorurs, etc) estan afectats per fenòmens de dilució, i tal com hem comentat anteriorment, les aigües es troben estratificades amb les aigües més salines a la part més profunda, la interpretació de l'origen basant-se amb dades de concentració és complexa i a voltes pot portar a interpretacions errònies (Otero y Soler, 2003). Per aquest motiu, l'anàlisi bi-isotòpica $\delta^{34}\text{S}-\text{SO}_4$ i $\delta^{18}\text{O}-\text{SO}_4$ ens permetrà determinar l'origen de la salinitat de manera inequívoca (Otero y Soler, 2002, 2003). Els models bi-isotòpics permeten conèixer l'origen i les potencials barreges entre les mostres procedents dels lixiviats miners, les mostres d'origen natural i dels fertilitzants. A més, els isòtops estudiats no varien amb la dilució de l'aigua i són una bona eina com a traçadors ambientals per determinar l'origen dels components isotòpics de les mostres altament salinitzades i diluïdes posteriorment (Otero, et al. 2006).

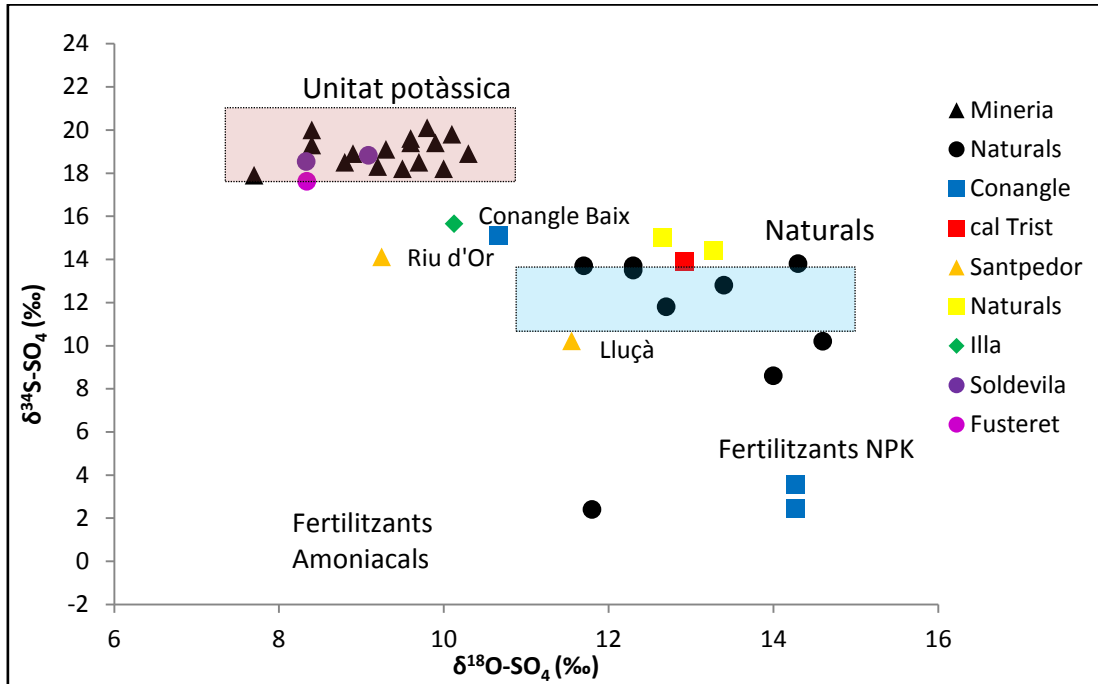


Figura 6.10. Rangs de composició isotòpica del sofre i l'oxigen del sulfat. També s'hi indica la composició isotòpica dels fertilitzants NPK i amoniacals.

La composició isotòpica dels dos elements del sulfat dissolt a les mostres ($\delta^{18}\text{O-SO}_4$ i $\delta^{34}\text{S-SO}_4$) (Figura 6.10) ens agrupa les mostres amb les conductivitats elèctriques més elevades a les mostres procedents de la unitat potàssica tal i com s'ha observat també en la Figura 6.8. Les mostres que tenen un origen natural juntament amb la font de Cal Trist queden agrupades amb les mostres d'origen natural.

La resta de mostres, Santpedor, Illa i Conangle Baix, que es troben entre aquestes dues agrupacions, tindrien diferents components de barreja. Es podria determinar el rang d'aportació de salinitat natural i minera indicant un percentatge de barreja per a les diferents mostres. Al contrari que la resta de mostres, els resultats isotòpics dels fertilitzants indiquen que les mostres de Conangle Alt i Mig tenen una influència molt clara per part dels fertilitzants NPK, factor no identificat a partir de les concentracions de nitrats (Figura 6.5). Tal i com ja s'han indicat, cal continuar estudiant aquestes surgències per tal de clarificar el seu origen.

6.4.- ISÒTOPS RADIOACTIUS

El Ra és un metall alcalino-terri insoluble en aigua dolça però que augmenta la seva solubilitat en presència de clor i per tant en funció de la salinitat. Així, quan els sediments fluvials es troben en contacte amb l'aigua d'una salinitat elevada, els isòtops del radi es desabsorbeixen per formar RaCl_2 ja que el intercanvi iònic és major en aigües amb alt contingut en Cl (Li et al., 1977). En la conca del Llobregat i el Cardener, la presència de diverses capes de sal en diferents profunditats hauria de comportar l'enriquement de Ra tant en les aigües contaminades com en les aigües amb un origen natural.

Els isòtops del radi es creen contínuament a partir de la desintegració dels seus pares: ^{230}Th , ^{232}Th , ^{227}Th , ^{228}Th , els quals són membres de la cadena de desintegració del tori i l'urani. Els isòtops de radi estan contínuament formant-se a partir de la roca del subsòl. En un sistema tancat, les concentracions d'aquests isòtops poden arribar a l'equilibri secular amb l'isòtop del qual provenen quan els nivells de semidesintegració s'aproximen. L'equilibri secular es dona rarament en materials superficials (Webster, 1994).

L'ús dels diferents isòtops de Ra hauria de poder diferenciar els orígens de les diverses aigües mostrejades ja que el temps que triguen en produir-se a l'aqüífer, relacionat amb el període de semidesintegració dels diversos isòtops del radi, són molt diferents. Els períodes de desintegració dels diferents isòtops de radi ens permetran determinar diversos processos hidrològics que tindran uns rangs temporals ben diferenciats, utilitzant-los com a traçadors en diferents fluxos i processos de mescla.

Els isòtops amb els temps de desintegració de períodes prou llargs només seran incorporats per aquelles aigües subterrànies que tinguin un temps de residència prou elevat com per absorbir-los i augmentar-ne la concentració respecte a les aigües amb un recorregut més curt en l'aqüífer.

D'aquesta manera s'ha de tenir en compte els diferents períodes de desintegració que oscil·len entre uns dies a milers d'anys. En la cadena de desintegració de ^{238}U trobem el ^{226}Ra que es desintegra en ^{222}Rn amb un període de desintegració de 1600 anys i 3,83 dies, respectivament. Els isòtops del radi ^{228}Ra i ^{224}Ra pertanyen a la cadena del ^{232}Th amb un temps de semidesintegració de 5,75 anys i 3,66 dies, respectivament. Finalment, el ^{223}Ra té un període de semidesintegració de 11,4 dies i es troba en la cadena de ^{235}U .

Tal com hem comentat al capítol 3, un dels objectius principals del projecte és l'avaluació de l'origen dels diferents tipus d'aigua present en el subsòl de la comarca minera del Bages mitjançant la determinació del contingut d'isòtops del Ra com a complement dels resultats que aporten els isòtops del sofre del sulfat ($\delta^{34}\text{S-SO}_4$). La hipòtesis introduïda en aquest projecte es basa en el període de semidesintegració del ^{226}Ra que és de 1600 anys, i que per tant, es trobarà present en aquelles aigües subterrànies que hagin estat en contacte amb la roca mare i que s'hagin salinitzat durant el seu recorregut dins de l'aqüífer. Per contra, el radi dissolt en l'aigua provinent dels lixiviats dels residus miners no hauria de tenir altes concentracions de ^{226}Ra , ja que els seu temps de residència en l'aqüífer és menor i no tindria

prou temps per enriquir-se. Per contra, aquells isòtops amb un període de desintegració petit (^{224}Ra i ^{223}Ra) es produiran molt ràpidament a la matriu de l'aqüífer o del runams i per tant la seva presència en els diversos tipus d'aigua hauria de ser més o menys abundant (Webster et al., 1995).

Taula 6.8. Continguts dels isòtops de radi

	^{223}Ra	^{224}Ra	^{226}Ra	^{228}Ra
	dpm·100L ⁻¹			
Conangle Mig	33 ± 4	568 ± 43	149 ± 8	204 ± 12
Conangle Alt	50 ± 6	899 ± 54	208 ± 11	231 ± 23
Conangle Baix	138 ± 10	5643 ± 389	426 ± 22	1514 ± 84
Cal Trist	6 ± 1	848 ± 56	146 ± 8	55 ± 11
Lluçà	221 ± 15	1881 ± 143	1376 ± 75	780 ± 49
Riu d'Or	183 ± 16	1755 ± 127	1823 ± 93	578 ± 30
Avinyó	139 ± 16	3183 ± 181	3662 ± 186	433 ± 26
Oló	54 ± 4	2271 ± 124	1700 ± 87	3028 ± 166
Illa	131 ± 12	557 ± 41	584 ± 30	436 ± 25
Fusteret	91 ± 8	2321 ± 133	578 ± 30	736 ± 39
Soldevila	133 ± 9	1343 ± 76	117 ± 6	156 ± 15
Zona 0	154 ± 12	2630 ± 152	108 ± 7	515 ± 30

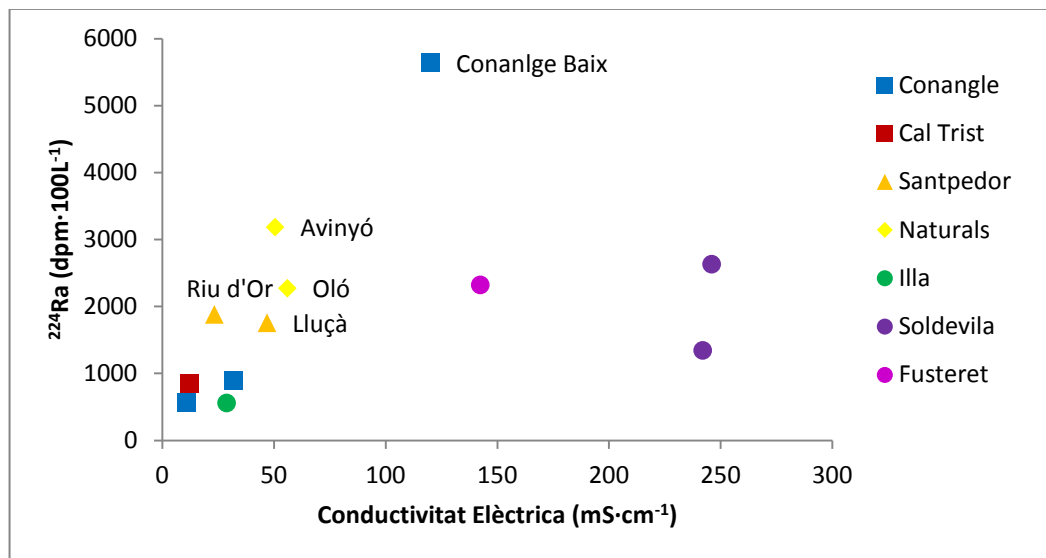


Figura 6.11. Representació del ^{224}Ra en funció de la conductivitat elèctrica.

Amb els resultats de ^{224}Ra (Figura 6.11) es poden definir dos grups clars on es poden diferenciar les mostres de conductivitats elevades en comparació amb la resta de mostres, a excepció de Conangle Baix. La mostra de Conangle Baix prové de l'antiga escombrera de Vilafruns. Aquesta mina, va separar l'halita de la silvita mitjançant processos de cristallització fraccionada en lloc del clàssic sistema de flotació mineral. Aquest fet, fa que l'escombrera de Vilafruns tingui uns continguts d'argiles molt més alts que la resta d'escombreres mineres de la

regió. Aquestes argiles desabsorbirien l'isòtop ^{224}Ra en salinitats elevades, fet que explicaria l'elevada concentració d'aquest isòtop en comparació amb la resta. La concentració de metalls com ara el bari, el liti, l'alumini i el coure són coherents amb l'origen en els runams miners ja que són molt similars a les concentracions descrites a la vall de Soldevila (Taula 6.5).

Degut al curt període de semidesintegració del ^{224}Ra , la seva incorporació en l'aigua pot variar significativament depenent del temps de residència de l'aigua i de les freqüències de les precipitacions en els runams salins i del dia de recollida de les mostres.

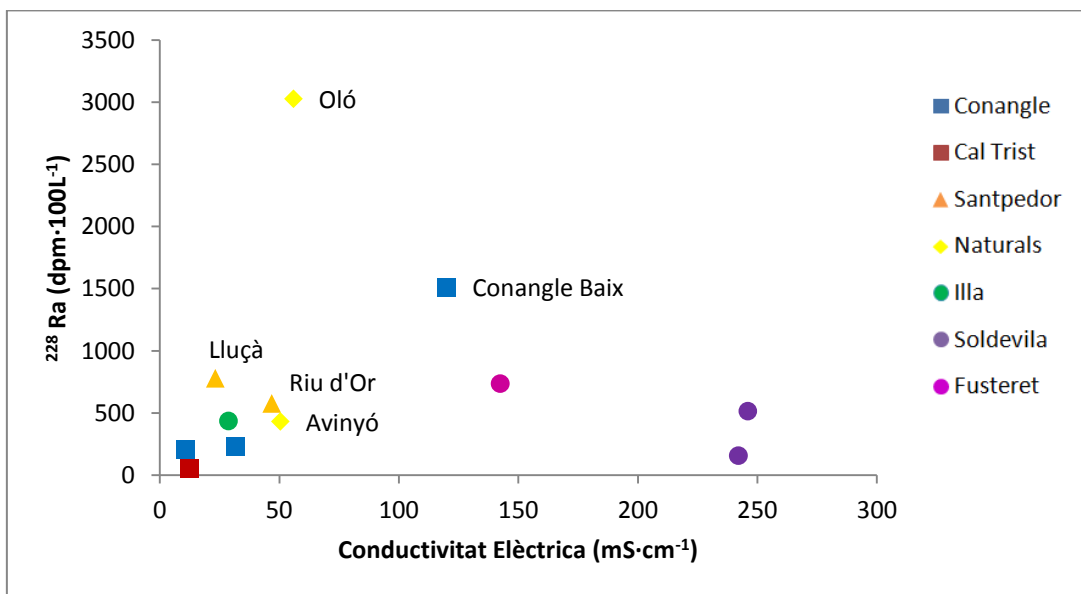


Figura 6.12. Diagrama ^{228}Ra versus la conductivitat elèctrica.

Els valors de ^{228}Ra (Figura 6.12) segueixen gairebé la mateixa tendència que la Figura 6.11 amb la diferència que la mostra d'Oló queda molt separada de la resta de resultats, en aquest cas la mostra de Conangle Baix també sobresurt en comparació amb la resta, però no destaca tant com la concentració del ^{224}Ra .

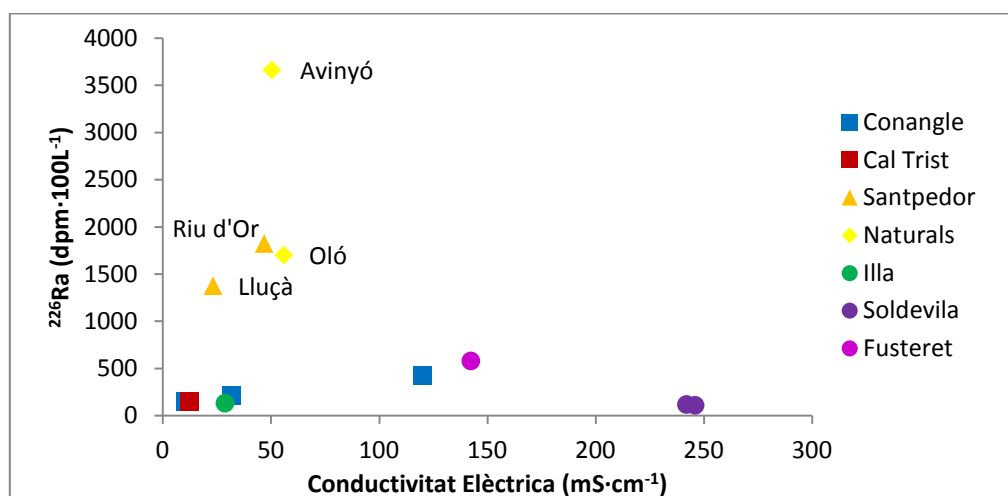


Figura 6.13. Representació del ^{226}Ra en funció de la conductivitat elèctrica.

Finalment, el ^{226}Ra (Figura 6.13) mostra dues tendències molt clares en comparació amb la conductivitat elèctrica. Això permet diferenciar entre dos grups de mostres ja que el ^{226}Ra és molt elevat en les mostres d'Oló i Avinyó les quals comprenen les considerades fonts naturals, Les de Riu d'Or i Cal Lluçà que tenen valors molt elevats que permeten afirmar el seu probable origen natural. Per tant, aquests resultats permetran corroborar la hipòtesis del treball, indicant que el ^{226}Ra pot ser útil com a traçador de l'origen de la salinitat.

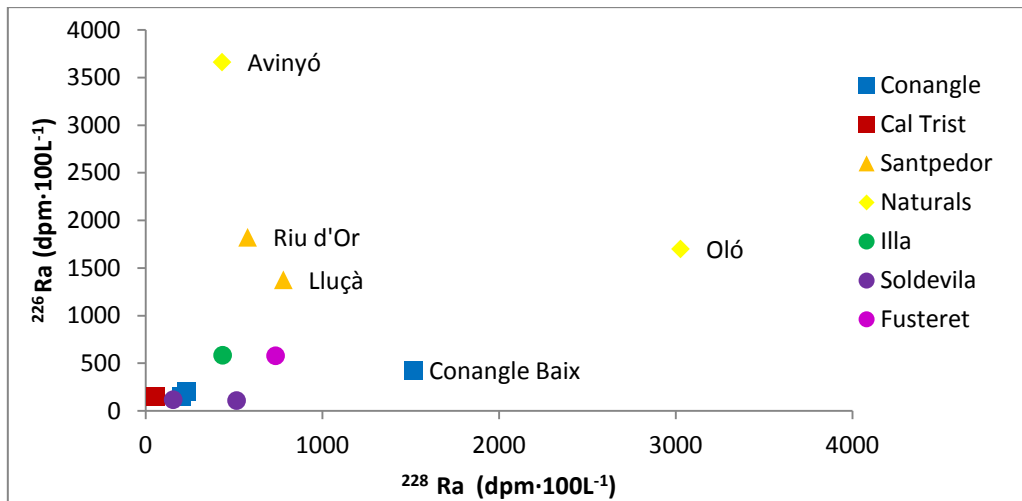


Figura 6.14. Concentració de ^{228}Ra en funció a ^{226}Ra .

Tenint en compte que el ^{228}Ra té un temps de semidesintegració de 5,75 anys podria actuar com el ^{226}Ra , i diferenciar l'origen de la salinitat, però la mostra d'Avinyó actua com la resta i no ens aporta una informació diferenciadora al respecte (Figura 6.12 i 6.14). Així a Santa Maria d'Oló on els materials salins afloren just al costat de la font, posant de manifest que les aigües es salinititzen de manera natural molt a prop de la font, i per tant que el ^{228}Ra desabsorbit no ha tingut temps de desintegrar-se. La resta de runams miners, utilitzen per separar l'halita de la silvita el clàssic sistema de flotació mineral, fet que comporta que les argiles, es decanten en basses de llots sovint fora de l'escombrera. Aquest fet permet explicar les diferències isotòpiques observades entre Conangle i Fusteret o altres escombreres.

S'ha de tenir en compte, però, que els runams salins poden actuar com a zones de recàrrega i conservar l'aigua de la puja durant un cert temps que podria arribar a ser d'anys, i per tant, el ^{228}Ra podria actuar d'igual forma en les mostres provinents dels residus salins que les d'origen natural. Llavors, l'elevada concentració de ^{228}Ra en la mostra d'Oló hauria de tenir un altre justificació i les mostres que corresponen a aigües contaminades també haurien de tenir uns resultats similars a la resta, que tal i com es pot veure en la Figura 6.14 no passa.

L'estudi del ^{228}Ra es pot complementar amb la composició isotòpica de l'aigua ($\delta^2\text{O-H}_2\text{O}$) que ens podria permetre tenir una idea aproximada de l'alçada de recàrrega i que pot aportar explicacions segons el temps i l'alçada de recàrrega de l'aquífer de la font. En la Figura 6.9 s'observa que les fonts d'Oló i Avinyó queden distanciades ja que la seva alçada de recàrrega és diferent. Relacionant els dos resultats i tenint en compte que el temps de desintegració del

^{228}Ra és de 5,75 anys es podria definir diferències entre les zones de recàrrega que vindran determinades per el deuteri analitzat.

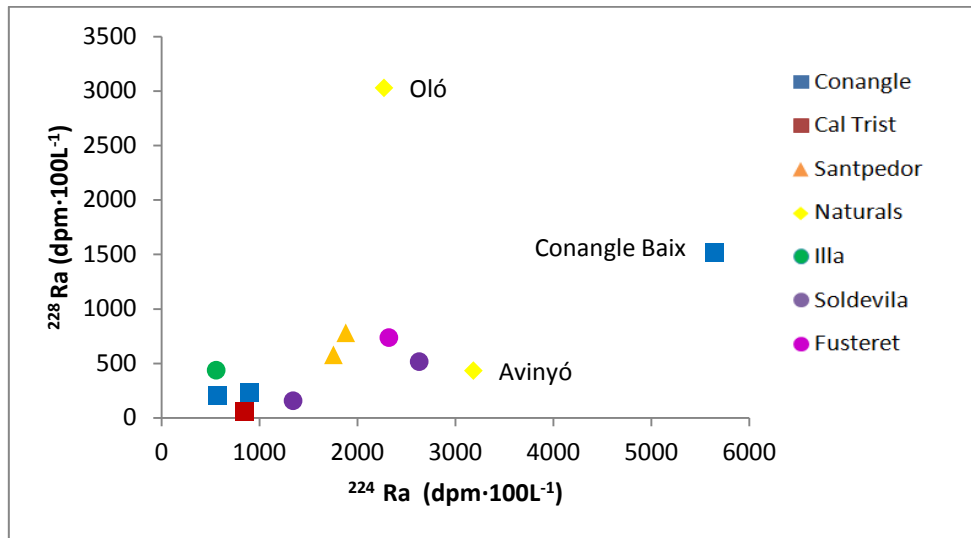


Figura 6.15. Diagrama de ^{224}Ra versus a ^{228}Ra .

S’ha de tenir en compte que els dos isòtops, ^{228}Ra i ^{224}Ra pertanyen a la mateixa cadena de desintegració radioactiva sent el ^{224}Ra el que es produeix a partir del ^{228}Ra , en la Figura 6.15. En el cas de les fonts naturals s’hauria d’observar una producció proporcional, com que això no succeeix, ens indica que hi ha una aportació de ^{224}Ra en les capes més superficials del subsòl. Aquesta aportació ha de tenir diferents orígens ja que les mostres que no segueixen tal relació són molt diferents entre elles i no ens permeten donar una justificació dels resultats.

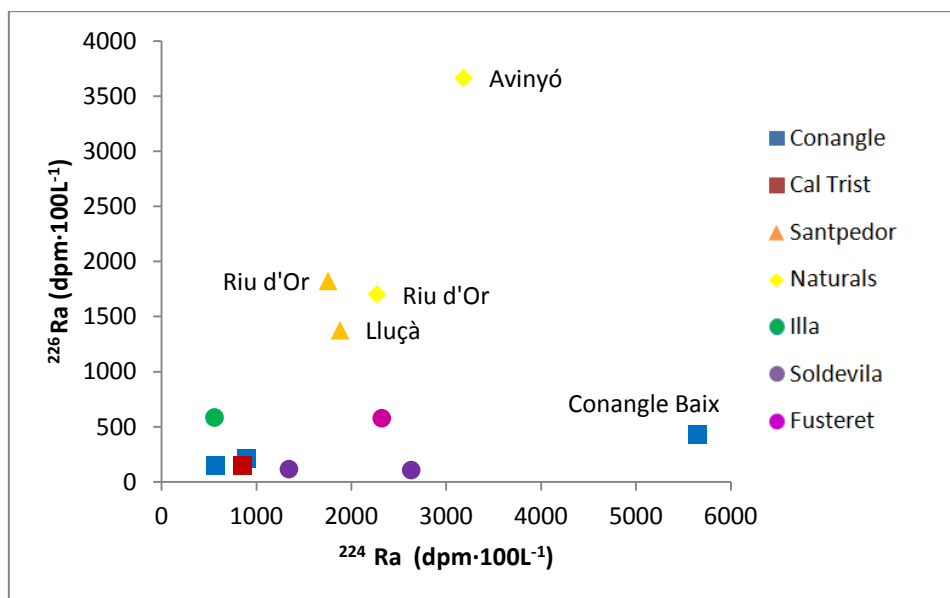


Figura 6.16. Diagrama ^{224}Ra versus ^{226}Ra .

La Figura 6.16 torna a marcar una tendència diferenciada en les mostres Naturals i les de Santpedor, sent el ^{226}Ra l’isòtop que ens permet diferenciar-les igual que en la Figura 6.12. Tot

i això, s'ha de tenir en compte que el ^{224}Ra no actua igual que la conductivitat elèctrica, encara que les tendències dels dos gràfics siguin similars.

L'ús dels isòtops de Ra i en especial el ^{226}Ra , permeten afirmar que la hipòtesi del treball és encertada i que els processos d'enriquiment del ^{226}Ra en els diversos tipus de mostres són diferents i que aquestes diferències estarien relacionades amb el seu origen natural o amb presència de Cl provinents de la contaminació de l'aquífer per part de la indústria minera. Tot i això, observem que existeixen diferències que el ^{226}Ra per si sol no són capaces de resoldre i que, per tant, caldria combinar amb altres anàlisis per diferenciar aquelles mostres que, presumiblement, tenen un origen clarament natural d'aquells que tenen diversos graus de contaminació.

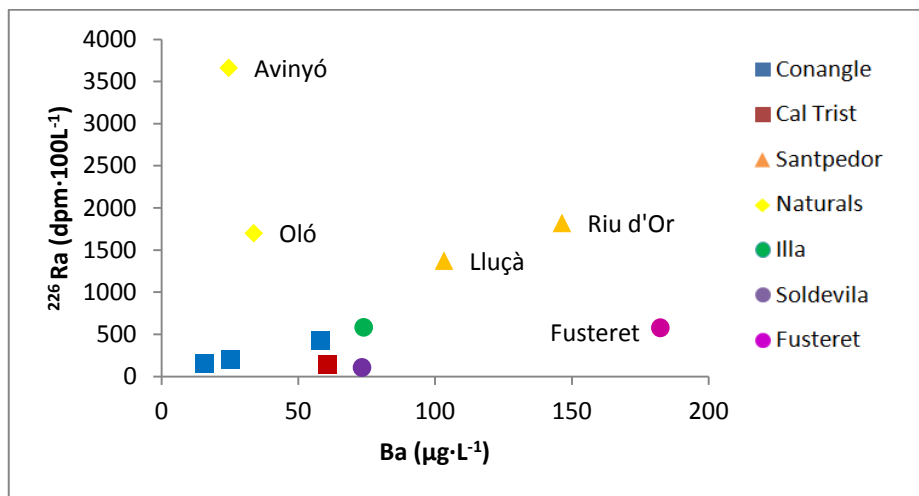


Figura 6.17. Diagrama ^{226}Ra versus Ba.

Per poder discriminar millor entre els diferents isòtops es pot emprar les concentracions de Bari dissolt que s'han obtingut en els elements traça i els quocients dels diferents isòtops del Ra. El Ba també és un metall alcalino-terri i que per tant, té un comportament fisicoquímic molt similar al Ra, però que a diferència d'aquest, no es pot regenerar ja que és un element estable. Així, si considerem que concentracions de Ba ens indica que la matriu del propi aquífer permetria la desabsorpció tant de Ba com de Ra.

A la Figura 6.17 les mostres que segueixen una correlació positiva indicarien un enriquiment comú al llarg del subsòl. Així les mostres de Santpedor (Riu d'Or i Lluçà) mostren que l'enriquiment de ^{226}Ra està associat a un enriquiment de Ba, molt probablement al tipus del substrat geològic local de la zona. En canvi, les mostres naturals s'escapen d'aquesta tendència indicant que l'enriquiment de Ra és producte de l'intercanvi de Ra i el Na en l'aquífer durant el transport de la massa d'aigua i no per la presència de minerals amb presència de Ba que també tinguin incorporants isòtops de Ra (Baritina).

Així, utilitzant el quocient $\text{Ba}/^{226}\text{Ra}$ (Figura 6.19) les mostres de Santpedor en aquest cas es diferencien de les mostres d'origen natural i obtenen valors propers a la resta de mostres. Els valors de $\delta^{34}\text{S}\text{-SO}_4$ indiquen que les mostres de Santpedor tenen influències de la capa d'halites superior, és a dir tenen un component natural. Però amb la utilització del quocient $\text{Ba}/^{226}\text{Ra}$

aconsegüim determinar que aquest component no és complet i que per tant poden actuar com a aigües de barreja.

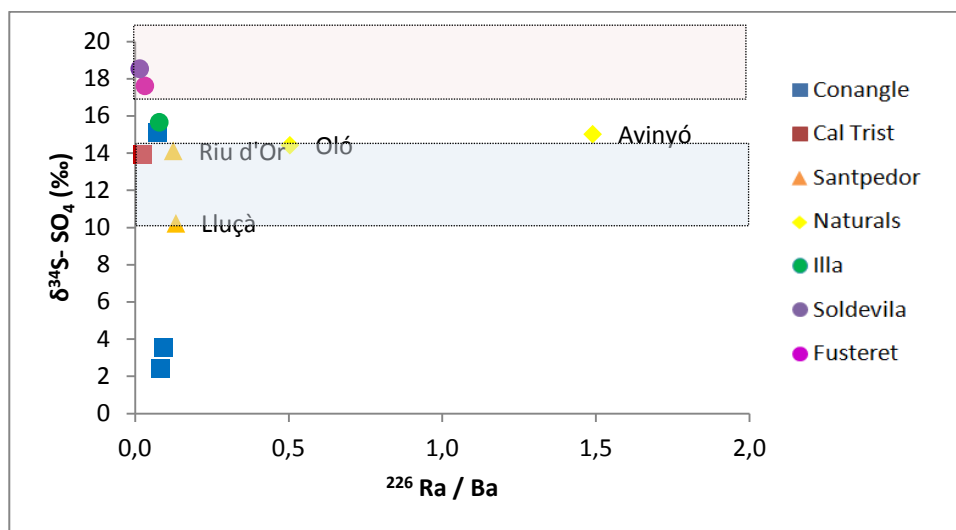


Figura 6.18. Diagrama $^{226}\text{Ra}/\text{Ba}$ versus $\delta^{34}\text{S}-\text{SO}_4$.

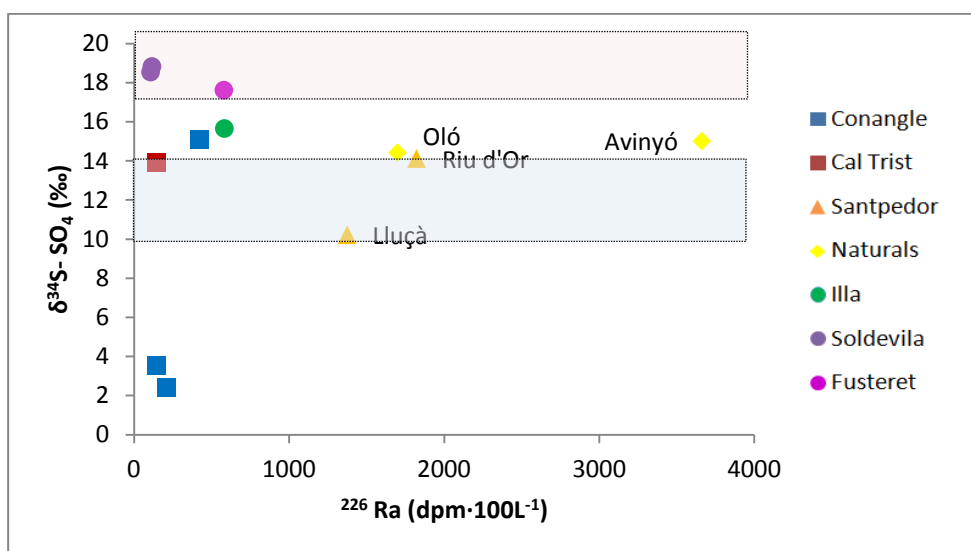


Figura 6.19. Comparació de ^{226}Ra en funció del $\delta^{34}\text{S}-\text{SO}_4$.

Finalment, es pot afirmar que els dos traçadors utilitzats més importants en el nostre estudi són el $\delta^{34}\text{S}-\text{SO}_4$ i el ^{226}Ra ja que ens permeten justificar la diferència d'origens de la salinitat de l'aigua de les localitzacions estudiades. Els dos resultats es poden complementar entre ells i ens aporten una informació molt rellevant envers l'origen de la salinització de la conca del Llobregat i del Cardener.

7.- DISCUSSIÓ

A partir dels resultats de la composició físico-química de l'aigua es poden agrupar i determinar l'origen de la salinitat de cada mostra. Per presentar-los d'una forma més entenedora s'han separat les diferents mostres segons la seva localització geogràfica.

1. Mostres amb salinitat d'origen Natural

Les mostres recollides als municipis d'Oló i Avinyó són denominades naturals ja que no hi ha cap activitat minera propera, per tant la seva salinitat prové de la capa de sals que hi ha al subsòl i que són utilitzades com a referència per a diferenciar l'origen de la salinitat respecte la resta de mostres.

En els resultats de les anàlisis químiques podem veure diferències considerables que ens indiquen que la geologia de la zona és diferent o que poden tenir influències antròpiques locals. Per exemple el deuteri ens mostra que la zona de recàrrega per Oló és diferent a la d'Avinyó (Figura 6.9), indicant una alçada de recàrrega major. La presència d'altres concentracions de ^{228}Ra o Al, comparada amb la mostra de Santa Maria d'Oló serien altres diferències significatives entre les dues mostres.

Els isòtops del ^{226}Ra actuen com a traçadors en aquestes localitzacions i permeten diferenciar l'origen de la salinitat. La generació de ^{226}Ra en l'aigua salada és molt lenta, ja que el temps de semidesintegració és de 1600 anys. Per tant l'aigua que tingui una concentració elevada d'aquest isòtop haurà passat un temps de trànsit prou llarg per l'aqüífer que permeti enriquir-se de ^{226}Ra fet que permet descartar un origen antròpic de la salinitat.

Així, les mostres denominades naturals, presentaran unes concentracions de ^{226}Ra majors en comparació amb les mostres provinents dels runams miners, ja que el seu temps de trànsit és menor en els residus miners i per tant no s'haurà produït prou ^{226}Ra (Figura 6.16). No obstant en el cas de Santa Maria d'Oló al estar les surgències en contacte amb els materials evaporítics, origen de la salinitat natural, aquest fet no es tant clar, ja que es tracta d'aigües amb poc temps de trànsit a l'aqüífer.

La hidroquímica d'aquestes mostres es caracteritza per concentracions elevades de sulfats, de calci, de liti i d'alumini. Tot i la presència elevada en les dues mostres, la font d'Oló és la que té una concentració major en gran part dels elements químics indicant una geologia molt particular en aquesta zona que s'hauria d'estudiar en futurs estudis per entendre millor el comportament hidrològic d'aquest aquífer.

Aquest fet ens hauria de permetre determinar l'origen natural de les fonts d'Avinyó i Oló per la seva alta concentració en ^{226}Ra i per la seva composició isotòpica del sulfat dissolt (Otero y Soler, 2002, 2003) i utilitzar-les com a referència per a identificar l'origen de la resta de mostres.

2. Vall de Soldevila:

Les dues mostres de la vall de Soldevila (Zona 0 i Soldevila) provenen dels residus miners, mostren una elevada salinitat amb continguts alts de sodi, potassi i magnesi. (Figura 6.2, 6.3 i 6.4). La composició isotòpica del sulfat dissolt permet posar de manifest que es tracta de

salinització provinent dels lixiviats miners i no natural per interacció aigua roca (Figura 6.10). Les concentracions de nitrat (Figura 6.5), al igual que en la majoria d'elements químics analitzats. (Taula 6.4 i 6.5) posen de manifest que els residus miners aporten una gran diversitat d'elements químics dissolts a l'aigua.

El ^{226}Ra presenta les concentracions més baixes de les mostres analitzades, indicant un temps d'enriquiment relacionat probablement amb el temps baix de trànsit de l'aigua dins l'aqüífer, conclusió coherent amb la proximitat dels piezòmetres al Cogulló (Figura 6.16, 6.17 i 6.18).

3. Fusteret:

La mostra del piezòmetre de Fusteret mostra que la conductivitat i la concentració d'anions i cations és menor que les mostres dels piezòmetres de la vall de Soldevila. És de destacar la seva ubicació, propera a l'escombrera de la mina de Súria i propera al riu Cardener (Figura 6.6 i 6.8).

Només utilitzant les anàlisis químiques la concentració de sodi, potassi, magnesi o sulfats no es pot afirmar que la salinitat provingui del runam. Així, l'estudi dels isòtops és important, ja que la seva mesura no es veu afectada pels processos de dilució. A la Figura 6.11 s'observa com la mostra de Fusteret queda agrupada amb les de Soldevila i la Zona 0 ja que tenen valors semblants de $\delta^{34}\text{S-SO}_4$, propis de la unitat potàssica explotada per la mineria. Els isòtops del radi, no diferencien la mostra de Fusteret envers les de la vall de Soldevila, per tant indiquen un mateix comportament que permet afirmar la mateixa procedència de la salinitat en els residus miners.

4. Vall de Conangle:

Les tres mostres que es troben a la vall de Conangle són molt diferents entre si. El piezòmetre de Conangle Alt és surgent, indicant que hi ha una fractura en el subsòl i/o una recarrega en zones més elevades que permet que l'aigua pugi cap a la superfície. L'origen de la salinitat de les aigües podria ser d'origen natural a partir d'alguna fractura a nivell geològic pot aportar la salinitat dels nivells naturals o de l'escombrera de Vilafrunys que es troba bastant propera a la zona.

La surgència que trobem a Conangle Alt és al naixement del torrent que discorre per la vall passant per Conangle Mig i arribant a la seva desembocadura al riu Llobregat.

Les dades de conductivitat són menors en el piezòmetre de Conangle Mig, fet que indica que en aquesta zona hi ha una aportació d'aigua dolça respecte a l'aigua del torrent que prové de la surgència de Conangle Alt (Taula 6.1). Les dades de Conangle Mig són menors que Conangle Alt en la majoria dels elements químics analitzats, indicant una dilució respecte els valors que trobem a Conangle Alt.

Els isòtops baixos de $\delta^{34}\text{S-SO}_4$ en els piezòmetres de Conangle Alt i Mig, semblen indicar que l'aigua està afectada per fertilitzants tipus NPK (Figura 6.10). Si bé la absència de nitrats (Taula 6.4) i les poques activitats agrícoles i ramaderes observades sobre el terreny semblen estar amb desacord. La inexistència de camps agrícoles a la zona fa pensar que l'afectació de

fertilitzants és inexistent i que els valors isotòpics del $\delta^{34}\text{S-SO}_4$ provenen d'altres fonts. Per aquest motiu, es recomana un estudi exhaustiu sobre aquesta zona per tal de confirmar o desmentir l'origen de la salinitat.

Els resultats de ^{226}Ra permeten determinar que l'aigua dels piezòmetres de Conangle Alt i Mig no prové de les unitats geològiques d'halita naturals, ja que les dades de ^{226}Ra són molt similars a les de la vall de Soldevila, aigües amb temps de residència baixos (Taula 6.8). Per tant la utilització del ^{226}Ra aporta una informació molt rellevant sobre l'origen d'aquestes mostres ja que permet afirmar que la salinització en aquesta zona no prové de les unitats salines superiors que afecten a les mostres de les fonts d'origen natural, i si bé semblen indicar un antròpic (miner o agrícola), la llunyania amb les activitats mineres també ens porta a recomanar un estudi exhaustiu sobre aquesta zona per tal de confirmar o desmentir l'origen de la salinitat.

Completament diferent és el piezòmetre denominat Conangle Baix el qual és el més proper al runam de Vilafrunys, al municipi de Balsareny. Aquest runam actualment està restaurat, però continua aportant una salinitat elevada a les aigües de la zona. El piezòmetre es veu afectat per aquestes salinitats, ja que la conductivitat de la mostra és de $119 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, molt més elevada que ens els piezòmetres de la part alta i mitja. A més, el piezòmetre es troba situat al mig d'un camp agrícola, per tant les aigües tenen una afectació local tal i com confirmen els resultats de la concentració de nitrats ($46 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), la composició isotòpica del sulfat dissolt. La Figura 6.10 permet determinar que la salinitat en aquest punt correspon a una barreja entre l'aigua que prové dels runams de la mineria, que hauria de tenir un rang isotòpic de 18 a 21‰ i un altre font, possiblement de la surgència de Conangle Alt, amb valors isotòpics de 4‰.

D'altre banda, la composició isotòpica de l'aigua indica que la zona de recàrrega de l'aigua de l'aqüífer és similar per a les tres mostres de Conangle, fet que afegeix més incertesa a la interpretació de les mostres de Conangle alt i mig

En aquest cas, el ^{226}Ra de Conangle Baix també, mostra valors similars als de Fusteret i les de la Vall de Soldevila, indicant un baix temps de residència coherent amb un origen de la seva salinitat en les activitats mineres.

En aquest cas el ^{224}Ra i ^{228}Ra indiquen la presència d'argiles a la zona. La mina de Vilafrunys s'utilitzava la tècnica de cristallització fraccionada en el seu procés de separació de la silvinita i de l'halita. Per aquest motiu aquesta escombrera, a diferència de la resta d'escombreres que han utilitzat el procés de flotació mineral, conté una quantitat d'argiles molt superior a les escombreres de Súria, Sallent i Cardona. El radi sovint s'adhereix a la superfície de les partícules i el seu transport es basa en l'adsorció sobre col·loides i partícules en suspensió, sobretot argiles i hidròxids de metalls (Porcelli i Swarzenski, 2003). Per això els isòtops de ^{224}Ra i ^{228}Ra tenen valors alts en aquesta zona, ja que la presència d'argiles és molt més elevada que a la resta de zones estudiades. (Figura 6.13 i 6.14) El ^{228}Ra afirma que la mostra de Conangle Baix està afectada pels runams de Vilafrunys, cosa que permet complementar les dades de la composició isotòpica del sulfat.

5. Surgència de l'Illa:

El piezòmetre situat al polígon industrial al sud del municipi de Sallent, es troba sobre d'una surgència d'aigua salada que és recollida per el col·lector de salmorres per evitar la salinització del riu Llobregat. Aquest fet indica que hi ha indicis de que les diferents surgències que apareixen a la llera del riu Llobregat provenen del runam de la Botjosa i del Cogulló i són recollides i transportades al col·lector de salmorres.

En els resultats de l'anàlisi químic mostren que la concentració de nitrats és relativament alta, d'uns 33 mg·L⁻¹, indicant una aportació de fertilitzants apreciables relacionada segurament per la proximitats del cultius d'horts a la zona (Taula 6.4).

Malgrat tot, la salinitat no és tant elevada com en els piezòmetres de Fusteret i la vall de Soldevila, sinó que és molt similar a la surgència de Conangle Alt. En aquesta zona no s'hi pot descartar la influència d'aigües més profundes ja que molt propera s'hi troba la falla del Guix, d'escala Regional que travessa les antigues galeries de la mina Enrique, actualment abandonada. És d'assenyalar que abans dels seu tancament, aquesta mina va ser reblerta per part de l'escombrera.

La composició isotòpica del sulfat dissolt indica que l'aigua de la surgència de l'Illa, correspon a una barreja entre lixiviats miners i una petita aportació de salmorres naturals. Aquesta barreja es pot entendre si considerem que aquestes surgències es relacionen amb la falla del Guix, que talla en profunditat els materials geològics, també talla el runam enterrat de mina Enrique i la pròpia mineralització d'aquesta mina, i finalment la fractura es situa sota el runam del Cogulló i per tant recarrega lixiviats actuals de la Mina de Sallent.

D'altra banda, l'aigua no es troba enriquida amb el ²²⁶Ra fet que confirmaria que es tracta d'aigües recents i per tant l'origen de la salinitat seria principalment a partir de la contaminació minera. Per tant, podria existir una barreja d'aigües en aquest punt, però la influència minera seria superior en qualsevol cas.

6. Surgència de Cal Trist:

És una de les surgències amb menor conductivitat elèctrica i amb menor concentració d'elements químics, per tant seria una de les zones menys contaminades que s'hauran avaluat.

La composició isotòpica del sulfat dissolt indica que la salinitat és d'origen natural (Figura 6.10). Segons Rovira (2008), el runam de Cabanasses està format per materials extrets de les capes superiors de la unitat evaporítica, per tant, els valors isotòpics són iguals als naturals i en aquest cas aquesta tècnica no pot ser usada.

Els valors de ²²⁶Ra en el rang de les mostres d'origen antròpic. Per tant la salinitat d'aquesta mostra deu haver vingut de la influència del Runam de Cabanasses, donant lloc a una marca isotòpica del sofre similar a les d'origen natural però adsorbint els isòtops de radi en baixes quantitats. D'aquesta manera el ²²⁶Ra permet posar de manifest que es tracta d'una contaminació d'origen miner malgrat que la composició isotòpica del sulfat no pot ser utilitzada (Taula 6.8).

7. Santpedor:

Les dues surgències que s'han mostregat al municipi de Santpedor són les surgències de riu d'Or i de Cal Lluçà.

Els resultats de la química bàsica indiquen que tot i les conductivitats baixes hi ha una certa influència antròpica en aquesta zona, ja que la presència de nitrats és relativament elevada (Taula 6.4). Tot i que hi pot haver una influència per activitats agràries i/o ramaderes, la composició isotòpica del sulfat dissolt indica un origen natural de la salinitat a la font de Cal Lluçà (Taula 6.7). D'altra banda el posicionament entre els dos extrems composicionals, miner i natural, en el gràfic bi-isotòpic dels sulfat (Figura 6.11) indicaria que en el cas del Riu d'Or la salinitat correspon aproximadament a un 50% natural i un 50 % miner.

Les concentracions de ^{226}Ra tant de Riu d'Or com Cal Lluçà són similars a les concentracions obtingudes a Santa Maria d'Oló (Taula 6.1), considerada una font natural degut a que no té cap influència de la indústria minera i confirmat pels resultats obtinguts. Si ens baséssim únicament amb els resultats del ^{226}Ra , el fet que les concentracions de ^{226}Ra siguin similars en aquestes tres localitzacions indicarien un origen natural de les tres mostres. Tanmateix l'ús del gràfic bi-isotòpic del sulfat (Figura 6.11) indicaria que en el cas del Riu d'Or tindria una afectació antròpica provinent de l'explotació minera.

La quantitat de bari de les mostres de Santpedor (Figura 6.17) és de les més elevades de totes les mostres estudiades. La Figura 6.18 representa la relació entre el $^{226}\text{Ra}/\text{Ba}$ on s'observa que les mostres de riu d'Or i de Cal Lluçà es troben enriquides en Ra i Ba de forma proporcional entre d'elles probablement degut als processos de desadsorpció de la matriu geològica de la zona. La presència d'altres concentracions de tant de Ba com de ^{226}Ra indicaria que la matriu geològica conté elements alcalino-terris i que l'enriquiment de Ra podria estar associat a la presència d'aquest tipus d'elements a l'aqüífer. Per tant la relació entre el $^{226}\text{Ra}/\text{Ba}$ aportaria informació dels processos de desadsorpció de la matriu geològica (Figura 6.18).

8.- CONCLUSIONS I FUTURES LÍNIES D'ESTUDI

8.1.- CONCLUSIONS

Aquest projecte identifica una sèrie de fonts i surgències salades en alguns municipis de la comarca del Bages dels quals s'analitza l'origen de la salinitat amb diferents traçadors isotòpics. Els seus orígens es podrien classificar en: aigües influenciades per la mineria, les aigües amb un origen natural i aquelles barreja de les dues o amb continguts de fertilitzants provinents dels camps agrícoles.

Els resultats demostren que la utilització de l'isòtop del sofre i de l'oxigen dels sulfats ($\delta^{34}\text{S-SO}_4$ i $\delta^{18}\text{O-SO}_4$) són molt útils per estudiar la procedència de la salinitat a les diferents surgències salines que s'han estudiat.

La utilització dels radioisòtops del radi, aporta noves informacions sobre l'origen i el comportament de l'aigua en aquesta zona.

L'enriquiment dels isòtops de Ra de vida curta (^{224}Ra i ^{223}Ra) a totes les fonts estudiades indiquen que el temps de trànsit de l'aigua pels runams salins és proporcional als seus períodes de desintegració o que aquest enriquiment es produeix al llarg del subsòl. Per tant l'absorció d'aquests és similar en tots els casos i no permet la seva utilització per diferenciar els orígens de la salinitat.

El comportament del ^{228}Ra , a priori, semblava un bon traçador ja que el seu període de semidesintegració de 5,75 anys, hauria de ser suficient com per determinar l'origen de la salinitat en la major part dels casos. No obstant això, s'observa que les dues fonts naturals contradictoris, el que ens fa descartar aquest isòtop com a traçador. Desconeixent la causa d'aquesta diferència i caldria ampliar l'estudi amb més mostres per tal de tenir més informació per explicar el comportament de ^{228}Ra . De totes maneres les diferències en les anàlisis químiques elementals de les dues mostres indiquen que la seva composició és molt diferent.

El ^{226}Ra és el radioisòtop que ha proporcionat més informació més rellevant sobre l'origen de les diverses mostres. Les diversos graus d'enriquiment de ^{226}Ra en les diverses mostres indicarien que aquest radionúclid estaria molt més enriquit en aquelles mostres amb un origen natural, mentre que aquelles mostres influenciades per la mineria tindrien concentracions relativament baixes. Tot i que caldria confirmar aquesta hipòtesi amb més mostres, l'ús de ^{226}Ra representaria una nova metodologia de treball per discriminar l'origen de la salinitat i diferenciar entre els orígens naturals i miners de les diverses aigües dels subsòl de la comarca del Bages.

S'ha de tenir en compte que en alguns casos hi ha una elevada influència local i que, per tant, la hidroquímica bàsica és un requeriment important que complementa els resultats dels diversos isòtops. Altres elements químics estudiats, com per exemple els nitrats, aporten una informació addicional que permetria confirmar si hi ha una influència local en aquestes zones degut a l'aportació de fertilitzants agrícoles.

Aquests resultats són importants per determinar l'impacte dels residus miners en el medi, aportant noves informacions sobre l'origen de la contaminació. L'ús d'aquests radionúclids

permetria a la indústria minera conèixer si les concentracions de salinitat present a l'aqüífer es responsabilitat de la pròpia indústria i per tant permetria millorar el tractament dels seus residus i disminuir el seu impacte envers el medi ambient. Aquest fet comportarà un valor afegit a la responsabilitat de l'empresa respectant el seu entorn i la població gaudirà d'una millor qualitat de l'aigua de la zona.

Disminuir la salinitat a la conca del riu Llobregat és important per a la població de tota la província de Barcelona, que s'abasteix d'aquesta aigua. Per tant, l'increment de la contaminació, en aquest cas l'elevada salinitat, s'ha de controlar i reduir en la mesura del que sigui possible.

La salinitat d'origen natural aportarà una salinitat moderada al riu i l'increment de surgències salines al llarg del curs mitjà del riu, incrementarà la salinitat substancialment. Per tant, si s'aconsegueix reduir les que no són d'origen natural, la salinitat es mantindrà dins d'uns nivells acceptables. Reduint la salinitat s'obtindrà un menor impacte en el medi natural, la reducció dels costos del tractament de l'aigua i una reducció en l'impacte paisatgístic de la zona.

Actualment, hi ha una gran inversió a les mines de potassa de Sùria per a la seva ampliació en extracció i producció. Les grans inversions que es duren a terme en aquesta zona donaran com a resultat un impuls socioeconòmic als municipis afectats. Tot i així, aquestes també han d'incloure la protecció del medi natural. Per tant aquest estudi que ara es presenta, aporta una nova tècnica que pot ser utilitzada en un futur per controlar la salinització de les aigües.

8.2.- FUTURES LÍNIES D'ESTUDI

El present projecte ha de ser l'inici d'un estudi molt més ampli on caldria augmentar el número de punts mostrejats i el seu mostreig temporal ja que la confirmació de l'ús del ^{226}Ra com a traçador permet definir noves línies de treball per confirmar l'origen de la salinitat a la conca del riu Llobregat i Cardener. De forma detallada les futures línies d'estudi haurien de ser:

- 1.- L'anàlisi de l'aigua salada als municipis d'Oló i Avinyó durant un rang temporal d'un any per identificar variacions de la concentració isotòpica causades per les precipitacions de la zona i així determinar si la zona de recàrrega de l'aigua té una influència directa amb les precipitacions.
- 2.- Redissenyar la zona de mostreig ampliant el nombre de mostres per a poder discriminar millor l'origen, augmentar el nombre de zones amb un origen incert i les d'origen natural. A més també s'hauria d'analitzar els llixiviats miners i la seva concentració de ^{226}Ra .
- 3.- En estudis futurs utilitzar els traçadors més importants que s'han determinat fins ara, que són els isòtops de l'oxigen i el sofre del sulfat ($\delta^{34}\text{S-SO}_4$ i $\delta^{18}\text{O-SO}_4$) i ampliar-los mitjançant els isòtops del radi ^{226}Ra i el ^{228}Ra , el qual s'hauria de confirmar el seu ús com a traçador. També es podrien incorporar altres isòtops estables com el quocient $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ per avaluar la influència dels fertilitzants a la zona (Vitòria et al., 2004).

4.- Fer un seguiment temporal dels piezòmetres afectats pel runam de Vilafrunys, el qual està restaurat i així comprovar l'èxit i/o eficiència de la restauració realitzada. També s'hi inclourien les surgències afectades pel runam de la Botjosa, actualment en desús però no restaurat. Comparar els resultats amb anàlisis de les aigües subterrànies del municipi de Cardona on els runams miners són reutilitzats per a la producció de sal comuna i veure si l'afectació a les aigües subterrànies ha disminuït conforme el residu miner també ho ha fet. A partir dels resultats determinar un mètode de tractament òptim per als residus miners, ja que el runam del Cogulló de Sallent, el de més grandària i capacitat, deixarà d'estar actiu l'any 2014 i serà necessària una restauració completa de la zona.

5.- Ampliar l'estudi a piezòmetres profunds per tal de determinar l'ús del radó com a traçador. A les fonts naturals estudiades la mesura del radó no ha estat fiable ja que és possible que existeixi una alta exhalació en el moment de recollida de les mostres. Per tant caldria fer un mostreig millor que permetés obtenir uns resultats fiables que es puguin comparar amb la resta de localitzacions. La utilització de piezòmetres ens permetria obtenir una informació fiable respecte a l'anàlisi del radó i es fa necessari realitzar un anàlisi en un piezòmetre en que l'aigua subterrània es trobi en contacte amb els sediments salins.

6.- Analitzar l'afectació de la salinitat en el medi natural a la vall de Soldevila, Conangle i la riera d'Hortons i comparar-ho amb la zona d'Avinyó i Santa Maria d'Oló on la salinitat és natural. Comprovar diferències entre les diferents zones i realitzar un protocol de restauració de les zones més afectades.

7.- A nivell social també hi hauria diferents estudis a realitzar en un futur, per identificar l'impacte dels runams salins sobre la població. Per exemple, s'hauria d'avaluar la percepció de la població que té sobre l'impacte paisatgístic dels runams miners. Determinar el grau d'importància que la societat dóna al problema de la salinització de les aigües de la conca del riu Llobregat i Cardener. A més, s'hauria d'avaluar que el gran creixement que es preveu d'extracció de mineral no comporti un augment de la salinització de les aigües. És una qüestió que s'ha de tenir present i valorar degut a que la seva afecció sobrepassa les comarques on es produeixen les extraccions mineres.

9.- BIBLIOGRAFIA

- Agència Catalana de l'Aigua. (1999) Protocol de mostreig d'aigües Subterrànies.
- Antich, N., Canals, Á., Soler, A., Darbyshire, D.P.F., Spiro, B.F. (2000) The isotope composition of dissolved strontium as a tracer of pollution in the Llobregat river, northeast Spain. TraM'2000 Conference held. Liège: 2000. IAHS. Núm. 262, p.207-21.
- Badia, J. (2001) La salinització de la conca del Cardener-Llobregat al Bages. Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural. vol. 69. p.127-138.
- Burnett, W. i Dulaiova, H. (2003) Journal of Environmental Radioactivity 69, 21-23. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. Journal of Environmental Radioactivity 69, 21-35
- Charette, M.A., Buesseler, K.O. i Andrews, J.E., (2001) Utility of radium isotopes for evaluating the input and transport of groundwater-derived nitrogen to a Cape Cod estuary. Limnol.Oceanogr. 46, 465-470
- Eikenberg, J. (2002) Radium isotope Systematics in Nature: Applications in Geochronology and Hydrogeochemistry. Tesis doctoral. Earth Science Department Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich
- Eisenbud, M. and Gesell, T. (1997) Environmental Radioactivity. From Natural, Industrial, and Military Sources. Quarta edició. Academic Press.
- Fàbrega, C. (2006) Quan les roques parlen... Ajuntament de Súria. Àrea de medi ambient.
- Fàbrega, A. (2009) Cum Grano Salis, La sal i la potassa a Súria, 1185-1982. Ajuntament de Súria, Iberpotash, S.A.
- Font Soldevila, J. (2005) Comportament de l'aigua subterrània a la vall salada de Cardona. Tesi Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, Manresa.
- Garcia, E. (2009) Submarine Groundwater Discharge in coastal Mediterranean areas by using radium isotopes: Venice lagoon, Minorca and Castelló. Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona
- Història Natural dels Països Catalans, Gran Enciclopèdia Catalana vol.1 i 2.
- IAEA (2003). Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive.
- Iberpotash, Comunicació. (2012) Publicació de Iberpotash, S.A. Núm. 8, 9, 10.
- IGME Dades; World Mineral Statistics 2005-2009, BGS (2009).
- Ivanovich, M. (1992) The phenomenon of radioactivity. *In: Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences.* Ivanovich, M. i Harmon, R. (eds) Clarendon Press, Oxford, 1-33.
- Krest, J., Moore, W., Rama. (1999) ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in the mixing zones of the Mississippi and Atchafalaya rivers: indicators of groundwater inputs. Mar Chem 64,129-152

Li, Y., Chan, L. (1979) Desorption of Ba and ²²⁶Ra from river-borne sediments in the Hudson estuary. *Earth Planet Sci Lett* 43,343-350

López, J.O., (2011) Ra isotopes and Rn as a tool for the water management resources: the Alberquillas Aquifer (Málaga-Granada). Projecte final de carrera de la Llicenciatura de Ciències Ambientals. Universitat Autònoma de Barcelona.

Manzano, M., Soler, A., Carrera, J., Custodio, E. ("Estudio Isotópico del Sulfato del Agua Subterránea en la Zona Afectada por el Vertido Minero de Aznalcóllar (SO Espanya)". *Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía*, Vol 1, p. 71 -81.

Martínez Alfaro, P.E.; Martínez, P.; Castaño, S. (2006) *Fundamentos de Hidrogeología*. Ediciones Mundi-Prensa

Material (NORM) and Technological Options for Mitigation. Technical Report Series No. 419.

Moore, S, Arnold. J. (1996) Measurement of ²²³Ra and ²²⁴Ra in coastal waters using a delayed coincidence counter *Journal of geophysical research* 101, 1321-1329

Moore, W. (1996) Large groundwater inputs to coastal waters revealed by ²²⁶Ra enrichments. *Nature* 380, 612–614.

Ortega, X. i Jorba, J. (1994) *Radiaciones ionizantes: Utilización y riesgos*. Segona edició. Edicions UPC.

Otero, N. (2004) Dades isotòpiques ($\delta^{34}\text{O}$, $\delta^{18}\text{O}$) i anàlisi estadística aplicades a l'estudi de la contaminació a les aigües superficials: el cas del riu Llobregat. Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona.

Otero, N. and Soler, A. (2002) Sulphur isotopes as tracers of the influence of potash mining in groundwater salinisation in the Llobregat Basin (NE Spain). *Water research*. 36,3989-4000

Otero, N. y Soler, A. (2003) La salinización de las aguas subterráneas en la cuenca del río Llobregat: cuantificación de las fuentes contaminantes a partir de datos isotópicos. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*. Núm. 26-A, p. 85-86.

Otero, N. y Soler, A. (2001) Los isótopos de azufre como trazadores de la influencia de la minería potásica en la salinización de las aguas subterráneas de la cuenca del Llobregat (NE España). *Congreso en memoria de Germán Galarza*. Barcelona: IGME. *Temas Aguas Subterráneas*. P. 421-428. ISBN: 84-7840-427-9.

Otero, N. and Soler, A. (2003) Stable isotopes of dissolved sulphate as tracers of the origin of groundwater salinisation in the Llobregat River (NE Spain). *Extended Synopsis of the International Symposium on Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management*, IAEA, Vienna, p. 190-191

Otero, N., Vitòria, L., Soler, A., Canals, A. (2005) "Fertiliser characterisation: Major, trace and rare earth elements". *Applied Geochemistry*, 2005, núm.20, p. 1473-1488.

- Pociask, J. (2000) Coal mining activity and radium isotope contamination of river water in Silesia, Polan. *Interdisciplinary Perspectives on Drinking Water Risk Assessment and Management*. IAHS Publ.n.260
- Porcelli D, Swarzenski PW. (2003) The behaviour of U- and Th series nuclides in groundwater and the tracing of groundwater. *Rev Mineral Geochem*; 52,317–61.
- Pueyo Mur, J.J. (1974) Estudio petrológico y geoquímico de los yacimientos potásicos de Cardona, Suria, Sallent y Balsareny. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.
- Pueyo, J. J., Saez, A. (1986) La Muntanya de Sal de Cardona. Sortides de camp. Set itineraris per la Catalunya Central. 1r Sypòsium sobre l'ensenyament de les Ciències Naturals. Vic: Eumo Editorial.
- Ribera, F., Dorca, H., Otero, N., Palau, J., Soler, A. (2010) Hydrogeological studies in diapiric-layerins salt formation: The eastern part of the Catalonian Potassic Basin. *Groundwater Quality Sustainability*. Cap 9, p. 109-117
- Ribera, F., Soler, A., Helena, D., Otero, N., Palau, J., Escuder, R., Puig, R. (2009) Impacto ambiental de la Escombrera Minera de Vilafrunys (Barsareny, Barcelona). *macla* n.11. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía.
- Ribera, F. *et al.*, 2009. Estudio hidrogeológico de la cuenca potásica catalana en el entorno de Sallent y la antigua Mina Enrique. Provincia de Barcelona (España). *Boletín Geológico y Minero*, 120 (4): 607-616 ISSN: 0366-0176
- Rodellas, V. (2008) Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del Mediterrani Occidental. Treball final de Carrera de Ciències Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Rovira, M. (2008) La conca salina i la qualitat de l'aigua del riu Llobregat. Tesi doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Manresa.
- Soler, A., Canals, A., Goldstein, S.L., Otero, N., Antich, N., Spangenberg, J. (2002) Sulphur and strontium isotope composition of the Llobregat river (NE Spain): tracers of natural and anthropogenic chemicals in stream waters". *Water, Air and Soil Pollution*, núm. 136, p. 207-224.
- Soler, A., Rovira, M., Palau, J., Otero, N., Casas, J.M. (2006) El papel de los aditivos de flotación en el impacto ambiental de la minería potásica en las aguas de la cuenca del río Llobregat (NE España). *Macla*, núm. 6, p. 461-465.
- Stanislaw, C., Michalik, B., Wysocka, M., Skubacz, K., Mielnikow, A. (2001) Contamination of settling ponds and rivers as a result of discharge of radium-bearing waters from Polish coal mines. *Journal of Environmental radioactivity* 54,85-98.

Sun, Y. y T. Torgersen. (1998) The effects of water content and Mn-fiber surface conditions on ^{224}Ra measurement by ^{220}Rn emanation. *Marine Chemistry.*; 62, 299–306.

Vall, S. (2008) Impacte ambiental de la sal en el medi natural: els runams salins de Sallent i Súria. Treball de recerca de l'Institut Quercus de Sant Joan de Vilatorrada.

Vitòria, L., Soler, A., Aravena, R., Canal, A. (2001) La contaminación agrícola por nitratos en aguas subterrneas: Caracterización a partir de datos hidrogeoquímicos e isótopos estables (N, O, C, S). Congreso en memoria de Germán Galarza. Barcelona: IGME, 2001. ISBN 84-7840-427-9.

Vitòria, L., Otero, N., Soler, A., Canals, A. (2004) Fertiliser Characterisation: Isotopic Data (N, S, O, C and Sr). *Environmental Science & Technology*, 2004, vol. 38, p. 3254-3262.

Webster I. T., Hancock G., Murray A. S. (1994) On the use of radium isotopes to estimate sediment flushing rates in an estuary. *Limnol. Oceanogr.* 39, 1917-1927.

Webster, I.T., Hancock, G., Murray, A. (1995) Modeling the effect of salinity on radium desorption from sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 59, 2469-2476.

Pàgines web;

Web Plataforma Prousal! www.prousal.com

Web Montsalat www.montsalat.com

Web Iberpotash S.A. www.iberpotash.es

Web de l'Agència Catalana de l'Aigua: www.gencat.cat/aca

Web de Insituto Minero y Geològico Español: www.imge.com

Web de Asociacion Ibérica de Fabricantes de sal: www.asafal.com

Web del diari Ara: www.ara.cat

Web del diari Regió7: www.regio7.cat

Web del La Vanguardia: www.lavanguradia.com

10.- ANNEX

Taules complertes dels resultats de les anàlisis

Taula A1. Paràmetres Camp i Metalls Majoritaris

mostra	balanç carregues error (%)	Paràmetres Camp			Metalls Majoritaris								
		pH	EC camp	EC	K	Na	Mg	Ca	Sr	P	S	B	Si
					mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹
Conangle Mig	9	7	11	11	16	1652	185	684	13	0,8	732	0,4	4
Conangle Alt	6	7	32	32	25	6165	284	975	17	0,2	988	0,8	4
Conangle Baix	24	7	120	120	4175	28988	1035	1290	31	7	1380	1,6	3
Cal Trist	9	8	12	12	23	1999	140	344	10	0,5	82	0,2	5
Lluçà	22	7	23	23	510	2869	690	944	34	3	248	n.d.	4
Riu d'Or	21	7	47	47	2632	6937	1049	841	26	3	272	0,1	4
Avinyó	1,7	7	51	51	390	11174	224	857	20	2	1000	2	5
Oló	21	7	56	56	39	12914	215	949	30	5	1139	2	5
Illa	22	7	29	29	2000	4136	448	391	8	1,7	233	0,9	5
Fusteret	25	7	142	142	9706	28025	3527	1566	77		688	n.d.	2
Soldevila	28	6	242	242	18182	86948	4145	647	17	12	4816	3	1,5
Zona 0	97	7	246	246	25156	78359	5353	749	22	18	4350	3	1,0

Taula A2. Metalls Traça

mostra	Metalls Traça															
	Ba	Li	Fe	Mn	Zn	Al	Se	As	Cr	Pb	Cu	U	Cd	V	Ni	Co
	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
Conangle Mig	16	427	45	23	34	12	41	4	3	0,1	17	16	0,1	5	nd	nd
Conangle Alt	25	1407	42	127	55	11	132	24	8	n.d.	41	3	n.d.	nd	nd	nd
Conangle Baix	58	393	67	28	5	28	233	87	48	0,1	161	27	n.d.	59	nd	nd
Cal Trist	61	230	146	0,7	25	25	46	14	4	0,3	16	4	n.d.	nd	nd	nd
Lluçà	103	147	39	3	78	19	109	10	6	2	58	22	2	13	nd	nd
Riu d'Or	146	98	130	62	89	64	211	41	22	0,0	52	42	2	100	3	nd
Avinyó	25	195	52	62	98	15	12	38	22	n.d.	83	3	n.d.	68	0,3	nd
Oló	34	315	59	78	125	168	8	30	21	n.d.	85	1	n.d.	44	nd	nd
Illa	74	94	133	328	58	17	89	17	7	0,9	35	7	0,1	3	6	4
Fusteret	182	190	59	919	454	37	515	336	113	69	236	28	15	770	14	nd
Soldevila			352					0								
Zona 0	73	250	414	2859	1089	114	1254	400	183	465	482	71	21	214	55	18

Taula A3. Anions majoritaris i DOC

mostra	Anions Majoritaris						DOC
	Cl	NO ₃	NO ₂	NH ₄	SO ₄	HCO ₃	DOC
	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹
Conangle Mig	2250	0,0	0,0	0,2	2153	277	3
Conangle Alt	8970	0,0	0,0	2	3157	212	2
Conangle Baix	39717	46	0,3	1,4	3290	331	3
Cal Trist	3407	5	2	0,2	314	221	1,9
Lluçà	6303	32	0,1	0,2	610	184	3
Riu d'Or	13476	28	0,068	0,2	696	453	2
Avinyó	17070	0,1	0,1	0,9	3038	269	3
Oló	15849	0,014	0,014	1,8	2805	203	2
Illa	7596	33	0,0	0,2	543	594	3
Fusteret	49262	0,0	0,1	6	1579	242	2
Soldevila	116054	28	0,225	2	10998	295	7
Zona 0	49905	101	51	5	13134		9

Taula A4. Isòtops Estables

ISÒTOPS					
mostra	$\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$	$\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$	$\delta^{13}\text{C-DIC}$	$\delta^{34}\text{S-SO}_4$	$\delta^{18}\text{O-SO}_4$
	‰	‰	‰	‰	‰
Conangle Mig	-7	-44	-10	4	14
Conangle Alt	-7	-44	-17	2	14
Conangle Baix	-7	-45	-9	15	11
Cal Trist	-8	-50	-7	14	13
Lluçà	-6	-41	-10	10	12
Riu d'Or	-7	-45	-10	14	9
Avinyó	-7	-47	-17	15	13
Oló	-8	-53	-6	14	13
Illa	-7	-45	-12	16	10
Fusteret	-7	-49	-8	18	8
Soldevila	-7	-46	-11	19	9
Zona 0	-7	-46	-10	19	8

Taula A5. Isòtops radioactius.

mostra	²²³Ra	²²⁴Ra	²²²Rn	²²⁶Ra	²²⁸Ra
	(dpm·100L ⁻¹)	(dpm·100L ⁻¹)	(dpm·100L ⁻¹)	(dpm·100L ⁻¹)	(dpm·100L ⁻¹)
Conangle Mig	33 ± 4	568 ± 43	173750 ± 11006	149 ± 8	204 ± 12
Conangle Alt	50 ± 6	899 ± 54	300000 ± 11000	208 ± 11	231 ± 23
Conangle Baix	138 ± 10	5643 ± 389	233125 ± 11013	426 ± 22	1514 ± 84
Cal Trist	6 ± 1	848 ± 56	n.d.	147 ± 8	55 ± 11
Lluçà	221 ± 15	1881 ± 143	358043 ± 11478	1376 ± 76	780 ± 49
Riu d'Or	183 ± 16	1755 ± 127	1567500 ± 13208	1823 ± 93	578 ± 30
Avinyó	139 ± 16	3183 ± 181	196957 ± 11485	3663 ± 186	433 ± 26
Oló	54 ± 4	2271 ± 124	113478 ± 11491	1700 ± 87	3028 ± 166
Illa	131 ± 12	557 ± 41	525625 ± 11013	584 ± 30	436 ± 25
Fusteret	91 ± 8	2321 ± 133	422857 ± 12571	578 ± 30	736 ± 39
Soldevila	133 ± 9	1343 ± 76	157500 ± 12000	117 ± 6	156 ± 15
Zona 0	154 ± 12	2630 ± 152	153913 ± 11485	108 ± 7	515 ± 30

Perfils realitzats al camp el dia 12 de novembre

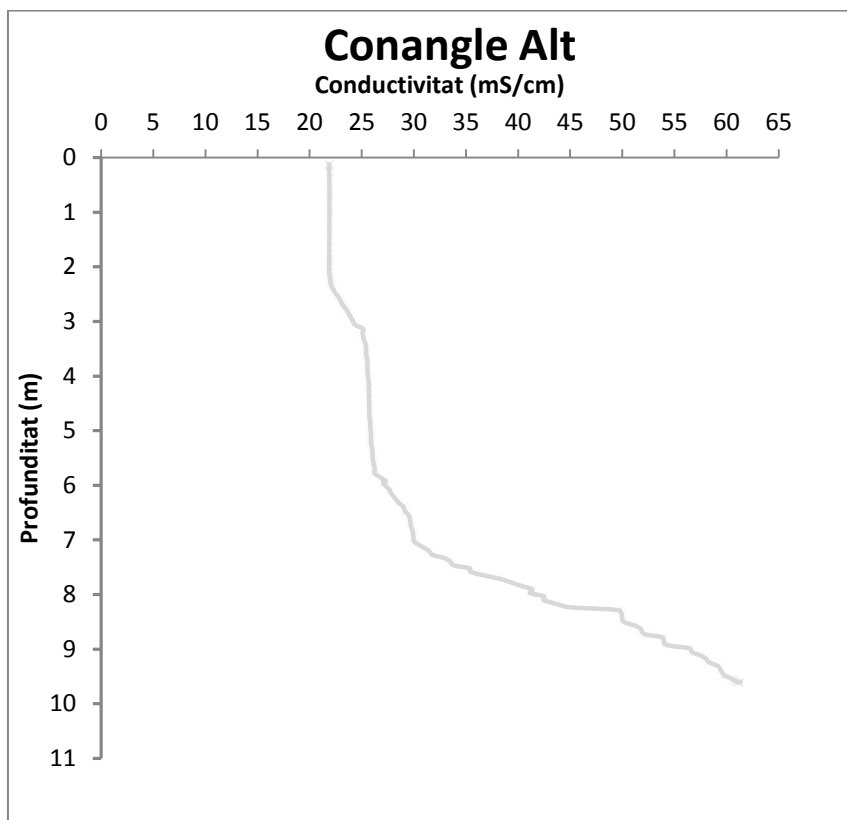


Figura A1. Perfil realitzat abans de recollir la mostra.

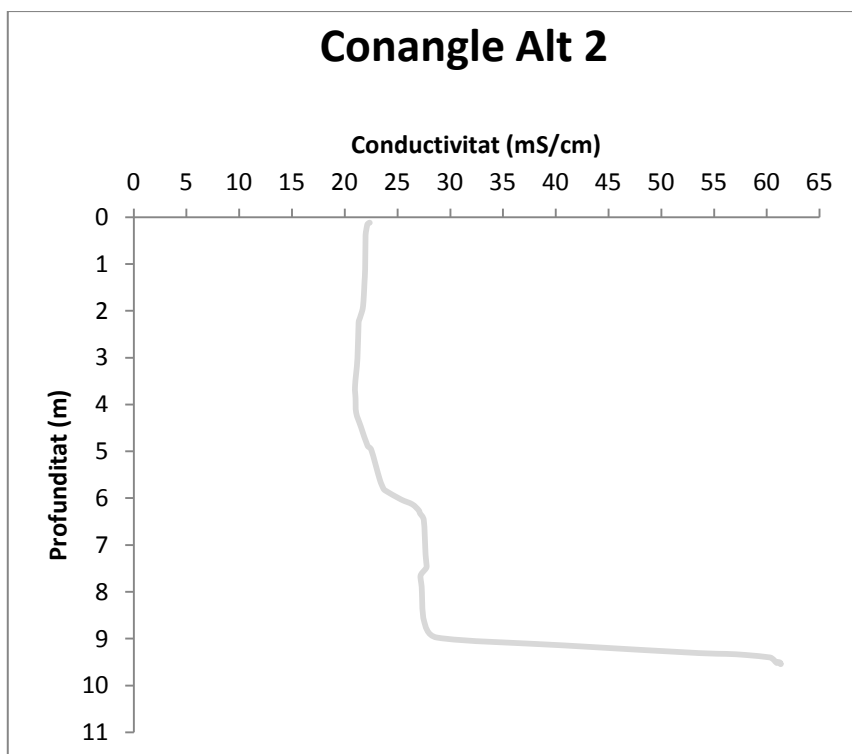


Figura A2. Perfil realitzat després de recollir la mostra.

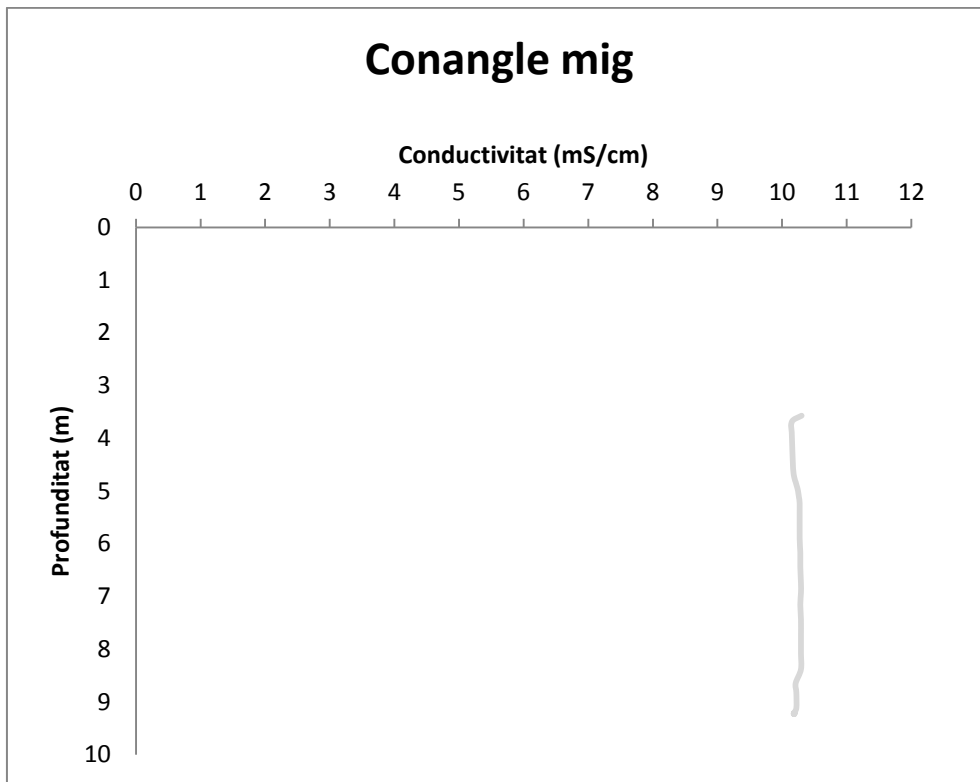


Figura A3. Perfil realitzat abans de recollir la mostra.

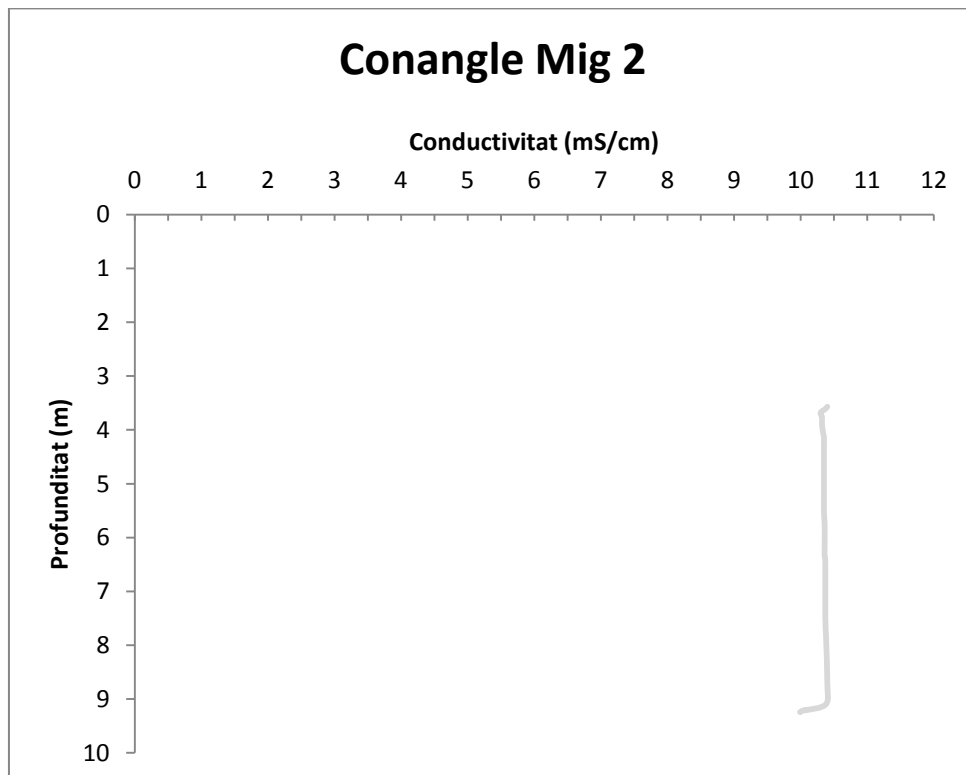


Figura A4. Perfil realitzat després de recollir la mostra.

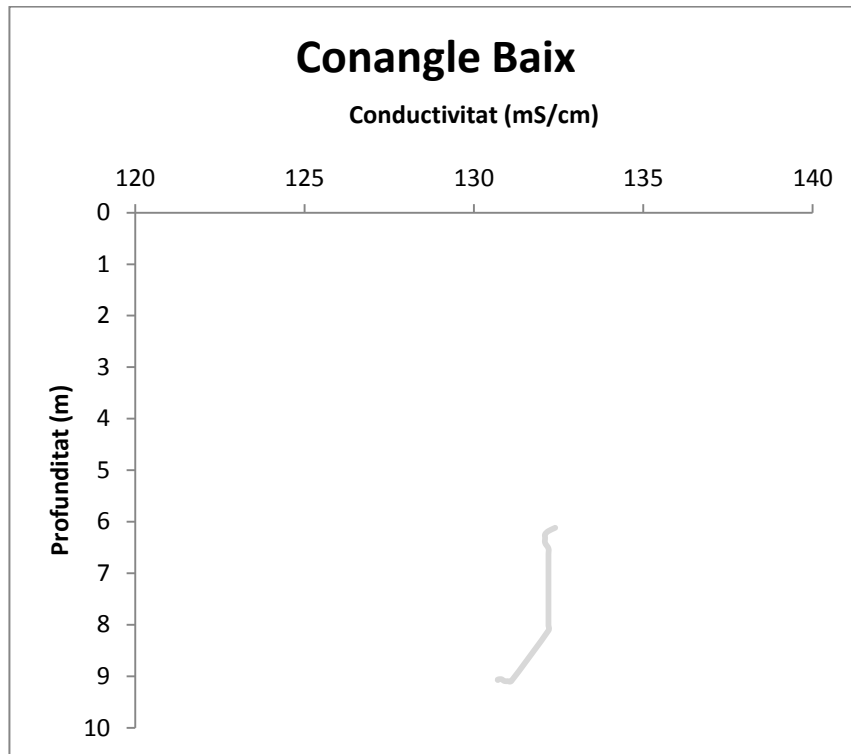


Figura A5. Perfil realitzat abans de recollir la mostra.

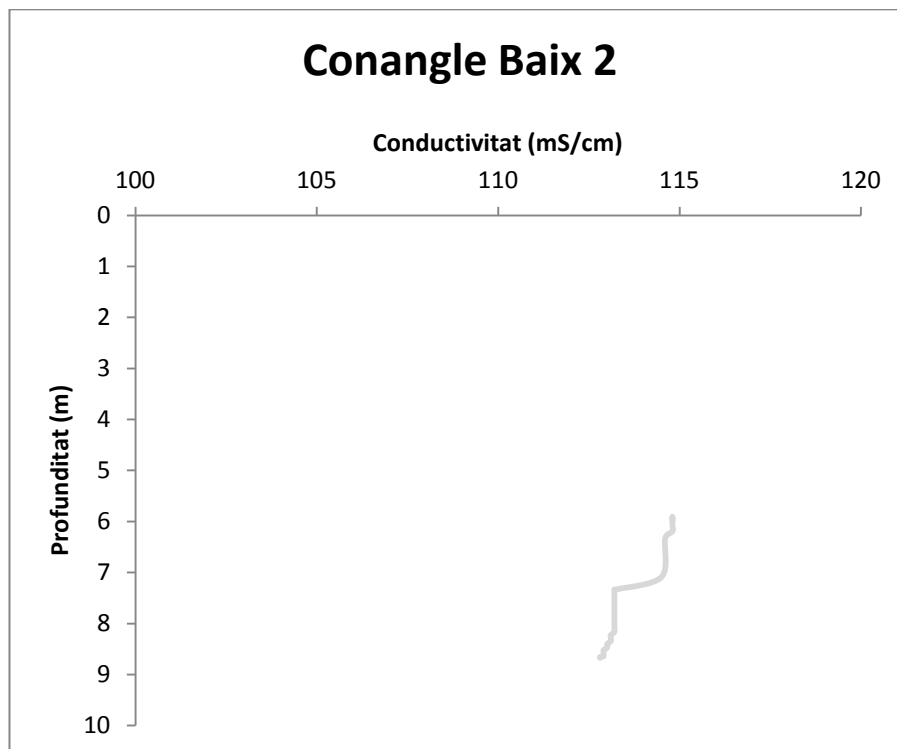


Figura A6. Perfil realitzat després de recollir la mostra.

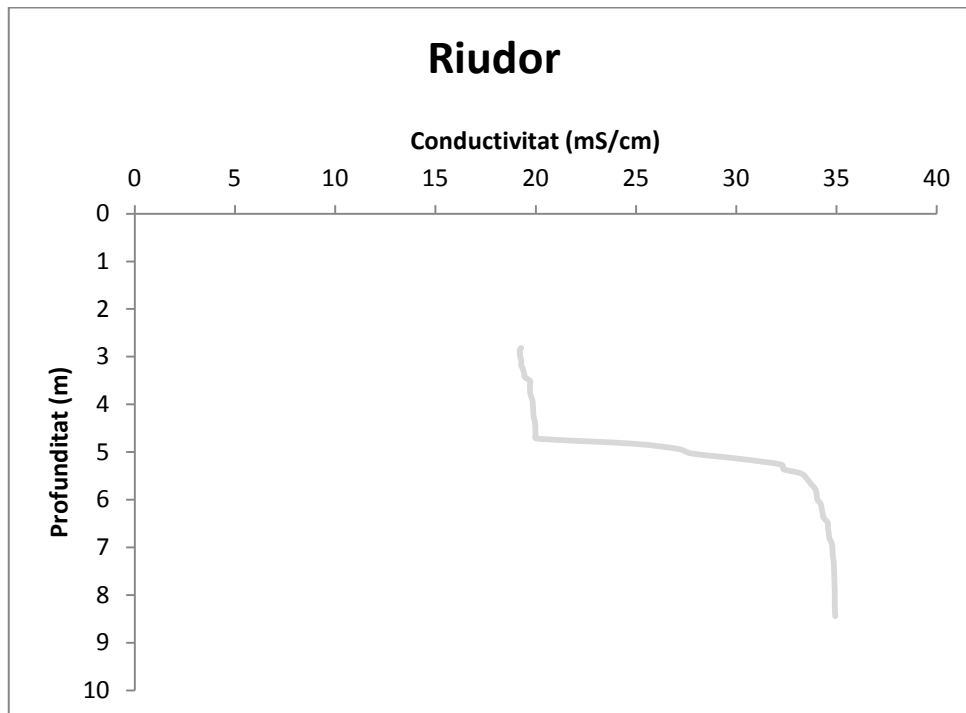


Figura A7. Perfil realitzat abans de recollir la mostra.

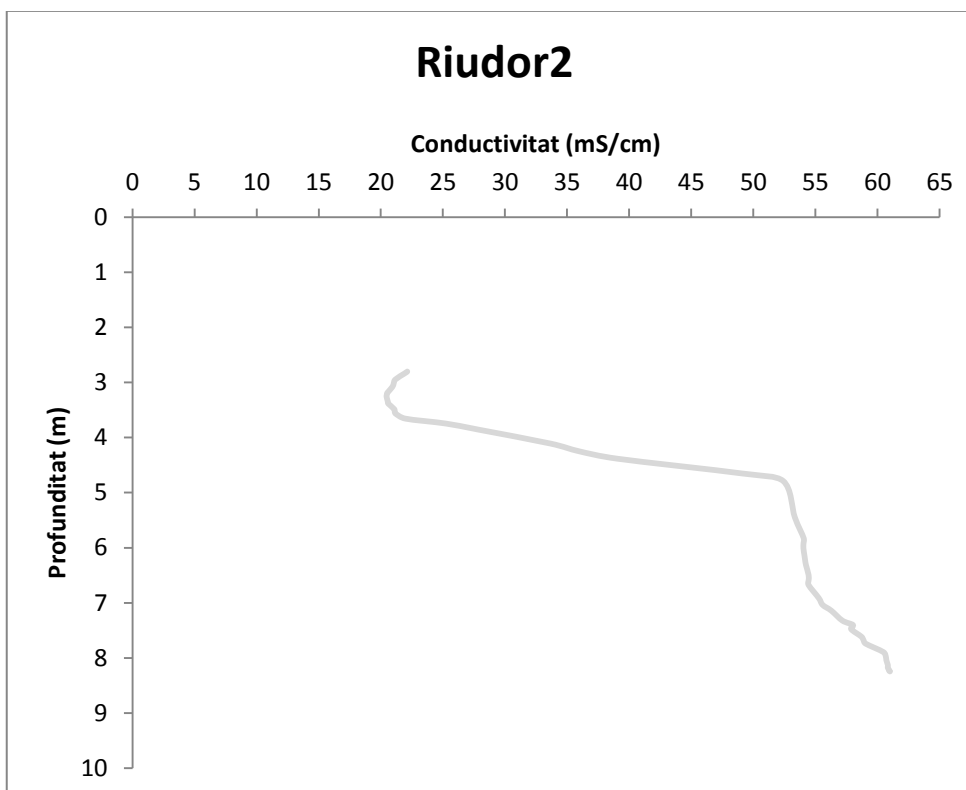


Figura A8. Perfil realitzat després de recollir la mostra.

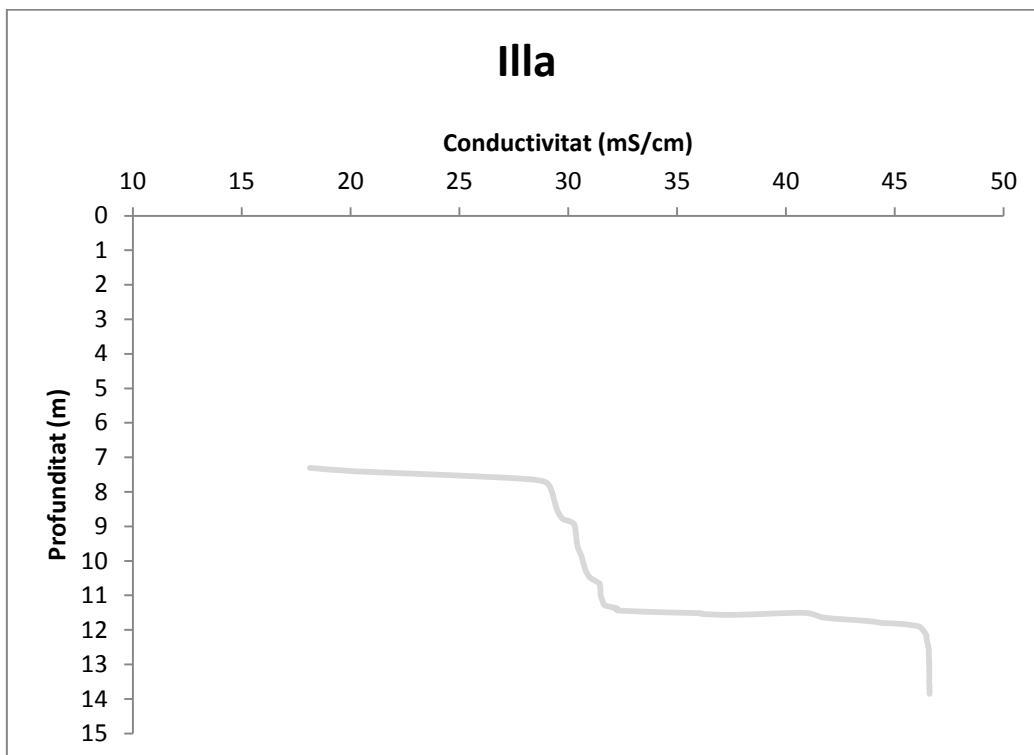


Figura A9. Perfil realitzat abans de recollir la mostra.

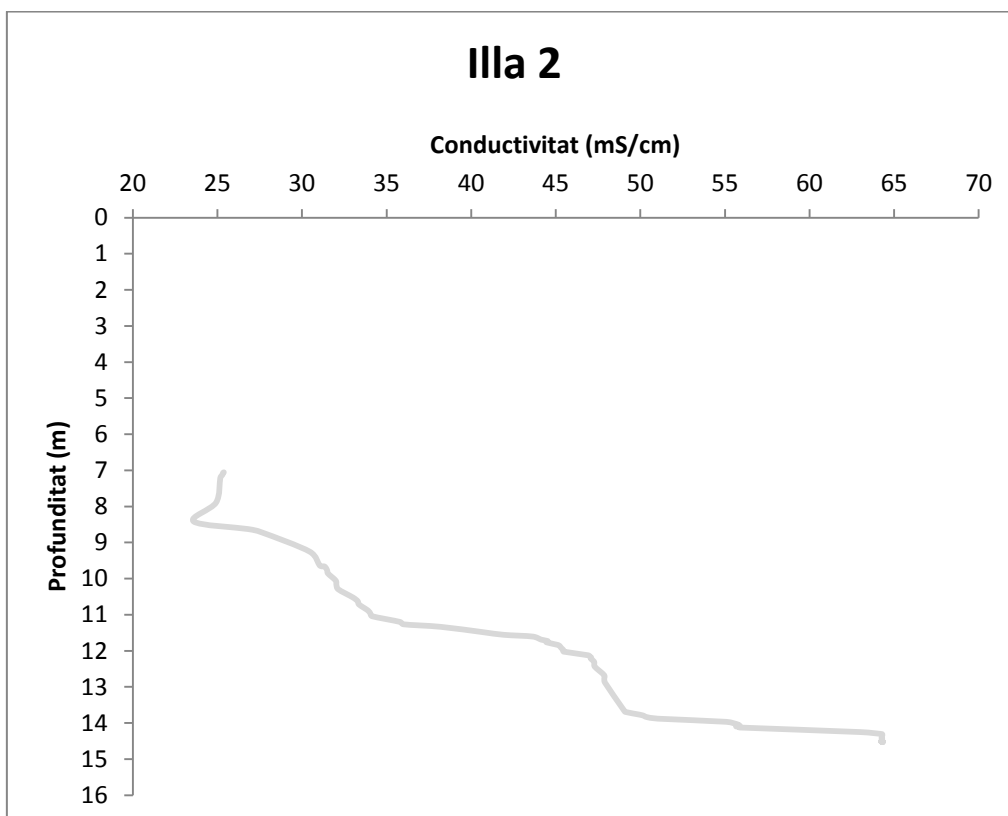


Figura A10. Perfil realitzat després de recollir la mostra.

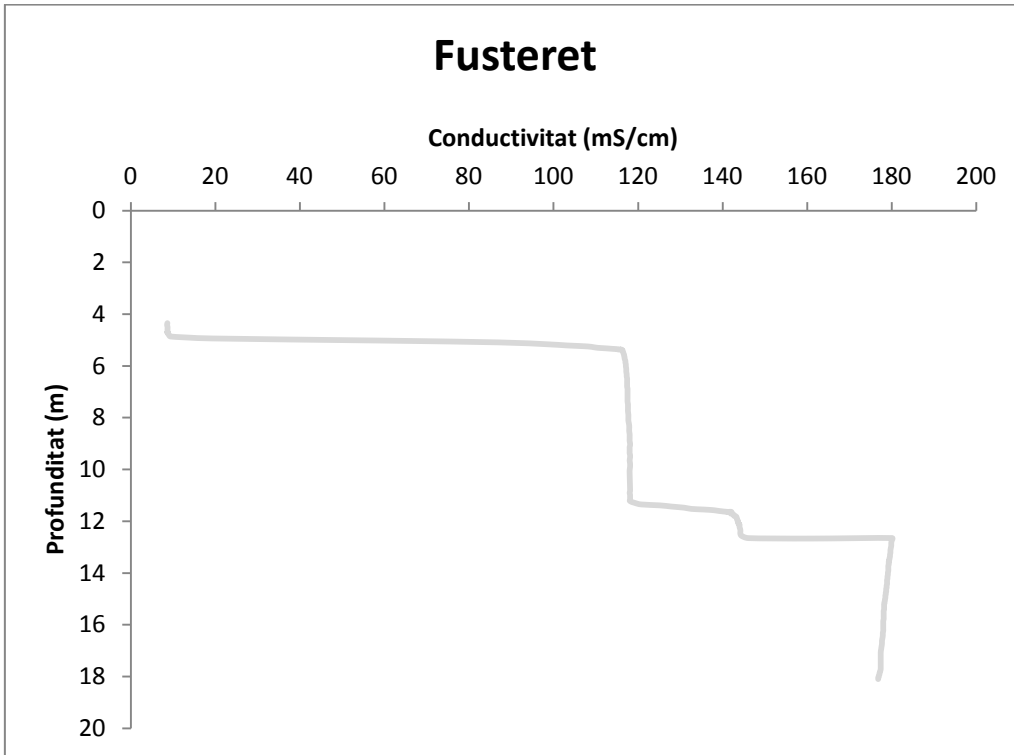


Figura A11. Perfil realitzat abans de recollir la mostra.

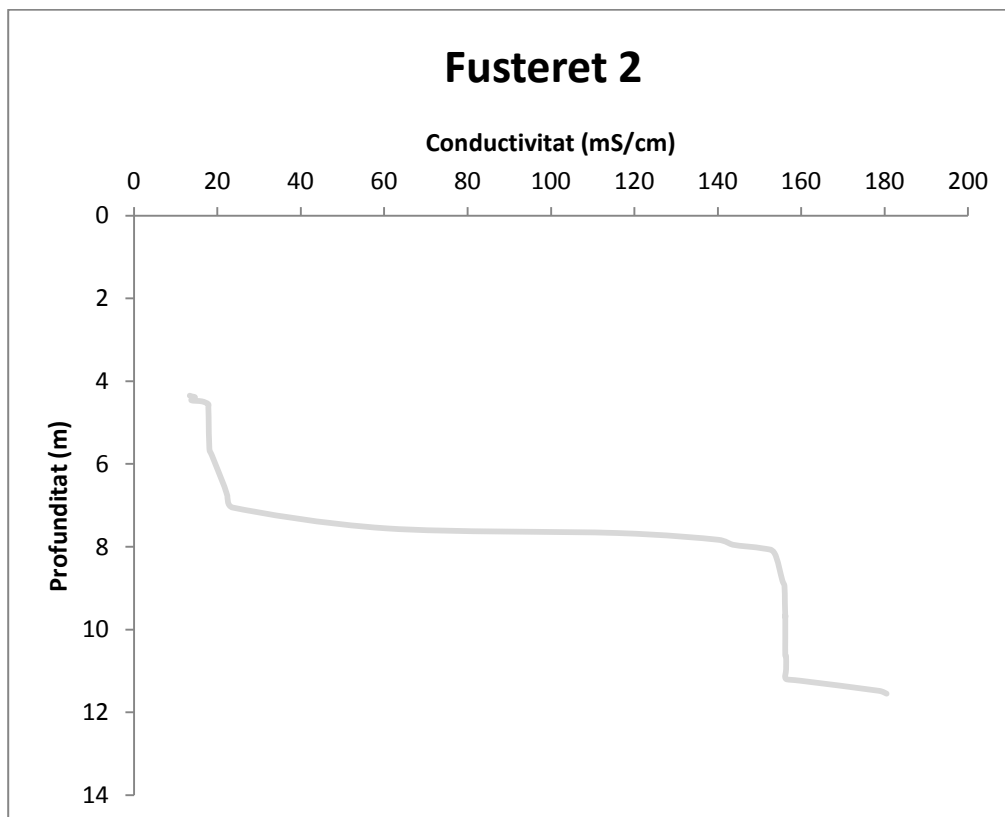


Figura A12. Perfil realitzat després de recollir la mostra.

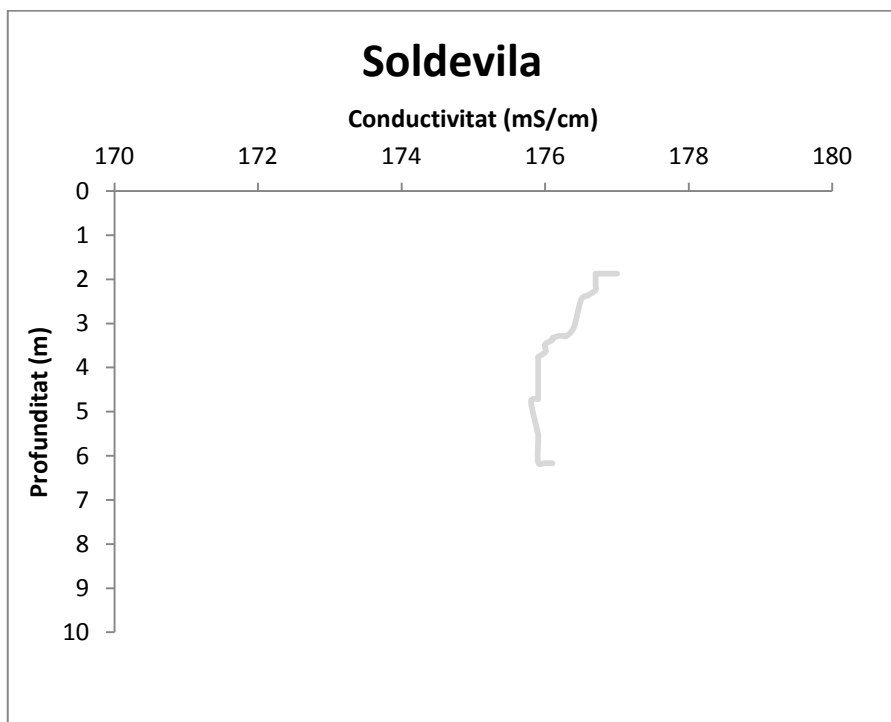


Figura A13. Únic perfil realitzat abans de recollir la mostra a causa de la seva poca profunditat.

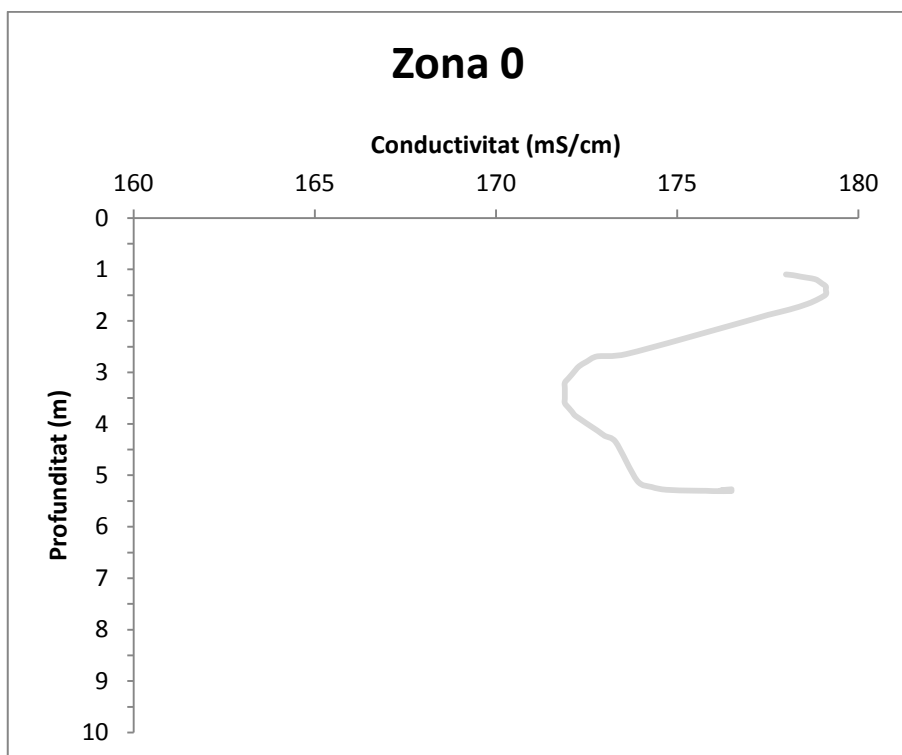


Figura A14. Únic perfil realitzat abans de recollir la mostra a causa de la seva poca profunditat

Fotos realitzades al camp el dia 24 de novembre de2012



Figura A15. Surgència Avinyó



Figura A16. Surgència Zona 0



Figura A17. Surgència Cal Lluçà



Figura A18. Torrent de Conangle



Figura A19. Impacte al medi Soldevila



Figura A20. Surgència de Riu D'or



Figura A21. Alta inclinació dels estrats a Santa Maria d'Oló

