



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Estudi petrològic, sedimentològic i geoquímic de la formació de sals potàssiques de Navarra (Eocè superior)

Laura Rosell i Ortiz



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- Compartitqual 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - Compartitqual 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0. Spain License.**

ESTUDI PETROLÒGIC, SEDIMENTOLÒGIC I GEOQUÍMIC DE LA FORMACIÓ
DE SALS POTÀSSIQUES DE NAVARRA (EOCÈ SUPERIOR)

Laura Rosell i Ortiz

Memòria elaborada per Laura Rosell
i Ortiz per aspirar al Grau de Doctor
en Ciències Geològiques, i dirigida
pel Dr. Federico Ortí Cabo, Professor
Adjunt de la Universitat de Barcelona.

Laura Rosell i Ortiz

Vist-i-plau
del Cap de Departament



Vist-i-plau
del Director del treball



FACULTAT DE GEOLOGIA, UNIVERSITAT DE BARCELONA, SETEMBRE 1983

INTRODUCCIO

Presentació del treball	1
Metodologia i estructuració	2
Agraïments	3
1. EL COMPLEX EVAPORITIC SUD-PIRINENC DE L'EOCE SUPERIOR	
1.1. Introducció	6
1.2. Les evaporites del sector oriental de la conca de l'Ebre (Conca Potàssica Catalana)	11
1.2.1. Descripció de la seqüència i característiques generals	11
1.2.2. Les litofàcies clorurades	17
1.2.3. El vorell sulfatat	18
1.3. Les evaporites del sector occidental de la conca de l'Ebre (Conca Potàssica de Navarra)	23
1.3.1. Descobriment de la conca potàssica de Navarra	23
1.3.2. Antecedents bibliogràfics i treballs duts a terme en el jaciment	24
1.3.3. Diferents zones amb evaporites en la conca potàssica de Navarra-Aragó	26
1.3.3.1. Zona de Puente la Reina	28
1.3.3.2. Zona del sinclinal d'Izaga-Monreal	30
1.3.3.3. Zona de Javier-Los Pintano	33
1.4. Les evaporites del sector intermedi de les dues conques potàssiques	35
2. LA CUBETA POTASSICA DE PAMPLONA	
2.1. Característiques generals	37
2.1.1. Estructura i delimitació	37
2.1.2. Estratigrafia de la formació evaporítica	42
2.1.3. Edat de la formació evaporítica	45
2.2. Petrologia de la formació evaporítica	53
2.2.1. Introducció	53
2.2.2. Descripció de la successió salina	54
2.2.2.1. Les margues de Pamplona	54
2.2.2.2. L'anhidrita basal	56
1) Introducció	
2) Mostratge	
3) Litofàcies	
4) Microestructura	
A) Anhidrita	
B) Sediment encaixant	
C) L'analcima	
2.2.2.2. La sal de mur	68
1) Introducció	
2) Mostratge	
3) Litofàcies	
4) Microestructura	
a) descripció general	
b) les inclusions	
c) sulfats	
d) insolubles	
2.2.2.4. La silvinita	76
1) Introducció	

2) Mostratge	
3) Litofàcies	
A) Capes de silvinita	
B) Halites intermèdies	
4) Microestructura	
a) descripció general	
b) característiques de la silvinita	
c) característiques de l'halita	
d) sulfats	
e) insolubles	
2.2.2.5. Les sals intermèdies	91
1) Introducció	
2) Litofàcies	
2.2.2.6. La carnal.lita	93
1) Introducció	
2) Mostratge	
3) Litofàcies	
A) Carnal.lita	
B) Halites intermèdies	
4) Microestructura	
A) Carnal.lita	
B) Halites intermèdies	
a) característiques de l'halita	
b) sulfats	
c) carbonats	
d) insolubles	
e) tipus de cicles	
2.2.2.7. La silvinita transformada	109
1) Introducció	
2) Mostratge	
3) Litofàcies	
4) Microestructura	
a) característiques generals	
b) sulfats	
c) insolubles	
2.2.2.8. Les sals de sostre	115
1) Introducció	
2) Mostratge	
3) Litofàcies	
A) Halita	
B) Anhidrita	
4) Microestructura	
A) Halita	
a) característiques de l'halita	
c) sulfats	
d) carbonats	
e) insolubles	
B) Anhidrita	
C) Tipus de cicles	
2.2.2.9. Les margues de sostre	124
1) Introducció	
2) Mostratge	
3) Litofàcies	
A) Lutites	
B) Anhidrita	
4) Microestructura de l'anhidrita	
2.2.2.10. Els gresos de Galar	129

2.2.3. Discussió	130
2.2.3.1. L'halita	130
1) Varietats petrogràfiques de l'halita de cubeta salina de Pamplona	
2) Hàbits i estructures primàries de l'halita	
a) les tremuges	
b) les estructures <u>chevron</u> i <u>cornet-shaped</u>	
c) granoclassificació	
d) hàbits de precipitació halítica en les salines industrials actuals del litoral mediterrani	
3) Les inclusions	
4) Relació genètica halita clara/halita tèrbola	
a) dades bibliogràfiques	
b) relació halita clara/halita tèrbola en la formació salina de pamplona	
5) Significació dels cicles	
2.2.3.2. Les sals potàssico-magnèsiques	148
1) Aspectes físico-químics i sedimentològics de la precipitació de les sals potàssico-magnèsiques	
a) origen dels dipòsits salins lliures de MgSO ₄	
b) causes de l'alteració de l'aigua de mar	
c) paragènesis potàssiques primàries. Origen de la silvita	
d) influència de la temperatura en la precipitació dels clorurs	
e) estadi final de la cristallització	
f) configuració de les conques evaporítiques en l'estadi de precipitació de les sals potàssico-magnèsiques	
2) Característiques primàries de la successió potàssico-magnèsica de la cubeta de Pamplona	
3) Litofàcies produïdes per transformacions secundàries del dipòsit	
a) aspectes teòrics	
b) origen de la silvinita transformada	
c) empobriment i esterilitzacions de la capa potàssica	
d) la carnal.lita bretxoide	
e) les sals fissurals	
4) Ritmicitat dels dipòsits salins	
5) Coloració de les sals	
2.2.3.3. Els sulfats	175
1) L'anhidrita basal	
2) La fracció sulfatada de les litofàcies salines	
3) Les anhidrites de la part superior de la formació salina	
2.2.3.4. Els carbonats	189
2.2.3.5. Els insolubles	192
1) Introducció	
2) Composició de la fracció insoluble	
2.3. Geoquímica de la formació evaporítica	197
2.3.1. Introducció	197
2.3.2. Mètodes analítics	198
2.3.3. Resultats	202
2.3.4. Discussió	211
2.3.4.1. Els elements majoritaris	211
2.3.4.2. El brom	214
1) Generalitats	
2) Continguts en brom de l'halita, la silvita i la carnal.lita	
3) Els perfils de brom: significació	
4) Variació del contingut en brom dels cicles d'halita	
5) Càlcul de la temperatura de formació a partir del contingut en brom de la silvita primària	

2.3.4.3. El rubidi	227
2.3.4.4. El ferro	233
2.3.4.5. L'estronci	238
2.3.4.6. El liti	242
2.3.5. Conclusions	244
3. GENESI DE LA FORMACIÓ EVAPORÍTICA	
3.1. Generalitats	246
3.1.1. Introducció	246
3.1.2. Problemes plantejats actualment en la interpretació dels grans dipòsits evaporítics	250
3.2. Origen de la formació evaporítica sud-pirinenca	254
3.2.1. Interpretacions anteriors	254
3.2.2. Elements per a la reconstrucció de la conca evaporítica	256
3.2.3. Model de sedimentació i esquema evolutiu	261
4. RESUM I CONCLUSIONS	266
5. BIBLIOGRAFIA	272
ANEX	
1) Relació i localització de mostres	291
2) Resultats de difracció de raigs X	295

INTRODUCCIÓ

PRESENTACIÓ DEL TREBALL

L'estudi de la formació salina de la conca potàssica navarresa era una fita obligada dins de la línia d'estudi de les roques evaporítiques en el Departament de Petrologia i Geoquímica, especialment un cop elaborada ja una tesi doctoral sobre la conca potàssica catalana (PUEYO MUR, 1975).

Hem abordat aquest estudi essencialment des d'un punt de vista petrològic, sedimentològic i geoquímic, dins de la línia iniciada per la tesi de J.J. Pueyo, esmentada anteriorment, i l'hem dut a terme, bàsicament, en el jaciment actualment en explotació per l'empresa Potasas de Navarra S.A., que es troba al sud-oest de Pamplona.

Tot i que l'estratigrafia de la formació salina era ja coneguda en base a dades de sondeig i de mina, no s'havia realitzat fins al moment, un estudi petrològic i geoquímic de detall.

Des d'un punt de vista regional, ens han servit de base la tesi doctoral de PUIGDEFÀBREGAS (1975), la cartografia del Mapa Geològic de España E 1:50.000 (2ª ser., 1ª ed.; DEL VALLE, 1978; PUIGDEFÀBREGAS et al., 1978), i el Mapa Geològic de Navarra E 1:200.000 (CASTIELLA et al., 1978).

METODOLOGIA I ESTRUCTURACIÓ

El treball dut a terme en mina s'ha centrat en els punts següents:

- estudi de cada unitat de la formació, en aquelles galeries o zones de la mina on es presentava en millors condicions per a l'observació.
- aixecament de perfils de detall de les diferents unitats.
- mostratge, generalment sistemàtic, de les diferents unitats.

Hem revisat, a l'empresa Adaro, un gran nombre dels sondeigs realitzats en el jaciment, i també en la zona de Javier.

La part petrogràfica s'ha centrat en l'estudi de més de 150 làmines primes. S'han efectuat un gran nombre d'anàlisis per difracció de raigs X, amb preparació d'agregats orientats en el cas de la fracció lutítica. Aquestes anàlisis s'han dut a terme en el Servei de Difracció de Raigs X de la Facultat de Geologia i a l'Institut "Jaume Almera" del C.S.I.C., i han estat interpretades per l'autora.

Les anàlisis químiques s'han dut a terme en el Servei d'Anàlisi Química de la Facultat de Geologia, i han estat realitzades per l'autora amb la col.laboració de J.J. Pueyo i M. Inglès. La determinació de brom s'ha dut a terme en el Laboratori de Metal·lúrgia de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials, amb la col.laboració de M. Font, de l'Institut "Jaume Almera". Els mètodes analítics emprats s'expliquen detalladament en el text.

De manera més puntual s'han utilitzat també altres tècniques com: tincions selectives per als minerals carbonatats, determinació amb Edax de la composició d'alguns minerals, microscòpia electrònica, etc.

El treball s'ha dividit en tres capítols principals. Un primer capítol dedicat a una visió de conjunt del complex evaporític sud-pirinenc de L'Eocè superior, amb especial atenció a la conca potàssica catalana; un segon capítol, que integra la part fonamental d'aquest treball, dedicat a la petrologia i la geoquímica de la formació evaporítica de la cubeta potàssica de Pamplona i un tercer capítol dedicat a la gènesi de la formació evaporítica.

AGRAÏMENTS

En tot treball d'aquestes característiques hi ha sempre una sèrie de persones i d'organismes sense la col.laboració dels quals en seria impossible la realització. Vull expressar el meu sincer agraïment

Al Dr. A. San Miguel Arribas, Cap del Departament de Petrologia i Geoquímica on s'ha dut a terme aquest treball, per la comprensió, encoratjament i ajut que sempre hi he trobat.

Al Dr. Federico Ortí, director d'aquest treball, a qui dec la meva formació en el camp de la petrologia de les roques evaporítiques, tant en les jornades de mina o al camp, com en les interessant discussions mantingudes al departament, o en la revisió de les làmines primes.

Al Dr. J.J. Pueyo, de qui he après els mètodes de la geoquímica i amb qui m'he introduït en aquesta disciplina. Li he d'agrair també la participació en moltes de les campanyes de mina i haver trobat sempre en ell un esperit obert a la consulta i la discussió.

A l'empresa Potasas de Navarra S.A., i concretament als seus directius, per permetre'ns l'accés a l'explotació i facilitar-nos la presa de mostres. Vull agrair molt especialment a Carlos del Olmo l'interès que sempre ha tingut pel nostre treball i l'esperit de col.laboració i ajuda que sempre hi hem trobat. També vull donar les gràcies a tot el personal tècnic i miner que ens ha acompanyat en les visites de mina.

A Peter J.C. Nagtegaal, de la companyia Shell, que generosament ens facilità la confecció de les làmines primes de les lito-fàcies clorurades, sense les quals difícilment haguéssim pogut dur a terme aquest treball.

Al Dr. Ramon Vaquer, director del Servei d'Anàlisi Química de la Facultat de Geologia, durant el període en què es dugué a terme la part analítica d'aquest treball, per permetre'm el lliure accés al laboratori i la utilització dels aparells.

A la Dra. Núria Solé, que ha dut a terme l'anàlisi palinològica del jaciment, i que ha posat un gran interès en el tema.

Al Dr. M. Font Altaba i als Drs. A. Traveria i F. Plana, del Servei de Difracció de Raigs X de la Facultat de Geologia i de l'Institut "Jaume Almera" del C.S.I.C., respectivament, on s'han efectuat les anàlisis de difracció de raigs X de totes les mostres. Vull també donar les gràcies a J. Chinchón i a T. Muriel dels esmentats serveis, per la seva col.laboració i el seu interès.

A Mercè Font, de l'Institut "Jaume Almera", i al Laboratori de Metal.lúrgia de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials, per la determinació del brom mitjançant fluorescència de raigs X. També a Montserrat Marsal, de l'esmentat Laboratori, per les determinacions amb Edax.

A Montserrat Inglès, companya i bona amiga, en qui he trobat ajuda en tot moment en el treball de laboratori i de qui he après algun dels mètodes seguits, especialment el tractament de les argiles.

A Isabel Matías, per la determinació del nannoplàncton d'algunes mostres.

A Lluís Fontboté, per la determinació d'opacs mitjançant microscòpia de reflexió.

A l'empresa Adaro, i especialment a E. Perconnig, B. Rojas i F. Latorre, per permetre'ns la revisió i mostratge dels sondeigs realitzats en la zona estudiada, així com la consulta i utilització de les dades d'informes interns.

A J. Del Valle, que ens acompanyà en una de les visites de mina i amb qui vam poder discutir problemes geològics del jaciment.

A J. Solé, J. Castiella i E. Faci, del Servicio Geológico de la Diputación Foral de Navarra, per haver-nos facilitat la consulta de treballs inèdits de l'esmentat servei.

A Antoni Barnolas, que ens facilità la consulta de columnes de sondeigs en l'Arxiu d'Hidrocarburs de l'I.G.M.E.

A la Dra. Isabel Zamarreño, per les orientacions sobre els carbonats associats a les anhidrites basals.

Al Dr. O. Riba Arderiu, pels profitosos comentaris lexicogràfics.

A Joan Ros, per la col.laboració en la delineació de la part gràfica i per les indicacions, de gran utilitat, en aquest tema.

A Mercè Gascón, per la col.laboració en la mecanografia i a Jordi Illa, per l'execució de les còpies de gran part de les figures fora de text.

Als meus companys de departament, especialment a Francesc Calvet, Albert Permanyer i Ramon Salas, i també a Josep Giner, pel seu suport i els seus consells que sempre m'han fet un gran servei.

Finalment, vull donar les gràcies a Pere Anadón, per la seva participació en una de les visites de mina, la discussió de problemes regionals, i l'ajut insubstituïble en els tràfecs de darrera hora. Però, sobretot, per haver estat durant aquests anys un company extraordinari.

1. EL COMPLEX EVAPORÍTIC SUD-PIRINENC
DE L'EOCÈ SUPERIOR

1.1. INTRODUCCIÓ

A finals de l'Eocè, es produeix a la conca de l'Ebre, encara no plenament configurada com a tal, una important crisi evaporítica que dóna lloc a la deposició d'una formació salina d'àmplia distribució regional i que, en línies generals, marca el final de la sedimentació marina i el pas a condicions continentals. Aquesta formació presenta nivells potàssics en els dos extrems, oriental i occidental de la conca (conques potàssiques catalana i navarresa, respectivament) que són objecte d'explotació, i se sap, gràcies als sondeigs realitzats, que en àrees més intermèdies de la conca (zona de Javier-Los Pintano) existeixen també nivells potàssics (fig. 1, fora de text).

La conca terciària de l'Ebre constitueix una depressió extensa, situada en el sector nord-oriental de la península Ibèrica i drenada en gran part pel riu Ebre. Té una morfologia triangular i està limitada pel Pirineu al nord, la serralada Ibèrica al sud-oest i els Catalànids al sud-est. La individualització de la conca es va produir progressivament durant el Terciari inferior, i és en el Miocè quan es configura definitivament com a depressió. La seva geometria és asimètrica, de manera que el solc de màxima fondària es troba per sota dels mantells sud-pirinencs. Al llarg

de l'evolució de la conca es produeix una translació del solc de sedimentació, de nord a sud i dels dos extrems cap a la part central, que actua finalment com una conca endorreica (RIBA, 1975, 1980; RIBA I REGUANT, en premsa).

Així, mentre a la zona nord la sedimentació entre el Cretaci superior i el Paleogen és contínua, en la part sud no hi ha continuïtat entre el Cretaci i el Terciari. Les fàcies marines eocèniques queden localitzades en la part nord de la conca. En la figura 1 (fora de text) es mostra el límit meridional d'aquestes fàcies. Aquest límit ve condicionat per l'existència de dos episodis transgressius importants, un durant l'Ilerdià i un altre durant el "Biarritzià" (Bartonià mitjà-superior).

La sedimentació paleògena marina s'inicia en una conca allargada en forma de solc, de direcció aproximada est-oest, situada al principi prop de l'actual zona axial pirinenca, i que es va desplaçant cap al sud paral·lelament a l'aixecament de la serralada pirinenca. Aquesta conca, inicialment única, es subdivideix progressivament en una sèrie de subconques que conserven la mateixa orientació principal. Un dels accidents que provoca aquesta subdivisió és la falla del Segre, que determina la individualització d'una subconca oriental (conques catalanes) i una subconca occidental (conca de Tremp-Pamplona) (LUTERBACHER et al., 1973).

A l'est de l'accident del Segre, es produeix, des del Paleocè superior fins a l'Eocè mitjà-superior, una sedimentació marina en la zona nord (pre-pirinenca), mentre que a la zona sud (depressió central catalana) la sedimentació és fonamentalment continental, llevat de l'episodi transgressiu de l'Ilerdià inferior-mitjà, representat per la Fm. Orpí. En aquesta darrera zona, es presenten fàcies de cons de dejecció adossats als vorells actius de la conca, mentre que en àrees més distals es desenvolupen complexos de tipus mud-flat, playa-lake, etc. A partir de l'Eocè mitjà-superior, es produeix un canvi important en el dispositiu descrit, de manera que mentre a la zona nord es desenvolupa una sedimentació de tipus continental (Fm. Bellmunt), a la zona sud té lloc l'episodi transgressiu "biarritzià". Durant el "Biarritzià" i el Priabonià inferior es desenvolupen en els vorells de conca

importants cons al.luvials que es transformen, en zones més distals, en aparells deltaics (fan-delta) com els de Montserrat, Sant Llorenç del Munt, Milany, etc. Més cap al centre de conca, es dipositen fàcies margoses (margues d'Igualada, de Vic) que corresponen als sediments més distals dels aparells descrits. Durant el Priabonià, es desenvolupen construccions d'esculls sobre zones no actives d'aquests aparells (Fm. Tossa) i a partir d'aquest moment es produeix a la conca la deposició d'una extensa formació evaporítica (Fm. salina de Cardona), amb litofàcies halítiques i potàssiques, que presenta un cinturó sulfatat perifèric. (REGUANT, 1967; GICH, 1969; FERRER, 1971; ANADÓN, 1978; etc. Una visió general més detallada i àmplia bibliografia s'ofereix a RIBA i REGUANT, en premsa).

En la conca de Tremp-Pamplona, es desenvolupen durant el Cuisià-Lutecià i part inferior del "Biarritzia", fàcies fluvials i deltaiques (Gr. Montañana) a l'est (Graus-Tremp) i fàcies carbonatades de plataforma (Fm. Guara) al sud, que passen lateralment a sediments turbidítics profunds (Gr. Hecho); en tots dos casos el pas es realitza mitjançant fàcies de margues amb turbidites proximals o de margues amb slumps generalitzats. Totes aquestes unitats són recobertes per materials relacionats amb la transgressió que es produeix durant el "Biarritzia" inferior. Durant l'Eocè superior, es desenvolupa a l'est un sistema deltaic (Fm. Belsué-Atarés) que passa lateralment cap a l'oest a una formació margosa profunda (Fm. margues de Pamplona) (PUIGDEFÀBREGAS, 1975). Per sobre de la formació deltaica es situen sediments continentals, mentre que per sobre de les margues de Pamplona es diposita una seqüència evaporítica amb sals potàssiques, l'estudi de la qual constitueix l'objecte d'aquesta tesi doctoral.

Paral·lelament a aquesta evolució estratigràfica i sedimentològica, l'aixecament de la serralada pirinenca dóna lloc a importants canvis estructurals que condicionen, primer, i modifiquen intensament després, la disposició sedimentària original.

A partir dels treballs de SEGURET (1964, 1972), la línia interpretativa del qual és seguida posteriorment per altres autors (SOLER i PUIGDEFÀBREGAS, 1970; GARRIDO i RÍOS, 1972; GARRIDO,

1973; etc), s'accepta en general que la zona subpirinenca meridional constitueix una massa al·lòctona desplaçada cap al sud, que originalment recobria part de l'actual zona axial.

És en els sectors centrals de la zona sud-pirinenca on aquests terrenys desplaçats presenten una estructura més completa i on se'n té un millor coneixement. S'han distingit, en aquesta zona, dos mantells de corriment superposats:

- mantell de Montsec-Cotiella, emplaçat durant l'Eocè inferior
- mantell de Gavarnie, posterior a l'anterior i més extens; alguns autors situen el seu emplaçament a finals de l'Eocè (GARRIDO, 1973) i altres a finals de l'Oligocè (PUIGDEFÀBREGAS, 1975)

El front d'aquest darrer mantell s'esmorteeix contra l'anticlinal diapíric de Barbastre, el nucli del qual el constitueixen els guixos de la formació Barbastre, immediatament posteriors a la sèrie salina clorurada. Altres evidències (veg. ap. següent) indiquen també la posterioritat d'aquest mantell respecte de la formació evaporítica de l'Eocè superior.

El desplaçament sofert pels terrenys al·lòctons és més important cap a l'est (fins a 45Km, segons SEGURET, 1969). Segons PUIGDEFÀBREGAS (1974), el desplaçament de la conca de Jaca va ser més gran a l'est que a l'oest, amb una probable component dextrògira a la zona de la terminació periclinal de la Sierra de Santo Domingo. Cap a l'oest, l'estructura de la unitat de Gavarnie es complica (MIROUSE, 1980) i el contacte tectònic frontal queda emmascarat pels terrenys posttectònics (JULIVERT et al., 1972). Aquests darrers autors marquen el contacte tectònic que constituïria el límit sud de la unitat, des de Balaguer a Tafalla (veg. fig. 1, fora de text).

Prop de Pamplona, el sondeig d'Astrain (AUXINI, 1974-75) després de tallar tota la sèrie, des de l'Eocè fins al Triàsic, torna a tallar, per sota del Keuper, materials eocènics (calcàries de l'Ilerdià-Lutecià). Aquest fet abona el possible caràcter al·lòcton de la zona, tal com indica DEL VALLE (1978), el qual remarca que aquest desplaçament hauria afectat tot el Terciari marí de la zona. Per altra banda, i a partir del que hem dit anteriorment, també les evaporites de la zona de Javier-Los Pintano s'hau-

rien vist afectades pel desplaçament del vessant sud del Pirineu.

En definitiva, sembla que mentre en el sector oriental de la conca de l'Ebre (conca potàssica catalana) la formació evaporítica de finals de l'Eocè és autòctona, en el sector occidental (conca potàssica navarresa) ha sofert un cert desplaçament dins del corriment de la zona subpirinenca meridional.

1.2. LES EVAPORITES DEL SECTOR ORIENTAL DE LA CONCA DE L'EBRE (CONCA POTÀSSICA CATALANA)

1.2.1. DESCRIPCIÓ DE LA SEQÜÈNCIA I CARACTERÍSTIQUES GENERALS

El sector oriental del complex evaporític sud-pirinenc de l'Eocè superior, constitueix la conca potàssica catalana, la qual ocupa una àrea extensa en la terminació est de la conca de l'Ebre (fig. 2, fora de text).

La formació evaporítica de la conca potàssica catalana (Formació salina de Cardona), l'estudi de la qual fou l'objecte de la tesi doctoral de PUEYO MUR (1975), constitueix un únic macrocicle que, en essència, està constituït pels termes següents (fig. 3):

- la base de la formació la constitueixen margues blaves marines (margues d'Igualada)
- una unitat anhidrítica basal, de litofàcies laminada (5m)
- un membre halític potent, constituït per:
 - .una part inferior, de major potència, d'halita massissa, molt recristal·litzada en les zones diapíriques (150-200m)
 - .una part superior, amb potència molt menor, constituïda per cicles ben marcats d'halita-argila. L'halita és gene-

ralment de color rosat (sal veteada, 20-30m)

- un membre potàssic, constituït per cicles de silvita-halita (silvinita). Està dividit en dues parts per un paquet intermedi d'halita (sal entre dos) (8-20m)
- un membre potàssico-magnèsic, constituït per cicles de carnal.lita-halita (40-80m). El nombre de capes de carnal.lita és variable en diferents parts de la conca. Així, en la zona de Sùria es presenten 3 o 4 capes ben individualitzades de carnal.lita, mentre que en altres zones poden presentar-se fins a 8 capes o àdhuc un paquet global de carnal.lita amb intercalacions halítiques. Llevat de la zona de Sùria, on per sobre de la darrera capa de carnal.lita pot arribar a trobar-se un paquet d'halita de gruixària considerable (fins a 100m), no es troba en la conca catalana un tram potent d'halites superiors com el que es troba en la conca navarresa (sals de sostre).
- una sèrie de lutites grises amb intercalacions vermelles més sorrenques que es van fent progressivament més abundants fins a predominar ("membre de transició", 85-120m). En la part inferior, aquestes lutites presenten capes de sal i intercalacions guixenques. A la zona de Sùria, el membre de transició conté una formació important de guixos laminats, amb desenvolupaments nodulars molt subordinats (veg. ap. 1.2.3.).
- per sobre del membre de transició es troba una sèrie rítmica, de color vermell, amb gresos i argiles limolítiques alternants (Complex Lacustre de Sanaüja). Presenta 500m de potència màxima a Cardona.

(MARÍN, 1932; PUEYO MUR, 1975; RAMÍREZ i RIBA, 1975; ORTÍ CABO, PUEYO MUR i ROSELL ORTIZ, 1983)

La potència de la formació salina és variable. Segons PUEYO MUR (1975) pot oscil.lar de 150 a 300m en funció de la tectònica local. A Cardona, la gruixària de la massa de sal pot assolir uns 2000m a causa del diapirisme. Segons RIBA (1967), la potència de les litofàcies halítiques i potàssiques disminueix cap a l'oest, mentre que els guixos suprajacents es van fent progressivament més potents i massissos en la mateixa direcció. Aquests

guixos són els que afloren en els nuclis dels anticlinals diapírics de Sanaüja, Ponts, Balaguer i Barbastre.

PUEYO MUR (1975) basant-se en les dades de sondeigs que presenta MARÍN (1932), indica l'existència de dues subcubetes potàssiques en la conca:

- una principal que comprendria tota la zona de Cardona, Súria, Sallent i Balsareny, i
- una altra de dimensions bastant més reduïdes, situada als voltants de Vilanova de l'Aguda.

La figura 2 (fora de text) mostra la situació d'aquests sondeigs, indicant les litofàcies salines que tallen. S'han delimitat per mitjà d'una trama les zones en què els sondeigs travessen sals potàssiques, però les àrees sense dades són extenses i per tant la delimitació marcada només és orientativa. La numeració amb què s'indiquen els sondeigs correspon a les denominacions següents:

a/ Sondeigs d'investigació de sals potàssiques

1. Vilanova de l'Aguda I
2. Vilanova de l'Aguda II
3. Vilanova de l'Aguda III
4. Vilanova de l'Aguda IV
5. Sanaüja
6. Torà
7. Castellfollit
8. Boixadors
9. Cardona
10. Llardella
11. Foraky
12. Riera. Saló
13. Semís
14. Salines Victòria 1
15. Salines Victòria 2
16. Salines Victòria 3
17. Súria I. Tordell
18. Súria II. Mina Roumance
19. Súria III. Regnant
20. Súria IV. Mina Saladita
21. Súria V. Callús
22. Súria VI. Milor
23. Súria VII. Lladó
24. Súria VIII. Farreras
25. Súria IX. Torrens
26. Súria X.
27. Súria XI
28. Súria XII

29. Súrria XIII
30. Beta I
31. Beta II
32. Sallent NO
33. Sallent SE
34. Sallent I
35. Sallent II
36. Sallent III
37. Sallent IV
38. Sallent V
39. Sallent Vbis
40. Sallent VI
41. Sallent VII (Cabrianes)
42. Balsareny
43. Avinyó I
44. Avinyó II
45. Puigreig

b/ Sondeigs d'investigació de petroli

- a. Bassella (CIEPSA)
- b. Castellfollit (ESSO)
- c. Guissona (ESSO)
- d. Oliana (CIEPSA)
- e. Perafita (ENPASA)
- f. Pinós (ESSO)
- g. Puigreig (VALDEBRO)
- h. Sanaüja (CIEPSA)
- i. Santpedor (MOP)
- j. Senant (ESSO)
- k. Isona lbis (AUXINI)

Els materials salins han donat lloc a una sèrie de fenòmens diapírics que es tradueixen en superfície en dos sistemes de plecs de direcció aproximada SE-NO i ENE-OSO. La base de la formació salina presenta, però, una topografia molt suau que, a més, no guarda paral·lelisme, en molts casos, amb la que es presenta en superfície, i fins i tot es poden produir inversions tectòniques (RIBA, 1975; RIBA et al., 1975; PUEYO MUR, 1975). Segons RIBA (1975) i RIBA et al. (1975), aquests plecs es produeixen com a conseqüència de la pressió que efectuen sobre els materials salins d'elevada plasticitat, els terrenys continentals suprasalins que són empesos cap al sud durant l'emplaçament dels mantells pirinencs. En aquest procés, l'Eocè marí actuaria de substrat passiu, però alguns accidents anteriors reactivats (falla del Segre, falla del Baix Llobregat) poden també haver condicionat el desenvolupament de la tectònica diapírica.

La conca potàssica catalana presenta perfectament preservades en la seva part oriental, les fàcies marginals de vorell,

amb un cinturó sulfatat i un cinturó d'esculls perifèrics (figura 2, fora de text). Pel que fa al límit septentrional de la conca evaporítica, pot veure's a la fig. 2, com les fàcies salines no apareixen ja a l'alçada de Puigreig (però sí una mica al sud de la població on un sondeig més modern d'investigació de sals potàssiques ha tallat halita). Més cap a l'oest, el sondeig Isona Ibis (AUXINI, 1975) talla, entre 3592 i 3897m, un Priabonià evaporític amb guix i anhidrita dolomítics, halita i passades de margues i dolomies, per sota dels materials mesozoics que constitueixen els mantells pirinencs. Per sota dels materials evaporítics es troben margues i argiles, també datades del Priabonià, amb abundant microfauna i passades de sal cap al sostre. En aquest sentit, se sap, a partir de les dades de sísmica de reflexió (RIBA, 1975), que el reflector Eocè marí/sal descendeix de manera general i suaument cap al Pirineu i s'introdueix per sota del front dels mantells de corriment pirinencs, especialment en la zona de la Noguera. És a dir, doncs, que la part nord-occidental de la formació evaporítica de la conca potàssica catalana queda sepultada per l'emplaçament del segon mantell pirinenc (mantell de Gavarnie) quedant, per tant, també recobertes les fàcies marginals de la conca. És probable que, en aquest sector, el límit original de la conca evaporítica estigués controlat pel front dels mantells emplaçats durant l'Eocè inferior i mitjà (Montsec, Pedraforca), que possiblement fou un dels factors que van contribuir a la restricció de la conca.

Segons PUEYO MUR, ROSELL ORTIZ i ORTÍ CABO (1983), la successió d'esdeveniments en l'evolució de la conca evaporítica catalana seria, a grans trets:

- 1) progradació dels esculls cap al centre de la conca, essent aquest cinturó carbonatat el primer que quedaria emergit,
- 2) desenvolupament d'un cinturó sulfatat, molt potent en el vorell (40m) i molt prim en el centre de conca (de 0,5 a alguns metres), després de la instal·lació de tapissos algal·ls en els peus i els talussos dels esculls,
- 3) deposició d'una massa potent de clorurs, amb sals potàssico-magnèsiques a la part superior de la formació,

- 4) dilució progressiva de les salmorres marines residuals per aigües continentals, amb precipitació de sulfats, i una certa proporció d'halita, i instal·lació, finalment, de medis lacustres.

1,2,2, LES LITOFÀCIES CLORURADES

La seqüència salina de la conca potàssica catalana constitueix un macrocicle evaporític empobrit en sulfat magnèsic, amb silvinita i carnal·lita com a litofàcies potàssico-magnèsiques. En la base dels cicles es presenta anhidrita i no dolomita, tot i que la part més superior de la seqüència, on es troba la dolomita en la formació navarresa, no ha pogut ser estudiada en detall (PUEYO MUR, 1975).

L'autor esmentat distingeix diferents tipus petrològics per a cadascuna de les litofàcies salines principals (halita, silvinita i carnal·lita) que essencialment estan relacionades amb el grau de tectonització i recristal·lització que han sofert les litofàcies originals. És característica d'aquestes darreres una disposició bandada, amb alternança de capes salines i làmines lutítiques. Descriu també aquest autor un conjunt de varietats generades per "metamorfisme" salí, entre les quals es troben la silvinita transformada, els hartsalzs i els estèrils.

Totes aquestes litofàcies són tractades en detall en el treball esmentat (tesi doctoral de PUEYO MUR, 1975) i per tant no insistirem més aquí en aquest tema.

1.2.3. EL VORELL SULFATAT

El cinturó sulfatat de la conca evaporítica catalana de l'Eocè superior constitueix les formacions guixenques d'Òdena, Artés i Vic-Collspina. El sector d'Òdena va ser l'objecte d'una nota d'ORTÍ CABO i PALOU (1977) i la formació en conjunt està en fase d'estudi (ORTÍ CABO, PUEYO MUR i ROSELL ORTIZ, 1983, i en preparació). No és accessible a l'observació, en la conca navarresa, una formació sulfatada de vorell equivalent, i per aquest motiu creiem que pot ser d'interès incloure aquí una breu referència a aquest cinturó sulfatat de la conca catalana.

Al llarg de tot el vorell, la formació guixenca (guix secundari i anhidrita) presenta característiques similars, essent una constant l'existència de tres trams ben diferenciats:

- un tram basal laminat, d'aspecte estromatolític, constituït per guix i carbonat, que localment presenta desenvolupaments nodulars. Té una potència de 0,5 a 2m.
- un tram intermedi de guix secundari alabastrí, pseudomòrfic de guix primari de tipus selenític messinià. Localment s'hi han observat pseudomorfs de cristalls maclats i, en algunes zones (sector de Vic) grans cons i boles. Aquest tram intercala localment nivells discontinus de lutites grisenques. Té una potència de 20 a 25m, i mostra color blanc.
- un tram laminat superior de guix secundari alabastrí i megacristal·lí. La base pot presentar localment (sector de Vic) aspecte estromatolític. Està separat del tram anterior per una superfície d'erosió-dissolució més o menys desenvolupada i, en alguns punts, es presenta entre tots dos un nivell de lutites grises. Té una potència de 4 a 6m i mostra color gris.

La potència global és de 25 a 30m. La base de la formació la constitueixen les margues d'Igualada-Vic, que en alguns sectors intercalen capes poc potents de guix en nivells inferiors al paquet principal (zona d'Artés, VILAPLANA, 1975). Aquestes margues poden presentar en la part superior nivells siliciclàstics de caràcter turbidític o àdhuc nivells estromatolítics de carbonat i guix. Per altra banda hi és una constant la presència de slumps

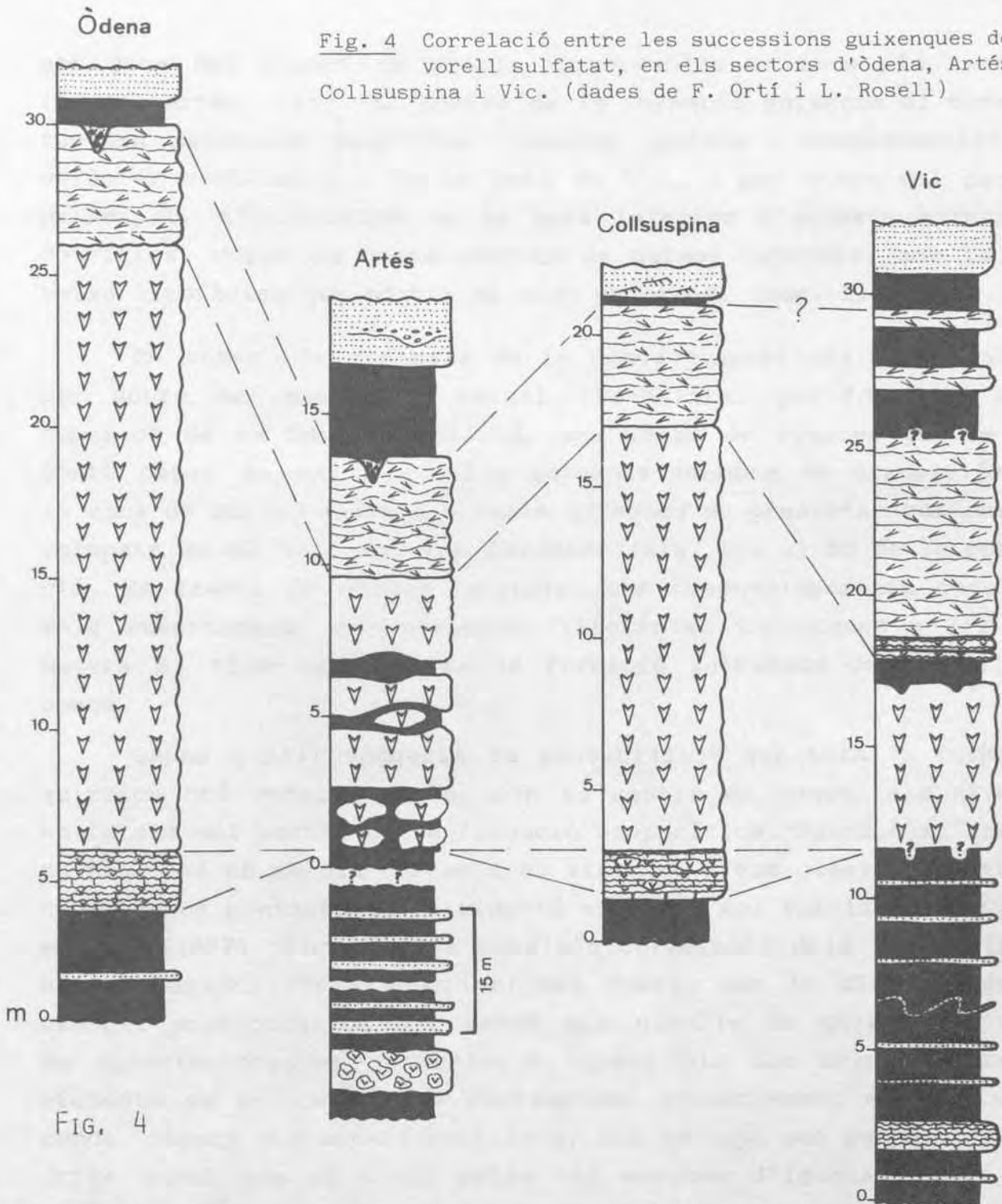


FIG. 4









-  guix laminat alabastrí i megacrystal·lí (tram sup.)
-  guix alabastrí pseudomòrfic (tram mitjà)
-  estromatòlit de guix-carbonat; amb desenvolupaments nodulars locals
-  nivell de guix parcialment dissolt
-  estromatòlit carbonatat
calcària
-  gresos; amb conglomerats/ amb ripple-marks
-  lutites
-  rebliment càrstic

Fig. 4 Correlació entre les successions guixenques del vorell sulfatat, en els sectors d'òdena, Artés, Collsuspina i Vic. (dades de F. Ortí i L. Rosell)

per sota del paquet de guixos, observables en tots els sectors (Òdena, Artés, Vic). El sostre de la formació guixenca el constitueixen materials detrítics (lutites, gresos i conglomerats) de caràcter continental. En la zona de Vic, i per sobre del paquet principal, s'intercalen en la part inferior d'aquests materials detrítics, capes no massa potents de guixos laminats, amb la mateixa litofàcies que mostra el tram superior. (veg. fig. 4)

En zones més centrals de la conca evaporítica, s'instal·la per sobre del membre de carnal.lita-halita, que forma la part superior de la formació salina, una sèrie de lutites grises que conté capes de sal i nivells guixencs (membre de transició). A la zona de Súria, aquests nivells guixencs es presenten ben desenvolupats en el tall del riu Cardener (fig. 5), al NO de la població. Es tracta de guixos laminats, amb desenvolupaments nodulars molt subordinats, que presenten litofàcies idèntiques a les que mostra el tram superior en la formació sulfatada del vorell de conca.

SALAS (1979) suggeria la possibilitat que tota la formació guixenca del vorell passés, cap al centre de conca, als nivells sulfatats del sostre de la formació evaporítica. Tanmateix, aquesta hipòtesi no sembla correcta en vista de l'associació de litofàcies que es presenta en el cinturó sulfatat del vorell. ORTÍ CABO et al. (1983) proposen una possible correlació dels guixos laminats superiors (tram superior) del vorell amb la sèrie lacustre central postpotàssica que conté els nivells de guixos laminats de característiques equivalents. Quant als dos trams inferiors presents en el vorell, es corresponen probablement en centre de conca, segons els autors anteriors, amb la capa poc potent d'anhidrita basal que es situa entre les margues d'Igualada i la sal de mur, sense que es pugui descartar completament una relació d'isocronia, amb pas lateral dels clorurs als sulfats del vorell.

Pel que fa a la relació de la formació guixenca amb els esculls perifèrics, s'han formulat diverses hipòtesis: equivalència lateral de la Fm. Tossa i els guixos d'Òdena-Artés-Collspina (LUTERBACHER et al., 1973; RIBA, 1975 ; BUSQUETS, 1975; VILAPLANA, 1977; RIBA i REGUANT, en premsa), equivalència lateral de les capes superiors de la Fm. Tossa i les capes inferiors del paquet

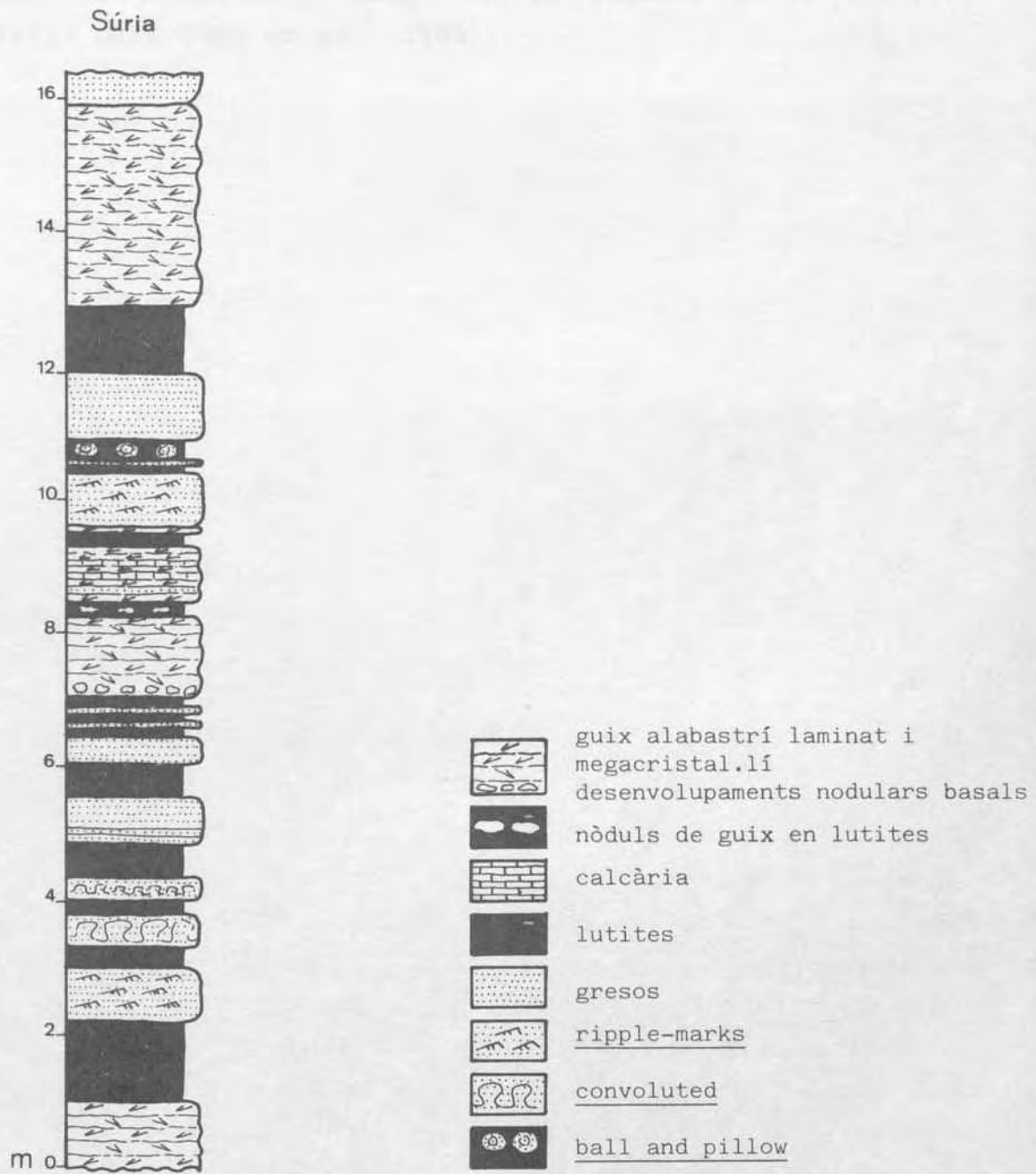


FIG. 5

Columna del membre de transició, amb nivells de guix, a la zona de Súria (tall del riu Cardener). (dades de F. Ortí i L. Rosell)

de guixos (FERRER, 1971) i posterioritat dels guixos respecte del període de construcció dels esculls (SALAS, 1979; BARNOLAS et al., 1981; ORTÍ CABO et al., 1983).

1.3. LES EVAPORITES DEL SECTOR OCCIDENTAL DE LA CONCA DE L'EBRE (CONCA POTÀSSICA DE NAVARRA)

1.3.1. DESCOBRIMENT DE LA CONCA POTÀSSICA DE NAVARRA

L'any 1928, mentre participava en la realització dels fulls de Navarra del mapa geològic d'Espanya (1:50.000), l'enginyer de mines A. DEL VALLE DE LERSUNDI envià a la Direcció de l'IGME un ofici on demanava que els plans d'investigació potàssica previstos per a Catalunya es fessin extensius a Navarra.

Es basava en l'existència de formacions i estructures anàlogues a les que incloïen la conca potàssica catalana i en la presència d'un alt contingut en potassa (7,475gr/litre) en les aigües de les deus de Salinas de Olaz, situades a la base de l'Oligocè.

El pla d'investigació fou ordenat per la Direcció i s'inicià l'estudi de l'estructura general de la conca oligo-miocènica. S'analitzaren químicament les aigües de 14 salines de la regió (DEL VALLE, 1932) i a partir dels resultats de les anàlisis es decidí començar la investigació a la Sierra del Perdón, en els vessants de la qual es trobaven les salines que havient donat un contingut més elevat en potassa. En els dos anys següents es dugueren a terme tres sondeigs: Salinas de Pamplona, Subiza i Guendulain (IGME, 1932), que donaren resultats satisfactoris.

Uns anys més tard (1949) la investigació fou encomanada a E.N. Adaro i un cop acabada aquesta el jaciment fou posat en explotació per Potasas de Navarra S.A. (DEL VALLE, 1929, 1932; MASACHS, 1952; RÍOS, 1963; DEL VALLE, 1978).

1.3.2. ANTECEDENTS BIBLIOGRÀFICS I TREBALLS DUTS A TERME EN EL JACIMENT

A diferència de la conca potàssica catalana, sobre la qual existeix una àmplia bibliografia, els treballs dedicats a la conca potàssica navarresa són poc nombrosos a nivell regional i molt escassos a nivell petrològic o mineralògic.

DEL VALLE (1929 i 1932) constitueixen informes preliminars sobre el jaciment, recomanant la seva investigació el primer i donant compte dels primers sondeigs realitzats el segon. En un treball posterior (DEL VALLE, 1935) tracta aquest autor de l'estratigrafia i tectònica del Terciari navarrès i estableix la successió salina, en base a les dades dels sondeigs dels voltants de Pamplona; fa també referència al sondeig de Javier, així com a la successió salina que talla aquest darrer.

GARCÍA SIÑERIZ (1941) exposa els resultats de la investigació sísmica i gravimètrica duta a terme en la conca potàssica de Navarra per tal de conèixer la profunditat i estructura de la formació salina. Aquesta investigació es va centrar en diferents àrees: Sangüesa-Sos del Rey Católico, Monreal, i Puente la Reina-Obanos-Tirapu. Un treball posterior d'aquest autor (1943) tracta globalment la conca potàssica subpirinenca, fent referència a la gènesi, extensió i cubicació de la formació.

MARÍN (1945), en un treball sobre la tectònica i els jaciments minerals de la depressió de l'Ebre, refereix la successió salina, remarcant les variacions que presenta d'unes localitats a altres. Tracta àmpliament els materials que constitueixen la base i el sostre de les sals, així com la disposició dels vorells de conca i els accidents tectònics que han afectat més directament

el jaciment. Discuteix extensament la gènesi de la formació i també la deficiència en sulfats i les variacions petrològiques que presenta.

MASACHS (1952) tracta també globalment la formació salina paleògena de la conca de l'Ebre, especialment en els aspectes d'origen, edat i moviments que l'han afectada.

RÍOS (1963) en un treball de síntesi sobre els materials salins de l'estat espanyol, fa una àmplia descripció de la formació salina de finals de l'Eocè de la conca de l'Ebre, i tracta separatament les dues conques potàssiques, catalana i navarresa. Considera els factors que condicionen la configuració de la formació evaporítica i la possible continuïtat de la formació salina.

ROJAS et al. (1973) constitueix un extens informe intern de l'empresa Adaro en què s'estudia la reserva de sals potàssiques de tota la conca subpirinenca, tractant en detall cadascuna de les zones de possible interès. Ofereix dades d'un gran nombre de sondeigs i de mapes de detall, així com hipòtesis respecte a la continuïtat i la gènesi de la conca.

PUIGDEFÀBREGAS (1975) tracta la formació salina de la conca navarresa des d'un punt de vista sedimentològic, en el marc de l'estudi de la sedimentació a la conca de Jaca que constitueix l'objecte del treball. Dóna una visió genètica de la formació salina basada en els models aplicats en aquests darrers anys a les evaporites del Miocè del Mediterrani. En una nota anterior (1974) suggeria la possibilitat geomètrica de continuïtat de la formació salina, atès el caràcter al·locton de la zona sud-pirinenca.

DEL VALLE (1978) fa referència a la formació salina i, en especial, a les característiques del jaciment en explotació del sud de Pamplona; planteja la possible al·loctonia de la formació, en base a dades de sondeigs.

Entre els treballs d'investigació duts a terme en la concessió minera que explota l'empresa Potasas de Navarra S.A. destaquen: una campanya de 26 sondeigs realitzats per ADARO durant els anys 1950-53 (tres sondeigs preliminars havien estat duts

a terme per l'IGME en els anys 1930-31), campanyes de prospecció elèctrica (1961, 1966) i de prospecció per sísmica de reflexió (1963, 1979, 1981) i un informe geològic i mineralògic realitzat per MENÉNDEZ (1971).

1.3.3. DIFERENTS ZONES AMB EVAPORITES EN LA CONCA POTÀSSICA DE NAVARRA-ARAGÓ

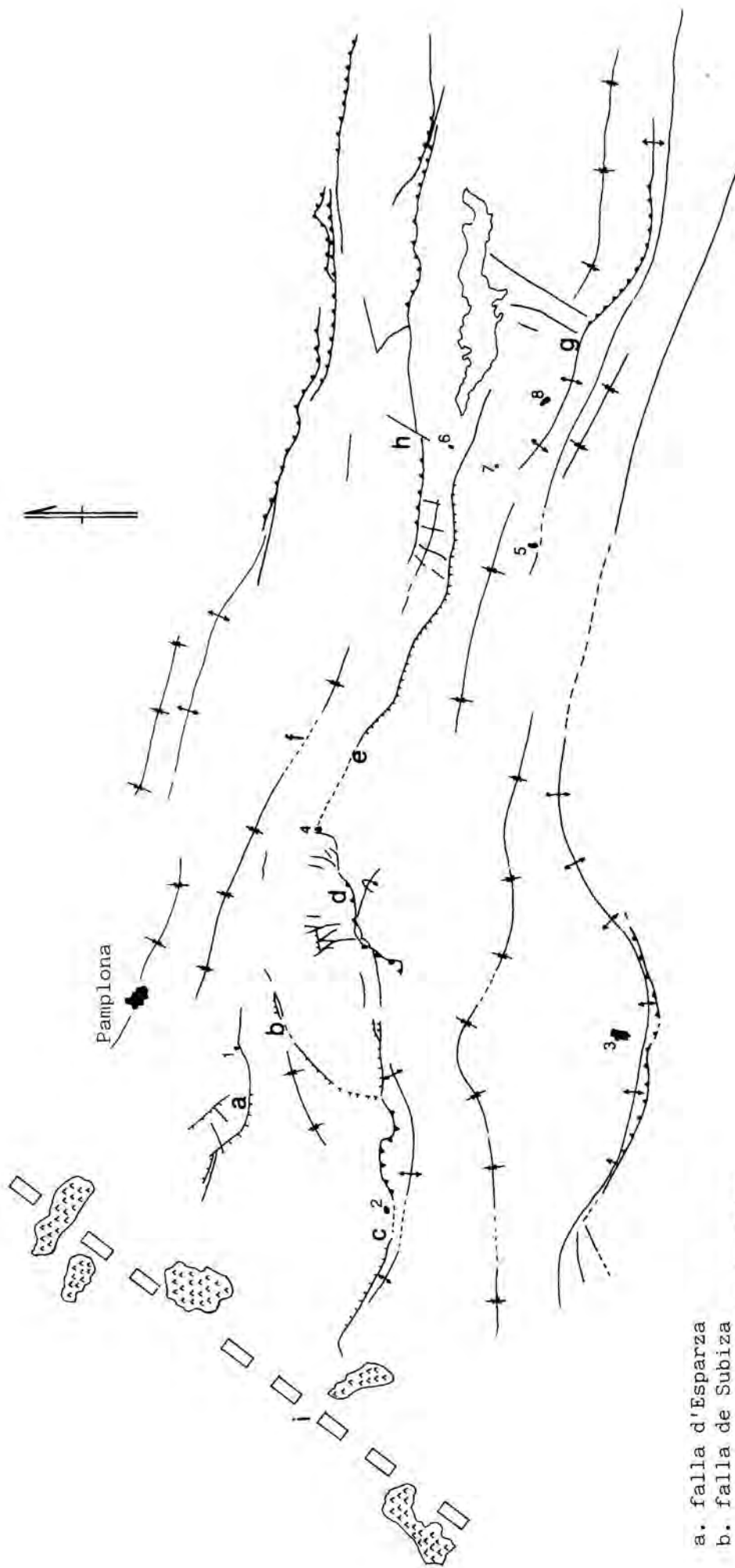
Tot i que la zona explotada per a l'obtenció de sals potàssiques es restringeix al jaciment del sud-oest de Pamplona, la formació salina navarresa té una distribució més àmplia, àdhuc per a les sals potàssiques, que s'estén cap a l'est entrant a la província de Saragossa, fet que s'ha posat de manifest mitjançant sondeigs i prospecció sísmica i gravimètrica (GARCÍA SIÑERIZ, 1941; ROJAS et al., 1973).

L'estructura geològica de la zona presenta una sèrie d'accidents que afavoreixen la individualització de diferents àrees en la formació salina. Hem distingit les zones següents:

- a) cubeta potàssica de Pamplona. Correspon al jaciment en explotació i el seu estudi constitueix el nucli d'aquest treball.
- b) zona de Puente la Reina
- c) zona del sinclinal d'Izaga-Monreal
- d) zona de Javier-Los Pintano

(veg. fig. 7, fora de text)

Un gran accident constituït per l'anticlinal-encavalcament de Puente la Reina, la Sierra de Alaiz i la falla de Loiti (veg. fig. 6), separa un sector nord on es troben la cubeta de Pamplona i la zona del sinclinal d'Izaga, d'un sector sud on es situen la zona de Puente la Reina, part del flanc sud del sinclinal d'Izaga i tota la zona de Javier-Los Pintano.



- a. falla d'Esparza
- b. falla de Subiza
- c. accident de Puente la Reina
- d. Sierra de Alaiz
- e. falla de Loiti
- f. sinclinal d'Izaga
- g. anticlinal de La Magdalena
- h. Sierra de Leire
- i. falla de Pamplona

- 1. Esparza
- 2. Puente la Reina
- 3. Tafalla
- 4. Monreal
- 5. Sangüesa
- 6. Yesa
- 7. Javier
- 8. Undués de Lerda

FIG. 6

Esquema dels principals accidents estructurals citats en el text en referència a la Fig. 7 (fora de text)

1.3.3.1. ZONA DE PUENTE LA REINA

Aquesta zona, constituïda per un anticlinal que cavalca cap al nord, i en el nucli del qual afloren materials de l'Oligocè inferior, fou ja inclosa en l'estudi sísmic i gravimètric de GARCÍA SIÑERIZ (1941), en el qual es determinà la presència de la capa salina a una profunditat que oscil.lava entre 200 i 500m.

Posteriorment, s'insisteix en l'estudi d'aquesta zona (ROJAS et al., 1973) i es duen a terme dos sondeigs situats a pocs quilòmetres a l'est de Puente la Reina (4Km a l'E i 2Km a l'ESE, respectivament. La figura 8 mostra la columna tallada en aquests dos sondeigs i la interpretació donada per ROJAS et al. (1973) a partir de l'estudi de la flora de carofícies realitzat per Grambast. Els autors esementats consideren que es tracta d'un plec diapíric on les sals terciàries reben el suport dels materials salins del Trias, els quals afloren més a l'oest en el diapir d'Allo.

En els sondeigs realitzats es posen de manifest tres fets:

- la no existència de tram potàssic. Alguns nivells d'halita rosada que podrien haver estat originàriament potàssics, són de potència molt reduïda.
- l'existència d'un paquet massís de guixos entre la sal i les margues de sostre, que no es troba més al nord
- que no es troba en aquesta zona el paquet de gresos (g. de Galar) que es presenta més al nord.

A partir d'aquestes consideracions, i suposant el paquet massís de guixos contemporani de les sals de sostre del jaciment potàssic, ROJAS et al. conclouen que entre la zona de El Perdón i la de Puente la Reina deuria existir un llindar de separació, i que en la zona sud les aigües eren menys concentrades que a la nord. Aquest llindar s'alçaria cap a la meitat de la deposició de la Fm. Guendulain (evaporites i gresos de Galar) i seria el causant de la no deposició dels gresos en la zona sud, així com de la diferència de les fàcies de l'Oligocè inferior ("Sannoisià" i Stampià) entre les dues zones. Segons MENÉNDEZ (1971) es tractaria d'una gran falla des d'Alaiz a Puente la Reina.

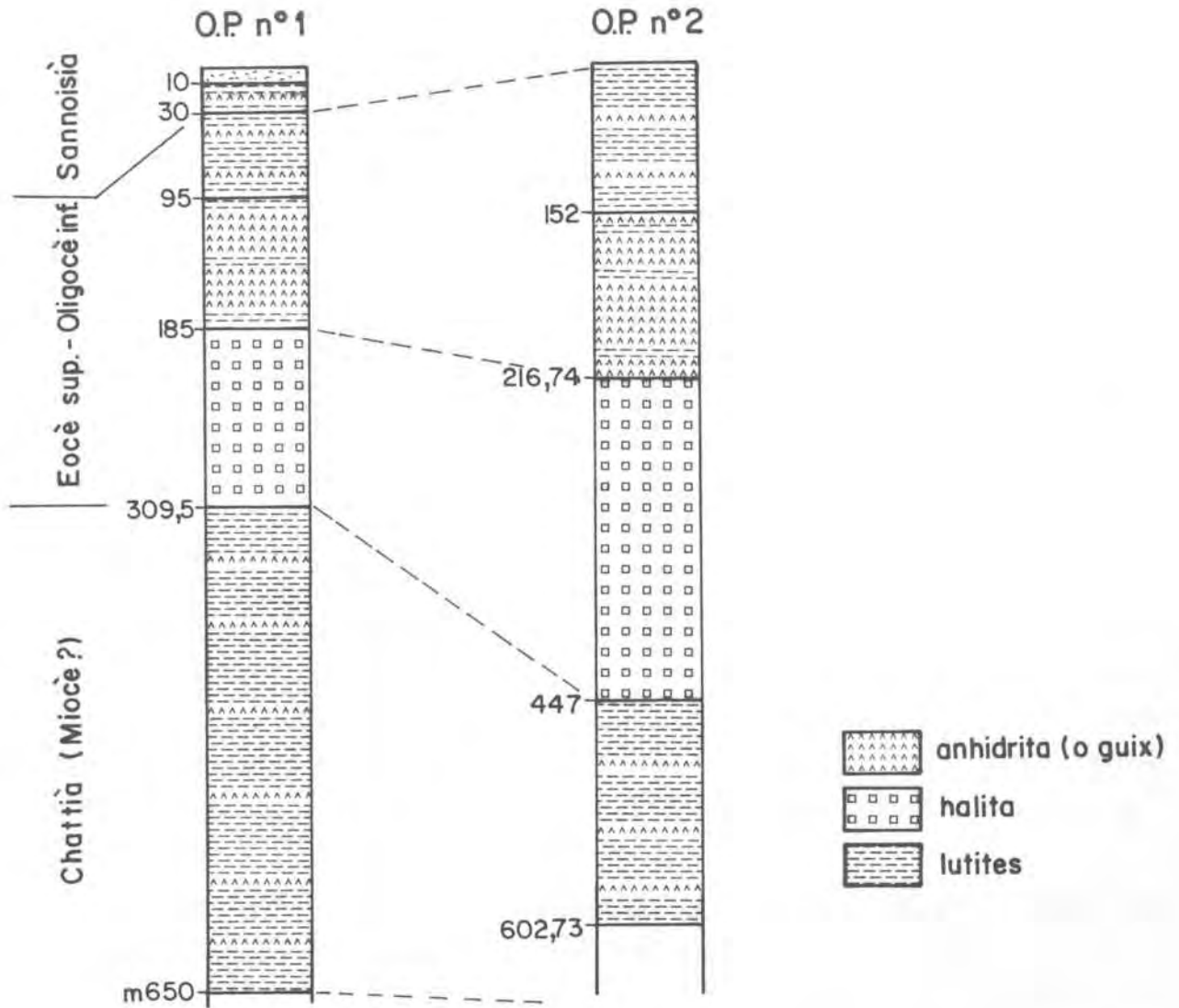


FIG. 8 Columnes tallades pels sondeigs efectuats en la zona de Puente la Reina (ROJAS et al., 1973). (veg. text)

1.3.3.2. ZONA DEL SINCLINAL D'IZAGA-MONREAL

Aquesta zona té un gran interès de cara a l'establiment dels límits de la formació salina, encara que el seu interès de cara a l'explotabilitat d'aquesta formació és escàs.

En el flanc sud-oest del sinclinal afloren, entre les margues de Pamplona i els gresos de Galar, les lutites de colors vius de la Fm. Guendulain. Tanmateix, aquests materials no afloren en el flanc nord-est del sinclinal. Els sondeigs de Zuazu, Guerguitain i Celigueta (fig. 9) no tallen ja les lutites de colors vius sinó una alternança de margues vermelles i blaves i de gresos sense evaporites, que es troba sobre el flysch bartonià (MELGAR i ROJAS, 1966). Aquests autors suggereixen la possibilitat que aquests terrenys siguin de la mateixa edat que la Fm. Guendulain, és a dir, que existeixi un canvi lateral de fàcies cap al nord, de les evaporites a margues i gresos.

També PUIGDEFÀBREGAS et al. (1978) fan notar aquest canvi de fàcies: "el tramo de margas fajeadas con evaporitas pierde gradualmente el color rojizo, hasta pasar a margas arcillosas grises con pequeños ostreidos en Indurain y Urbicain, donde está constituido por alternancias con estructuras y secuencias que sugieren playas o depósitos litorales".

Tot això fa pensar en la possibilitat que aquesta zona fos el vorell real de la deposició evaporítica.

El flanc sud-oest del sinclinal d'Izaga està limitat per una fractura (falla de Loiti, PUIGDEFÀBREGAS, 1975; veg. fig. 6), amb el bloc enfonsat al sud. Aquesta zona de fractura constitueix al mateix temps el nucli d'un anticlinal on afloren les lutites de la Fm. Guendulain entre Monreal i Lecaún. Els cabussaments en aquesta zona són cap al sud i bastant acusats (50° prop de Lecaún).

En aquesta àrea es dugué a terme investigació sísmica (GARCÍA SIÑERIZ, 1941) i posteriorment s'hi han efectuat 4 sondeigs: Salinas de Ibargoiti 1 i 2, Lecaún i Sengáriz. La investigació sísmica posà de manifest l'existència de la capa salina, a profunditats no excessives, però afectada per la falla i per dissolució

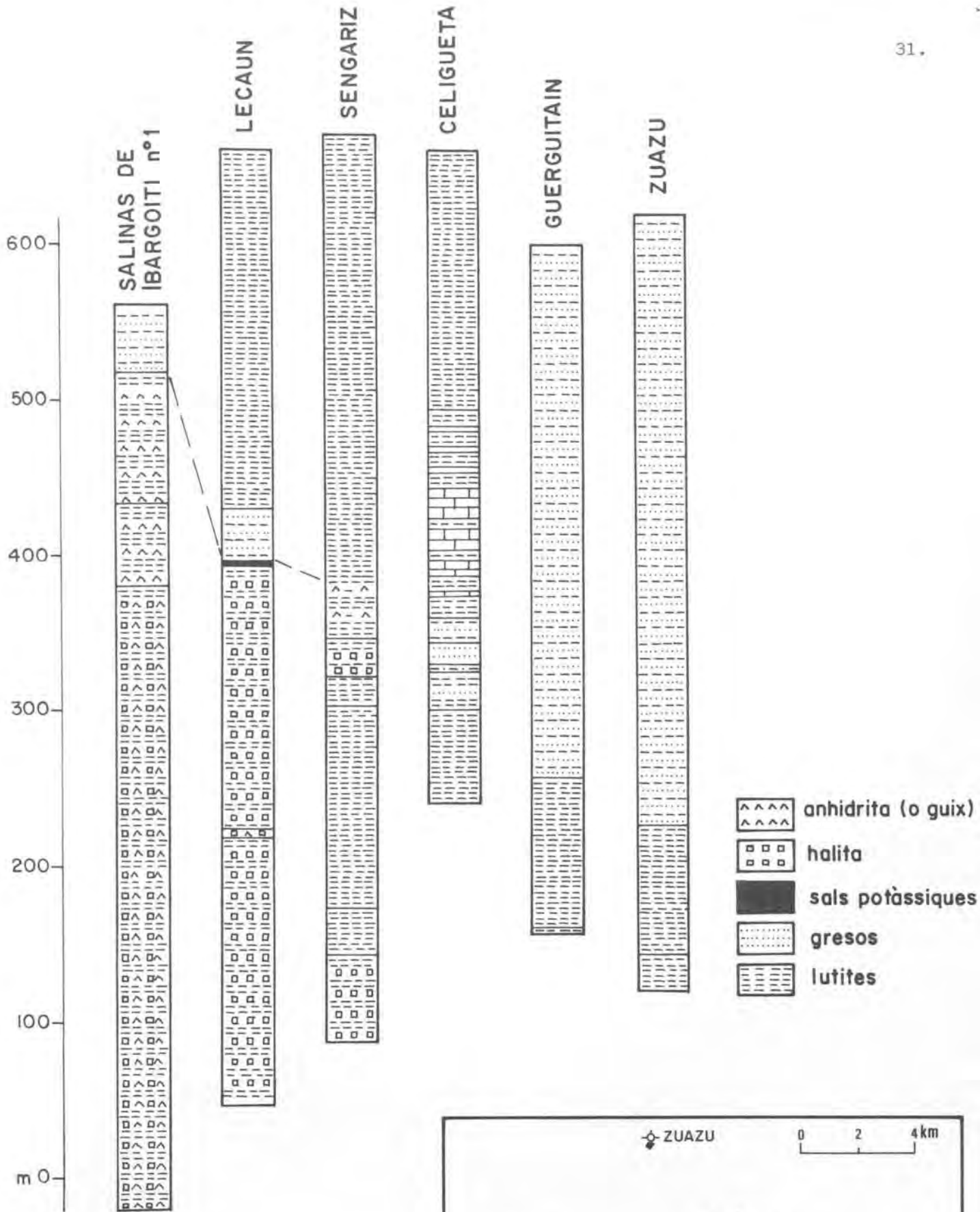


FIG. 9 Columnes tallades pels sondeigs efectuats en la zona del sinclinal d'Izaga-Monreal. (veg. text)

ons superficials. Es suggeria la zona de Lecaún com la més favorable per emplaçar-hi un sondeig de reconeixement i es suposava que en aquesta àrea hi ha hauria un cert camp d'explotabilitat entre el nucli de l'anticlinal, on només hi hauria un petit gruix de recobriment per sobre de la capa salina, i la falla. A la figura 9 es pot veure la columna tallada pels sondeigs realitzats. Llevat del de Lecaún, que tallà sals potàssiques, tots els altres es quedaren en margues o sals de sostre a causa dels acusats carbussaments.

En resum, i al marge de les condicions negatives per a l'explotabilitat, és un fet que la formació salina, àdhuc amb sals potàssiques, continua en aquesta zona, que probablement enllaça amb la de Javier-Los Pintano. Queda per esbrinar quina és l'extensió cap al sud de les evaporites, que probablement és reduïda en vista de les dades del sondeig de Sangüesa (ENPENSA, 1962), que ja no talla halita sinó gresos i margues amb anhidrita i un paquet de 30m d'anhidrites amb intercalacions margoses entre 3230 i 3260m; tot aquest conjunt és atribuït a l'Eocè superior (Bartonià-Ludià).

1.3.3.3. ZONA DE JAVIER-LOS PINTANO

L'existència de la formació evaporítica en aquesta zona, incloent sals potàssiques, ha estat revelada per una sèrie de sondeigs que s'hi han dut a terme (ADARO, 1966-71).

Les lutites superiors de la formació evaporítica i els gresos suprajacents (gresos de Galar) afloren en aquesta zona en una franja que s'estén des del sud de Yesa a Ruesta (veg. fig. 7, fora de text), i separen les margues de Pamplona, a la base, dels materials continentals de l'Oligocè inferior, al sostre. Els gresos afloren encara una mica més cap a l'est, però de seguida desapareixen per sota de l'Oligocè continental. En el nucli de l'anticlinal cavalcant de La Magdalena, al sud d'Undués de Lerda (veg. fig. 6), afloren també totes dues unitats.

A la figura 10 (fora de text) es mostra un esquema de la majoria dels sondeigs realitzats a la zona. Testimonis d'aquests sondeigs (Javier 3, Javier 2, La Vistana, Las Nogueras, Undués de Lerda, Molinar, La Magdalena), més o menys complets, es conserven emmagatzemats a l'empresa Adaro i els vam poder revisar. Tanmateix, la impossibilitat de poder realitzar un nombre extens de preparacions microscòpiques ha impedit dur a terme un estudi petrogràfic aprofundit de les mostres seleccionades, que potser més endavant podran ser estudiades en detall.

La major part d'aquests sondeigs tallen sals potàssiques. Quasi sempre es tracta de silvinita, i més rarament carnal.lita (sondeig de Las Nogueras) i és una constant que les litofàcies salines, sobretot les potàssiques, es trobin en forma de bretxa, fet que deu estar relacionat amb moviments tectònics posteriors a la deposició de les sals, i potser amb el corriment sofert per la zona. El fet que els sondeigs d'Undués de Lerda i El Molinar no tallin sals potàssiques és atribuït per ROJAS et al. (1973) a dissolució posterior, relacionada amb la proximitat d'aquests dos sondeigs al nucli de l'anticlinal de La Magdalena, on afloren les lutites superiors de la formació evaporítica i a partir del qual s'hauria produït la percolació d'aigües.

Les sals de sostre presenten les alternances d'halita-lutites laminades amb capes d'anhidrita que s'observen també en la

cubeta potàssica de Pamplona, i també la sal de mur mostra el típic aspecte de gra relativament gruixut i absència de diastemes argilosos ben marcats. És també una constant la presència d'una capa d'anhidrita basal, de 60 a 80cm de gruix i de litofàcies predominantment laminada, molt similar a la que es troba en el jaciment del sud de Pamplona (Làmina 1). Per sota de l'anhidrita es troba una alternança de lutites amb nivells de gresos, que en la figura 10 hem designat com a "flysch", mantenint la nomenclatura de la descripció original dels sondeigs. En alguns casos aquests gresos presenten nòduls d'anhidrita.

A partir de la zona de Los Pintano, no es té cap més dada de la formació evaporítica de l'Eocè superior fins a la terminació occidental de l'anticlinal de Barbastre. Tal com mostra PUIGDEFÀ-BREGAS (1975), a l'est de la zona de Los Pintano, l'Eocè superior està representat per fàcies continentals fluvials (fàcies de Bibán i Martes), de manera que no és en aquesta direcció que cal suposar la possible zona d'enllaç entre els dos sectors on estan representades les evaporites. Estem d'acord amb aquest autor que la possible continuïtat es deu situar en direcció sud-est, cap a la zona del riu Onsella.

1.4. LES EVAPORITES DEL SECTOR INTERMEDI DE LES DUES CONQUES POTÀSSIQUES

Entre la zona de Javier-Los Pintano, fins on s'estén la conca potàssica navarresa, i la part més occidental de la conca potàssica catalana, hi ha una àmplia zona intermèdia que podem dividir en dues parts:

- la zona compresa entre Los Pintano i la terminació occidental de l'anticlinal de Barbastre,
- la zona de l'anticlinal de Barbastre

En la primera zona, no es té cap dada, en coneixement nostre, de la formació evaporítica.

En la segona zona, afloren en tot el nucli de l'anticlinal, els guixos de la formació Barbastre, immediatament posteriors a les litofàcies salines i datats de l'Eocè superior per REILLE (1971, a RIBA i REGUANT, en premsa), que hi trobà carofícies de la zona de Montmartre en la seva part culminant.

El sondeig de Tamarite (veg. GARCÍA SIÑERIZ, 1941), situat en el nucli de l'anticlinal, va tallar per sota dels guixos una capa de sal entre 330 i 400-450m; a partir d'aquesta profunditat van començar a predominar novament margues i guixos.

El sondeig de Montsó (Monzón-1, ENPASA, 1963), situat una mica al sud de l'anticlinal (veg. fig. 1, fora de text), talla entre 1420 i 2154m, una potent formació evaporítica, de composició majoritàriament halítica.

També el sondeig d'Esplús (Esplús-1, ENPASA, 1964), més al sud (fig. 1), talla una formació amb evaporites entre 1225 i 1515m. Es tracta aquí d'argiles amb intercalacions de sal i anhidrita. Tant en aquest sondeig com en l'anterior la formació amb evaporites es superposa a una unitat margosa vermella que, segons la interpretació donada en el registre del sondeig, constituïria la base del Terciari continental.

No es tenen dades (en el nostre coneixement) de les característiques petrològiques d'aquestes sals, o de llur contingut en brom, que indicaria el caràcter marí o continental. Tampoc sabem on es situaria la zona de màxima gruixària, que indicaria la posició del solc sedimentari, ni quina és exactament la relació lateral d'aquestes evaporites amb les de la conca potàssica catalana. Tanmateix, i malgrat totes aquestes llacunes, cap la possibilitat que formin part d'un conjunt més ampli, que constituïria l'enllaç entre les dues conques potàssiques.

2. LA CUBETA POTÀSSICA DE PAMPLONA

2.1. CARACTERÍSTIQUES GENERALS

2.1.1. ESTRUCTURA I DELIMITACIÓ

El jaciment en explotació, situat al sud-oest de Pamplona, té una estructura sinclinal, de direcció ENE-OSO, que acaba periclinalment en direcció est seguint les poblacions d'Esparza, Salinas de Pamplona, San Sebastián i Subiza (fig. 11, fora de text, i fig. 12).

Tot al llarg del flanc nord i de la terminació periclinal, afloren, com una orla, fàcies margoses que corresponen a les margues de sostre de la formació evaporítica i que estan en contacte anòmal amb les margues de base (margues de Pamplona, s.l., veg. ap. 2.2.2.1.), ja que la formació salina és absent per dissolució. En la zona d'Olaz-Subiza, en el contacte entre les fàcies margoses grises de base i les vermelles de sostre, es presenten uns materials lutítico-carbonatats, amb motlles de cristalls de guix i l'aspecte típic de ser el residu de dissolució d'una capa guixenca prèvia. En zones on aquesta capa ha estat excavada, es passa en subsuperfície a un paquet de guixos de color gris i litofàcies laminada micronodular, amb sediment encaixant carbonatat, relativament similar a les que mostra l'anhidrita basal en el jaciment, i de potència no determinada. Segons MENÉNDEZ (1971) aquests gui-

Fig. 13 Esquema de les galeries de mina en el jaciment, i localització del punts de mostratge:

- Zona Sur
1. JM 36 PT 23
 2. acceso 1 a JM 61
 3. acceso a JL 76 A
 4. JM 61
 5. MO 53bis, cámara 9
 6. JM 26 5bis
 7. JM 76
 8. NP 12
 9. MO 20 cale 6/ GE 15
- Esparza
10. Zona de Cámaras
- Guendulain
11. Galeria general
- Undiano
12. FN 10
 13. FN 86
 14. cabeza de tajo 52 (julio 1 79)
 15. IM 23 A
 16. GM 16 A
 17. galeria telesilla

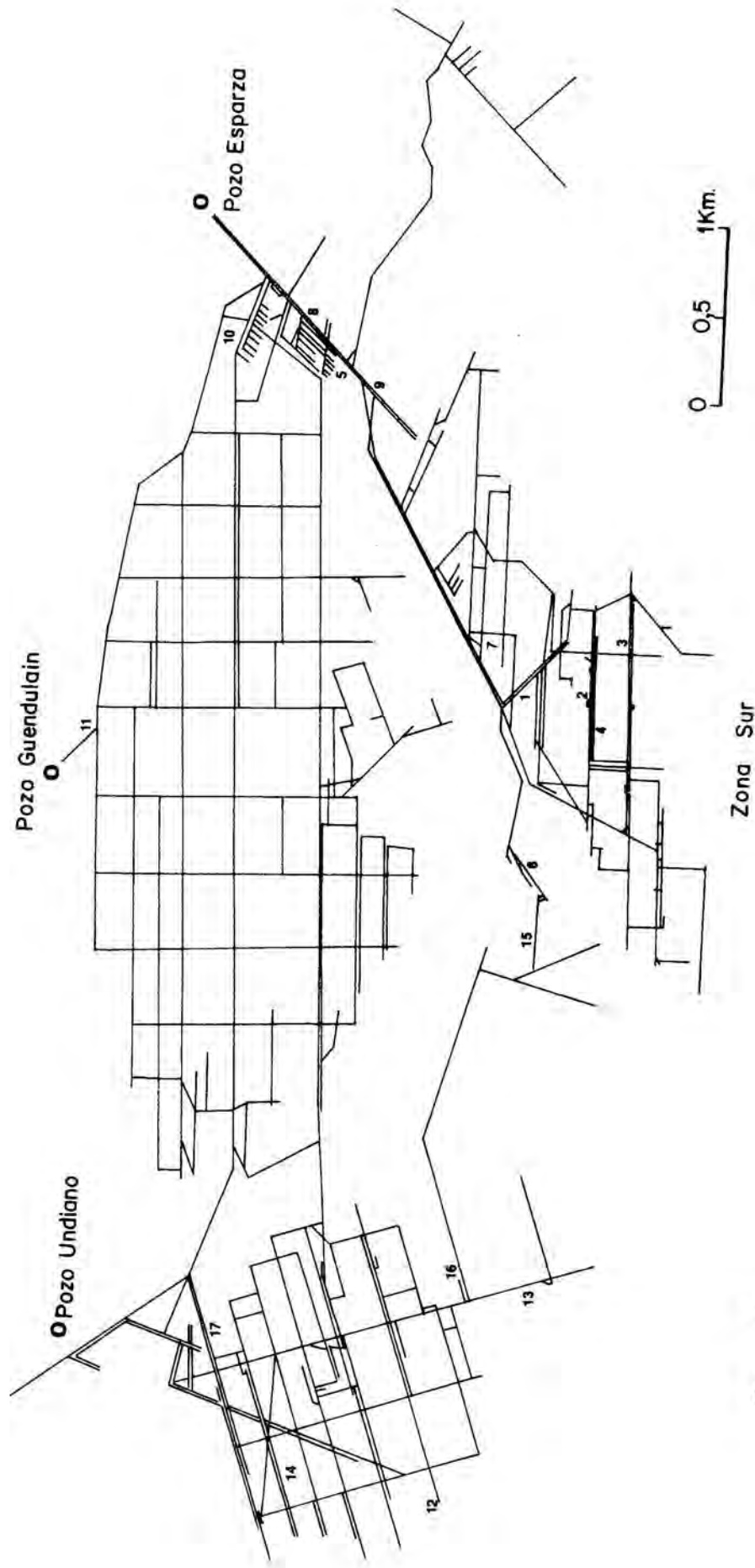


FIG. 13

xos podrien ser els substituïts de les sals, amb potència molt reduïda. Tanmateix, i en vista de les característiques que acabem de descriure, podria tractar-se d'un nivell equivalent a la capa anhidrítica basal.

El flanc sud és fossilitzat pels conglomerats oligo-miocènics de la Sierra del Perdón, i queda per tant ocult.

A grans trets, es poden distingir dos sistemes de falles: un de direcció aproximada NE-SO, i un altre, menys conegut, de direcció NO-SE. Dues falles importants i complexes, pertanyents al primer sistema, de direcció sensiblement paral·lela ENE-OSO, fracturen el sinclinal en tres blocs: dos aixecats, al N i SE i un bloc central enfonsat. La falla més septentrional (Esparza) té un salt aproximat de 300m, i l'altra (Subiza) de 600 a 800m (MENÉNDEZ, 1971; DEL VALLE, 1978). L'explotació minera es du a terme fonamentalment en el bloc septentrional i en la part nord del bloc intermedi enfonsat.

Pel que fa als límits del jaciment, i com acabem de veure, són erosius al nord i l'est. Més problemàtica és la situació dels límits oest i sud ja que, com hem dit anteriorment, queden ocults. Segons DEL VALLE (1978), el límit SO del jaciment potàssic vindria condicionat per l'existència d'un anticlinal ocult sota el Terciari continental de la Sierra del Perdón, el qual xocaria contra l'accident de Puente la Reina. Aquesta idea seria abonada pel fet que el sondeig 15 (Basangaiz, veg. fig. 11, fora de text), situat a 3,25Km al sud d'Undiano, talla ja únicament halita: 16m de sal i margues alternants, 13m de sal, 1m d'anhidrita basal, i margues amb anhidrita. Tanmateix, l'existència d'aquest hipotètic anticlinal no queda clara en vista dels resultats de la prospecció per sísmica de reflexió efectuada en el jaciment, els quals semblen indicar la continuïtat de la formació salina cap al sud-oest. En aquest sentit, una altra possibilitat seria que la formació salina continués cap a l'oest on trobaria un límit tectònic en l'accident representat en superfície per l'alineació de diapirs d'Estella, Alloz-Lácar, Salinas de Oro, Goñi i Atondo (falla de Pamplona, CADILLAC, 1979; veg. fig. 7, fora de text, i fig. 6).

Al sud, el sondeig 23, situat a 0,75Km al NO de Biurrun (fig. 11, fora de text), talla tota la formació salina, inclosos

els nivells potàssics. Tanmateix, el sondeig 22, al costat mateix de la població esmentada, talla margues grises (de base) per sota del nivell de gresos de Galar. A l'oest de Biurrun, el sondeig 16 (Ucar) talla tan sols margues. A partir d'aquesta zona cap a l'oest, i segons dades de P.D.N., l'acabament de la formació salina contra els conglomerats miocènics tindria lloc al sud de Muruzábal.

2.1.2. ESTRATIGRAFIA DE LA FORMACIÓ EVAPORÍTICA

La successió salina de la cubeta potàssica de Pamplona constitueix un macrocicle evaporític, de característiques similars al que es troba en la conca potàssica catalana, i comparable a cadascun dels quatre macrocicles que formen el Zechstein alemany. Genèticament, pertany al tipus completament empobrit en sulfat magnèsic.

Aquest macrocicle inclou, de base a sostre, els termes següents:

- una unitat basal anhidrítica,
- una unitat halítica (sal de mur),
- una unitat potàssico-magnèsica constituïda per cicles de silvinita-halita, en la part inferior, i cicles de carnal.lita-halita, en la part superior, separats per un tram halític intermedi (sals intermèdies),
- una unitat d'halita i lutites alternants (sals de sostre),
- una unitat de lutites versicolors (margas fajeadas), amb nivells d'anhidrita.

(fig. 14)

La formació salina s'instal·la sobre sediments marins fins (margues de Pamplona, s.l.) i la potència mitjana global del conjunt anterior és de 150m.

Per sobre de les lutites de sostre, es troba un nivell de gresos bastant continu que ha rebut diverses denominacions: arenisca de Liédena (MANGIN, 1959-60), arenisca de ripple-marks o arenisca de Guendulain (RIBA i PÉREZ MATEOS, 1961), arenisca de Galar o arenisca de Guendulain y Galar (DEL VALLE, 1978).

PUIGDEFÀBREGAS (1975) anomena Formación Guendulain el conjunt de la sèrie evaporítica i el nivell de gresos superiors.

La successió tipus que acabem de descriure, presenta nombroses variacions al llarg del jaciment. Algunes són degudes a causes ja originals de la deposició, o a alteracions diagenètiques secundàries (dissolucions, transformacions), i altres han estat provocades per la complexa tectònica que afecta la zona del jaciment.

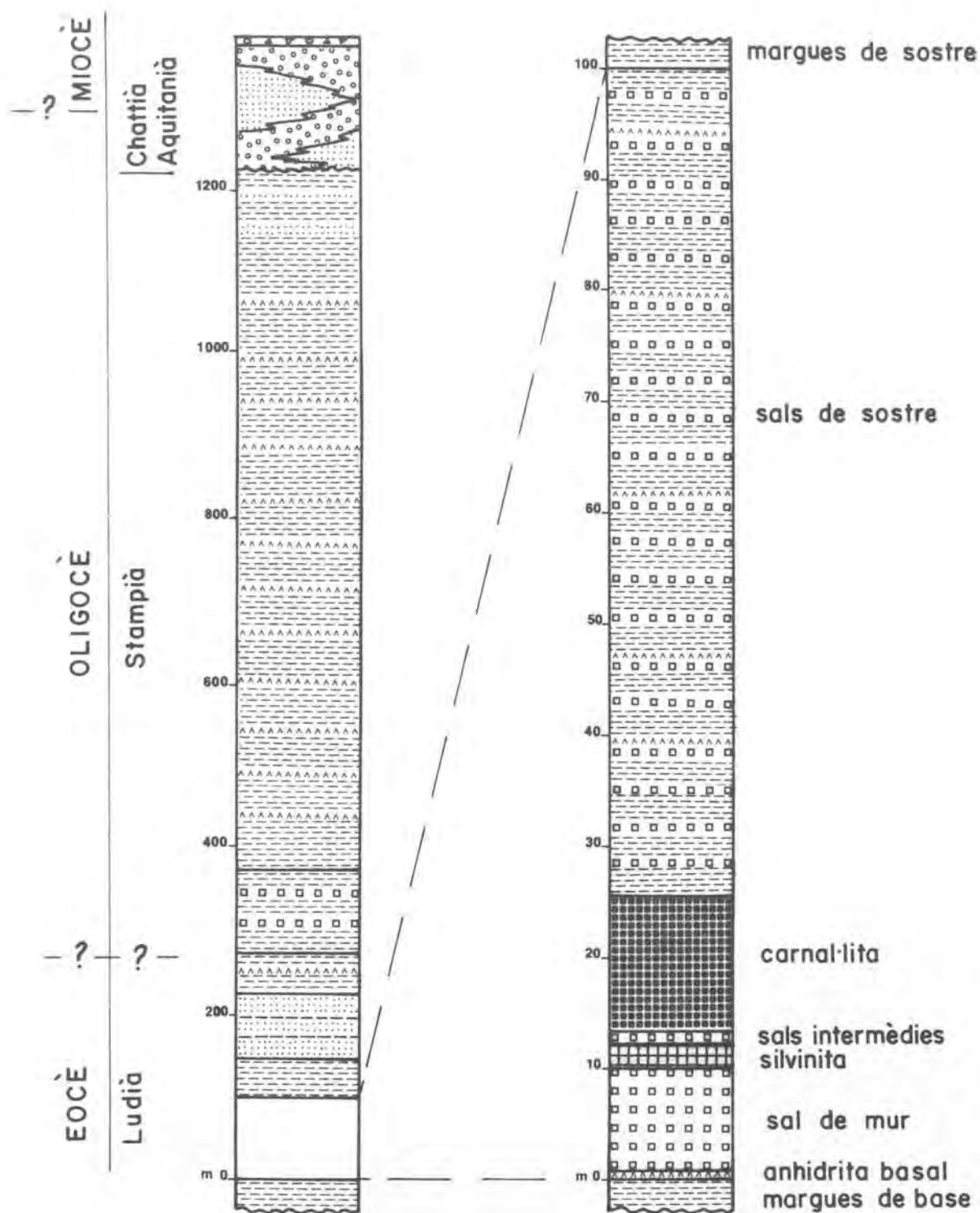


FIG. 14 Posició de la formació salina en la sèrie general de la zona, i successió tipus de la formació evaporítica en la cubeta potàssica de Pamplona. (dades de P.D.N.)

A fi d'il·lustrar una mica aquestes variacions, hem confeccionat alguns perfils de correlació a partir de les dades dels sondeigs efectuats per Adaro en el jaciment (figures 15a, b, c, d, fora de text). Quan els cabussaments han estat acusats (més de 20°), hem calculat les potències reals, que són les que consten en les columnes, i hem indicat al costat la inclinació real. Per altra banda, hem assenyalat amb línies contínues (precisant la fondària) els contactes anòmals (per falles, etc) entre diferents unitats.

En la figura 3 es poden comparar les successions salines de les conques potàssiques catalana i navarresa. Es tracta, com hem dit anteriorment, de seqüències similars, totalment empobrides en sulfats magnèsics, i amb les mateixes litofàcies potàssico-magnèsiques: silvinita i carnal·lita. Destaca, però, l'escassa potència que presenta la unitat halítica inferior a la conca navarresa en comparació amb la catalana.

Altres exemples de seqüències empobrides en sulfat magnèsic els constitueixen, la conca potàssica d'Alsàcia, de l'Eocè superior-Oligocè inferior, i el segon macrocicle del Zechstein a la zona de Königshall-Hindenburg.

2.1.3. EDAT DE LA FORMACIÓ EVAPORÍTICA

1) Consideracions cronostratigràfiques

L'escala estratigràfica que s'ha fet servir en aquest treball es basa principalment en les proposades per al Paleogen per CAVELIER i POMEROL (1977) i HARDENBOL i BERGGREN (1978), els quals admeten per a l'Eocè mitjà i superior la següent successió d'estatges:

Priabonià
Bartonià
Lutecià

Tanmateix, en els mapes de síntesi que es presenten fora de text, hem conservat el terme "Biarritzià", respectant la terminologia dels autors consultats. També hem emprat el terme Chattià, per la seva utilitat, especialment a l'hora de designar el període que comprèn el final de l'Oligocè i el principi del Miocè (Chattià-Aquitanià).

L'adaptació de les edats assignades prèviament per diferents autors crea, en alguns casos, greus problemes. Un exemple seria el cas del "Biarritzià". Per a alguns autors francesos el "Biarritzià" era assimilat, fins fa poc temps, al Lutecià superior, tenint en compte que s'equiparava el Bartonià al Priabonià. (POMEROL, 1973). Recentment (ANADÓN et al., 1983, en premsa), s'ha pogut comprovar que a la conca d'Igualada nivells assimilables al "Biarritzià", amb N. perforatus i A. elongata, estan associats a nannoplancton de la zona NP17, que indicaria una edat bartoniana relativament recent per als nivells amb fauna "biarritziana". D'altra banda, alguns nivells atribuïts al Lutecià per diversos autors que han treballat en la zona objecte d'aquesta tesi, haurien de ser assimilables, avui dia, al Bartonià (veg. per exemple, PUIGDEFÀBREGAS et al., 1978).

2) Antecedents bibliogràfics

En els treballs més antics, s'atribuïa a la base de l'Oligocè l'edat de la conca potàssica catalana (MARÍN, 1926, 1945) i, per analogia, s'assimilà a la mateixa època l'edat de la formació salina navarresa (DEL VALLE, 1929).

En treballs posteriors, però, es generalitza l'atribució a l'Eocè superior, principalment al Ludià, de la formació salina catalana. Així, segons LLOPIS LLADÓ i MASACHS (1943), correspon a aquest estatge la base del jaciment salí. MASACHS (1952) atribueix també al Ludià l'edat de les sals, mentre que MASACHS et al. (1954) accepten la possibilitat d'una edat bartoniana. RIBA (1967) es mostra d'acord amb l'atribució al Ludià inferior, bàsicament, de les sals potàssiques. RIBA i REGUANT (en premsa) assimilen al Priabonià mitjà l'edat de les dues formacions salines, catalana i navarresa, que serien contemporànies.

Per a RÍOS (1963) la gènesi de la formació salina amb sals potàssiques de la Conca de l'Ebre es produeix en el trànsit del Ludià a l'Oligocè.

En el cas de la conca potàssica navarresa, encara que MANGIN (1959-60) atribueix a la base de l'Oligocè la unitat dels gresos de Galar, la major part d'autors posteriors (PUIGDEFÀBREGAS, 1975; PUIGDEFÀBREGAS, et al., 1978; DEL VALLE, 1978; CASTIELLA et al., 1978) assimilen a l'Eocè superior (Priabonià), el conjunt de la Formació Guendulain.

PUIGDEFÀBREGAS (1975) precisa que, malgrat l'estudi micropaleontològic d'un gran nombre de mostres, no li ha estat possible fer cap diferenciació dins de l'Eocè superior. PUIGDEFÀBREGAS et al. (1978) posen també de manifest la manca de dades, així com les diferents opinions existents sobre aquesta qüestió, i no descarten la possibilitat que una part de la Fm. Guendulain pugui ser d'edat oligocènica.

3) Dades aportades en aquest treball

Per la nostra part, vam seleccionar una sèrie de mostres de lutites associades a les litofàcies salines per al seu estudi palinològic, el qual ha estat dut a terme per N. SOLÉ. Es troben actualment en fase d'estudi mostres de lutites associades a litofàcies salines de la conca potàssica catalana.

Tot i que només quatre de les mostres seleccionades han donat resultat positiu, algunes han revelat una gran riquesa de formes. Els resultats obtinguts revelen característiques comunes amb les dades palinològiques que es tenen sobre l'Eocè-Oligocè de la conca de París. Es tractaria, en el nostre cas, d'Eocè superior ("Ludià").

La vegetació trobada en aquestes mostres presenta les següents característiques generals: presència de Schizaeaceae com Lygodium i de Sapotaceae, que en l'actualitat presenten una distribució tropical i subtropical. També es presenten formes que viuen actualment en zones temperades-càlides a subtropicals com són Nyssa, Engelhardtia, Platycaria i Rhus. Formes de subtropicals a temperades com Taxodiaceae i Restionaceae. Finalment, es troben una gran part de formes restants, avui dia temperades, com són Carya, Pterocarya, Tiliaceae, Ulmaceae, Myricaceae, Betulaceae, Aceraceae, Pinaceae, etc.

Aquesta associació indicaria condicions climàtiques subtropicals a temperades, amb una certa aridesa que confirmaria la presència d'Ephedra. Les plantes Monocotiledònies més o menys aquàtiques com les Esparganiaceae, juntament amb Milfordia, Restionaceae, i Aglaoreidia cyclops i, a més, plantes com Taxodiaceae i les Falgueres, confirmarien la presència de llacs o zones pantanoses en la regió, en el moment de dipositar-se aquesta flora, amb la presència, més o menys allunyada, de boscos de Fagaceae, Betulaceae i Pinaceae, entre d'altres.

El reduït nombre de mostres que han donat resultat positiu no permet establir una evolució dins d'aquesta flora. Es tracta a més, de mostres molt semblants en conjunt, i les petites diferències que presenten poden ser degudes a causes locals.

Presentem, a continuació, els resultats de l'anàlisi palino-
lògica d'aquestes mostres:

Mostra C10/11 (lutites associades a les halites intermèdies entre les capes
10 i 11 de silvinita)

Leiotriletes adriennis Kr. 1959. Schizaeaceae

Baculatisporites cf. quintus (Th. & Pf. 1953) Kr. 1967. cf. Osmunda

Reticulatisporites sp. Lygodium

Cicatricosisporites cf. chattensis Kr. 1961

Pityosporites microalatus Th. & Pf. 1953. Pinus tipus haploxylon

Pityosporites labdacus (R. Pot. 1931) Th. & Pf. 1953. Pinus tipus diploxylon

Pityosporites alatus (R. Pot. 1931) Th. & Pf. 1953. Picea

Pityosporites sp. Pinaceae

Inaperturopollenites hiatus (R. Pot. 1931) Th. & Pf. 1953. Taxodiaceae-Cupresa
ceae

cf. Nypa. Palmae

Tricolpopollenites henrici (R. Pot. 1931) Th. & Pf. 1953. Fagaceae

Tricolpopollenites sp. Angiosperma

Acompanyen aquesta flora quists de Phyrophyta.

Mostra C12/13 (lutites associades a les halites intermèdies entre les capes
12 i 13 de silvinita)

Trilites cf. multivallatus (Th. & Pfl.) Kr. 1959. Lygodiaceae

Retitriletes cf. clavatoides (Couper) Kr. 1963. Lycopodiaceae. Lycopodium

Ischyosporites cf. asolidus Kr. 1967. Schizaeaceae?

Triletes indet.

Pityosporites microalatus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Pinaceae. Pinus tipus haplo-
xylon

Inaperturopollenites palaeogenicus Kedves 1978. Taxodiaceae

Caryapollenites sp. Juglandaceae. Carya

Triatriopollenites engelhardtioides Roche 1969. Juglandaceae. Engelhardtia

Triatriopollenites platycarioides Roche 1969. Juglandaceae. Platycarya

Tricolporopollenites irregulatus Nakoman 1966

Tricolporopollenites cf. satzweyensis Th. & Pfl. 1953

Compositoipollenites sp.

Acompanyen aquest conjunt quists d'Algues Phyrrhophyceae.

Mostra U14 (lutites associades a sals de sostre)

Triplanosporites sinuosus Th. & Pfl. 1953

Polypodiaceoisporites triangulus triangulus Kr. 1967. Pteridaceae

Laevigatosporites haardti (Pot. & Ven.) Th. & Pfl. 1953. Polypodiaceae

Pityosporites labdacus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Pinaceae. Pinus tipus diploxylon

Pityosporites microalatus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Pinaceae. Pinus tipus haplo-
xylon. Cathaya?

Ephedripites (Distachyapites) eocenipites (Wod.) Kr. 1961. Ephedraceae. Ephedra
distachya

Sciadopityspollenites serratus Thiery. 1937. Taxodiaceae. Sciadopitys

Inaperturopollenites palaeogenicus Kevdes 1978. Taxodiaceae

Inaperturopollenites hiatus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Taxodiaceae

Milfordia minima Kr. 1970. Restionaceae

Monocolpopollenites tranquillus tranquillus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Palmae

Sparganiaceapollenites reticulatus (Dokt. & Hreb.) Kr. & Vanh. 1977. Esparganiaceae, Sparganium

Aglaoreidia cyclops Erdtman 1960

Intratropollenites fsp. Tiliaceae. Tilia?

Triatriopollenites myricoides Th. & Pfl. 1953. cf. Myricaceae

Plicapollis pseudoexcelsus Kr. 1960. Myricaceae

Caryapollenites simplex (Pot. & Ven.) Kr. 1961. Juglandaceae. Carya

Polytropollenites undulosus (Wolf.) Th. & Pfl. 1953. Ulmaceae. Ulmus

Polyvestibulopollenites verus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Betulaceae. Alnus

Multipropollenites maculosus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Juglandaceae. Juglans

Pseudospinaepollis pseudospinosus Kr. 1966. Thymelaeaceae?. Polemoniaceae?

Echiperiporites fsp. Malvaceae? Convolvulaceae? Sterculiaceae?

Verrustephanoporites fsp. Ulmaceae. Ulmus o Celtis

Retitricolporites fsp.

Retitricolpites gracilis (Lubom.) Chateauneuf 1980. Hamamelidaceae. Fothergilla?

Tricolporopollenites taugourdae Gruas-Cavagnetto 1966. Aceraceae

Psilatricolporites Kruschi (Th. & Pfl.) R. & Sch. 1976. Nyssaceae tipus Nyssa

Chenopodipollis multiplex (Pfl.) Kr. 1966. Chenopodiaceae

Chenopodipollis fsp. Chenopodiaceae

Acompanyen aquest conjunt: quists d'Algues Pyrrhophyceae, Grup Acritarcha: Circulisporites, espores de Fong.

Mostra U22 (lutites associades a sals de sastre)

Leiotriletes microlepioidites Kr. 1962. Pteridaceae. Microlepia

Leiotriletes adriennis (Pot. & Gell.) Kr. 1959. Schizaeaceae. Lygodium

Trilites multivallatus (Th. & Pfl.) Kr. 1959. Lygodiaceae

Bullasporis fsp.

Baculatisporites fsp. Usmundaceae

Retitriletes cf. clavatoides (Couper) Kr. 1963. Lycopodiaceae. Lycopodium

Verrucatosporites favus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Polypodiaceae

Laevigatosporites haardti (Pot. & Ven.) Th. & Pfl. 1953. Polypodiaceae

Abiespollenites fsp. Pinaceae. Abies

Podocarpidites podocarpoides (Thg.) Kr. 1971. Podocarpaceae. Podocarpus

Pityosporites minutus Kr. 1971. Pinaceae. Pi u ?

Pityosporites labdacus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Pinaceae. Pinus tipus diploxylon

Pityosporites microalatus (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Pinaceae. Pinus tipus haplo-
xylon. Cathaya?

Ephedripites (Distachyapites) fusiformis (Shak.) Kr. 1970. Ephedraceae

Cycadopites fsp. Cicadaceae

Inaperturopollenites cf. stellarius (Pot.) Kr. 1959

Milfordia minima Kr. 1970. Restionaceae

Triatriopollenites platycarioides Roche 1969. Juglandaceae. Platycarya

Triatriopollenites engelhardtii Roche 1969. Juglandaceae. En elhardtia

Triatriopollenites fsp.. cf. Myricaceae

Triatriopollenites fuscus Chateauneuf 1980. Myricaceae

Plicapollis pseudoexcelsus Kr. 1960. Myricaceae

Caryapollenites circulus (Th. & Pfl.) Kr. 1961. Juglandaceae. Carya

Polyporopollenites cf. stellatus Th. & Pfl. 1953. Juglandaceae. Pterocarya

Retitricolpites fsp. Euphorbiaceae. Glochidion

Tricolpopollenites microhenrici (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Fagaceae tipus Quercus

Clavatricolporites iliacus (Pot.) R. & Sch. 1976. Aquifoliaceae. Ilex

Tricolporopollenites taugourdae Gruas-Cavagnetto 1966. Aceraceae

Tricolporopollenites pseudocingulum (Pot.) Th. & Pfl. 1953. Anacardiaceae.
cf. Rhus

Tricolporopollenites cf. reticingulum Kr. & Vanh. 1977. Araliaceae

Tetracolporopollenites fsp. Sapotaceae

Psilastephanocolporites fsp.

Chenopodipollis fsp. Chenopodiaceae

Acompanyen el conjunt quists d'Algues Phyrrhophyceae.

En fase ja molt avançada de realització d'aquest treball, s'ha tingut l'oportunitat de dur a terme l'estudi del nannoplàncton d'un nombre molt reduït de mostres, el qual ha estat efectuat per I. MATÍAS. De les mostres analitzades únicament una, corresponent a les margues de sostre del jaciment, ha revelat un contingut abundós, amb un gran nombre de formes, les quals es detallen a continuació:

Nannoplàncton de la mostra S26 (margues de sostre)

Reticulofenestra umbilica (Levin)

Nannotetrina spp.

Chiasmolithus grandis (Bramlette & Riedel)

Chiasmolithus spp.

Discoaster tani nodifer (Bramlette & Riedel)

Discoaster saipanensis (Bramlette & Riedel)

Discoaster barbadiensis Tan Sin Hok

Sphenolithus radians Deflandre

Sphenolithus af. furcatolithoides Locker

Coccolithus eopelagicus (Bramlette & Riedel)

Cyclococcolithus formosus Kamptner

Zycolithus dubius Deflandre

Zygrhablythus bijugatus (Deflandre)

Segons aquesta associació, la mostra S26 es pot situar al sostre de la zona NP16 o dins de la zona NP17 de MARTINI (1971), o a l'equivalent subzona de Reticulofenestra umbilica de la zona de Discoaster tani nodifer de PROTO-DECIMA et al. (1975).

Aquesta zona de nannoplàncton equival a la zona P14 (Truncorotaloides rohri) de foraminífers planctònics, i totes dues són atribuïdes, en diverses correlacions entre escales bio i cronostatigràfiques (per exemple, HARDENBOL i BERGGREN, 1978, i HARLAND et al., 1982), a la part alta del Bartonianà.

La manca d'una bona correlació entre les diverses escales i biozonacions de l'Eocè superior, que ens permeti comparar aquestes dades amb els resultats palinològics, i l'atribució tradicional (deduïda sempre de manera indirecta) de la formació salina al Priabonianà, ens obliguen a considerar amb una certa prudència aquest darrer resultat, per altra banda basat en una sola mostra. Cal, evidentment, dur a terme un treball posterior, més sistemàtic, que ens permeti confirmar-la.

2.2. PETROLOGIA DE LA FORMACIÓ EVAPORÍTICA

2.2.1. INTRODUCCIÓ

A l'hora de fer la descripció petrològica de la formació salina se'ns presentaven dues possibilitats: a) descriure per separat cada tipus petrològic, o b) descriure les diferents unitats de la successió. Hem triat aquesta segona via perquè, en no presentar-se en el jaciment un gran nombre de varietats per a cada tipus petrològic, hem cregut que una descripció dels diferents nivells seria més entenedora per al possible lector.

Per altra banda, i a fi de compensar els possibles problemes que plantejés aquesta solució, hem dividit la discussió final d'aquest capítol, en tipus petrològics, o mineralògics, cosa que ens permet donar la visió petrològica de conjunt, per a cadascun d'aquests tipus, que no era possible en l'estructuració anterior.

Pel que fa a la nomenclatura utilitzada per designar les diferents roques evaporítiques, no hem seguit el criteri, poc arrelat a la bibliografia, d'afegir sistemàticament el sufix -ita, al nom del mineral corresponent. No creiem que això hagi plantejat cap confusió. De tota manera, en alguns casos hem seguit la tendència dels autors saxons de fer servir el mot "roca" acompanyat de la mineralogia corresponent, per exemple "roca halítica" (rock salt). Tan sols en el cas del mineral silvita hem emprat el terme "silvinita" per la llarga tradició que té aquest mot.

2.2.2. DESCRIPCIÓ DE LA SUCCESSIÓ SALINA

2.2.2.1. LES MARGUES DE PAMPLONA

La base de la formació salina la constitueixen unes margues de color blau-grisenc, que corresponen als nivells més alts de les margues de Pamplona, considerades en sentit ampli.

Dins del conjunt anomenat "margues de Pamplona" hom distingeix tres parts (PUIGDEFÀBREGAS, 1975; PUIGDEFÀBREGAS et al., 1978): una inferior margosa, una intermèdia amb intercalacions de gresos, i una superior també margosa.

El nivell margós superior, tot i ser molt similar a l'inferior, mostra un conjunt d'aspectes característics: una constitució més argilosa i una certa estratificació que, cap al sostre, es converteix en laminació mil.limètrica, associada a abundants restes vegetals (aquests darrers aspectes s'observen molt bé en mina) (margues d'Ilundain, CASTIELLA et al., 1978).

Aquestes diferències han motivat que de vegades hagi estat considerat com un nivell a part, i s'hagi restringit al tram margós inferior la denominació de margues de Pamplona. Aquest és el criteri seguit per DEL VALLE (1978) en la Memòria explicativa del full de Pamplona (1:50.000). En aquesta zona el tram intermedi amb intercalacions gresoses constitueix un sol nivell (gresos de Tajonar) i afavoreix la subdivisió de la sèrie margosa. Segons aquest autor, una altra diferència és la gran abundància de Plicatula pamplonensis que presenta aquest tram superior.

Sedimentològicament, les margues de Pamplona corresponen a un ambient profund, tal com es pot deduir de l'estudi de la microfauna que presenten. Localment tenen caràcter turbidític, corresponent a canals turbidítics les intercalacions gresoses del nivell intermedi (flysch de Yesa, gresos de Gongolaz i Tajonar, PUIGDEFÀBREGAS, 1975). La presència de Plicatula pamplonensis i petits ostrèids en la part superior de la sèrie podria representar fàcies més somes.

En mina, hem efectuat un mostratge de les margues de base a JM 36 PT23 (Zona Sur), immediatament per sota del contacte amb

l'anhidrita. També es van recollir algunes mostres a la zona de Guendulain, a la galeria general (a 250m del pou) on presenten nivells de gresos, probablement de caràcter turbidític, i anhidrites nodulars intercalades.

L'anàlisi per difracció de raigs X d'aquestes margues indica la presència d'il.lita, clorita (-caolinita?), quars, calcita i dolomita. L'anàlisi del contingut d'alguns cations metàl.lics (Cu, Pb, Zn, determinació realitzada per M. Inglès) ha revelat valors relativament alts en comparació amb el contingut de les lutites intercalades en les litofàcies salines.

En definitiva, el conjunt de caràcters que presenten aquestes margues en la seva part superior, en contacte amb la formació salina: laminació mil.limètrica plana perfectament preservada, enriquiment en cations metàl.lics, absència de restes orgàniques llevat de fragments vegetals carbonitzats, suggereixen que es tracta de fàcies euxíniques.

2.2.2.2. L'ANHIDRITA BASAL

1) Introducció

La base de la formació evaporítica la constitueix una capa d'anhidrita d'escassa gruixària, que s'intercala entre les margues de Pamplona i la sal de mur.

Mentre que a la conca potàssica catalana no és possible veure en mina la capa anhidrítica basal, i només es coneix a partir de dades de sondeigs, al jaciment navarrès aquesta capa és tallada en algunes galeries de mina.

En una publicació anterior (ROSELL ORTIZ i ORTÍ CABO, 1980), vam donar ja a conèixer les característiques petrològiques d'aquesta anhidrita basal.

2) Mostratge

En mina s'han dut a terme dos mostratges de l'anhidrita basal:

-en la galeria JM 36 PT 23 (Zona Sur), i

-en la galeria general de Guendulain, a 250m del pou.

(fig. 13)

Per altra banda, hem disposat també de mostres del sondeig d'Astrain (nº 21), corresponents als metres 981, 982 i 983 de fondària, i dels sondeigs de Javier 3, en els metres 570 i 571, i d'Undués de Lerda, en el metre 562, aquests dos darrers sondeigs situats en la zona de Javier-Pintano.

3) Litofàcies

L'anhidrita constitueix una capa de 0,6 a 1m de potència que mostra coloració grisenca. Hi hem distingit tres tipus principals de litofàcies (fig. 16):

a) laminada: és el tipus de litofàcies més característica i generalitzada en tots els punts d'estudi. Consisteix en bandes d'anhidrita que alternen amb bandes de carbonat i, en menor proporció, lutita siliciclàstica (Làm. 1, fig. 1).

En algunes ocasions s'observa la presència de cristalls d'halita d'1 a 5mm, desenvolupats en làmines determinades. Les bandes anhidrítico-carbonatades, amb gruixàries entre menys d'1mm i 1cm, descriuen petites ondulacions irregulars (Làm. 1, fig. 3) . Tot i que l'estudi microscòpic no ha revelat la presència de filaments algals, moltes de les bandes de carbonat tenen un aspecte molt similar a aquelles que es formen a partir d'un algal-mat. Les ondulacions de les làmines poden ser bastant paral·leles o més irregulars i, en algunes mostres, es pot observar un trànsit entre les dues formes (Làm. 1, fig. 4). És freqüent la presència de pseudomorfs de guix, i potser també d'halita (Làm. 2, fig. 6), en les làmines, que sovint es poden observar a ull nu.

b) nodular: consisteix en nòduls de mida variable (fins a 10cm de diàmetre) que es troben individualitzats i dispersos en el sediment encaixant de l'anhidrita (Làm. 2, fig. 1), o bé connectats entre ells mitjançant contactes tangencials. En tots dos casos, es disposen en horitzons definits (Làm. 1, fig. 2). El sediment encaixant dels nòduls, és en general detrític: lutites i arenites fines, que solen presentar granoclasificació directa (nivells turbidítics entre les marques de Pamplona, Là. 1, fig. 2). Més rarament el sediment encaixant és carbonatat. És freqüent la presència de pseudomorfs de guix, amb morfologies lenticulars (Làm. 2, fig. 5). Aquesta litofàcies l'hem poguda observar tant en mina com en testimonis dels sondeigs revisats, i es troba sempre en una posició estratigràfica inferior a la litofàcies laminada que hem descrit anteriorment, és a dir, cap a la base del paquet anhidrític.

c) bandada-nodular: no constitueix una litofàcies tan característica com les anteriors, i sembla més aviat una forma de trànsit entre totes dues. És una anhidrita d'aspecte massís, però en la qual encara es poden reconèixer els nivells del sediment encaixant (lutític-carbonatat), el qual forma bandes una mica difuses, d'1 a 2cm, cada 5cm aproximadament (Làm. 1, fig. 3). Els pseudomorfs d'halita i guix són abundants. Aquesta litofàcies només s'ha observat en la zona de Pamplona.

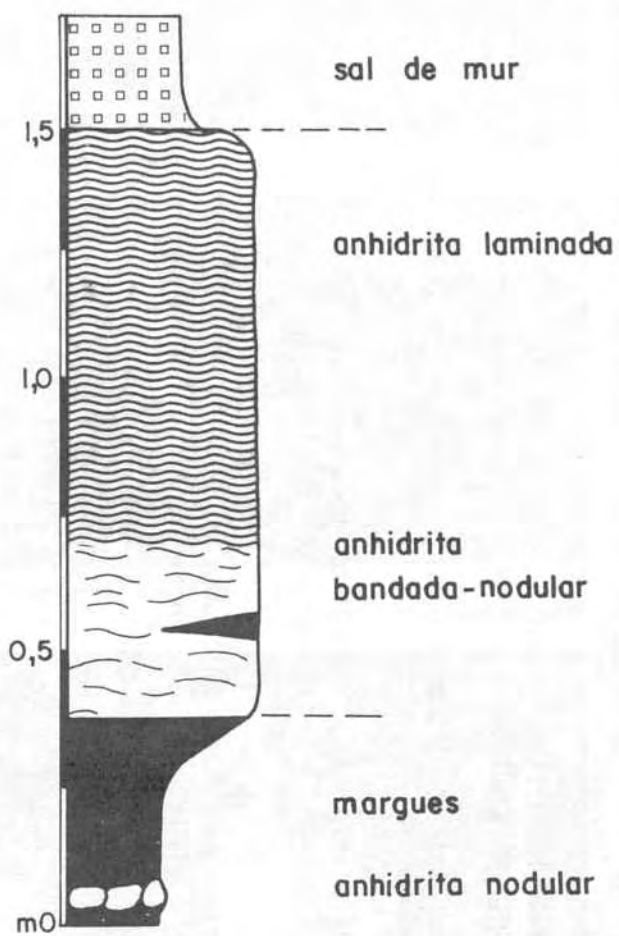
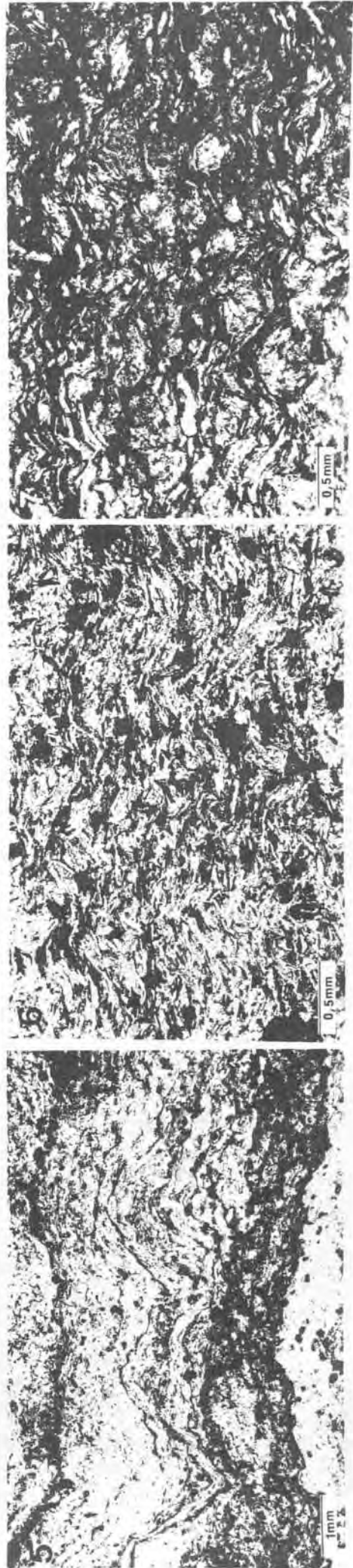


FIG. 16 Columna sintètica de les litofàcies de l'anhidrita basal.

LÀMINA I

- Fig. 1 Litofàcies laminada de l'anhidrita. Pot observar-se l'aspecte crenulat, similar a les laminacions estromatolítiques. (escala en cms)
- Fig. 2 Litofàcies nodular de l'anhidrita, desenvolupada en nivells detrítics amb granoclassificació, que s'observa molt bé en la part superior de la fotografia. (escala en cms)
- Fig. 3 Litofàcies bandada-nodular de l'anhidrita, on es poden reconèixer les bandes de sediment encaixant. (escala en cms)
- Fig. 4 Litofàcies laminada de l'anhidrita. Es pot observar un cert trànsit de laminacions més planes (a la base) a més crenulades (part superior). Testimoni del sondeig d'Undués de Lerda, a 562m. (escala en cms)
- Fig. 5 Detall de la litofàcies laminada de l'anhidrita on s'observa molt bé l'aspecte crenulat. Les bandes clares, més gruixudes, són anhidrítiques, mentre que les làmines fosques són de sediment encaixant. (llum paral.lela)
- Fig. 6 Microestructura prismàtico-crenulada de l'anhidrita, amb desenvolupament de zones microgranulars. Testimoni del sondeig d'Undués de Lerda, a 562m. (nicols encreuats)

Làmina 1



4) Microestructura

A) Anhidrita:

Per a la descripció de les microestructures anhidrítiques hem seguit la nomenclatura proposada a ORTÍ CABO i ROSELL ORTIZ (1981). Les principals microestructures que mostra l'anhidrita són les següents:

a) prismàtico-crenulada: correspon a la litofàcies laminada i consisteix en cristalls prismàtics allargats, de mida variable (entre 50 i 500µm de longitud i 10 i 100 d'amplada), que es disposen en forma crenulada i en fàbrica molt densa (Làm. 1, fig. 6). Molt sovint aquests prismes es troben doblegats i àdhuc trencats. Entre ells es presenten sovint zones d'anhidrita microgranular (Làm. 1, fig. 7). En alguns casos aquesta microestructura mostra un aspecte caòtic degut a la presència de grans cristalls, bé rectangulars (fins a 1mm de llarg i 0,3mm d'ample), bé de formes irregulars (Làm. 2, fig. 4). En algun altre cas, el paral·lelisme dels prismes amb la laminació només es manté en les zones adjacents als nivells de sediment encaixant.

b) fibroso-radiada: es presenta, en general, lligada a la litofàcies nodular i a la bandada-nodular. Consisteix en agregats radials d'individus prismàtics (poden assolir fins 1,5mm de longitud), i la part central de l'agregat sol estar ocupada per anhidrita microgranular (Làm. 2, fig. 2).

c) microgranular: sempre apareix associada a les microestructures anteriors. Sol ser la microestructura que ocupa els pseudomorfs que hem esmentat anteriorment. La mitjana de la mida dels cristalls és de 10µm (Làm. 1, fig. 7; Là. 2, fig. 2).

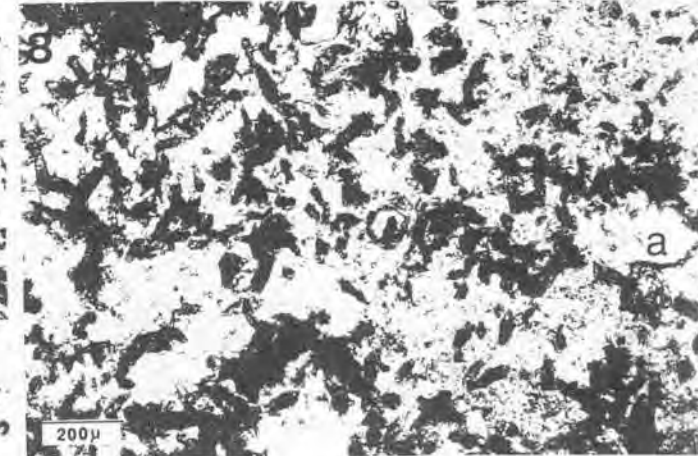
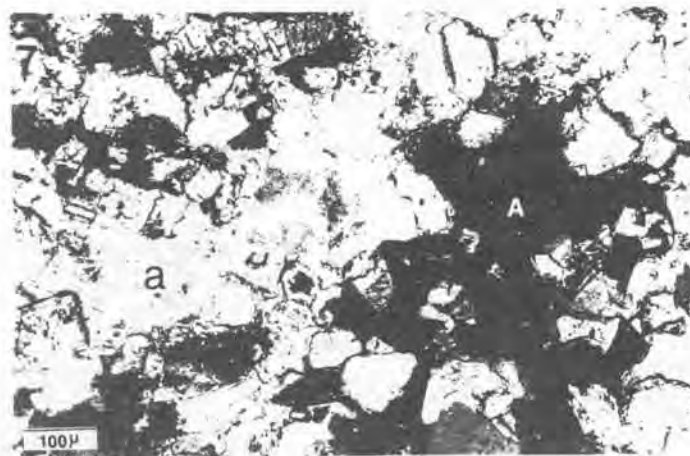
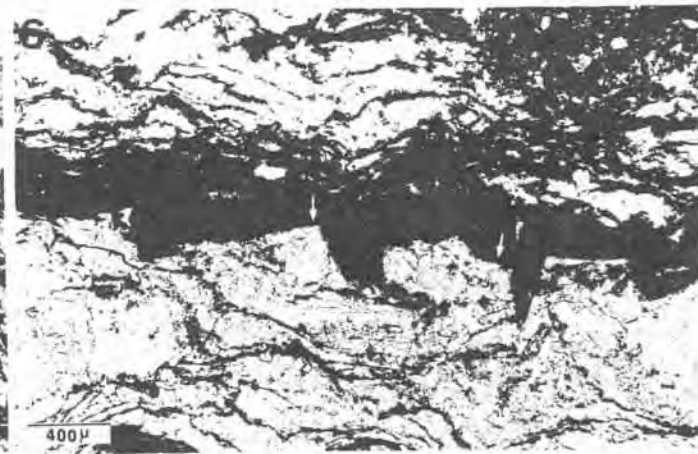
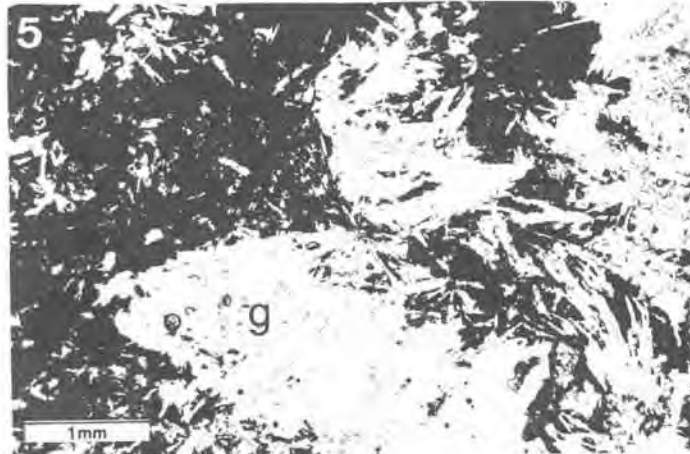
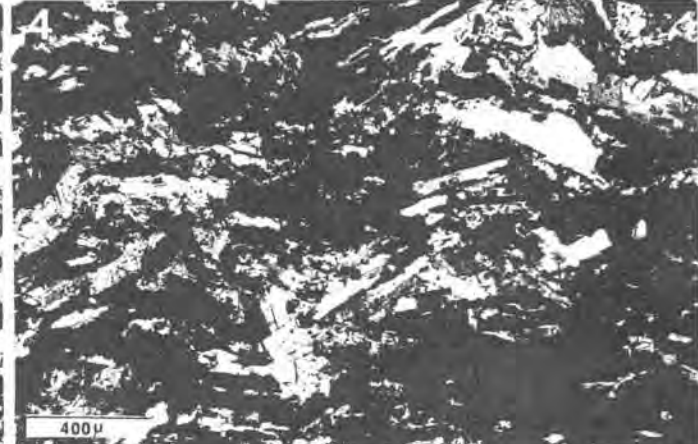
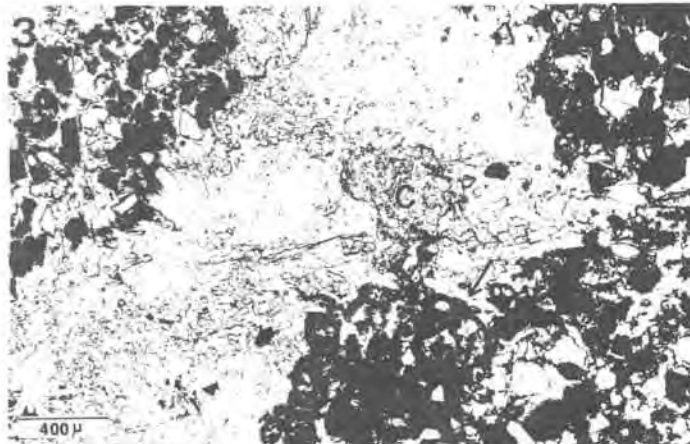
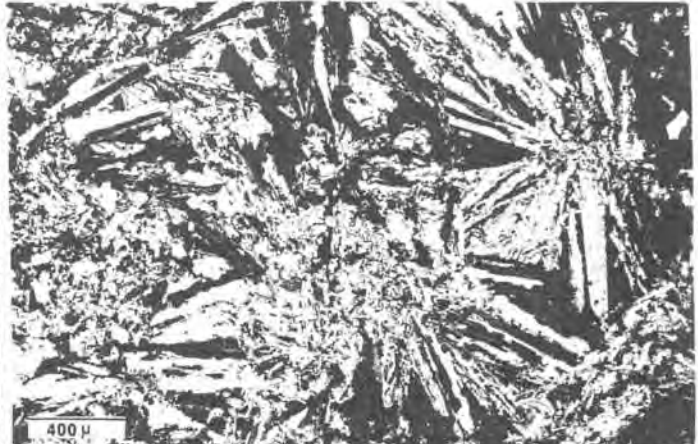
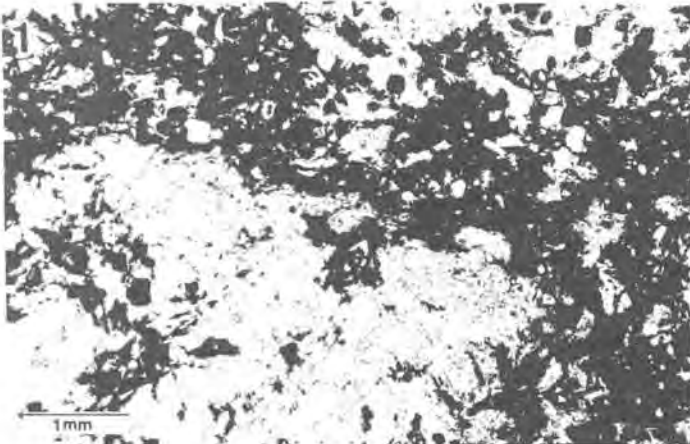
B) Sediment encaixant:

El sediment no pròpiament evaporític associat a l'anhidrita està constituït per carbonats i lutites i arenites fines

LÀMINA 2

- Fig. 1 Detall de la litofàcies nodular de l'anhidrita. S'observa molt bé el caràcter detrític del sediment encaixant, amb nombrosos grans de quars, i un bioclast (foraminífer) en el centre de la fotomicrografia. (l.p.)
- Fig. 2 Microestructura fibroso-radiada de l'anhidrita. La part central dels agregats està ocupada per anhidrita microgranular. (n.e.)
- Fig. 3 Anhidrita de microestructura fibroso-radiada, parcialment reemplaçada per celestina (c). El sediment encaixant és detrític, i es pot observar un globigerínid (fletxa). (l.p.)
- Fig. 4 Microestructura prismàtico-crenulada de l'anhidrita, amb desenvolupament de grans cristalls allargats que confereixen un aspecte caòtic a la fàbrica. Testimoni del sondeig d'Undués de Lerda, a 562m. (n.e.)
- Fig. 5 Pseudomorfs de guix lenticular (g) ocupats per anhidrita prismàtica. Litofàcies nodular de l'anhidrita. (l.p.)
- Fig. 6 Pseudomorfs d'halita (?) en la microestructura prismàtico-crenulada de l'anhidrita. En la part central de la fotomicrografia s'observa una banda micrítica. (l.p.)
- Fig. 7 Ciments d'anhidrita (a) i analcima (A), en un nivell dolomític amb abundant quars detrític. (n.e.)
- Fig. 8 Cristalls de calcita fusiforme, de tonalitat fosca, dispersos en una banda anhidrítica. Els grans cristalls transparents (a) són d'alcima. (l.p.)

Làmina 2



siliciclàstiques, predominant els primers en les litofàcies laminades, i els detrítics siliciclàstics en les nodulars.

a) components detrítics siliciclàstics: es tracta de grans de quars, moscovita, plagiòclasis, fragments de roques i fragments carbonosos (Lâm. 2, fig. 1). Associats a aquests components solen ser molt abundants els bioclastos d'equinoderms, briozous, bivalves i algues rodofícies, així com també globigerínids (Lâm. 2, fig. 3), entre altres foraminífers. Aquests nivells estan cimentats per anhidrita i dolomita i, excepcionalment, per celestina.

b) components carbonatats: entre aquests components hem distingit:

-calcita fusiforme: constitueix un hàbit molt ben definit dels cristalls de calcita. Presenta mides bastant homogènies, amb secció allargada d'uns 100µm de mitjana, i seccions transversals de tendència hexagonal (Lâm. 2, fig. 8; Lâm. 3, fig. 7). En llum paral·lela, mostren aquests cristalls una tonalitat marroquina a causa de les nombroses inclusions fosques que presenten. Poden trobar-se individualitzats i dispersos en les bandes d'anhidrita, o bé poden formar làmines (sobretot en les mostres de la zona de Pamplona) sempre, generalment, amb disposicions a l'atzar. En les làmines constituïdes únicament per aquests cristalls, solen conservar l'hàbit elongat, però de vegades són molt més equidimensionals; més rarament poden presentar sobrecreixements, que els confereixen l'aparença d'un horitzó cimentat. Calcites amb morfologies similars han estat descrites en altres dipòsits evaporítics (ANDERSON et al., 1972; SABOURAUD, 1976) i personalment hem pogut observar-les amb freqüència en sediments de guix-anhidrita. Recentment s'ha detectat la presència de calcites magnesianes de morfologia fusiforme, formant crostes d'1mm aproximadament, en salines del litoral mediterrani, tractant-se probablement de precipitats de tipus whitening (F. Ortí i J.J. Pueyo, comunicació personal).

-rombòedres de dolomita: es troben també dispersos en l'anhidrita i tenen mides variables, que oscil·len entre 15 i 200µm

(Làm. 3, fig. 4). Poden arribar a ser un constituent important en determinats nivells; en aquests casos presenten sobrecreixements i estan cimentats entre ells. Sovint presenten les vores corroïdes per l'anhidrita i en alguns casos els cristalls d'anhidrita semblen adaptar-se als de dolomita. Excepcionalment, els rombòedres més grans presenten inclusions de calcites fusiformes.

-cristalls anèdrics: són el component carbonatat de mida més gran: al voltant dels 300µm. Solen trobar-se dispersos en l'anhidrita, tot i que en alguns casos sembla que es disposin en horitzons preferents. És freqüent que es trobin associats a grans cristalls d'anhidrita, clarament posteriors, aquests darrers, a les microstructures anhidrítiques descrites anteriorment.

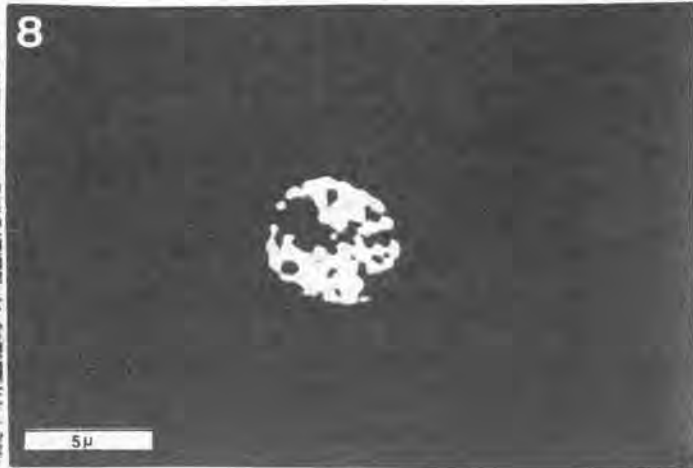
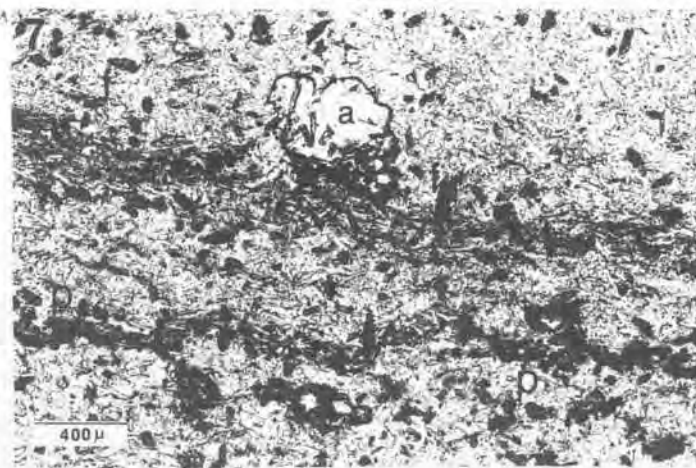
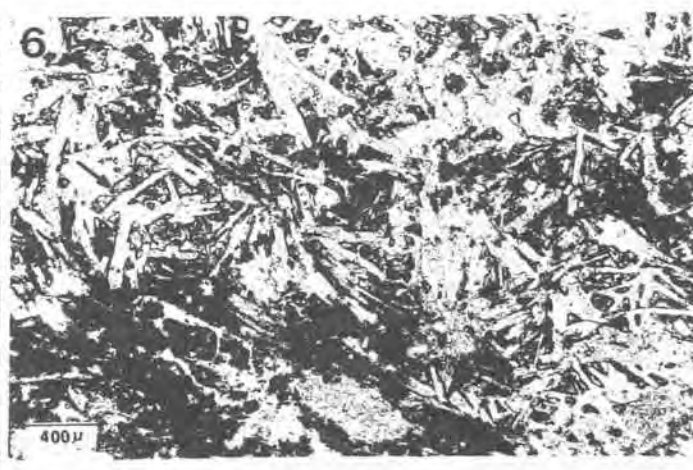
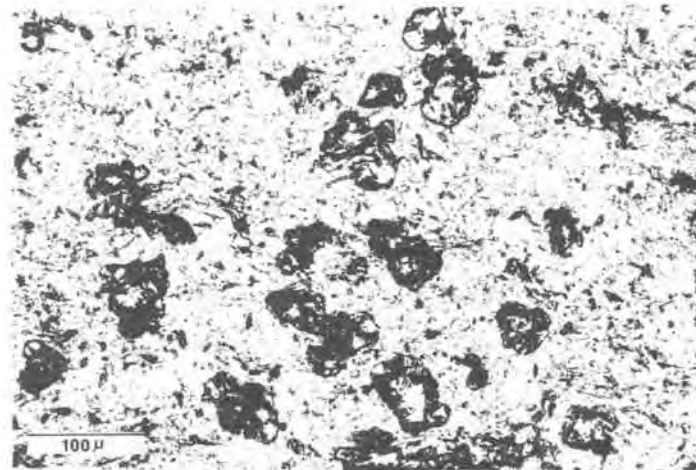
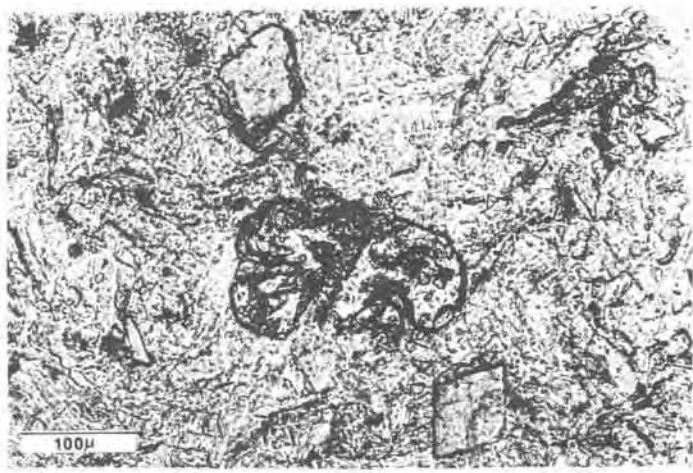
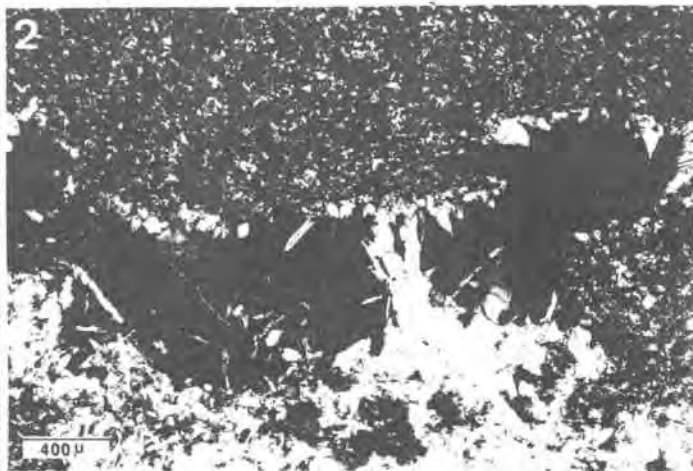
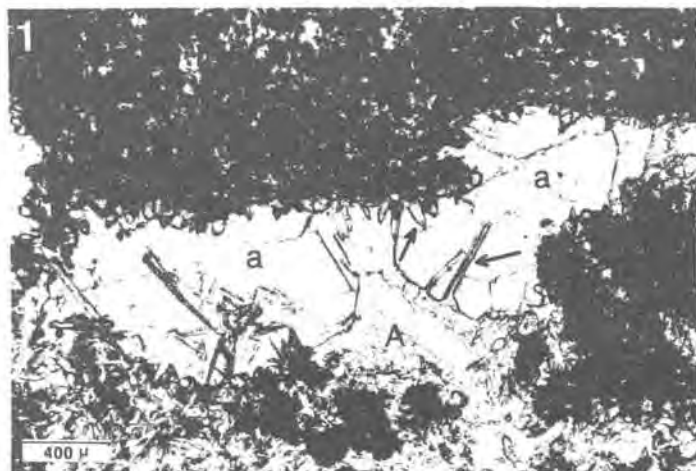
-carbonat microcristal·lí: micrita i dolmicrita són un constituent important de moltes làmines carbonatades (Làm. 2, fig. 6), associat a calcites fusiformes i rombòedres de mida gran, o àdhuc, en algunes làmines, poden ser els únics components. També ocupen posicions intersticials entre l'anhidrita.

Associats, en general, a les bandes de calcites fusiformes, es presenten també minerals opacs autigènics (Làm. 3, fig. 7), que han estat identificats com pirita mitjançant microscòpia de llum reflectida (determinació realitzada per L. Fontboté). Solen presentar hàbits euèdrics i subèdrics, i en algunes ocasions, textura framboidal (Làm. 3, fig. 8). Tenen mida variable, però generalment compresa entre 15 i 70µm. Tot i que llur presència sol ser irregular, poden formar algun nivellat continu. La presència de pirita associada a litofàcies anhidrítiques és un fet molt freqüent (DELLWIG, 1955; WARDLAW i REINSON, 1971; ANDERSON et al., 1972; DAVIES i LUDLAM, 1973; NURMI i FRIEDMAN, 1977) i s'atribueix a l'existència de condicions anaeròbies en el medi de sedimentació, i a l'activitat de bacteries sulfato-reductores. KRÍBEK (1977) atribueix la formació de les estructures framboidal a la recristal·lització de gels semiamorfs de sulfurs de ferro, que en reaccionar amb sofre elemental donen lloc a pirita, amb l'estructura ordenada framboidal. Opina aquest autor que no hi ha, en aquest procés, influència d'estructures orgàniques.

LÀMINA 3

- Fig. 1 Cristalls transparents d'analcima (a) ocupant una porositat. Mostren contorn idiomòrfic i inclusions aciculars d'anhidrita (fletxa). La vora de la porositat presenta un tapís de cristalls allargats de calcita (fletxa). La part central de la porositat està ocupada per ciment anhidrític (A). (l.p.)
- Fig. 2 Fotomicrografia anterior en nicols encreuats.
- Fig. 3 Cristall d'analcima amb abundants inclusions de cristalls prismàtics d'anhidrita, sobre una microestructura anhidrítica. (l.p.)
- Fig. 4 Cristall d'analcima (a la part central), amb algunes inclusions d'anhidrita, i rombòedres de dolomita (el de la part superior mostra les vores corroïdes) sobre una microestructura anhidrítica. (l.p.)
- Fig. 5 Cristalls d'analcima sobre una microestructura anhidrítica. La part central d'aquests cristalls és transparent, mentre que les vores presenten nombroses inclusions anhidrítiques. Els contorns són sub-euèdrics. (l.p.)
- Fig. 6 Cristalls intersticials d'analcima (fletxa), de color fosc, entre una fàbrica prismàtica d'anhidrita. (l.p.)
- Fig. 7 Microestructura prismàtico-crenulada de l'anhidrita on s'observen calcites fusiformes disperses (f), un gran cristall transparent d'analcima (a) i un nivell de pirites (p). (l.p.)
- Fig. 8 Pirita d'estructura framboidal (microscòpia de reflexió).

Làmina 3



En resum, el sediment carbonatat de les laminacions està constituït per micrita, dolmicrita, calcita fusiforme i dolomita. Comparant les dades de difracció de raigs X (veg. Anex 2) amb les tincions realitzades, sembla que els rombèdres i els cristalls anèdrics corresponen a dolomita ferrosa, i els cristalls fusiformes a calcita, també ferrosa. Tots els components carbonatats es formaren, probablement, amb anterioritat a l'anhidrita ja que aquesta s'adapta als rombèdres, i en alguns casos els corroeix, i aquests darrers poden englobar cristalls de calcita fusiforme. Aquesta evidència petrogràfica de posterioritat de l'anhidrita respecte de la dolomita, la veurem també en les anhidrites de la part superior de la formació salina. Tant les làmines de calcites fusiformes, com les de rombèdres, semblen haver-se comportat com horitzons parcialment cimentats, condicionant la dinàmica de les fàbriques cristal·lines de l'anhidrita, durant la gènesi d'aquest mineral per reemplaçament de la fase guixenca prèvia.

C) L'ANALCIMA

En nombroses seccions primes de l'anhidrita de la zona de Pamplona, es presenta un mineral de feble birefringència, gairebé isòtrop (Làm. 3, figs. 1 i 2), que mostra diferents morfologies cristal·lines. L'anàlisi mitjançant Edax revelà la presència de Si, Al i Na, com a components, i els difractogrames de raigs X, tant de mostra total de roca anhidrítica com del residu insoluble en acetat amònic d'aquesta (veg. Anex 2), van mostrar que es tractava d'analcima. Les principals morfologies cristal·lines que presenta aquest mineral són les següents:

-cristalls amb seccions des de trapezoèdriques a prismàtiques, i amb abundants inclusions de petits cristalls corroïts d'anhidrita. Degut a aquestes inclusions, els cristalls d'analcima tenen, en llum paral·lela, un aspecte gris granular, molt poc transparent (Làm. 3, figs. 3, 4 i 5). Les mides d'aquests cristalls oscil·len entre 100 i 150µm. De vegades formen agrupacions de dos o més individus, conservant parcialment o total, un contorn idiomòrfic. Més rarament, es poden associar formant àrees irregu-

lars. És freqüent que aquests cristalls es disposin seguint la crenulació de les làmines, i les possibles fàbriques que es poden deduir de les inclusions anhidrítiques que presenten no sempre reflecteixen la microestructura de l'anhidrita que els envolta.

-cristalls "intersticials". Ocupen els espais entre els cristalls prismàtics de l'anhidrita, fet que determina la seva morfologia triangular (Lâm. 3, fig. 6). Contenen, en general, menys inclusions d'anhidrita que els anteriors.

-cristalls transparents, amb molt poques inclusions d'anhidrita acicular. Es presenten omplint, totalment o parcial, porositats (Lâm. 3, figs. 1 i 7), que en alguns casos podrien correspondre a la dissolució de cristalls d'halita. Aquestes cavitats solen estar entapissades per una generació de cristalls de calcita, de mida més gran que els que es troben en les làmines, que es projecten contra l'analcima. La resta de la porositat està ocupada, en general, per cristalls anèdrics de carbonat i anhidrita. Aquests darrers, són tallats pels cristalls idiomòrfics d'analcima, mentre que les inclusions d'anhidrita acicular semblen més aviat paragenètiques amb l'analcima.

-ciment d'analcima. Es presenta només localment, en alguna intercalació dolomítica amb abundant quars detrític, associat a ciments d'anhidrita i dolomita (Lâm. 2, fig. 7) sobre els quals s'instal·la.

A partir del que acabem de descriure, sembla que l'analcima s'origina, en general, posteriorment a l'anhidrita, si bé en algun cas (com en el primer tipus morfològic descrit) podria haver una superposició en els temps de tots dos processos.

Quant a la gènesi d'aquest mineral, i deixant de banda les analcimes directament relacionades amb materials volcànics i les formades per metamorfisme de profunditat, els possibles orígens de l'analcima sedimentària citats més sovint a la bibliografia són els següents:

-precipitació directa de l'analcima, o d'un precursor col·loïdal ric en sodi (COOMBS i WHETTEN, 1967; HIGH i PICARD, 1965;

VAN HOUTEN, 1960, 1962, 1964).

-reacció de minerals de les argiles, i potser d'altres alumino-silicats, amb aigües d'elevada alcalinitat (COOMBS i WHETTEN, 1967; HAY i MOIOLA, 1963; SHEPPARD i GUDE, 1973; LINK i OSBORNE, 1978). Diversos treballs donen compte de la síntesi d'analcima en el laboratori, a partir de minerals de les argiles en ambients alcalins, a temperatures i pressions no massa elevades (NOLL, 1936; FOSTER i FEICHT, 1946).

En el nostre cas, i tal com hem comentat anteriorment, les evidències petrogràfiques indiquen que es tracta d'un mineral diagenètic format, en general, en un estadi posterior a l'anhidrita, a la qual reemplaça. No hi ha cap indicatiu de material volcànic, ni tampoc l'enterrament del dipòsit no ha estat tan important com per assolir condicions metamòrfiques, ni del grau més baix. L'única hipòtesi genètica que podem suggerir és que l'analcima s'hagi format per reacció de salmorres concentrades intersticials amb els minerals de les argiles presents en el sediment encaixant de l'anhidrita, en condicions que desconeixem.

En els casos citats a la bibliografia, és freqüent que l'analcima estigui associada a dolomita ferrosa (VAN HOUTEN, 1965; LINK i OSBORNE, 1978), associació que, com hem vist, també es presenta en el nostre cas. També és freqüent que es trobi albita associada a l'analcima, com és el cas de Lockatong Formation (VAN HOUTEN, 1965) i de Green River Formation (IIJIMA i HAY, 1968). Pel que fa a aquest darrer mineral, hem pogut observar en una ocasió, la resta d'un possible cristall d'albita autigènica, ocupant una porositat del tipus que ocupen els cristalls transparents d'analcima. En les dues cites bibliogràfiques anteriors, l'albita s'interpreta com a producte d'alteració de l'analcima, que seria la forma inicial.

2.2.2.3. LA SAL DE MUR

1) Introducció

"Sal de mur" o "sal vella" és el terme minaire per designar el paquet halític que constitueix el membre inferior de la formació salina i, al mateix temps, la base dels nivells potàssics.

A la cubeta potàssica de Pamplona, la sal de mur té un gruix mitjà de 10m, però pot variar des de poc més d'1m fins a una seixantena en zones tectonitzades. Aquestes xifres contrasten amb l'elevada potència que assoleix la sal de mur a la conca potàssica catalana: de 150 a 250m.

2) Mostratge

S'han dut a terme mostratges en les zones següents, en la sal de mur:

- acceso 1 a JM 61 (Zona Sur), dedicat únicament a geoquímica,
- acceso a JL 76 (Zona Sur), dedicat a geoquímica i a l'obtenció de làmines primes,
- FN 10 i FN 86 (Undiano), on s'han recollit mostres en diversos punts per tal d'estudiar la variació del contingut en sulfats. (fig. 13)

3) Litofàcies

La sal de mur mostra un aspecte bandat, en què alternen bandes grises amb altres rosades o blanques i on no es distingeixen els diastemes argilosos. El gruix de les bandes és d'ordre centimètric: de 2 a 10cm, aproximadament (Làm. 4, fig. 1). Les bandes grisenques estan constituïdes per grans cristalls de tipus tremuja (hopper crystal, veg. ap. 2.2.3.1./2) predominantment, amb restes argiloses disperses. Les bandes de color clar, rosades o blanques, estan constituïdes bé per cristalls de tipus tremuja, bé per cristalls d'halita clara, però es diferencien de les ante-

riors en què els fragments argilosos són pràcticament absents. Tant sols en una de les galeries de mina en què s'ha estudiat la sal de mur, s'han observat possibles estructures de tipus chevron (veg. ap. 2.2.3.1./2), molt poc desenvolupades, per sobre d'horitzons argilosos. La mida de gra varia d'1 a 5mm, i en la majoria de les mostres estudiades es situa entre 1 i 3mm. Tanmateix, les tremuges més grans solen tenir mides entre 7 i 10mm.

La part superior del paquet, prop del contacte amb la silvinita, presenta unes característiques una mica diferents de la resta, i per aquest motiu es reserva de vegades el terme "sal de mur" per a aquest tram superior, mentre que s'anomena "sal vella" la resta del paquet. Així, els diastemes argilosos són molt més marcats (amb un gruix de fins 1cm, i molt sovint mostrant boudinage) i l'aspecte, en conjunt, s'assembla més al de les halites intercalades entre la silvinita que no a la resta de la sal de mur. MENÉNDEZ (1971) dóna a la sal vella una potència de 8 a 16m, i a la sal de mur de 2 a 5m (entesos tots dos termes en aquest darrer sentit). Aquesta diferència també és observada per PUEYO MUR (1975) a la conca potàssica catalana.

4) Microestructura

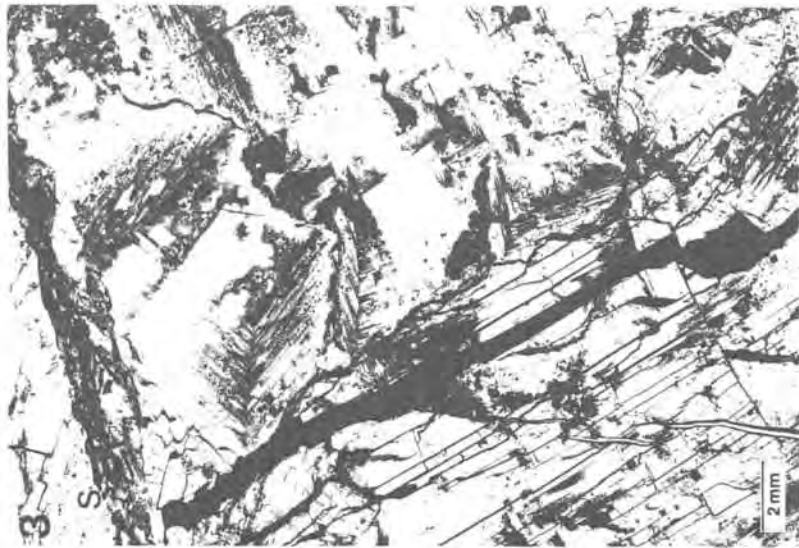
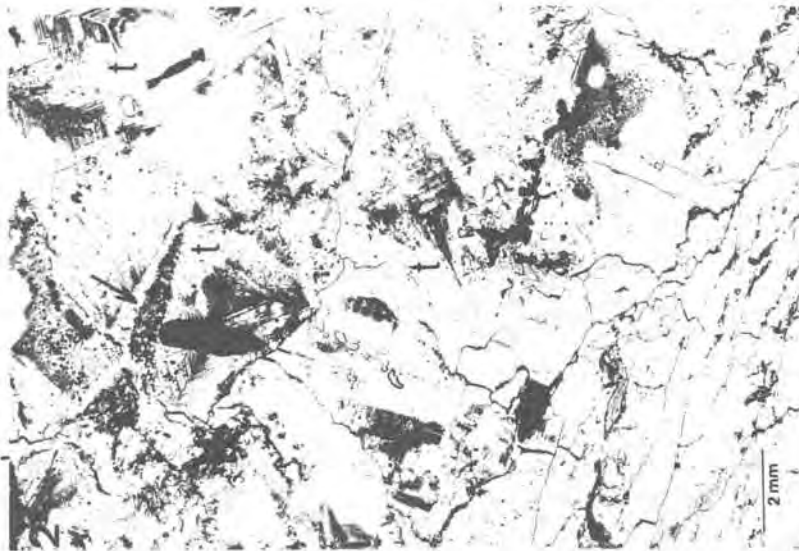
a) descripció general: la majoria de les làmines primes estudiades corresponen a un mosaic constituït per grans cristalls anèdrics de tipus mixt, amb una zona amb abundants inclusions i una altra, que sol envoltar l'anterior, constituïda per halita transparent lliure d'inclusions (halita clara) (Làm. 4, figs. 2 i 3). La seva mida oscil·la, en general, de 3 a 10mm. Les zones d'inclusions corresponen a diferents seccions de les restes de cristalls originals de tipus tremuja. En algunes làmines es pot observar com les zones d'inclusions estan afectades per dissolució i seccionades per nivells d'insolubles i sulfats (Làm. 4, figs. 4 i 5). Aquests grans cristalls mixtos van associats, de vegades, a d'altres, generalment més petits (1-3mm) i també anèdrics, d'halita clara que en algunes preparacions poden ser predominants, o formar nivells ben definits (Làm. 4, fig. 2). En aquests nivells s'ha observat, de vegades, una certa esquistositat.

LÀMINA 4

- Fig. 1 Litofàcies de la sal de mur en un testimoni del sondeig 17 (Undiano), a 473m de fondària. Pot observar-se l'alternança de bandes clares i fosques i la presència de tremuges (h) amb nuclis opacs. (escala en cms)
- Fig. 2 Microestructura de la sal de mur. Es poden observar grans nuclis de tremuges (t) envoltades per halita clara i parcialment dissolts en les vores de gra, així com zones on es concentren els sulfats (anhidrita i polihalita, fletxa). La part inferior és un nivell d'halita clara, de mida de gra menor i amb una certa orientació dels grans. (l.p.)
- Fig. 3 Microestructura de la sal de mur. Poden observar-se restes de grans tremuges, dissoltes parcialment en les vores de gra, i envoltades per halita clara, així com una banda de sulfats, de morfologia fibrosa, en la part superior (s). A la part inferior, es posen de manifest grans línies d'exfoliació en famílies paral·leles. (l.p.)
- Fig. 4 Detall de 'una tremuja parcialment dissolta i envoltada per una massa fibrosa de sulfats (polihalita predominantment). Els cristalls individuals de la part inferior són fonamentalment d'anhidrita (a). (sal de mur, l.p.)
- Fig. 5 Tremuges parcialment dissoltes i seccionades per una banda de sulfats de morfologia fibrosa (polihalita predominantment). (sal de mur, l.p.)

Làmina 4

1



4



5



Un aspecte característic és la presència gairebé constant de grans línies d'exfoliació, molt sovint en famílies paral·leles, que poden travessar, sense interrompre's, un gran nombre de grans (Làm. 4, fig. 3).

En els nivells argilosos més gruixuts poden desenvolupar-se cristalls euèdrics d'halita, que sovint estan parcialment reemplaçats per sulfats (Làm. 6, fig. 8).

b) inclusions: es tracta d'inclusions fluides, de forma generalment cúbica i mides variables (des de menys d'1µm fins a 300), però també se'n poden observar de paral·lelepípediques i tubulars (Làm. 5, figs. 1 a 4).

La majoria són líquides o gasoses. Molt sovint presenten les dues fases, constituint la fase gasosa una petita bombolla (Làm. 5, fig. 5). Més rarament poden mostrar també fase sòlida, que sol ser un cristall prismàtic de sulfat (Làm. 5, fig. 7).

Algunes de les inclusions són de color fosc, en part o totalment (Làm. 5, fig. 6). Segons PUEYO MUR (1975) es tracta d'inclusions d'argila, hematites o matèria carbonosa.
(veg. ap. 2.2.3.1./3)

c) sulfats:

-mineralogia: l'anàlisi per difracció de raigs X de vuit mostres revela la presència d'anhidrita i polihalita, amb una certa predominança d'aquesta darrera (veg. ap. 2.2.3.3./2). L'estudi microscòpic sembla confirmar aquest fet. Tot i que en alguns casos és difícil la diferenciació d'aquests dos minerals, la polihalita presenta una sèrie de característiques que permeten, en general, diferenciar-la de l'anhidrita. Així, en la polihalita:

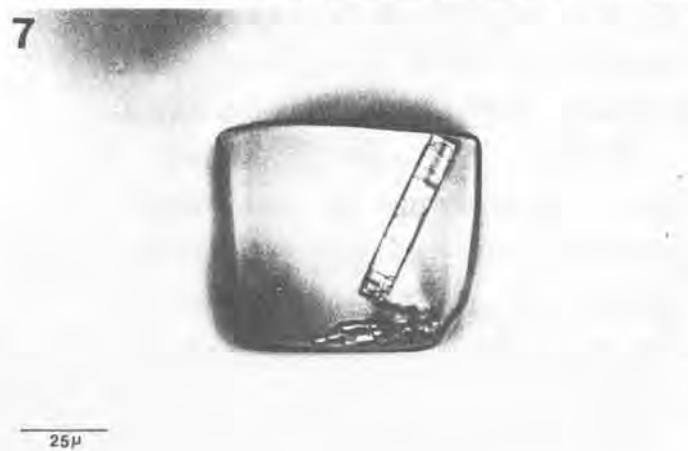
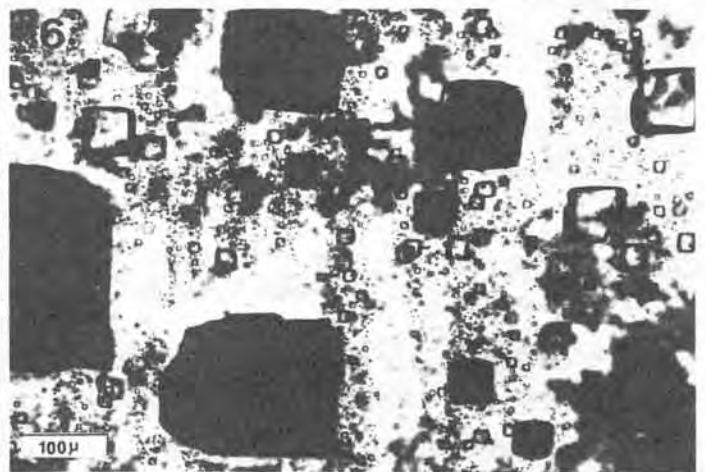
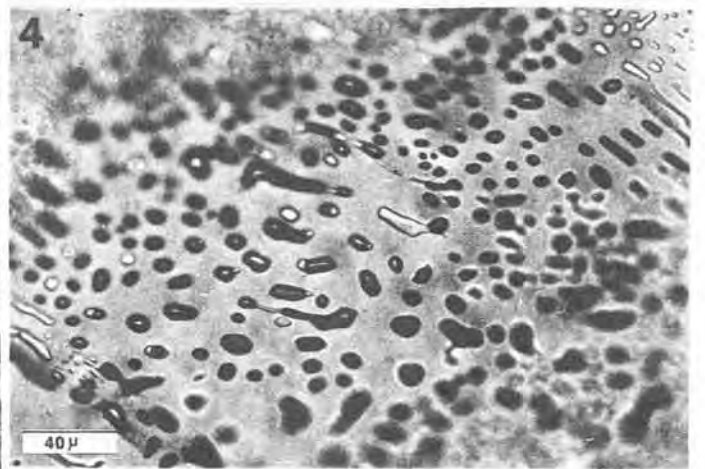
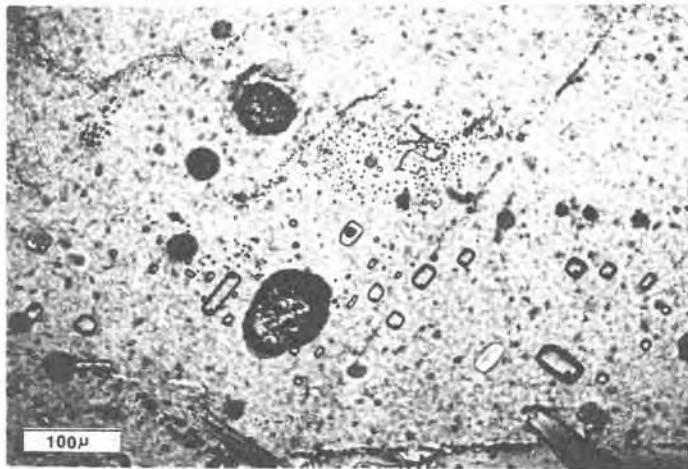
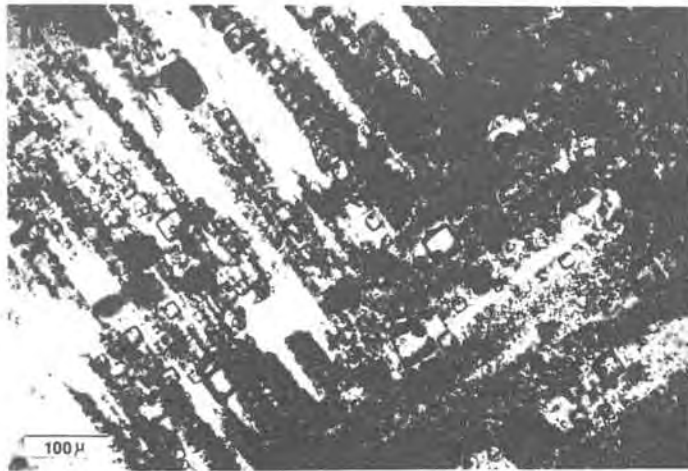
-els cristalls estan molt sovint maclats. Són freqüents les macles polisintètiques (Làm. 6, fig. 1), semblants a les de les plagiòclasis, i també una macla de quatre individus (Làm. 12, fig. 3). De vegades els cristalls presenten un aspecte molt complex a causa de les macles (Làm. 12, fig. 5).

-pot presentar colors d'interferència grisencs o grocs, o bé

LÀMINA 5

- Fig. 1 Inclusions bifàsiques en la sal de mur, disposades en angle, paral·lelament a les cares del cub. La mida de les inclusions és molt variable. (l.p.)
- Fig. 2 Inclusions bifàsiques en la sal de mur, la majoria de mida molt fina. Es pot observar, en la part dreta de la fotomicrografia, la zonació marcada per les inclusions. (l.p.)
- Fig. 3 Inclusions bifàsiques de morfologia allargada (paral·lelepipèdiques). (sal de mur, l.p.)
- Fig. 4 Inclusions de morfologia tubular en la sal de mur. (l.p.)
- Fig. 5 Inclusions bifàsiques en les quals s'observa molt bé la presència de fase gasosa, constituint una petita bombolla d'aire. (sal de mur, l.p.)
- Fig. 6 Grans inclusions de color fosc, a causa de la presència d'argila, hematites o material carbonós. (sal de mur, l.p.)
- Fig. 7 Inclusió que conté fase sòlida en forma d'un petit cristall prismàtic de sulfat. (sal de mur, l.p.)
- Fig. 8 Inclusions fluides en les sals de sostre. S'observa una gran inclusió, en posició central, que conté un cristall de sulfat de morfologia pseudo-hexagonal. (l.p.)

Làmina 5



colors vius. En el primer cas, s'observa clarament que l'extinció és obliqua. Quan mostra colors vius, pràcticament mai no arriba a l'extinció total.

PUEYO MUR et al. (1974) estudien els sulfats associats a les litofàcies salines de la conca potàssica catalana, i mostren, en forma de taula, les principals diferències petrogràfiques entre anhidrita, polihalita i kieserita.

-morfologies i mides: l'anhidrita presenta principalment formes més o menys equidimensionals o, de vegades, lleugerament allargades perpendicularment a l'exfoliació. Aquests cristalls equidimensionals poden formar agrupacions en alguns casos (Làm. 6, fig. 3).

La polihalita presenta hàbits variats i, com hem dit anteriorment, és freqüent la presència de cristalls maclats. Entre els cristalls individuals les formes més freqüents són:

- .prismàtiques: solen tenir un aspecte fibrós a causa de la complexitat dels colors d'interferència (Làm. 6, fig. 6)
- .romboïdals: és freqüent que presentin un sol costat ben desenvolupat
- .cristalls en forma de "pines": són molt típics i estan constituïts per una macla de quatre individus (Làm. 6, fig. 2)
- .formes irregulars

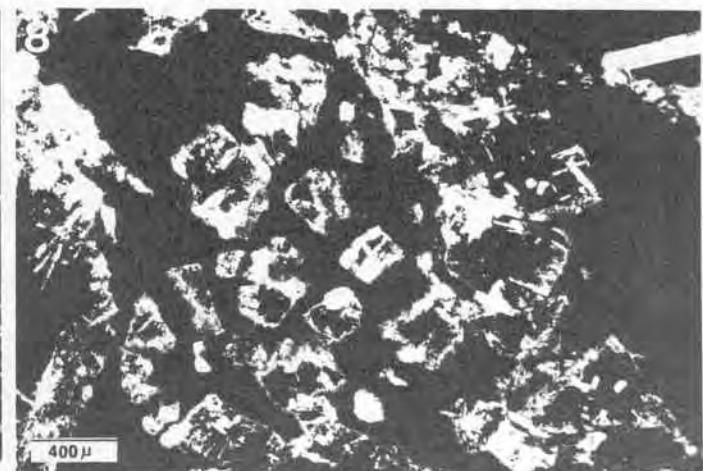
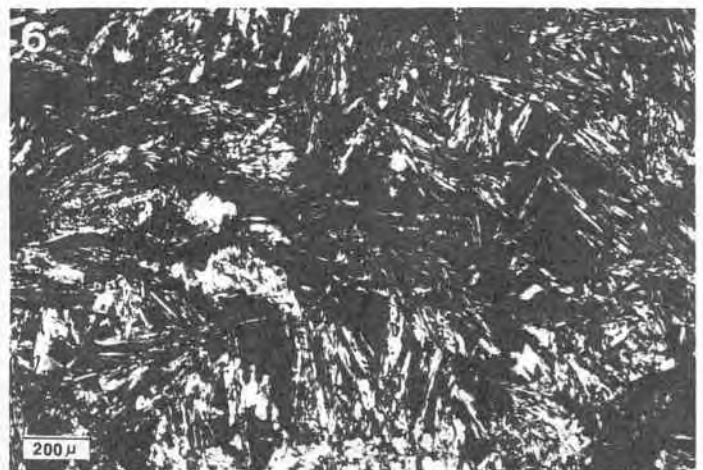
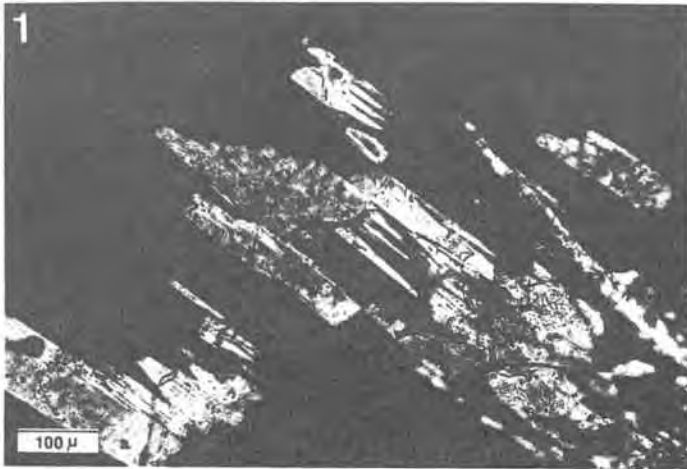
Entre els agregats les varietats predominants són:

- .masses fibroses: estan constituïdes per cristalls prismàtics que es disposen paral·lelament entre ells i sovint el conjunt es disposa també paral·lelament al contorn dels grans (Làm. 6, figs. 4 i 5). És freqüent que a partir d'aquestes masses es projectin cap a l'halita cristalls allargats, molt més grans i generalment acabats en punta o en punta arrodonida (Làm. 6, fig. 5); formes similars han estat descrites per SCHALLER i HENDERSON (1932). Ocasionalment, aquestes masses poden presentar un caràcter més compacte, perdent una mica l'aspecte fibrós. De vegades s'associen al conjunt cristalls equidimensionals d'anhidrita (Làm. 6, fig. 4).

LÀMINA 6

- Fig. 1 Cristall de polihalita on s'observen macles polisintètiques. (sal de mur, n.e.)
- Fig. 2 Cristall maclat de polihalita amb morfologia molt típica en forma de "pinces". (sal de mur, n.e.)
- Fig. 3 Agrupació de cristalls d'anhidrita de formes equidimensionals. (sal de mur, n.e.)
- Fig. 4 Massa fibrosa de polihalita i cristall rectangular d'anhidrita (a) en el qual s'observen molt bé les línies d'exfoliació. (sal de mur, n.e.)
- Fig. 5 Massa de polihalita fibrosa i microgranular, envoltada per cristalls prismàtics de mida més gran, alguns maclats, i acabats en punta. La figura 1 d'aquesta làmina n'és un detall. (sal de mur, n.e.)
- Fig. 6 Massa de polihalita fibrosa. (sal de mur, n.e.)
- Fig. 7 Agregat radial de polihalita. (sal de mur, n.e.)
- Fig. 8 Cristalls euèdrics d'halita, associats a insolubles, reemplaçats parcialment per cristalls incipients de polihalita i algun petit cristall d'anhidrita. (sal de mur, n.e.)

Làmina 6



.agregats radials, a voltes esferulítics (Làm. 6, fig. 7). ORTÍ CABO i PUEYO MUR (1980) descriuen formes similars en la polihalita de la conca del Tajo (Miocè) i mostren que estan constituïdes per cristalls tabulars.

És freqüent observar desenvolupaments incipients de polihalita que mostren coloracions grisenques. Aquests desenvolupaments s'han observat en reemplaçaments de cristalls d'halita o constituint la part més externa de creixements esferulítics o fibrosos, i, de vegades, creixent a partir de les línies d'exfoliació (Làm. 6, fig. 8). SCHALLER i HENDERSON (1932) citen desenvolupaments de característiques similars que atribueixen a esferulits incipients (phantom spherulites), els quals atenyerien de seguida la longitud definitiva, i s'anirien engruixint més lentament.

Les mides d'aquests cristalls són també molt variables. Els equidimensionals solen oscil·lar entre 80 i 100µm de diàmetre i els prismàtics entre 20 i 30µm d'amplada i 100 i 200 de llargada. Aquests intervals corresponen a mides mitjanes però no són representatius de la varietat de mides existents.

-distribució: poden trobar-se associats a les zones d'insolubles, però també dispersos en l'halita, tant a l'interior dels grans com a les vores.

Els cristalls euèdrics d'halita que es troben en els nivells d'insolubles mostren sovint un reemplaçament per cristalls de sulfats (anhidrita i polihalita) que pot ser parcial o bastant complet (Làm. 6, fig. 8).

d) insolubles: generalment es troben formant taques disperses en l'halita, tot i que de vegades formen nivells continus. Estan constituïts per una fracció argilosa i una micrita de composició magnèsítica (veg. ap. 2.2.3.5. i 2.2.3.4.).

2.2.2.4. LA SILVINITA

1) Introducció

Amb aquest terme, d'ús tradicional en mineria, designem el conjunt del paquet potàssic constituït per cicles d'halita i cicles de silvita-halita, i també cadascun dels cicles que inclouen un terme silvític ("capa" de silvinita).

El paquet de silvinita es troba immediatament per sobre de la sal de mur (fig. 14) i té una potència mitjana de 2m. En mina, és designat també com "capa A". Està constituït per cicles on la seqüència ideal seria:

insolubles → halita → silvita → halita → insolubles

però que poden presentar moltes variacions. Aquests cicles alternen amb altres constituïts únicament per halita i insolubles (figs 17, 18 i 19).

La gruixària dels cicles és d'ordre centimètric. En la zona on es dugué a terme el mostratge, el gruix dels cicles de silvinita oscil.lava de 4 a 14cm, i la mitjana estava al voltant dels 6cm.

El paquet està constituït per 18 capes de silvinita, algunes de les quals poden presentar més d'un terme silvític. Entre elles n'hi ha que mostren una disposició característica dels diferents termes, fet que permet identificar-les en diferents parts de la mina (nivells guia). És el cas de les capes 7, 8, 16 i 18 (Lâm. 7, figs. 3 i 4). Segons MENÉNDEZ (1971), en casos en què el paquet de silvinita s'esterilitza i desapareixen capes, la 7 i la 8 són les darreres que es perden. Cal remarcar que, tant en zones on el paquet té potència reduïda per estirament, com en altres on ha sofert un engruiximent, solen conservar-se perfectament les 18 capes de silvinita amb llurs sals intermèdies. Les capes 1 i 2 són les que més sovint es perden (MENÉNDEZ, 1971).

A la cubeta de Pamplona no es presenta el nivell de sals intermèdies que a la conca catalana divideix en dues parts el paquet de silvinita (sal entre dos).

Fig. 17 Columna de la silvinita: a) successió tipus (P.D.N.);
b) successió a JM 61, a 20m ventilador (Zona Sur). A
la part dreta de les columnes s'indica la numeració de
les capes (1 a 18).

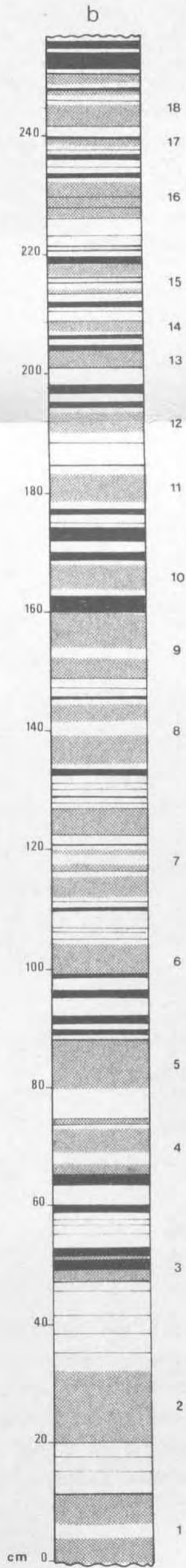
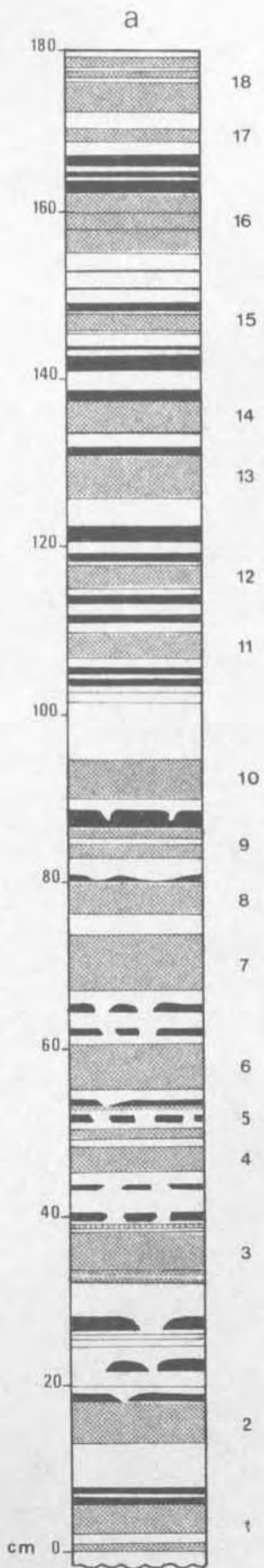
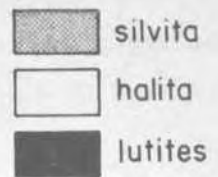


Fig. 17



2) Mostratge

S'ha efectuat un mostratge complet de les 18 capes de silvinita, així com dels nivells halítics intermedis, a JM 61 (Zona Sur), a 20m del ventilador. També es va dur a terme un mostratge reduït a la cabeza de tajo 52 (Undiano).

A la Zona de Cámaras (galeria de la cinta) d'Esparza i a FN 10 (Undiano) es van recollir algunes mostres soltes amb nòduls d'anhidrita.

(fig. 13)

3) Litofàcies

A) Capes de silvinita:

En les capes de silvinita el cicle ideal està constituït per la successió:

insolubles → halita → $\begin{matrix} \text{silvita, o} \\ \text{silvita-halita} \end{matrix}$ → halita → insolubles

Aquesta seqüència ideal la trobem, per exemple, en la capa 12. Les capes 10 i 11 (Làm. 7, fig. 2) constitueixen també cicles molt propers a l'ideal, però amb desenvolupament de làmines argiloses en els dos nivells halítics, inferior i superior. Altres variacions consisteixen en la repetició del terme silvític (capes 7, 8, 9, 15, 18, veg. Làm. 8), en l'absència o extrema reducció del terme halític inferior i/o superior (capes 13, 14, 16), etc (fig. 18).

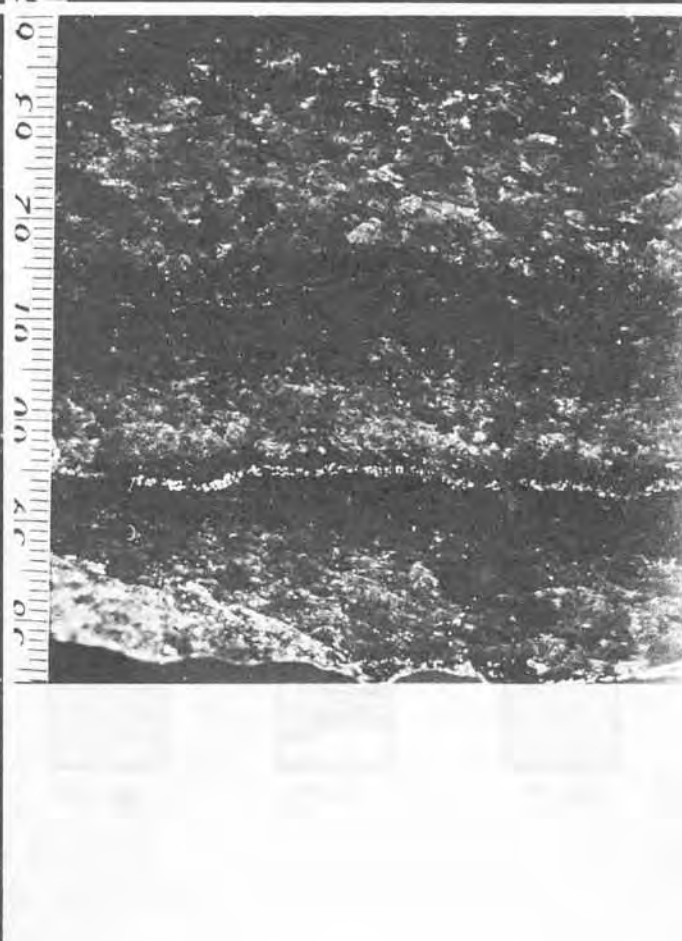
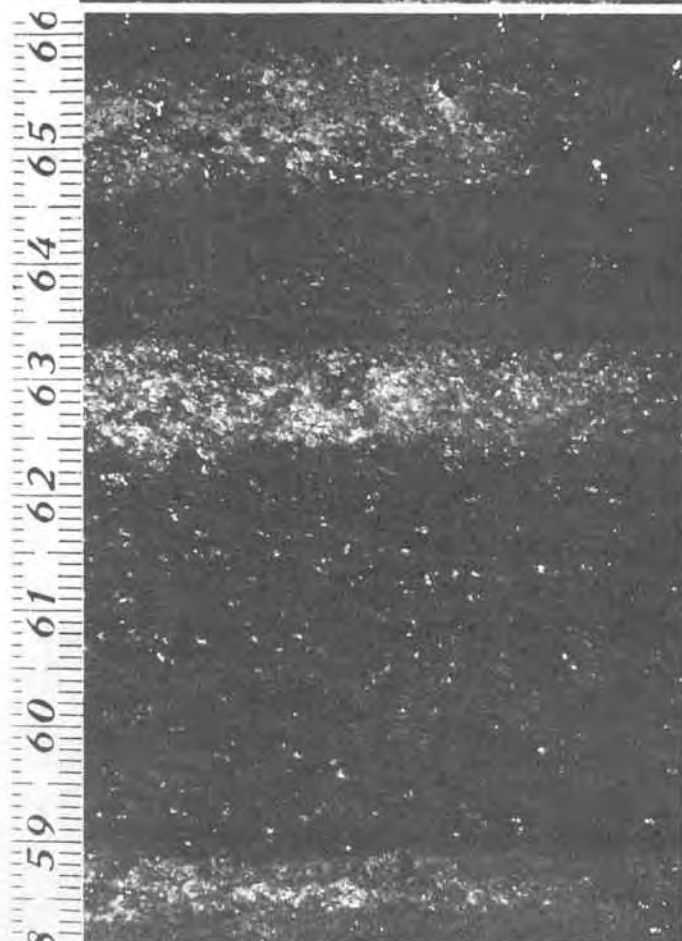
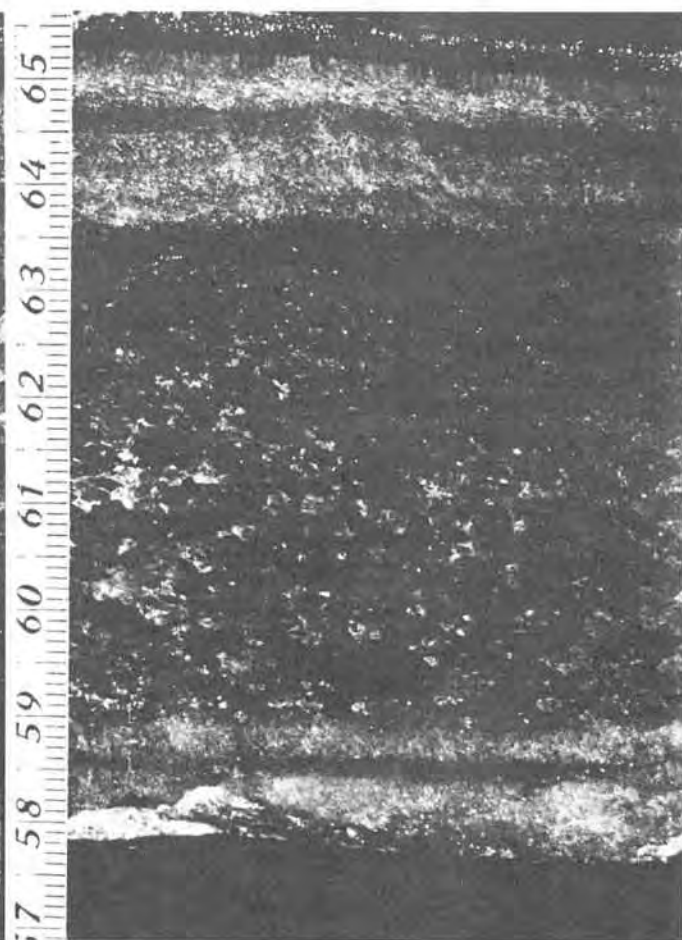
L'aspecte macroscòpic del terme silvític no és homogeni, sinó que s'observen una sèrie de variacions, relacionades fonamentalment amb dos factors: el color i la mida de gra.

Una varietat característica la constitueixen capes de gra gruixut i de color rosat (varietat granulada clara de MENÉNDEZ, 1971). La mida de gra mitjana que presenten és de 5mm i tenen un caràcter molt friable. Una altra característica n'és la presència de petits grans blaus cúbics de composició halítica (determinació realitzada mitjançant anàlisi amb Edax), disseminats entre

LÀMINA 7

- Fig. 1 Detall de la capa 1 de silvinita. S'observa el color rosat i la mida gruixuda dels grans, així com petits punts blaus que corresponen a cristalls d'halita. A la base, halita de gra més fi i color blanc. (escala en cms)
- Fig. 2 Capa 11 de silvinita. El terme silvític central presenta granoclassificació i una certa orientació dels grans; la part més superior del terme, de gra més fi, mostra color vermell més intens. Els dos termes halítics, inferior i superior, presenten làmines d'insolubles intercalades. (escala en cms)
- Fig. 3 Part inferior de la capa 7 de silvinita. Es poden observar tres termes silvítics. A la Làmina 8 es mostra la microestructura d'aquesta capa. (escala en cms)
- Fig. 4 Capa 16 de silvinita. S'observa la presència de tres cicles, tots constituïts quasi únicament per silvita. Tots tres mostren granoclassificació i la part superior de cada terme, amb menor mida de gra, presenta coloració vermella més intensa. (escala en cms)

Làmina 7



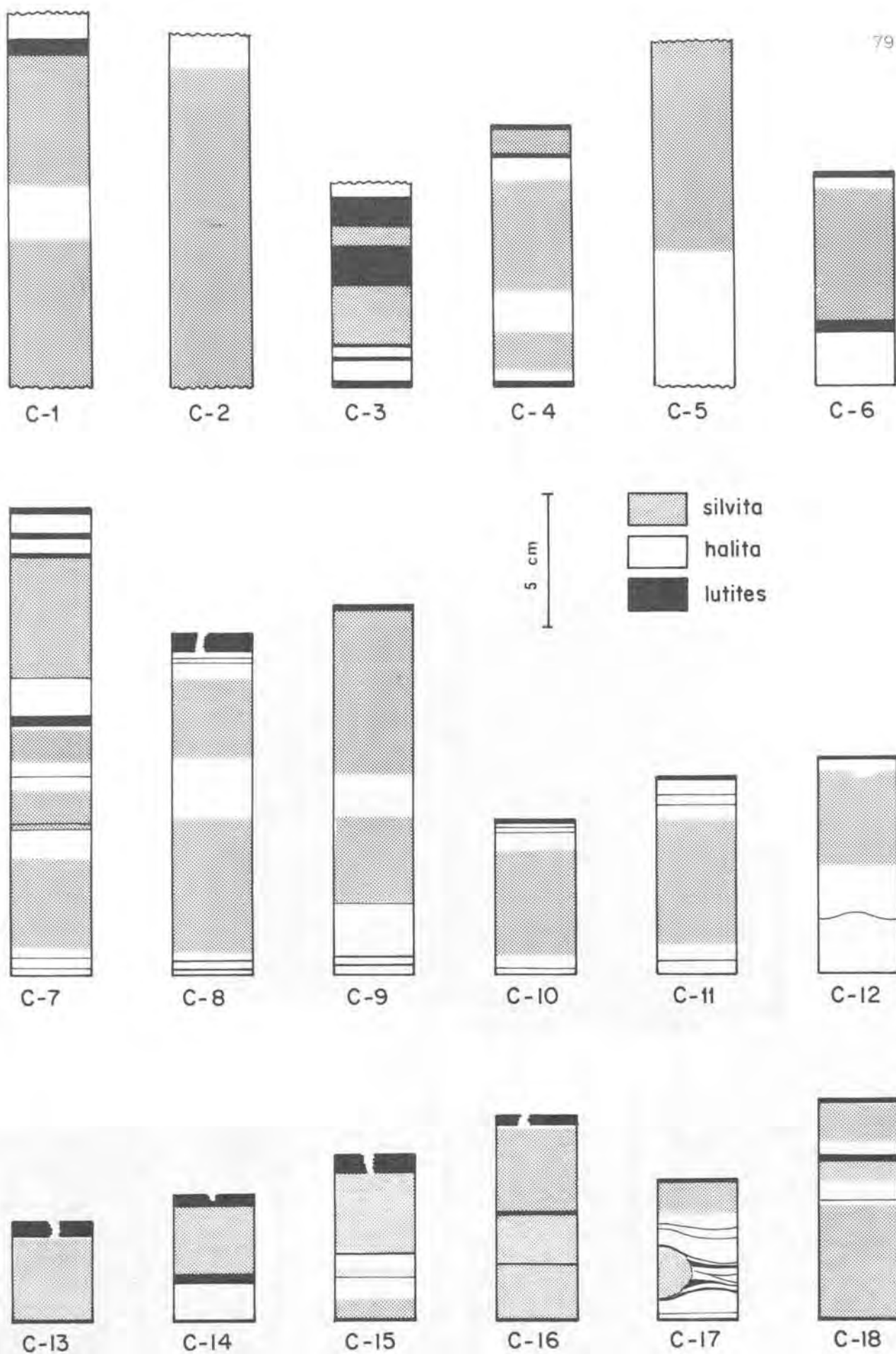


FIG. 18

Cicles de les 18 capes de silvinita.

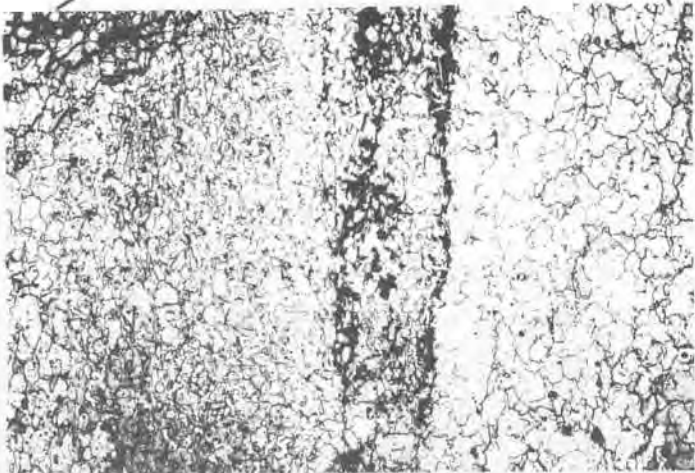
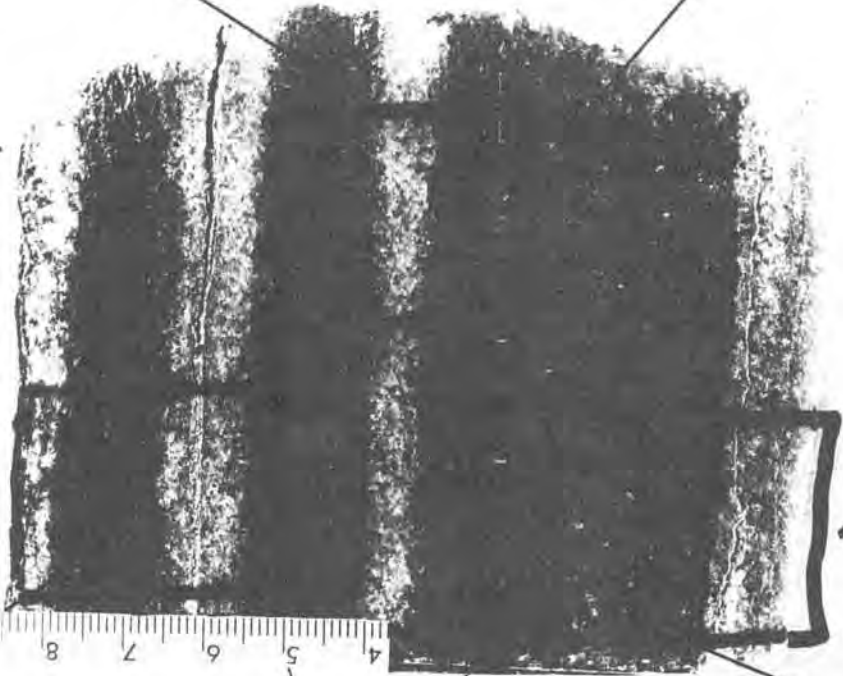
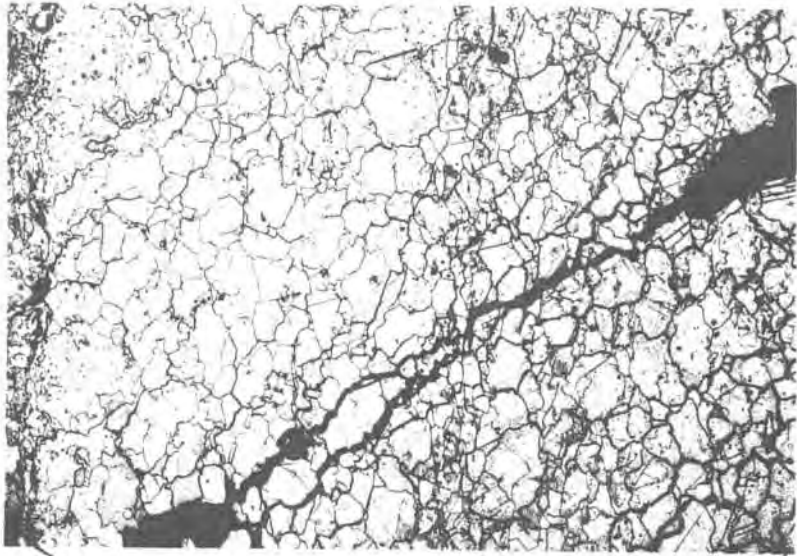
LÀMINA 8

Detalls de la microestructura de la part inferior de la capa 7 de silvinita.

- a. Litofàcies i localització de les fotomicrografies. (escala en cms)
- b. Microestructura del terme silvític inferior. S'observa molt bé el caràcter monomineral. (l.p.)
- c. Terme silvític inferior i segon terme halític, que presenta una proporció elevada de cristalls de silvita.
- d. Microestructura de la part superior de la capa. Destaca un nivell complex d'insolubles en la part central, la base del qual correspon probablement a un horitzó de dissolució. El terme silvític superior presenta una elevada proporció d'halita, que mostra localment morfologies subèdriques o euèdriques. A la part inferior s'observa un trànsit gradual del terme silvític a l'halita. (l.p.)

Làmina 8

a
↑



els grans de silvita. A la zona on hem efectuat el mostratge principal, corresponen a aquesta varietat les capes 1 i 2, i també la 5 (Làm. 7, fig. 1).

La resta de capes tenen coloració rogenca, que pot ser més o menys intensa i, en general, sembla que quan menor és la mida de gra més intensa és la coloració vermella (Làm. 7, fig. 4; varietats granulada oscura i roja común de MENÉNDEZ, 1971); aquest fet també s'observa en les silvinites de la conca d'Alsàcia (BRATTSCH, 1971). Algunes d'aquestes capes poden presentar també els petits grans blaus d'halita citats anteriorment (capes 4 i 6).

En algunes capes s'observa, a ull nu, l'existència de granoclassificació en el terme silvític, per exemple en la capa 16, constituïda per tres cicles de silvinita, on el terme halític està molt poc desenvolupat; en cadascun dels tres cicles es pot observar la granoclassificació (Làm. 7, fig. 4 i Là. 9, fig. 2).

En algunes galeries de la mina (Zona de Càmaras, galeria de la cinta; FN 10, Undiano) s'han observat petits nòduls d'anhidrita (des d'alguns mm fins a 1-2cm) associats al paquet de silvinita, bé dins dels diastemes argilosos, bé dins de la silvinita, i també en la sal de mur immediatament inferior. Tot i que no eren únicament superficials, no s'ha pogut comprovar llur extensió i distribució.

B) Halites intermèdies:

En els nivells d'halita intercalats entre les capes de silvinita, la successió que s'observa és l'alternança de nivells d'insolubles i halita (fig. 19). La gruixària d'aquests nivells halítics oscil·la entre 2 i 12cm (el gruix més freqüent entre 5 i 7cm), i estan interromputs per diastemes argilosos que poden variar des de fines pel·lícules de menys d'1mm fins a nivellats gruixuts d'1cm o més (fins a 2,5cm). És freqüent que aquests nivells mostrin boudinage.

En general, aquestes halites intermèdies entre capa i capa de silvinita solen mostrar una coloració rosada, mentre que els termes halítics que formen part dels cicles de silvinita solen

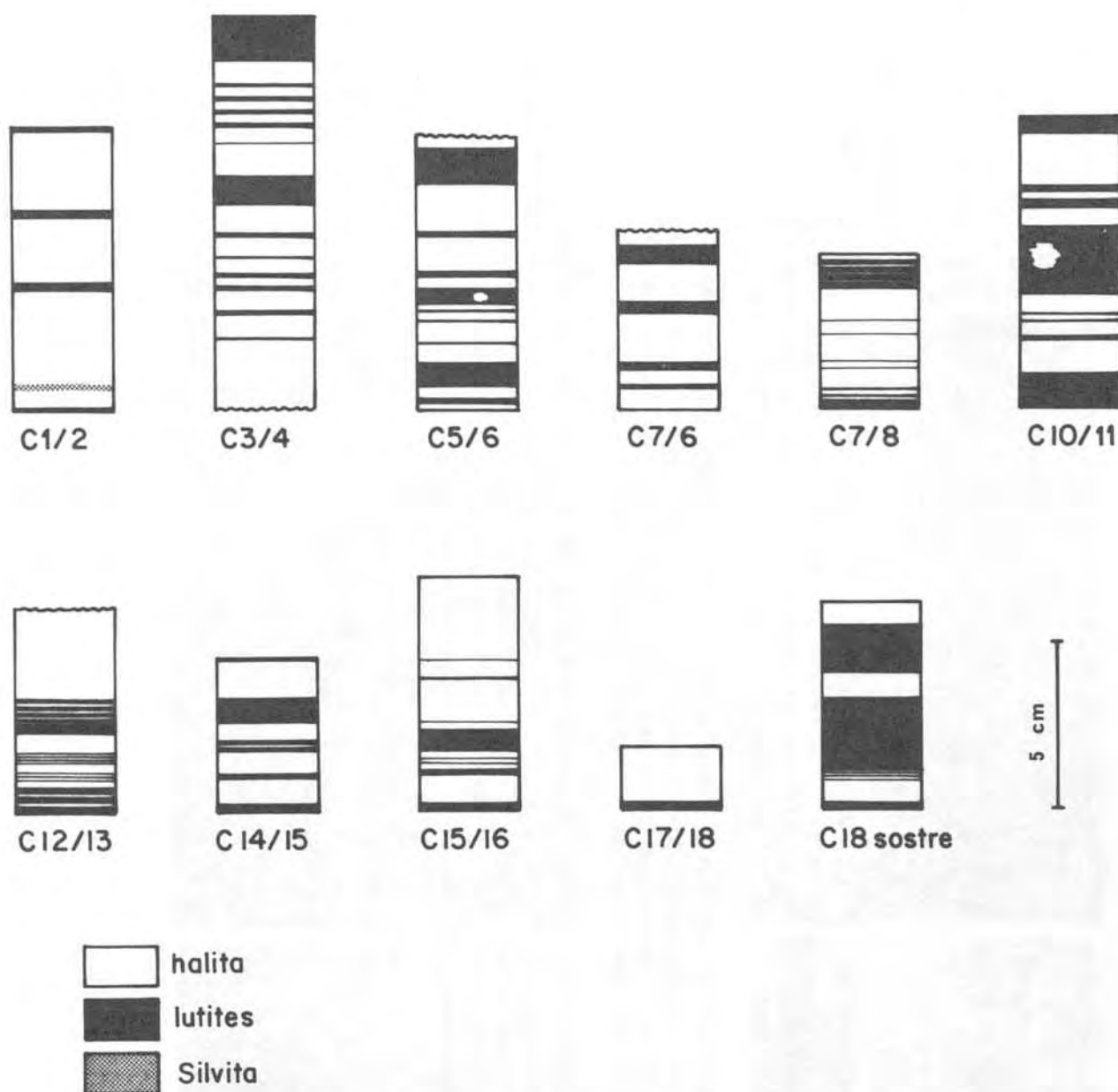


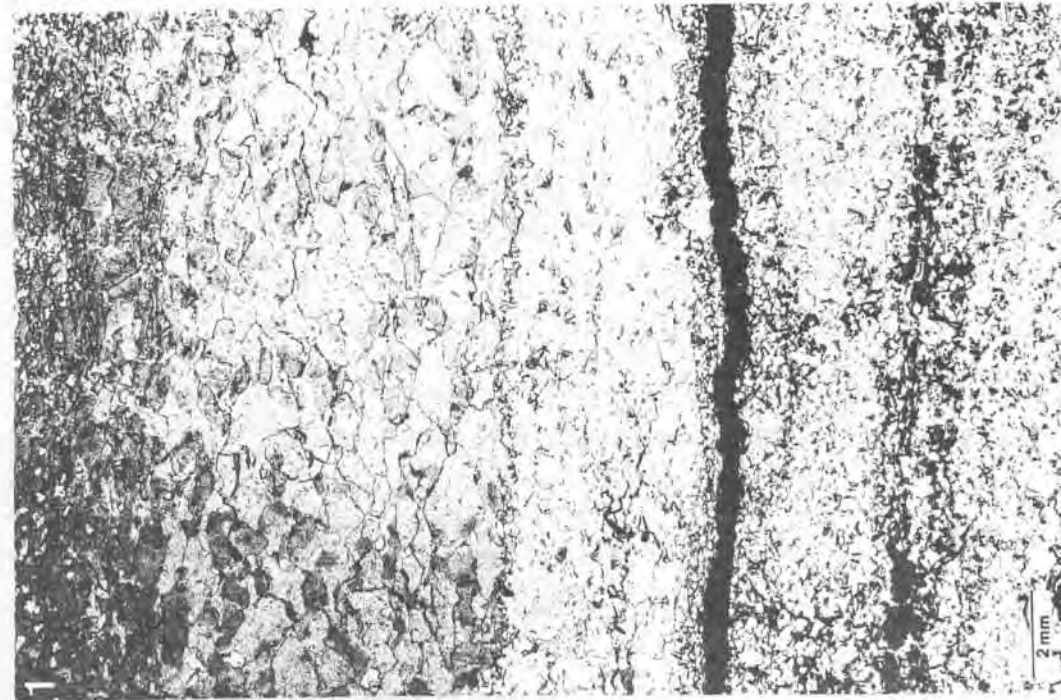
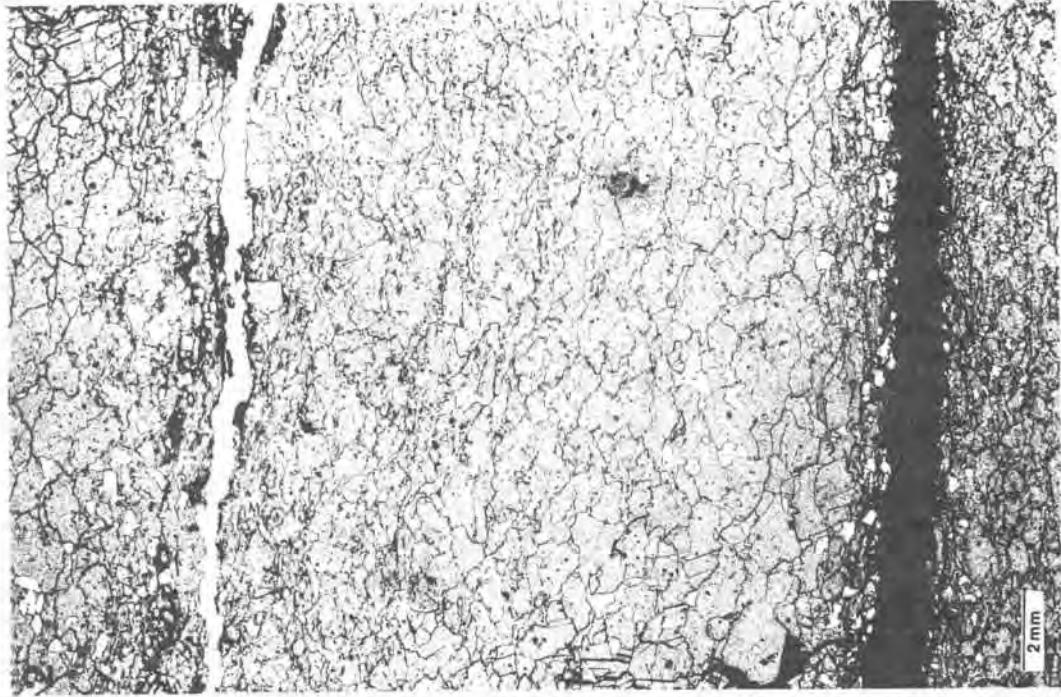
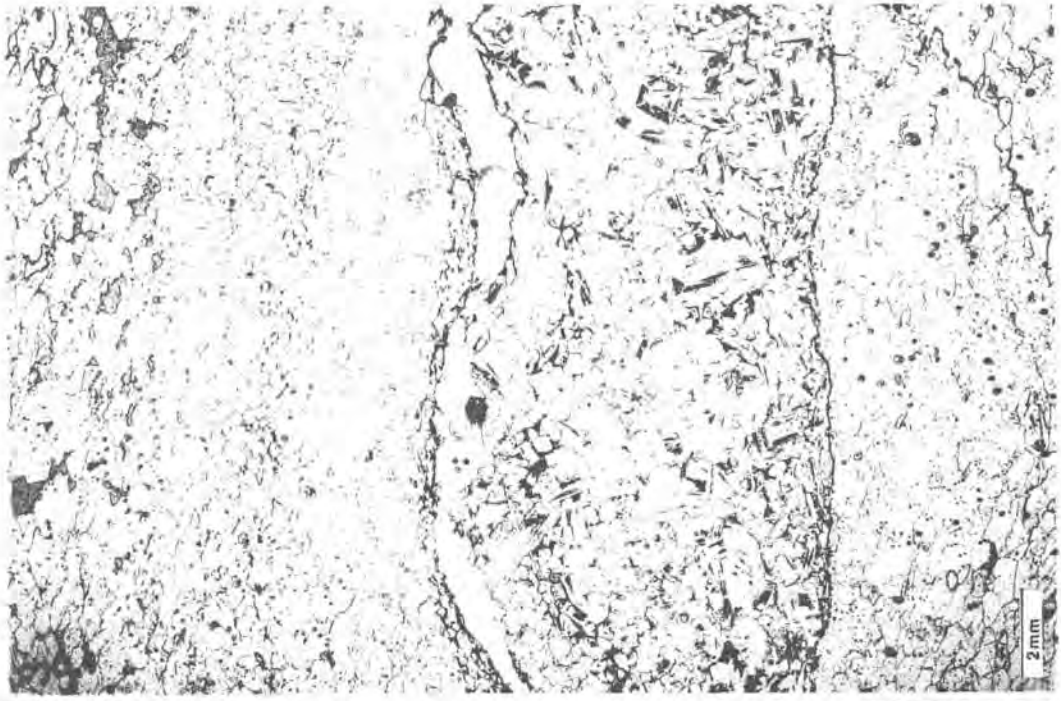
FIG. 19

Cicles de les halites intercalades entre les capes de silvinita. La numeració correspon a les capes de silvinita entre les quals s'intercalen.

LÀMINA 9

- Fig. 1 Microestructura de la capa 17 de silvinita. Pot observar-se el trànsit brusc de l'halita al terme silvític, així com el caràcter extremadament monomineral d'aquest darrer, i la presència de granoclassificació directa en la silvita. L'halita inferior és predominantment clara, amb restes disperses d'inclusions, associades especialment al nivell d'insolubles. (l.p.)
- Fig. 2 Detall de la microestructura del cicle central de la capa 16 de silvinita. Pot observar-se el caràcter monomineral acusat, sobretot en la part superior del cicle, així com l'existència de granoclassificació directa. Destaca l'absència d'un terme halític ben desenvolupat a la base del cicle, per sobre de l'horitzó d'insolubles. (l.p.)
- Fig. 3 Microestructura del nivell inferior d'halita de la capa 12 de silvinita. Pot observar-se la gran acumulació de tremuges en la part central, limitada en la base i en el sostre per horitzons de dissolució. L'halita inferior i superior és predominantment clara, amb restes d'inclusions disperses. En la part superior poden observar-se cristalls de silvita (de color fosc), precursors del terme silvític suprajacent. (l.p.)

Lámina 9



tenir una coloració blanca. Tenen mida de gra fina i localment es pot observar algun cristall més gran de tipus tremuja, associat en general als diastemes argilosos.

4) Microestructura

a) descripció general: la microestructura és essencialment granular. Tant la silvita com l'halita mostren sovint granoclassificació i esquistositat. La granoclassificació, especialment paleosa en els termes silvítics, pot ser directa, inversa o mixta. En aquest darrer cas, la mida de gra sol augmentar cap a la part central del cicle i disminuir cap a la base i cap al sostre (inversa→directa). L'esquistositat pot ser paral·lela a l'estratificació o formar-hi un cert angle, que sempre és baix.

b) característiques de la silvita: el nucli de les capes silvítiques té, en la majoria dels casos, un caràcter monomineral bastant acusat (Làm. 8, figs. a i b; Là. 9, figs. 1 i 2). El pas entre els termes de silvita i els d'halita és generalment gradual, de manera que es produeix el relleu de mineralogies per increment progressiu en la proporció del mineral que es farà predominant (Làm. 10, fig. 4). En alguns casos el canvi de mineralogia és més sobtat (Làm. 9, fig. 1) i en altres va associat a la presència d'una pel·lícula d'insolubles, que podria representar un nivell de dissolució (Làm. 10, figs. 3 i 5).

La silvita es presenta quasi sempre en forma de grans anèdrics generalment deformats per l'esquistositat. En els nivells en què apareixen silvita i halita, els contactes entre tots dos minerals són molt característics ja que aquesta darrera presenta contorns convexos mentre que la silvita els mostra còncaus (Làm. 8, fig. b; Là. 10, fig. 4). Aquest fet ha estat apuntat també per altres autors (BRAITSCH, 1971; PUEYO MUR, 1975; NURMI i FRIEDMAN, 1977).

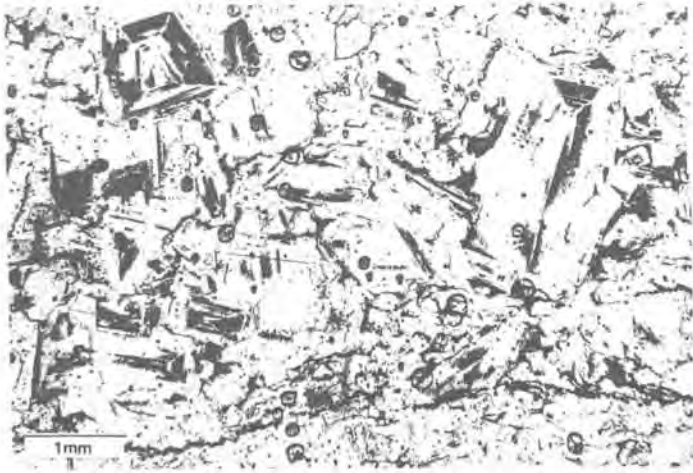
En algun cas en què s'ha observat silvita associada a insolubles, presentava formes subèdriques o euèdriques (quadrades o rectangulars; Là. 11, fig. 3).

Al microscopi, els grans de silvita poden mostrar un to

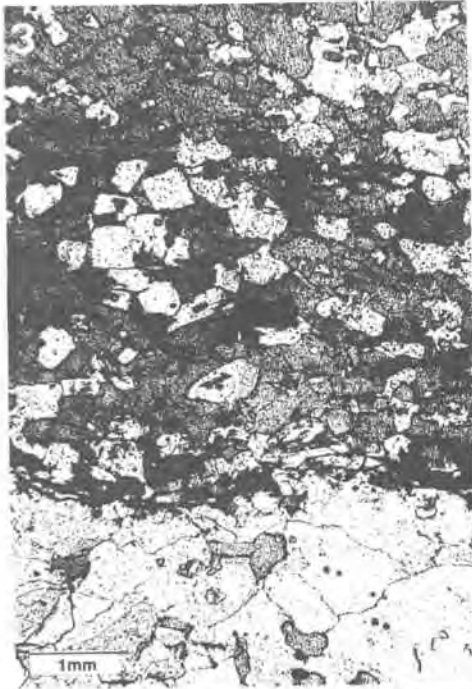
LÀMINA 10

- Fig. 1 Acumulació de restes de tremuges per sobre d'un horitzó de dissolució. Detall de la figura 3 de la Làmina 9. (1.p.)
- Fig. 2 Cicles en l'halita intercalada entre les capes 5 i 6 de silvinita. Pot observar-se la predominança d'halita clara, així com la presència de dos nivells d'insolubles, associats a restes de tremuges (t). (1.p.)
- Fig. 3 Pas bruscat del terme halític (amb algun cristall de silvita) al silvític, mitjançant un nivell d'insolubles. El terme silvític mostra cristalls sub-euèdrics d'halita i restes disperses d'insolubles. Detall de la figura d de la Làmina 8. (1.p.)
- Fig. 4 Trànsit gradual del terme silvític al terme halític, en la capa 7 de silvinita. Pot observar-se la morfologia dels contactes entre els grans d'halita (convexos) i els de silvita (còncavos). (1.p.)
- Fig. 5 Detall de la microestructura de la capa 18 de silvinita. Pot observar-se el pas bruscat del terme halític inferior al terme superior de silvita-halita, associat a una pel·lícula d'insolubles, que correspon probablement a un nivell de dissolució. L'halita del terme superior mostra morfologies subèdriques. (1.p.)

Làmina 10



2



grisenc, d'aspecte granellut (granujiento de PUEYO MUR, 1975) o bé coloració rosada d'intensitat poc homogènia (Lâm. 11, fig. 1).

Les capes inferiors del paquet de silvinita (1 a 4 inferior) tenen mida de gra gruixuda i bastant constant en cada nivell (Lâm. 7, fig. 1), que varia de 2 a 5mm, corresponent les mides més grans a la capa 1. En la resta de capes, molt sovint amb granoclassificació, les mides oscil·len de 3mm a 150µm (valor màxim: 6mmx1,2mm; valor mínim: 100µm).

c) característiques de l'halita: predomina l'halita clara, però és pràcticament constant la presència de zones disperses amb inclusions, generalment residuals, sobretot les capes de les halites intermèdies. Associada als nivells d'insolubles, i també especialment per sobre d'aquests nivells, pot haver-hi una acumulació excepcional de tremuges, que corresponen a cristalls originals relativament grans, similars als que es troben en la sal de mur (Lâm. 9, fig. 3; Lâm. 10, figs. 1 i 2). Més rarament també se'n poden observar d'allargades. Tanmateix, no s'observen aquí els cicles tan ben definits que mostren les halites intermèdies entre carnal·lita i les de sostre, dels quals tractarem més endavant.

Els grans d'halita presenten generalment morfologies anèdriques, per bé que poden desenvolupar formes subèdriques o euèdriques quan estan associats als insolubles. En diverses làmines primes s'han observat també cristalls ben formats (sub-euèdrics) dispersos en la silvinita (Lâm. 11, figs. 4 i 5). Igualment que la silvinita, l'halita pot mostrar també granoclassificació, però no tan marcada com el mineral anterior. Les mides més grans es situen al voltant d'1,5mm (màxim: 2,7mmx9mm) i les mínimes al voltant dels 200µm.

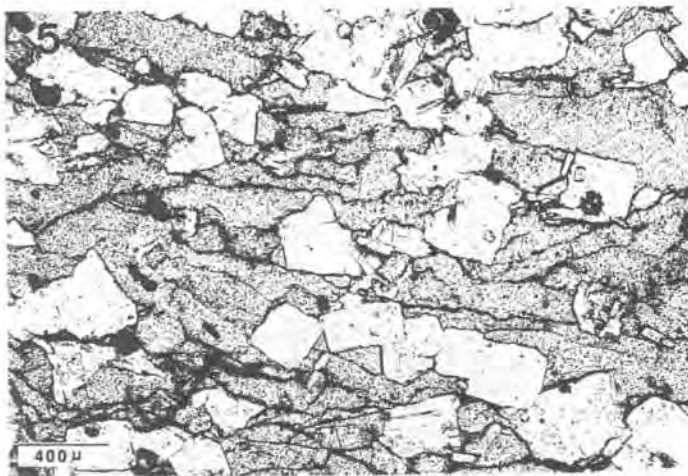
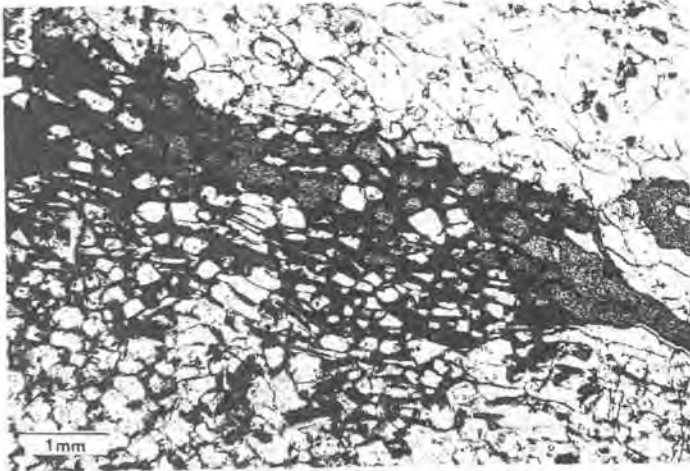
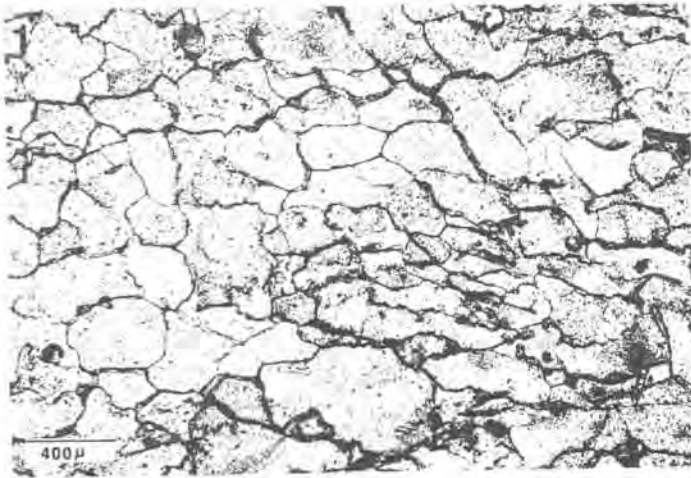
d) sulfats:

-mineralogia: tant la difracció de raigs X (veg. ap. 2.2.3. 3./2) com l'estudi petrogràfic, revelen la presència generalitzada d'anhidrita i polihalita.

LÀMINA 11

- Fig. 1 Detall de la microestructura granular de la silvinita, on s'observa l'aspecte tacat dels grans, en funció de la intensitat de la coloració. (l.p.)
- Fig. 2 Restes de tremuges en l'halita immediatament subjacent a un terme silvític. (capa 7 de silvinita, l.p.)
- Fig. 3 Cristalls de silvita, de morfologia sub-euèdrica, associats a un nivell d'insolubles amb halita, també euèdrica. A la part dreta de la fotomicrografia es poden observar dos grans de silvita excepcionalment allargats, a causa del boudinage del nivell lutític en què estaven inclosos. (l.p.)
- Fig. 4 Microestructura d'una capa de silvinita de mineralogia mixta. La mida dels grans és màxima en la part central, i disminueix cap a la base i cap al sostre. Destaca el caràcter euèdric de l'halita en la part inferior i la superior. (l.p.)
- Fig. 5 Detall de la microestructura de la capa 18 de silvinita, on s'observa halita euèdrica en un nivell de silvita-halita. (l.p.)

Làmina 11



-morfologies i mides: l'anhidrita presenta formes prismàtiques, equidimensionals (quadrades o rectangulars) o irregulars (Làm. 12, figs. 1 i 2).

La polihalita presenta també formes prismàtiques, equidimensionals (sovint romboïdals) o irregulars; constitueix també masses i creixements esferulítics. Els cristalls són molt sovint maclats (Làm. 12, figs. 3 a 6).

Predominen les formes prismàtiques quan aquests dos minerals creixen associats a zones micrítiques. Els contorns dels cristalls poden ser definits o dentats.

En els nivells halítics, les mides mitjanes són de 100 a 180µm (màxim: 450µm) en les formes equidimensionals, i de 20µmx120µm (màxim: 1mmx0,6mm) en les formes prismàtiques. És relativament freqüent observar agrupacions de cristalls de polihalita que adopten una disposició global circular (Làm. 12, fig. 6). En les bandes de silvita, les mides són bastant més reduïdes: entre 50 i 100µm en la majoria dels casos (màxim: 320µm), per als cristalls equidimensionals, i entre 25 i 60µm d'amplada i 100 i 220µm de llargada (màxim: 100µmx900µm) en les formes prismàtiques.

En bastants casos es pot observar com cristalls d'anhidrita estan parcialment transformats a polihalita (Làm. 13, figs. 3 a 5).

-distribució: en línies generals es pot dir que els sulfats són abundants o molt abundants en les zones d'insolubles (Làm. 13, fig. 6), relativament abundants en els nivells d'halita, especialment en les zones adjacents als nivells d'insolubles, i molt poc abundants en els nivells de silvita on, en general, són de mida més petita. Cal remarcar que en els nivells d'halita, tot i no ser molt abundants, poden ser relativament grans.

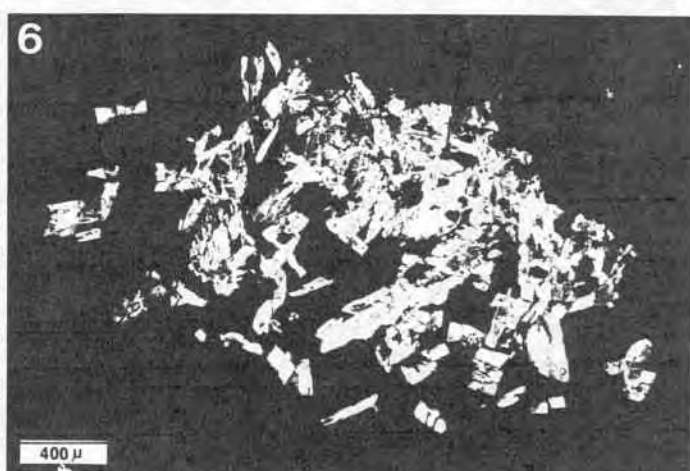
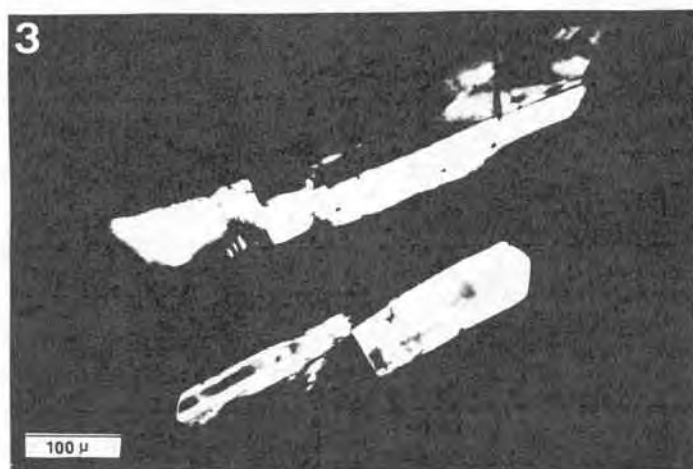
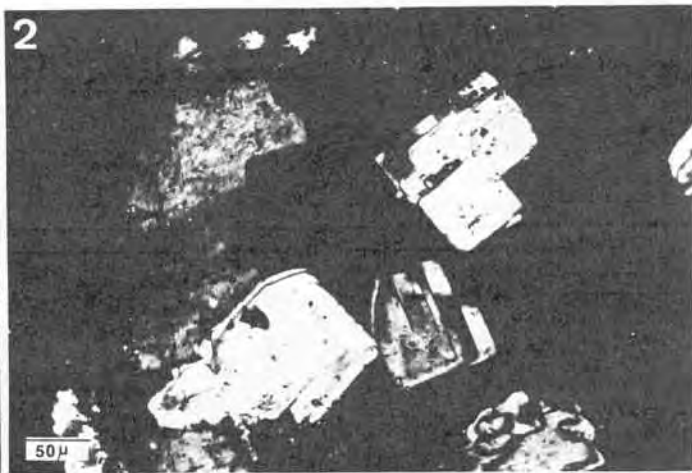
S'observa, en molts casos, que els sulfats reemplacen l'halita euèdrica associada als insolubles.

e) insolubles: la fracció insoluble està constituïda per argila i micrita de composició magnèsítica (veg. aps. 2.2.3.5. i 2.2.3.4.).

LÀMINA 12

- Fig. 1 Cristalls equidimensionals d'anhidrita, en les halites intercalades entre la silvinita. (n.e.)
- Fig. 2 Igual a l'anterior
- Fig. 3 Cristalls de polihalita que mostren la macla típica de "quatre individus". (halites intercalades entre silvinita, n.e.)
- Fig. 4 Cristall allargat de polihalita, amb aspecte fibrós típic. (capa 10 de silvinita, n.e.)
- Fig. 5 Abundants cristalls de polihalita d'aspecte complex a causa de les nombroses macles que presenten. (halites intercalades entre silvinita, n.e.)
- Fig. 6 Agrupació de cristalls de polihalita amb una disposició global circular. (halites intercalades entre silvinita, n.e.)

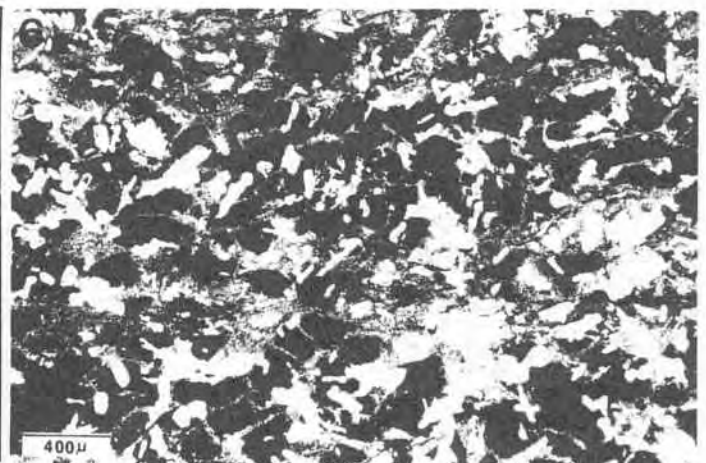
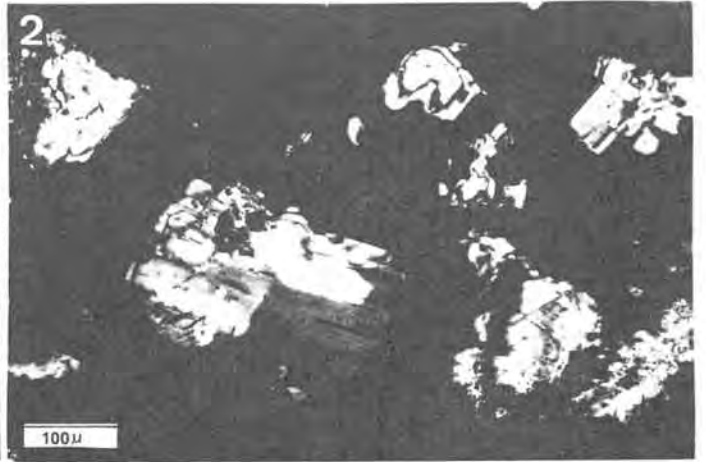
Làmina 12



LÀMINA 13

- Fig. 1 Cristall equidimensional d'anhidrita que reemplaça parcialment halita euèdrica associada a insolubles. (halites intercalades entre silvinita, l.p.)
- Fig. 2 Igual a l'anterior, en nicols encreuats.
- Fig. 3 Cristall d'anhidrita (a) en transformació a polihalita (p). (halites intercalades entre silvinita, n.e.)
- Fig. 4 Cristall d'anhidrita (a) en transformació a polihalita (p). La part polihalítica mostra el maclat característic (halites intercalades entre silvinita, n.e.)
- Fig. 5 Cristall d'anhidrita en transformació a polihalita. (halites intercalades entre silvinita, n.e.)
- Fig. 6 Cristalls prismàtics d'anhidrita i polihalita, associats a micrita magnèsítica i halita euèdrica. (capa 14 de silvinita, n.e.)

Làmina 13



2.2.2.5. LES SALS INTERMÈDIES

1) Introducció

Entre el tram de silvinita i el paquet carnal.lític es troba un nivell halític: "sals intermèdies" o "capa B". La seva potència sol ser inferior a 1m, però pot haver-hi reducció per estirament de la capa, engruiximent, o fins i tot pot arribar a faltar tot el nivell, de manera que la carnal.lita es troba directament per sobre de la silvinita.

2) Litofàcies

En el tall de la galeria IM 23 d'Undiano està constituït aquest nivell per cicles d'halita separats per diastemes argilosos. Les capes d'halita tenen un gruix de 0,5 a 3cm, però algunes mostren microcicles separats per fines pel.lícules d'insolubles. La potència total és de 30cm (fig. 20). La mida de gra és fina i la coloració rosada, però en altres zones de la mina poden tenir color blanc.

En aquesta zona es passa directament a la carnal.lita per sobre de les sals intermèdies: 0,5m de carnal.lita no bretxoide i a continuació un tram de carnal.lita blanca (bretxoide). Tanmateix, en altres àrees apareixen algunes capes poc potents de silvinita transformada entre les sals intermèdies i les capes de carnal.lita (fig. 20). Això ho hem pogut observar a la galeria FN 10 (metres 200-240) d'Undiano, i no deu ser poc freqüent perquè MENÉNDEZ (1971) inclou dos nivells de silvinita transformada en la descripció que dóna de la capa B, que és, de base a sostre:

- .45cm de sal i marga
- .10cm de transformada
- .12cm de sal
- .10cm de transformada
- .10cm de sal, i per sobre es situaria la primera capa de carnal.lita

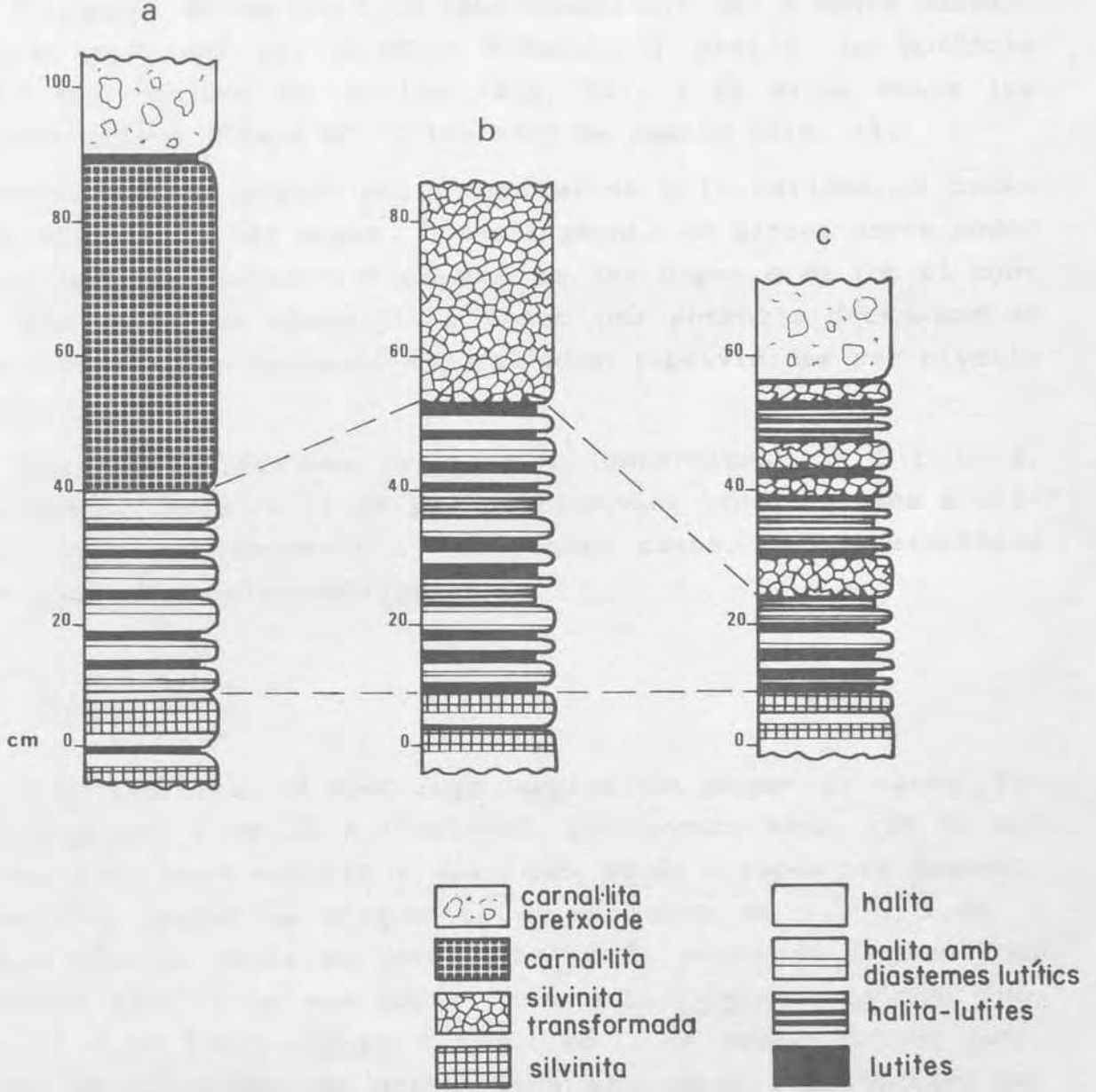


FIG. 20 Correlació de la unitat de "sals intermèdies" en diferents localitats del jaciment: a) IM 23, Undiano; b) Zona de Cámaras; c) FN 10, Undiano.

2.2.2.6. LA CARNAL.LITA

1) Introducció

El paquet de carnal.lita està constituït per 8 capes carnal-lítiques separades per nivells d'halita i argila. La potència mitjana del conjunt és de 12m (fig. 21), i es situa entre les sals intermèdies ("capa B") i les sals de sostre (fig. 14).

Localment el paquet pot presentar-se molt estirat, i poden faltar algunes de les capes. Contràriament, en altres zones poden observar-se engruiximents d'algunes de les capes o de tot el conjunt. Les capes de carnal.lita tenen una potència decreixent de mur a sostre i, en general, es presenten subdividides per nivells d'halita i argila.

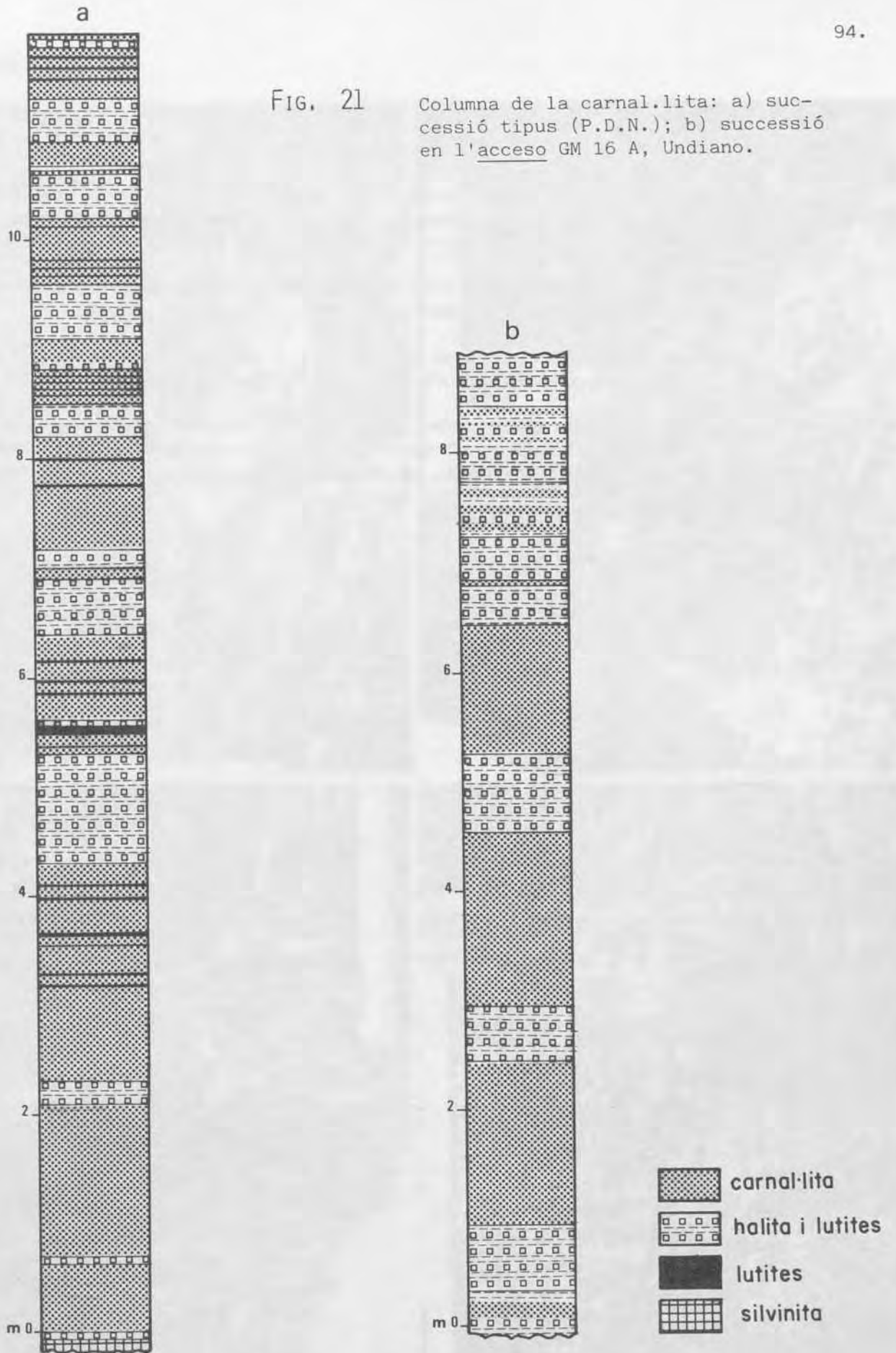
Les capes inferiors del paquet (generalment la 1 i la 2, més rarament també la 3) es presenten sovint transformades a silvinita (veg. ap. següent) i, en alguns casos, la transformació pot afectar tota la carnal.lita.

2) Mostratge

S'ha realitzat un mostratge complet del paquet de carnal.lita en l'acceso a GM 16 A (Undiano). En aquesta zona, tot el nivell es troba molt estirat i apareixen només 6 capes ben desenvolupades. La gruixària d'aquestes capes varia de 0,3 a 1,6m, i la dels nivells halítics intermedis ho fa entre 40 i 80cm. Dos mostratges reduïts es van dur a terme a la cabeza de tajo 52 (Undiano) i a MO 53bis cámara 9 (Zona Sur). En aquest darrer punt, algunes de les capes de carnal.lita han estat substituïdes per silvinita transformada. També es van prendre algunes mostres soltes a IM 23 A (Undiano). (fig. 13)

FIG. 21

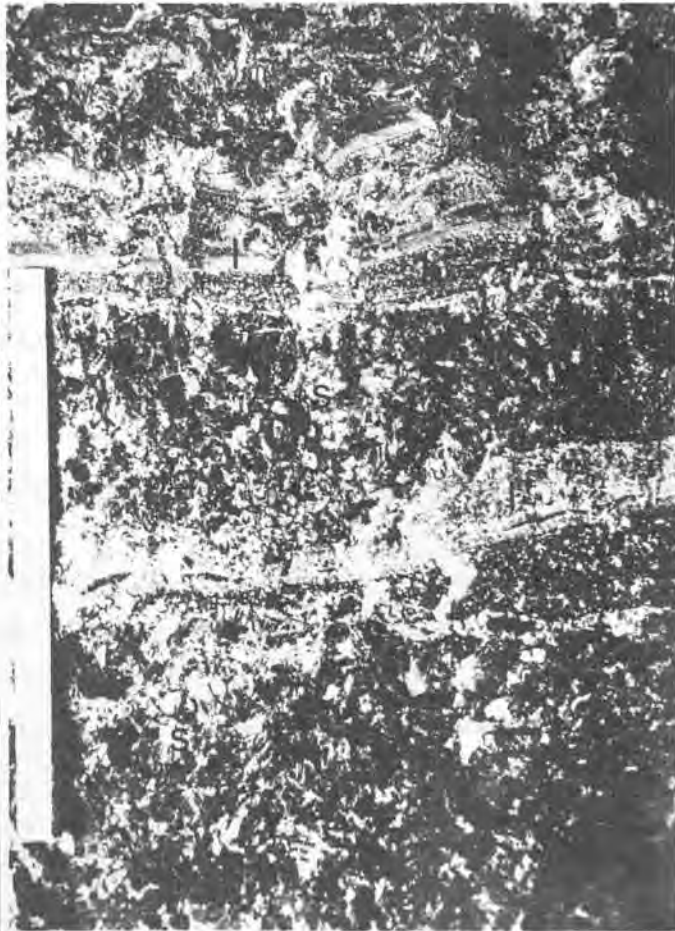
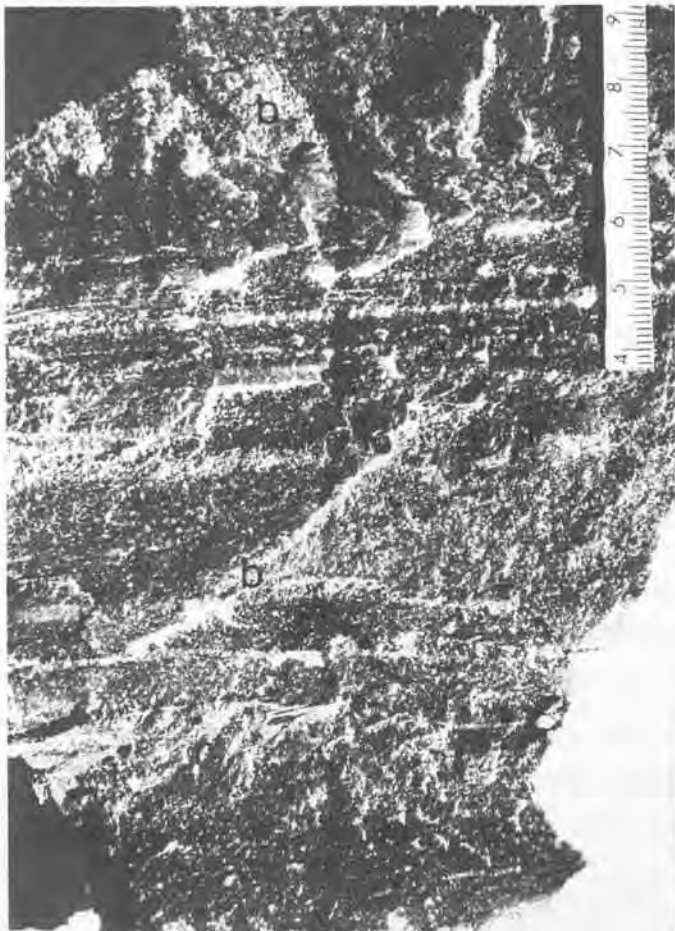
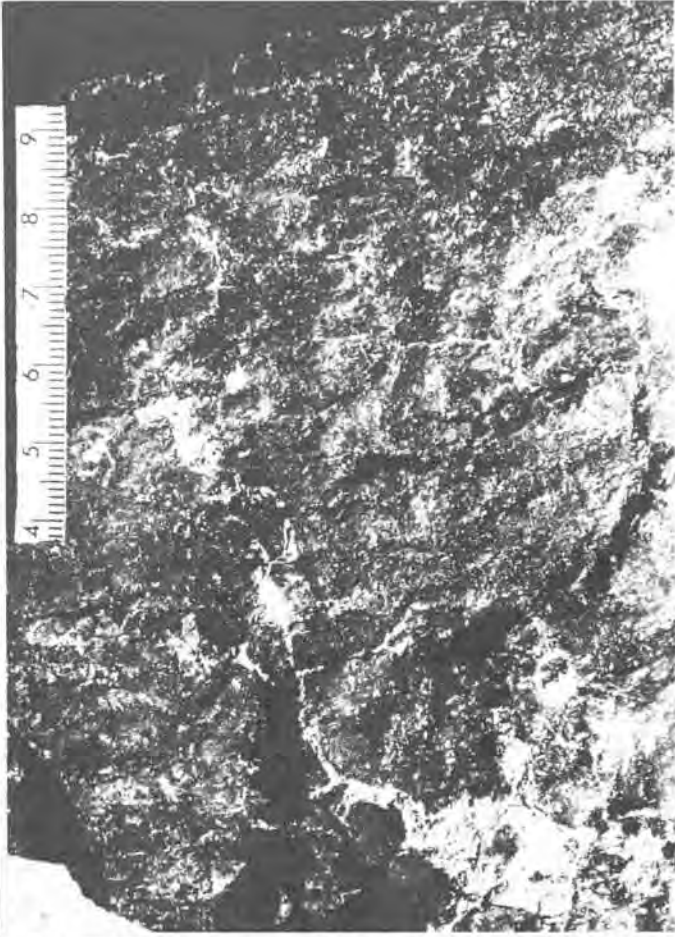
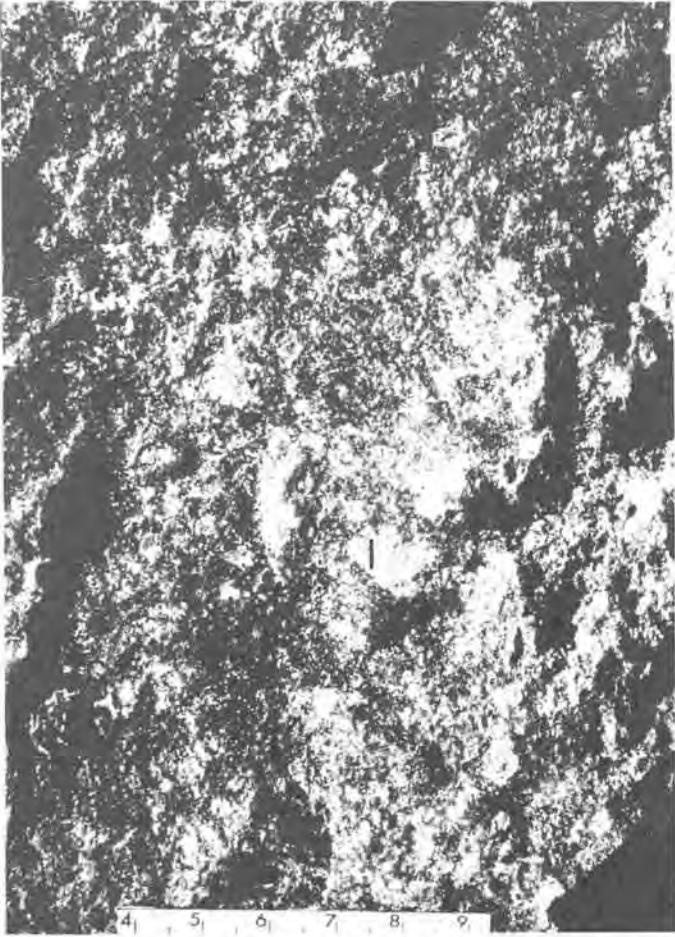
Columna de la carnal.lita: a) successió tipus (P.D.N.); b) successió en l'acceso GM 16 A, Undiano.



LÀMINA 14

- Fig. 1 Litofàcies bretxoide de la carnal.lita. Es poden observar fragments carnal.lítics de color vermell intens (c) i fragments lutítics (l). (escala en cms)
- Fig. 2 Litofàcies massissa de la carnal.lita, de coloració ocre-vermella. (escala en cms)
- Fig. 3 Litofàcies en bandes (b) i nodular (n) de la carnal.lita, amb cicles intermedis d'halita-lutites. (escala en cms)
- Fig. 4 Litofàcies de la silvinita transformada en la qual s'ha conservat l'estructura dels cicles originals carnal.lítics. s, silvinita; h, halita; l, lutites. (escala en cms)

Làmina 14



3) Litofàcies

A) Carnal.lita:

Essencialment, la carnal.lita presenta tres tipus principals de litofàcies:

-bretxoides: constituïdes per fragments irregulars o arrodonits de color vermell viu i lluïssor típica, englobats en una massa de gra fi, transparent o rosada. Tots dos components tenen composició carnal.lítica (veg. ap. 2.2.3.2./3.d), essent la massa de gra fi més rica en sulfats. Presenten també fragments argilosos dispersos. Poden ser predominants els fragments vermells, o bé aquests poden ser dispersos i predominar la massa de gra fi (Làm. 14, fig. 1).

La carnalita blanca és una carnal.lita de tipus bretxoide, amb fragments vermells grans però escassos i predomini de la massa de gra fi. Aquest tipus es desenvolupa generalment en la primera capa i de vegades també en la segona.

A la conca catalana, les varietats bretxoides són també freqüents. PUEYO MUR (1975) les inclou dins del tipus de carnal.lita que anomena homogènea macrogranuda.

-massisses: constituïdes per carnal.lita massissa, de coloració vermella-ocre característica i amb poca argila intersticial (Làm. 14, fig. 2).

-nodulars: consisteixen en nòduls vermells, amb l'aspecte típic de la carnal.lita, dispersos entre les bandes d'halita o d'halita-argila, els quals poden constituir bandes de no massa gruixària (5-8cm, aproximadament) (Làm. 14, fig. 3; Làmina 15, fig. 2).

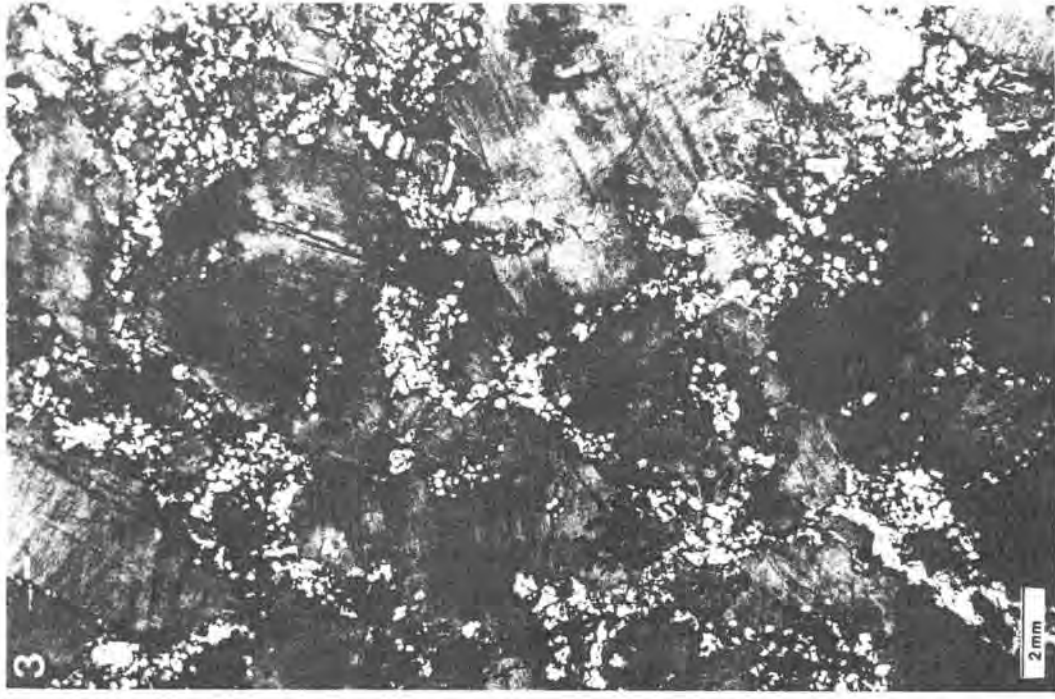
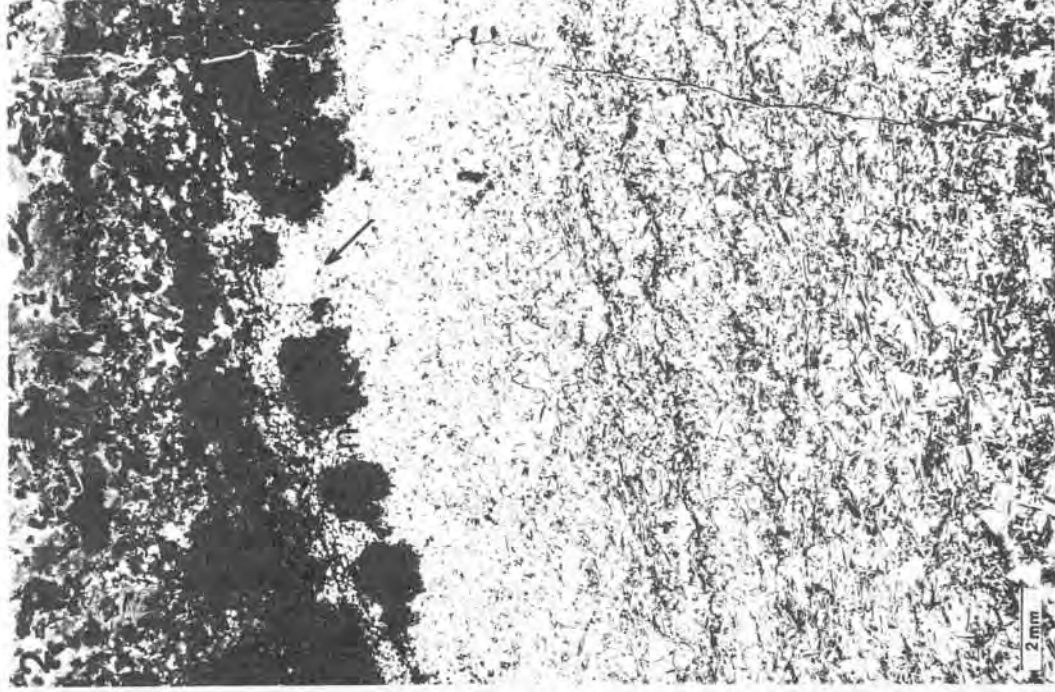
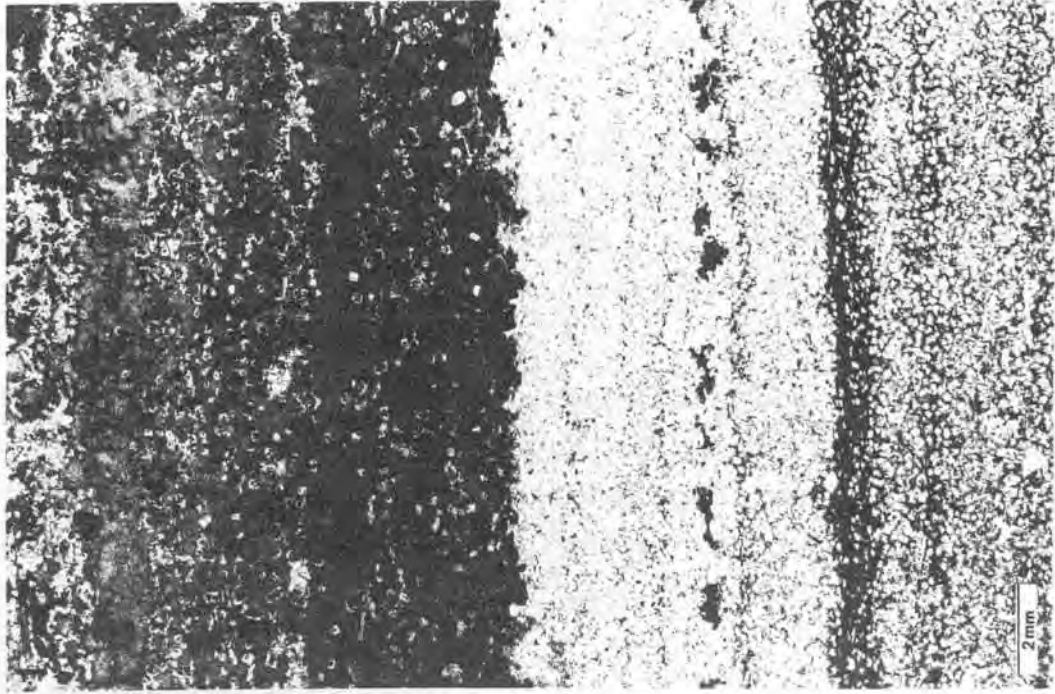
Les dues darreres capes de carnal.lita, en la zona de mostreig, presenten localment bandes planes carnal.lítiques, geomètricament similars als termes silvítics de les capes de silvinita, associades als creixements nodulars. La fig. 3 de la Làmina 14 correspon a un cicle halita-carnal.lita on es troba una d'aquestes bandes.

LÀMINA 15

Fig. 1 Microestructura de la carnal.lita de litofàcies bandada. La part inferior és halítica amb nombroses inclusions predominantment quadrades (veg. Làm. 16, fig. 2) i amb alguns nivells d'insolubles, més o menys desenvolupats. La capa carnal.lítica (meitat superior) presenta cristalls euèdrics d'halita (veg. Làm. 16, fig. 2). (1.p.)

Fig. 2 Microestructura de la carnal.lita. La part inferior és halita amb nombroses inclusions, en disposicions quadrades i allargades. La part superior és carnal.lita que basalment presenta desenvolupaments nodulars (n). En el mateix nivell que aquests nòduls, s'observa un gran tremuja (fletxa). (1.p.)

Fig. 3 Microestructura de la carnal.lita. S'observen masses irregulars carnal.litiques, separades per halita euèdrica, parcialment reemplaçada per sulfats, i insolubles. (1.p.)



B) Halites intermèdies:

Estan constituïdes per capes primes d'halita, de gra fi, alternant amb nivellets argilosos, també de poca gruixària. Les capes d'halita estan de vegades subdividides per fines pel·lícules d'insolubles. La seva gruixària oscil·la entre 1 i 5cm; el gruix de les capes d'argila està comprès entre 0,5 i 1,5cm. De vegades s'observen dins de l'halita petits nuclis carnal·lítics. Els nivells on la proporció de sulfats és elevada poden distingir-se a ull nu perquè l'halita es dissol i queda ressaltada la carcassa anhidrítica.

4) Microestructura:

A) Carnal.lita:

L'estudi microscòpic de la carnal.lita s'ha vist dificultat per la impossibilitat de disposar de bones làmines primes, a causa de les característiques d'aquest mineral.

Al microscopi, s'observen masses carnal·lítiques de formes més o menys nodulars, de coloració vermella o incolores, separades per zones d'insolubles amb halita euèdrica (Làm. 15, fig. 3). Aquesta halita està parcialment reemplaçada per sulfats. Dins de les masses carnal·lítiques s'observen també cristalls euèdrics quadrats, generalment dispersos, que en alguns casos són halítics i en altres estan ocupats per sulfats, els quals han reemplaçat, probablement, una mineralogia halítica prèvia. Localment s'ha observat una zona constituïda per grans anèdrics de carnal.lita.

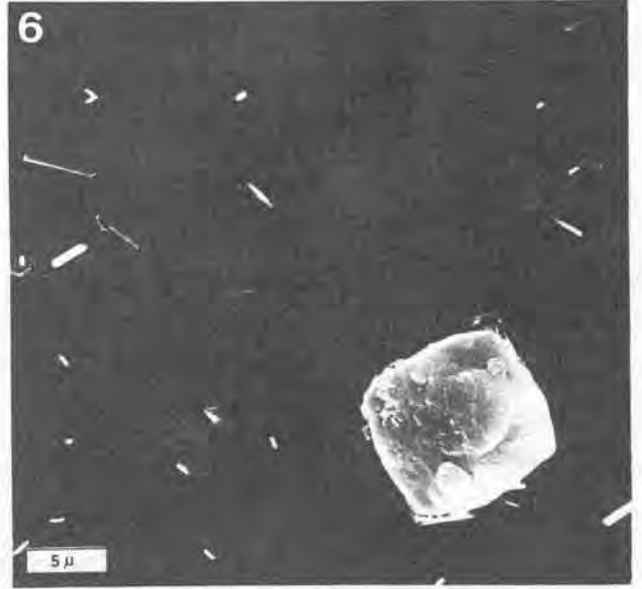
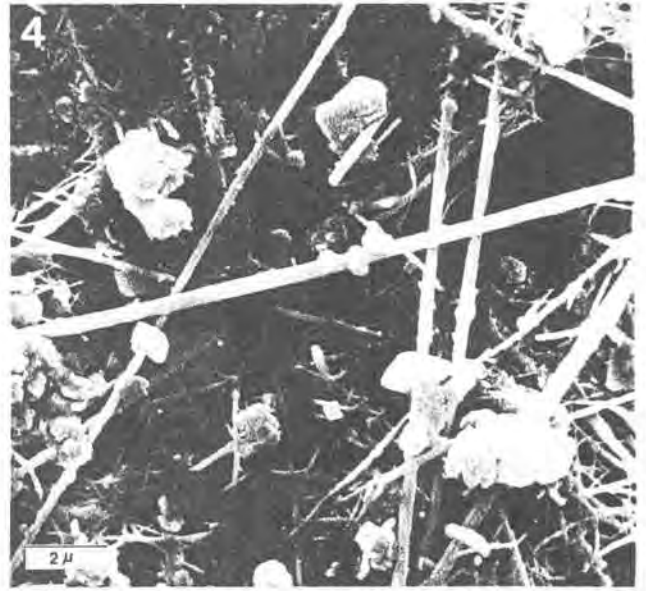
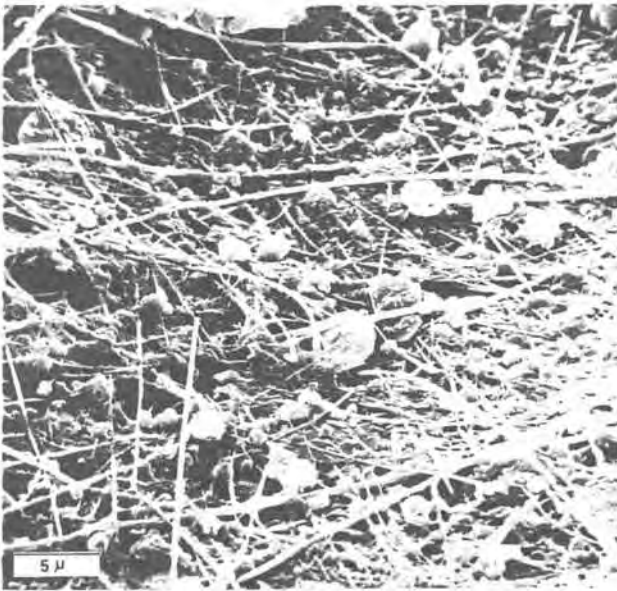
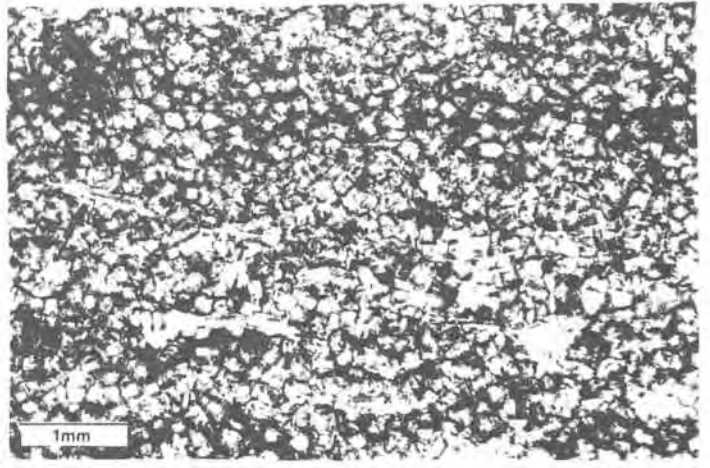
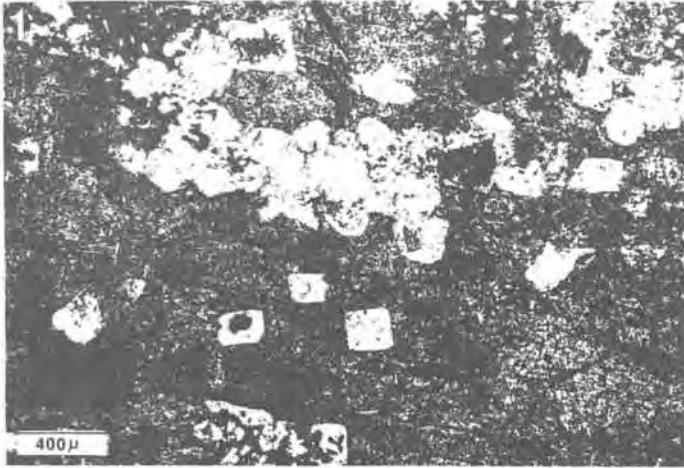
Quan es troba formant bandes, la carnal.lita constitueix una capa contínua, plena de cristalls euèdrics d'halita, i de sulfats que mostren morfologies diverses (les mateixes que presenten quan es troben en les halites intermèdies) (Làm. 15, fig. 1; Là. 16, fig. 1).

Pel que fa a la mineralogia dels sulfats, la presència d'anhidrita és confirmada pels resultats de la difracció de raigs X, però no es pot assegurar l'existència de polihalita ja que, per una banda les làmines són molt gruixudes, i per altra hi ha

LÀMINA 16

- Fig. 1 Halita euèdrica en una banda carnal.lítica. Detall de la figura 1 de la Làmina 15. (l.p.)
- Fig. 2 Cristalls d'halita amb inclusions de model quadrat, associats a proporcions variables d'insolubles. Localment, s'observen disposicions allargades d'inclusions (fletxa). (l.p.)
- Fig. 3 Plaques d'hematites i fibres de goethita, al microscopi electrònic. (carnal.lita massissa)
- Fig. 4 Detall de la fotomicrografia anterior.
- Fig. 5 Plaques d'hematites, de contorns predominantment irregulars amb alguna fibra de goethita. Microscopi electrònic. (carnal.lita massissa)
- Fig. 6 Superfície de fractura de la carnal.lita massissa, per on sobresurten les puntes de fibres de goethita. En la part inferior dreta, un cristall d'anhidrita (?). Microscopi electrònic. (carnal.lita massissa)

Làmina 16



una coincidència de pics d'aquest mineral amb pics de la carnal.lita, en els difractogrames de raigs X.

L'observació al microscopi electrònic del residu insoluble en aigua d'una mostra de carnal.lita, de litofàcies massissa, ha revelat la presència de plaques i fibres, de l'ordre de pocs μm , constituïdes per hematites i goethita respectivament. Aquests components són els que confereixen la coloració vermella o vermill-ocre a la carnal.lita (Làm. 16, figs. 3 a 6; veg. ap. 2.2.3. 2./5).

B) Halites intermèdies:

Els cicles halita-argila que separen les capes de carnal.lita, tenen característiques molt similars als cicles que constitueixen les sals de sostre. Com hem vist en un apartat anterior, les halites associades a la silvinita tenen característiques una mica diferents.

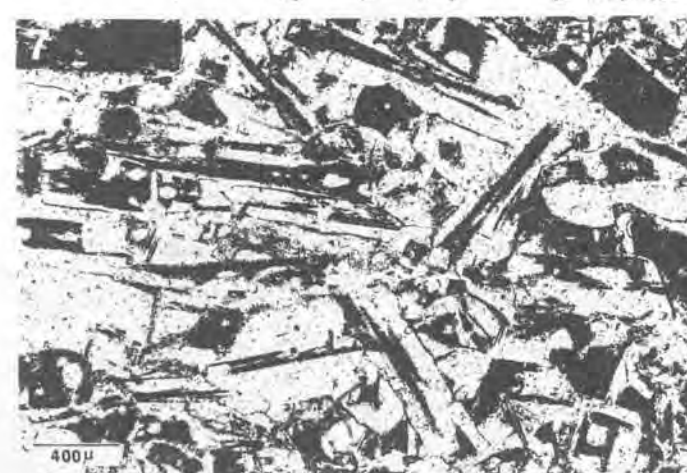
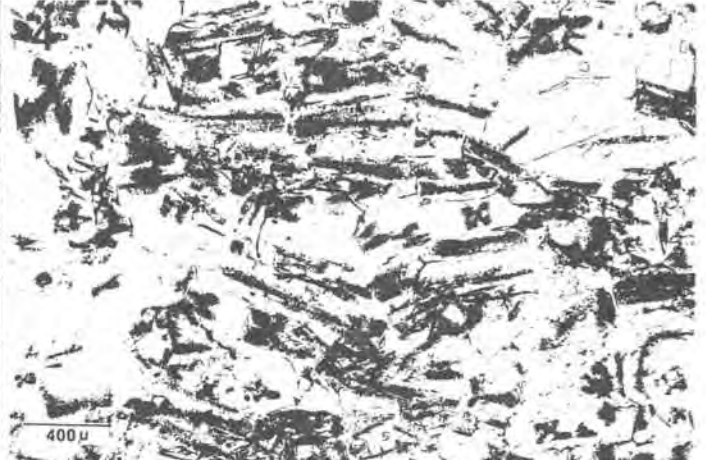
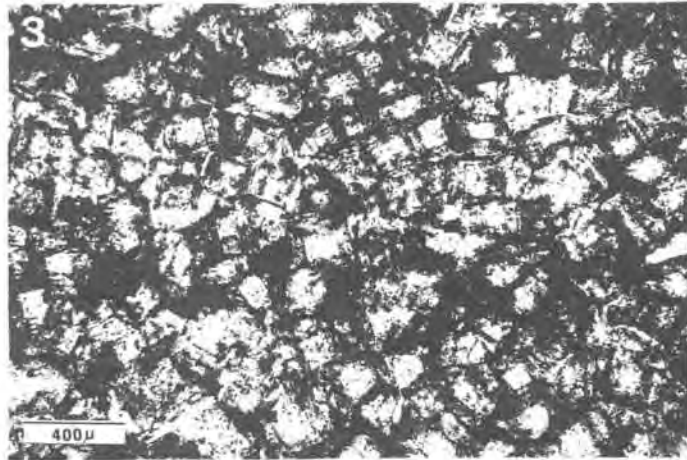
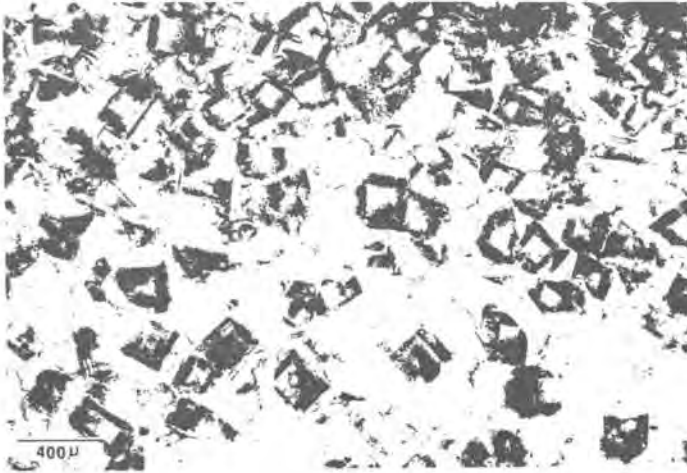
a) característiques de l'halita: es distingeixen els dos tipus d'halita ja coneguts: halita lliure d'inclusions, o halita clara, i halita amb inclusions, o tèrbola.

-l'halita clara constitueix grans i presenta, en general, morfologia anèdrica, llevat quan està associada a insolubles que desenvolupa formes euèdriques cúbiques, que poden estar deformades si el nivell ha sofert boudinage. També poden mostrar formes euèdriques dins de les bandes de carnal.lita. Les mides de les formes quadrades oscil·len de 150 a 200 μm , essent aquest darrer valor el predominant. La mida dels grans anèdrics només s'ha pogut determinar en un cas, ja que generalment és difícil reconèixer les vores de gra; el valor obtingut és de 400 μm . Al microscopi no s'ha pogut reconèixer una granoclassificació clara i tan sols en una mostra s'ha observat una certa esquistositat. Una altra característica a destacar de l'halita clara és l'escassetat de sulfats que mostra (Làm. 21, figs. 5 i 6).

LÀMINA 17

- Fig. 1 Inclusions en disposició quadrada, la majoria amb un nucli central d'halita clara. Es pot observar la constància en les mides d'aquestes zones d'inclusions. (halites intercalades entre carnal.lita, 1.p.)
- Fig. 2 Inclusions en disposició quadrada. En la majoria, la densitat d'inclusions és menor en la part central. (halites intercalades entre carnal.lita, 1.p.)
- Fig. 3 Massa de cristalls d'halita, amb inclusions en disposició quadrada, la majoria de morfologia euèdrica. (halites intercalades entre carnal.lita, 1.p.)
- Fig. 4 Inclusions en disposició quadrada, associades a d'altres en disposició allargada i irregular. (halites intercalades entre carnal.lita, 1.p.)
- Fig. 5 Inclusions en disposició allargada, orientades a l'atzar. (sals de sostre, 1.p.)
- Fig. 6 Inclusions en disposició allargada, orientades subparal·lelament. (sals de sostre, 1.p.)
- Fig. 7 Inclusions en disposició quadrada i allargada, aquestes darreres orientades a l'atzar (sals de sostre, 1.p.)
- Fig. 8 Grans tremuges, amb les vores dissoltes, en un nivell d'insolubles amb abundants cristalls euèdrics d'halita. La majoria d'aquests presenten inclusions. Detall de la figura 1 de la Làmina 9. (halites intercalades entre carnal.lita, 1.p.)

Làmina 17



-en l'halita tèrbola les inclusions mostren diferents tipus de zonacions, característiques i constants:

.quadrada: les inclusions es disposen formant un quadrat compacte, o bé deixant un quadrat interior més petit d'halita clara. En alguns casos les diagonals d'aquests quadrats queden més remarcades i dibuixen una creu. Les mides mitjanes dels quadrats es situen entre 20 i 250µm (Làm. 17, figs. 1 a 3; Làm. 16, fig. 2).

.allargada: les inclusions constitueixen zones molt allargades (50µm x 0,9mm, com a mitjana), que de vegades tenen forma d'aspa (Làm. 17, figs. 4 a 7). Són equivalents als hoppers bacilares de PUEYO MUR (1975).

.grans tremuges: corresponen a seccions de grans cristalls plens d'inclusions, i són de mida més gran que les anteriors (1,5-2mm; Làm. 17, fig. 8).

Les zones amb inclusions solen estar envoltades per halita clara, però generalment és impossible detectar les vores de gra. En algun cas s'ha observat la presència de cristalls de sulfats a l'interior d'inclusions individuals de mida gran (Làm. 5, fig. 8). L'halita euèdrica associada als insolubles pot ser també halita d'inclusions (Làm. 16, fig. 2).

b) sulfats:

-mineralogia: l'anàlisi per difracció de raigs X d'algunes de les mostres revela únicament la presència d'anhidrita (veg. ap. 2.2.3.3./2).

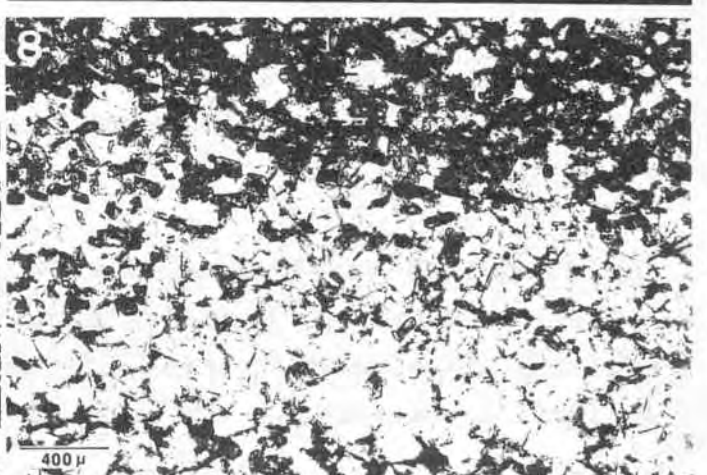
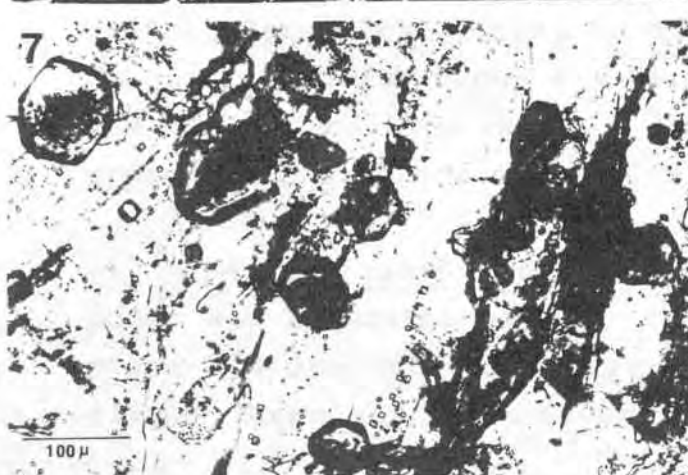
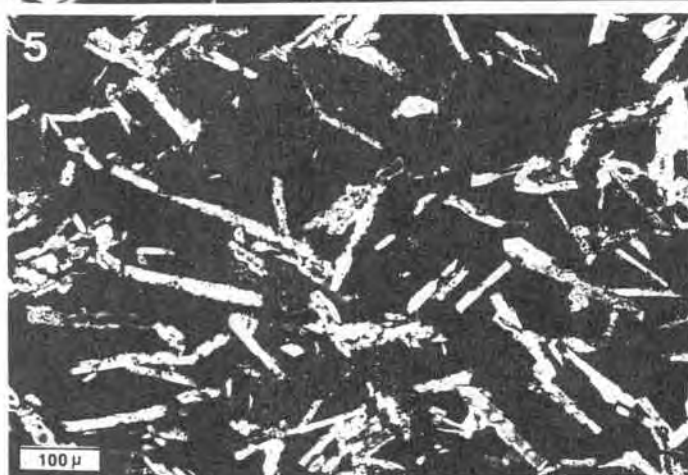
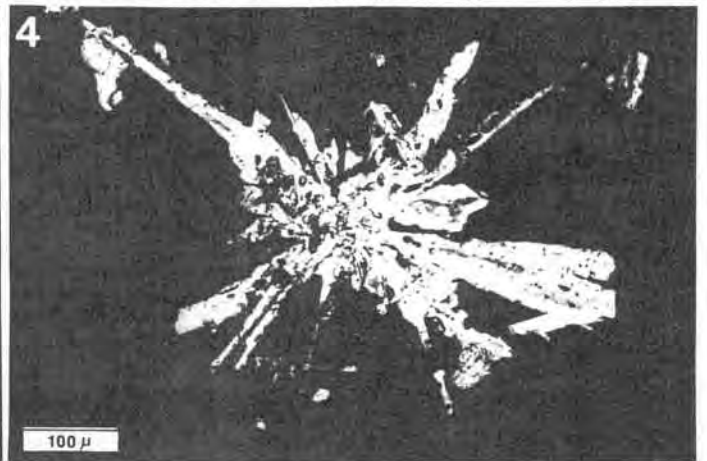
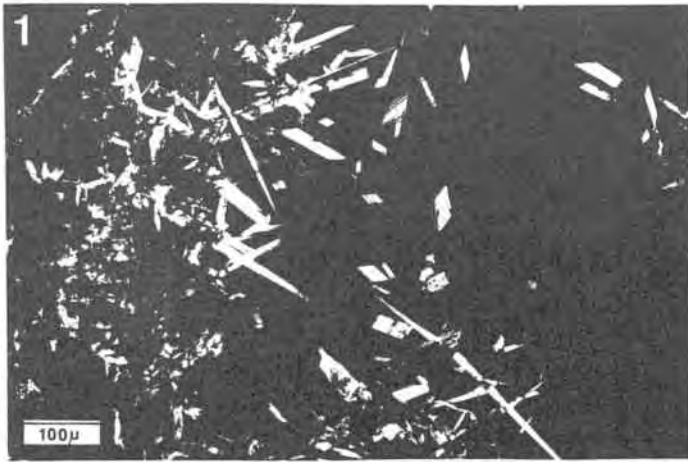
-morfologies i mides: les morfologies més freqüents que presenten aquests cristalls són: prismàtiques, són les predominants; equidimensionals, amb formes quadrades o rectangulars; romboïdals; agregats radials, ocasionalment esferulítics (Làm. 18, figs. 1 a 5). Són freqüents els cristalls trencats (Làm. 18, fig. 3) i en alguns casos els contorns són dentats:

La mida mitjana oscil·la de 15 a 40µm d'amplada i de 120

LÀMINA 18

- Fig. 1 Cristalls d'anhidrita de morfologia allargada i romboïdal. (sals de sostre, n.e.)
- Fig. 2 Detall de l'anterior. (n.e.)
- Fig. 3 Cristalls prismàtics trencats d'anhidrita. (sals de sostre, n.e.)
- Fig. 4 Agregat radial d'anhidrita. (sals de sostre, n.e.)
- Fig. 5 Cristalls prismàtics d'anhidrita, associats a micrita. (halites intercalades entre carnal.lita, n.e.)
- Fig. 6 Cristalls de carbonat amb morfologia romboèdrica i rectangular (fletxes), associats a anhidrita prismàtica. (sals de sostre, n.e.)
- Fig. 7 Cristalls de carbonat de morfologia pseudoheagonal. S'observen també abundants inclusions fluides de l'halita. (sals de sostre, n.e.)
- Fig. 8 Abundants cristalls de carbonat (de color fosc), en un cicle de sals de sostre. Poden observar-se també cristalls prismàtics d'anhidrita. (l.p.)

Làmina 18



a 220µm de llargada. Els sulfats associats a l'halita clara són de mida més petita i tendeixen a desenvolupar formes més equidimensionals. Aquestes darreres estan generalment al voltant dels 50µm. Les formes allargades varien de 5 a 20µm d'amplada i de 50 a 150µm de llargada.

-distribució: es concentren essencialment a les parts superior i inferior dels cicles, associats sobretot als nivells d'insolubles, però també a l'halita que es troba immediatament per sobre o per sota d'aquests nivells.

en l'halita d'inclusions poden també ser abundants, mentre que en l'halita clara són rars, de vegades pràcticament absents, i de mida més petita (Làm. 21, figs. 5 i 6).

c) carbonats:

No es considera aquí el carbonat de mida micrita que sol anar associat a la fracció argilosa en els nivells d'insolubles, sinó els cristalls de mida més gran (superior a 50µm).

-mineralogia: encara que no tots els difractogrames són clars, ja que en alguns hi ha superposició de pics, sembla que la composició d'aquests cristalls de carbonat és dolomítica (veg. ap. 2.2.3.4.). Cal precisar que no s'han observat aquests cristalls en la capa inferior d'halites intermèdies (entre les capes 1 i 2 de carnal.lita).

-morfologies i mides: les morfologies més freqüents són: rectangulars, irregulars, arrodonides o pseudo-hexagonals i romboèdriques (Làm. 18, figs. 6 a 8). Predominen els tres primers tipus. Les mides oscil·len de 60 a 100µm. És freqüent que els cristalls presentin els contorns corroïts.

-distribució: és anàloga a la dels sulfats, de manera que poden ser abundants en els nivells d'halita d'inclusions, i associats als insolubles, mentre que són rars o absents en l'halita clara. Tanmateix, la presència de sulfats abundants no implica

l'existència de carbonats, o que aquests siguin més o menys abundants. Quan es troben en els nivells d'halita, s'observa una distribució intersticial, seguint les vores de gra (Lãm. 23, fig. 3).

d) Insolubles: estan constituïts per argila i micrita carbonatada de composició magnèsítica o dolomítica (veg. aps. 2.2.3.5. i 2.2.3.4.). Segons els resultats de difracció de raigs X, sembla que en la capa inferior halítica, on no s'han observat cristalls grans de carbonat, predomina la magnesita, mentre que a la resta ho fa la dolomita.

e) tipus de cicles: l'estudi petrogràfic ha revelat l'existència de tres tipus diferents de cicles (fig. 22):

-tipus "a". Està constituït per la successió: insolubles → halita d'inclusions → halita clara → halita d'inclusions → insolubles.

(In → Hli → Hlc → Hli → In)

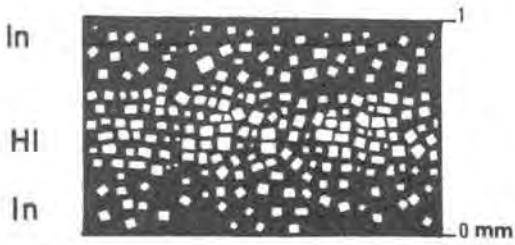
El terme d'halita amb inclusions pot presentar proporcions variables d'anhidrita, la qual pot arribar a ser molt abundant. Les zonacions d'inclusions són quadrades o allargades (Lãm. 19, figs. 2 a 5; Lãm. 21, figs. 2 a 5).

En alguns casos, el terme inferior d'halita d'inclusions pot ser bastant gruixut (més que el superior) i de vegades pot presentar petits subnivells d'halita clara. Entre l'halita d'inclusions del nivell inferior poden haver-hi de vegades grans tremuges (Lãm. 19, fig. 4). El gruix d'aquests cicles és de 5 a 15mm.

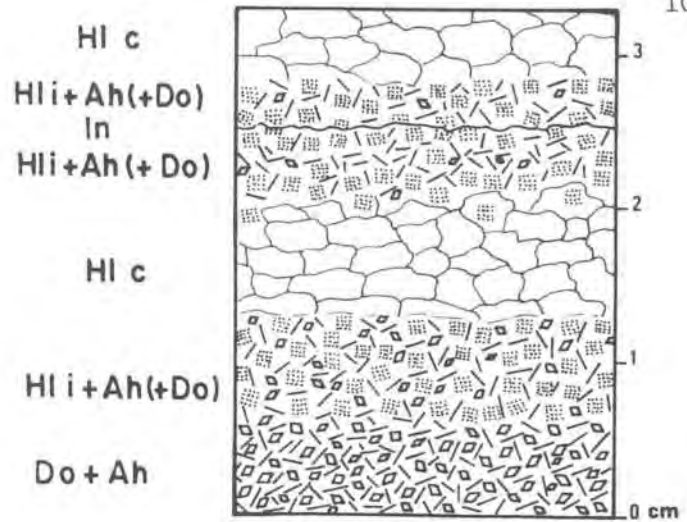
-tipus "b". Està constituït per la successió: halita → insolubles.

(Hl → In)

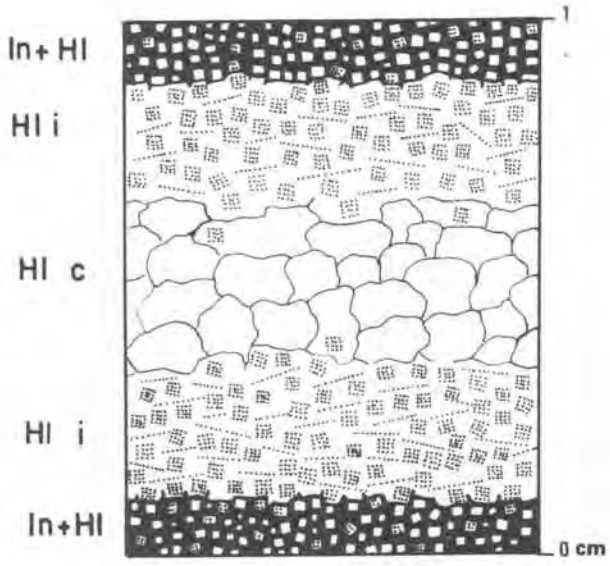
En realitat, els dos components són generalment presents en tots dos termes, distingint-se aquests pel predomini d'un o altre. L'halita sol mostrar hàbit cúbic, amb o sense inclusions. Es tracta de cicles poc evolucionats, que no han arribat a



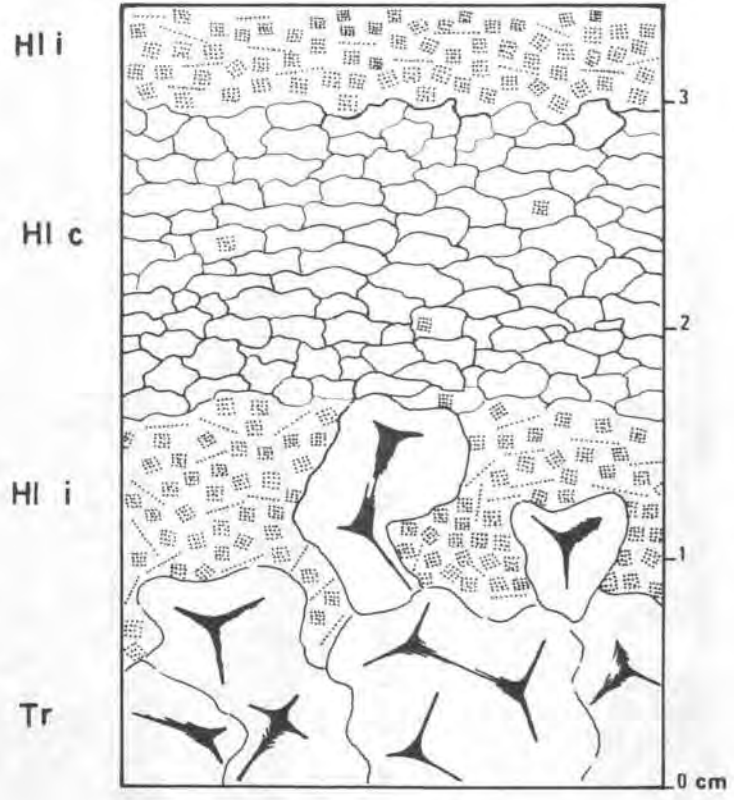
b



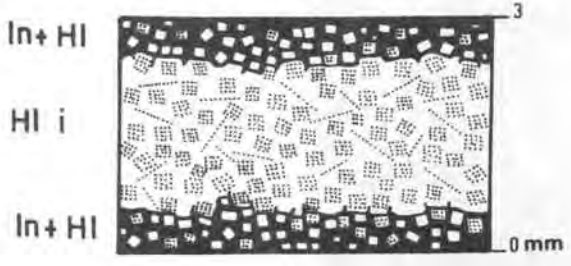
d



a



e



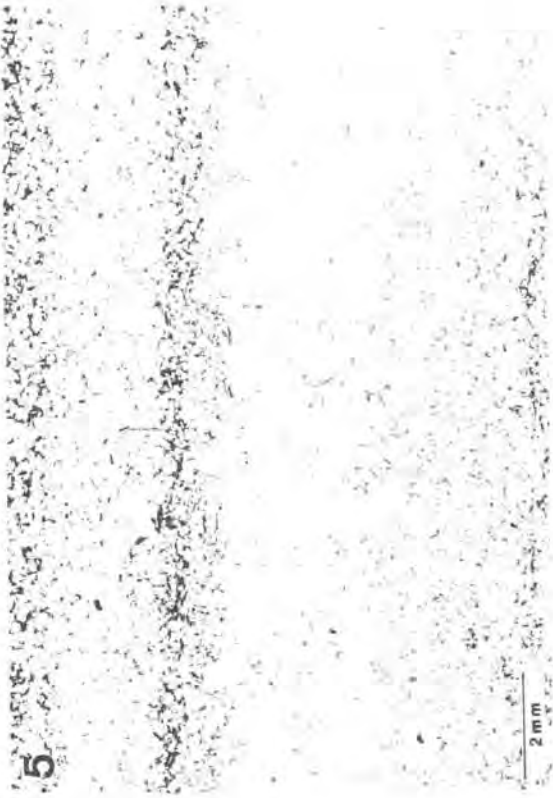
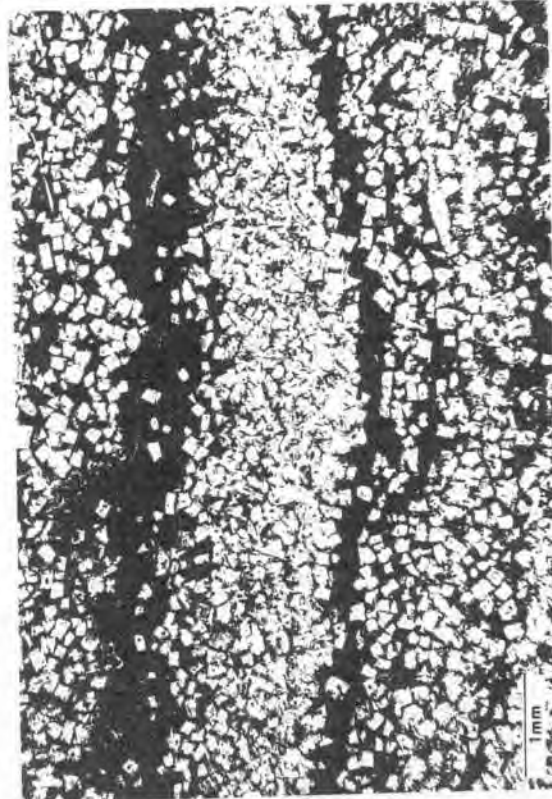
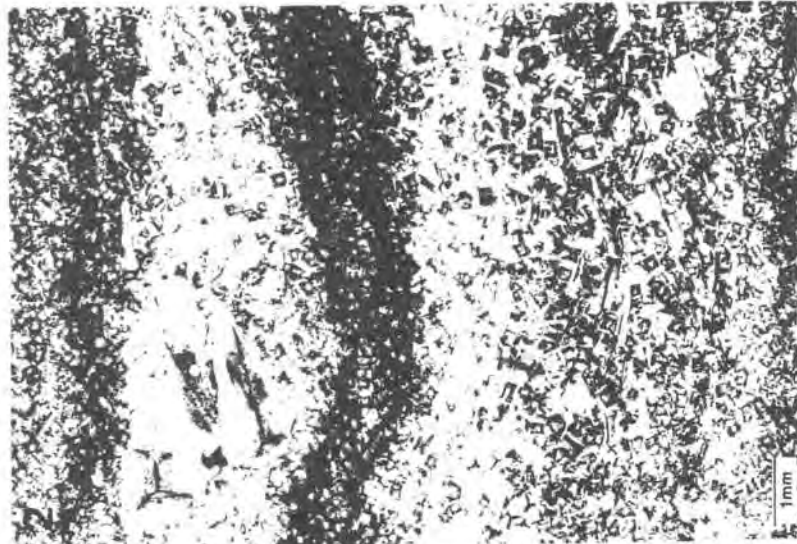
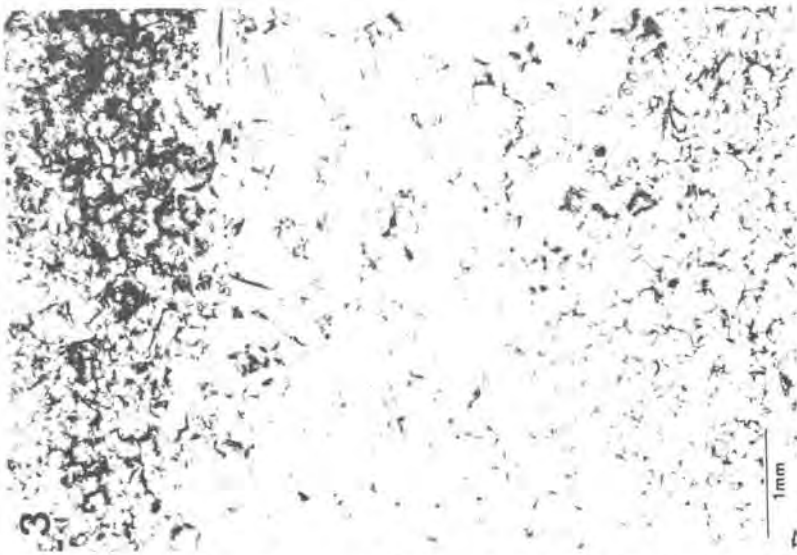
c

FIG. 22 Diferents tipus de cicles en les halites entre carnal.lita i de sostre (veg. text). In, insolubles; Hl i, halita d'inclusions; Hl c, halita clara; Ah, anhidrita; Do, dolomita; Tr, tremuges.

LÀMINA 19

- Fig. 1 Cicles de tipus "b". (halites entre carnal.lita, l.p.)
- Fig. 2 Detall de dos cicles, en les halites intercalades entre carnal.lita, separats per un nivell ric en insolubles. El cicle inferior és molt asimètric, amb el terme superior d'halita amb inclusions molt poc desenvolupat. El cicle superior presenta restes de grans tremuges en el terme central més ric en halita clara. (l.p.)
- Fig. 3 Cicle de tipus "a", amb un terme central ben desenvolupat d'halita clara, amb alguna inclusió dispersa. (halites intercalades entre carnal.lita, l.p.)
- Fig. 4 Microestructura de l'halita intercalada entre les capes de carnal.lita. A la part inferior, en associació a un nivell d'insolubles, s'observa halita euèdrica i restes de grans tremuges, parcialment dissoltes (veg. Làm. 17, fig. 8). (l.p.)
- Fig. 5 Detall de dos cicles en halita intercalada entre capes de carnal.lita. L'inferior és de tipus "a", amb el terme superior d'halita amb inclusions molt poc desenvolupat. El superior és també de tipus "a", però el terme central d'halita clara presenta una certa proporció de cristalls amb inclusions. (l.p.)

Lámina 19



desenvolupar la successió del tipus "a". El seu gruix sol ser inferior a lmm (Làm. 19, fig. 1; Làm. 22, fig. 4).

-tipus "c". Està constituït per la successió: insolubles
→ halita d'inclusions → insolubles.

(In → Hli → In)

Es diferencia de l'anterior perquè el terme halític no presenta insolubles intersticials i l'halita no mostra hàbit cúbic, i del primer tipus perquè no mostra un nivell ben desenvolupat d'halita clara. Les inclusions solen ser de tipus quadrat o allargat i de vegades també poden presentar-se grans tremuges. Existeixen cicles intermedis entre el "c" i l'"a" ("a/c"), en què el terme d'halita clara mostra inclusions disperses (Làm. 19, fig. 5).

2.2.2.7. LA SILVINITA TRANSFORMADA

1) Introducció

Es sol designar amb aquest nom la silvinita que s'origina a partir del "metamorfisme" de dissolució de la carnal.lita. La principal característica del seu origen secundari és la presència d'inclusions hexagonals d'hematites, que semblen ser exclusives de la carnal.lita granolepidoblàstica (STURMFELS, 1943; BRAITSCH, 1971; PUEYO MUR, 1975).

Són generalment les capes inferiors del paquet de carnal.lita (1 i 2, i de vegades també la 3) les que es transformen a silvinita, però en algunes ocasions la transformació pot afectar tot el paquet.

La silvinita transformada es troba constituent llentilles aïllades, associades a zones de dissolució de la silvinita o de tot el paquet potàssic (MENÉNDEZ, 1971). Segons aquest autor, sembla que les zones de transformació es situen en les proximitats de les grans falles. En el pas de carnal.lita a transformada, existeix una zona intermèdia on la carnal.lita no ha estat del tot eliminada (en transición).

MENÉNDEZ (1971) inclou dues capetes de silvinita transformada entre les sals intermèdies, i les considera integrants d'aquesta unitat. A la figura 23, que correspon al tall de la galeria FN 10 d'Undiano, es pot observar com, entre les sals intermèdies i la, aparentment, primera capa de carnal.lita, es situen dos nivells de 20-30cm de silvinita transformada. Tanmateix, en altres punts de la mina (fig. 24) es troben altres tipus de successions.

2) Mostratge

S'han realitzat dos mostratges d'aquest tipus petrològic:

- MO 53bis càmaras 8 i 9, i MO 32 (Zona Sur), on existeixen tres capes de carnal.lita sense transformar per sota de la silvinita transformada
- Zona de Càmaras (Esparza), on es troben únicament dues capes

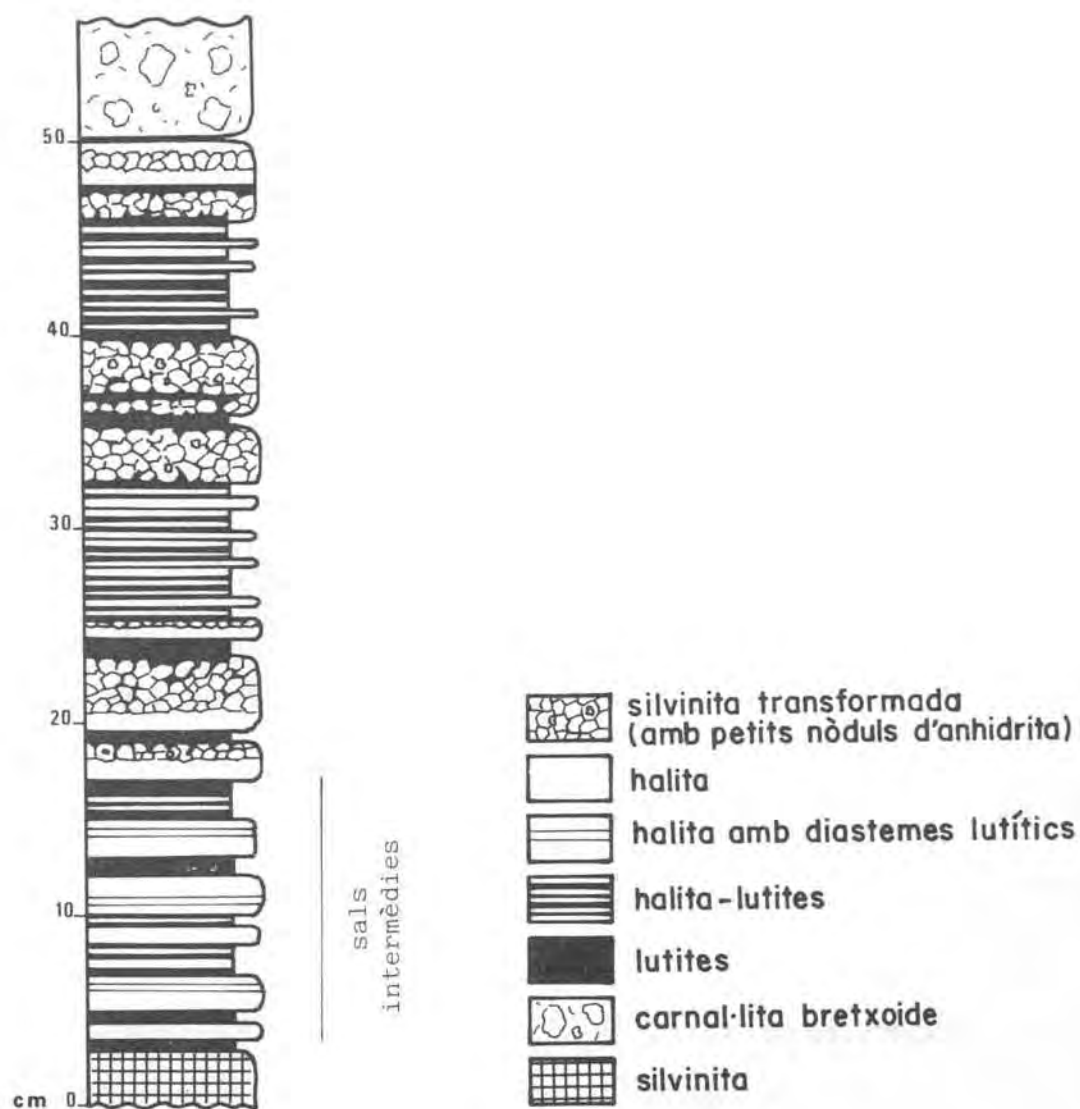


FIG. 23 Successió en el pas de la unitat de silvinita a la carnal.lita, a FN 10 (m. 200-240), Undiano. Per sobre de les sals intermèdies es presenten diversos nivells de silvinita transformada.

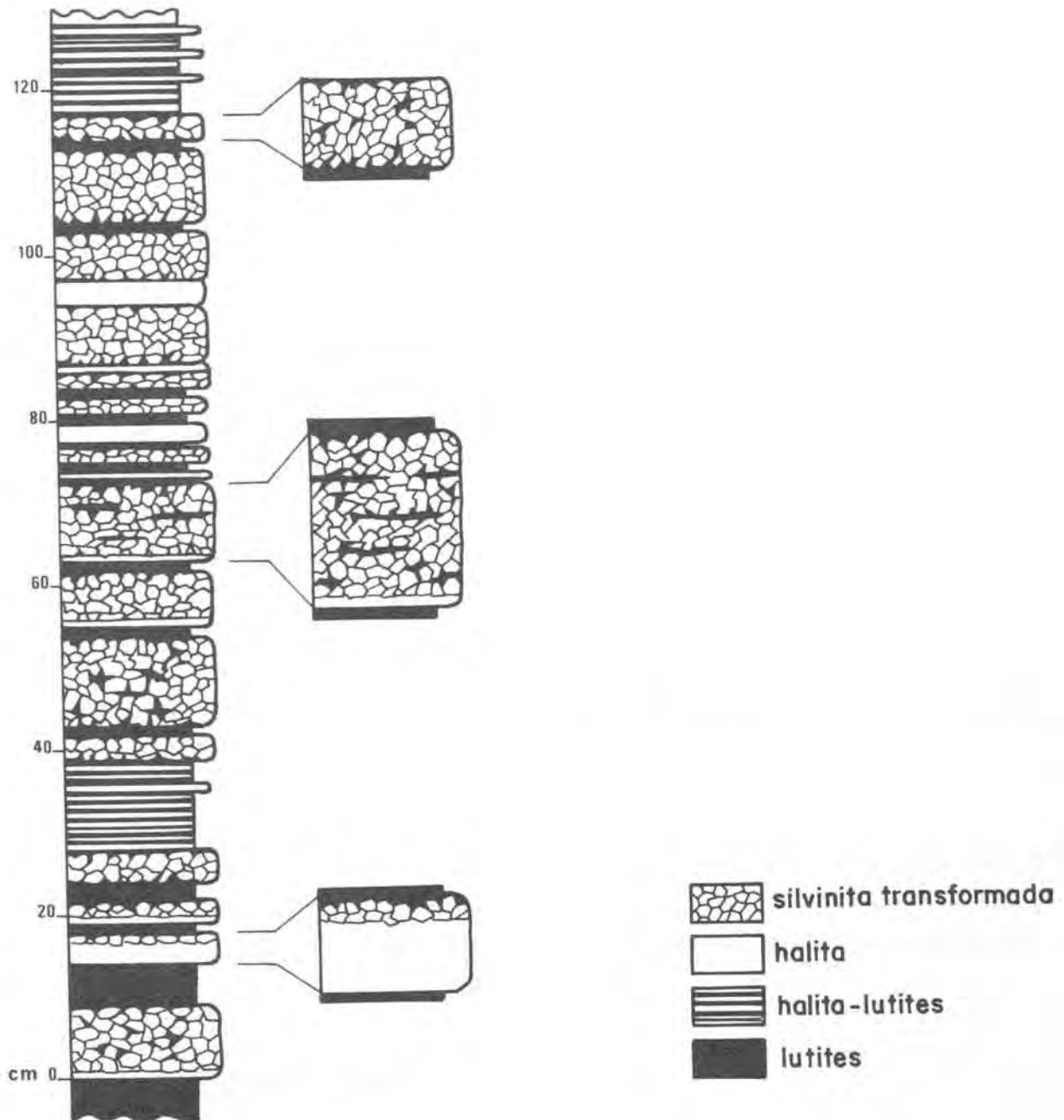


FIG. 24

Successió de la capa inferior de silvinita transformada a la Zona de Càmaras (Esparza)

de transformada per sobre de les sals intermèdies, i després es passa directament a les sals de sostre, sense que es presenti carnal.lita.

(fig. 13)

3) Litofàcies

La silvinita transformada està constituïda per cristalls de mida molt gran, que poden ser de dos tipus:

- vermells, amb abundants plans d'exfoliació, de composició silvítica,
- transparents, alguns dels quals són silvítics i altres d'halita.

(Lâm. 20, figs. 1 i 2)

Segons MENÉNDEZ (1971), d'aquests cristalls transparents el 80% són de silvita i el 20% d'halita. Localment, poden desenvolupar-se nuclis de silvita pura, de color blanc amb tonalitat blavosa, a causa de la presència de petits cubs blaus d'halita.

En algunes parts de la mina, els cicles de transformada s'han conservat sense ser pràcticament pertorbats i s'observen perfectament els diastemes argilosos, les bandes halítiques i les bandes de silvinita transformada, en una disposició que deu ser equivalent fidel dels cicles originals de carnal.lita-halita (Lâm. 14, fig. 4). Destaca, en molts casos, l'aspecte ondulat del sostre dels cicles.

En altres zones l'aspecte de la transformada és més caòtic: els diastemes argilosos es troben en forma de fragments dispersos, i és pràcticament impossible reconèixer els cicles primaris.

4) Microestructura

a) característiques generals: es tracta, en la majoria dels casos, d'un mosaic de grans plaques de silvita vermella (de coloració rosada, amb taques més intenses, o beix uniforme al microscopi) i silvita transparent, de morfologia essencialment anèdrica (Lâm. 20, figs. 1 i 2). La mida de gra és difícil de precisar

perquè en la majoria dels casos els cristalls no estan individualitzats sinó que formen plaques bastant contínues. La mida màxima que s'ha observat supera els 10mm. Les mides més freqüents es situen entre 1 i 4mm, però en alguns casos es presenten zones amb mides bastant inferiors.

La presència, relativament freqüent, de restes d'inclusions en els cristalls transparents indica que probablement una part d'aquests cristalls és de composició halítica. Tanmateix, aquest és l'únic criteri petrogràfic per establir la diferència.

A part d'aquests possibles cristalls d'halita, s'observen petits nivells halítics ben definits (Làm. 20, fig. 2). Estan constituïts per halita anèdrica, amb mida de gra bastant homogènia generalment al voltant de 0,7mm, que de vegades mostra una certa orientació. En alguns casos, aquests cristalls poden presentar inclusions i localment s'observa alguna gran tremuja (Làm. 20, figs. 1 i 3). Cristalls d'halita euèdrics es troben associats als nivells d'insolubles. L'ur mida mitjana està al voltant dels 180µm.

Els nivells d'insolubles són generalment discontinus. A més dels cristalls euèdrics d'halita, solen presentar anhidrita intersticial, amb morfologia prismàtica.

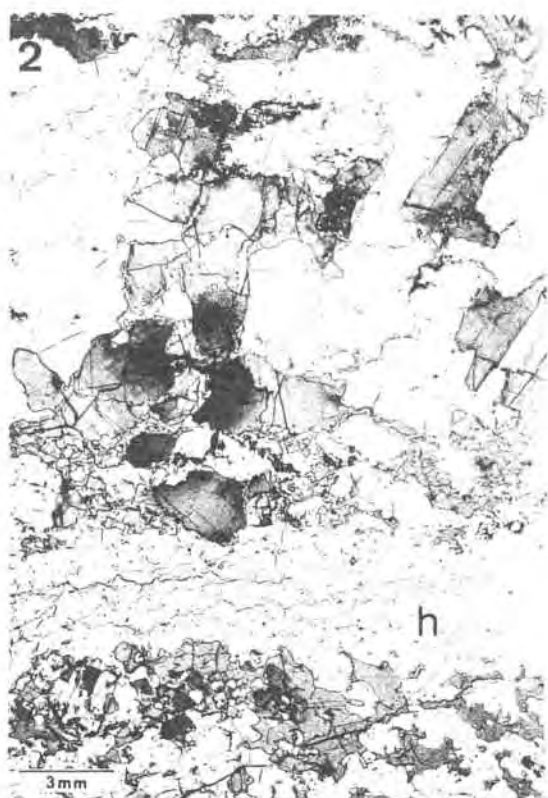
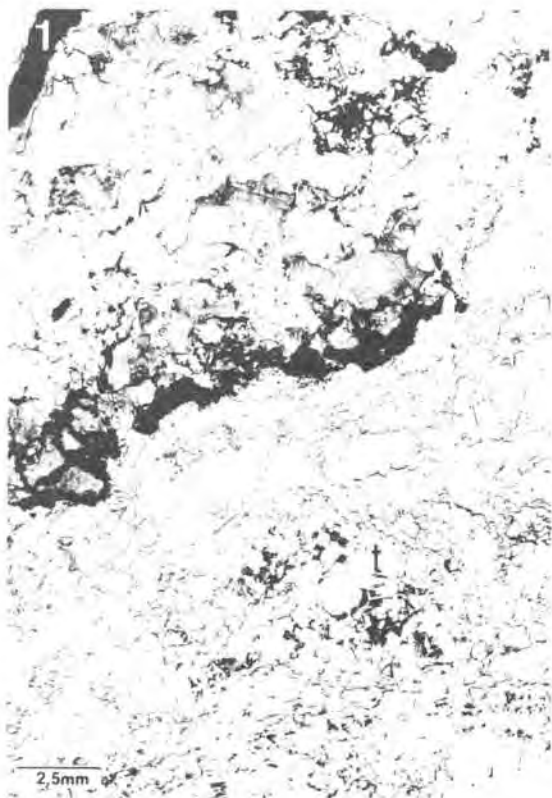
A grans augments, es poden veure les plaques i agulles d'hematites i goethita, respectivament, acumulades en les vores de gra (Làm. 20, fig. 4; veg. ap. 2.2.3.2./5).

b) sulfats: tant l'estudi petrogràfic com la difracció de raigs X, han revelat únicament la presència d'anhidrita (veg. ap. 2.2.3.3./2), la qual mostra predominantment morfologia prismàtica tot i que també són freqüents les formes rectangulars, romboïdals i irregulars. La mida més freqüent és: 10µmx140µm.

És característica la disposició dels prismes d'anhidrita a les zones de vores de gra, allargats paral·lelament formant bandes en els contorns dels grans (Làm. 20, figs. 5 i 6). Tanmateix, tampoc no és estrany trobar cristalls d'anhidrita en zones intragranulars.

c) insolubles: es tracta de micrita magnèsítica i argila, amb predomini de la micrita.

Làmina 20



2.2.2.8. LES SALS DE SOSTRE

1) Introducció

Per sobre del paquet de carnal.lita es troba una formació d'halita i lutites alternants, amb nivells anhidrítics associats, que marca el final de la deposició salina i que rep el nom de "sals de sostre" (fig. 14).

Té una potència mitjana entre 50 i 75m, però pot variar molt (entre uns 10m i més de 100m, RÍOS, 1963; MENÉNDEZ, 1971) d'una localitat a una altra, possiblement per raó de les falles o de processos de dissolució. En els sondeigs (fig. 15, fora de text) s'observa una acusada reducció de potència cap al sud-oest: 8,8m en el sondeig 13 (Puerto del Perdón) i 3,2m en el sondeig 15 (Basangaiz).

La proporció de lutita augmenta cap al sostre de la unitat.

2) Mostratge

S'ha dut a terme un mostratge sistemàtic en l'acceso a GM 16A(Undiano) on el paquet està bastant estirat i té una potència de tan sols 11m aproximadament, dels quals només els 7 inferiors eren observables. Algunes mostres soltes es van recollir a la galeria del telesella d'aquesta mateixa zona d'Undiano.

A JM 26 5bis (Zona Sur), s'han pres també algunes mostres i s'ha alçat una columna detallada d'un tram d'aquesta unitat. (fig. 13)

3) Litofàcies

A) Halita:

L'halita es presenta constituent capes d'1 a 10cm (generalment entre 1 i 4cm) separades per nivells argilosos laminats, els quals tenen una gruixària de 0,5 a 2cm en la majoria dels casos (pot oscil.lar de menys de 0,5 fins a 12cm). Generalment

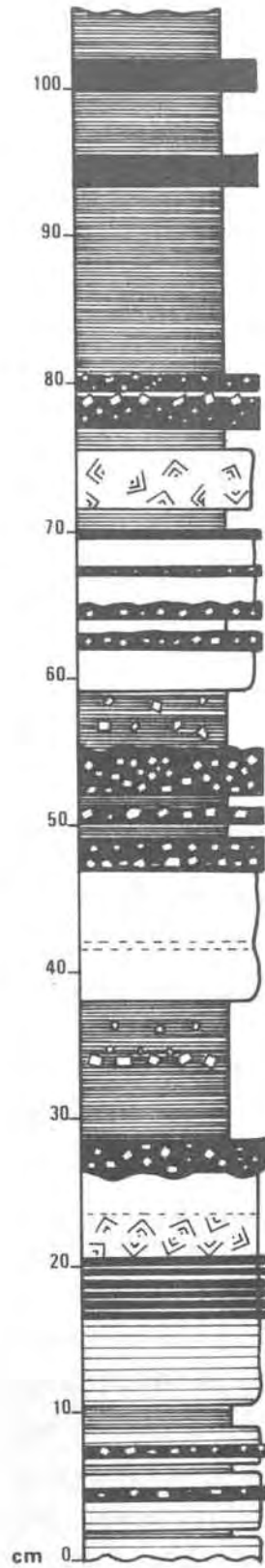


FIG. 25 Columna de detall d'un tram de les sals de sostre (JM26 5bis, Zona Sur).

- ◊◊◊◊ cristalls irregulars d'halita
- ◊◊◊◊ cristalls euèdrics "
- ◻ halita
- ▬▬▬▬ halita bandada
- ◻◻◻◻ halita amb grans tremuges
- anhidrita
- ▬▬▬▬ lutites
-

les capes d'halita no són homogènies sinó que es presenten subdividides per fines pel·lícules d'insolubles d'1mm o menys (Lãm. 21, fig. 1).

Associades a l'halita, apareixen capetes planes d'anhidrita, d'1 a 2cm de gruixària, que solen mostrar halita intersticial, generalment cúbica. Aquestes capes es van fent més abundants cap a la part superior de la unitat.

La mida de gra de l'halita augmenta de base a sostre. Així, mentre que en les capes més inferiors és fina-mitjana, va passant a mitjana-gruixuda, on ja comencen a distingir-se a ull nu els cristalls de tipus tremuja, i finalment a gruixuda, amb tremuges grans abundants, les quals confereixen a la roca halítica una coloració més blanca (sal gelatinosa).

L'halita pot mostrar un aspecte massís, si té una constitució homogènia, o bandat. En aquest darrer cas, alternen bandes d'halita clara, transparent, amb bandes que contenen abundants cristalls amb inclusions (tremuges) que, com acabem d'indicar, tenen una coloració més blanca (Lãm. 22).

En els contactes halita-lutita, cristalls individuals d'halita poden deformar la laminació de les lutites o fins i tot trencar-la i penetrar la capa argilosa. És freqüent també la presència de cristalls d'halita cúbics o irregulars, disseminats en els nivells argilosos. La fig. 25 ofereix un esquema detallat d'un tram d'1m de sals de sostre, a la galeria JM 26 5bis.

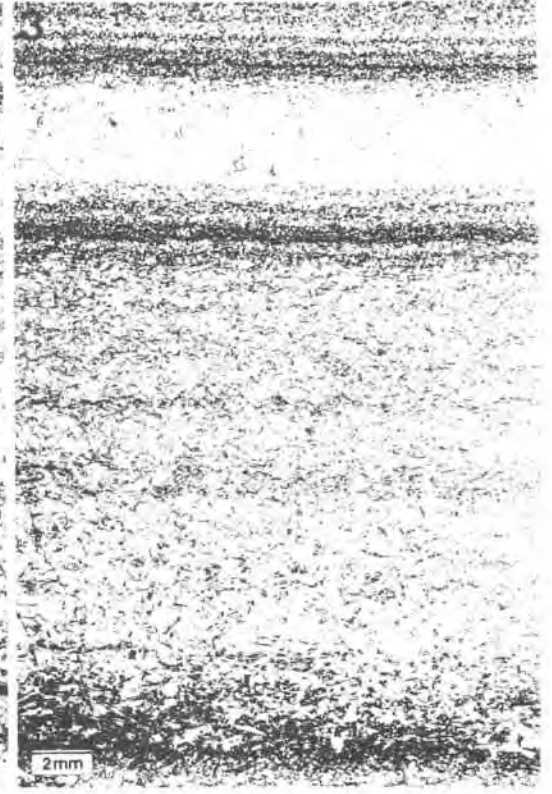
B) Anhidrita:

Els trams halítics es presenten a vegades associats a capes anhidrítiques planes, amb dolomita abundant, constituint el tipus de cicle que hem anomenat "d" (veg. darrer apartat d'aquest capítol). La gruixària d'aquestes capes sol ser d'1cm (fins a 2cm), però pot ser també inferior.

LÀMINA 21

- Fig. 1 Litofàcies de les sals de sostre en un testimoni del sondeig 13 (Puerto del Perdón). Es pot observar l'alternança de bandes halítiques i lutítiques. (escala en cms)
- Fig. 2 Cicles de tipus "a" i "c". Poden observar-se les bandes d'halita clara (c) i nivells amb grans tremuges. Destaquen les acumulacions de petites tremuges quadrades (q). (halites intercalades entre carnal.lita, l.p.)
- Fig. 3 Detall de dos cicles d'halita, en les sals de sostre. L'inferior, molt gruixut, és de tipus "c", amb tremuges quadrades i allargades. El superior és de tipus "a", amb un terme molt desenvolupat d'halita clara. (l.p.)
- Fig. 4 Cicles de tipus "b" i "c". El més inferior és de tipus "a", amb un nivell central d'halita clara ben desenvolupat (c). (sals de sostre, l.p.)
- Figs. 5 i 6 Detalls de la part inferior de la fotomicrografia anterior, en llum paral.lela i nicols encreuats, respectivament. En la figura 6 pot observar-se la distribució dels sulfats en els diferents termes, i com són molt escassos en el nivell d'halita clara.

Làmina 21



4) Microestructura

A) Halita:

Les característiques de l'halita en les sals de sostre són molt similars a les de les halites intercalades en el paquet de carnal.lita. Per això, evitarem tornar a descriure els aspectes coincidents i tractarem només les diferències.

a) característiques de l'halita: trobem també aquí l'halita clara i l'halita d'inclusions. En aquesta darrera es presenten les mateixes zonacions descrites en l'apartat 2.2.2.6./4.B.a. (Làm. 21; Là. 22; Là. 23, figs. 1 i 2). Pel que fa a les mides, les formes euèdriques quadrades oscil·len entre 120 i 220 μ m. Els grans anèdrics varien de 0,4 a 2mm, però en la majoria dels casos estan al voltant d'1mm.

c) sulfats: també aquí s'ha reconegut únicament anhidrita (al microscopi i en els difractogrames, veg. ap. 2.2.3.3./2) i tant les morfologies com la distribució coincideixen amb el que es descriu a l'apartat 2.2.2.6./4.B.b.

Quant a les mides, també similars, la mitjana varia de 15 a 40 μ m per a l'amplada (generalment de 20 a 30 μ m) i de 100 a 200 per a la llargària (màxim: 50 μ m x 750 μ m). En l'halita clara, amb cristalls més petits, els valors predominants són 50 μ m per a les formes equidimensionals i per a les allargades, 20 μ m d'amplada i entre 50 i 110 μ m de llargària.

d) carbonats: s'observa, en les sals de sostre, un cert predomini de les formes romboèdriques (dolomita, segons les dades de difracció de raigs X; veg. ap. 2.2.3.4.), especialment en els nivells rics en carbonat que de vegades es troben adjacents als nivells d'insolubles, i també en els nivells constituïts per anhidrita-halita-dolomita (Làm. 23, figs. 4 i 5). Quan es troben associats als nivells de grans tremuges, es disposen intersticialment seguint les vores de grà (Làm. 23, fig. 3).

Les mides oscil·len entre 20 i 400 μ m, però en la majoria

LÀMINA 22

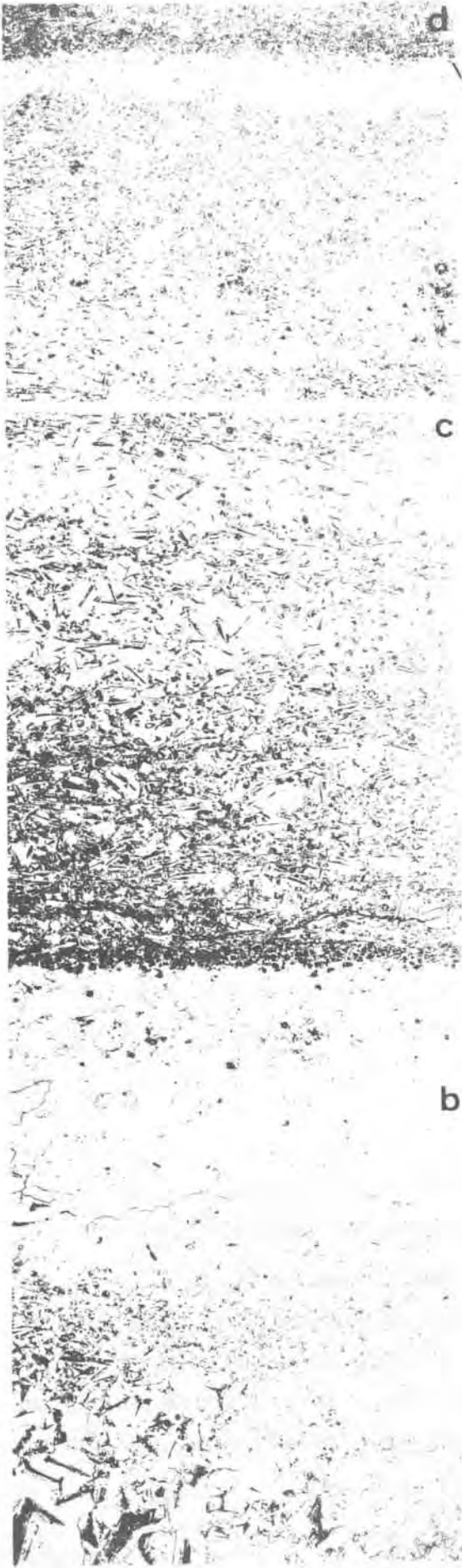
Litofàcies d'una capa d'halita en les sals de sostre, i detall de la microestructura. L'aspecte bandat de la litofàcies és produït per l'alternança de bandes més o menys riques en inclusions.

En el detall de la microestructura s'observen dos cicles de tipus "a". En l'inferior, amb grans tremuges a la base, el terme d'halita clara està molt ben desenvolupat, mentre que el terme superior d'halita amb inclusions és molt reduït.

El cicle superior és complex. El terme inferior d'halita amb inclusions és molt potent i intercala zones amb més proporció de halita clara. Les inclusions són allargades i quadrades.

(l.p.)

Làmina 22



dels casos es restringeixen entre de 50 a 100 μ m.

També són freqüents les altres morfologies descrites a l'apartat 2.2.2.6./4.B.c., especialment les formes irregulars.

d) Insolubles: estan constituïts per argila i micrita carbonatada, de composició dolomítica (veg. ap. 2.2.3.4. i 2.2.3.5.).

B) Anhidrita:

L'anhidrita mostra microestructura prismàtica desorientada i, localment, microgranular. La mida mitjana dels prismes és de 20-30 μ m d'amplada per 150-200 μ m de llargada.

La dolomita és predominantment romboèdrica, però també són abundants els grans anèdrics. La mida mitjana està al voltant dels 70 μ m, però pot variar de 20 a 150 μ m. Localment poden haver-hi zones halítiques.

C) Tipus de cicles:

Trobem també aquí els cicles de tipus "a", "b" i "c", descrits a l'apartat 2.2.2.6./4.B.e., en les halites intercalades entre les carnal.lites. Tanmateix, cal destacar que en les sals de sostre, llevat de les primeres capes, la gruixària d'aquests cicles pot augmentar molt (fins a 4cm en les làmines primes estudiades). També és freqüent que les bases dels cicles estiguin constituïdes per grans tremuges (Làm. 22, fig. b) formant nivells que poden ser bastant potents (fins a 3-4cm), i que de vegades estan escapçats per un horitzó de dissolució (Làm. 23, fig. 1).

Quan les capes d'anhidrita es fan freqüents, es presenta en les sals de sostre un nou tipus de cicle, "d", que inclou anhidrita i dolomita abundants (fig. 22, Làm. 23, figs. 4 i 5). La dolomita mostra hàbit predominantment romboèdric. En aquest tipus de cicle, la successió és la següent:

LÀMINA 23

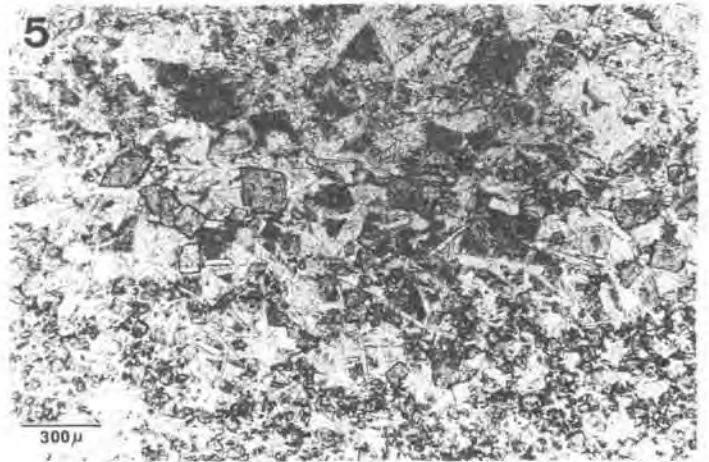
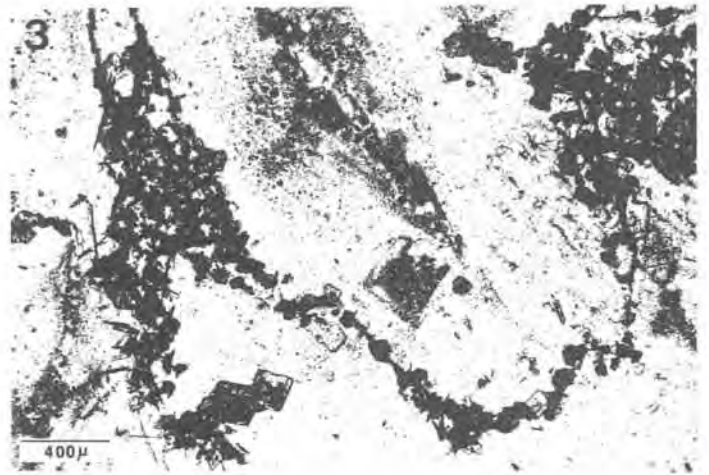
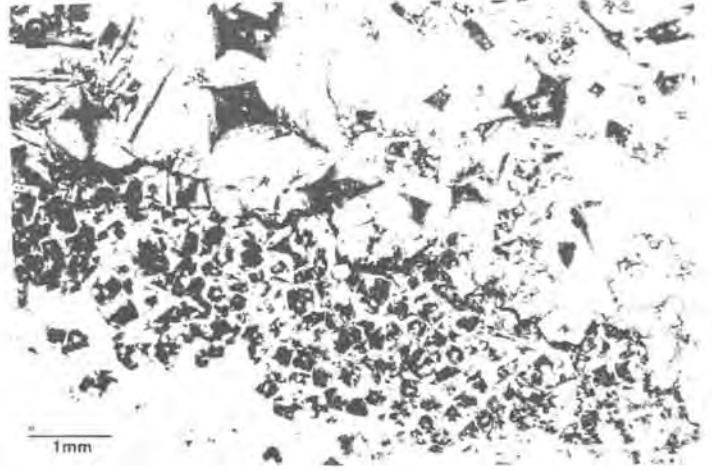
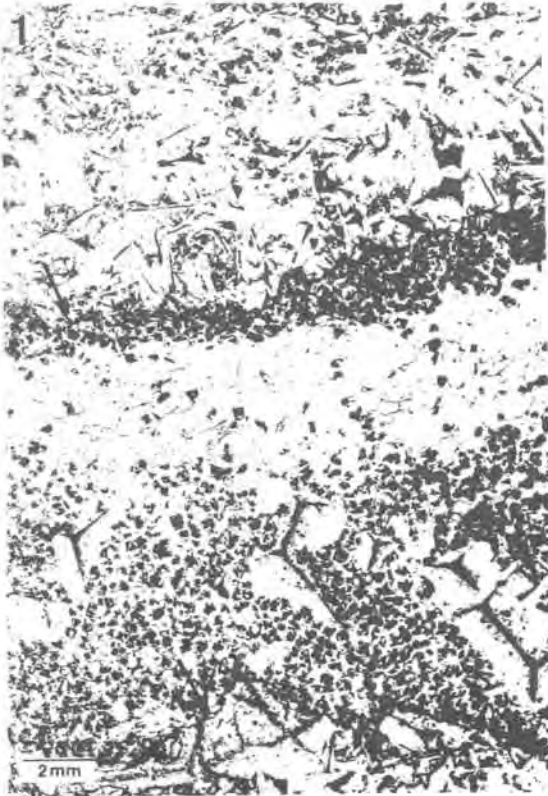
Cicles de tipus "a", amb grans tremuges a la part basal, associades a tremuges petites quadrades. Un cicle central queda delimitat per dos nivells de dissolució (fletxes). (sals de sostre, l.p.)

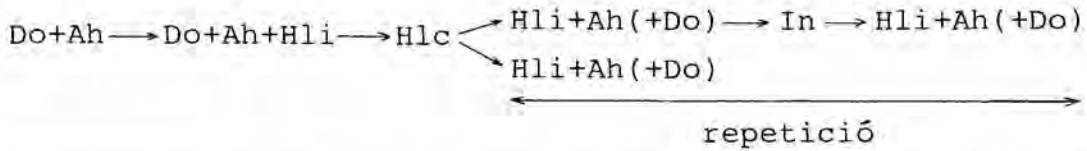
Detall de la fotomicrografia anterior on s'observa el nivell de dissolució superior, i els diferents tipus de tremuges que es presenten per sobre i per sota d'aquest nivell (l.p.)

Cristalls de carbonat romboèdric (dolomita) i sulfats, que es disposen seguint les vores dels grans d'halita. Aquests presenten un nucli central amb inclusions (sol ser un tremuja gran), envoltat per halita clara. (sals de sostre, l.p.)

Cicles de tipus "d". La successió que s'observa és: a la base, anhidrita i dolomita (a); en la part inferior, halita d'inclusions, anhidrita i dolomita (b); una banda gruixuda d'halita clara en la part central-superior (c); i en la part superior, halita d'inclusions, amb anhidrita, i dolomita poc abundant (d). (sals de sostre, l.p.)

Detall de la fotomicrografia anterior on s'observa l'associació: halita d'inclusions-anhidrita-dolomita. Aquesta darrera mostra morfologia romboèdrica. (l.p.)





(Do=dolomita, Ah=anhidrita; altres abreviatures igual que en l'apartat 2.2.2.6./4.B.e.)

El terme inferior de dolomita-anhidrita, sense halita, pot faltar, i els dos termes darrers poden repetir-se. El pas al nivell d'halita clara sol ser bruscat i, en alguns casos, sembla un horitzó de dissolució. En els termes en què predominen l'halita d'inclusions i l'anhidrita (la presència d'una petita proporció de dolomita s'indica amb un parèntesi), és freqüent observar bandes on predominen l'una o l'altra. La gruixària dels cicles és d'1,5 a 3cm.

El tipus d'associació: dolomita-anhidrita-halita, es troba també en la conca potàssica d'Alsàcia, mentre que segons PUEYO MUR (1975) no s'observa a la conca potàssica catalana.

2.2.2.9. LES MARGUES DE SOSTRE ("MARGAS FAJEADAS")

1) Introducció

Per sobre de les sals de sostre es troba una formació constituïda essencialment per lutites laminades versicolors (fajeadas) que té una potència mitjana de 50m (fig. 26).

Conté nivells anhidrítics i intercalacions sorrenques que es fan més abundants cap al sostre, per donar pas finalment a la unitat arenítica suprajacent (gresos de Galar).

2) Mostratge

S'han dut a terme dos mostratges:

-JM 76 (Zona Sur)

-NP 12 (fondo del culatón)

i s'han recollit també mostres dels nivells anhidrítics a GE 15 (Esparza) i a MO 20 cale 6 (Zona Sur). (fig. 13)

3) Litofàcies

A) Lutites:

Les lutites mostren una laminació molt fina (mil.limètrica) i colors variats: rogenc, verdós, marró. L'estudi per difracció de raigs X d'agregats orientats preparats amb algunes d'aquestes lutites revela la presència de: il.lita, clorita(-caolinita?), quars, calcita i, de vegades, dolomita.

És freqüent la presència d'esquerdes de dessecació (fins a 20cm de diàmetre, en les zones estudiades). Les intercalacions sorrenques mostren sovint ripple-marks.

Dins de les lutites es troben creixements de cristalls de sal que solen deformar la laminació (Lâm. 24, fig. 1).

L'anàlisi de nannplàncton d'una mostra d'aquestes lutites ha revelat un contingut abundós (veg. ap. 2.1.3.).

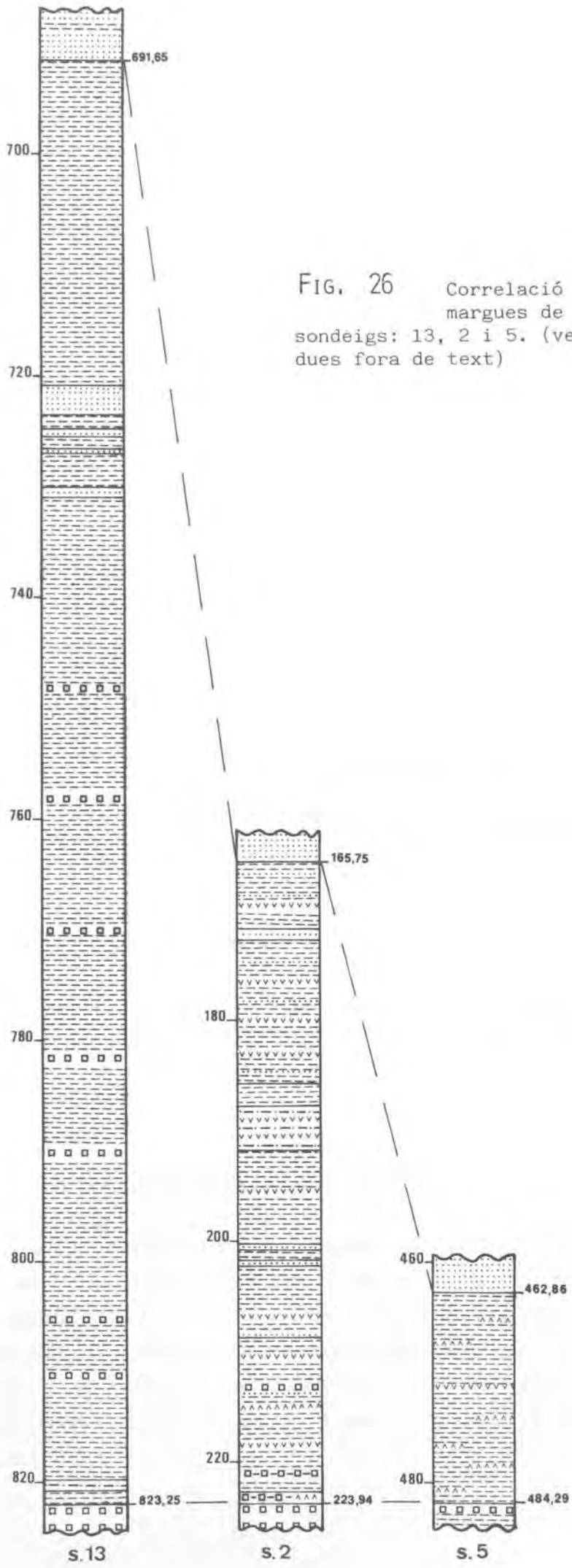


FIG. 26 Correlació entre les successions de margues de sostre tallades en els sondeigs: 13, 2 i 5. (veg. figs. 11 o 15a, totes dues fora de text)

-  lutites
-  guix
-  anhidrita
-  halita
-  gresos

B) Anhidrita:

Les anhidrites associades a les lutites de sostre formen capes planes, de 2-3cm de gruixària, en les quals l'anhidrita està associada a dolomita. Constitueixen també nivells enterolítics que poden arribar a assolir alguns decímetres de gruix i que solen acabar de manera sobtada o passar lateralment a capes planes (fig. 27). S'ha pogut observar també la presència de capes anhidrítiques planes, com les esmentades anteriorment, però amb una marcada laminació encreuada en la seva estructura interna (Lâm. 24, fig. 3).

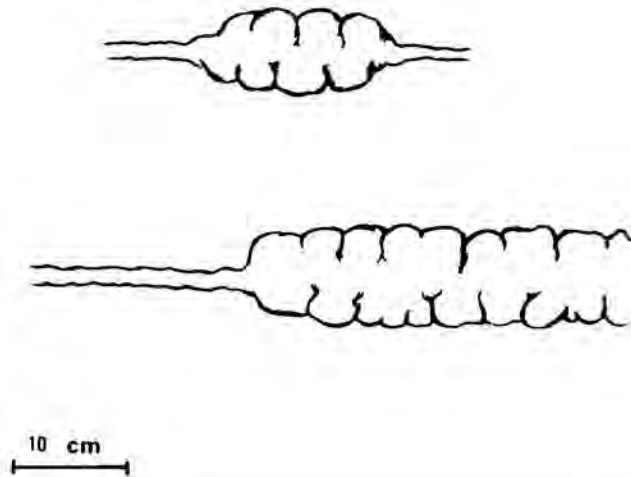


FIG. 27 Geometria de les capes enterolítics de les anhidrites de sostre, amb pas lateral a capes planes (Zona Sur, MO 20, cale 6).

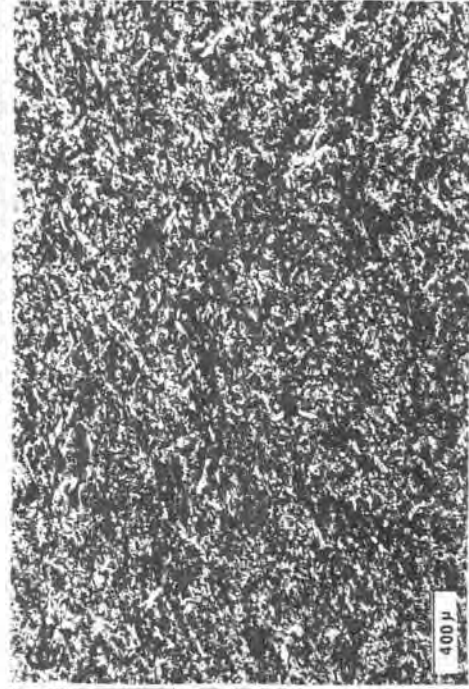
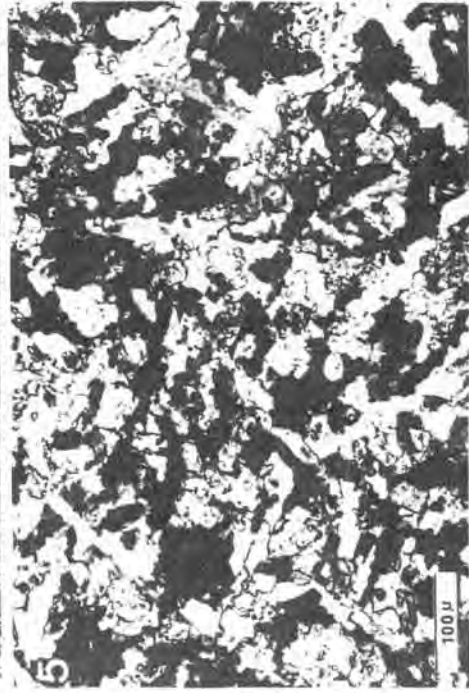
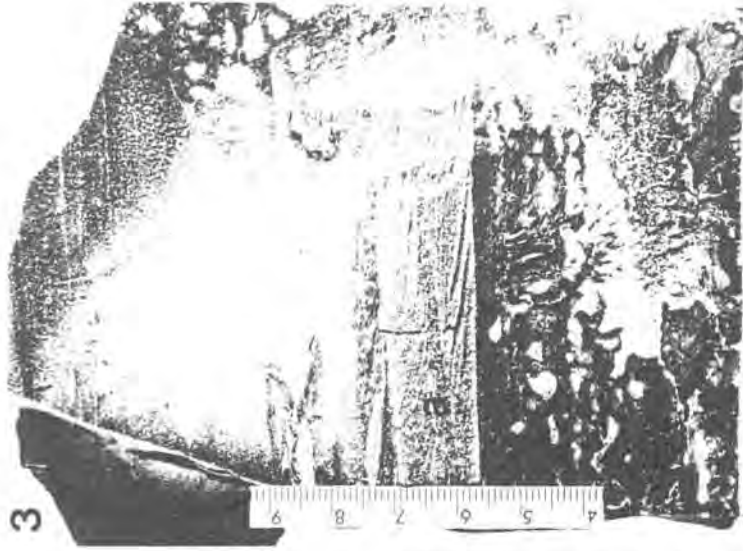
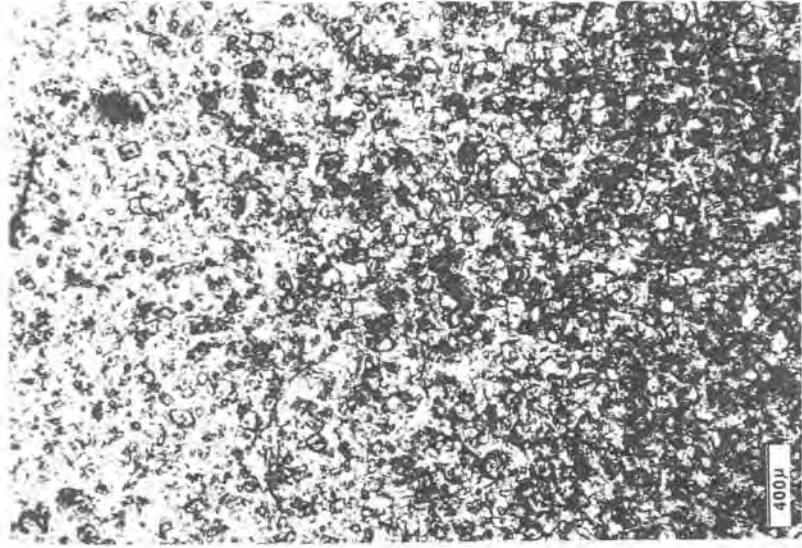
4) Microestructura de l'anhidrita

Les capes planes tenen característiques molt similars a les que es presenten associades a les sals de sostre (veg. ap. 2.2.2.8./4.B.). L'anhidrita mostra microestructura prismàtica desorientada i localment microgranular, amb els contactes entre els grans molt sovint interpenetrats (Lâm. 24, fig. 5). La mida dels prismes oscil·la de 20 a 30µm d'amplada i de 400 a 500µm de llargària.

LÀMINA 24

- Fig. 1 Creixements d'halita associats a lutites laminades. Els cristalls d'halita deformen i/o trenquen la laminació. (margues de sostre, escala en cms)
- Fig. 2 Microestructura de la part inferior d'una capa d'anhidrita-dolomita. A la base, predomina la dolomita (anèdrica-subèdrica), però es va fent menys abundant, i de mida més petita, cap a la part superior on predomina l'anhidrita. (margues de sostre, l.p.)
- Fig. 3 Capa d'anhidrita amb laminació encreuada (a) en posició central, intercalada entre lutites laminades. (margues de sostre, escala en cms)
- Fig. 4 Dolomita romboèdrica associada a anhidrita de microestructura prismàtica desorientada. (margues de sostre, l.p.)
- Fig. 5 Microestructura prismàtico-desorientada de l'anhidrita, associada a cristalls de dolomita. Els cristalls d'anhidrita mostren vores interpenetrades. (margues de sostre, n.e.)
- Fig. 6 Microestructura de l'anhidrita enterolítica de sostre. Es predominantment microgranular amb desenvolupaments fluïdals i fasciculars. (n.e.)
- Fig. 7 Detall de l'anterior. (n.e.)

Lámina 24



La dolomita és predominantment romboèdrica (Làm. 24, fig. 4) però sol haver-hi una certa proporció de formes anèdriques. En una de les capes estudiades, pràcticament tota la dolomita és de morfologia anèdrica. La mida dels cristalls pot variar de menys de 10 μ m fins a 125 μ m. En general, la base de les capes sol ser més dolomítica i a poc a poc va augmentant el contingut en anhidrita, produint-se, en molts casos, al mateix temps una disminució en la mida dels cristalls de dolomita (Làm. 24, fig. 2). En els nivells més dolomítics, no s'observa gaire bé la microestructura prismàtica de l'anhidrita, sinó que sembla més aviat que aquesta ompli els espais entre els rombòedres de dolomita. S'observa sempre una adaptació dels cristalls d'anhidrita a les morfologies romboèdriques de la dolomita, i hem pogut comprovar en bastants casos, que l'anhidrita reemplaça de manera incipient a la dolomita. Aquests dos fets suggereixen que el creixement de l'anhidrita es va produir en un estadi posterior al de la dolomita. Cal recordar que aquesta relació coincideix amb la que es dedueix de l'estudi de l'anhidrita basal (veg. ap. 2.2.2.2./4.B.).

Aquestes capes poden mostrar una certa laminació que pot ser deguda a diferències en la mida dels cristalls de dolomita, presència ocasional de dolmicrita, o àdhuc diferències de tonalitat en els rombòedres, que en alguns casos poden mostrar un to molt fosc, possiblement a causa d'un contingut elevat en ferro.

L'anhidrita enterolítica presenta fàbriques microgranulars i fluïdals, i no està associada a dolomita (Làm. 24, figs. 6 i 7).

2.2.2.10. ELS GRESOS DE GALAR

Es tracta d'un paquet de gresos, amb intercalacions argiloses, on l'estructura dominant són els ripples d'oscil·lació, i que es pot seguir, de manera més o menys contínua, des de l'oest d'Undiano fins a Ruesta (prov. de Saragossa; veg. fig. 7, fora de text). Aquesta unitat és estudiada extensament a PUIGDEFÀBREGAS (1975).

Segons DEL VALLE (1978) la seva potència en la zona del jaciment és mínima en la part central (10-15m) i augmenta cap al nord (80-90m) i el sud-est (110m a Subiza).

En la zona del sinclinal d'Izaga (Indurain i Ilundain) presenten aquests gresos concentracions de conquilles i nummulits. També, en diferents punts, presenten esquerdes de dessecació i petjades d'ocells (sinclinal d'Izaga, Liédena, Yesa).

PUIGDEFÀBREGAS (1975) interpreta aquesta unitat com un ambient restringit de tipus lacunar, amb influències fluvials cap a l'ESE i amb influències marines cap al NO.