

APROXIMACIÓ A LES AIGÜES FERRUGINOSES DEL PALEOZOIC DE LES MUNTANYES DE PRADES. EL MODEL DE POBLET

Eloi JOSA, Jordi MATEU, Josep M. GAYA,
Josep M. SANS i Jordi LLORENS

AGRAÏMENTS

El plantejament del treball, la cura, el seguiment, les estones perdudes... tot plegat ho devem a les barbes d'en Joan Carles Melgarejo, professor del Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona. Estem cofois del recer del CHNCB —Centre d'Història Natural de la Conca de Barberà— en el caire d'investigació, divulgació i proteccionisme que, en definitiva, ens ha permès conèixer millor el nostre entorn. Al Dr. Xavier Solans, professor del Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona; als Serveis Científico-Tècnics de la Universitat de Barcelona; als monjos de Poblet; al GIEM (del CEM) —Grup d'Investigacions Espeleològiques de Montblanc—; a la paciència dels nostres pares i a tots els altres que ens heu donat aire en la caiguda al buit; gràcies per dur-nos el premi del Congreso de Jóvenes Investigadores 1994. Al Centre d'Estudis de la Conca de Barberà, li agraïm que pugueu tenir a les mans el resultat del treball en equip, perquè la realitat és més amena d'allò que ens pensem... i a tu.

INTRODUCCIÓ

A la vora del monestir de Poblet, hi xipolleja l'aigua de la font de l' Abat Siscar; hi ha dos brocs amb el rètol: "ferro", i un tercer, al mig d'ambdós, retolat: "magnèsia". Les fonts brollen unes aigües que, des de temps ençà, s'han aprofitat per a guariments, gràcies a l'alta mineralització que presenten. El Dr. J. R. Bataller (1933) classifica aquestes aigües com a ferromanganeso-bicarbonatades radioactives a 16°C, pel seu contingut d'aquests elements. *Fig. 1.*

Els balnearis de la zona de les Masies, al costat del monestir, són importants per la seva font de Ferro, que només raja ocasionalment quan cauen pluges intenses. Té un ús medicinal, com l'anterior. La intermitència de les seves aigües només ha permès el seu estudi quan s'han produït importants avingudes d'aigua.

Coneixem l'existència de nombroses fonts de ferro. Sense anar gaire lluny, a les muntanyes de Prades en podem comptar quatre; altres fonts amb característiques semblants, o amb la mateixa anomenada, les trobem als Pirineus catalans. Entre una llarga llista, podem citar un cas a Granada. Per tant, no es tracta d'un fenomen aïllat, sinó que s'escampa per la geografia amb unes connotacions puntuals.

En aquest treball establim les interrelacions que hi ha entre la mineralogia de l'àrea font i el contingut —sobretot, en ferro— de les aigües de la font.

OBJECTIUS

L'objectiu del treball és, a partir del cicle d'una font d'aigües minerals ferruginoses, proposar el model de Poblet, que correlaciona la mineralogia de l'àrea font, les mineralitzacions associades al marc hidrogràfic i el quimisme de les aigües minerals. El cicle queda descrit amb un diagrama evolutiu de les paragènesis minerals reals i amb un gràfic que il·lustra a escala el procés global. El model de Poblet és un diagrama elèctrico-químic que intenta explicar el comportament dels elements bàsics del cicle.

La mineralogia de l'àrea font comprèn la geologia de les muntanyes de Prades. Les roques i el seu contingut estan implicats en l'aportament mineral a les aigües.

Les mineralitzacions associades al marc hidrogràfic són les fases minerals secundàries, la gènesi de les quals és fruit de l'acció meteòrica sobre l'àrea font.

L'aportament mineral a l'aigua de les fonts és un pas intermedi, ja que el seu contingut variarà amb el temps i l'espai si deixa l'àrea on s'ha enriquit.

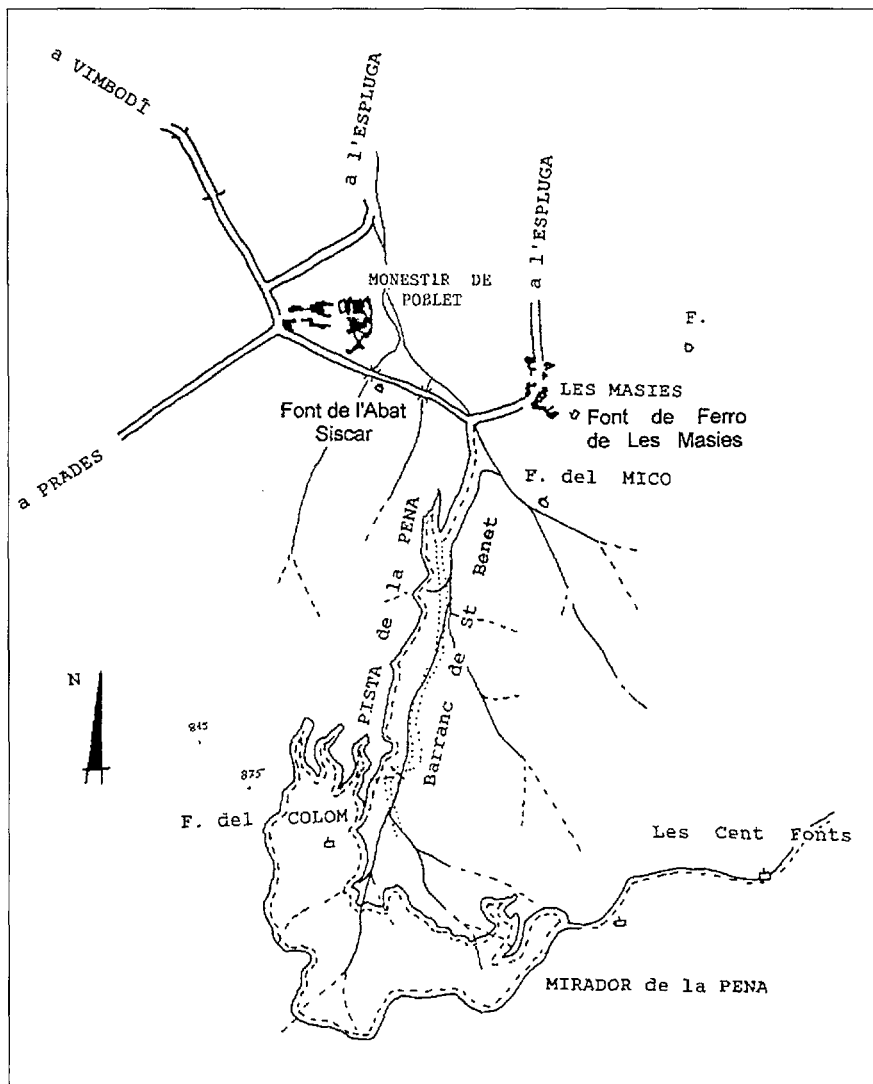


Fig. 1. Mapa-esquema de les fonts que hi ha al vessant del monestir de Poblet. Es troben dins del terme municipal de Vimbodí-Poblet. (Elaboració pròpia)

En aquest pas ens interessa que les propietats químiques no variïn per l'ús humà pel que fa a potabilitat i —per què no?— a la possibilitat d'embotellar.

El segon objectiu és intentar establir totes les condicions per les quals s'emmarca el cicle d'aigües ferruginoses. Per això el contingut específic de les mineralitzacions associades a una geologia acostuma a ser constant; però l'alteració supergènica de sulfurs no es desenvolupa només quan plou. Per la confecció completa del cicle cal el seguiment anual de les reaccions supergèniques amb tots els condicionants. A partir d'aquí el quimisme concret de les aigües experimentarà una variació anual talment com les reaccions que afavoreixen aquest quimisme.

El recull bibliogràfic aporta moltes dades que es trobaven disperses. El treball se centra exclusivament en l'àrea del Bosc de Poblet, amb les fonts de ferro que s'hi troben. En conjunt, es tracta d'un estudi local que més endavant es podrà aplicar a aigües amb fenomenologia semblant.

El tercer objectiu és relacionar el diferent quimisme que es produeix entre les aigües de la font de Ferro i les aigües de la font de la Magnèsia. Els paràmetres poden ser molt diversos, però una geologia acurada—cartografia geològica de la zona i de les mines recol·lectores— respecte a la permeabilitat del massís pel que fa a hidrografia, creiem que condicionen allò que, en definitiva, constitueix un procés de mineralitzacions actual. Una alternança concreta de materials respecte a un cabal d'aigua provinent de les pluges confereix, pel que hem deduït, un aportament o altre a les aigües. La determinació mineralògica dels materials, amb el seu ordre espacial, amb la quantitat d'aigua que circula per damunt i a través dels materials esmentats, ens explicaran les diferències entre les fonts. A tall d'exemple, una roca magmàtica i una metamòrfica poden tenir la mateixa mineralització; aquí, una diferència bàsica és la seva permeabilitat, que es tradueix en la concentració d'un element a l'aigua que el conté.

Així provem de deduir els mecanismes de formació per a la resta de les fonts de ferro, com també ens permetrà la interpretació d'aquelles que s'allunyen del model i de les quals és desconegut el procés.

El plantejament d'aquest treball a la recerca d'un vincle entre geologia, mineralogia, química, termodinàmica, pluviometria, hidrologia i, en definitiva, ecologia, a voltes es fa carregós, més que res per la quantitat de conceptes implicats. Només hem afegit aquells termes que hem cregut indispensables per a una correcta entesa de l'objectiu final; tant és així que quan es treballa, a tall d'exemple, amb tècniques en què els antecedents són breus, els detalls més senzills i no descrits són un obstacle per a la continuïtat

de l'estudi. És per això que demanem disculpes per les descripcions detallades d'algun apartat; i en aquest cas només ho fem per les dades que podem aportar a aquells que les cerquin sobre el comportament d'algun mineral en l'atac químic, l'alteració supergènica de sulfurs, les tècniques d'estudi...

HISTÒRIA DE LES FONTS

La font de l'Abat Siscar

A les muntanyes de Prades (zona inclosa dins el PEIN), i dins Paratge Natural d'Interès Nacional (zona declarada d'interès especial PNIN des de 1984), que en bona part comprèn el terme de Vimbodí-Poblet, hi ha el Bosc de Poblet. Només aquí trobem moltes fonts que s'escampen arreu. Al costat de la carretera que uneix el monestir amb la zona de les Masies, s'hi aixeca la font de l'Abat Siscar. *Fig. 2.*

Essent d'interès estendre la zona de fonts per a l'estímul dels excursionistes, la Diputació Provincial de Tarragona estima d'interès provincial potenciar l'anomenada contrada; encarrega al seu arquitecte la confecció d'un pla de construcció de fonts. El pla, redactat el 1965, comprèn tres fonts,



Fig. 2. Fotografia de la font de l'Abat Siscar

entre les quals hi ha la font de l'Abat Siscar (*Memòria Abadia de Poblet, 1972*).

Fins aleshores, la font de la Magnèsia es trobava a l'entrada del camí de la Pena; avui encara trobem els vestigis d'un racó amb seients d'obra que duen al seu record. Les seves aigües provenien de la mateixa mina de la qual, avui, surten les aigües de la font de l'Abat Siscar.

Fou beneïda i inaugurada el dia 25 de maig de 1968. Dels tres brocs, el central canalitza l'aigua de la font de la Magnèsia, i els dos que resten de la del Ferro (*Memòria Abadia de Poblet, 1972*).

Les boques de les mines que recullen l'aigua fins a la font es troben a uns 200 metres muntanya amunt. Mitjançant un tub de plàstic es condueix des de la porta fins a la font. Cada mina d'aigua aboca a cada una de les esmentades. La del Ferro és la que té un major cabal, i ho fa amb dos brocs. La sorpresa és la distància de les mines entre si, ja que, amb una separació de 50 metres com a molt, cada una duu aigües diferents. *Fig. 3*.

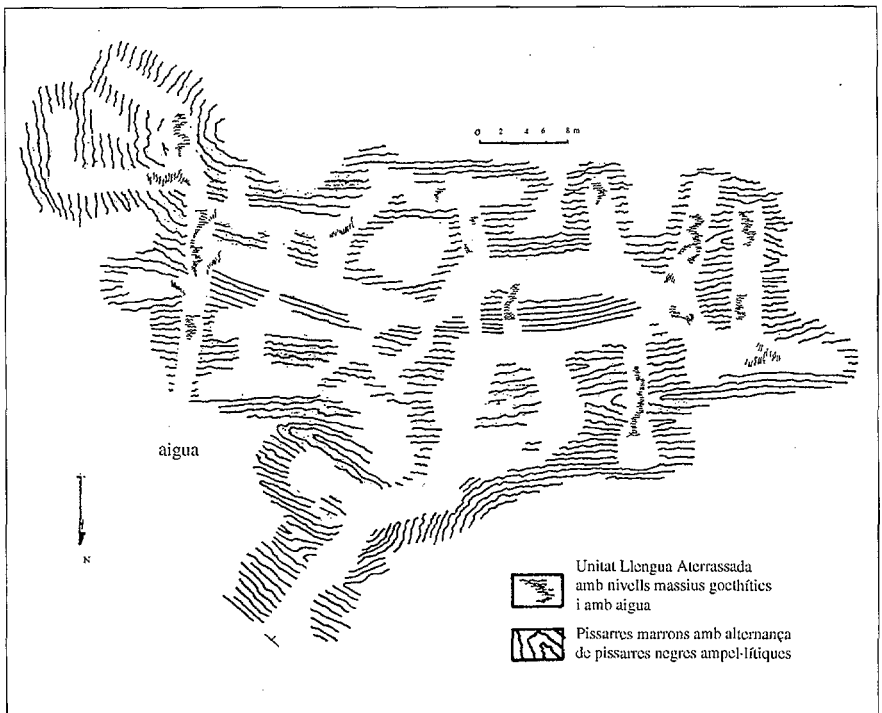


Fig. 3. Interpretació geològica i mapa de la mina que abasteix la font de la Magnèsia. Basat en un mapa del GIEM i amb cartografia pròpia

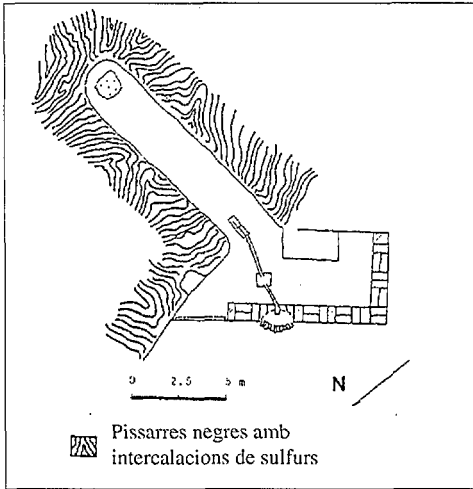


Fig. 4. Interpretació geològica i mapa de la mina d'aigua de la font de Ferro de les Masies (Elaboració pròpia)

Els monjos de Poblet es preocuparen de la importància de les mineralitzacions ferruginoses; per això es dedicà l'actual font al monjo Ramon de Siscar. El farmacèutic Ramon Gavaldà fa una anàlisi qualitativa de l'aigua de les fonts l'any 1967, en la qual transcriu l'anàlisi quantitativa (*Memòria Abadia de Poblet*, 1972).

La font de Ferro de les Masies

La proximitat de les Masies, amb la seva font de Ferro, permet la possibilitat d'un balneari que aprofita la riquesa de les seves aigües riques en ferro. La realitat és així, tot i que darrerament la tasca principal dels seus edificis es basa en l'atractiu dels boscos al seu redós. *Fig. 4.*

Aquesta font, durant tot l'estiu passat, va romandre seca; no fou fins a les pluges de l'11 d'octubre de 1994 que altre cop tornà a sortir aigua.

ANTECEDENTS

La fama d'aquestes aigües ja és antiga. El 1787, amb la *Memoria o breve descripció de las aguas minerales de la villa de Espluga de Francolí*, de J. Menós, aquesta font ja tenia renom a Europa, a l'estranger. Les aigües provenen de les pissarres carbonoses del silurià superior, segons diu mossèn Font.

A la superfície d'un gran nombre de jaciments de tot el món podem observar diverses transformacions que reflecteixen la inestabilitat química dels materials infrajaccents durant els processos supergènics. Els canvis més significatius consisteixen en l'aparició de coloracions bigarrades a la super-

fície, aspecte ja emprat pels miners primitius com una guia de localització de metalls d'interès econòmic. En els jaciments de sulfurs s'originen així les anomenades zones d'alteració supergènica, *monteres* d'oxidació o *gossans* en moltes de les quals es produeix un enriquiment en metalls útils.

LA METEORITZACIÓ

La meteorització constitueix el conjunt de transformacions que experimenten les roques i els minerals en la superfície terrestre com a resposta a un canvi en les condicions ambientals respecte a les que hi havia en la seva formació. Per això diem que les roques, en conjunt, són metaestables. Podem diferenciar la meteorització física o desintegració —amb la implicació de la ruptura progressiva de la roca— i una meteorització química o descomposició —que implica sovint un canvi químic reversible— i una meteorització biològica que es produeix a nivell de sòl.

Hi ha dos mecanismes primaris de destrucció d'una roca: la fractura fràgil i la ruptura de la xarxa cristal·lina. La fractura opera a nivell d'aflorament, mentre que la destrucció de la xarxa es produeix a escala atòmica i molecular. La resposta a la meteorització és una modificació de les propietats mineralògiques, petrològiques i mecàniques a mesura que passa el temps. Els processos que activen la destrucció de la xarxa cristal·lina són principalment la hidratació, la hidròlisi i les reaccions redox. Els faciliten diversos agents activadors, com ara l'aportament d'aigua, els ions hidroni, l'augment de la superfície lliure, les condicions d'oxidació/reducció i els agents del rentatge. En conjunt, la naturalesa i la velocitat de meteorització estan condicionats per la interacció de diversos factors locals, entre els quals destaquen el clima, el tipus de roca, la topografia, l'orientació i el temps.

L'alterabilitat de les roques, la determina per les seves propietats: la naturalesa dels seus components, la porositat, la textura i l'estructura. Els agents erosius ataquen les roques de maneres molt diverses, com ara el desgast, l'abrasió, l'impacte, el xoc..., de manera que les seves propietats més característiques estan determinades pel tipus i la intensitat dels processos que han patit:

- Propietats que mesuren la duresa i la tenacitat de les roques.
- Propietats de la facilitat amb què l'aigua s'absorbeix i es transmet a través de les roques.
- Propietats relatives a la resistència de la roca.

La permeabilitat ens indica la facilitat amb què l'aigua travessa una roca i permet informació sobre el grau d'interconnexió entre porus i fissures.

La facilitat d'una roca per absorbir l'aigua és també una propietat important en l'estudi de la resistència a la meteorització; tant és així que cal assenyalar l'efecte del temps, la temperatura i les solucions intersticials.

La meteorització química indica que la majoria de les reaccions que s'esdevenen amb la meteorització són endotèrmiques. El procés de la hidratació implica l'adsorció d'aigua per la xarxa cristal·lina. En les superfícies internes del cristall, s'hi pot formar, també, una capa orientada de molècules d'aigua. D'altra banda, l'aigua pot tenir sals en solució que en hidratar-se poden crear tensions que fracturin el mineral. Cal assenyalar que la hidratació prepara el camí per a altres reaccions químiques tals com la hidròlisi, probablement el procés més important de la meteorització química i el principal mecanisme d'alteració dels feldspats i les miques. La carbonatació és la reacció dels ions CO_3^{2-} i HCO_3^- amb minerals i va relacionada amb la hidròlisi dels feldspats. La sulfatació és un fenomen anàleg. També és el procés pel qual es destrueixen el CaCO_3 i el MgCO_3 , passant a la solució. L'oxidació i la reducció, o reaccions redox, impliquen una transferència d'electrons. Les substàncies que perden o guanyen electrons s'oxiden mentre que les que en guanyen es redueixen.

La meteorització química d'un mineral depèn de la seva composició química, grandària del cristall, la forma i la perfecció cristal·lina. La velocitat de meteorització està determinada per l'àrea superficial de manera que els minerals de mida més gran són més resistents a la meteorització que no pas uns quants minerals petits que ocupin el mateix volum. La forma i la perfecció cristal·lina són importants ja que els cristalls aplanats són alterables més fàcilment que aquells equidimensionals i els cristalls purs són menys atacables que aquells que tenen defectes cristal·lins. Tot i que els factors esmentats són importants, la composició química i l'estructura cristal·lina desenvolupen un paper important en els paràmetres d'erosió dels minerals.

La meteorització de sulfurs permet el desenvolupament de nous minerals estables en les condicions físico-químiques de la superfície terrestre. El conjunt dels processos es pot presentar com el resultat de la diferent mobilitat dels elements químics, ja que en cada cas és controlada pels mecanismes d'adsorció i/o precipitació.

1. pH del medi
2. Potencial redox del medi
3. Contingut en oxihidròxids de Fe i/o Mn
4. Contingut en matèria orgànica
5. Propietats de superfície dels minerals
6. Naturalesa i concentració de les espècies en fase aquosa
7. Quantitat i velocitat de flux de la solució a través del sistema

Tots aquests factors estan clarament relacionats, perquè l'aparició d'un mineral depèn de la disponibilitat dels elements químics i té una relació directa amb la seva mobilitat en relació al sistema.

Quan el pH augmenta s'afavoreix l'adsorció d'alguns metalls. Els anions, per contra, s'adsorbeixen més sovint a pH baixos. Cal considerar tots els sòlids que poden precipitar, ja siguin estables o metaestables. Convé indicar que no és la quantitat total de metall la més significativa per entendre els fluxos geoquímics, sinó la seva disponibilitat.

Un efecte directe és l'increment de la concentració perquè es produeixi un major acomplexament. Els lligands més significatius dels metalls són: OH⁻, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄⁼, molècules orgàniques, macromolècules...

L'exemple més clar de la influència de les condicions redox, el tenim en l'oxidació de la pirita, que de manera col·lateral provoca una acidificació del medi:

1. Oxidació dels sulfurs metàl·lics.
2. Formació de noves espècies en condicions oxidants.

La seva solubilitat i la seva mobilitat es troben sota la influència de les condicions redox, tot i que no estiguin directament implicats en les reaccions d'oxidació-reducció. Així, l'oxidació de sulfurs a sulfats pot augmentar la solubilitat de metalls pesats. L'acidificació del medi també pot influir en aquesta solubilitat. *Fig. 5.*

Pel que fa a les relacions d'estabilitat entre diferents espècies, cal tenir en compte que:

1. Els sistemes naturals són més complexos que els assajats al laboratori.
2. Els sistemes naturals tenen tot el temps que necessiten per assolir l'equilibri.
3. La persistència de fases dins el camp d'estabilitat d'altres i una manca de síntesi de les condicions en què són estables.

Els processos biogeoquímics han anat posant de manifest, en els darrers vint anys, la importància que en el desenvolupament dels processos generals d'alteració supergènica té la presència d'organismes autòtrofs, especialment bacteris i algues. Creixen en medis on els bacteris són capaços d'oxidar sulfurs i elements com el Fe i el Mn. Pel que fa a les condicions naturals, la degradació d'aquests minerals passa per un procés dinàmic que comporta una successió de poblacions microbianes.

Els tipus de roques que hi encaixen també influeixen en el procés, ja que els silicats i els carbonats consumeixen àcid i, per tant, desplacen les condicions de pH fora de les que permet el medi d'alguns organismes. Aquest fet comporta

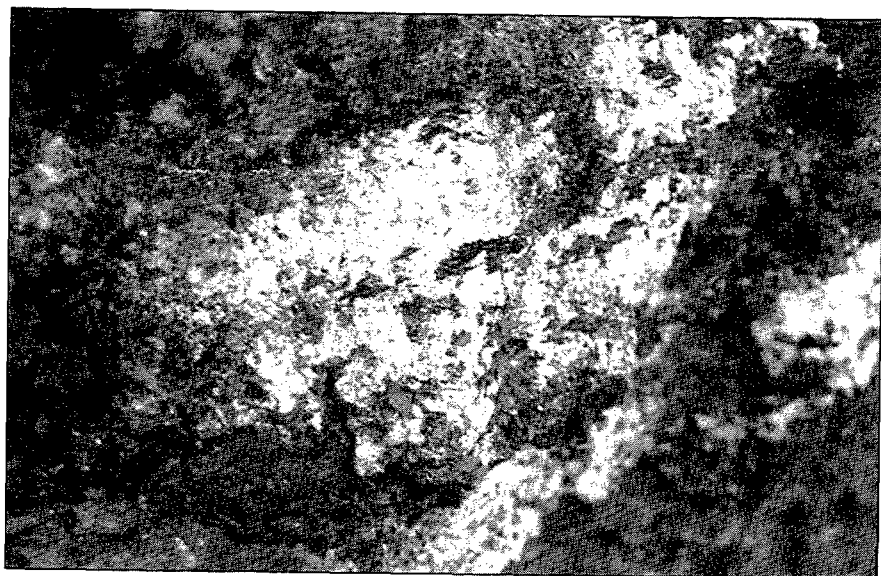


Fig. 5. Fotografia de les pissarres negres amb l'alteració dels sulfurs i amb producció d'eflorescències de melanterita

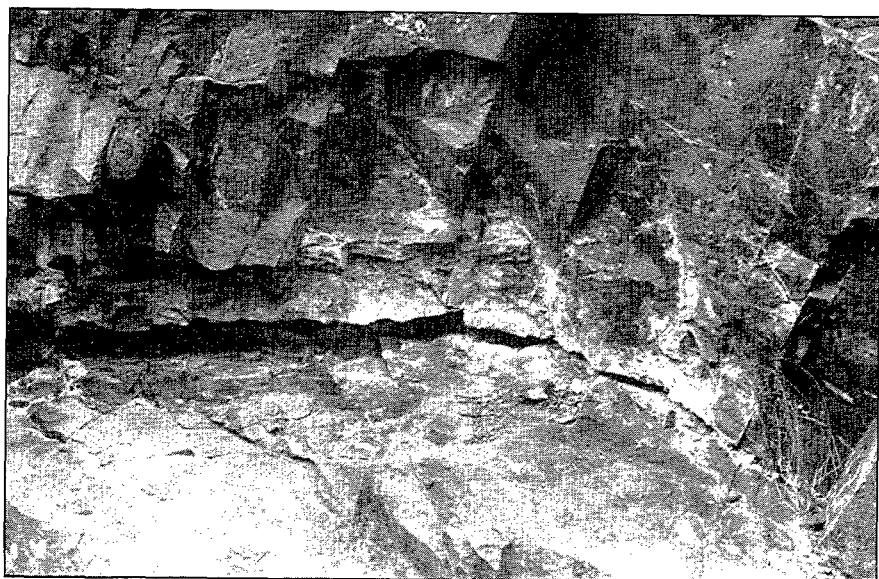


Fig. 6. Fotografia de la zona de fractura de la paret d'un porfir. S'hi observen pel·lícules i eflorescències versicolors, la majoria, de sulfats insolubles

la reducció de la velocitat de dissociació dels sulfurs i, en conseqüència, la disminució de la seva capacitat per actuar de substrat bacterià.

Pel que fa als assajos de laboratori dels processos terminals de l'alteració supergènica de sulfurs, cal tenir en compte que el nombre de treballs és relativament petit. En general es disposa d'experiències de síntesi de sulfats simples i del seguiment de processos d'alteració de pirita. Els sulfats ferrosos hidratats constitueixen un dels grups amb major nombre d'experiències, per la possibilitat d'aparèixer sota diferents graus d'hidratació. (López-Aguayo, F., 1992)

Es troba a les paragènesis minerals dels sulfats solubles, on normalment costa establir les associacions i les paragènesis, perquè la complexitat mineralògica que hi ha a les zones d'alteració on es desenvolupen els processos terminals és molt gran. Hueso *et al* (1981) ja proposen un mètode de treball per a l'estudi de les mostres, que consisteix en la combinació de l'anàlisi química amb la difracció de raigs X de forma esglaonada, dissolvent amb aigua i àcid nítric, respectivament. Els resultats posen de manifest, en qualsevol cas, la presència de minerals de les diverses fases mineralitzants i dels corresponents oxidats.

Una manera senzilla de presentar les diferents associacions i paragènesis, coherent amb el mètode d'identificació, consisteix a diferenciar els minerals per la seva solubilitat davant l'aigua. S'estableixen dos grups: els que pertanyen als solubles i els que són insolubles amb aigua i que es poden originar tant en la primera etapa d'alteració com en la darrera.

Els sulfats descrits no esgoten les possibilitats reals, però representen les espècies més habituals en els processos terminals de l'alteració supergènica. Cal tenir en compte que les fórmules proposades fins ara són teòriques i mai no s'ajusten a la realitat.

Dels esquemes d'evolució —dels pocs dels quals disposem— es dedueix que l'evolució és complexa i que el grau de coneixement actual és petit.

Emprant els conceptes exposats, López-Aguayo *et al* (1992) descriuen fenòmens semblants al nostre, a la meteorització de jaciments de sulfurs de la faixa pirítica del SO de la Península Ibèrica.

Si entrem en els processos geoquímics reals que tenen lloc al'àrea d'estudi, els antecedents són més breus encara. Els comentaris que Josep M. Mata i Perelló (1990) fan en el llibre *Els Minerals de Catalunya* sobre les pissarres negres silúriques, conclouen en l'origen des de la pirita de les pissarres fins a la mineralització de les fonts; no obstant això, ho fa sense aprofundir l'estudi.

Els sulfats insolubles són aquells que resten, a més dels solubles, *in situ* a la superfície de les parets de nombrosos jaciments. Amb preferència se situen a les zones superficials de fractura. *Fig. 6.*

La seva diferenciació és senzilla: amb el gust es pot discriminar un sulfat soluble d'un d'insoluble. La jarosita és el sulfat més estudiat i aquell que se'ns presenta més sovint. Les seves característiques són un precipitat groc que té la fórmula: $K_xNa_y(H_3O)_{(1-xy)}Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$ on la proporció del potassi és sempre lleugerament superior a la de sodi. La jarosita comprèn diverses varietats: natrojarosita, rica en Na; jarosita rica en K; i hidronijarosita, en H_3O . La seva precipitació es coneix com a conseqüència de l'oxidació amb aigües residuals de ferro. Una bona cristal·lització del precipitat indica que l'oxidació de les solucions aquoses tendeix a un equilibri amb la solució sòlida de les jarosites, pel que diu la proporció de les substitucions $K-H_3O-Na$, ja que l'intercanvi iònic s'escau amb subministrament d'hidronis que provenen de l'aigua. El contingut en hidroni és necessari per una rigorosa avaluació de la solubilitat o la saturació a les aigües naturals. S'exigeix, per a l'obtenció de precipitat, un pH baix o bé una elevada activitat de l'oxigen. (Alpers, N.C.; Kirk Nordstrom, D.; W. Ball, J. 1989). Els experiments que duen a terme descriuen un procés irreversible, que indiquen clarament la insolubilitat de les jarosites tal vegada han precipitat de la solució aquosa i ja no poden tornar a la solució.

L'ANÀLISI HISTÒRICA DE LES AIGÜES

Des de sempre, les aigües minerals han encuriolit pel seu possible guariment medicinal. L'anàlisi del contingut i la potabilitat han permès confirmar o no les creences populars. No farem referència aquí als guariments o a les propietats que afectin les persones. Podrem conèixer en quin grau l'aigua s'enriqueix en elements, com ho fa i fins quan els manté.

Les anàlisis tradicionals ens permeten detectar allò que l'aigua duu en dissolució i fins i tot en suspensió. El comportament d'aquests elements en l'aigua es troba en funció directa de com s'hi han incorporat.

La font de Ferro de les Masies

Tenim la primera referència del metge Jaume Menós i Llena (1787), que descriu extensament i fa la primera anàlisi que coneixem de l'aigua ferruginosa del terme de l'Espluga de Francolí; les seves propietats terapèutiques, les descobreix a la mateixa centúria el metge montblanquí Joan Cuscullana.

Menós, en parlar de la situació de la font i del seu descobriment, diu:

"A media legua de la villa de Espluga de Francolí, a cosa de un cuarto de hora de la muralla que cerca el Real Monasterio

de Poblet de P.P. Bernardos en la falda de un monte más que de mediana eminencia, mana una fuente mineral, la que mira a mediodía no tan escasa, que perennemente no lleve dos caños de doble diámetro que el de un cañón de fusil, cuyo hallazgo debemos en esta misma centúria al famoso médico de Montblanc llamado el Dr. Juan Cuscullana que habiendo advertido éste que transpiraba cierta porción de agua, que dejaba muchos vestigios de ocre, motivo por lo que mandó hacer un hoyo capaz para poderse recoger y poner dicha agua en uso y por los repetidos beneficios se han experimentado en ella...”

L'anàlisi de Menós ens descriu una aigua organolèptica i química, i de tot el que observa, comprova, dedueix i comenta, ens interessa el que fa referència al ferro. Observa que l'aigua entollada o en circulació té a la superfície una mena de tel semblant a l'escuma, “a ben segur una pel·lícula de sals fèrriques hidratades formada en posar-se l'aigua en contacte amb l'atmosfera...”, segons Pedemonte F.; García J.; Oliver B. (1983). De part nostra, i a propòsit de les pluges intenses de l'octubre de 1994, podem dir que hem observat una escuma blanca i que es troba en procés d'estudi.

“Mas en la laguna en donde se detiene esta agua, como y en las partes por donde discurre, o se derrama, se manifiesta en la superficie una delgada telilla a modo de espuma que no la deixa recoger separada... Su olor solamente se percibe arrimando muy cerca el vaso al olfato, aludiendo al olor del agua azerada (referent a l'aigua en la qual s'ha apagat el ferro o acer roent) Gustada se percibe en el gusto, o paladar, una pequeña participación de una extraña estipticidad.”

(Menós, J., 1787)

Més endavant, en concretar la composició de l'aigua, diu que un dels components és:

“...una gran cantidad de ocre muy fina... la grande cantidad de ocre fina deseada i buscada por los tristes llamada por muchos madre del hierro... Se echó polvo de las agallas y al instante su cristalino color se mudó en negro...”

(Menós, J., 1787)

“Però observa més, observa que les aigües perden propietats si es beuen fora del manantial; no ho diu, però és causa de la precipitació del ferro en forma de sals bàsiques de ferro fèrric.”
(Pedemonte, F.; García, J.; Oliver, B., 1983)

“...*la parte espirituosa fácilmente se disipa, porqué transportada no da la tintura que da en el manantial, por cuyo motivo no se aconseja tomarla fuera de sus fuentes.*”
(Menós, J., 1787)

“Pedro Maria Rubio (1855) en el seu *Tratado Completo de las Fuentes Minerales de España* parla també que en el terme de l'Espluga de Francolí, a la falda d'una muntanya, a un quart de llegua de la tanca del famós monestir de Poblet, i a mitja de l'Espluga, hi ha una font abundosa d'aigua mineral, que es té per ferruginosa freda de 14^o C. Més endavant afegeix : “*Sobre la fuente se ve una lápida de mármol blanco en que se lee la inscripción siguiente: Metodice hic pota plurimos morbos sanat ad empirici deplorata parum aut nihil prodest*”, que traduïm com: “Metòdicament beguda aquí, guareix moltíssimes malalties. Però empíricament [l'experiència ensenya que] traslladada, poc o res s'aprofita. (...)” Carreras i Candi en la seva *Geografía General de Catalunya* en parlar del balneari de l'Espluga de Francolí i de la font, cita també la inscripció llatina, afegint l'any —*Anno 1827*—, i fent el següent comentari: “És obra, segurament d'algun frare de Poblet que coneixia bé les qualitats de l'aigua.” Avui la làpida encara hi és, presenta senyals d'haver estat tapada. El que diu la inscripció és totalment vàlid des del punt de vista químic i també farmacològic, almenys pel que fa a les accions causades pel ferro; aquest —poc o res s'aprofita—, només depèn del temps que l'aigua fa que ha sortit del manantial, perquè és en funció d'aquest temps que les sals de ferro s'oxiden més o menys i s'insolubilitzen en forma de sals bàsiques.”
(Pedemonte, F.; García J.; Oliver B., 1983)

“José de San Román (1945) cita entre les aigües ferruginoses les del balneari de l'Espluga de Francolí, classificades com a

ferruginoses bicarbonatades i indicades per combatre les anèmies i la litiasi. (...) Una altra anàlisi força antiga de les aigües de la font de Ferro de les Masies és la del Dr. Cuchí realitzada el 1875, i posteriorment les efectuades pel Dr. Oliver Rodés el 15 de gener de 1906, pel Dr. Dou el juny de 1926, i cinquanta anys després la duta a terme per B. Oliver (1976). (...) L'any 1976 la font del Ferro de les Masies rajava dins la propietat del balneari Villa Engracia. L'aigua sortia pels intersticis d'unes pissarres carbonoses fortament carregades de pirita de ferro, del silúric superior, situades al fons d'una galeria d'uns vuit metres de longitud, i era conduïda a l'exterior mitjançant un tub de fibrociment.”

(Pedemonte, F.; García J.; Oliver B., 1983)

La composició de l'aigua de la font de Ferro de les Masies, segons els resultats de les anàlisis efectuades pels doctors Oliver Rodés (1906) i Dou (1926), respectivament, resumits i expressats en ions, és la següent:

	Dr. Oliver Rodés	Dr. Dou
Residu a 180° C	406,4	384,6 mg/l
Bicarbonats	124,3	124,5 mg/l
Sulfats	142,9	173,9 mg/l
Clorurs	8,4	9,1 mg/l
Fluorurs	indicis	indicis
Calci	44,16	53,4 mg/l
Magnesi	20,81	17,4 mg/l
Sodi	17,28	20,8 mg/l
Potassi	3,24	3,0 mg/l
Liti	0,047	0,03 mg/l
Ferro	15,15	16,4 mg/l
Manganès	1,23	0,68 mg/l
Alumini	—	2,9 mg/l
Sílice	36,7	46,2 mg/l

L'anàlisi i el dictamen de les aigües de la font del Ferro de les Masies, efectuat al març-maig de 1976 per B. Oliver, és el següent:

- Característiques generals: observada en vas de vidre immediatament després d'emplenar-lo, l'aigua és límpida i incolora, però ràpidament es torna opalina i a continuació es forma un precipitat groc rogenc.

En el mateix punt d'emergència i en el curt trajecte fins al broc de la font, es diposita abundant sediment ocraci.

Un cop filtrada, el color és inferior a 0,5 mg Pt/(Allen-Hazen). No té cap olor especial. El gust és marcadament astringent. La temperatura d'emergència és de 15,1° C (l'ambiental, el dia de la recollida de mostres, era de 8,6° C).

pH	6,45
Conductivitat a 20° C	513,9 microohms

Gasos dissolts

Oxigen	4,75 mg O ₂ /l
Anhídrid carbònic	66,00 mg O ₂ /l
Sulfhídric	0,00 mg O ₂ /l

Altres determinacions

Residu a 110° C	413,8 mg/l
Duresa total (Ca+Mg)	24,9 mg/l
Matèria orgànica	1,34 mg/l
Amoníac	0,00 mg/l
Nitrits	0,00 mg/l
Sílice	32,8 mg/l

COMPOSICIÓ IÒNICA

Anions

Bicarbonats	142,7 mg/l
Carbonats	0,0 mg/l
Sulfats	172,0 mg/l
Clorurs	17,7 mg/l
Nitrats	0,0 mg/l
Fluorurs	0,67 mg/l
Fosfats	0,04 mg/l

Cations

Calci	69,7 mg/l
Magnesi	18,2 mg/l

Sodi	21,0 mg/l
Potassi	3,3 mg/l
Liti	0,1 mg/l
Ferro	12,5 mg/l
Manganès	0,3 mg/l

Dictamen: d'acord amb la classificació exposada en el Codi Alimentari Espanyol, capítol XXVII, secció 2a, Aigües Minerals (Codi Alimentari Espanyol, decret 21 de setembre de 1967), es poden deduir les següents conclusions:

1. Mineralització. Com que té un residu sec, a 110°C, compès entre 250 i 500 mg/l, és una aigua de mineralització dèbil.

2. Termalitat. Com que emergeix a temperatura inferior a 20° C ha de considerar-se com una aigua freda.

3. Tonicitat. Com que posseeix una pressió osmòtica inferior a la del plasma sanguini, és una aigua hipotònica.

4. Composició. Com que conté més de 5 mg de ferro per litre, és una aigua ferruginosa. (Oliver, B., 1976)

La font de Ferro de l'Abat Siscar

El Dr. J. R. Bataller (1933) classifica aquestes aigües com a ferro-manganeso-bicarbonatades radiactives a 16°C, pel seu contingut en aquests elements.

El farmacèutic Ramon Gavaldà féu el 1967 una anàlisi qualitativa de l'aigua: la de magnesi dóna perfectament el catió magnesi... L'aigua de ferro conté el catió ferrós que es troba dissolt.

Anàlisi quantitativa de la font de la Magnèsia:

grau hidrotimètric	22
pH	3,8
salinitat total a 105° C	0,346 g/l
composició de ions:	
silici	0,0260 g/l
ió sulfat	0,1964 g/l
ió clor	0,0106 g/l
ió alumini	0,0023 g/l
ió fèrric	0,0012 g/l
ió calci	0,0296 g/l
ió magnesi	0,0149 g/l
ió sodi	0,0152 g/l
ió hidroni	0,0007 g/l

composició hipotètica en sals anhidres per litre:

anhídrid silícic	0,0260 g/l
àcid sulfúric lliure	0,0350 g/l
sulfat alumínic	0,0145 g/l
sulfat fèrric	0,0044 g/l
sulfat càlcic	0,1004 g/l
sulfat magnèsic	0,0733 g/l
sulfat sòdic	0,0256 g/l
clorur sòdic	0,0175 g/l

Les dades corresponen a una aigua oligometal·lica, poc selenitosa, però amb contingut de petites quantitats d'àcid sulfúric lliure, i sulfats d'alumini i ferro, i per tant amb propietats lleugerament àcides i astringents (Vilarrubias, F., 1972).

Anàlisi físico-química i bacteriològica de la font de l'Abat Siscar, canella retolada "ferro". L'anàlisi en qüestió fou realitzada amb les mostres d'aigua recollides el dissabte, 11 de desembre de 1982, en recipients estèrils i flascons adequadament preparats, per tal de poder dur a terme, amb tota seguretat i exactitud, les proves físiques, químiques i bacteriològiques.

Característiques generals

pH	6,49
Conductivitat a 20° C	423,7 microohms/cm
Residu a 110° C	359,5 mg/l
Anhídrid carbònic lliure	60,0 mg/l
Alcalinitat (TA)	0,0 mg CO ₃ Ca/l
Alcalinitat (TAC)	95,0 mg CO ₃ Ca/l
Duresa total	198,0 mg CO ₃ Ca/l (19,8 graus F)
Sílice	36,0 mg/l
Oxidabilitat (MnO ₄ K)	1,36 mg O ₂ /l

Anions

Bicarbonats	115,9 mg/l
Carbonats	0,0 mg/l
Sulfats	114,0 mg/l
Clorurs	12,4 mg/l
Nitrats	0,5 mg/l
Fluorurs	0,95 mg/l
Nitrits	0,0 mg/l

Cations

Calci	58,1 mg/l
Magnesi	12,4 mg/l
Sodi	15,4 mg/l
Potassi	2,8 mg/l
Liti	0,06 mg/l
Ferro	18,2 mg/l
Manganès	0,27 mg/l
Amoníac	0,0 mg/l

Altres determinacions

Oxigen	1,0 mg/l
Crom	menys de 0,02 mg/l
Alumini	menys de 0,02 mg/l
Coure	menys de 0,01 mg/l
Zinc	0,03 mg/l
Plom	menys de 0,05 mg/l
Arsènic	menys de 1 ppb

Conclusió: aigua de mineralització dèbil. Moderada duresa. Classificada com a ferruginosa.

ANÀLISI BACTERIOLÒGICA

Investigacions practicades

	<i>Resultats obtinguts</i>
1. Bactèries aeròbies a 37° C	(a les 24 h) 4 en 1 ml
2. Bactèries coliformes	N.M.P. 0 en 100 ml
3. <i>Escherichia coli</i>	negatiu
4. <i>Streptococs fecals</i>	N.M.P. 0 en 100 ml
5. Bactèries anaeròbies (espores)	0 en 100 ml
6. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 en 100 ml

Qualificació de l'aigua: segons RD 1423/1982 (BOE 29 juny 1982) actualment potable, des del punt de vista bacteriològic. Apta per al consum humà i en general per a tots els usos. (Pedemonte, F.; Garcia J.; Oliver B., 1983).

SITUACIÓ GEOLÒGICA

Les muntanyes de Prades corresponen a la part més nord-occidental de la Serralada Costanera Catalana, un sistema de muntanyes i fosses que s'estenen més enllà de la costa catalana actual. El conjunt d'alts i fosses, el defineix un sistema de falles de direcció NE-SW. El moviment és el responsable que unes zones estiguin actualment elevades —muntanyes de Prades, el Garraf...— i d'altres deprimides —el Camp de Tarragona, el Penedès... Al nord d'aquesta gran unitat geològica trobem la depressió de l'Ebre, que correspon a una gran conca farcida de sediments terciaris que s'inclinen suaument.

Geològicament les muntanyes de Prades estan constituïdes per dues grans unitats que són de dalt a baix la cobertora i el sòcol.

El sòcol està format per roques sedimentàries antigues parcialment modificades per fenòmens metamòrfics —pissarres, quarsites, marbres...— i per roques ígnies —granits, pòrfirs, roques volcàniques... Les roques sedimentàries que formen part del sòcol es formen en un període comprès entre els 438 i els 320 milions d'anys —era Paleozoica— i foren afectats per plegaments i processos metamòrfics i a la fi dels temps paleozoics foren instruïts per roques ígnies. Tot el conjunt d'aquests processos dóna lloc a una serralada de plegament: l'herciniana, que s'estenia per tot Europa. Posteriorment aquesta serralada fou desmantellada pels processos erosius i es convertí en una extensa planúria, sobre la qual comencen a dipositar-se els sediments mesozoics que formen la cobertora.

La cobertora està constituïda per roques sedimentàries —calcàries, dolomies, argiles i gresos...— d'edat més recent, les quals es disposen horitzontalment sobre els materials més antics que formen el sòcol. Les roques que formen la cobertora són d'edat mesozoica —entre uns 248 i uns 188 milions d'anys— i hi són representats els cicles triàsic i juràssic (la part basal). Durant el terciari —fa entre uns 65 i uns 2 milions d'anys—, tant pel que fa a les roques del sòcol com a les de la cobertora foren afectats per l'orogènesi alpina, que provocà el moviment d'un conjunt de falles.

Pel que fa als límits de les muntanyes de Prades, cal fixar-se que la frontera geogràfica no coincideix amb la geològica. Tant al nord com al sud queden limitades per dues grans falles subparal·leles de direcció aproximada NE-SW. Al nord, la falla de Poblet posa en contacte els materials del sòcol paleozoic de les muntanyes de Prades amb els sediments paleògens de la conca de l'Ebre. Al sud la falla del Camp separa les roques del sòcol hercínic dels sediments neogens de la depressió del Camp de Tarragona. El límit a l'est, el marca per la falla de la Riba, que enllaça amb la falla de Poblet i

separa les muntanyes de Prades de la conca de l'Ebre. El límit occidental, en canvi, no és clar ja que es passa gradualment del sòcol paleozoic als materials paleozoics del Priorat.

El sòcol Hercínic està constituït per diferents tipus de roques: les més antigues pertanyen a l'era paleozoica i a grans trets aquests materials es poden subdividir en dos grups:

1. El primer conjunt és el que formen les roques sedimentàries i les roques volcàniques que es troben disposades entre els estrats. També formen part d'aquest grup les roques metamòrfiques originades a partir de la transformació dels tipus anteriors.

2. El segon grup inclou les roques plutòniques i filonianes que s'emplaçaren al mig dels materials sedimentaris i volcànics.

Els materials sedimentaris del sòcol se subdivideixen en tres grups que de dalt a baix són els materials carbonífers, els materials devonians i els materials silurians.

ELS MATERIALS SEDIMENTARIS: LES PISSARRES NEGRES

Els materials silurians comprenen les roques més antigues de les muntanyes de Prades i un conjunt de pissarres negres amb aspecte de carbó: són les pissarres ampelítiques, riques en matèria bituminosa pel que fins i tot arriben a tacar els dits. Entre aquestes pissarres s'hi troben intercalats nivells de gresos, quarsites i sulfurs. La potència total aproximada és d'uns 100 metres (Melgarejo, 1993). Dins d'aquests materials s'hi ha trobat restes de fòssils anomenats graptòlits, que són animals colonials sense representants actuals. Els materials silurians es poden observar al sector situat entre la Pena i el monestir de Poblet. *Fig. 7.*

Estratigrafia dels materials silurians

Aquests materials silurians es troben en afloraments dispersos. Al sector de Poblet es reconeix un mínim de 50 metres de potencia d'ampelites molt grafitoses. Apareixen trams amb un contingut en disseminacions de pirita i marcassita. Aquests trams rics en sulfurs són molt característics a Catalunya: han estat citats, en altres indrets dels Catalànids, nivells amb disseminacions de sulfurs, essencialment pirita-marcassita o pirrotina, amb traces de calcopirita, esfalerita i scheelita (Ayora *et al.*, 1990; Melgarejo, 1992). Els indicis silurians es troben dins l'aureola de metamorfisme de contacte més interna pel que les paragènesis primitives s'han esborrat. De la base al sostre les fàcies que conformen els materials silurians són (Melgarejo, 1992):



Fig. 7. Fotografia de les pissarres negres del silurià, uns materials molt replegats que contenen disseminacions de sulfurs

a) Tram basal, d'uns 30 m:

Fàcies de xert: de colors clars i de gra molt fi. Associats a aquests nivells hi ha nòduls fosfatats extraordinàriament deformats.

Fàcies de biotita: molt rica en sulfurs (pirita, calcopirita, pirrotina, marcassita, esfalerita, galena, minerals de Bi) i scheelita. Poden contenir abundants nòduls fosfatats.

Fàcies de sulfurs: són sulfurs massius, constituïts sobretot per pirrotina amb els minerals descrits abans. Són escassos.

Fàcies de calcosilicats: ben representats a l'indici situat al S del pic de l'Àliga. Són rics en vesubianita, diòpsida, granat, forsterita, actinolita, calcita i quars amb esfalerita, pirrotina, galena, pirita, calcopirita i scheelita.

b) Tram superior: és el més potent, d'uns 50 m:

Pissarres ampelítiques amb graptòlits. Té nivells o nòduls de pirita i d'altres de materials carbonosos.

Mineralogia dels materials silurians

La descripció en detall dels trams enriquits en metalls s'acompanya perquè és on rau la font d'aportament de sulfats i metalls. Relativament complexa en detall permet que l'escassa distribució d'alguna de les fases aparenti senzillesa. Ha estat estudiada per Melgarejo (1993):

- Biotita. És un dels que sovinteja més a les fàcies. Els cristalls tabulars assoleixen un tamany mil·limètric.

- Moscovita. Amb la biotita, constitueixen els nivells pel·lítics. Es presenta hipidiomorfa tabular i de dimensions d'entre 150 i 500 micres.

- Quars. Es troba extensament distribuït a totes les fàcies rocoses. Més abundant en els nivells de *chert*, on assoleix el tamany criptocristal·lí i, per recristal·lització, microcristal·lí.

- Pirita. Desenvolupa cristalls amb tendència idiomòrfica i tamany entre 500 micres i 1 mm. A voltes té inclusions de pirrotina.

- Pirrotina. Es tracta del sulfur més abundant, i ho fa en grans al·lotromòrfics.

- Calcopirita. Es presenta en grans de tamany molt fi (de 10 a 100 micres) associada a d'altres sulfurs. Després dels sulfurs de Fe és el sulfur més abundant.

- Arsenopirita. Encara que és escassa, la seva presència és significativa.

- Esfalerita. És escassa i de gra fi. Es tracta de l'esfalerita rica en Fe, neta d'inclusions. Apareix en els nivells rics en sulfur o en els nivells carbonatats on, excepcionalment, pot assolir un tamany mil·limètric per recristal·lització i en aquest cas pot englobar pirrotina i calcopirita.

- Marcassita. Apareix en petits cristalls com a producte del reemplaçament de pirita.

- Galena. Mineral escassíssim on només ha estat determinada en els nivells calcosilicatats.

- Hessita. Es tracta d'una fase freqüent inclosa a l'arsenopirita.

- Paladi nadiu. Es troba a nivell de traces com a petits grans de menys de 10 micres de diàmetre.

- Scheelita. És notable la seva presència en petits grans hipidiomorfs de tamany suficient com per ser observats a ull nu.

Els materials carbonífers

Són les roques més abundants que constitueixen la majoria dels afloraments del sòcol paleozoic de les muntanyes de Prades. Es tracta d'una alternança monòtona de gresos i pissarres de com a mínim 2.000 metres de

gruix. Apareixen nivells de conglomerats, de calcàries i d'horitzons fins de sulfurs. S'han trobat algunes restes fòssils: conodonts i restes de flora i marques produïdes pel moviment d'aquests petits animals sobre un fons tou. Aquests materials s'han consolidat a partir de sediments dipositats en un ambient submarí.

LES ROQUES ÍGNIES: ELS PÒRFIRS GRANÍTICS

Les roques ígnies que formen part de les muntanyes de Prades es poden subdividir en tres tipus: els nivells de roques volcàniques interestratificades dins dels materials sedimentaris paleozoics, les grans masses de roques plutòniques i finalment els dics de roques filonianes. Totes són originades per un mateix procés d'ascens de materials fosos —magmes— provinents de l'interior de la Terra que anaren consolidant en la mesura que anaven ascendint cap a la superfície. Segons quina sigui la profunditat en què es produeix aquesta consolidació, s'origina un tipus de roca o un altre. Així, el magma arriba a la superfície es consolida molt de pressa i forma roques volcàniques. La consolidació a major profunditat és més lenta i origina roques plutòniques. Si es produeix a profunditats intermèdies forma roques filonianes.

Morfologia dels pòrfirs granítics

Les roques filonianes són posteriors a l'emplaçament dels granits i es troben en part emparentats genèticament amb ells. Durant els episodis posteriors del magmatisme hercínic es formaren un conjunt de dics que representen les manifestacions magmàtiques més tardanes. Aquests dics són cossos d'amplada i longitud variables, formats a partir de la circulació de magmes a través d'esquerdes, que penetren tant a les roques ígnies plutòniques com en els materials sedimentaris que encaixen. Les roques filonianes més freqüents són del tipus pòrfir granític, que afloren al llarg de tot el sòcol paleozoic. *Fig. 8.*

Els afloraments de roques porfíriques són molt abundants. La mineralogia és semblant a la de les roques granítiques que es corresponen a l'àrea. La determinació de la mineralogia accessòria és profitosa, ja que en determinats cassos duen enriquiments en sulfurs de Fe, Cu, Zn, Pb, així com arsenopirita i scheelita. Sovint s'observa quars en els termes més àcids; plagiòclasi, biotita, hornblenda i ortopiroxè són els més abundants en termes menys àcids.

Les disseminacions dels pòrfirs que tallen les pelites negres representen enriquiments en diversos metalls. Els continguts en metall són relativament baixos i els minerals es troben finament dispersos a l'atzar, pel que comentem les fases minerals presents.



Fig. 8. Fotografia dels pòrfirs, els materials de les roques filonianes que contenen disseminacions metàl·liques de sulfurs

Mineralogia de les disseminacions metàl·liques dels pòrfirs granítics

La descripció en detall de les paragènesis metàl·liques dels pòrfirs es fa perquè són els encarregats de l'aportament de sulfats i metalls. És molt senzilla en cada indici, i en conjunt varia.

- Pirrotina. És el mineral més abundant i ha estat determinada en pòrfirs i en cossos granítics. És molt comú trobar-la en grans al·lotromòrfics dispersos a la matriu, però sovint es troba com a producte de reemplaçament de fenocristalls de biotita, hornblenda i ortopiroxè.

- Pirita. La seva presència tendeix als cristalls idiomòrfics de fins a 1 mm. Es poden observar abundants grans dispersos, i sempre a la matriu.

- Arsenopirita. Es tracta del mineral que té més tendència a l'idiomorfisme; normalment es poden observar cristalls mil·limètrics de morfologia característica, configurats mitjançant formes prismàtiques.

- Esfalerita. És rica en Fe i pot presentar inclusions de calcopirita. Generalment és de tamany de gra molt petit.

- Galena. Ocupa exclusivament posicions intersticials entre la matriu. De tamany molt fi com l'esfalerita.

- Calcopirita. Es presenta sota morfologies al·lotromòrfiques determinades per la seva posició intersticial. No és rar trobar-la.

Un caràcter limitat de la mineralització, restringit a les zones on el dic talla una mineralització, es considera que es tracta d'una captació de metalls pel pòrfir, a partir de preconcentracions, procés que es produeix a partir de la circulació convectiva de fluids entre els dics i l'encaixant.

ELS MATERIALS D'ACUMULACIÓ

La gran quantitat de ferro que precipita del brollador ferruginós ha estat molt important des d'antic, de manera que ha arribat a formar una bretxa ferruginosa amb els fragments de pissarra, granit o pòrfir que arrossegaven les aigües, segons demostrà mossèn Font. (Bataller, 1933).

Els materials d'acumulació comprenen dues unitats: la Unitat Crosta Ferruginosa i la Unitat Terrassa Goethítica. S'ubica dins el Bosc de Poblet i, concretament, l'àrea d'estudi comprèn el barranc de Sant Benet i les carenes que el constitueixen. La classificació d'aquests materials d'acumulació correspon a dipòsits de materials sedimentaris mixtos de materials detrítics i físico-químics caracteritzats per ser rics en ferro com a element comú. La seva formació és la resposta de l'activitat meteòrica durant els processos supergènics d'oxidació del ferro i alteració de sulfats dels materials encaixadors descrits abans.

Les dades han estat obtingudes a partir d'una fita històrica: la pluja de 500 litres per metre quadrat que van caure en la zona a l'octubre de 1994. Aquestes fortes precipitacions reactivaren l'activitat erosiva del barranc de Sant Benet i posaren de manifest afloraments d'antigues terrasses al·luvials; alhora activaren la dinàmica supergènica.

La primera litologia és la Unitat Crosta Ferruginosa. *Figs. 9, 10, 11, 12 i 13.* El tipus de roca és mixt entre materials detrítics i físico-químics.

La litofàcies, en conjunt, és bandada lenticular on s'alternen els nivells que guanyen potència centimètrica i desapareixen; també hi ha laminacions de tamany molt inferior que les bandes anteriors. Les laminacions són de goethita diagenètica. Hi ha porositat de clasts tous dissolts i de motlle de restes vegetals (fulles i tiges). La potència que pot assolir com a màxim és de 30 centímetres.

La textura és microcristal·lina en totes les bandes. Hi ha grans de quars detrític de mida sorra i subangulosos molt dispersos. Hi ha microcristalls de guix disseminats.

La fàbrica és *matrix supported*. La deshidratació dels col·loides provoca uns sulfats insolubles amb un caràcter gairebé madur. El caràcter de maduresa textural és major a les bandes de la base que a les del sostre.

La litologia és de sulfats insolubles com la jarosita, la hidroniojarosita i el guix de precipitació primària, de minerals diagenètics com la goethita, la limonita i el guix, i els detrítics són de quars.

Els estadis evolutius són una variació mineralògica que es manifesta amb una successió de colors: el primer estadi és groc (*Fig. 9*) per causa de l'acumulació dels col·loides de sulfats insolubles; el segon estadi és una pàtina d'ocre causada per l'oxidació superficial del ferro que hi ha al sostre de la darrera acumulació; el tercer estadi és la pàtina anterior de color gris atribuïble a l'acumulació de restes orgàniques i a la meteorització.

La deposició es basa en un cicle químic de precipitació i acumulació *in situ* (*Fig. 10*). El precipitat és una emulsió primària d'acumulació que es forma a les parets de les ampelïtes i dels pòrfirs i a les zones d'escorrialles d'aigües. Construeix línies horitzontals sinuoses que se superposen i augmenten el relleu de les parets i les zones de drenatges. Amb poques setmanes es deshidrata. Fins aquí arriba la descripció del fenomen actual. A partir de l'erosió es condiciona la seva preservació (*Figs. 11-12*) i ens permet establir cada cicle d'avinguda d'aigües important perquè el reflex n'és el bandat de la crosta o roca. (*Fig. 13*). La Unitat Crosta Ferruginosa és un fenomen actual i generalitzat a l'àrea d'estudi i dins el context de les muntanyes de Prades. Es produeix per l'actuació de l'aigua meteòrica dins el reservori de les roques metamòrfiques i filonianes —ampel·lites i pòrfirs. L'alteració dels sulfurs i l'eixida a l'exterior mitjançant les diàclasis són per l'augment de volum dels productes. Les acumulacions són allò que nosaltres observem i ens permeten entreveure uns processos que estan passant.

La segona litologia és la Unitat Terrassa Goethítica (*Fig. 14*). El tipus de roca és mixt entre materials bàsicament detrítics i relictos físico-químics.

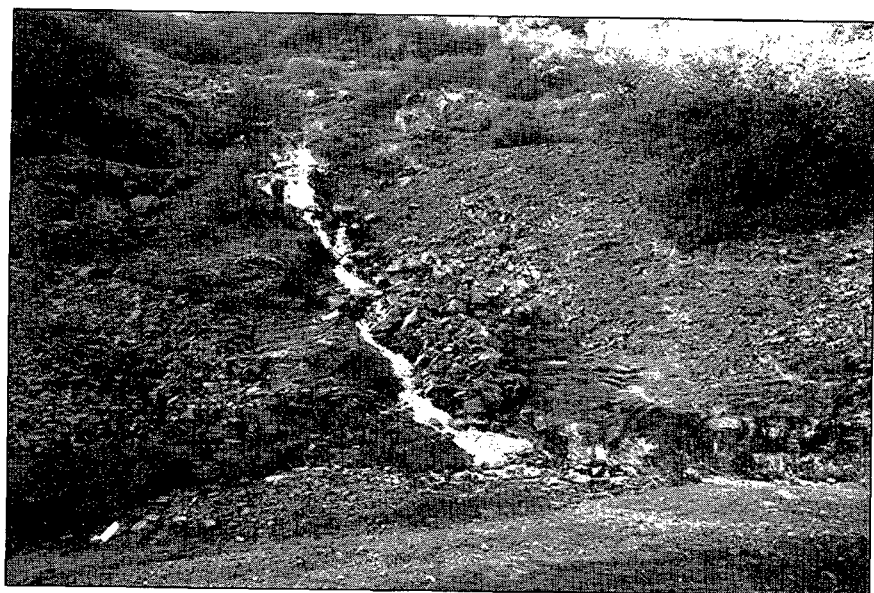
La litofàcies depèn de les terrasses al·luvials a què ens referim. En conjunt, s'observa laminació planoparal·lela a la majoria de terrasses i laminació creuada d'ordre decimètric només en algunes d'aquestes. La bioerosió es troba a la part del sostre de les terrasses com a conseqüència de les arrels d'arbres i matolls. La porositat és fruit de la dissolució de clasts tous.

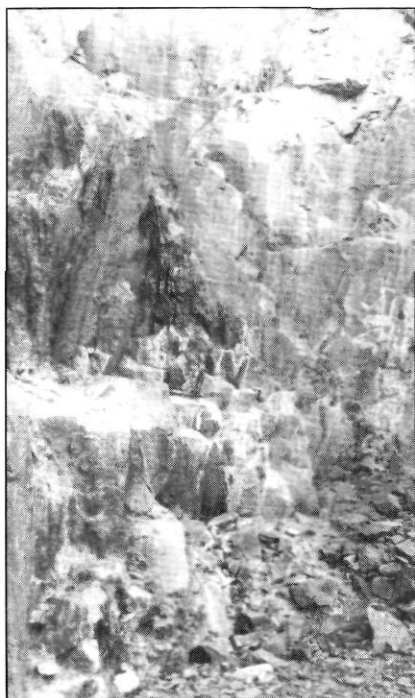
La textura ens discrimina ja només aquelles terrasses que hem anomenat Unitat Terrassa Goethítica. Són aquelles que tenen una matriu de mida llim o lutita amb un alt contingut de ferro que es manifesta amb una coloració vermellosa o carbassa; ocupa gairebé entre un 40% i 80% del volum de la roca. La població de clasts detrítics són subangulosos, subarrodonits i arrodonits (sobretot els clasts reelaborats); la dimensió és de mida rudita fins a mida bloc i ocupen des d'un 60% fins a un 20% del volum.



Fig. 9. Fotografia feta poc després dels aiguats de l'octubre de 1994 del color groc de la Unitat Crosta Ferruginosa abans que s'oxidi

Fig. 10. Fotografia feta poc després dels aiguats de l'octubre de 1994 de la Unitat Crosta Ferruginosa en els drenatges del massís. Encara és de color groc





Figs. 11 i 12. Foto d'abans (a l'esquerra) i de després (a la dreta) dels aiguats de l'octubre de 1994. Reflecteixen la importància dels aiguats respecte a l'acumulació de la Unitat Crosta Ferruginosa i la seva preservació amb el temps

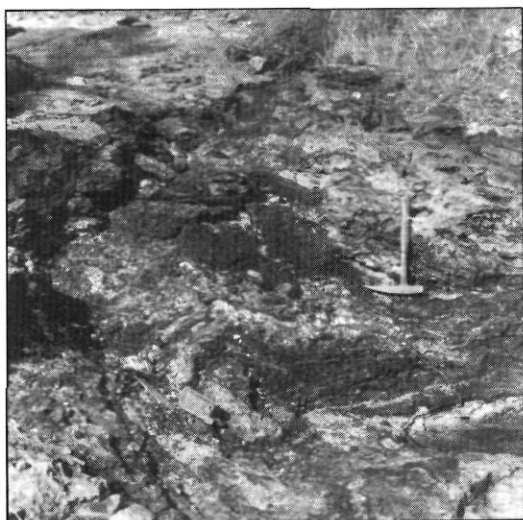


Fig. 13. Fotografia de la Unitat Crosta Ferruginosa amb la textura i el bandejament característics d'aquesta litologia. Aquest és un dels registres de les acumulacions del ferro en forma de sulfats insolubles



Fig. 14. Fotografia feta poc després dels aiguats de l'octubre de 1994 de la Unitat Terrassa Goethítica, que posa en descobert un altre dels registres de les acumulacions del ferro en forma de terrassa bretxosa

La fàbrica bàsicament és *matrix supported*. L'orientació dels clasts és a l'atzar. No hi ha granoclassificació.

La litologia de la matriu és argilosa, amb un alt contingut de ferro que acoloreix la terrassa. Els clasts són de fragments de roca (de pissarres, ignis i d'altres terrasses al·luvials amb la mateixa textura), de feldspats, quars, clasts resedimentats amb envoltes goethíiques...

La deposició és aquella que correspon a totes les terrasses del barranc de Sant Benet. La seva continuïtat es deu al caràcter de les avingudes d'aigua, on aquelles més intenses han activat els processos d'alteració supergènica; l'erosió ha permès que part dels materials de la Unitat Crosta Ferruginosa es dipositin a mena de terrassa bretxosa. El caràcter d'oxidació del ferro és el que en contacte amb les condicions ambientals confereix la coloració vermella. Figs. 15 i 16.

Mineralogia dels materials d'acumulació

En general es tracta d'una mineralogia secundària pel que fa a l'alteració per causa de l'actuació meteòrica. En conjunt no varia gaire, però segons si l'origen és les ampelites o els pòrfirs en resultarà una formació o una altra.

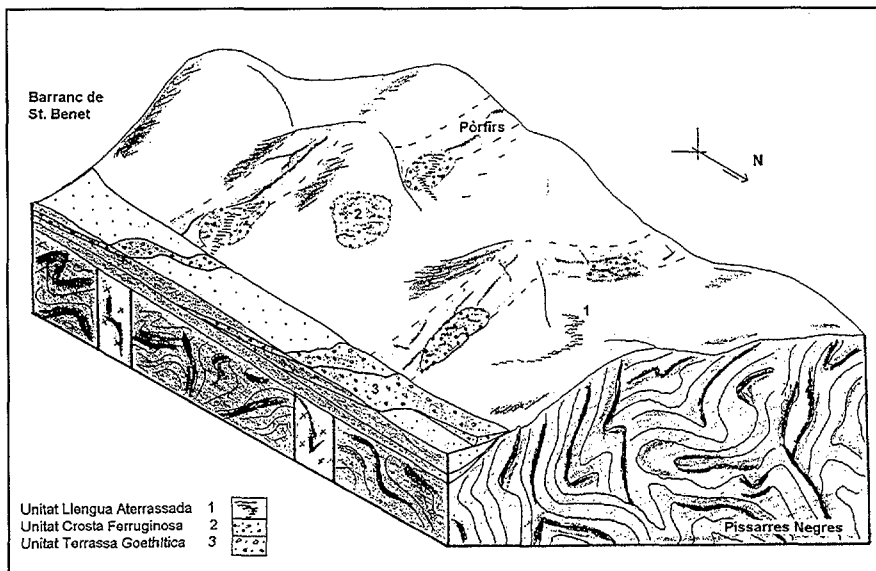


Fig. 15. Tall del barranc de Sant Benet, on es representa el Grup Terrassa Ferruginosa per tal de diferenciar les litologies implicades

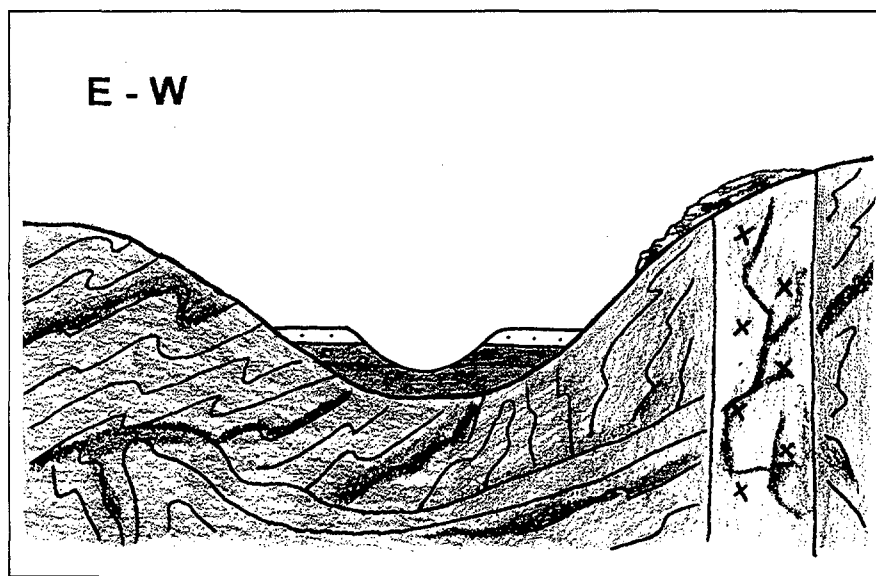


Fig. 16. Tall del barranc de Sant Benet on es veu la Unitat Crosta Ferruginosa i la Unitat Terrassa Goethítica

La Unitat Crosta Ferruginosa és la que presenta més variació mineralògica per causa del bandat de la roca. Els minerals més remarcables són:

- Jarosita. De precipitació primària, és la que predomina més i es troba gairebé en tots els nivells. Podem dir que dóna la coloració groguenca inicial ans no s'oxida el ferro. La mida de gra és microcristal·lina, per la qual cosa la mida no permet la identificació *a visu*. La seva textura és terrosa, i forma nivells més o menys uniformes que no superen el centímetre de gruix.

- Hidronio jarosita. De precipitació primària, es troba en el nivell basal.

- Guix. De precipitació primària i diagenètica, n'hi ha en bona quantitat i, sobretot, en els nivells basal i superior de la formació.

- Goethita. De precipitació diagenètica, està disseminada en tots els nivells, i associada a hidroniojarosita. És en el nivell intermedi que es presenta en forma nodulosa o amb iridiscències metàl·liques, o microcristal·lina en clapes. Els nòduls poden assolir centímetres de llargada i no assoleixen el centímetre d'amplada, resseguint el nivell on es troben.

- Limonita. És diagenètica i dóna el color groc característic dels òxids-hidròxids de ferro. Es troba sempre al voltant de la goethita.

- Quars. D'origen detrític, es caracteritza per situar-se sobretot en el nivell superior i ajuda a donar consistència a la formació.

EL MARC HIDROGRÀFIC

El migjorn català és considerat una zona de costa amb precipitacions moderades, de 500-600 mm/any. En el nostre cas, les formacions geològiques permeables del subsòl regulen i permeten la constància de les aportacions dels dipòsits naturals d'aigua que sovint són recarregats per la pluja entre altres. L'aigua s'emmagatzema pels aquífers mitjançant les seves sortides naturals, puntuals o difuses anomenades fonts de les muntanyes de Prades i, en el cas que ens ocupa, arribaran al riu Francolí. Aquest és un magatzem que augmenta en períodes no humits o en èpoques amb predomini de l'evaporació; o, a la inversa, en les estacions humides, la proporció de les aportacions d'aigües subterrànies es redueix, per tornar a augmentar quan acaba l'efecte de batec de les pluges.

El domini hidrogeològic respon als factors geològics: els tipus de roques, la seva disposició estructural, la seva permeabilitat i la seva porositat... Afegim-hi, encara, la seva distribució en l'espai i els factors climàtics, morfològics i de vegetació, que determinen la facilitat en la recàrrega o la infiltració cap als nivells permeables (Serrat, D., 1985).

La noció d'aquífer acostuma a anar lligat a la de circulació en medi permeable saturat i regint-se per unes lleis i seguint uns paràmetres hidràulics que depenen de l'estructura del magatzem aquífer i que bàsicament són la porositat i la permeabilitat, a banda de les característiques del fluid, com són la viscositat, el pes específic i el mòdul de compressibilitat.

La zona del Bosc de Poblet, la podem considerar com a zona ígnia, metamòrfica i sedimentària. La identificació de discontinuïtats o superfícies d'erosió recauen en la problemàtica per la seva manca de densitat i qualitat en els reconeixements mecànics del subsòl. Aleshores es tracta d'una zona de medi fissurat i amb terrenys pràcticament impermeables, a les seves zones granítiques amb aigües dins dels al·luvions, les fissures i els dics de roques filonianes (amb petites reserves a les zones d'alteració superficial) amb nombroses fonts; a les zones de roques antigues (pissarres i altres) amb quantitats d'aigua reduïdes en els al·luvions, zones d'alteració i fractures amb nombroses fonts. En canvi, en els materials del triàsic ens trobarem un medi fissurat i porós (gresos i conglomerats del Buntsandstein) o carstificat (calcàries del Muschelkalk).

La importància del conjunt de les muntanyes de Prades escau amb un règim hidrològic típicament mediterrani, on hi ha el caràcter d'un cabal pluviomètric regular al llarg de l'any amb sequera a l'estiu; això ens modifica, en certa manera, el flux del cabal de les fonts estudiades.

La disposició d'aigua a l'aquífer que va a parar a la font de la Magnèsia és menor que la del Ferro. És per això que hi ha dues canelles per a la font de Ferro i un per a la de la Magnèsia.

TÈCNiques D'ESTUDI

El mostreig que s'ha realitzat es basa en la identificació de les mostres preferentment recollides a les zones de fractura de la geologia de la zona, i amb l'anàlisi de les aigües que surten per les fonts.

El producte de l'acció meteòrica són les petites morfologies com les eflorescències, les crostes, les pel·lícules... que són tota una combinació de colors. Principalment aquests residus supergènics són sulfats solubles i insolubles que tapissen en part les parets de pòrfirs i pissarres. La solubilitat d'algunes eflorescències ens ha permès resseguir el camí de l'aigua un cop ha alterat i rentat aquests productes, fins a l'aigua mineral que brolla per les fonts. Per tant, i per tal d'explicar les reaccions que intervenen en el procés, cal conèixer la identitat dels elements abans i mentre es troben incorporats a l'aigua.

Filtrar les aigües és bàsic a l'hora de discriminar entre aquells compostos que estan en suspensió i amb aquells que es troben dissolts. Allò que cerquem en l'aigua es troba dissolt amb aquesta formant dissolucions diluïdes. Això vol dir que s'atansen a un comportament ideal i que, per tant, es regeixen per les lleis més senzilles de la química clàssica; les reaccions es complicaran quan tractem amb dissolucions concentrades que s'aparten molt del comportament ideal i que cal estudiar-les per separat.

La bibliografia ja descriu un mètode de treball per l'estudi de les mostres que consisteix en la combinació de l'anàlisi química amb la difracció de raigs X de forma esglaonada, dissolvent amb aigua i àcid nítric, respectivament (Hueso *et al*, 1981). Els resultats posen de manifest, en qualsevol cas, la presència de minerals de les distintes fases mineralitzants i dels corresponents oxidats.

Amb la recollida de les mostres es planteja el tamany de gra molt fi de les eflorescències, pel que no permet la identificació pels mètodes més senzills: *a visu* o mitjançant lupa binocular. Tampoc no és gens fàcil la confecció de làmina prima del material perquè el gra és fi, tou i soluble. Per això hem hagut de recórrer directament a les tècniques d'anàlisi puntual (microscopi electrònic) i a la difracció en pols de raigs X.

EL MICROSCOPIC ELECTRÒNIC

La preparació de les mostres es duu a terme en uns portaobjectes metàl·lics autoadherents. Amb un recobriment a base de carboni, les mostres es fan conductores dels electrons. El tractament es fa al buit com a condició perquè no es perdi la hidratació o l'oxidació d'algunes de les mostres.

La microscòpia electrònica es basa en un feix molt fi d'electrons que incideix sobre una mostra. Alguns són simplement retrodispersats des de la mostra. La intensitat dels electrons retrodispersats o retrodifosos en bona part depèn del número atòmic dels elements que constitueixen la mostra i de l'angle d'inclinació de la superfície de la mostra amb el feix incident. Amb una imatge de composició referida a la intensitat dels electrons retrodispersats podem obtenir un *mapping* dels elements presents. Podem observar la distribució qualitativa d'un element donat en una mostra. Es tracta d'un mètode relativament barat i que ens permet obtenir microfotografies encara que es tracti de mostres no tractades. Ens dóna una veritable ampliació de les característiques morfològiques no observables a ull nu.

La microscòpia electrònica amb analitzador d'energies (SEM-EDS). Hem treballat amb l'aparell MER2 Stereoscan S-120 i amb el seu analitzador

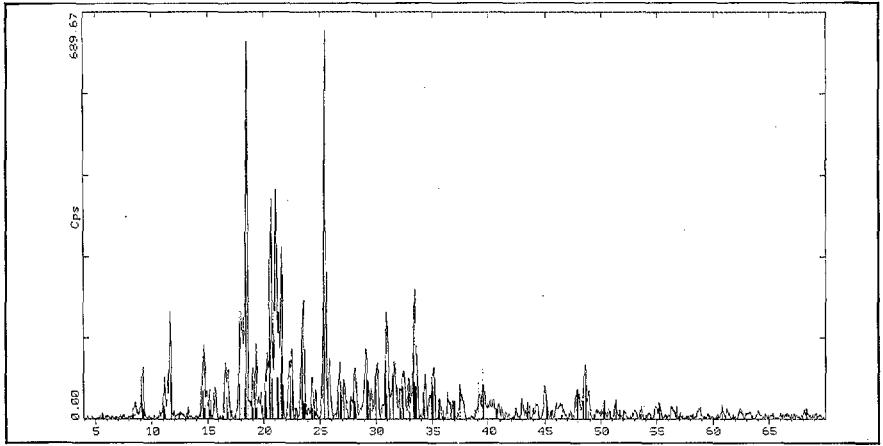


Fig. 17. Diagrama d'intensitats d'una anàlisi qualitativa de raigs X, amb l'analitzador del microscopi electrònic MER2 Scanning S-120, d'una mostra de melanterita

ESS1 Microanàlisi (EDS) LINK amb equip informàtic, que ens ha permès conèixer l'anàlisi qualitativa de cada mostra. El MER2 ens permet una imatge topogràfica, una tabulació d'energies mitjançant la microanàlisi de l'espectre característic (*Fig. 17*) i ens possibilita establir les diferents densitats dels elements presents per la seva discriminació dels electrons retrodifosos. El treball s'ha realitzat a 17 mm de distància del detector i la mostra i amb una diferència de potencial de 15 KeV.

En base a la suma de les capacitats de microscopi i microanàlisi hem realitzat el reconeixement mitjançant un *mapping* amb el tipus de cristalls de les eflorescències, la textura dels precipitats de ferro, la disposició d'elements més o menys densos a una mateixa mostra, el creixement d'alguns cristalls a la postprecipitació del ferro, constatar l'existència de microorganismes com diatomees... *Figs. 18-19-20-21*

LA DIFRACCIÓ EN POLS DE RAIGS X

Cal que les mostres siguin triturades fins a aconseguir una pols fina impalpable als dits per poder ser introduïdes a l'aparell. La cura de les mostres hidratades és un factor important. Sabíem que en minerals com les zeolites, semblants als nostres per la seva elevada hidratació i delicadesa, requerien especials precaucions per tal que no es perdés l'aigua ni hi haguessin processos de recristal·lització. Per un costat, hem triturat les



Fig. 18. Microfotografia de l' Scanning S-120 que ens indica la disposició, la morfologia i el creixement d'aquests cristalls de guix amb nòduls i agregats de goethita

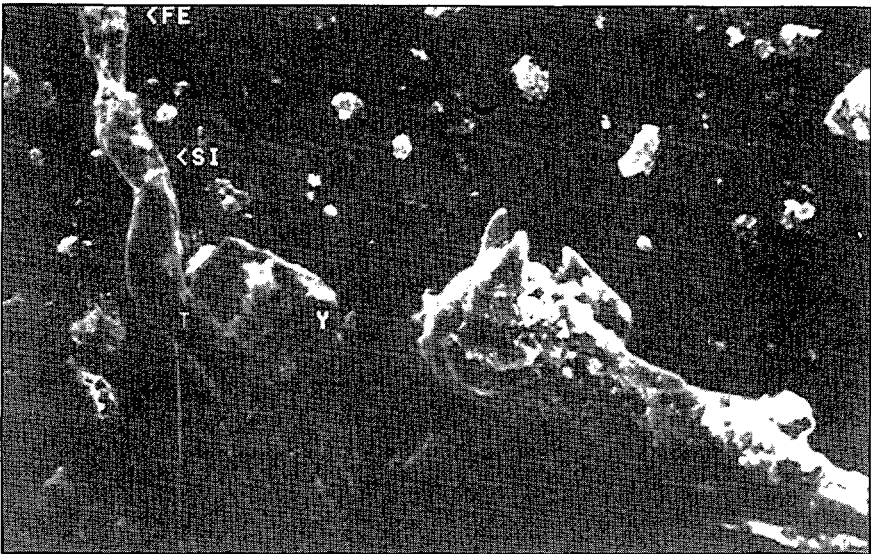


Fig. 19. Microfotografia de l' Scanning S-120 que ens indica el creixement posterior d'un cristall de guix (Y) al damunt d'una alga amb estructura silícica (Si) i amb un recobriment goethític (Fe); a la vora hi ha un microorganisme de la pica de la font

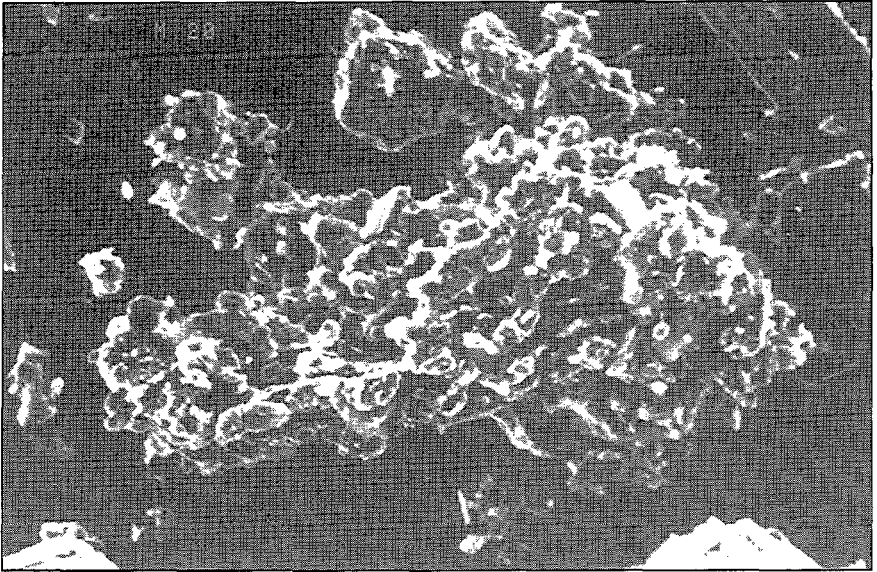


Fig. 20. Microfotografia de l' Scanning S-120 d'un nòdul i agregat de goethita del pòsit que es produeix a la pica de la font

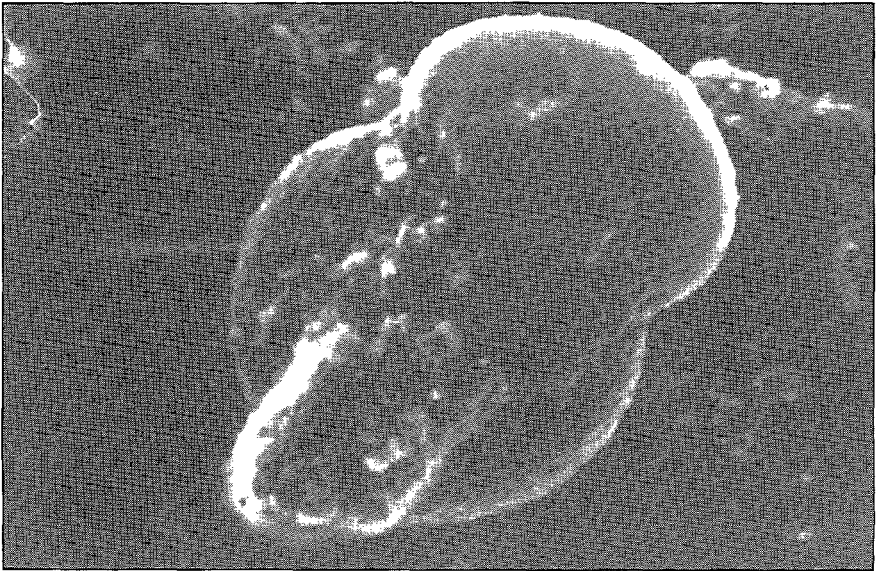


Fig. 21. Microfotografia de l' Scanning S-120 d'un microorganisme que desenvolupa el seu cicle vital dins la pica de la font

mostres insolubles mitjançant un senzill aparell triturador; però les solubles, les hem triturat a mà, suaument i amb un morter.

La difracció en pols de raigs X es basa en la interacció dels raigs X i la matèria cristal·lina. Quan aquesta radiació incideix sobre la matèria cristal·lina es produeix la difracció del feix quan s'acompleix la llei de Bragg, que diu $n\lambda = 2d\sin B$ on λ és la longitud d'ona de la radiació X; d és l'espaiat reticular d'un pla donat de la substància bombardejada i B és l'angle de difracció.

L'aparell de difracció en pols de raigs X consta d'un difractòmetre o/2o de la marca Siemens i model D-500, que treballa amb radiació $K\alpha$ de Cu a 40 Kv - 30 mA, amb un monocromador 2on de grafit, la finestra de divergència del qual és a 1, mentre que la finestra de recepció és a 0,05.

A la pràctica, els espaiats reticulars obtinguts es comparen amb unes fitxes de referència, fitxes ASTM, obtingudes per totes les espècies minerals definides. El mètode clàssic de comparar els espaiats experimentals amb els teòrics és l'anomenat Mètode de Hanawalt. A la pràctica el mètode es troba avui informatitzat, i la identificació d'espècies és ben senzill, ja que és millor, per a una bona seguretat, tenir una idea prèvia dels minerals que anem a trobar.

L'objecte és la identificació ràpida dels minerals presents en base a la seva estructura. Es tracta d'un mètode no destructiu, ràpid, amb alta precisió, repetible; ideal per la confirmació de la presència o no d'un mineral a la mostra. *Fig. 22.*

El fet que la Facultat de Geologia disposi del programa d'interpretació informatitzat de l'anàlisi de difracció, Programa EVA, facilita les tasques de resolució dels espectres.

L'ESTUDI AMB L'ANÀLISI QUÍMICA

La marxa analítica és el procés que se segueix per a una anàlisi qualitativa (allò que hi ha) prèvia a l'anàlisi quantitativa (quan en tenim) de l'aigua la composició de la qual volem conèixer. En general és aplicable a l'anàlisi qualitativa de qualsevol tipus de mostra problema, no necessàriament líquida.

El mètode es basa en les propietats químiques dels elements a la taula periòdica. Així, segons les seves propietats, tenen un comportament o un altre davant les etapes de l'anàlisi. L'utilatge que fem servir es basa en estris de vidre, sals, solucions concentrades... que podem trobar en qualsevol laboratori que treballi amb les tècniques tradicionals. Aquesta manera de

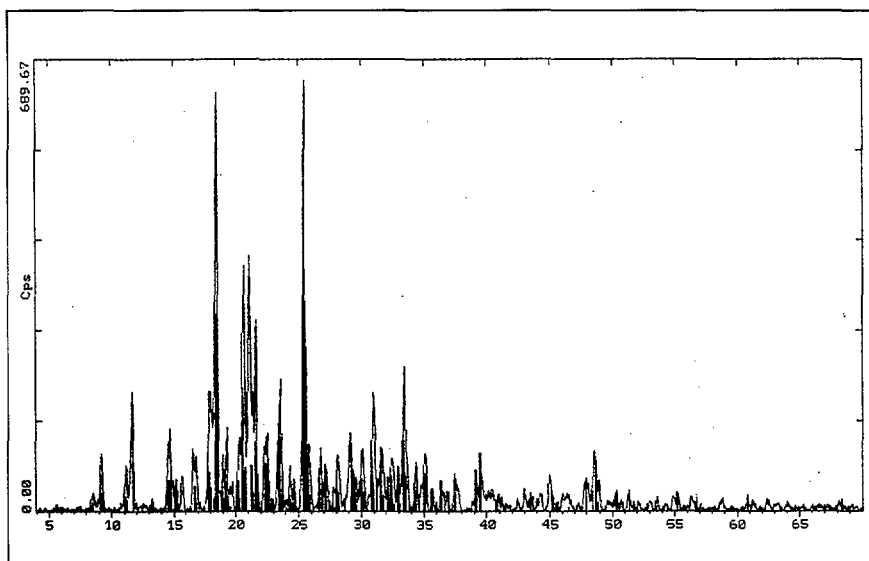


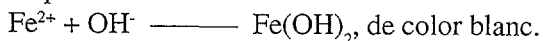
Fig. 22. Diagrama de pics d'intensitats de la difracció en pols de raigs X interpretat d'una mostra que contenia pickeringita, halotriquita, kalinita i guix

treballar ens permet conèixer les propietats químiques i, concretament, les del ferro en els seus estats d'oxidació, en la mesura del comportament en reaccions davant d'altres espècies químiques i així interpretar les manifestacions del ferro a la natura.

El quimisme de les aigües

En aquest apartat descrivim resumidament l'anàlisi de les aigües de la font de l'Abat Siscar. Hem pretès conèixer la identitat dels ions i hem provat de quantificar tot allò que ha estat possible en la mesura que s'hi troben. Així coneixem el seu comportament i ho apliquem al comportament de les mostres de camp recollides. Partim de la identificació de les fases que es trobaven en la realitat i estudiem la simulació d'alguns processos al laboratori, reproduint allò que ocorre de forma natural.

El ferro es pot presentar en la natura de dues formes distintes: el catió ferrós és el més inestable en condicions normals, però tot i això roman un cert temps en la forma:



El catió fèrric és la forma més estable pel que es troba, a tall d'exemple:
 $Fe^{3+} + OH^- \longrightarrow Fe(OH)_3$, de color marró-vermell.

En el procés de solvatació del ferro amb l'aigua s'alliberen protons, motiu pel qual el ferro té un comportament àcid.

	Font del Ferro	Font de la Magnèsia
Quantitat de clorurs	14,2 ppm	< 1,775 ppm
° TH	19,9	26,5
Duresa	semidura	prou dura
Potabilitat	aigües bones	aigües bones
Contingut en CO ₂ lliure	19,9	—
Agressivitat	poc agressiva	—
pH (paper indic. univ.)	6-7 (lleug. àcida)	5-6 (àcida)
pH (tiretes Merck)	6,5 - 6,8	< 6,5

Mitjançant l'equació d'Henderson-Hasselbach, on intervenen les concentracions d'equilibri de la reacció CO₂/HCO₃⁻ així com de la constant d'equilibri (pKa = 6,1), calculem el pH (Reiner, M., 1968).

	Font del Ferro	Font de la Magnèsia
pH	6,7	—
Ta	0	0
Tac	100,08 ppm (mg/l CaCO ₃)	indicis
Alcalinitat	aigua potable	aigua potable
Bicarbonats	122 ppm	indicis
Ca ²⁺	57 ppm	33,5 ppm
Mg ²⁺	13,9 ppm	44,1 ppm
Alumini fluorescència		
verda de Goppelsroeder	positiu (traces)	positiu
Sulfats	148,3 ppm	205,9 ppm

La detecció qualitativa del ferro es fa amb els reactius corresponents en excés perquè tot el ferro reaccioni:

	Font del Ferro	Font de la Magnèsia
Tiocianat	negatiu	negatiu
Ferrocianur	negatiu	positiu
Àcid salicílic	negatiu	negatiu

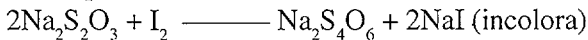
Un resultat negatiu implica que no hi ha reacció amb el ferro perquè no hi és o perquè la quantitat és molt petita. El resultat positiu implica l'existència de ferro en forma de Fe^{3+} .

Ja que hi ha poc ferro en dissolució, la reacció amb el ferrocianur és lenta, comença amb una coloració verda que més endavant dóna un precipitat blau característic.

Mitjançant una iodometria i les reaccions d'oxidació-reducció amb els respectius potencials de reducció podem deduir el procés que es desenvolupa:



La reacció és de color blau intens que amb el midó que afegim —2 ml— d'una concentració 61,68 mol/l. Prenem les aigües problema i afegim 1 ml de iodur de potassi 1,20 N. El reactiu valorant és el tiosulfat sòdic 0.02 N.



	Font del Ferro	Font de la Magnèsia
Fe^{3+}	111,6 ppb	1,724 ppm
Al^{3+}	indicis	2,35 ppm
Na^+	16,84 ppm	25,27 ppm
K^+	0	0

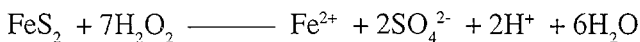
El comportament dels elements dissolts a l'aigua és en forma iònica i hidratada.

El quimisme de les mostres: dades per l'anàlisi de les mostres

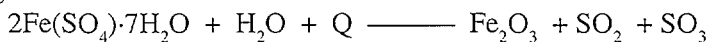
Quan hem identificat les fases minerals les estudiem provocant la reacció amb reactius específics cercant les distintes fases que en resulten, els corresponents òxids i les condicions que les afavoreixen.

Els assajos són molt més amplis del que aquí exposem. No obstant això, els més significatius corresponen als sulfats i el ferro com a components participatius majoritaris. Els assajos, com dèiem, no s'acaben amb el llistat següent, sinó que encara n'estem realitzant i manca l'ampliació del que proposem com a cicle.

La pirita és un disulfur, amb un comportament una mica diferent dels altres sulfurs que també es troben a l'àrea d'estudi. Només ens reacciona amb aigua oxigenada i dóna una efervescència que allibera uns coàguls blancs i grocs pertanyents a sulfats; el pH dóna entre 1 i 2, major que el de l'aigua oxigenada.



-Dissolem melanterita amb aigua destil·lada; el pH se situa entre 5 -6, lleugerament àcid.



-Dissolem paracoquimbita amb aigua destil·lada i el pH és entre 1-2, molt àcid.

-Dissolem billinita i pickeringita amb aigua destil·lada; el pH amb paper indicador és de 5-6, lleugerament àcid.

-Dissolem alunogen amb aigua destil·lada; es dissol parcialment i el pH continua essent àcid: 5-6.

-Disreguem un pòrfir que barregem amb el doble del seu volum amb carbonat sòdic, ambdós triturats a una pols fina. L'escalfem en gresol de porcellana. Quan s'ha refredat afegim aigua destil·lada i l'acidifiquem amb HCl concentrat i el filtrem. Es realitza la marxa dels carbonats i amb l'anàlisi detectem Fe, Al, Ca i Mg sense investigar altres ions.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

“Afirmar categòricament és negar allò que és evident.” Les propostes fetes, per la manca de bibliografia específica o, en tot cas, per la inexistència de dades, ha fet que nosaltres mateixos ho haguéssim d'anotar. Les propostes sempre seran susceptibles d'ésser modificades.

GEOLOGIA

La geologia: els materials d'acumulació

Proposem el nom de materials d'acumulació a unes litologies que estan implicades, en bona part, dins el context geològic. Com a tals es troben en estat actiu i la descripció en el treball és breu; tant aquests productes d'acumulació com el treball no s'acaben aquí. Per això, i per l'extensió, hem considerat que

s'havia de descriure aquestes unitats dins l'apartat de la geologia. No obstant això, es tracta de noves dades dins l'entorn del Bosc de Poblet i, generalitzant, que contribueixen al coneixement de les muntanyes de Prades.

Les fases minerals del cicle d'una font de ferro

El terme mineral implica l'estabilitat addicional de les fases que hi són presents. La identificació de cada fase mineral correspon a un moment determinat i a una metaestabilitat, mentre que el seguiment fidel de totes les fases per les quals evoluciona a partir dels components inicials, ens indiquen la tendència a assolir la màxima estabilitat. Això és el que ocorre en el model de Poblet: la dinàmica d'alteració supergènica és tan complexa que costa definir totes les fases involucrades i quin és el camí que segueixen.

Empíricament proposem que les mineralitzacions més importants de la font de Ferro provenen de l'alteració supergènica de sulfurs. Tots aquells sulfats solubles i les fases per les quals segueixen, s'incorporen al cicle d'una font d'aigües minerals ferruginoses. La seva producció depèn de les pluges, de la solubilització de l'aportament mineral i de l'escolament subterrani.

Així, i dins dels mateixos processos cinegètics, es produeixen els sulfats insolubles, que precipiten *in situ*. La seva acumulació dóna lloc a unes litologies que confereixen un nou modelat amb morfologies espectaculars.

En conjunt descriuen uns processos de neoformació que depenen de la meteorització. La seva producció i la seva preservació depenen de l'evapotranspiració real i potencial (les condicions d'humiditat relativa, la pluviometria, la insolació, el pendent dels drenatges, les dimensions de les diàclasis...) La identificació de les fases estables a l'hora de la recollida és un dels punts culminants del treball. Una síntesi en quatre blocs dóna la idea que el fenomen en si és fruit de diversos mecanismes, alhora de les implicacions que repercuteixen en els seus components:

- Els sulfats encarregats d'alterar-se són: arsenopirita, calcopirita, esfalerita, marcassita, pirita i pirrotina.

- Els sulfats solubles que es produeixen i lixivien són: aluminocopiapita, alunogen, apjohnita, billinita, epsomita, halotriquitita, kalinita, melanterita, paracoquimbita i pickeringita.

- Els sulfats insolubles que es produeixen i s'acumulen són: guix, basanita, jarosita, hidroniojarosita i natrojarosita.

- Altres fases que intervenen en el procés d'alteració i reacció són: apatita, biotita, calcita, clinoclor, clinoclor fèrric, moscovita, ortosa, plagiòclasi, quars i ripidolita.

La tectònica

Algunes fonts termals responen a processos en els quals intervé el moviment de masses o la tectònica, entre altres paràmetres. Com que les mines recol·lectores es troben dins el sòcol paleozoic de les muntanyes de Prades, la seva cartografia i la seva situació indiquen que la falla de Poblet no té res a veure amb els processos de mineralització. La confusió podia ser lògica ja que les mines es troben en el sòcol paleozoic i la font de l'Abat Siscar és als terrenys terciaris de la plana de la Conca; com que la connexió es fa mitjançant una canonada, la falla de Poblet en tot cas es troba a mig camí i prou.

El plegament hercinià origina l'aixecament i la fracturació dels materials més antics. Els pòrfirs i les pissares es troben tectonitzats amb falles i diàclasis que el que comporten és un major escolament de les aigües meteòriques.

ANÀLISI QUÍMICA

L'anàlisi que segueix data del 23 d'agost de 1994. Concretament s'escau amb l'acabament d'un període de sequera, que com veurem més endavant influeix en la composició de l'aigua.

	Font del Ferro	Font de la Magnèsia
<i>Característiques generals</i>		
pH (indicador univ.)	6-7 (lleug. àcida)	5-6 (àcida)
pH (tiretes Merck)	6,5 - 6,8	< 6,5
pH	6,7	—
Contingut en CO ₂ lliure	19,9	—
Alcalinitat	aigua potable	aigua potable
Ta	0	0
Tac	100,08 ppm (mg/l CaCO ₃)	indicis
°TH	19,9	26,5
Duresa	semidura	prou dura
Potabilitat	aigües bones	aigües bones
Agressivitat	poc agressiva	—

Anions

Cl	14,2 ppm	< 1,8 ppm
Bicarbonats	122 ppm	indicis
Sulfats	148,3 ppm	205,9 ppm

Cations

Ca ²⁺	57 ppm	33,5 ppm
Mg ²⁺	13,9 ppm	44,1 ppm
Fe ³⁺	111,6 ppb	1,73 ppm
Na ⁺	16,84 ppm	25,27 ppm
K ⁺	0	0

Altres determinacions

Alumini	indicis	2,35 ppm
fluorescència verda de Goppelsroeder	positiu (traces)	positiu

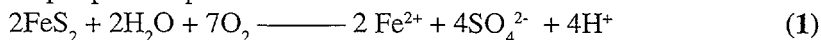
Les reaccions a l'àrea font del cycle d'una font de ferro

Les reaccions a l'àrea font corresponen a les mineralitzacions associades al marc hidrogràfic. Els processos d'alteració, oxidació de sulfurs, precipitació de sulfats, hidròxids... amb el seu transport o la seva mobilitat confeccionen el mecanisme genètic i esdevé el cycle d'una font d'aigües ferruginoses. En definitiva és el resultat que explica el procés i prova de descriure les condicions per les quals es desenvolupa; la seva interpretació és el diagrama evolutiu que segueix en el següent apartat.

El nombre de sulfurs a la zona és elevat. A causa de la major quantitat de pirita respecte als altres sulfurs, partim d'aquesta per encetar les reaccions. No podem descartar la possibilitat que no sigui l'única.

Dissolució de la pirita

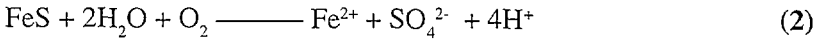
Es pot produir per la reacció:



La pirita es troba tant a les ampelites negres com als pòrfirs, i l'oxigen i l'aigua provenen de l'atmosfera. Aquesta reacció allibera gran quantitat de protons a la vegada que el caràcter del Fe²⁺ és molt àcid, per això les aigües superficials que lixivien àrees amb pirita són àcides.

Dissolució de la pirrotina

Es pot produir per la reacció següent:



La pirrotina es troba tant a les ampelites negres com als pòrfirs, i l'oxigen i l'aigua provenen de l'atmosfera. Aquesta reacció allibera gran quantitat de protons a la vegada que el caràcter del catió Fe^{2+} és molt àcid, per això que les aigües superficials que lixivien àrees amb pirrotina són àcides.

Precipitació de sulfats ferrosos

Creixen com a eflorescències tota la gran varietat de sulfats que es formen, això sí, al damunt de les pissarres i dels pòrfirs (*Fig. 23*). La melaniterita es produeix per una reacció amb aportament important d'aigua per desplaçar-se, com indica la reacció, cap a la dreta; per a la formació dels sulfats solubles cal un grau alt d'humitat. El seu caràcter soluble fa que es lixivii.

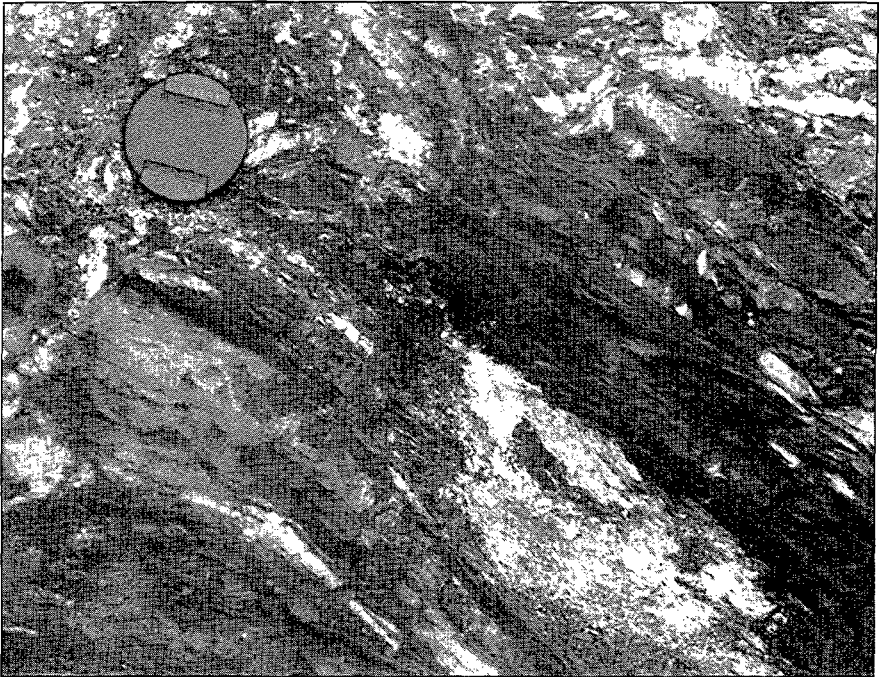
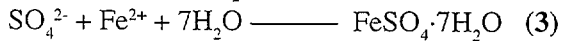
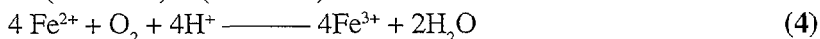
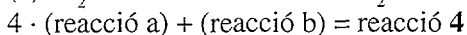
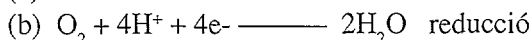


Fig. 23. Fotografia de les pissarres negres en què, amb l'alteració de sulfurs, es produeixen els sulfats com la melaniterita

Oxidació a l'àrea font

Fins ara a les primeres etapes hem seguit els processos que involucren el ió Fe^{2+} ; a partir d'ara s'oxida i passa a la forma Fe^{3+} .

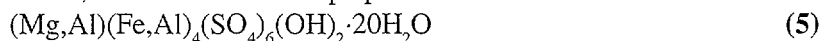
En les dues semireaccions següents, el ferro s'oxida en presència d'oxigen i hi ha una pèrdua d'electrons:



En medi àcid i amb presència d'oxigen, els cations ferrosos provinents de la dissolució de les pirites i les pirrotines s'oxiden a cations fèrrics.

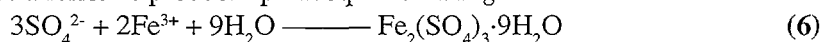
Precipitació de sulfats fèrrics

En el següent procés de transformació de sulfats, tenint en compte l'aportament de ferro que pot provenir tant de la pirita o pirrotina com de la melanterita, es forma aluminocopiapita:



Amb un aportament important d'aigua es produeix aquesta molècula. Preferentment la trobem en els pòrfirs granítics.

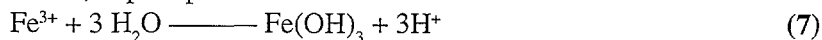
El pas següent de transformació, tenint en compte l'aportament de la pirita o la pirrotina, com la melanterita, amb una prèvia oxidació del catió fèrric a fèrric es produeix paracoquimbita. *Fig. 24.*



L'aportament d'aigua és gran perquè la reacció es desplaça cap a la dreta. Per això, en la formació de sulfats solubles cal un cert grau d'humitat ambiental. El caràcter soluble d'aquests sulfats determina que siguin lixiviatats. La paracoquimbita creix formant eflorescències al damunt de les ampel·lites, a voltes al costat de la melanterita i sovint associades amb guix.

Precipitació del ferro

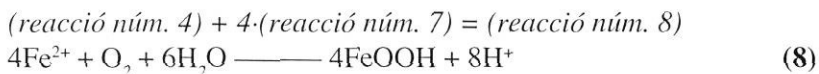
La disponibilitat de ferro després de l'oxidació (reacció núm. 4), junt amb la disponibilitat de l'aigua que es troba en el medi permeten, de forma irreversible, la precipitació del ferro en forma d'hidròxid.



En la reacció es produeixen protons que indiquen que el Fe^{3+} és un catió àcid. Com que les reaccions d'oxidació (reacció núm. 4) i de precipitació del ferro (reacció núm. 7) se succeeixen gairebé simultàniament, i es poden englobar en un únic procés definitiu:



Fig. 24. Fotografia de les pissarres negres que, amb l'alteració de sulfurs, produeixen sulfats com la paracoquimbita.



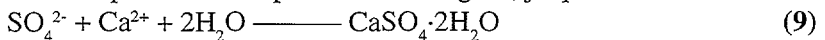
L'hidròxid de ferro passa a una forma més estable mitjançant la deshidratació i reordenació de la molècula i origina goethita que al final és la fase més insoluble.

•••

Fins aquí no hem fet cap altra cosa que repetir allò que es preveia; cada procés es prova d'explicar per separat encara que la seva successió només condueix a un únic resultat final. No obstant això, cal establir cada reacció, en la mesura que sigui possible, a cada un dels possibles estats pels quals travessa el cicle. Les reaccions que més es donen i que són imprescindibles en el cicle es troben numerades. Això no vol dir que se succeeixin tal i com les hem numerades, sinó que descrivim tot el procés malgrat que es puguin donar les reaccions parcials. El cicle d'una font d'aigües minerals ferruginoses comprèn totes les reaccions que hem descrit.

Precipitació del guix

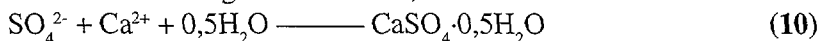
La disponibilitat de sulfats que provenen dels sulfurs i dels sulfats hidratats davant la presència del catió de calci ens dóna un precipitat de guix. La seva formació pot ser directa a partir de l'alliberament d'anions sulfat i del calci provinent de les ampelites o dels pòrfirs, o indirectament per insolació dels sulfats de ferro amb contacte amb les ampelites o els pòrfirs. El trobem en grans quantitats en els pòrfirs i les pissarres en forma d'eflorescències blanques a vegades acolorides i tenyides pel ferro present. Es troba amb menor quantitat a la pica de la font en forma de cristalls ideals i de formació posterior a l'aparició de les algues, ja que creix al damunt.



Tractant-se d'un sulfat gairebé insoluble, es pot confondre fàcilment amb les eflorescències solubles i es pot distingir pel seu gust sec i insípid.

La gran quantitat de guix observada indica que es produeix un aportament important de Ca^{2+} al sistema. Ja que tant les pissarres com els pòrfirs tenen si fa no fa la mateixa quantitat de Ca, a la conca de drenatge, s'hi produeix guix sigui quin sigui el seu origen. Potser la plagiòclasi dels pòrfirs fa que hi hagi un xic més de calci i se'n produeixin així exemplars més espectaculars. *Fig. 25.*

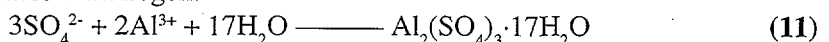
La insolació sobre els sulfats de ferro ens permet anions sulfat que en presència de Ca^{2+} ens dóna guix, i una continuada insolació sobre el guix ens el pot transformar a un guix deshidratat, la basanita:



La basanita, l'hem trobada només a les parets dels pòrfirs. Potser un mostreig una mica més exhaustiu ens indicaria l'existència de basanita a les parets de les pissarres.

Precipitació de sulfats alumínics

La disponibilitat dels sulfats a l'aigua meteòrica permet l'alteració de les plagiòclasis dels pòrfirs, que en aquest procés alliberen Ca^{2+} que a la vegada fa possible la formació de guix. En el mateix cicle d'alteració de les plagiòclasis s'allibera també Al^{3+} , responsable, amb l'anió SO_4^{2-} de la formació d'alunogen:



L'alunogen, el trobem només a les parets dels pòrfirs. Es tracta d'un sulfat soluble que pertany al grup de les halotriquitès, grup en el qual hi poden haver substitucions catióniques isomòrfiques entre els sulfats que hi pertanyen. D'aquesta manera l'alunogen i l'epsomita ens donarien billinita (rica

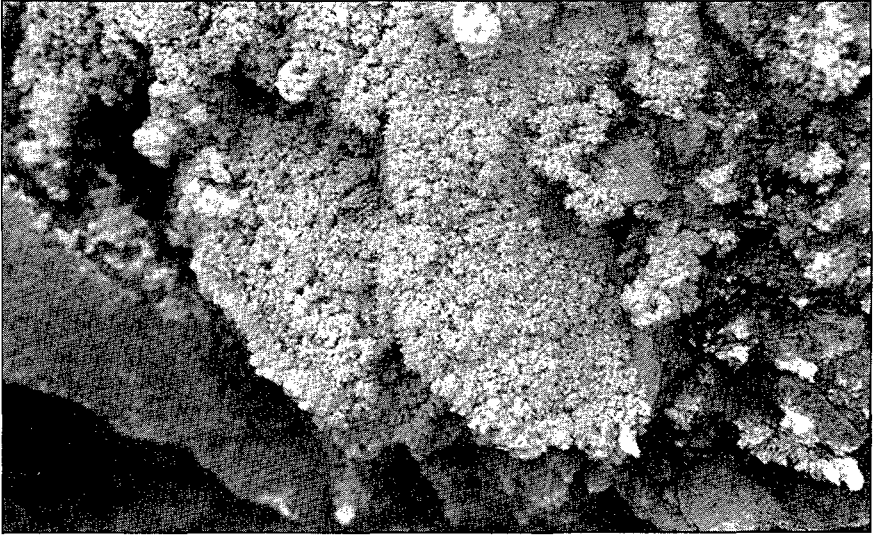


Fig. 25. Fotografia de cristalls circulars de guix tapissant una roca com a resultat de la formació de sulfats

en Fe) i pickeringita (rica en Mg), cada un dels quals, amb l'aportament d'aigua, es dissolen fins que van a parar a les nostres fonts.

Precipitació de sulfats de magnesi

La mateixa disponibilitat de sulfats en el procés de meteorització, l'alteració dels fil·losilicats, ens permeten l'alliberament del catió Mg^{2+} , o a partir d'altres sulfats solubles, com és ara l'aluminocopiapita (reacció núm. 5), són els responsables de la formació d'epsomita.



L'epsomita és un sulfat soluble i com a tal, juntament amb alunogen i amb aportament d'aigües meteòriques, pot donar lloc a d'altres sulfats que es poden tornar a combinar amb el ferro.

En aquest apartat potser és el moment de resoldre les diferències "aparents" entre l'aigua de la font retolada "ferro" i la de la font retolada "magnèsia". En primer terme tenim dues canelles per la quantitat d'aigua que brolla pels brocs de la Ferro i només en tenim una per la de la Magnèsia; per tant, hi ha una major dilució als elements continguts dissolts si partim d'una mateixa aigua. En segon terme, el caire intermitent de les pluges és el que determina el que ja hem dit; però en les aturades i les engegades del rentatge

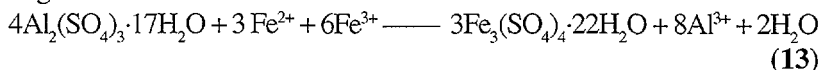
de l'aquífer a diferència d'un aportament més o menys constant a través dels materials que enriqueixen mineralògicament les aigües fan que l'aportament irregular d'aigua permeti una major concentració d'elements en una avinguda de pluges molt més significatiu que la mateixa avinguda amb un escolament d'aquífer més o menys constant. L'ordre espacial dels materials, geològicament parlant, també ens influeix en la infiltració de les aigües fins a l'aquífer que arribarà a les fonts. La proximitat d'un dic de pòrfir a la mina recol·lectora d'aigües de la font de la Magnèsia fa pensar que redueix considerablement el coeficient d'escolament hidràulic i en conseqüència es redueix el cabal d'aquesta canella.

La complexitat de les fases sulfatades hidratades no permet un seguiment exhaustiu del camí que segueixen fins a incorporar-se a l'aigua. La disposició dels pòrfirs i de les ampelites pot donar lloc a un atac reiterat entre les fases que es produeixen a partir de l'aportament meteòric. El quimisme de les aigües pot variar lleugerament, però nosaltres considerem que el càlcul de probabilitats en el camí que cal resseguir per les aigües gairebé és el mateix. Per tant, es tracta de la mateixa aigua, per les consideracions genètiques mineralitzants que hem fet en el treball.

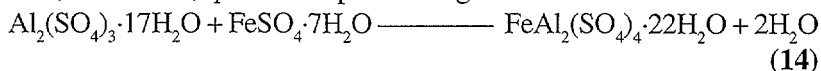
Substitució isomòrfica dels sulfats

A partir dels sulfats hidratats com l'alunogen (reacció núm. 11) i de l'epsomita (reacció núm. 12), amb l'aportament d'aigües meteòriques es tornen a formar tot un seguit de sulfats hidratats que pertanyen al grup de les halotriquites i que entre ells poden tenir substitucions isomòrfiques.

La billinita potser és un dels darrers estadis d'evolució de sulfats fins que l'aigua arriba finalment a les fonts:



L'halotriquita es forma a partir d'alunogen (reacció núm. 11) i melanterita (reacció núm. 3); també és un dels darrers sulfats juntament amb l'anterior, la billinita, que s'incorpora a l'aigua de les fonts:

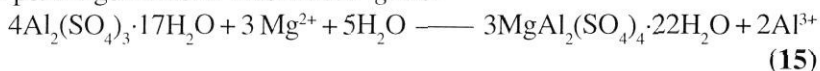


L'halotriquita, la trobem preferentment a les parets dels pòrfirs i potser aquest tret determina el caràcter majoritari del contingut de magnesi de l'aigua de la font de la Magnèsia.

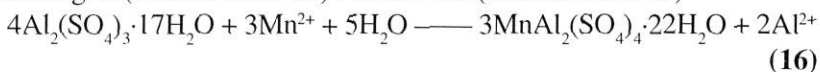


Fig. 26. Fotografia d'una acumulació de pickeringita i billinita com a resultat de la formació de sulfats

La pickeringita prové principalment d'alunogen i epsomita. Es tracta d'un sulfat soluble que es disgrega progressivament en contacte amb l'aire i que perd aigua amb la insolació. Fig. 26.

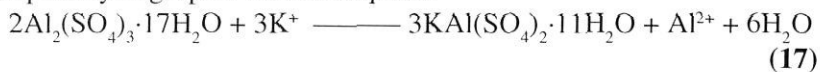


L'apjohnita pertany al grup de les halotriquites perquè forma una sèrie isomorfa entre la billinita (reacció núm. 13), l'halotriquita (reacció núm. 14), la pickeringita (reacció núm. 15) i la kalinita (reacció núm. 17)



L'apjohnita, com a sulfat soluble, també es presenta com una eflorescència. Encara que el seu quimisme és diferent del típic ferro o magnesi, no vol dir que no intervingui en la mineralització de les aigües.

La kalinita és un dels darrers sulfats hidratats que hem detectat i que també pertany al grup de les halotriquites.



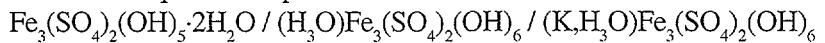
La precipitació dels sulfats insolubles

L'alteració de sulfurs condiciona la disponibilitat de sulfats, que amb l'alteració dels pòrfirs i de les ampelites repercuteix en l'alliberament de certs elements on enceten un procés de producció de sulfats bàsicament de ferro i insolubles. Si fins ara els sulfats solubles eren lixiviats i podien ser el resultat de l'aportament mineral de l'aigua de les fonts, ara els sulfats insolubles resten a l'àrea font on precipiten.

El seu comportament s'escau més dins el context geològic que hem descrit a l'apartat dedicat als materials d'acumulació.

La natrojarosita, $\text{NaFe}^{3+}_3((\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2)$, és una varietat de les jarosites. La seva paragènesi és amb guix, alunita, aluminocopiapita, jarosita i limonita. La seva forma és en agregats granulars i terrosa.

La hidrònio-jarosita, malgrat la variabilitat de la seva fórmula, és un mineral únic, i la seva estructura li confereix la variació del seu percentatge quant a elements que la componen.



La hidrònio-jarosita pertany al grup de l'alunita. Es tracta d'un sulfat insoluble.

La jarosita, amb la fórmula $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})$, es presenta en masses granulars, cristalls, terrosa, en crostes, i capes polsinoses. Mineral d'alteració insoluble on la seva paragènesi és amb alunita, limonita i hematites. És el sulfat insoluble que predomina més en les acumulacions després de les grans avingudes. La trobem arreu i fins i tot dins la mina que recull l'aigua.

El diagrama elèctrico-químic

La goethita es troba a les pissarres, als pòrfirs i a la pica de les fonts. Les condicions per les quals acostuma normalment a produir-se en la majoria d'aigües superficials són aquelles en les que el pH gairebé és neutre ($\text{pH}=7$) i hi ocorre un elevat índex d'oxidació. Ara bé, les condicions que se'ns donen aquí són moltes i variades: l'alliberament del catió ferrós, o del catió fèrric, que vingui dels sulfurs o dels primers sulfats d'alteració impliquen un pH molt àcid que pot anar des de 0 a 2 en els casos més àcids (*Fig. 27*); en els pH que es troben entre 3, 4, i 5 el ferro pot oxidar-se i precipitar, sobretot quan es troba amb un gran aportament d'aigua —alta oxidació— i més que res perquè el ferro té un marcat caràcter insoluble, pot romandre un cert temps dissolt, però només l'hi trobarem en pH molt àcids; els pas a òxids o hidròxids de ferro, com limonita o goethita, ja es produeixen en un pH més neutre. La precipitació del ferro ja és a partir d'un pH molt àcid i el resultat és la goethita.

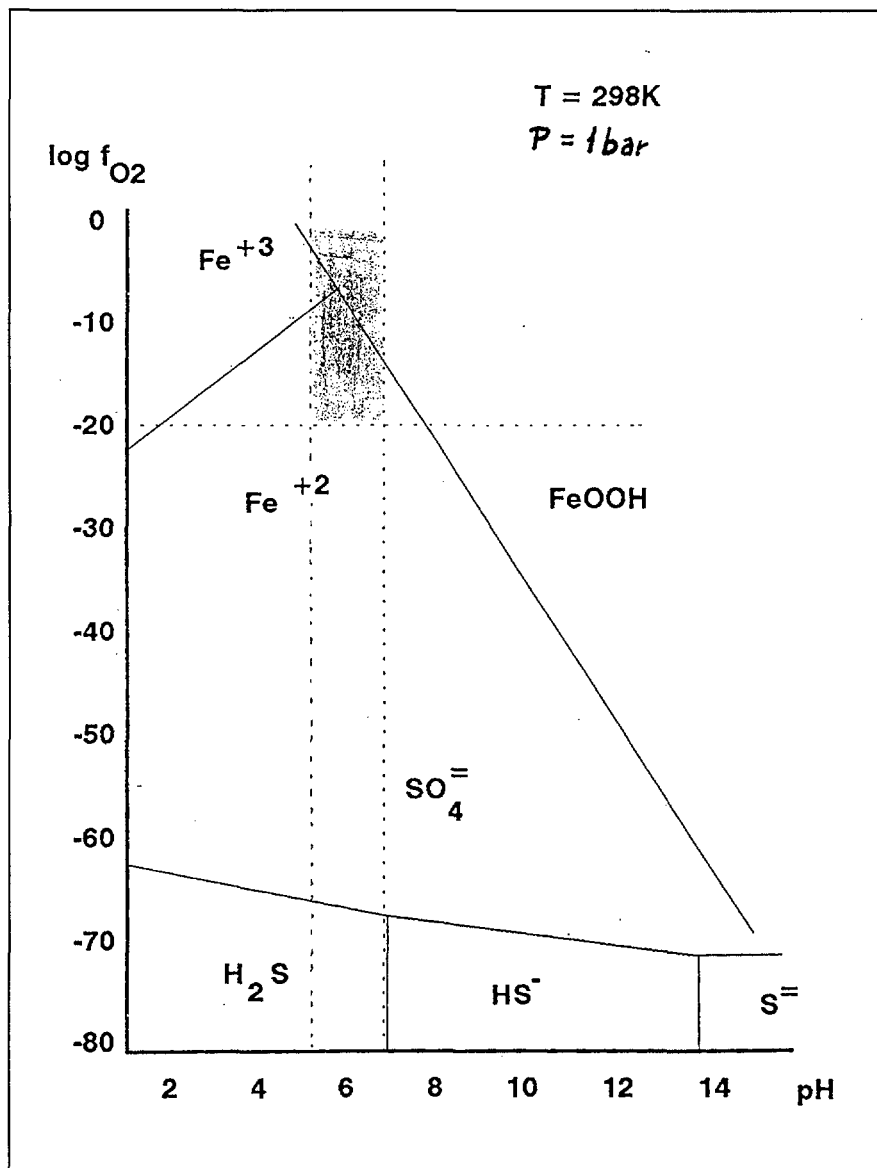
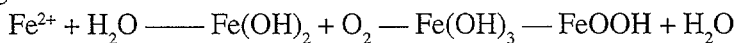


Fig. 27. Diagrama elèctrico-químic de les condicions de pH pel que fa a la disponibilitat d'oxigen i la mobilitat del ferro amb l'aigua; l'entorn puntejat descriu les condicions de l'aigua de les fonts, que tenen un pH entre 5 i 7

La reacció núm. 7 és en molts casos catalitzada per bacteris o algues sideròfiles (Faure, 1992). En el nostre cas, la font manté una nombrosa població d'algues recobertes de ferro amb aspecte fibril·lar. Aquestes algues es presenten envoltades de goethita i quars, són les algues cianofícies. Pot interessar tenir en compte que les algues pertanyen a un *fillum* propi, dels cianòfits (Margulis, L., 1982).

No podem descartar la formació d'hidròxid ferrós per la precipitació del catió Fe^{2+} ; però per la seva gran inestabilitat, i com que no l'hem trobada, creiem que si l'esmentada reacció es desenvolupa, el dihidròxid de ferro que es pugui formar passarà espontàniament a trihidròxid de ferro que és més estable. La darrera reacció podria succeir-se gràcies a la gran disponibilitat d'aigua i les condicions oxidants ambientals.



L'hidròxid ferrós en contacte amb l'oxigen del medi passa immediatament a hidròxid fèrric i, finalment, a goethita.

La gradació de pH des d'un caràcter marcadament àcid a un altre més neutre és el que ocorre a les canonades de la font de Ferro. El fet és per la quantitat d'aigua que hi circula i pel seu recorregut fins a la font; aleshores el pH es neutralitza perquè el ferro té temps per precipitar-hi. El que trobem a la font són col·loides de goethita arrossegats pel cabal de l'aigua i amb relictes de ferro dissolts. El principal responsable de l'acidesa de l'aigua és el mateix catió Fe^{3+} .

El model de Poblet

El model de Poblet és la proposta d'un diagrama general evolutiu (*Fig. 28*) de la formació de sulfats com a producte de l'actuació meteòrica, o de l'alteració supergènica de la zona de Poblet, i que també descriu el cicle d'una font d'aigües minerals ferruginoses. Els elements que intervenen són les fases estables que evolucionen fins que van a parar a la font d'aigua o resten com a producte d'acumulació.

Amb el seguiment de les reaccions a l'àrea font proposem la construcció de les reaccions en forma de fase estable, i que tenen lloc segons les condicions que es produeixen. Així una forma d'interpretar-lo és amb una fase estable —mineral— que reacciona i si se segueix la direcció de les fletxes, per passar a una fase següent. Les línies que uneixen minerals i no són fletxes indiquen la reacció de dos o més minerals i que el resultat és altres minerals que sí que són units amb una fletxa.

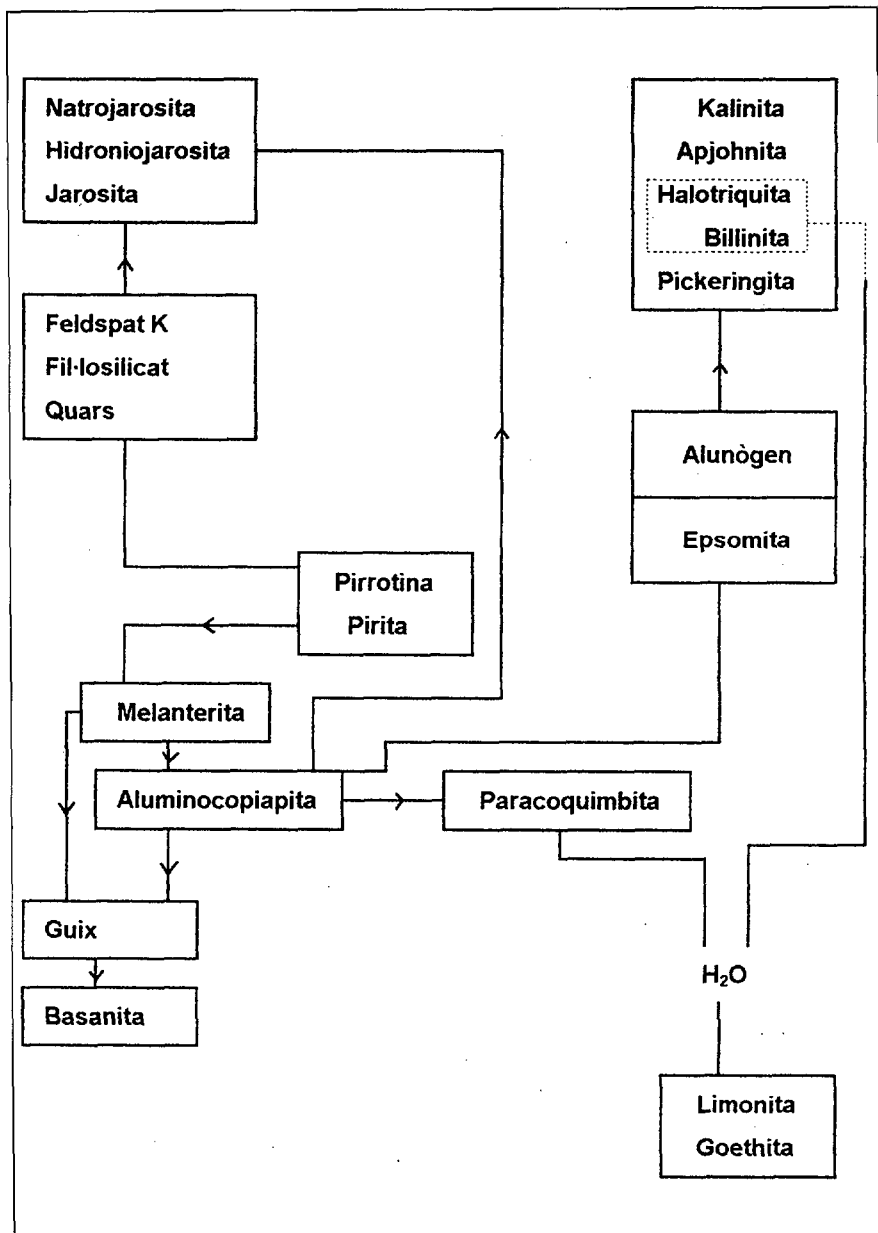


Fig. 28. Esquema general evolutiu de la formació dels sulfats de l'alteració supergènica de la zona com a model de Poblet dins el cicle d'una font d'aigües minerals ferruginoses

ACTUACIONS QUE CAL SEGUIR

- Si fem la hipòtesi que la Unitat Llengua Aterrassada és un indicador reohidrogeològic, l'estudi del seu abast pot permetre establir una relació amb les avingudes d'aigua i la quantitat de la Unitat Llengua Aterrassada que se'n deriva. Concretament l'estudi de la Unitat Terrassa Goethítica ens podria indicar tots els períodes d'avingudes fortes d'aiguats a Catalunya en els darrers milions d'anys a la Serralada Costanera Catalana.

-La identificació de sulfats solubles amb un equip adequat i l'enregistrament dels trets solubles permet establir un fitxer descriptiu. Amb la realització d'aquest treball no fora rar intentar proposar una taula de determinació segons el gust que presenten. L'experiència ensenya que aquest tret addicional de camp en el *visu* és molt objectiu i que amb la pràctica reiterada potser ajuda a reconèixer una fase mineral.

-Amb el seguiment estadístic de la formació de sulfats durant els períodes estacionals —respecte a les avingudes d'aigua— es poden arribar a establir les paragènesis del model de Poblet.

-Amb el seguiment estadístic de l'anàlisi de les aigües que emanen de les fonts durant els períodes estacionals —respecte a les avingudes d'aigua— es poden arribar a establir les variacions minerals que es produeixen a les aigües ferruginoses.

-En les dades anteriors cal el seguiment paral·lel dels paràmetres climatològics, tant pel que fa a pluviometria com temperatures, entre altres.

-La cartografia de la Unitat Terrassa Goethítica ens pot permetre l'abast de la mobilitat del ferro tal vegada ha abandonat la nostra àrea. De la mateixa manera és previsible la formació de *gossans*, o *monteres* d'oxidació, més o menys properes a aquesta àrea i que es caracteritzen per l'enriquiment en metalls.

BIBLIOGRAFIA

ALPERS, N.C.; KIRK NORDSTROM, D.; W. BALL, J. (1989): *Solubility of Jarosite solid solutions precipitated from acid Mine Waters, Iron Mountain, Califòrnia, EUA*. "Sci. Géol. Bull." Estrasburg, 42, 4, pàg. 281.

AYORA, C.; SOLER, A.; MELGAREJO, J. C. (1990): *The Hercynian ore deposits from the Catalanian Caudal Ranges*. "Acta Géol. Hispánica" 25, 1-2: 5-14.

BATALLER, J. R. (1933): *Estudio geológico sobre las fuentes minerales de Catalunya*. Tirada a banda de *Revista Ibérica*. Imprenta Revista Ibérica. Barcelona.

BUURMAN (1975): *In vitro weathering products of pyrite*. "Geol. Mijnbouw" 54: 101-105.

FAURE, G. (1992): *Principles and applications of inorganic geochemistry*. Maxwell. 626 pp.

HELGESSION, H.C. (1969): *American Journal of Sciences*, 267, pàg. 729-284.

HUESO, R.; RODRÍGUEZ-GORDILLO, J.; LÓPEZ-AGUAYO, F. (1981): *Las jarositas de sierra Almagrera (Almería): mineralogía y génesis*. "Bol. Soc. Esp. Min." 4: 29-36.

LABORATORIOS J. SUÑOL TINTOR (1974): *Reactivos Orgánicos. Colorantes. Indicadores*. Catàleg 74. Edició XV. Doesder. Barcelona.

LÓPEZ-AGUAYO, F; ARANA, R. (1992): *Las etapas finales de la alteración supergénica de sulfuros*. GARCÍA GUINEA, J.; MARTÍNEZ FRÍAS, J. (1992): *Recursos Minerales de España*. Publicacions del CSIC, pàg. 1277-1305.

MATA i PERELLÓ, J. M. (1990): *Els minerals de Catalunya*. Institut d'Estudis Catalans. Arxius de la Secció de Ciències XCIII. Institució Catalana d'Història Natural. Barcelona.

MELGAREJO, J.C. (1987): *Estudi metal-logenètic del paleozoic del sud de les Serralades Costaneres Catalanes*. Tesi Doctoral. Dept. Cristal. Min. i Dipòsits Minerals. Universitat de Barcelona.

MELGAREJO, J.C. (1992): *Estudio geológico y metalogenético del paleozoico del sur de las Cordilleras Costeras Catalanas*. Col·l. Memorias ITGE, 103. 605 pàg.

PALAU I DULCET, A. (1931): *Guia de la Conca*. Barcelona.

PEDEMONTE, M.; GARCIA, J.; OLIVER, B. (1983): *Solubilització d'oxalat càlcic monohidratat amb solucions aquoses de ions metàl·lics. II part. Estudi amb solucions de Fe³⁺, i amb una aigua natural fonamentalment ferruginosa*. "Circular farmacèutica", Any XLI- núm. 281- Barcelona, pàg. 253-262.

POBLET, J.; PUJADAS, J. (1988): *La natura i l'home a les muntanyes de Prades*. Centre d'Estudis de la Conca de Barberà. Montblanc.

REINER, M. (1968): *Métodos seleccionados de análisis clínicos*. "ANAC" Vol. 1. Versió espanyola. Associació Nord-americana d'Analistes Clínics. Tercera Edició. Editorial Aguilar, S.A. Madrid.

ROBIE, R.A.; HEMINGWAY, B.S. i RISHER, J.R. (1978): *Geol. Survey*. Vol. 1.452, pàg. 1-454.

SERRAT, D. (coord.) (1985): “Les aigües”, a *Recursos geològics i sòl* (1986): Volum 3. “Enciclopèdia d’Història Natural dels Països Catalans”. Edicions de l’Enciclopèdia Catalana. Barcelona, pàg. 15-56.

VILARRUBIAS, F.A. (1972): *Memoria correspondiente a los años 1966-70*. Patronat del Reial Monestir de Poblet. Abadia de Poblet, pàg. 69-73.

WHITE, I.D.; MOTTSCHEAD, D.N.; HARRISON, S.J. (1985): *Environmental system. And introductory text*. Allen & Unwin. London.