



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Alumne: Jordi Balañá Alcaide

**Directors: David Parcerisa Duocastella
Pura Alfonso Abella
Anna Travé Herrero**

**Master en Enginyeria dels Recursos Naturals
Manresa, Gener 2012**

Escola Politècnica Superior d'enginyeria de Manresa

INDEX DEL TREBALL

INTRODUCCIÓ	3
OBJECTIUS	4
1. METODOLOGIA	5
1.1. Treball de camp	5
1.2. Treball de laboratori	8
1.3. Treball de gabinet	13
3. SITUACIÓ GEOGRÀFICA	15
4. MARC GEOLÒGIC	17
5. MINERALOGIA DE LES FRACTURES	19
6. ANÀLISI ESTRUCTURAL DE LES FRACTURES	26
7. ISÒTOPS DE O i C	30
8. ISÒTOPS DE S	32
9. DISCUSSIÓ	34
10. CONCLUSIONS	38
11. TEMES A APROFUNDIR	39
12. BIBLIOGRAFIA	40

INDEX DE FIGURES

Fig.1. Distribució zones de mostreig	6
Fig.2. Estriacions	7
Fig.3. Mostra de mà sota làmpada fluorescent	8
Fig.4. Fotografia SEM	9
Fig.5. Preparació pols isòtops estables	10
Fig.6. Trepant de dentista Dremel	10
Fig.7. Generacions diferents de calcita	12
Fig.8. Situació de l'àrea d' estudi	15
Fig.9. Plànol zones d'estudi	15
Fig.10. Mina Berta al semigraven Vallès-Penedès	17
Fig.11. Secció semigraven Vallès-Penedes	18
Fig.12. Mapa geològic local	18
Fig.13. Mostra de mà amb fluorites diferents	19
Fig.14. Làmina prima amb cristal·litzacions a les esquerdes	20
Fig.15. Provetes microscopia llum reflectida	21
Fig.16. Argentita i tetraedrita al SEM	22
Fig.17. Mostra de mà a la zona B	22
Fig.18. Fluorita verda octaèdrica	23
Fig.19. Contacte fluorita amb granit.	23
Fig.20. Creixement de les tres calcites	24
Fig.21. Calcita fluorescent dins filó de Quars	24
Fig.22. Mostra de mà porosa amb fluorita	25
Fig.23. Projecció estereogràfica blocs N i S	26
Fig.24. Plans mitjos de famílies de fractures S1 i S5 amb estries	28
Fig.25. Famílies de fractures amb estries al bloc N	28
Fig.26. Famílies de fractures N5, M1 i M2 amb estries	29
Fig.27. Gràfica de distribució dels $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ de la calcita	31
Fig.28. Creixement de calcita sota llum ultraviolada en esquerra miocena	31
Fig.29. Histograma de $\delta^{34}\text{S}$ dels sulfurs.	33
Fig.30. Comparació $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ de la calcita amb altres estudis a la zona	35
Fig.31. Comparació histograma de $\delta^{34}\text{S}$ dels sulfurs. amb altres estudis a la zona	36

INDEX DE TAULES

Taula 1. Quantitats de sulfurs per a determinar $\delta^{34}\text{S}$	13
Taula 2. Classificació, nomenclatura i descripció de zones definides	19
Taula 3. Orientació mitjana de les famílies de fractures + filó als blocs N i S	27
Taula 4. Orientació mitjana de les famílies de fractures i estries al bloc N	27
Taula 5. Composició isotòpica de C i O	30
Taula 6. Valors del fraccionament isotòpic del ^{34}S dels sulfurs	32

INTRODUCCIÓ

La Mina Berta és un indret emblemàtic des d'un punt de vista geològic i miner. Geològicament es situa al límit entre el *horst* de Collserola i el *semigraben* del Vallès i està afectat per fractures que probablement han jugat un paper important durant diferents etapes deformatives del Mesozoic i del Cenozoic. A la zona es pot veure també el contacte entre el basament paleozoic i les roques sedimentaries del Burdigalià, que representen els primers estadis de reompliment del semigraben del Vallès. Respecte la mineralogia, la zona apareix clivellada de filons amb una gran varietat mineral (quars, fluorita, calcita, sulfurs...) de forma que la comprensió de la gènesi de les fractures i de les diferents etapes de reompliment mineral es converteix en un enigma geològic apassionant.

L'activitat minera de la Mina Berta ha estat diversa tan en mètodes d'explotació, a l'aire lliure o en galeries, com en el recurs explotat: galena, esfalerita, fluorita i, finalment, el granit encaixant per a convertir-lo en àrid. Una altra activitat característica d'aquesta àrea ha estat la recerca de minerals de col·leccionista. Molts museus mineralògics d'Europa tenen peces procedents de Mina Berta (Sanz, com. pers.) destacant la fluorita verda cristal·litzada en forma d'octàedres i les diferents cristal·litzacions de calcita.

El desenvolupament d'aquest treball s'emmarca en la relació establerta amb l'empresa que actualment explota la pedrera, Jaume Franquesa S.A., la qual va demanar al Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals de l'EPSEM (UPC) que realitzés un informe sobre la fracturació del massís rocós de Mina Berta per avaluar la permeabilitat del mateix de cara a la futura ubicació d'un abocador de bales d'Ecoparc. Durant el desenvolupament del treball, que culminà en la redacció d'una memòria tècnica, es tingué l'oportunitat d'apreciar que els treballs realitzats fins al moment per caracteritzar el jaciment mineral de Mina Berta eren incomplets i que, probablement, encara es podia aprofundir en la matèria. El fet que el vas de la pedrera actual pugui ser properament utilitzat com a magatzem de residus i la desaparició dels afloraments que això comportarà justifica la realització d'aquest treball ara que encara es té accés a la zona i es poden prendre mostres i realitzar mesures de camp.

OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest estudi és reconstruir la història geològica i la dinàmica de fluids que ha donat lloc a la configuració actual del jaciment de Mina Berta. Delimitant en el temps els diferents esdeveniments ocorreguts i el tipus de deformació i mineralització associats a cadascun d'aquests esdeveniments:

- Establir les diferents etapes deformatives segons les diferents famílies de fractures existents i les deformacions registrades en els plans de fractura (estries de falla).
- Relacionar les fractures i les diferents etapes deformatives que afecten al basament paleozoic i als sediments miocens per poder datar de forma relativa les estructures miocenes desenvolupades en el basament paleozoic.
- Reconèixer diferents famílies de fractures i delimitar l'ordre de cristallització de les diferents fases minerals.
- Caracteritzar els tipus de fluids que van donar lloc a les diferents mineralitzacions.

1. METODOLOGIA

La metodologia per a dur a terme aquest treball es divideix en tres etapes i es serveix de mètodes de treball complementaris, com es freqüent en la major part dels estudis de caire científic. Aquestes etapes alhora es subdivideixen en d'altres tal i com s'exposa a continuació.

1.1. Treball de camp

En primer lloc, cal esmentar que aquesta part i el global del projecte no hagués estat possible sense l'autorització de la empresa Jaume Franquesa S.A., gestora de l'explotació de la pedrera, i la supervisió del seu director facultatiu Lluís Aguilar, que en tot moment ha aconsellat, i indicat les normes de seguretat i procediments d'actuació dins les instal·lacions de la Pedrera Berta.

S'han realitzat visites a la Pedrera Berta per a la obtenció de dades, fent una cartografia de la pedrera, a partir de la qual s'han identificat les principals estructures. A més, s'han definit 5 zones diferents (Fig. 1) amb significat geològic diferent ja que s'hi han observat diferències rellevants que s'han definit a la Taula 1.

A més, s'han pres un total de 51 mostres de mà les quals han estat descrites al laboratori i classificades segons el criteri de la zona d'interès per a l'estudi o zona geològica de la mina. A banda de les mostres de mà preses directament a la pedrera també s'ha pres una mostra d'un sondeig realitzat a la pedrera en una campanya del passat 2011 i una altra mostra ha estat presa en les bretxes miocenes adjacents a la pedrera.

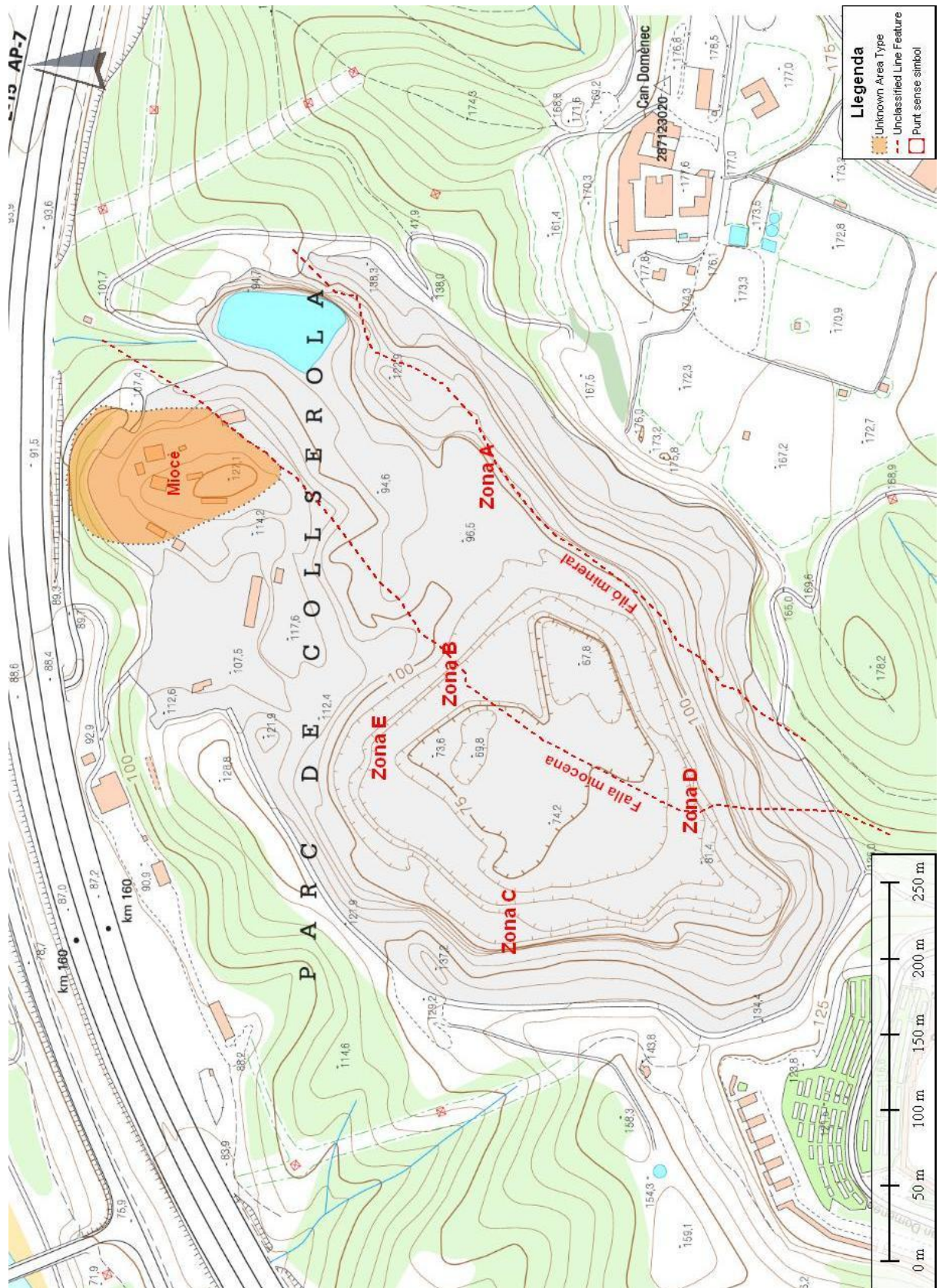


Fig. 1. Distribució de les zones de mostreig dins de la Pedrera Berta.

S'han realitzat mesures de plans de fracturació i d'estries (Fig. 2), quan hi son presents i quan ha estat possible mesurar-ho, tant a la pedrera com a les bretxes miocens. Això s'ha dut a terme mitjançant una brúixola de geòleg professional. Aquestes mesures s'han complementat amb les dades de Diaz (2011).

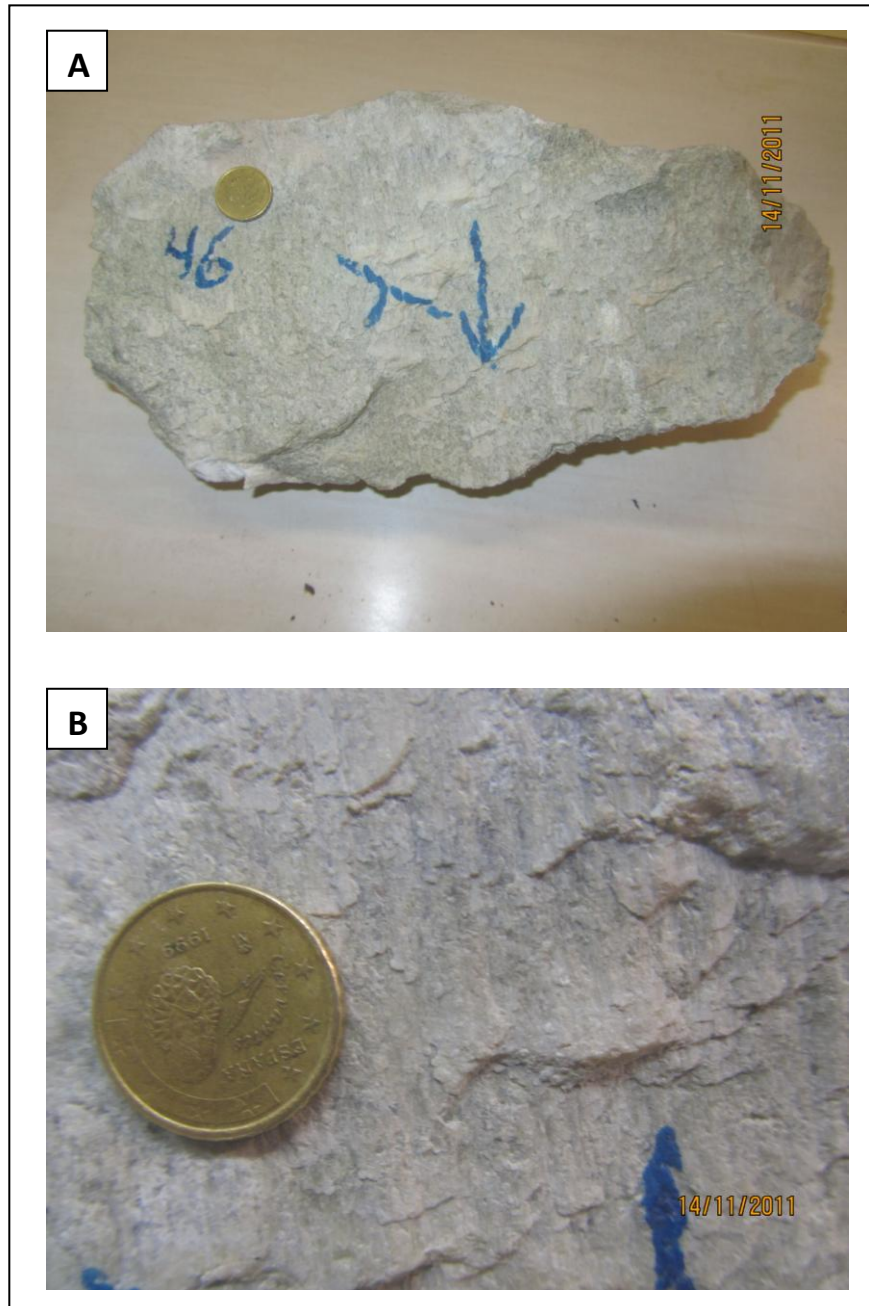


Fig. 2. (A) Direcció de la fractura en comparació a la direcció de les estries marcades amb una fletxa. (B) Detall de les estries, on s'observen cristalls de calcita amb creixement direccional.

1.2. Treball de laboratori

Descripció de les mostres

És el primer pas a realitzar alhora de poder triar els diferents mètodes d'anàlisi i el nombre de mostres suficientment representatiu per a aquest projecte. S'han descrit totes les mostres a *visu*, amb lupa i amb làmpada de llum ultraviolada. Aquest darrer mètode ha estat molt útil ja que moltes de les mostres eren força riques en fluorita i en calcita també fluorescent que es diferencien molt bé a ona curta (254 nm) (Fig. 3). Per les fluorites s'ha utilitzat tant ona curta com ona llarga (366nm).

Un cop descrites i observades les característiques de les mostres de mà, s'han triat les més representatives per als diferents mètodes analítics.

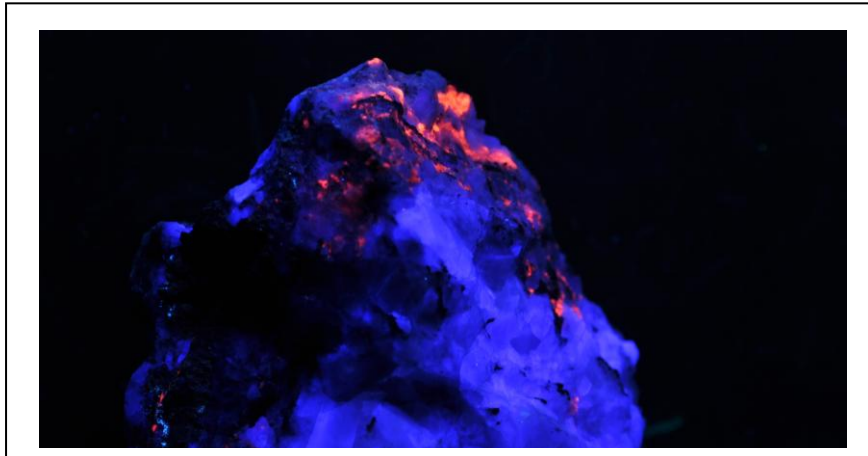


Fig. 3. Detall de la mostra de mà JB-47 sota la làmpada de fluorescència en ona curta. S'observa fluorita (color blanquinós - morat) i calcita (punts de color taronja).

Microscòpia de llum transmesa i llum polaritzada

S'han seleccionat un total de 7 mostres per a ser observades sota el microscopi. El primer pas ha estat fer els tacs mitjançant una serra de disc. Posteriorment han estat enviats al Servei de Làmina Prima de la Universitat de Barcelona.

Microscòpia de llum reflectida

El procediment ha estat molt similar a l'anterior. Un cop escollides les mostres representatives per a ser observades en aquest tipus de microscòpia s'han preparat 3 mostres. S'han fet els tacs i han estat enviats al Servei de làmina prima de la Universitat de Barcelona per a preparar les provetes.

Microscòpia electrònica amb anàlisi puntual (EDS)

Amb les mateixes mostres emprades per a les altres microscòpies s'ha utilitzat el microscopi electrònic de sobretaula Hitachi TM-10000 (Fig. 4), de la EPSEM, per a poder esvaïr dubtes i fer l'anàlisi qualitativa de les mineralogies que no han quedat resoltes utilitzant els anteriors mètodes.



Fig. 4. Aparell de microscòpia electrònica de sobretaula amb anàlisi puntual (SEM) Hitachi TM-10000.

Isòtops de O i C

S'han realitzat anàlisis de O,C en 13 mostres de calcita en els Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona (SCT, UB). La extracció del CO₂ es realitza en el Carbonate Kiel Device III, fabricat per Thermo Finnigan, que reproduïx de manera automatitzada el mètode de McCrea (1950). El carbonat és atacat amb àcid fosfòric al 100%, a una a una temperatura de 70°C. El temps de reacció es de 3 minuts por mostra. El Carbonate Device està acoblat a un espectròmetre de relació de masses isotòpiques MAT-252 Thermo Finnigan, en el que es dona lloc l'anàlisi del CO₂ produït. Per a controlar la qualitat dels resultats s'utilitza l'estàndard internacional NBS-19, amb un valor de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = 1,95\text{‰}$ i $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = 2,20\text{‰}$ certificat per la IAEA.

Preparació de mostres.

A partir de 8 mostres de mà seleccionades, s'han realitzat microperforacions en els cristalls de calcita per a obtenir pols (Fig.5). Aquestes s'han fet amb un trepant de la marca Dremel (Fig.6). La pols obtinguda de cada mostra ha estat enviada al servei d'isotopia de la Universitat de Barcelona, on han estat analitzades. Amb els resultats obtinguts es realitza l'estudi del fraccionament isotòpic del $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$.

En total s'han enviat a analitzar 13 mostres en pols, ja que en més d'una de les mostres de mà s'hi ha realitzat 2 i fins a 3 microperforacions. Aquest fet es deu a que mitjançant la llum ultraviolada s'han observat diferents generacions de calcita en una mateixa mostra (fig.7), sospitosos de pertànyer a diferents generacions, i que podrien presentar diferències isotòpiques entre ells.

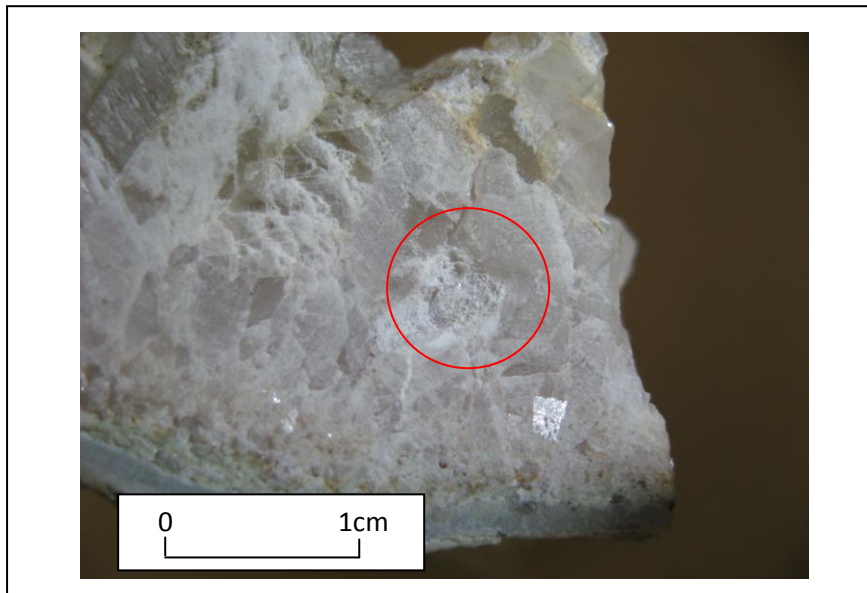


Fig 5. Incisió feta amb el trepant de dentista Dremel sobre la mostra JB-39 per a obtenir pols de calcita.



Fig 6. Trepant de dentista Dremel amb el que s'han fet les incisions a la calcita i als sulfurs.

Els isòtops són àtoms d'un mateix element que contenen igual nombre de protons, però diferent número de neutrons. Els isòtops d'un mateix element coexisteixen a la natura en proporcions fixes. Els diferents processos físics i químics que tenen lloc en el planeta fan que es fraccionin o separin els isòtops d'un mateix element en diferents proporcions, sigui per processos d'evaporació, condensació, mescla cristal·lització, etc (Faure, 1986). Els elements on és de més importància el fraccionament isotòpic és en els lleugers com ara l'hidrogen, el carboni, l'oxigen, el nitrogen i el sofre (Hoefs, 2010). El fraccionament isotòpic dels elements s'expressa amb la següent fórmula:

$$\alpha = \frac{R_A}{R_B}$$

α : Fraccionament isotòpic entre les fases A i B.

R_A : relació isòtop pesant/isòtop lleuger a la fase A.

R_B : relació isòtop pesant/isòtop lleuger a la fase B.

Per al Carboni s'utilitza com a patró la relació $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en els *belemnites* de la formació *PeeDee*, a Carolina del Sud (Craig, 1957). Pel l'oxigen s'utilitzen dos patrons. Un d'ells és també el belemnit *PeeDee* i l'altra patró és el estàndard de la mitjana de l'aigua del mar que es troba a Viena (*Vienna Standard Mean Ocean Water*, V-SMOW).

El fraccionament isotòpic d'una mostra s'expressa en tant per mil (‰) de la mostra respecte del patró, de manera que el fraccionament queda determinat per la següent expressió, exemplificada en el cas del C:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_m - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}} \right] \times 1000$$

$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$: fraccionament isotòpic de la mostra m.

$(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_m$: relació isotòpica de la mostra.

$(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}$: relació isotòpica del patró.

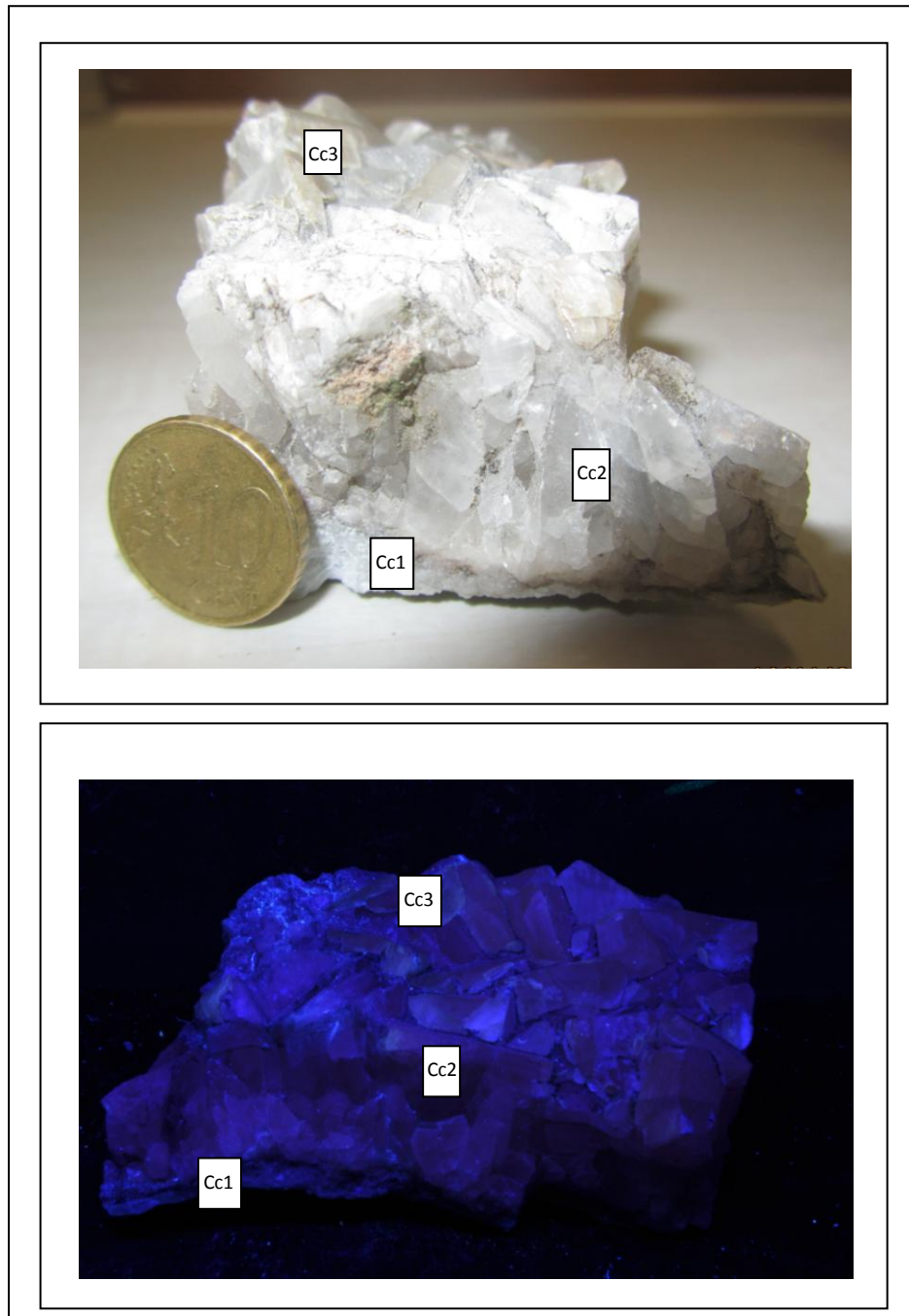


Fig. 7. Mostra de mà amb cristal·litacions de calcita de diferents mides i formes, a visu (A) i sota la làmpada de llum ultraviolada. La C1 presenta cristalls mil·limètrics. La C2 presenta cristalls centimètrics de morfologia romboèdrica. Per últim la C3 creix sobre la C2 amb formes tabulars. Els tres tipus de calcita presenten diferent fluorescència.

Isòtops de S

S'han analitzat els isòtops de sofre en 14 mostres de sulfurs (esfalerita, galena, calcopirita i pirita). Les mostres s'han analitzat en un espectròmetre de masses Delta C Finnigan MAT continuous flow de flux continu amb un analitzador elemental TC-EA. Les anàlisis s'han realitzat als SCT, UB.

Preparació de mostres

La preparació d'aquestes mostres ha constatat de dues etapes. La obtenció de la pols de minerals és idèntica a la isotopia del $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$.

Abans d'enviar les mostres al servei d'isotopia de la Universitat de Barcelona, s'ha pesat la quantitat necessària de pols per a cada mineralogia (Taula 1) i aquesta ha estat dipositada dins de petites perles de paper d'alumini i portades a analitzar. Amb els resultats obtinguts es realitza l'estudi del fraccionament isotòpic del $\delta^{34}\text{S}$.

Les bases del fraccionament isotòpic del S son semblants s les del carboni i l'oxigen, veure Ohmoto i Goldhaber (1997). En aquest cas el patró utilitzat és la troilita del *Cañón Diablo* (CDT).

Taula 1. Quantitat de sulfur necessària per la determinació de la composició isotòpica del S.

Mineral	Masa (mg)
Pirita	0.15
Calcopirita	0.21
Esfalerita	0.22
Galena	0.55

1.3. Treball de gabinet

Aquesta part de l'estudi s'ha desenvolupat en dues fases complementàries. La primera consisteix en la cerca d'informació i la segona el tractament de dades. Ambdues són bàsiques per a poder interpretar i discutir les dades obtingudes, i posteriorment obtenir les conseqüents conclusions.

La cerca d'informació s'ha fet mitjançant la bibliografia disponible a les biblioteques i bases de dades electròniques (*Scopus*, *Sciencedirect*, etc.) en forma de llibres, articles, cartografia i tesis doctorals.

Per al tractament de les dades d'isotopia (obtingudes del laboratori a partir de mostres de camp així com les comparacions fetes amb dades obtingudes a partir de la bibliografia pertanyent a altres autors), fracturacions i estriacions s'ha utilitzat fulls de càlcul. Per a la representació de dades obtingudes a partir de les estructures com la fracturació i les estriacions el software GEOrient versió 9.5.0. Finalment aquest treball ha culminat amb la redacció de la present memòria.

2. HISTÒRIA DE LA MINA BERTA

Les primeres informacions que hi ha sobre la Mina Berta, daten d'abans de l'any 1900, quan rebia el nom de Mines de Sant Domènec, i s'hi treballava pel mètode de galeries subterrànies. S'hi explotaven galenes argentíferes amb la intenció d'extraure l'argent que aquestes contenien. La poca quantitat del metall trobat dins aquest mineral, i les dificultats tècniques que suposava extraure'l acabaren per provocar l'abandonament de l'activitat minera, fins al 1914 quan es començà la extracció de galena (rica en plom) i fluorita. Un parell d'anys més tard es va trobar una zona amb abundant esfalerita (rica en zenc) que es va minar durant dos anys.

L'any 1927 la mina va quedar inundada degut a la proximitat de les galeries amb la Riera de Rubí. Els treballs a la mina es tornaren a emprendre l'any 1934, tenint com a objectiu la extracció de fluorita. Un any i mig més tard novament s'abandonà l'activitat com a conseqüència de l'inici de la Guerra Civil Espanyola.

L'any 1968 es va reobrir la mina com a explotació únicament de fluorita, que era emmagatzemada a les instal·lacions de les mines d'Osor. Pocs anys més tard s'abandonà l'explotació, aquest cop definitivament, degut a un encariment del preu del transport, quedant únicament com a mina d'aigua.

A l'actualitat es duu a terme l'explotació del granit a l'aire lliure per a la obtenció d'àrids de diferents mides, per l'empresa Jaume Franquesa S.A., tot i que es preveu abandonar en breu aquesta activitat. En un futur s'espera utilitzar el forat produït per la nova explotació com a magatzem de residus.

3. SITUACIÓ GEOGRÀFICA

L'àrea d'estudi del present treball inclou la pedrera Berta i els conglomerats miocens que situats al seu NE. Ambdós punts queden a la zona límit entre el N de la Serra de Collserola i la Depressió del Vallès. (Fig. 8)

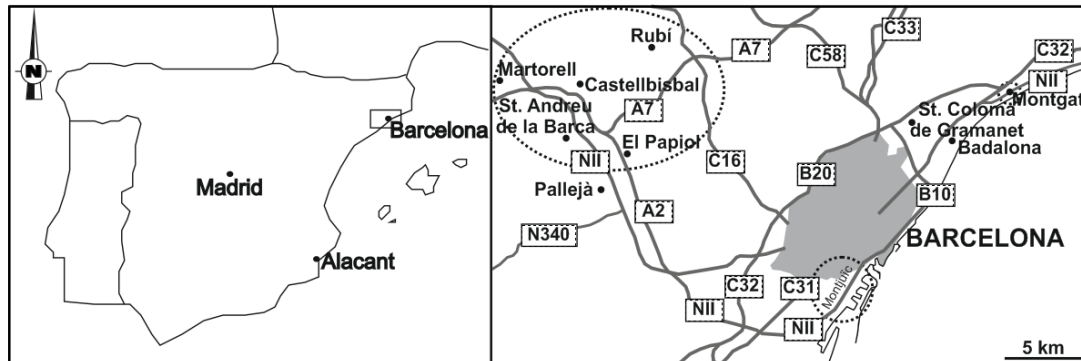


Fig. 8. Situació de l'àrea estudiada en el present treball. Modificada de Parcerisa (2002).

La pedrera està situada al NW de la serra de Roques Blanques, al vessant N de la Serra de Collserola. El punt més alt de l'explotació és d'uns 140-160 m, i el més baix d'uns 60 m sobre el nivell del mar. Es troba entre els termes municipals de El Papiol (Baix Llobregat), Rubí i Sant Cugat, al Vallès Occidental (Fig. 9).

També s'ha estudiat altre indret situat a 1 Km a l'E de la pedrera per comparar un lloc en el qual hi ha events de fracturació miocènica i amb la fracturació dels materials paleozoics de la mina Berta i així discriminar la seva correspondència. Aquest punt es situa al vessant NE del Puig Pedrós de l'Obac, entre les cotes 90 i 150 sobre el nivell del mar, just al costat de l'AP-7.

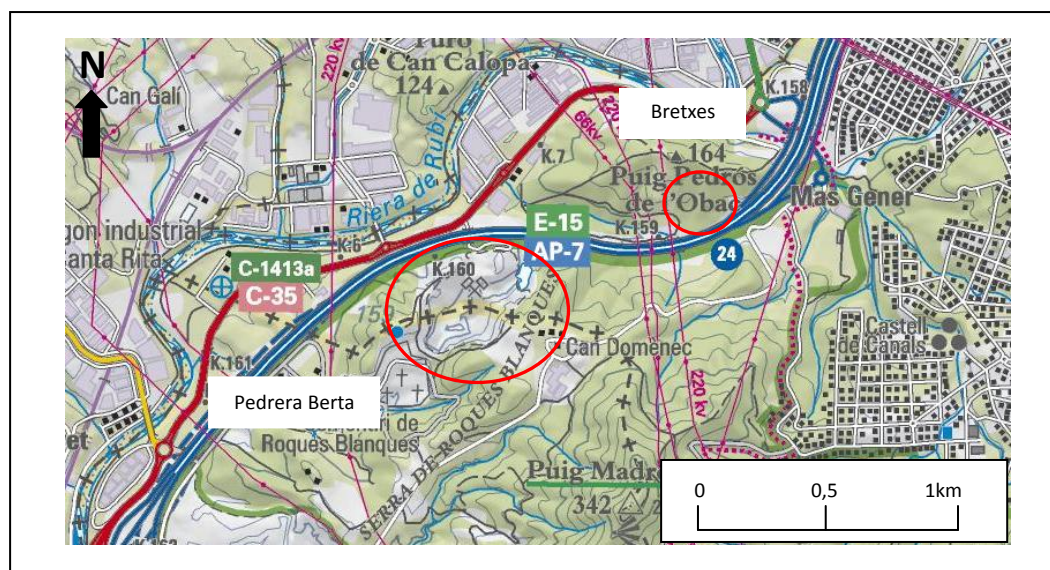


Fig. 9. Situació de les dues zones estudis i els seus accessos (modificat del ICC, cartografia comarcal 1:50.000)

Per accedir a la pedrera es pot arribar amb vehicle. Des de l'AP-7 i l'A2 es pren la carretera comarcal C-1413a en direcció a Rubí i Sant Cugat. Més endavant, en una rotonda, hi trobem una senyalització amb el cartell de "*Canteras Berta*". Per L'accés a la cantera requereix el permís de l'empresa explotadora.

Per accedir a l'aflorament del Miocè s'ha de continuar poc més d'un km després de la rotonda on hi ha la desviació cap a la cantera Berta. Llavors s'ha d'agafar un trencall a mà dreta, on es creua un antic pont de pedra i s'arriba a l'aflorament, que es troba en una pedrera abandonada.

4. MARC GEOLÒGIC

La zona d'estudi està situada dins de les Serralades Costaneres Catalanes (SCC)

Les SCC estan formades per una sèrie d'alts geològics i depressions denominats també *horsts* i *grabens* (Fontboté, 1954). Els *horsts* estan formats per un basament paleozoic, compost bàsicament per granitoids tardihercinians i pissarres, i recoberts de forma discordant per roques mesozoiques del Triàsic, Juràssic i Cretaci (de composició dominantment carbonatada, i localment detrítica o evaporítica). Els *grabens* acostumen a tenir una morfologia asimètrica (*semigrabens*), i estan reomplerts per sediments miocens d'origen continental i marí costaner i per materials quaternaris continentals (Figs. 10 i 11) (Cabrera, 1979).

Concretament la Mina Berta es troba al límit entre el *horst* de Collserola i el *semigraben* del Vallès (Fig 10). La zona està afectada per les falles principals del límit meridional del *semigraben* del Vallès les quals tenen una orientació NE-SW. Aquestes falles tenen un salt hectomètric (Cabrera, 1979) i separen els materials miocens del basament paleozoic.

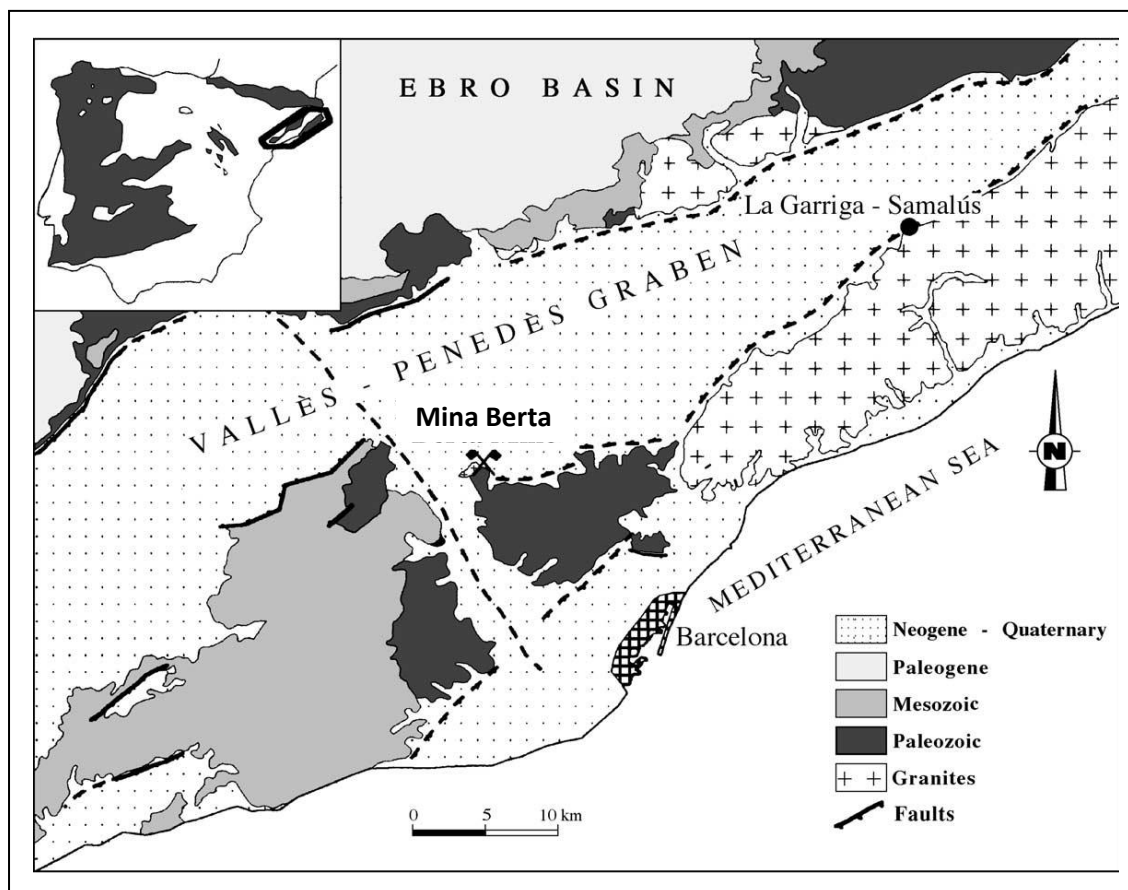


Fig. 10. Localització del semigraben del Vallès-Penedès, amb la ubicació de la mina Berta (modificat de Cardellach et al., 2003)

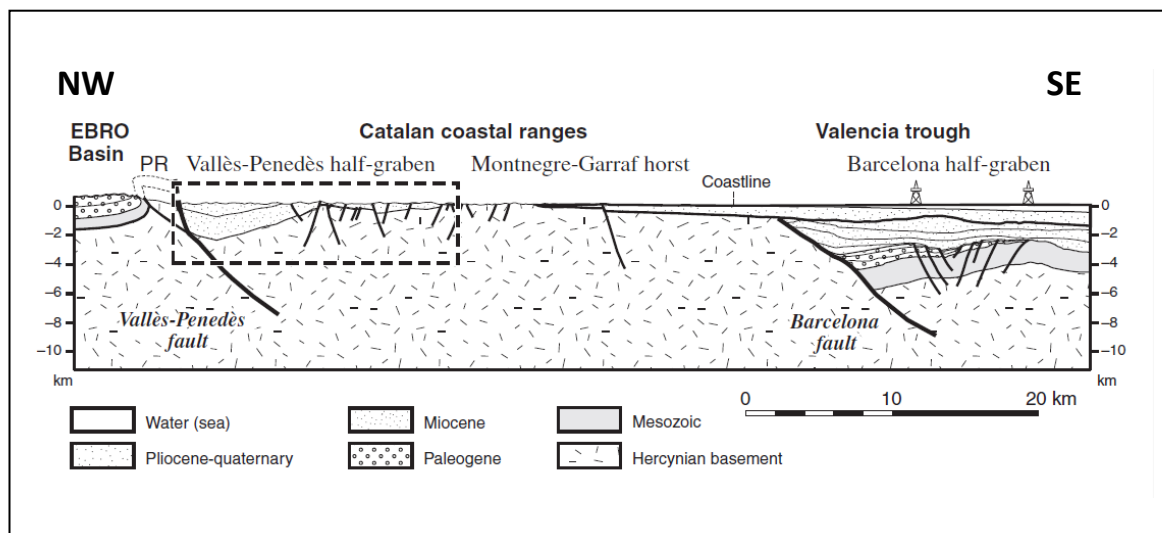


Fig. 11. Localització del semigraben del Vallès-Penedès, en la secció geològica de Travé et al. (2009)

Geologia local

La Pedrera Berta està formada per granodiorites que, al voltant de la pedrera estan recobertes de conglomerats i bretxes del Miocè o per materials col·luvials del quaternari (Fig. 12). La granodiorita fresca és de color gris i està formada per quars, plagiòclasi, feldspat potàssic i miques biotita i moscovita. Segons descriuen Monturiol-Pous (1964) i Cardellach et al. (2002) la granodiorita és afectada per nombrosos filons mineralitzats, en diferents episodis, que contenen quars, calcita, fluorita i sulfurs de Fe, Pb i Cu entre altres minerals. La granodiorita adjacent als filons adquireix una tonalitat verdosa degut a una alteració propilítica amb el desenvolupament de sericita i calcita a expenses dels feldspats (Díaz, 2011). El granit infrajacent als materials miocens ha estat afectat per un perfil d'alteració rubefactant que comporta el desenvolupament d'òxids de ferro i l'alteració dels feldspats a caolinita (Parcerisa, 2002).

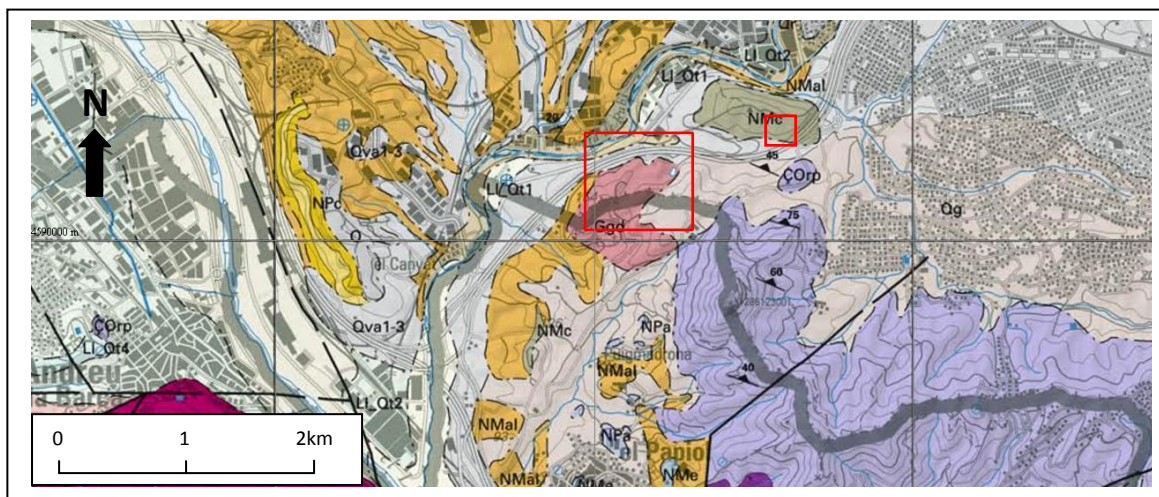


Fig. 12. Geologia local de la zona (ICC, cartografia geològica comarcal 1:50.000), amb les dues zones d'estudi emmarcades. La granodiorita (Ggd) apareix de color rosat al mapa, mentre que els sediments continentals del miocè apareixen en colors ataronjats (NMal) i gris verdós (NMc)

5. MINERALOGIA DE LES FRACTURES

Com s'ha comentat a la metodologia, s'han definit 5 zones a la pedrera Berta, per criteris geològics. Aquestes presenten diferències mineralògiques al rebliment de les fractures. És per aquest motiu que la mineralogia serà comentada per a cadascuna de aquestes zones (veure Fig. 1, Taula 2).

Taula 2. Classificació, nomenclatura i breu descripció de les zones definides per a aquest treball.

Zona	Descripció
A	Filó principal
B	Filó i possible falla miocena. Roca encaixant triturada.
C	Fractura reomplerta
D	Filó i possible falla Miocena. Enllaça amb la zona B.
E	Fractura amb microcristalls de fluorita amb molta porositat. Enllaça amb la zona C.

Zona A

En aquesta zona apareix el filó principal encaixat en el granitoid. Els minerals que cristal·litzen al seu interior es troben en forma de bandes, molts cops discontinües segons la mineralogia present.

La major part de les mostres de mà estudiades presenten aspecte bandat. La mineralogia principal identificada a visu està constituïda per fluorita, calcita, quars i petita quantitat galena, esfalerita, pirita i calcopirita. La fluorita en aquesta zona presenta 2 aspectes, un massiu amb cristalls d'ordre mil·limètric a centimètric, de color blanc amb tonalitat violàcia, mentre que altres són centimètrics, amb formes prismàtiques de color verd (Fig. 13).

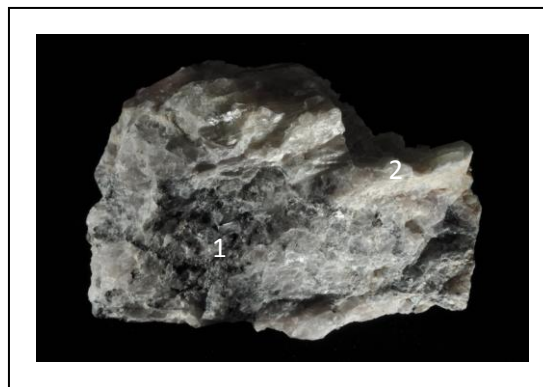


Fig. 13. Fluorita massiva de color blanc violaci (1), i prismàtica amb creixement unidireccional (2) a espectre visible.

La calcita i el quars es presenten en petites bandes de mil·limètriques a centimètriques, que sovint són discontinües. La calcita de vegades també es presenta com a cristalls aïllats. La calcita es presenta en cristalls subdiomòrfics amb una mida fins a 1 cm. A nivell microscòpic s'han observat sericita entre cristalls de quars (Fig. 14).

Amb la làmpada de raigs ultraviolats s'ha pogut observar que la fluorita presenta un color clarament violaci. Tots els cristalls de calcita d'aquesta zona presenten fluorescència de color vermell (Fig. 3).

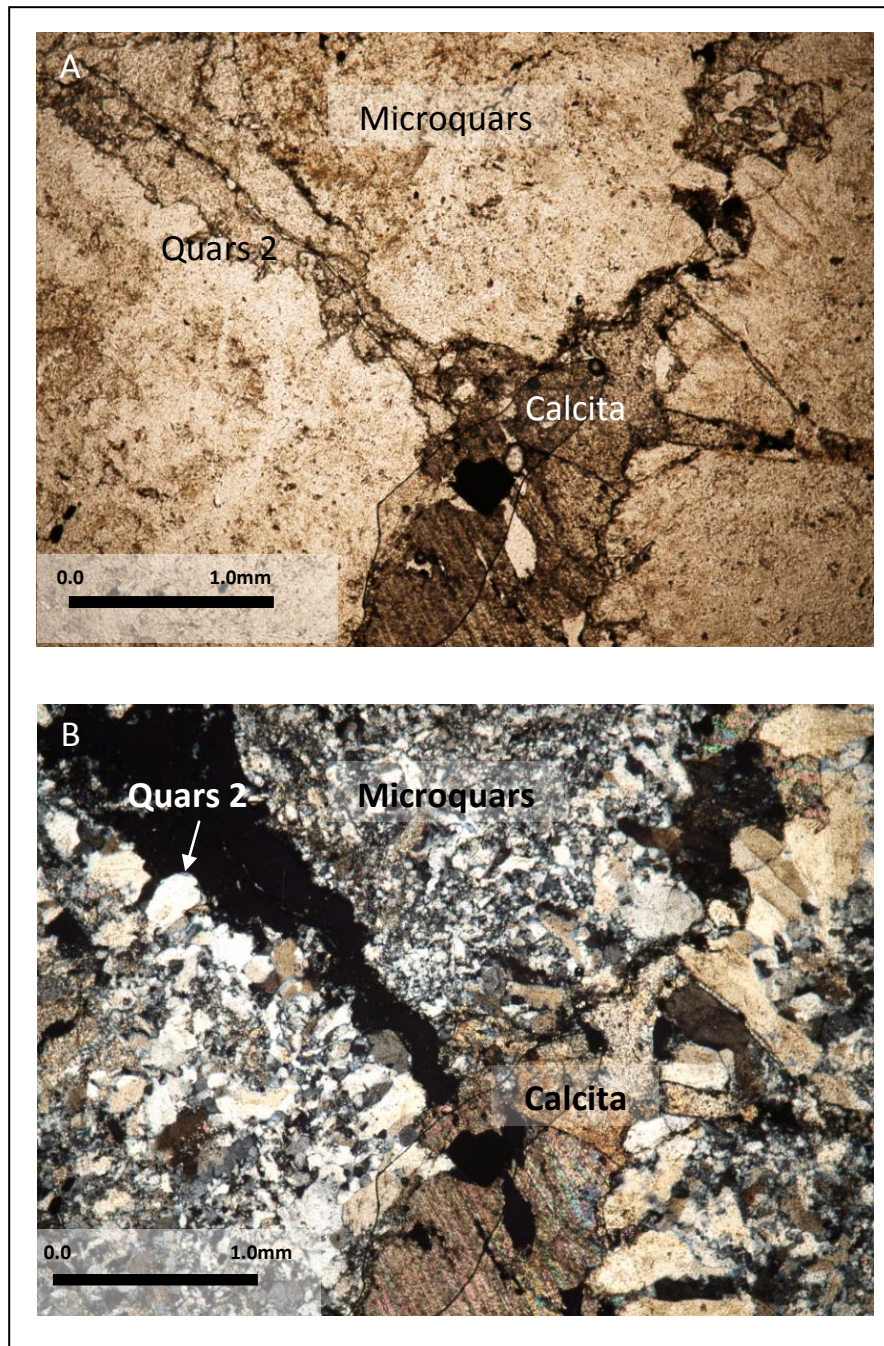


Fig. 14. Creixements de microquars a les zones més internes de la esquerda, amb cristalls de quars més gran (quars 2), que han crescut amb més espai i finalment de calcita, de major diàmetre que implica un major espai que el propi quars 2. La foto A és en llum paral·lela i la B en nicols creuats.

Minerals metàl·lics

La galena i la esfalerita es presenta en bandes de pocs mil·límetres de gruix, amb microcristalls i en algun cas fins a cristalls mil·limètrics. La pirita es presenta sovint en cristalls idiomòrfics disseminats de fins a 2 mm de diàmetre. La calcopirita sovint es troba en masses de petites dimensions (Fig. 15).

També apareixen cristalls molt petits, de 1 a 10 μm , de sulfosals, principalment tetrahedrita, i argentita (Fig. 16). L'argentita es troba reomplint cavitats a la galena.

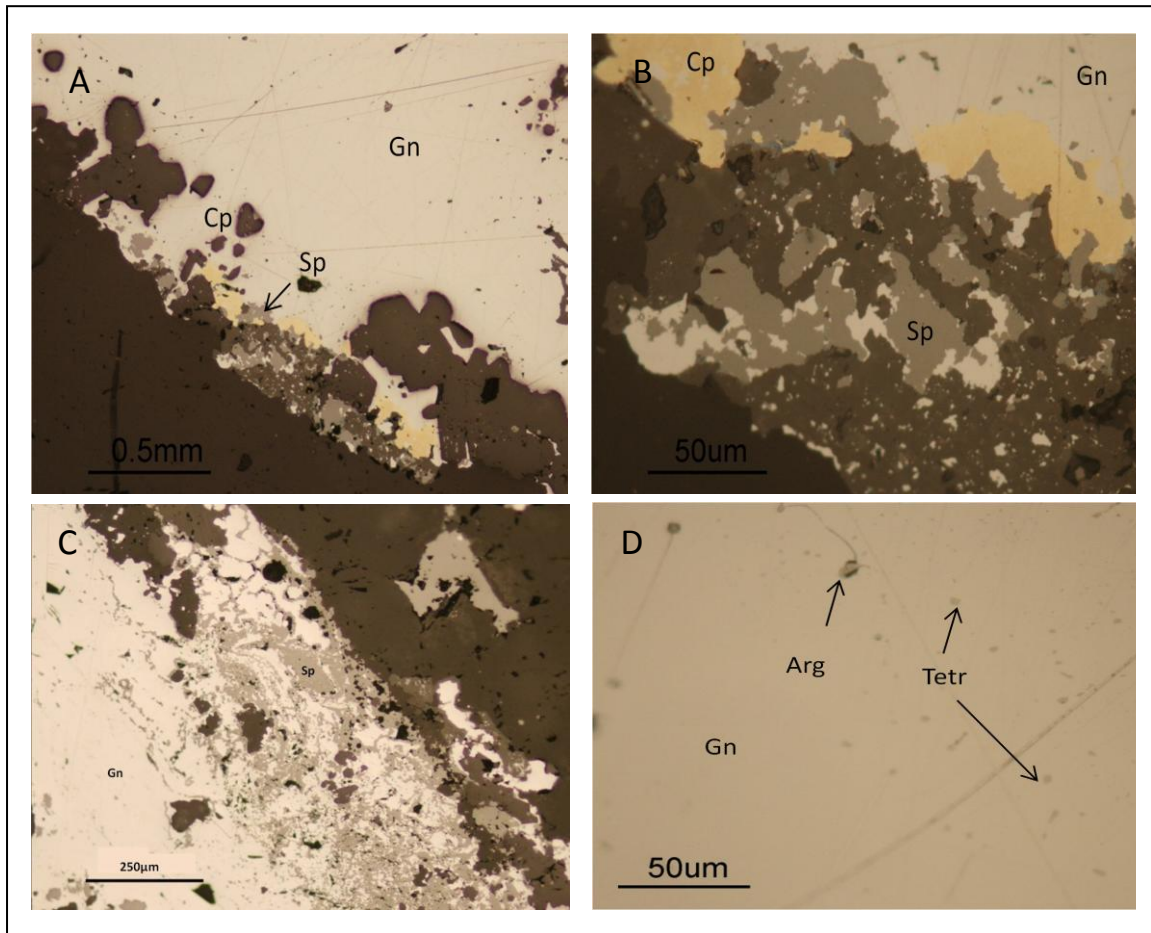


Fig. 15. Imatges al microscopi òptic de llum reflectida de la mostra JB-9. (A) Cristalls no metàl·lics idiomòrfics envoltats per galena. L'esfalerita i calcopirita són anteriors a la galena; (B) ampliació de la part inferior de la foto A; (C) Relictes d'esfalerita en galena, en una zona de fractura. A la part dreta superior de la fotografia hi ha minerals no metàl·lics. La foto pertany a la mostra JB-14; (D) Cristalls d'argentita i de tetrahedrita dins la galena. La foto pertany a la mostra JB-9.

Seqüència paragenètica

A les fractures els primers minerals a formar-se són els microcristalls de quarz amb sericita. A mesura que la zona de fractura s'ha anat obrint es troben cristalls de fluorita i cristalls més grossos de quarz. En intersticis de entre aquests minerals es formen els sulfurs. El primer sulfur que cristal·litza és la esfalerita, seguit de la calcopirita. La galena reemplaça aquests minerals. Les sulfosals es troben associades a la galena. La argentita és la més tardana. La pirita sovint és més tardana que la galena. Finalment on la veta és més ampla s'hi observen cristalls de calcita de mida més grossa (Fig. 14).

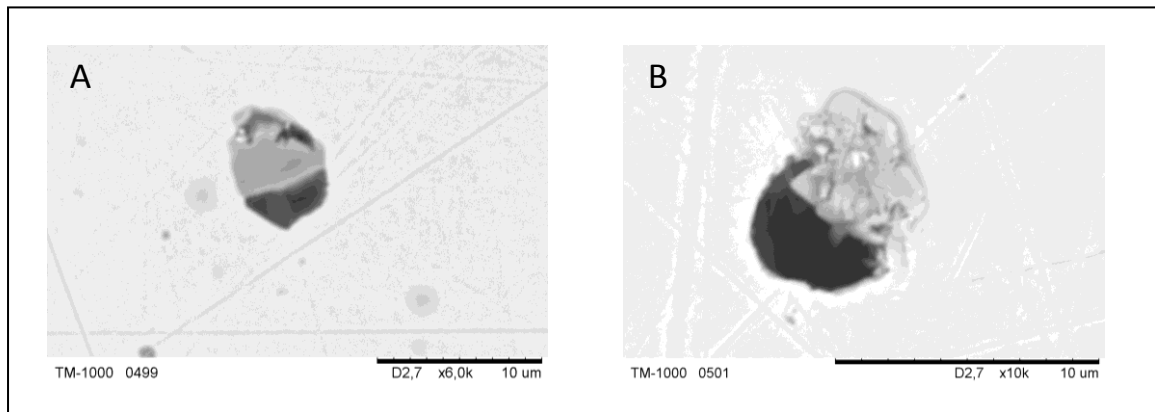


Fig. 16. Imatges del SEM amb (A) Tetraedrita i (B) i Argentita.

Tot i que en el present treball no s'han observat, la existència d'altres minerals com calcosina, cubanita, covel·lina, greenockita, prousita, rathita, siderita, apatita i carbonat-apatita ha estat reportada (Monturiol-Pous, 1964; Mata, 1981).

Zona B

Aquesta zona correspon a la falla miocena del NE de la pedrera. Al camp s'observa que aquesta falla talla a la granodiorita. La falla presenta cristalls de diferents minerals normalment fins a 1 mm de diàmetre, que excepcionalment poden arribar als 4 mm (Fig. 17).

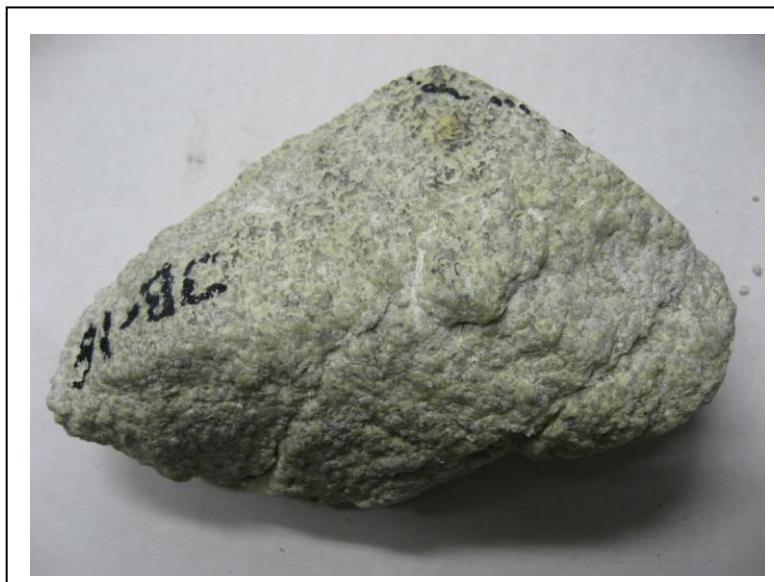


Fig. 17. Aspecte de la mostra de ma JB-16, corresponent a la zona B.

No s'observa cap mena d'estructura en els materials dins la falla, l' aspecte es homogeni. Es veu com una massa de colors verd i groc (Fig. 17). En aquesta zona els minerals presents són fluorita, calcita, quars i algun cristall de pirita. La fluorita és la que dóna el color verdós a la falla.

Zona C

Aquesta zona presenta moltes fractures amb cristal·litzacions, en molts casos amb calcites estriades; però el fet més destacable és que en les zones on hi ha més espai lliure pel creixement de cristalls existeix una fluorita octaèdrica, d'1 a 1,5 cm, de color verd (Fig. 18, 19) que sovint apareix coberta per cristalls de 5 a 8 mm de calcita. Aquest és el mineral més emblemàtic de la pedrera i ha estat descrita en diversos treballs (Monturiol, 1964; Mata, 1981; Cardellach et al., 2002).

En aquesta zona les fractures tenen alta oxidació i es freqüent trobar-hi cristalls de pirita dispersos i freqüentment oxidats.



Fig. 18. Fluorita verda octaèdrica, coberta de cristalls de calcita amb òxids de Fe.

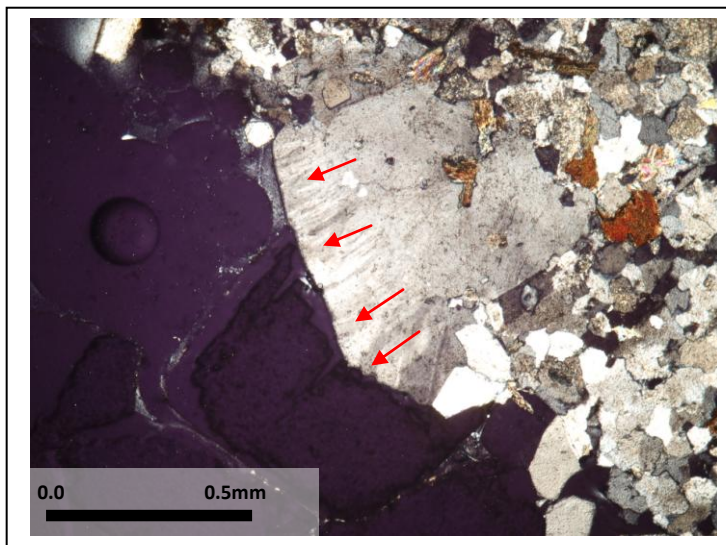


Fig. 19. Microfotografia de fluorita en el contacte amb l'encaixant, en el qual s'observa un sobrecreixement de grans de quars i feldspat. Observació amb nícols encreuats.

Zona D

Aquesta zona correspon a la falla del Miocè i està ubicada al SW de la pedrera. En ella observem una sèrie de fractures reomplertes amb cristalls de calcita de diferent mida. S'hi ha reconegut 3 generacions de calcita (Fig. 20). La primera d'elles fa una mida de 2 a 4 mm, és blanquinosa i opaca. Per sobre hi creixen romboedres de al voltant d'un cm del mateix mineral, però que en aquest cas és translúcid. Aquests cristalls queden recoberts parcialment per la tercera generació de calcita (Cc3), que té morfologia tabular.

A l'extrem SW de la zona, apareix una fractura molt més tancada, on s'ha observat molt bé una veta mil·limètrica de calcita, envoltada per bandes de quars rosat criptocristal·lí (Fig. 21).



Fig. 20. Mostra amb tres tipus de calcita diferent que han crescut l'una sobre l'altre.

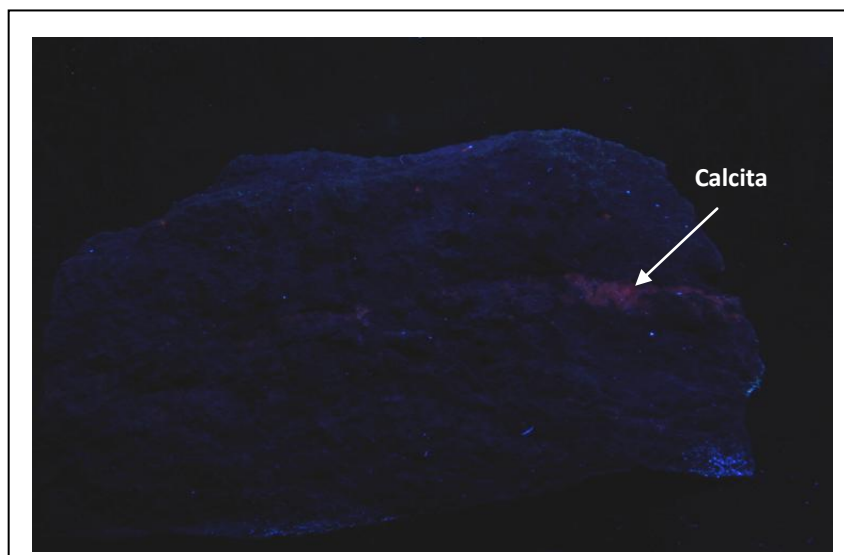


Fig. 21. Veta amb cristalls de calcita (Fluorescent) envoltada per bandes de quars (fosc) sota la làmpada de llum ultraviolada (amb ona curta).

Zona E

La zona es presenta com a dues fractures en forma de “V”, una d’elles pràcticament paral·lela a la falla miocena. Tallen la granodiorita, formant una zona d’alteració amb un grau d’oxidació molt elevat. Aquestes fractures es caracteritzen per tenir fluorita micro i criptocristal·lina formant vetes (Fig. 22), amb molta porositat formada probablement per dissolució. Aquesta porositat sovint es reomplerta per argiles. A més de la fluorita s’hi ha observat calcita i pirita. A la zona de fractura apareixen fragments de la roca encaixant. És la prolongació al NE de la zona C.



Fig. 22. Veta de fluorita en mostra de mà amb molta porositat.

6. ANÀLISI ESTRUCTURAL DE LES FRACTURES

La Mina Berta presenta 6 famílies de fractures definides per Díaz (2011), la orientació d'aquestes famílies és diferent en els dos blocs degut a la rotació del bloc nord respecte del bloc sud (Taula 3 i Fig. 23). A més, el filó principal de l'antiga mina subterrània, situat al bloc sud, té una orientació particular relativament propera a la família 1 de fractures (Fig. 23b).

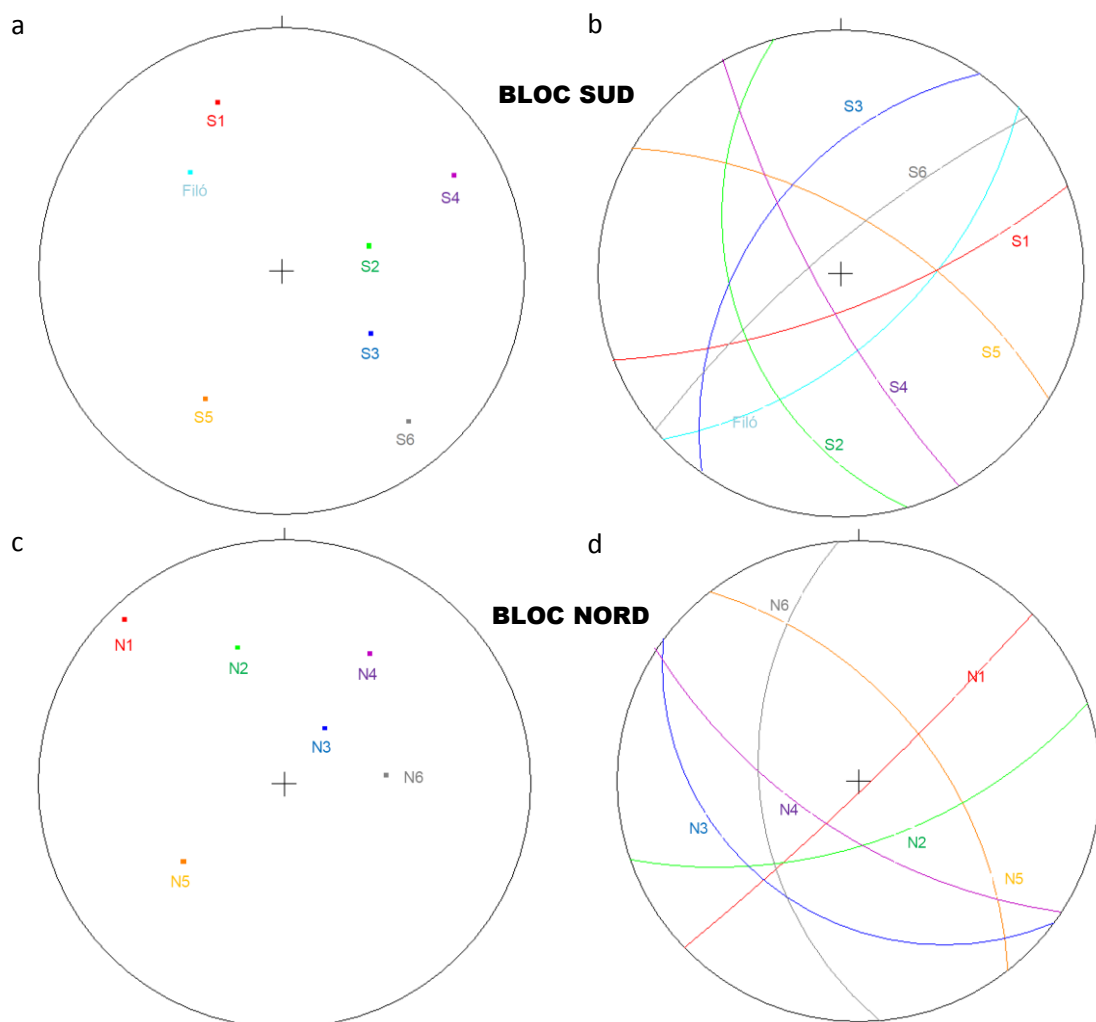


Fig. 23. Pols (a i c) i plans mitjos (b i d) de les 6 famílies de fractures de Mina Berta als blocs sud (a i b) i nord (c i d) segons Díaz (2011). A més es projecta la orientació del filó principal, situat al bloc sud. Comparant les dues projeccions polars dels blocs sud i nord es veu una rotació dels pols mitjos de les diferents famílies.

Taula 3. Orientacions mitges de les 6 famílies de fractures i del filó mineral al bloc sud i al bloc nord segons Díaz (2011).

Famílies	Direcció	Cabussament	Espaiat
S1	159	73	44,6
S2	254	41	53
S3	305	48	150
S4	241	78	20,3
S5	31	63	39
S6	320	78	variable
Filó	137	58	variable
Famílies	Direcció	Cabussament	Espaiat
N1	136	86	27
N2	161	61	variable
N3	216	31	52
N4	213	65	29
N5	52	55	79.7
N6	265	45	70

Algunes de les fractures mostren estries de falla en diferents orientacions (vertical, horitzontal i obliqua) degudes majoritàriament a la precipitació de calcita durant el desplaçament de la falla (Taula 3). Concretament, s'han localitzat estries en 5 de les 6 famílies definides per Díaz (2011). S'analitzen separatament les fractures i estries del bloc N (Fig. 24) i les del bloc S (Fig. 25). Per altra banda, també s'han mesurat les fractures i les estries en fractures de les bretxes miocenes (Taula 4 i Figura 26).

Taula 4. Orientació mitja de les fractures i estries mesurades en aquest treball als dos blocs de Mina Berta i a les bretxes miocenes.

BLOC	FRACTURES		ESTRIES		FAMILIA
	DIRECCIÓ	CABUSSAMENT	DIRECCIÓ	CABUSSAMENT	
Sud	145	72	53	18	S1
	8	42	335	27	S5
Nord	133	88	39	10	N1
			60	76	
	166	54	223	50	N2
	205	57	290	4	N4
	242	89	163	3	N5
			35	80	
286	64	299	62	N6	
Miocè	249	89	159	0	Br1
	351	63			Br2

Les mesures realitzades en aquest estudi són correlacionables amb les dades de Díaz (2011). Així, al bloc sud la família S1 mostra estries subhorizontals i la família S5 presenta estries obliqües (Fig. 24).

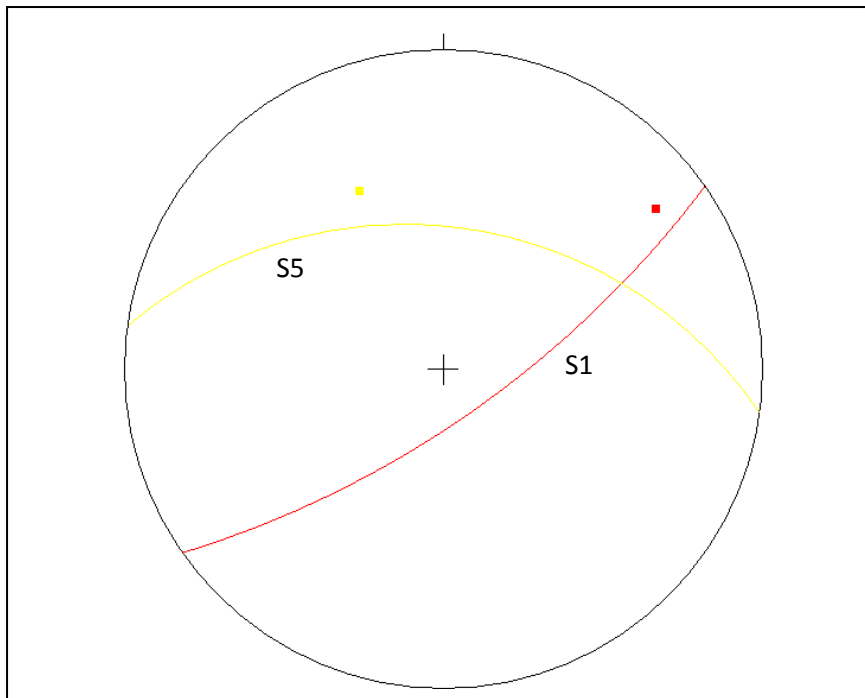


Fig. 24. Plans mitjos de les famílies S1 i S5 amb les respectives estries de falla.

Al bloc nord s'han mesurat un gran nombre d'estries en diferents famílies. Les famílies N1 i N5 poden tenir dos tipus diferents d'estries unes de subhorizontals i les altres de subverticals, les famílies N2 i N6 presenten estries obliqües i la família N4 presenta estries subhorizontals (Fig. 25).

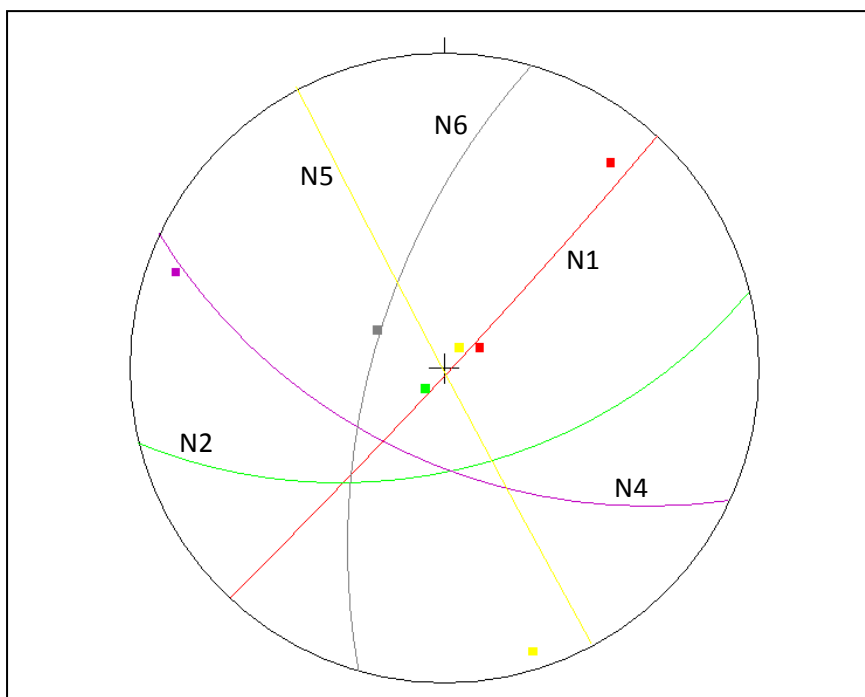


Fig. 25. Projecció estereogràfica de les famílies del bloc nord que presenten estries de falla.

Per altra banda les bretxes miocenes del Puig Pedrós, l'altra zona d'estudi, presenten dues famílies de fractures que hem anomenat M1 i M2, les quals tenen una orientació molt similar a les famílies N5 i N1 del bloc nord de Mina Berta. A més, la família M1 mostra estries subhorizontals que han estat mesurades en el treball de Travé et al. (2009), amb la projecció estereogràfica es veu que tenen la mateixa orientació que les estries de la família N5 (Fig. 26).

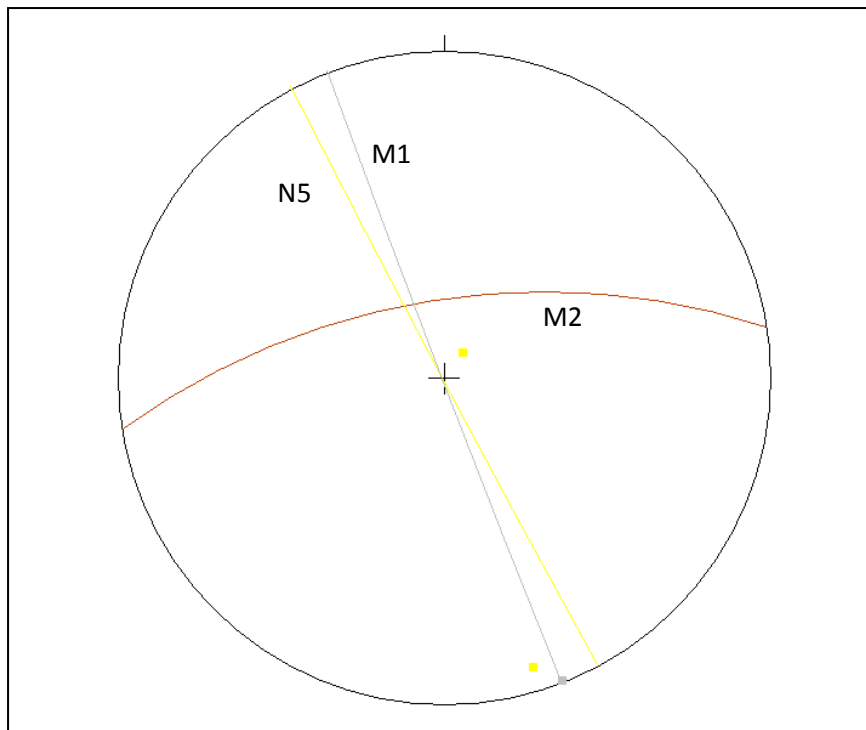


Fig. 26. Plans de fractura mitjos i estries de les famílies de les bretxes miocenes M1 i M2 comparades amb N5.

7. ISÒTOPS DE O I C

Les mostres analitzades pertanyen a les zones A, C i D, i la zona de les bretxes del Miocè. Els resultats obtinguts mostren uns valors de $\delta^{18}\text{O}$ entre -6,5 i -20,15‰ i de $\delta^{13}\text{C}$ entre -3,3 i -8,9‰ (Taula 5).

Taula 5. Composició isotòpica de O i C (‰) per a la mostres analitzades.

	Mostra	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)
Berta 1	JB-39 Cc1	-19,5	-6,4
	JB-39 Cc2	-19,8	-6,6
	JB-40 Cc1	-19,8	-6,5
	JB-40 Cc2	-20,2	-6,7
Berta2	JB-41 Cc	-18,6	-6,8
	JB-39 Cc3	-15,0	-8,9
	JB-40 Cc3	-15,5	-8,0
	JB-43 Cc	-15,9	-3,3
	JB-44 Cc	-13,7	-5,1
	JB-45 Cc	-16,9	-6,2
	JB-46 Cc	-16,3	-5,0
Bretxes	JB-47 Cc1a	-6,5	-7,7
	JB-47 Cc1b	-11,6	-6,9
	JB-47 Cc2	-7,4	-7,8
	JB-47 Cc3	-10,0	-6,5

Els diferents valors de $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ obtinguts s'han agrupat en 3 famílies amb clares diferències (Taula 5) observables a la Figura 28, amb criteris diferents a més de les pròpies diferències en els fraccionaments isotòpics, tals com les possibles generacions de minerals en una mateixa mostra i les zones on ha estat obtinguda aquestes. Els noms d'aquestes famílies son Berta 1, Berta 2 pertanyents a mostres recollides a la pedrera. L'altra rep el nom de Bretxes, a partir de mostres recollides al miocè.

La família Berta 1 te valors de $\delta^{18}\text{O}$ entre -19,5 i -20,2, amb mitjana aritmètica de -19,8. El $\delta^{13}\text{C}$ presenta valors entre -6,4 i -6,7, amb mitjana de -6,6. Això mostra un núvol de punts molt reduït i proper amb molt poques diferències entre els fraccionaments isotòpics.

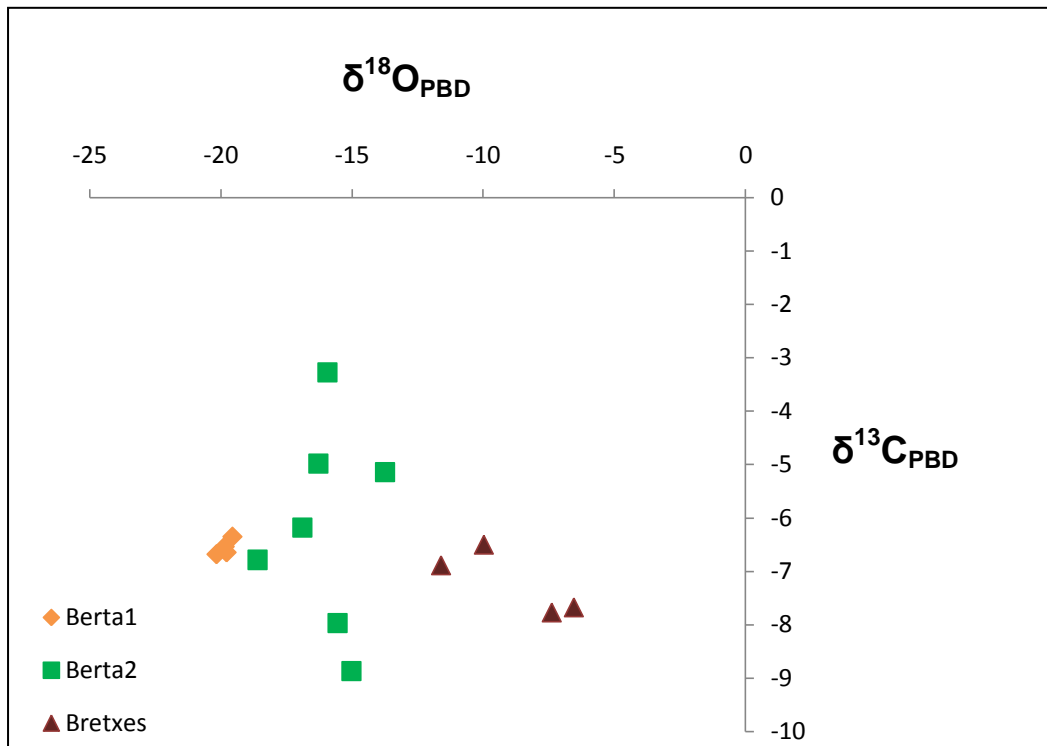


Fig. 27. Gràfic de distribució dels $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ en les mostres, i en les 3 famílies definides.

La família Berta 2 dona com a resultat un núvol molt més dispers de punts, amb $\delta^{18}\text{O}$ entre -13,7 i -18,6, i $\delta^{13}\text{C}$ entre -3,3 i -8,9. Les mitjanes aritmètiques són -16,0 i -6,2 respectivament.

A la Figura 28 s'observen les diferents generacions de calcita que omplen la fractura present a les bretxes. Es veu una alternança en els valors de $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$. És per això que s'ha considerat com a una única família. Els seus valors de $\delta^{18}\text{O}$ oscil·len entre -11,6 i -5,5, i els del $\delta^{13}\text{C}$ entre -7,8 i -6,5. Les mitjanes aritmètiques tenen un valor de -8,9 i -7,2 respectivament.

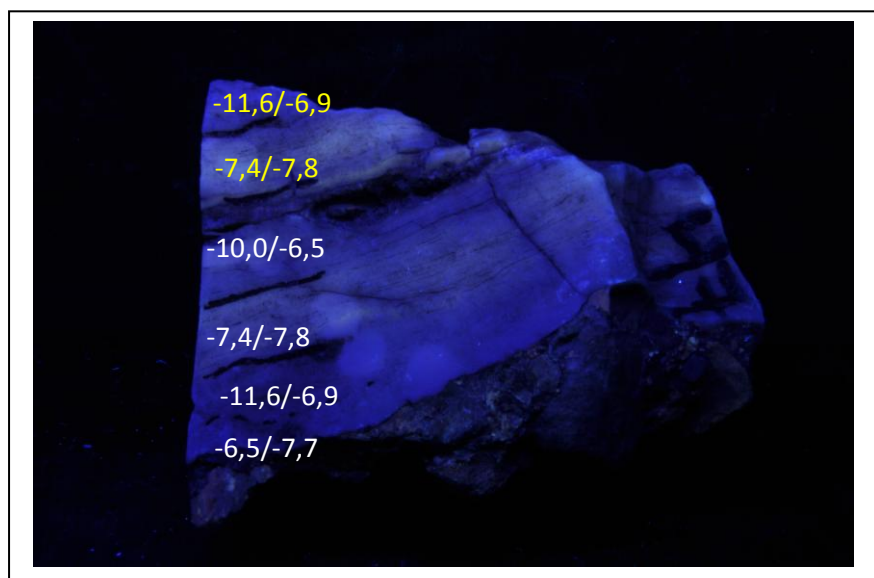


Fig. 28. Mostra JB-47, corresponent a una fractura dins les bretxes on es veuen diferents tipus de calcita i el seu creixement, sota la llum ultraviolada.

8. ISÒTOPS DE S

Tots els sulfurs analitzats corresponen a la zona del filó principal, o zona A.

Els valors de $\delta^{34}\text{S}$ sulfurs analitzats es presenten a la Taula 6. La esfalerita presenta valors molt constants, entre +12,21 i +13,46 ‰; la galena entre +4,02 i 7,16 ‰, la pirita de 3,26 a 10,62 ‰ i les dues mostres de calcopirita són de +5,06 i +12,48 ‰. A pesar de comptar amb poques dades, en el conjunt s'observa una tendència bimodal dels valors de $\delta^{34}\text{S}$ (Fig. 29). La esfalerita es la que presenta valors més alts, en detriment de la pirita, que és la que hauria de presentar-los en un fluid en equilibri.

Taula 6. Valors del resultat del fraccionament isotòpic del ^{34}S per a la mostres analitzades. Sp: esfalerita, Gn: galena, Py: pirita, Cp: calcopirita.

Mostra	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ Sp	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ Gn	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ Py	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ Cp
JB-2 (1)	12,21			
JB-14		7,16		
JB-9		5,07		
JB-5			10,62	
JB-37			4,41	
JB-43			3,26	
JB-36		4,24		
JB-2 (3)	12,46			
JB-2 (2)	13,46			
JB-1 (1)	12,32			
JB-35	13,12			
JB-7	12,43			
JB-8				5,06
JB-15				12,58

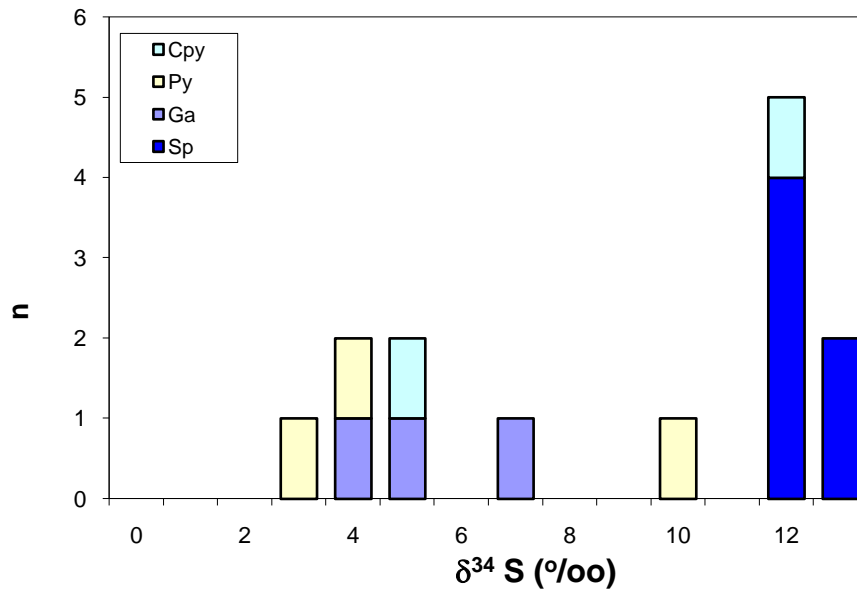


Fig. 29. Histograma on s'observa una tendència bimodal. n: freqüència; Sp: esfalerita, Gn: galena, Py: pirita, Cp: calcopirita.

9. DISCUSSIÓ

Els raonaments que s'exposen a continuació han estat complementats i comparats amb els darrers estudis realitzats a Mina Berta (Cardellach et al., 2002) i als sediments miocens adjacents a la zona (Parcerisa et al., 2005 i Travé et al., 2009). Respecte el treball de Cardellach et al. (2002) es fa una comparativa dels valors isotòpics en els sulfurs ($\delta^{34}\text{S}$), i a la calcita ($\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$) que precipiten dins de les fractures del basament paleozoic. En el cas de Parcerisa et al. (2005) i Travé et al. (2009) s'han contrastat les dades isotòpiques de la calcita que cimenta i reomple els sediments del Miocè i les fractures que els afecten.

A partir de l'anàlisi de les fractures i de les estries que aquestes contenen es dedueix que moltes de les fractures de la granodiorita de Mina Berta, en algun moment, han patit desplaçament i, per tant, han actuat com a falla. S'han detectat moviments verticals, oblics i horitzontals. De les mesures realitzades destaca la gran abundància d'estries de falla verticals i horitzontals (Figs. 24 i 25). Les estries verticals poden correspondre a deformacions normals o inverses i afecten a fractures amb orientació aproximada N-S, E-W i NE-SW. Les estries horitzontals indiquen una etapa de deformació direccional o en *strike-slip* a la zona, aquesta deformació es dona amb orientacions dominants N-S, NE-SW i NW-SE.

Possiblement les estries verticals corresponen a una etapa de deformació extensiva que causa el moviment normal de les fractures i la precipitació de calcita formant estries. Aquest fet s'observa amb la falla que travessa la pedrera de NE a SW i subdivideix la mateixa en dos blocs (nord i sud, Fig. 1). Aquesta falla té un moviment normal ja que enfonsa el bloc nord el qual és parcialment cobert pels sediments miocens. En cas que totes les estries verticals corresponguin a aquesta etapa es podria afirmar doncs que la zona registra una important deformació extensiva que provoca el moviment normal de les fractures de la granodiorita i al mateix temps la precipitació de calcita dins d'aquestes fractures. Aquesta etapa s'esdevingué durant el Miocè inferior (Burdigalià) ja que les falles són fossilitzades pels sediments miocens d'aquesta edat.

Per altra banda, Travé et al. (2009) mesuren fractures que afecten les bretxes del Miocè (per tant, postburdigalianes). Aquestes fractures de les bretxes miocenes presenten estries horitzontals i, tant les estries com les fractures, són paral·leles a la família de fractures N5 de la pedrera Berta i a les seves estries. Així s'interpreta que l'etapa de deformació direccional que afecta a les bretxes miocenes i a la granodiorita és la mateixa i que s'esdevingué, tal i com proposen Travé et al. (2009), durant el Miocè mig (Serraval·lià). Per altra banda, la calcita que forma aquestes estries (Berta 2 a la Fig. 30) i que, presumiblement va precipitar durant el Serraval·lià, presenta valors isotòpics comparables als de les mesures realitzades per Parcerisa et al. (2005) i Travé et al. (2009) en els sediments miocens i les seves fractures (Fig. 30). Aquest fet reforça la hipòtesi que les estries de falla es van formar durant el Miocè i registren moviments de falla d'aquesta època.

A les mesures realitzades en aquest estudi apareix una calcita amb valors molt negatius de $\delta^{18}\text{O}$, sempre per sota de -19.5‰ (Berta 1 a la Fig. 30), segons les mostres que s'han estudiat la calcita Berta 1 és prèvia a la calcita Berta 2 i s'interpreta que es formà en un event pre-Miocè. Així, existeix una discrepància amb els valors de Cardellach et al. (2002). La correlació isotòpica indicaria que les

dades de Cardellach et al. (2002) han invertit aquestes dues etapes de precipitació de calcita.

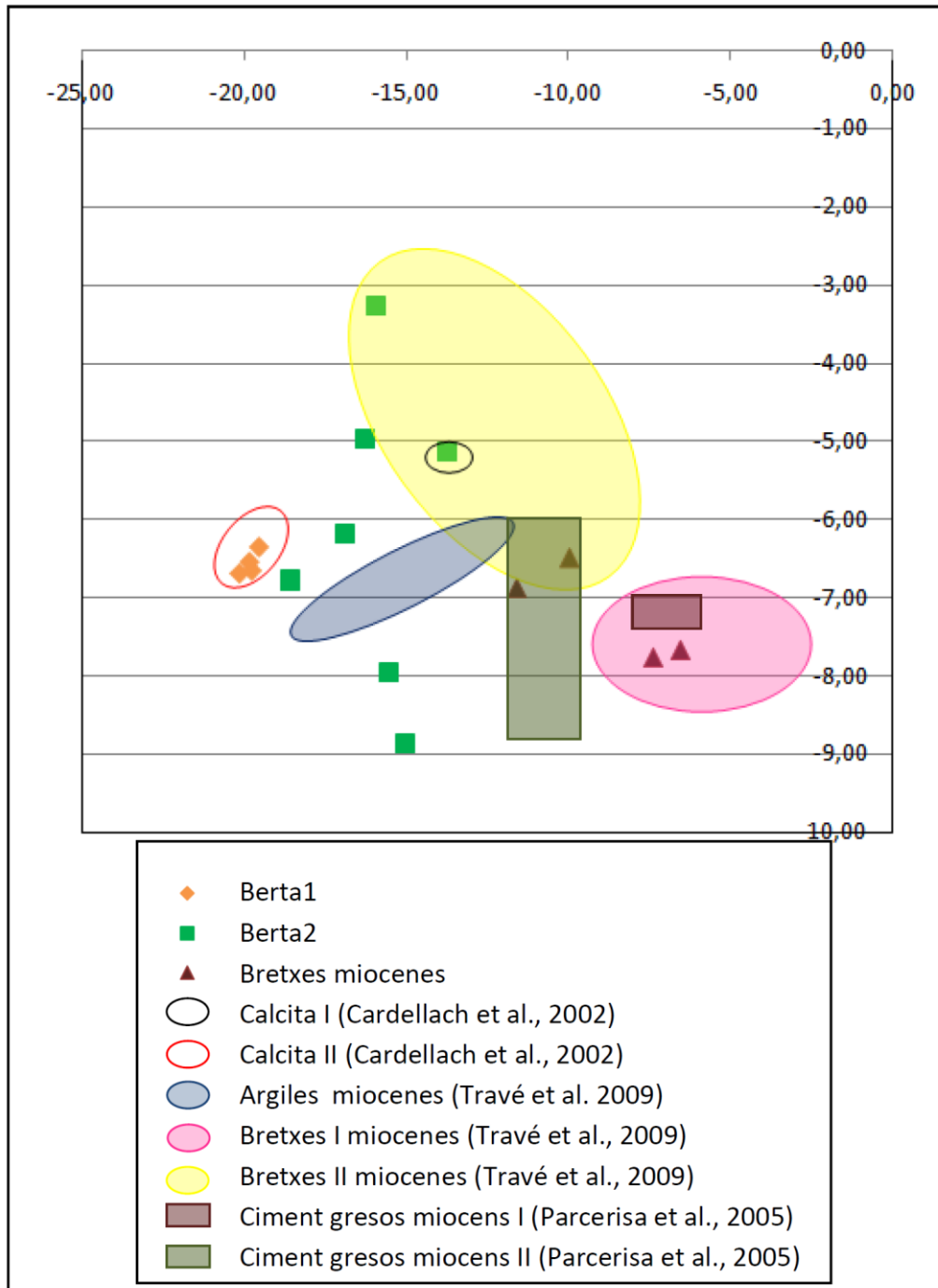


Fig. 30. Comparació dels resultats de $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ del present treball amb el de Cardellach et al. (2002) i Travé et al. (2009). A l'eix d'abscisses $\delta^{18}\text{O}$, al d'ordenades $\delta^{13}\text{C}$.

Segons els valors isotòpics presentats es poden diferenciar 3 events diferents de precipitació de calcita (Fig. 30):

1. Calcita corresponent a Berta 1. S'interpreta com una calcita d'origen hidrotermal degut als seus valors molt negatius en oxigen i a la seva composició isotòpica molt concentrada i invariable. Aquesta calcita seria premiocena i probablement va precipitar en relació amb el filó mineral de quars, fluorita i sulfurs.

2. Calcita corresponent a Bretxes. S'interpreta com una calcita d'origen meteòric que cimenta de forma molt primerenca les fractures i els sediments miocens (Burdigalià?).
3. Calcita corresponent a Berta 2. També és una calcita d'origen meteòric però en aquest cas la gran dispersió en els seus valors de $\delta^{13}\text{C}$ i els valors de $\delta^{18}\text{O}$ més negatius que els de l'etapa anterior podria indicar que les aigües meteòriques que van precipitar la calcita van tenir prou temps de residència per interactuar amb el medi i facilitar intercanvis isotòpics de C i O. Donat que aquesta calcita forma les estries de falla probablement va precipitar durant el Serraval·lià.

A la Zona E s'ha observat que les fractures contenen fluorita verda microcristal·lina amb alta porositat, i sovint estan reblertes d'argila. Sabent que és l'equivalent a la zona C on hi apareixen les fluorites verdes octaèdriques, es pot pensar que poden haver patit una dissolució i posterior precipitació. Les argiles existents a les porositats probablement no siguin contemporànies pel fet de que si ha existit un flux que ha dissolt la fluorita, probablement les hagués rentat. És per això que en el present treball s'ha escollit la hipòtesi d'argiles de il·luviació, provinents de materials suprajacents, probablement del Miocè, ja que fossilitza al granit en sectors de la pedrera. Tot i així no es descarta la possibilitat que pugui ser material del Quaternari.

La mineralització a la zona del filó principal, veient el contacte entre els cristalls, el creixement a les esquerdes, els cristalls idiomòrfics i la posició respecte a la obertura de la fractura, fa intuir que ha anat en el següent ordre començant pel més antic: microquars amb sericita, fluorita i quars, sulfurs i calcita. Dins els sulfurs s'ha observat que l'esfalerita és el que precipita primer, seguit de la galena, i posteriorment hi precipita la calcopirita. La pirita precipita contínuament al llarg del temps, però ho fa en molt poca quantitat, alternant-se amb els altres sulfurs. També s'ha observat una segona generació d'esfalerita posterior a la galena, molt menys abundant que creix en petites esquerdes. Finalment les sulfosals es formen alhora que la galena, ja que creixen a l'interior dels seus cristalls.

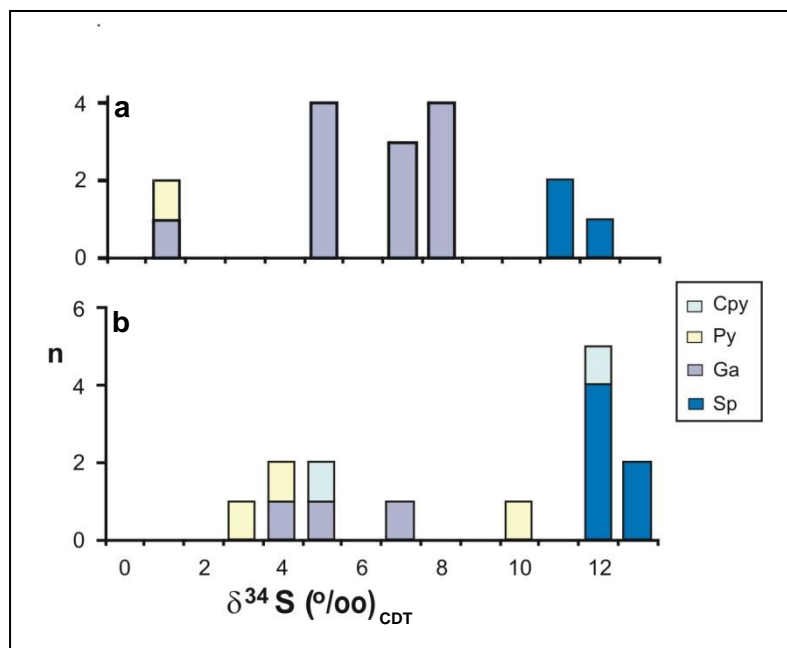


Fig. 31. Comparació dels resultats de $\delta^{34}\text{S}$ de Cardellach et al. (2002) (a) i del present treball (b).

L'anàlisi isotòpica ens mostra un $\delta^{34}\text{S}$ clarament positiu, amb $\delta^{34}\text{S}$ entre +4,2 i +13,5 ‰, suggereix que el sofre possiblement s'hagi format per reducció termoquímica de sulfat. Els rangs extrems de $\delta^{34}\text{S}$ són similars als de Cardellach et al. (2002) (Fig. 31).

També s'ha observat en el $\delta^{34}\text{S}$ una tendència clarament bimodal (Fig. 31), que indica que el fluid que dona lloc a les mineralitzacions de sulfurs probablement no estava en equilibri. Respecte l'edat de formació del filó mineral, Cardellach et al. (2002) proposen una edat juràssica per paral·lelisme amb altres events hidrotermals de la península, tot i així caldria tenir en compte la possibilitat de la formació del filó durant l'etapa compressiva alpina per injecció de fluids hidrotermals a través de les principals fractures del sistema.

10. CONCLUSIONS

Després d'haver realitzat l'estudi de les mineralitzacions a les fractures de la pedrera Berta, es poden extreure les següents conclusions sobre el seu origen i desenvolupament:

- Les fractures que afecten a les granodiorites de Mina Berta mostren tres events deformatius (premiocè, Burdigalià i Serraval-lià).
- El filó principal es va formar durant l'etapa premiocena, i podria tenir un origen Alpí. Aquest fet contrastaria amb les hipòtesis de treballs anteriors.
- La seqüència mineralògica del filó principal seria: Quars, Fluorita, Sulfurs i Calcita
- Els isòtops de sofre indiquen que el fluid que va precipitar els sulfurs no estava en equilibri.
- Les calcites que formen les estries de falla subverticals es van formar durant el Burdigalià per tectònica extensiva.
- Les calcites que formen les estries de falla subhorizontals es van formar durant el Serraval-lià per tectònica compressiva
- La composició isotòpica de la calcita registra els mateixos tres events de deformació:
 - La calcita premiocena té valors d'oxigen molt negatius i una composició isotòpica molt restringida. FLUID HIDROTERMAL.
 - La calcita del Burdigalià presenta els valors d'oxigen menys negatius. FLUID METEÒRIC PRIMERENC.
 - La calcita del Burdigalià-Serraval-lià té valors intermitjos d'oxigen i una gran dispersió en el carboni. FLUID METEÒRIC TARDÀ.

11. TEMES A APROFUNDIR

Un cop finalitzat aquest estudi, l'autor indica sota la seva opinió personal que es aconsellable aprofundir en certes línies de recerca per a poder afirmar algunes de les hipòtesis presentades. Aquestes són:

- Analitzar les inclusions fluides del quars, la fluorita i la calcita a les diferents zones estudiades, per a poder establir les condicions físiques i químiques dels fluids que originen les mineralitzacions.
- Augmentar les dades de $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ a les calcites pertanyents al filó principal i a les diferents famílies d'estries de falla amb el mateix objectiu que el punt anterior.
- Analitzar el $\delta^{87}\text{Sr}$ a les fluorites i a les calcites, per a observar quines són les diferències d'origen entre els diversos filons que contenen aquests minerals.
- Incrementar el nombre d'anàlisis de $\delta^{34}\text{S}$ de les espècies minerals dels sulfurs, per tal de poder establir millor les característiques dels fluids que els originen.

12. BIBLIOGRAFIA

Anadón, P., Colombo, F. Esteban, M., Marzo, M., Robles, S., Santanach, P., Solé Sugañés, P., 1979. Evolución tectonoestratigráfica de los Catalánides. Acta Geológica Hispánica, 14, p. 242-270.

Cabrera, L., 1979. Estudio estratigráfico y sedimentológico de los depósitos continentales basales del Mioceno de la depresión del Vallès-Penedès. Tesi de Llicenciatura, Dpt. d'Estratigrafia i Geologia Històrica,

Universitat de Barcelona, 361 p. Cardellach, E., Canals, A., Grandia, F., 2003. Recurrent hydrothermal activity induced by successive extensional episodes: The case of the Berta F-(Pb-Zn) vein system (NE Spain): Ore Geology Reviews [en línia], 22, 1-2, p. 133-141 [Consulta: 23 novembre 2011]. Disponible a:

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136802001129>) ISSN: 0169-1368

Craig, H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. Geochimica et Cosmochimica Acta, 3, 53-92.

Diaz, C., 2011. Caracterització geotècnica, Mina Berta (Vallès Occidental). Treball de final de carrera de enginyeria tècnica de mines, Universitat politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals. EPSEM-Campus de Manresa.

Faure, G., 1986. Principles of isotope geology. John Wiley & Sons Inc. (second ed.), New York, 589 p.

Fontboté, J.M., 1954. Las relaciones tectónicas de la Depresión del Vallés-Penedés con la Cordillera Prelitoral catalana y con la Depresión del Ebro. En: Tomo homenaje prof. E. Hernández Pacheco. Revista de la Sociedad Española de Historia Natural, 281-310, Madrid.

Grandia, F., 2000. Geòtop 337 Pedrera Berta (Vallès Occidental) [en línia]. Inventari d'espais d'interès geològic. Direcció General del Medi Natural. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya. [Consulta: 23 novembre 2011]. Disponible a:

(<http://www20.gencat.cat/docs/>)

Guimerà, J., 1994. Cenozoic evolution of eastern iberia; structural data and dynamic model. Acta Geológica Hispánica, 29, p. 57-66.

Hoefs, J., 2010. Stable Isotope Geochemistry. 6th ed. Springer. 285 p.

Institut Cartogràfic de Catalunya [en línia], 2011. [Consulta: 29 novembre 2011]. Disponible a:

(<http://www.igc.cat/>)

Mata, J. M., 1981. Els minerals de Catalunya. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona. Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals.

Mata, J. M., Parcerisa D., Diaz, C., 2011. Informe sobre la fracturació del massís granític de Mina Berta. Universitat politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Natural. EPSEM-Campus de Manresa.

McCrea, J.M., 1950. On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *Journal of Chemical Physics*, 18, 849-857.

Monturiol-Pous, J., 1964. Estudio del yacimiento de fluorita "Mina Berta" de Sant Cugat del Vallès. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. Barcelona.

Ohmoto, H., Goldhaber, M.B., 1997. Sulfur and carbon isotopes. A: Barnes, H. (Ed) *Geochemistry of hydrothermal deposits*. 3rd edition. Pensilvania State University, p. 517-612. ISBN 0-471-57144-X.

Parcerisa, D., 2002. Petrologia i diagènesi en sediments de l'Oligocè superior i del Miocè inferior i mitjà de la Depressió del Vallès i del Pla de Barcelona. Evolució de l'àrea font i dinàmica dels fluids. Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

Parcerisa, D., Gómez-gras, D, Travé, A., 2005. A model of early calcite cementation in alluvial fans: Evidence from the Burdigalian sandstones and limestones of the Valle`s-Penede`s half-graben (NE Spain). *Sedimentary Geology*, 178, 197-217.

Roca, E., 1994. La evolución de la cuenca Catalano-Balear y áreas adyacentes desde el Mesozoico hasta la actualidad. *Acta Geològica Hispànica*, 29-1, p. 3-25.

Travé, A., Roca, E. Palya E., Parcerisa, D., Gómez-Gras D., Martín-Martín, J. D., 2009. Migration of Mn-rich fluids through normal faults and fine-grained terrigenous sediments during early development of the Neogene Valle`s-Penede`s half-graben (NE Spain). *Geofluids*, 9, p. 303-320.