

Estudi del glaciariisme quaternari de les Altes Valls de la Ribagorça

Joan Manuel Vilaplana i Fernández

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



JOAN MANUEL VILAPLANA

ESTUDI DEL GLACIARISME QUATERNARI
DE LES ALTES VALLS DE LA RIBAGORÇA

DEPARTAMENT DE GEOMORFOLOGIA I TECTÒNICA
FACULTAT DE GEOLOGIA
UNIVERSITAT DE BARCELONA

043 Vil

R. 1368

3. PETROGRAFIA I SEDIMENTOLOGIA DELS DIPÒSITS GLACIALS I
D'ALTRES SEDIMENTS RELACIONATS.

"La chronologie quaternaire, dans les Alpes, ne pourra jamais être entièrement ... résolue par la morphologie seule".

E. JOUKOWSKY, 1931.

En el present capítol hom preten parlar del tractament que se l'hi ha donat al material sedimentari estudiat. De manera complementària a l'estudi regional, l'anàlisi temàtica dels dipòsits glacials i sediments relacionats tracta de contribuir a un millor coneixement d'aquests materials quaternaris del Pirineu. Així doncs, l'estudi petrogràfic i sedimentològic d'aquests sediments vol intentar cobrir els següents objectius:

- Fer una descripció de les litofàcies presents en l'àrea d'estudi i atribuir-les-hi una interpretació genètica.
- Establir una tipologia dels tills en funció de les classificacions internacionals actuals.
- Estudiar l'ambient i els processos deposicionals dels tills, així com la seva relació amb els dipòsits glàcio-lacustres i glàcio-fluvials, amb el conseqüent establiment de models sedimentaris.

- Extreure dels punts anteriors les possibles implicacions estratigràfiques per tal d'establir un assaig de cronologia glacial quaternària al Pirineu.

3.1. LA PROBLEMÀTICA CLASSIFICACIÓ DELS DIPÒSITS D'ORIGEN GLACIAL: ELS TILLS

Crec important fer una sèrie de consideracions a l'entorn del terme till. Opino que val la pena d'introduir aquest terme, amb totes les seves variants genètiques, en la comunitat d'especialistes que ens dediquem a estudiar el glaciariisme del Pirineu. La justificació d'aquest propòsit es deu a la manca de la paraula adequada en la nostra pròpia llengua; a més, aquest terme és utilitzat en el lèxic especialitzat internacional, la qual cosa unifica criteris i conceptes dintre d'una disciplina científica. Així doncs, la paraula till recull una significació més concreta en el terreny sedimentològic que d'altres termes existents i provinents de llengües estrangeres no forçosament anglosaxones.

Per a la definició d'aquest terme hom ha utilitzat principalment el material discutit i elaborat per la "INQUA Commission on Genesis and Lithology of Quaternary Deposits" durant els darrers anys, i el qual ha estat recollit pel professor Aleksis DREIMANIS, president i principal dinamitzador de la Comissió esmentada.

3.1.1. TILL: UN SEDIMENT

Els tills i els termes relacionats amb ell tenen implicacions històriques i regionals. Segons FLINT (1971), la paraula till és d'origen escocès i fou emprada per moltes generacions d'habitants d'aquelles contrades per a descriure: "a kind of coarse, obturate land". En la literatura geològica, fa més de cent anys que s'utilitza aquest terme per a definir els sediments glacials. En moltes altres llengües (francès, alemany, rus, català, castellà, etc) s'ha utilitzat i s'utilitza el terme francès "moraine" definit als Alps i adaptat ortogràficament a cadascun dels idio

mes que l'han incorporat. El vocable morrena (o morena) té, però, una significació més àmplia que no pas till. El primer considera a la vegada el material en transport, amb una morfologia i posició determinada, així com el material depositat per la glacera. És per això que aquest terme també és utilitzat en el present treball, en el sentit de la definició proposada per VILAPLANA, J. M. (1979):

Morrena: forma d'acumulació glacial donada per algun tipus de till que conserva la morfologia original i la seva situació deposicional respecte a la gelera.

I també és utilitzat com adjectiu, com en el cas de material morrènic, blocs morrènics, etc.

A diferència de morrena, till es refereix més concretament al material depositat per la glacera. Ara bé, també cal dir que no és pas l'únic terme que s'ha utilitzat per a definir els sediments glacials. D'altres paraules similars són:

Diamictita: qualsevol sediment gens o poc classificat, el qual conté un ampli ventall granulomètric. (Segons INQUA Commission, in DREIMANIS, A. 1982).

"Glacial Drift": és un terme molt ampli definit per FLINT (1971) . Engloba tot el material rocallós transportat per una glacera, tots els dipòsits produïts per una glacera, així com tots els dipòsits predominantment d'origen glacial generats en el mar o en aigües de fusió incloent-hi el transport per "ice-bergs" o per la mateixa aigua. Inclou els tills, "strati-

fied drift", i els clastes dispersos que manquen de matriu.

"Glacial debris": pel qual proposo el terme d'arrossegalls glacials. Es tracta de material que està sent transportat per una glacera en contacte amb el gel glacial. (segons INQUA Commission, in DREIMANIS, A. 1982).

Finalment la definició del terme till elaborada per la "INQUA Commission" i que ja fou recollida i utilitzada per VILAPLANA, J. M. (1979) és la següent.

Till: sediment que ha estat transportat i depositat per o des d'una glacera, amb poca o nula classificació per aigua.

Es pot parlar també de till primari (BOULTON and DEYNOUX, 1981) o d'orto-till (HARLAND, 1966; modificat per DREIMANIS, 1982) quan ha estat depositat directament per la glacera. I podem dir till secundari (BOULTON and DEYNOUX, 1981) o al.lo-till (DREIMANIS, 1982) quan els arrossegalls glacials han tingut una redeposició en l'ambient glacial.

Aquesta definició de till exclou tota una sèrie de sediments com ara els dipòsits glàcio-fluvials, els glàcio-lacustres, els glàcio-marins, i les diamictites de gènesi periglacial o les produïdes per moviments de massa subaquàtics.

3.1.2. FACTORS A CONSIDERAR EN LA GÈNESI DELS TILLS

Les aigües de fusió, malgrat ser un agent geològic diferent del gel, juguen un paper important en la sedimentació dels dipòsits glacials. Aquells tills en els quals

trobem una classificació pobra del sediment han patit les conseqüències de la circulació de les aigües de fusió, ja sigui per canals, per pous i cavitats a l'interior de la glacera, o bé a través de fractures. Aquestes aigües provoquen un rentat de fins, a la vegada que generen estructures locals de classificació del sediment com ara nivells interstratificats o lenticulars constituïts generalment per sorres. La presència de l'aigua en la deposició d'un till ja ens defineix un tipus de till de fusió o "melt-out till".

Els moviments en massa que afecten als arrossegalls glacials, ja sigui a la superfície de la glacera, als marges glacials o a les cavitats sub-glacials i endo-glacials, configuren una sèrie d'estructures sedimentàries als tills que LAWSON (1979) atribueix a processos de "flowing", "sliding", "spelling", "slumping" i "dropping", que ens defineixen el till d'esllavissament o "flow-till".

Les deformacions degudes a esforços glacials produeixen estructures moltes vegades presents en els tills. Generalment són degudes al moviment d'avenç de la glacera o també al seu propi pes. Quan les deformacions tenen lloc a l'interior de la glacera, es produeixen estructures de cisallament ("shearing"). Si es produeixen a la base de la glacera seran de compressió vertical per càrrega glaciostàtica, combinades amb cisallaments. I al front de la glacera té lloc l'efecte "bulldozer" que deforma els materials sedimentats davant l'avenç de la gelera, generant-se uns tills de deformació que també s'anomenen "push-moraines". Els tills que han sofert aquestes deformacions s'anomenen tills de deformació o "deformations tills".

L'actuació d'aquestes tres famílies de factors, que generalment esdevé sincrònica, i a escales diverses, provoca una sèrie de problemes com són les barreges de fàcies de diamictites amb contactes transicionals en un

mateix dipòsit (Per aquest motiu en una morrena hi poden haver diversos tills). Tot això dificulta enormement la interpretació i correlació dels dipòsits glacials, i sobretot dificulta encara més la diferenciació cartogràfica a escala de detall dels tills.

3.1.3. PRINCIPALS PROPIETATS COMUNS EN LA MAJORIA DE TILLS

a) Característiques sedimentològiques.

- Poca classificació (són diamictites)
- Varietat de roques i minerals en els seus components, alguns d'ells llargament transportats.
- La majoria de clastes que han sofert un transport sub-glacial i endo-glacial presenten rastres d'abrasió glacial (estries, facetes pulides, marques d'impacte i de tracció).
- La fàbrica i estructures dels tills primaris està relacionada amb la direcció del flux glacial.
- El tills primaris recobreixen generalment el substrat rocós glacialment erosionat o deformat.

b) Posició dels materials depositats respecte a la glacera.

Els arrossegalls glacials poden ocupar diferents posicions respecte a la glacera que els transporta i que els depositarà com a tills. Principalment hi ha dues posicions de deposició; la primera és la supra-glacial i la segona la sub-glacial. DREIMANIS. A (1982) proposa com a sinònim del primer tipus, el concepte de marge glacial ("ice-marginal"), ja que enten que aquest concepte engloba tant la zona juxta-glacial lateral de la glacera com la zona pro-glacial. Cal entendre que, en aquest cas, el terme pro-

glacial té un sentit més restrictiu que l'utilitzat freqüentment, puig que al referir-se a la deposició de till, aquesta té lloc a la franja de contacte amb la glacera.

Per contra, la posició sub-glacial és aquella que té lloc a la base de la glacera, generalment en contacte amb els materials (rocosos o no) que formen el llit glacial.

c) Ambient deposicional

Terrestre: deposició en medi subaèri, on la glacera descansa sobre el substrat rocós o de sediments que configura el llit glacial.

Subaquàtic: deposició en bosses d'aigua que omplena cavitats de la gelera; o quan la zona frontal (de vegades lateral) de la glacera entra en un llac o en el mar.

d) Processos deposicionals i tills associats.

- Processos primaris (que produeixen orto-tills):

- "Lodgement": deposició a partir de la base de lliscament de la glacera (indica glacera dinàmicament activa) per pressió de fusió i/o per d'altres processos mecànics. Es produeix el "lodgement till", nom difícilment traduïble a la nostra llengua.

- "Melting-out" (fusió o ablació): deposició produïda per un lent alliberament d'arrossegalls provinents del gel en fusió o sublimació, sen-

se produir-se relliscaments ni deformacions internes. La fusió, i per tant la circulació d'aigua, s'esdevé generalment a la superfície o a la base de la glacera. La sublimació només té lloc sota un clima polar àrid (SHAW, 1976). El producte d'aquest procés s'anomena "Supraglacial i/o subglacial melt-out till" segons els especialistes BOULTON (1970, 1971), LAWSON (1979) i SHAW (1979). Potser caldria traduir-lo per till supra-glacial i/o till sub-glacial de fusió. També es podria utilitzar la paraula ablació en comptes de fusió, però DREIMANIS (1982) s'inclina per la segona, doncs el terme ablació, segons ell opina, és excessivament ampli.

- Canvi en la dinàmica glacial: que comporta la interrupció de la deformació i arrossegament del material transportat a sota la base de la glacera. Es produeix el till de deformació ("deformation till")

- Processos secundaris (que produeixen allo-tills).

Encara que aquests processos no són molt coneguts, i sobretot tenint en compte que no hi ha hagut una unificació de criteris per part dels diferents especialistes, hom pot dir que tots ells estan relacionats amb els moviments en massa que es produeixen en els tills depositats tant supra com sub-glacialment. Aquests moviments en massa dels tills (comentats anteriorment) esdevenen en medi subaeri i subaquàtic. A les morrenes laterals i frontals és normal que es produeixin esllavissades, colapsaments, colades fangoses, etc. dels sediments glacials. Aquests processos generen els "flow-tills" que, tal com ha estat apuntat anteriorment, potser es podria traduir per till d'esllavissament.

3.1.4. LA CLASSIFICACIÓ GENÈTICA DELS DIPÒSITS GLACIALS, ELABORADA EN EL SI DE LA "INQUA COMMISSION ON GENESIS AND LITHOLOGY OF QUATERNARY DEPOSITS"

Durant els darrers anys, en el sí de la Comissió a dalt esmentada, diversos dels seus membres, que són destacats especialistes en la matèria, han elaborat i proposat diverses classificacions (veure'n un exemple en la Fig 15). Algunes eren força complicades, i totes han estat llargament discutides sobretot durant els últims cinc anys. Finalment però, A. DREIMANIS va sintetitzar les diferents opinions, i elaborà una taula de classificació (Fig.16-) que va ser presentada en el XI Congrés de l'INQUA a Moscou. Sense pretendre donar-la com la classificació definitiva dels tills, en ella hom intenta que la classificació sigui el màxim de comprensiva i que a la vegada tingui una significació deposicional. En ella, es té en compte des de l'origen i posició respecte a la gelera dels arrossegalls glacials, fins als processos i ambients deposicionals.

Tots els criteris exposats d'una manera sintètica en el present capítol, són els que he intentat utilitzar, amb més o menys encert, en l'estudi dels tills de les altes valls de la Ribagorça.

GLACIAL DEBRIS IN TRANSPORT		TILLS	
		DEPOSITED BY GLACIERS ON LAND OR AGROUND, IF IN WATER	BY GLACIERS IN WATER
GLACIAL ICE	SUPRAGLACIAL DEBRIS	ABLATION TILL - FLOWTILL - SUPRAGLACIAL MELT-OUT TILL	WATERLAIN TILL - SUBAQUATIC FLOWTILL
	ENGLACIAL DEBRIS	SUBGLACIAL TILL - SUBGL. MELT-OUT TILL - LODGEMENT TILL - DEFORMATION TILL - LEE SIDE TILL	- SUBAQUATIC MELT-OUT TILL
	BASAL DEBRIS		- ICEBERG TILL
DEFORMED BEDROCK, OR SEDIMENTS RELATED TO GLACIATION			
AND/OR			
GLACIALLY ERODED SURFACE OF ROCKS OR SEDIMENTS			

A.D. 1979

Fig.15 Classificació dels tills proposada per A. DREIMANIS, 1979

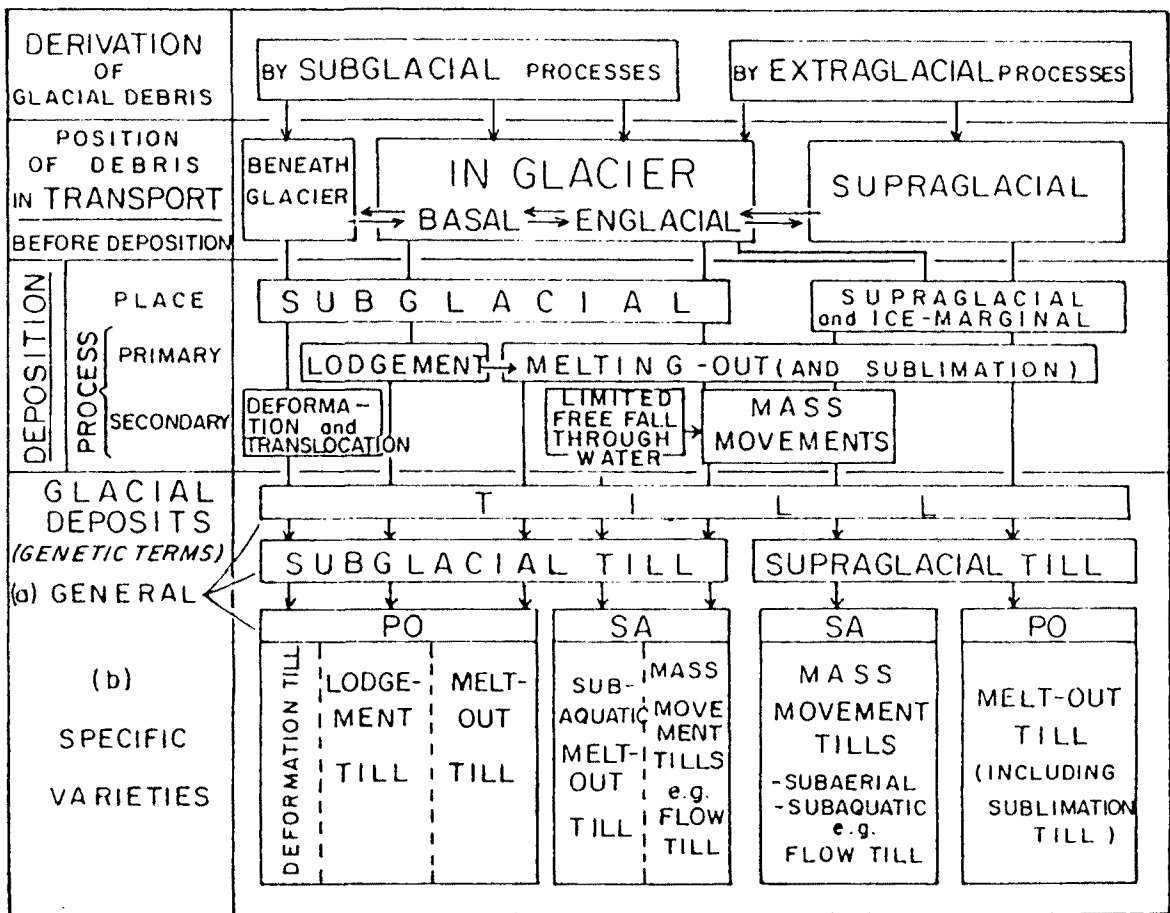


TABLE 1. FACTORS THAT INFLUENCE THE FORMATION AND DEPOSITION OF TILLS (UPPER HALF), AND TENTATIVE DEPOSITIONAL GENETIC CLASSIFICATION OF TILLS (LOWER HALF). ABBREVIATIONS: PO-PRIMARY or ORTHO-TILLS, SA-SECONDARY or ALLO-TILLS MAY, 1982

FIG.16_

LA CLASSIFICACIÓ GENÈTICA DELS TILLS PROPOSADA EN EL XI CONGRÉS DE L'INQUA EN EL SI DE LA "COMMISSION ON GENESIS AND LITHOLOGY OF QUATERNARY DEPOSITS"; ELABORADA I RECOLLIDA PER DREIMANIS (1982).

3.2. L'INTERÈS DELS SEDIMENTS GLÀCIO-LACUSTRES

L'ambient sedimentari que rep el nom de glacio-lacustre és aquell en el qual la deposició té lloc en un llac, la dinàmica del qual està estretament relacionada amb l'existència, a poca distància, d'una glacera. La posició d'aquests llacs respecte la glacera pot ser de dos tipus:

- Pro-glacial. Cas en el qual el llac tindrà un règim hidrodinàmic controlat per les aigües de fusió de la glacera, les quals tenen quantitats enormes de sediment d'origen glacial per retreballar, transportar i decantar a l'interior de la cubeta lacustre. Els llacs frontals acostumen a omplir grans cubetes de sobre-excavació generades a la vall per la mateixa gelera en una fase anterior. En d'altres casos, es pot tractar d'un llac de barratge per un arc morrènic frontal, i generalment sempre és de dimensions més reduïdes que en el cas de la cubeta d'erosió, sobretot en quant a fondària. És possible també la combinació d'ambdós tipus de cubetes.

- Juxta-glacial. Aquest segon tipus de llac es forma per obturació de la glacera juntament amb la morrena lateral d'una vall tributària, la qual pot o no tenir una glacera de petites dimensions. Normalment, aquests ambients lacustres són molt més inestables i de reduïdes dimensions que els pro-glacials. La dinàmica dels aports hídrics i sedimentaris va condicionada, en aquest cas, per la dinàmica fluvial, torrencial o glacial de la vall tributària; a la vegada també es pot veure influenciada per l'acció d'algun torrent supra-glacial.

Al Pirineu, durant el Quaternari, hi funcionaren aquests dos tipus d'ambients glacio-lacustres. Els de tipus pro-glacial ocuparen importants cubetes d'excavació al fons de les valls glacials. Aquestes, que han estat reblertes de

sediments, funcionen actualment com a planes al·luvials; així, tenim la cubeta d'Andorra la Vella-Les Escaldes a les Valls d'Andorra, la cubeta d'Esterri d'Aneu a la Noguera Pallaresa, la cubeta de Barruera a la Noguera de Tor, la cubeta de Bono a la Noguera Ribagorçana, i, si seguissim cap a l'Oest, podriem continuar el llistat. Malauradament, en cap d'aquestes cubetes que fóren antics llacs existeixen afloraments dels dipòsits lacustres, per la qual cosa les poques referències en la bibliografia regional que hom hi troba s'argumenten segons el context geomorfològic. En el present treball, dues d'aquestes cubetes són objecte d'estudi, i tal com veurem en un proper capítol, els resultats d'una prospecció geofísica aporta noves informacions per el coneixement dels dipòsits de rebliment d'aquestes cubetes.

Les cubetes lacustres juxta-glacials, produïdes per obturació d'una vall han estat molt freqüents durant els temps glacials a les valls pirinenques. Aquestes acumulacions glàcio-lacustres que ofereixen nombrosos i excel·lents talls ja són citades des d'antic; en el primer estudi del glaciariisme pirinenc, A. PENK al 1883 ja cita el complex de Linàs de Broto com a molt important. Fins a dates recents però, no s'hi ha començat a treballar des d'un punt de vista sedimentològic, VILAPLANA i SERRAT, 1979; i SERRAT et al. (1983).

3.2.1. IMPORTÀNCIA DELS AMBIENTS GLÀCIO-LACUSTRES AL PIRINEU.

Fer una classificació dels sediments d'aquests ambients en funció de la seva litologia, de l'estructura i de la posició que ocupen en la morfologia de la cubeta és fonamental per establir la reconstrucció del medi deposicional. Els principals dipòsits han estat descrits i agrupats en famílies de litofàcies en el capítol 4.1.2., on es tracta la formació sedimentària de Llestui. És interessant

però, destacar que en aquests ambients deposicionals hi ha una clara alternança entre nivells que indiquen un règim de tranquil·litat en les aigües, on en funció dels ritmes hídrics estacionals es produeix una decantació alternant de sorres fines i de lutites. Seria el cas de les típiques varves glacials, encara que la definició original d'aquest terme implica que la periodicitat de cada cicle de varves és anual, la qual cosa resulta de difícil comprovació si no es tenen datacions absolutes. Per evitar doncs qualsevol confusió, no utilitzaré aquest terme en el present treball. També és possible trobar a la plana del centre de la cubeta lacustre la presència de turbidites tal com indiquen STURM and MATTER (1978) pel llac de Brienz als Alps Suïssos. D'altres litofàcies indiquen un augment sobtat de l'energia; així doncs, és freqüent el trobar-hi sorres amb estructures de corrent i nivells de graves massives. En alguns casos resulta també possible el reconeixement de litofàcies atribuïbles a les unitats deltaïques (estructures de "foresets" per exemple), o també estructures sedimentàries relacionables amb el pendent del talús deltaic ("Slumpings" per exemple).

Finalment, una altra qüestió important a l'analitzar les litofàcies i la geometria del paquet sedimentari és el veure la relació i la influència de la glacera que fa l'obturació i dels seus dipòsits en el medi lacustre.

Tota l'anàlisi dels sediments lacustres, de les seves estructures i de la seva relació amb els dipòsits glacials, ens permetrà de reconstruir uns models deposicionals que tindran un gran valor de cara a un millor coneixement paleo-geogràfic dels temps quaternaris al Pirineu.

Un altre aspecte important és el valor estratigràfic d'aquest dipòsits, en els quals és possible de trobar-hi restes de vida (diatomees, pol·len, restes vegetals,

etc.) a partir dels quals, amb l'aplicació de la corresponent tècnica d'estudi i complementats per les datacions absolutes del carboni 14, serà possible establir una bona estratigrafia dels temps glacials.

3.3. METODOLOGIA I TÈCNIQUES D'ESTUDI UTILITZADES EN EL TRACTAMENT DEL MATERIAL SEDIMENTARI

A continuació, detallaré els criteris utilitzats en l'estudi de les formacions sedimentàries tractades en el següent capítol, així com les tècniques de treball de camp i de laboratori emprades per a l'anàlisi dels sediments.

3.3.1. LA SELECCIÓ DE LES FORMACIONS SEDIMENTÀRIES

A partir de la cartografia geomorfològica a escala 1:50.000, analitzada en el capítol 2, s'ha fet una selecció d'aquelles àrees o sectors en els quals existeixen importants acumulacions de dipòsits glacials i d'altres sediments relacionats. En aquests sectors, s'han realitzat dues cartografies de detall, una geomorfològica i una altra de les fàcies sedimentàries de cada complex. El treball de camp s'ha completat també amb l'aixecament de talls de les formacions, així com amb la realització de perfils estratigràfics detallats. A la vegada, i només a les cubetes de fons de vall, s'han realitzat una sèrie de sondes elèctrics verticals de cara a conèixer la resistivitat dels diferents horitzons sedimentaris, així com la profunditat del substrat rocós. A partir dels resultats dels sondes elèctrics s'han realitzat uns perfils dels cossos resistius, amb una posterior interpretació de litofàcies que en alguns casos tenen clares implicacions genètiques.

3.3.2. EL TRACTAMENT ANALÍTIC DELS DIPÒSITS

Sobre els sediments de les formacions quaternàries més importants s'han recollit mostres. Alguns d'aquests mostres han estat sistemàtics de cara a analitzar perfils pol.línics. En la seva realització, s'han utilitzat tubs de P.V.C., i perfils d'alumini per tal d'extreure mostra

contínua del sediment quan això ha estat possible. Quan les característiques dels dipòsits no ho han permès, el material s'ha recollit en bosses de plàstic. En els mateixos dipòsits: perfil de Llestui (vall de Llauset), perfil de Sant Martí (vall de Taüll) i perfil dels Bassots (vall del Ginebrell), s'han recollit mostres de sediment per analitzar el contingut en carboni 14 per tal de determinar l'edat absoluta dels dipòsits estudiats.

Malauradament, i tal com es comenta en d'altres punts d'aquest treball, en el moment de redactar aquesta memòria no ha arribat a les meves mans cap resultat de les anàlisis en qüestió, malgrat el compromís prèviament contret. Espero però que en un futur proper, aquestes dades podran ser incorporades als resultats del present estudi, complementant-lo en gran manera.

Les mostres de sediment lacustre i dels tills han estat estudiades en detall en els seus diferents aspectes: textural, granulomètric, mineralògic, etc.

Pel sediment lacustre, cal destacar l'estudi i classificació dels diatòmids continguts en el fang negre. Pel que fa referència als tills, s'han agafat mostres corresponents a les zones mitges i terminals de les glaceres d'ambdues valls, per tal de realitzar làmines primes per observar al microscopi òptic i també al microscopi electrònic de mostreig ("Scanning"). L'objectiu ha estat el de definir i comparar entre ells la micro-textura d'aquests tills.

Finalment, sobre els mateixos tills i per tal de determinar la seva composició mineralògica, s'han realitzar anàlisis per difracció de R.X.; aquests ens han permès identificar la substància difractant. Les informacions que obtenim dels diagrames de R.X. venen donades per les posi-

cions de les línies que ens informen sobre la geometria de la unitat elemental que difracta. A partir de la llei de Brag tenim:

$$\lambda = 2 d \text{ sen } \theta$$

λ = longitud ona utilitzada

θ = angle de difracció

d = espaiat reticular dels plans que han contribuït a la difracció.

Hem preparat agregats orientats a partir d'una suspensió que contenia la mostra, la qual s'ha deixat depositar i evaporar en una placa de vidre. També s'han preparat mostres en pols, prèvia trituració mecànica d'aquelles.

Els diagrames han estat realitzats amb un goniòmetre PHILIPS, i la reflexió utilitzada ha estat la K del coure filtrada. Les interpretacions dels diagrames han estat fetes per la Dra. Esperança Tauler.

4. ANÀLISI SECTORIAL

" La Ribagorçana ha estat fins fa
poc un lloc purament mineral, remot,
llunyaníssim ".

Josep PLA (Guia de Catalunya, 1971).

4.1. LA VALL DE LLAUSET

El marc geogràfic

La vall de Llauset, enmarcada dintre de la Comarca pirinenca de l'Alta Ribagorça, constitueix una àrea de 25,75 km² que drena les seves aigües al marge dret de la Noguera Ribagorçana, entre les localitats d'Aneto i de Bono.

La xarxa de drenatge de la vall de Llauset està configurada quasi exclusivament per un únic curs fluvial que recorre els deu quilòmetres de vall des del Coll de Llauset (2.840 m) fins l'aiguabarreig amb la Noguera Ribagorçana (1.080), i que a mig camí estanca les seves aigües formant l'Estany de Llauset (2.132 m), actualment dessecat a causa de la construcció d'una important obra hidroelèctrica. A la part alta d'aquesta vall - des del naixement fins a l'Estany de Llauset - hi trobem el petit estanyol de l'Obaga de Llauset. Aigües avall i just abans d'arribar a la gran cubeta lacustre de Llauset, el riu reb per la riba esquerra les aigües provinents de la conca lacustre de Bortornàs, Cap de Llauset, Gelat, i d'altres estanys sense topònim, cinglejada d'Oest a Est pels pics de Vallhiverna (3.062 m), Cap de Llauset (2.852 m), Cap d'Anglos (2.810 m) i Pic de la Solana de Llauset (2.674 m). Entre l'estany de Llauset i l'acabament de la vall i a la riba dreta del riu de Llauset hi trobem el Barranc de Menada i d'altres petits torrents que drenen el Sector Sud-oest de la vall: Coll de Menada (2.500 m), Coll de les Salines (2.182 m), i Carena de Ventolà (2.200 m). A la riba esquerra hi conflueixen les aigües dels Barrancs del Clot, de la Collada Plana i de Malmarrui, els quals drenen el vessant sud de la carena formada per la Carena de la Sarronera (Pic dels Bous 2.606 m al Pic de l'Home 2.362 m).

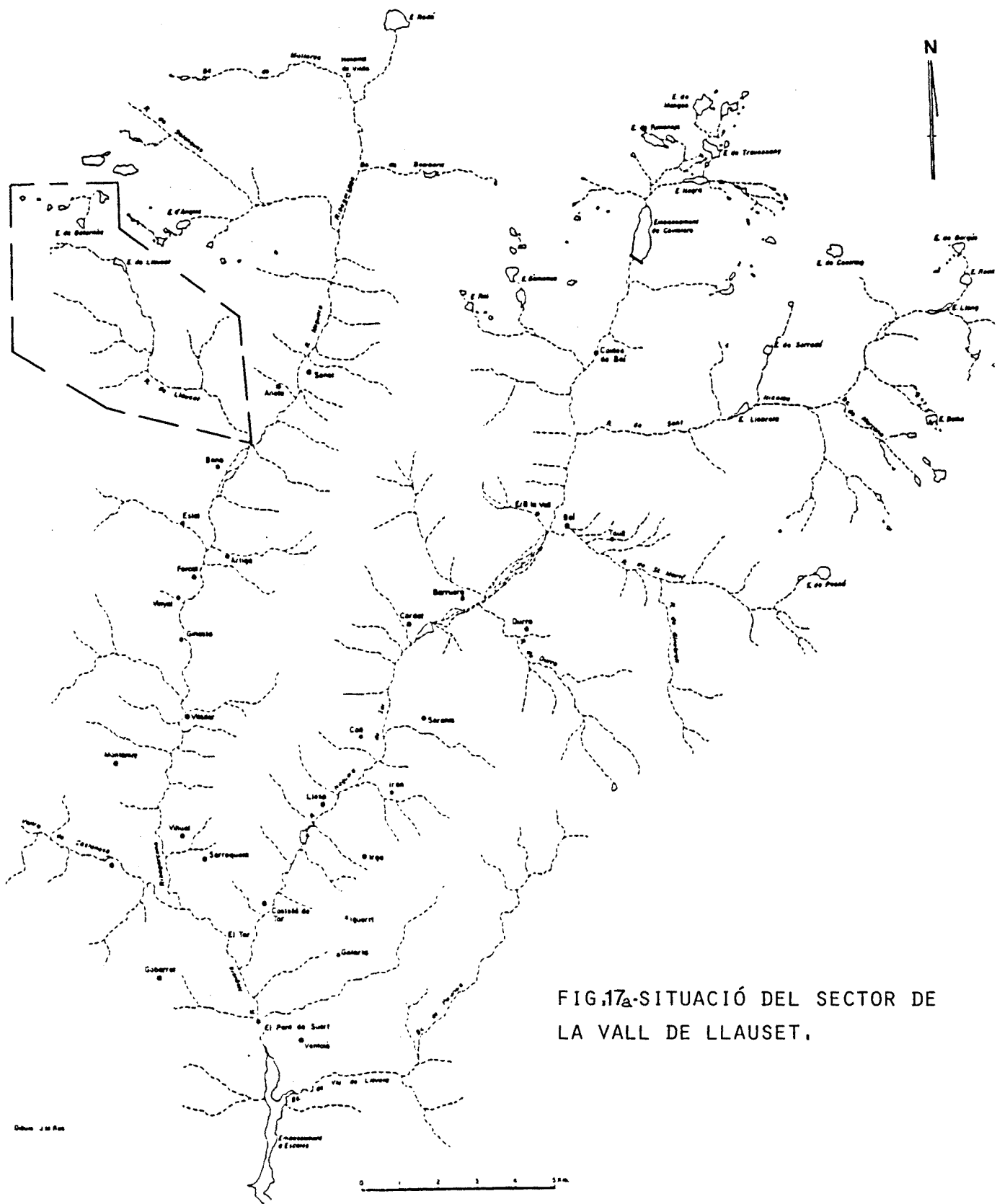


FIG.17_a-SITUACIÓ DEL SECTOR DE LA VALL DE LLAUSET.

El marc geològic i geomorfològic

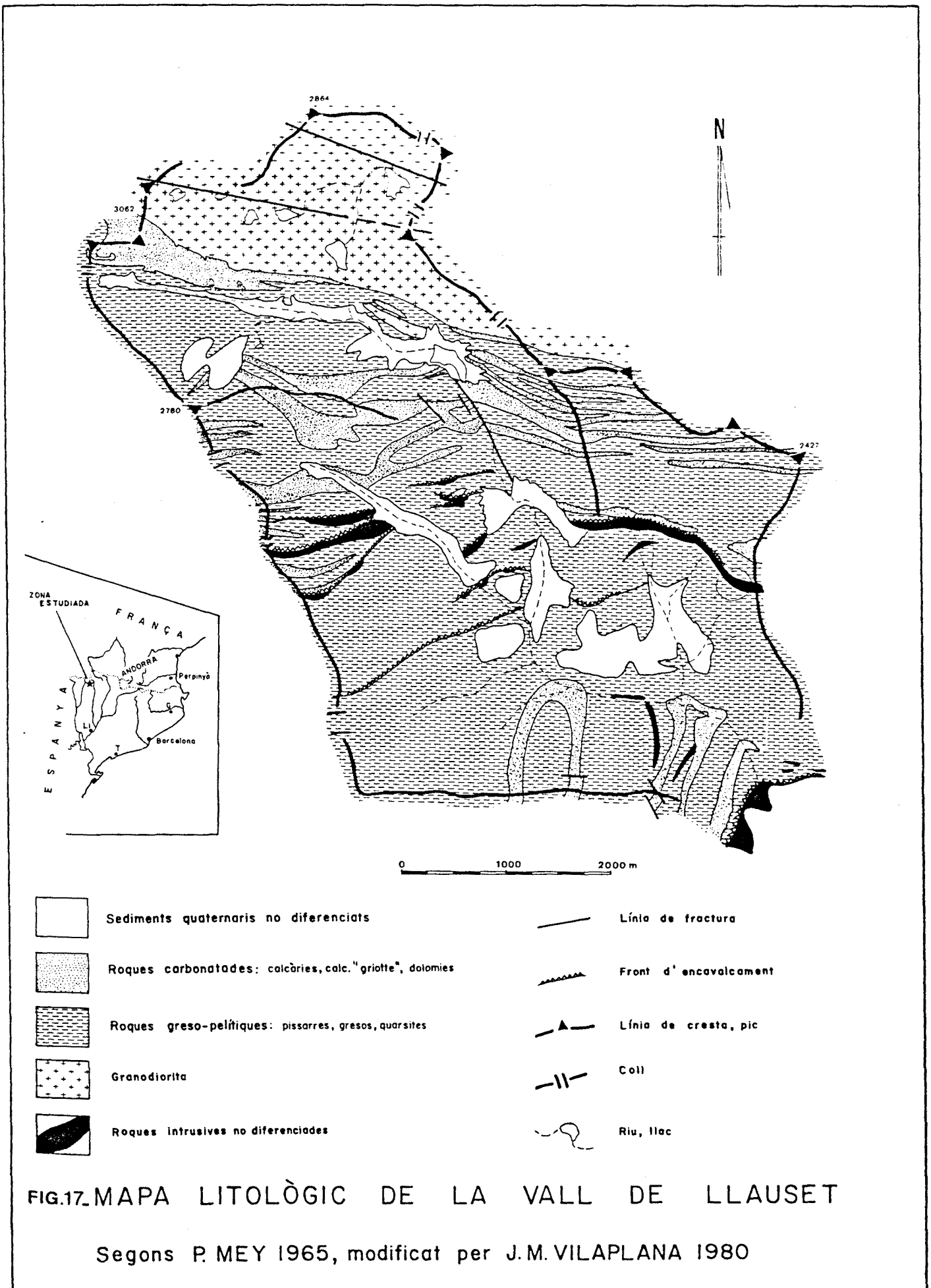
La vall de Llauset es troba dintre del Pirineu Axial just al límit sud del batòlit de la Maladeta amb la unitat de la Serra Negra. La granodiorita de la Maladeta aflora al sector nord de l'àrea estudiada, comprenent el gran anfiteatre que s'exten des dels Pics de Vallhiverna fins al Coll d'Anglos. Tal com podem observar en el mapa litològic, la resta de l'àrea té un substrat format fonamentalment per roques gresopelítiques i calcàries.

Aquests materials són quasi tots d'edat paleozoica. Hi trobem des de pissarres, esquists i quarzites del Cambro-Ordovicià, passant per les típiques pissarres negres grafitoses del Silurià, fins a les calcàries amb pissarres del període Devonià. Cal destacar una banda de materials calcaris metamorfitzats que MEY (1968) atribueix al Triàsic superior, i que coincideix amb el front de l'encavalcament de Senet.

Juntament amb la granodiorita, la intrusió de la qual produí una aureola metamòrfica de moderada amplitud, cal citar d'altres roques intrusives també d'edat tardiherciniana com són els dics de pòfir diorític i d'aplita, així com els de quarz. Només s'han indicat en el mapa litològic aquells afloraments de més gran extensió.

Els materials de recobriment del substrat rocós estan constituïts per sediments d'edat pleistocena i holocena, d'origen glacial, lacustre, fluvial, torrencial i col·luvial, els quals han estat cartografiats en detall en el mapa geomorfològic i seran tractats en un proper capítol.

L'estructura del substrat rocós és força complexa. L'estructura general s'alinea segons una direcció E-W amb vergència cap al Sud, encara que en realitat s'observa una



més gran varietat en la distribució i disposició dels accidents tectònics, atribuïble a les diferents fases de deformació hercinianes i tardi-hercinianes (MEY, 1968).

Segons el mateix autor, l'orogènia Alpina va generar i rejuvenir importants estructures de corriment en els materials paleozoics amb vergència cap al Sud. En aquest sentit cal senyalar els encavalcaments de Senet, de les Salines i de Bono, els fronts dels quals recòrron d'Est a Oest la zona estudiada. Nombroses falles afecten també aquests materials; potser cal remarcar la que segueix longitudinalment la vall de Llauset al Sud de l'estany, així com les nombroses famílies de fractures existents en la granodiorita, resultant les més importants, dins de l'àrea de Llauset, les de direcció NW-SE.

Les formes d'origen glacial són les que configuren l'alta vall de Llauset. De la capçalera fins al llac de Llauset, un modelatge d'erosió glacial retocat per posteriors processos fonamentalment periglacials, és el predominant. De l'estany de Llauset fins a l'aiguabarreig amb la Noguera Ribagorçana hi trobem a faltar aquesta empremta erosiva glacial la qual és substituïda per la predominància de formes d'acumulació. En aquest sector més baix, les petites valls o barrancs tributaris de la de Llauset no presenten cap indicatiu d'una morfologia glacial, essent les accions nivals, periglacials i torrencials les principals causes del seu modelatge, tant en temps quaternaris com en l'actualitat.

A la vall de Llauset hi podem diferenciar doncs dues parts amb característiques geomorfològiques pròpies. El llac de Llauset seria el punt de divisió d'ambdúes parts. Aigües amunt del llac, a la capçalera de la vall, aquesta es troba dividida en dues conques. La més septentrional, coronada pel pic de Vallhiverna correspon a una gran zona

d'acumulació glacial en temps quaternaris, que queda penjada uns 150 m per sobre de la plana lacustre de Llauset. Està constituïda per una sèrie de circs graonats orientats a l'Est uns i al Sud altres, cadascun dels quals té la seva o les seves cubetes de sobre-excavació omplenes actualment per estanys. Tota aquesta àrea, que té un substrat granodiorític, queda encerclada per crestes rocoses i pics punxeguts típics d'un relleu d'alta muntanya on la morfogènesi glacial primer i la periglacial-nival després, han protagonitzat l'efecte de modelatge. A cota 2.700 m hi trobem un nivell que podria correspondre amb una antiga superfície d'aplanament pre-glacial; és molt marcat a sota del pic de Vallhiverna i en el coll del mateix nom, el qual funcionà en temps glacials com un coll de transfluència glacial entre aquesta capçalera i la vall de Vallhiverna, tributària del riu Ésera. En aquest nivell hi trobem clares mostres de poliment glacial.

Sense ser causa directa, l'estructura del substrat ha guiat en certa manera el modelatge glacial d'aquesta àrea. Cal destacar l'aliniació de cubetes de sobre-excavació condicionades per importants línies de fractura. El límit sud d'aquest sector amb la propiament dita alta vall de Llauset coincideix amb la línia de contacte intrusiu entre el batòlit granodiorític i els materials encaixants paleozoics.

L'altra capçalera que configura l'alta vall de Llauset correspon a una vall subseqüent, típicament glacial, que ve condicionada per l'estructura geològica. En aquest sector cal diferenciar el tram que va des del Coll de Llauset fins al començament del llac de Llauset, de la pròpia cubeta lacustre. Referent a la part no lacustre veiem que es tracta d'una vall asimètrica on el vessant nord, de gran pendent està constituït per importants cingles coincidents amb els nivells de calcàries massives del Devonià que es disposen subverticals i en direcció aproximada E-W. Al peu

d'aquestes parets de quasi 200 m de desnivell, solcades per nombroses canals d'allaus, el vessant ha quedat regularitzat per les acumulacions d'esbaldregalls provinents de la gelifracció de les calcàries.

El vessant sud, amb un pendent general clarament inferior al del nord està quasibé tot ell modelat en pissarres carbonoses del Silurià que produeixen un important mantell de gelifractes que regularitzen en gran manera tot el vessant. Tota la capçalera d'aquesta vall funcionà com a conca d'acumulació glacial. Només hi trobem una forma de circ modelat al vessant obac i orientat al NE, i no hi apareixen vestigis de cap cubeta de sobre-excavació.

La uniformitat pissarrenca del substrat es trenca a l'indret de la cubeta lacustre de Llauset, on la vall canvia la seva orientació seguint una línia de falla en sentit SSE, al temps que es troba amb uns nivells calcàris importants. Cal afegir-hi el fet que en aquest indret i en èpoques glacials ja teniem la suma del glaç provinent de la capçalera de Llauset i del Sector de Botornàs. Si ajuntem a aquesta sobreacumulació de glaç, l'obstacle estructural que constitueix la feixa calcària del llindar, comprendrem perquè en aquest indret se'ns formà una gran cubeta de sobreexcavació. Les importants característiques d'aquesta última seran tractades més endavant.

Aigües avall del llac de Llauset el riu circula primerament en direcció N-S atravesant la Pleta del Bous i tot seguit, fent un colze, pren direcció SE per anar a confluïr amb la Noguera Ribagorçana a l'indret de la cubeta de Bono.

El relleu de tot aquest sector és molt més suau que a les parts altes de la vall; un exponent clar és la manca quasi total de formes d'erosió glacial. Malgrat això,

la morfogènesi glacial la trobem representada per importants formes d'acumulació com és la gran quantitat de dipòsits morrènics, i les formacions sedimentàries producte de dues obturacions de barrancs laterals. Els vessants estan bastant regularitzats, trobem a les parts baixes importants acumulacions col.luvials, sent les accions torrencials, nivals i periglacials les generadores dels dipòsits dominants. Els vessants rocosos hi són més minvats que a les parts altes. Cal destacar també carenes amb absència de crestes que contràriament poden presentar formes aplanades com és el cas del Coll de les Salines (2.180 m) i de la Carena de Ventolà (2.200 m) el SW del sector, que segons MEY (1968) poden ser una resta d'una antiga superfície d'erosió, de la qual en fan referència d'altres autors: Nussbaum (1935-1938) García Sainz (1940), Kleinsmiede (1960).

En aquesta part de la vall de Llauset cal destacar el gran desenvolupament de les dues morrenes laterals les quals, en dos casos concrets, ens obstruïen el desguàs dels barrancs afluent tot generant sengles ambients lacustres juxta-glacials. El primer d'aquests exemples el trobem a l'indret de la cabana de Menada que està edificada a sobre de la morrena lateral dreta de l'antiga glacera de Llauset. Aquella conserva perfectament la morfologia de cordó morrènic i juntament amb la glacera produïren l'obstrucció del barranc de Menada formant-se molt probablement una petita cubeta lacustre juxta-glacial la qual trobem completament recoberta per material torrencial més recent. El cordó morrènic, amb la cresta a cota 1931 m, té el seu corresponent en el vessant esquerra de la vall a la cota 1939 m, altures que comparades amb el fons de vall actual ens indiquen una gruixària d'uns 280 m de glaç en aquest sector.

Més avall, a l'indret de les bordes de Llestui hi ha l'aiguabarreig dels barrancs del Clot i de Malmarrui provinents del Nord, els quals conflueixen per l'esquerra amb el riu de Llauset. La capçalera d'aquests barrancs està

intensament modelada per accions periglacials i nivals, destacant a la part alta un nínxol de nivació incipient. El més rellevant d'aquest sector és la gran acumulació sedimentària de Llestui que configura el segon exemple d'obturació glacio-lacustre d'aquesta vall. El gran desenvolupament d'aquest model d'obturació així com l'abundància d'afloraments que hom hi troba, permeten estudiar aquest cas amb una especial atenció. És per això que hi dedicaré un proper apartat.

4.1.1. LA CUBETA LACUSTRE DE LLAUSET

Per llurs característiques geomorfològiques i sedimentològiques pròpies crec que val la pena aturar-se en l'anàlisi d'aquest restringit ambient lacustre d'alta muntanya. L'estany de Llauset té un origen glacial, omplena una cubeta de sobre-excavació i per la seva situació morfològica el podem considerar un llac de vall segons la classificació de Nussbaum (1935).

A priori cal pensar que la dinàmica lacustre va començar amb el retrocés definitiu de la llengua glacial de Llauset aigües amunt de la cubeta, possiblement després de l'última fase de màxim glacial quaternària. Estudiar doncs el registre sedimentari d'aquest llac ofereix la possibilitat de reconstruir un model de sedimentació lacustre d'alta muntanya dels temps post-glacials, al menys des del període tardi-glacial fins a l'actualitat. El fet d'aprofundir en aquest estudi ve afavorit per l'obra hidràulica que actualment s'hi realitza i que permeté d'obtenir uns excel·lents perfils, encara que discontinus, del registre sedimentari.

Actualment el llac de Llauset és un estany completament antropitzat a causa de l'obra hidràulica força avançada que l'empresa ENHER hi realitza d'uns anys ençà. Es tracta de la construcció d'una presa de bòveda per a un

embassament que ocuparà tota la cubeta de l'antic llac, i el qual estarà unit per una galeria de pressió amb un altre embassament, el de Baserca, situat aigües amunt de Senet i que també es troba en construcció. Cal dir que aquest fet ha afavorit la possibilitat de recollir un major nombre de dades en quant al llac de Llauset es refereix: l'accés a la zona d'estudi s'ha facilitat enormement, la dessecació i excavació en els sediments del llac ha permès de mostrejars-los i d'estudiar-los sobre el terreny, malgrat que a mig estudi, una important esllavissada d'aquests dipòsits va malmetre tot els afloraments visibles així com l'estructuració original del paquet sedimentari. Hom ha tingut accés també a les dades obtingudes per la empresa ENHER al llarg de la realització de l'obra (topografia, batimetria, sondatges, etc.).

Morfologia de la cubeta i dels vessants

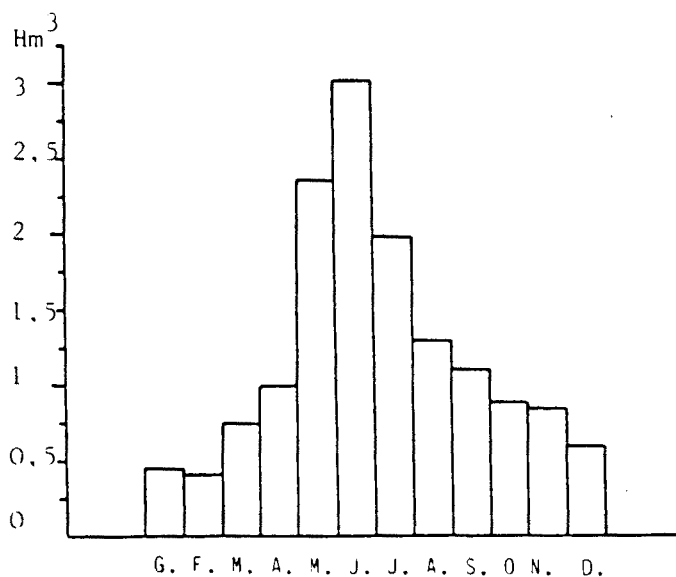
Les característiques físiques del llac de Llauset són resumides en la Fig. 18. Es tracta, però, d'un llac de vall, tal com he dit anteriorment, amb una llargada màxima de 460 m i una amplada màxima de 150 m. Aproximadament la meitat posterior de la cubeta es troba reblerta per sediments que afloren donant lloc a la plana deltaica; la meitat anterior de la cubeta és ocupada per l'aigua.- Les dades topogràfiques i batimètriques estan totes referides a la cartografia de detall a escala 1:1.000 realitzada per ENHER, veure fig.V. Aquest llac reb les aigües de l'alta vall de Llauset i del gran circ de Vallhiverna - Botornàs que configuren una conca de 8,9 km². Aquestes aigües que convergeixen en el riu de Llauset poc abans d'entrar a la plana deltaica, la recorren circulant per diversos canals entrelaçats funcionals que es concentren a la riba dreta. Malgrat això, tota la plana és solcada per nombrosos canals abandonats de geometria també entrelaçada, i que sobretot en la meitat esquerra de la plana generen una zona d'aiguamolls o mulleres. El nivell de l'aigua es troba a cota 2.132 m i les dades batimètriques configuren un ambient lacustre

Fig.18-

PARÀMETRES FÍSICS DEL LLAC DE LLAUSET

- Màxima llargada cubeta (llac + plana deltaica)	930 m
- Màxima llargada llac	460 m
- Màxima amplada llac	150 m
- Màxima profunditat llac	8 m
- Profunditat mitja llac	4,5 m
- Superfície llac	0,06 km ²
- Volum llac	0,27 Hm ³
- Altitut llac	2.132 m
- Superfície àrea de drenatge	8,9 km ²
- Altitut mitja de límit de l'àrea de drenatge	2.800 m
- Estimació de l'aportació mitja mensual (teòrica)	1,3 Hm ³

- GRÀFICA DE LES ESTIMACIONS TEÒRIQUES DE LES APORTACIONS MITGES MENSUALS EN EL LLAC DE LLAUSET ELABORADES PER ENHER.*



* Com és lògic les aportacions són mínimes durant els mesos d'hivern (precipitacions sòlides), i són màximes a l'època de la fusió nival.

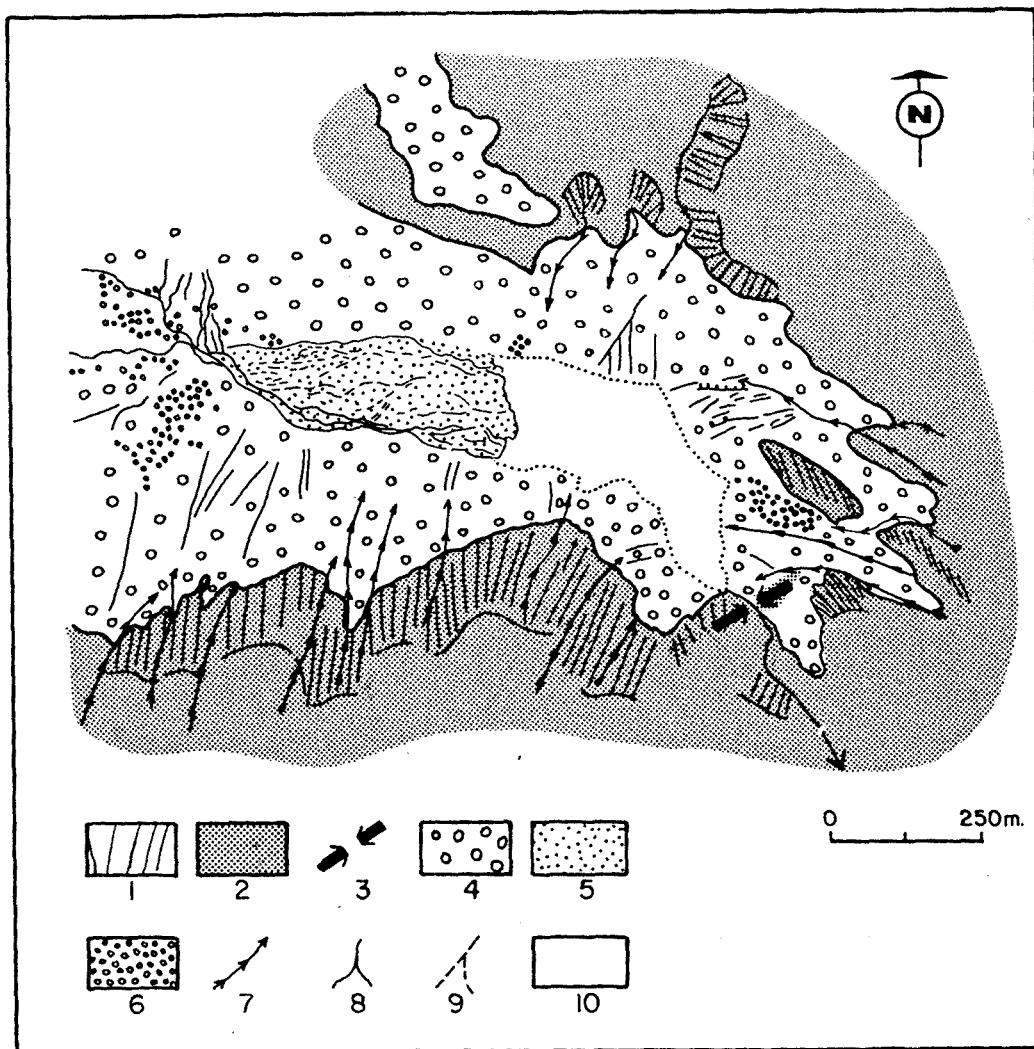


FIG.19.ESQUEMA FOTO-GEOMORFOLÒGIC DE LA CUBETA DEL LLAC DE LLAUSET.

- 1.- Paret rocosa.
- 2.- Substrat rocós.
- 3.- Llindar rocós de la cubeta de sobre-excavació.
- 4.- Esbaldregalls (tarteres i cons d'allaus).
- 5.- Plana deltaica.
- 6.- Acumulacions de grans blocs (de morrenes i de desprendiments).
- 7.- Canal d'allaus.
- 8.- Canal fluvial o torrencial.
- 9.- Canal abandonat.
- 10.- Llac de Llauset.

amb una columna d'aigua poc potent, uns 4,5 m de promig que presenta la màxima fondària 8 m a la zona de més amplada del llac, just al peu del talús deltaic on la base del llac configura una morfologia d'embut. La zona d'aigües més somes - 3 m - és la més propera al llindar rocós excavat en les calcàries devonians i per on es realitza el drenatge del llac. A la fig.VI, on es presenten un perfil longitudinal del llac i tres de transversals, es poden veure reflectides les dades anteriors, a la vegada que es veuen complementades per la geometria del substrat rocós de la cubeta, obtinguda fonamentalment per dades sísmiques. A partir d'aquests resultats geofísics, encara que únicament es refereixen a la meitat anterior de la cubeta, hom dedueix una topografia del substrat paleozoic amb importants irregularitats caracteritzades per petites depressions que alternen amb petits lloms de roca (veure fig.20-). Aquestes característiques són típiques a les cubetes d'erosió glacial, on hi ha hagut una important sobre-excavació; en aquest cas la diferència de cota entre el llindar del llac (2.132) i la zona de màxima profunditat (2.093) ens indiquen una sobre-excavació màxima de 39 m. Exemples similars han estat descrits als Alps com és el cas del treball de MATTER et alt. 1973.

Referent als vessants de la cubeta de Llauset cal apuntar una sèrie d'aspectes relacionats amb llur configuració i llur dinàmica que influèixen clarament en l'evolució del llac.

Es tracta de vessants força redreçats, modelats en el substrat rocós per l'acció erosiva de la gelera de Llauset en temps quaternaris. Aquestes parets de roca es troben solcades per diverses canals al peu de les quals hom hi troba importants cons d'esbaldregalls que funcionen tant en temps post-glacials com a l'actualitat per l'acció combinada de la gelifracció i les allaus, encara que

Fig.-20 - PUNTS DE MÀXIMA PROFUNDITAT DE LA CUBETA DE LLAUSET (1)

Referència mapa FIG. V.	Origen dades	Cota substrat	Profunditat Substrat (2)	Potència Sediments(3)
a	SÍSMICA	2.098,5	33,5	26 m
b		2.109	23 m	18 m
c		2.109,5	22,5 m	18,5 m
d		2.112,5	19,5 m	14 m
1	SONDETJOS	2.110,78	21,22 m	16,22 m
2		2.114	18 m	14,5 m
3 (4)		2.100,89	> 31,11 m	> 27,11 m
4		2.092,90	39,2 m	32,5 m
5		2.109,45	22,45 m	16,05 m

(1) La situació dels punts es troba en el mapa de la fig.V
Segons la referència indicada en aquest quadre.

(2) Profunditat donada en funció del nivell de l'aigua a cota
2.232.

(3) Hom ha utilitzat les dades batimètriques (fig. V) com a sos-
tre del paquet sedimentari.

(4) En el sondeig no s'arribà a la roca

eventualment també les aigües torrencials hi poden jugar un cert paper. Aquest important desenvolupament dels cons d'esbaldregalls a ambdós vessants de la cubeta lacustre i per tant la seva progradació dins del llac simultàniament a la deposició lacustre, ha contribuït considerablement en la reducció del volum d'embassament del llac.

Els sediments del llac de Llauset

En relació a les dimensions de la cubeta, i comparant-lo amb d'altres llacs de la serralada pirinenca, el de Llauset presenta un important volum de sediments. Com ja s'ha dit anteriorment la meitat posterior de la cubeta es troba reblerta per dipòsits que configuren una plana deltaica. L'altra meitat de cubeta, l'ocupada pel llac propiament dit té un important volum de sediments depositats; tal com ens il·lustra la fig.20., es pot parlar d'una gruixària promig d'uns 16 m de sediment en la zona ocupada pel llac, amb uns valors puntuals que ens donen potències màximes variables entre els 14 i els 32 metres tal com ens indica el quadre.

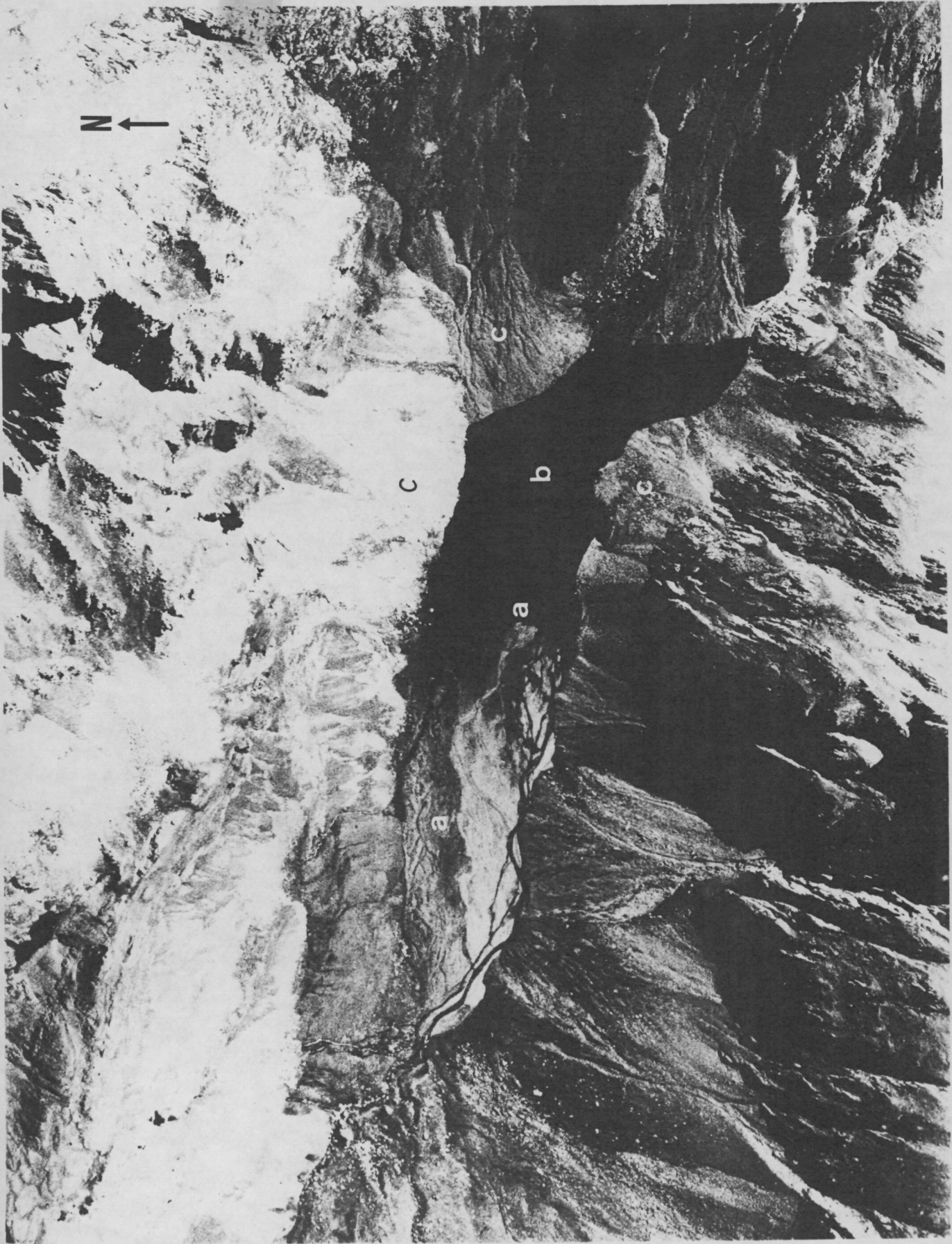
Els sediments d'aquest llac han estat estudiats en funció dels talls visibles durant les obres i de l'anàlisi de les mostres recollides.

A partir d'això he distingit tres grans unitats sedimentàries cadascuna amb característiques morfològiques i sedimentològiques pròpies.

Unitat deltaica: en el complex deltaic de Llauset, molt desenvolupat en extensió no s'hi han realitzat sondes, per la qual cosa només es disposa de les característiques dels 2 metres més superficials. Aquests materials que constitueixen el sostre de la unitat deltaica ("topset deposits") estan formats predominantment per nivells decimè-

FOTO 16 - Vista aèria vertical de la cubeta lacustre de Llauset

- a) Unitat deltaica
- b) Unitat de centre de cubeta
- c) Unitat marginal



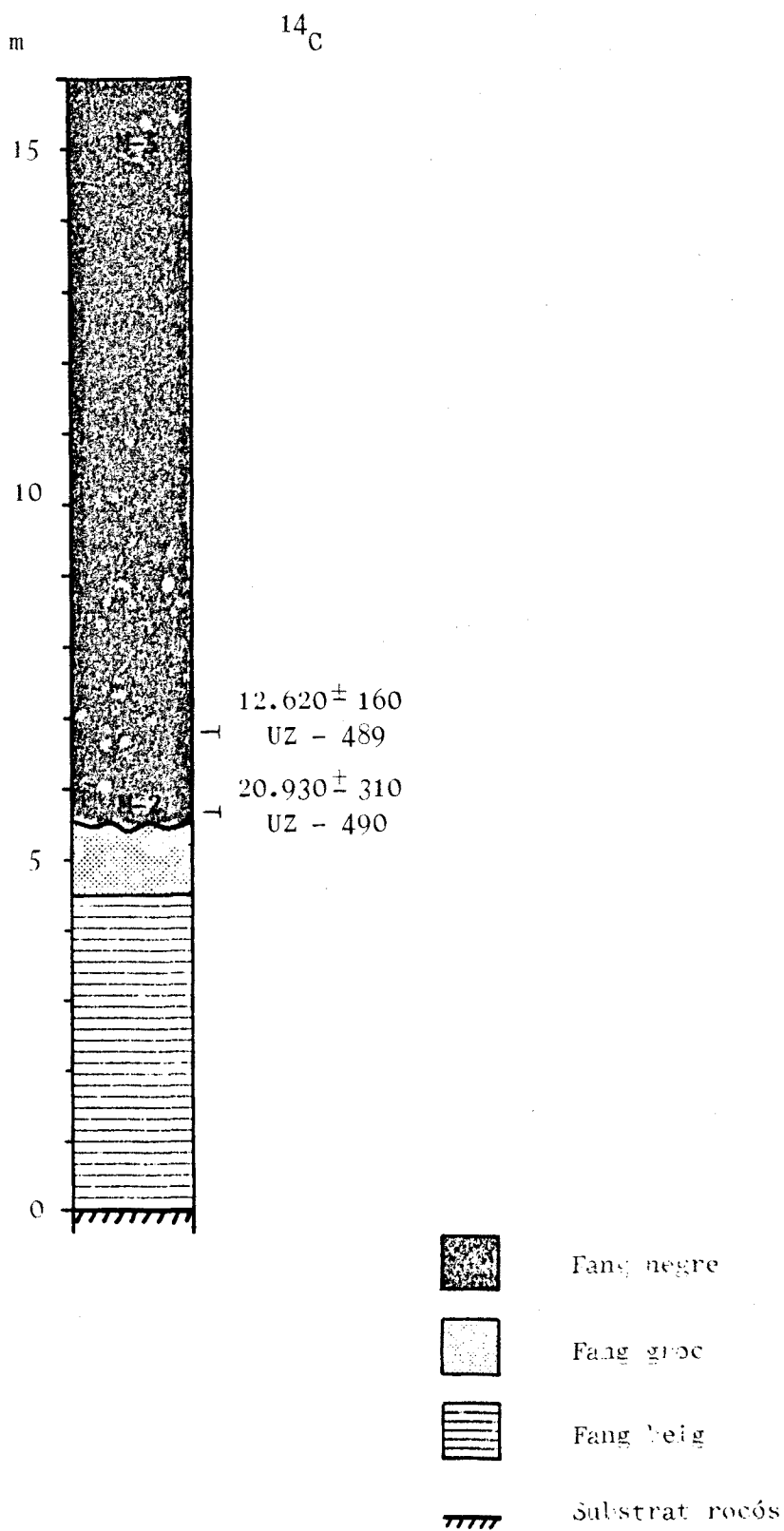
trics de sorres fines a gruixudes, alternant també amb algun nivell de graves i amb passades centimètriques de llims negres orgànics. Les sorres fines presenten laminacions paral·leles i estructures tipus "ripples". Puntualment els sediments engloben alguna grava i/o còdol. Es tracta de sediments amb característiques deposicionals de medi fluvial, generats pels aports dels canals entrellaçats que modelen la plana deltaica.

Unitat de centre de cubeta: tal com il·lustra la fot.16 aquesta unitat sedimentària que ocupa la major part de la zona sumergida sota les aigües, ha estat descrita a partir de les observacions dels talls realitzats per l'obra hidroelèctrica a la part més propera al llindar. A partir d'aquestes observacions de camp hom pot distingir en la columna sediments ben diferenciats entre sí (veure fig.21 -).

a) Tram beig inferior: es situa a la base de la formació sedimentària, amb una potència estimada en 4,5 m, i està constituït per uns fangs lutítics de color beig, amb laminacions paral·leles internes milimètriques. Localment la laminació es presenta deformada i amb petites fractures, sobretot a la proximitat del vessant de la cubeta (sobrecàrrega de les tarteres). També contenen abundants "drop -stones".

b) Tram groc intermig: situat al damunt del tram beig, està format per un fang lutític de color groc, d'elevada plasticitat, amb laminacions paral·leles milimètriques en molts casos deformades i amb petites falles i "drop-stones". Hom hi troba algun nivell centimètric de sorres blaves intercalat. Aquest, sediment està constituït per un conjunt d'agregats esferulítics amorfes de mida ultramicoscòpica, i analitzat per difracció de Raigs X hom troba una composició d'òxids de ferro que sembla del tipus goethita. D'una manera aïllada dintre d'aquests fangs s'han trobat nuclis de cristallització de sulfats amb cristalls de gruix ben formats de fins a 7 cm de tamany.

FIG.21. PERFIL ESTRATIGRÀFIC DE LA FORMACIÓ SEDIMENTÀRIA LACUSTRE DE LLAUSET

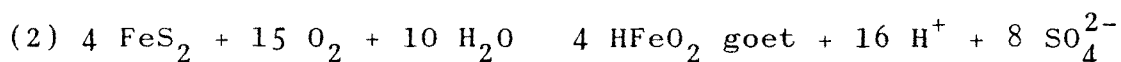


Si hom treu tota l'aigua continguda en aquest sediment ferruginós, resulta que aquesta representa quasi el 50% en pes del fang original. Analitzat el residu sòlid resultant pel Dr. J.J. Pueyo, pel mètode d'absorció atòmica hom arriba a la conclusió que el 50,07% d'aquest residu és ferro (Fe). Comparant aquest resultat amb el diagrama de RX (on els pics de la goethita surten per sobre d'un fons de substància no cristalitzada) i amb les microfotografies (Foto.19), en la qual no s'observa cap cristall de goethita sino uns agregats amorfs, hem de suposar que aquest mineral està present en poca quantitat, i que la gran part de ferro existent deu estar en forma d'algun òxid o hidròxid amorf de moment no determinat.

Si consultem els tractats clàssics de Geoquímica (1), és fàcil trobar referències d'un dipòsit ferruginós anomenat ferro dels llacs o dels pantans. Aquests sediments es formen a partir de solucions d'alteració, i que en condicions fortament oxidants, amb la intervenció de bacteries, es produeix una precipitació d'òxids de ferro hidratats del tipus goethita així com d'altres gels amorfes de difícil identificació. Perquè això es produeixi és necessari que hi hagi una font de ferro, que aquest sigui oxidat i dissolt en l'aigua (medi àcid) i que posteriorment un canvi en el p^H de les aigües (d'àcides a bàsiques) fagi precipitar els òxids de ferro. Sembla clar que aquestes condicions les trobem a la conca del llac de Llauset, amb lo qual hom pot formular la següent hipòtesi. En l'alta vall de Llauset, la meteorització de les pirites contingu-

1) p.e. RANKAMA, K. and SAHAMA, Th.G. 1962. "Geoquímica".
862 p. Ed. Aguilar, Málaga.

des en les pissarres negres silurianes ha d'haver estat un procés certament ràpid durant la fase prèvia a la sedimentació del fang groc. L'alteració de la pirita es produeix seguint la següent ecuació:



Aquesta reacció dona lloc a unes aigües molt àcides, ($\text{H}_2 \text{SO}_4$), les quals poden reaccionar amb el CaCO_3 de les calcàries devonianes de la cubeta formant cristalls de guix (CaSO_4). Segons l'obra anteriorment citada és conegut la formació de selenites associades a pissarres piritoses i a calcàries, tot sota condicions climàtiques semi-àrides. També podem considerar l'intervenció d'àcids húmics provinents d'una abundosa cobertura vegetal (sobretot de coníferes) pugui ajudar al manteniment del p^{H} àcid de les aigües, que per la roca que les acull (calcàries devonianes) haurien de tendir a ser alcalines. Totes aquestes condicions ens configuren un ambient deposicional adequat per a la formació del fang groc, que va ésser forsosament diferent d'aquell en qual s'hi sedimentà el tram superior de fangs negres.

La potència d'aquest tram és difícil de determinar ja que degut a la seva elevada plasticitat es troba fortament deformat. Per aquest mateix motiu ha actuat com a nivell de lliscament del paquet superior durant el curs de les obres de construcció de la presa. Malgrat tot la potència estimada d'aquest tram és de l'ordre d' 1m.

(2) de "Handbook of geochemistry" II-3, ed. by K.H.Wedepohl. Springer Verlag, Berlin, 1978.

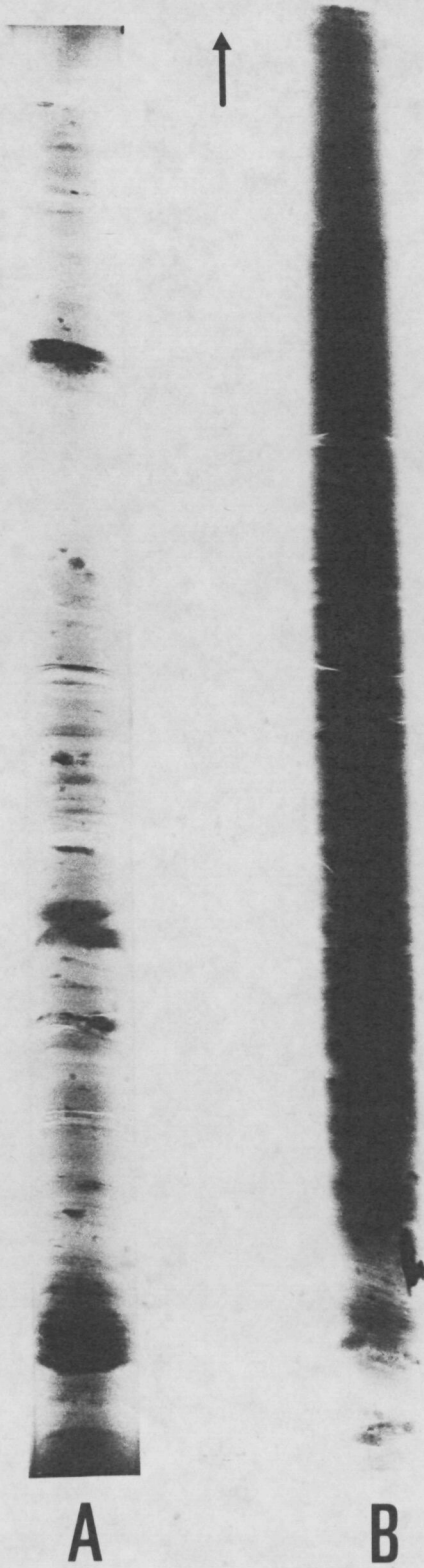
FOTO 16 bis - Radiografia de dos "cores" del sediment lacustre de Llauset; unitat centre de cubeta.

A - fang negre

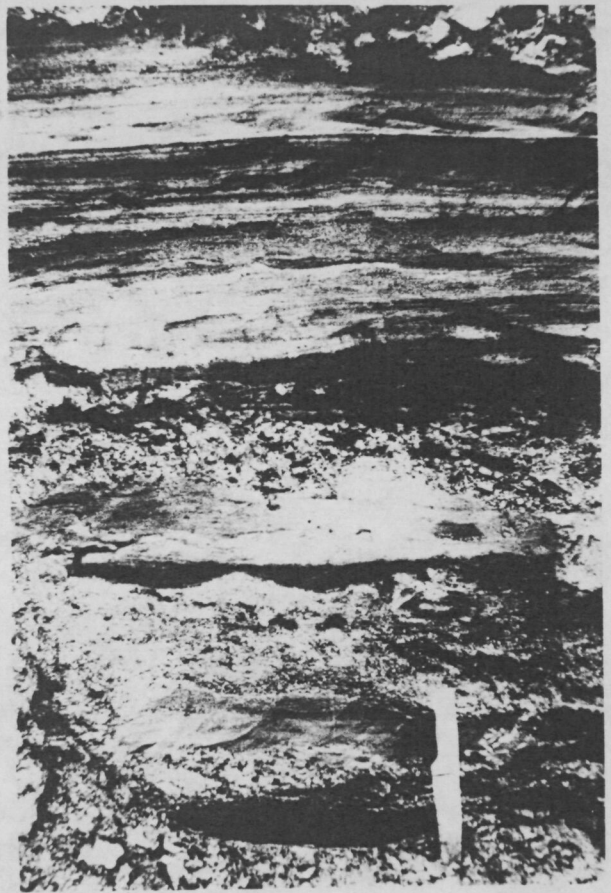
B - fang groc

FOTO 17 - - Nivells sedimentaris de la unitat deltaica.

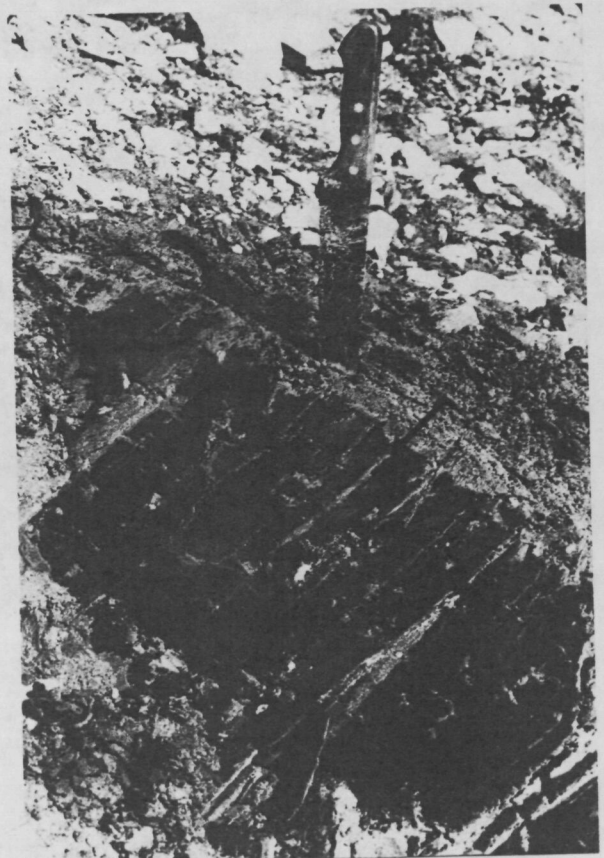
FOTO 18 - - Fang negre de Llauset: llims amb passades de sorres de color clar (fletxa). L'estratificació està inclinada degut a una esllavissada rotacional.



16 bis



17



18

Tram negre superior: Aquesta unitat sedimentària es troba per damunt del tram de fangs grocs i presenta potència d'uns 10 m a la zona propera al llindar rocós, a on va ser possible mostrejar gràcies a l'excavació de l'obra hidràulica. Malgrat tot, i degut a l'esllavissada que ja ha estat esmentada anteriorment, només van poder ser mostrejats els nivells inferiors i superiors del fang negre (veure fig.21.). Aquest sediment està constituït per uns llims de color negre amb laminacions horitzontals disturbada esporàdicament per alguna grava caiguda ("drop-stones"), alternant amb passades centimètriques de sorres fines a mitges de color clar (Foto.18). Aquests llims tenen un cert contingut en matèria orgànica ($\approx 9\%$); referent als components del sediment, es tracta de grans siliciclàstics (quars, feldespat, argiles) juntament amb grans bioclàstics (diatomees) que acostumen a ser majoritaris respecte als primers (Foto.22).

El contingut bioclàstic del fang negre.

S'ha realitzat un estudi de detall de les diatomees que constitueixen aquests sediments. Sobre dues mostres del fang negre, una de la base (M-2) i una del sostre (M-5) (veure fig.21.) s'ha fet una identificació i classificació de les diatomees per veure quins són en cada cas els exemplars dominants, quina és la diversitat d'espècies, i a partir d'aquí interpretar les condicions paleo-ecològiques de l'ambient lacustre de Llauset al principi de la sedimentació del fang negre (M-2 = 20.930 \pm 310 B.P.) i al final (M-5 sense datació).

La classificació dels diferents exemplars de les mostres ha estat realitzada per el Sr. Xavier Tomàs seguint els treballs de HUSTEDT, F (1930), SHOEMAN, F.R. (1973), PATRICK, R. and REIMER (1975), TOMAS, X. (1979) i GERMAIN, H. (1981):

Exemplars classificats a la mostra M-2

Achnantes bioreti
Achnantes exigua var. heterovalvata
Achnantes minutissima
Amphora ovalis
Amphora ovalis var. affinis
Amphora ovalis var. pediculus
Amphora ovalis var. pediculus
Anmoeoneis vitrea
Caloneis ventricosa
Cocconeis placentula var.
Crisoficeas
Cyclotella Comta
Cymatopleura solea
Cymbella affinis
Cymbella cistula
Cymbella cymbiformis
Cymbella delicatula
Cymbella ehvenbergii
Cymbella helvetica
Cymbella laevis

Cymbella leptoceras
Cymbella microcephala
Cymbella turgida
Denticula tenuis var. crassula *
Diatoma hiemale var. mesodon
Diploneis ovalis
Fragilaria brevistrata *
Fragilaria construens var. binodis *
Fragilaria construens var. subrotunda *
Fragilaria pinnata *
Gomphonema augustatum
Gomphonema constrictum
Gomphonema intricatum var. pumila
Gyrosigma sp.
Navicula bacillum
Navicula pseudocutiformis
Navicula pupula
Navicula radiosa
Navicula radiosa var. tenella
Nitzschia augustata
Nitzschia romana
Pinnularis brebissonii ?
Stauroneis phoenicenteron
Surirella linearis
Synedra parasitica

* exemplars més abundants.

MICRO-TEXTURA I COMPONENTS DELS SEDIMENTS DEL LLAC DE LLAUSET

(Fotos scanning)

FOTO 19 -Aspecte amorf dels components del fang groc.

FOTO 20 - Partícula de filosilicat (mica ?) del fang beig.

FOTO 21 - Partícula de filosilicat i fragments de diatomees, principals components clàstics del fang negre.

1- Cymbella sp.

FOTO 22 - Aspecte general dels components del fang negre en el nivell M-2. Predominen els bioclastes.

FOTO 23 - Aspecte general dels components del fang negre en el nivell M-5. Hi ha barreja de bioclastes i litoclastes.

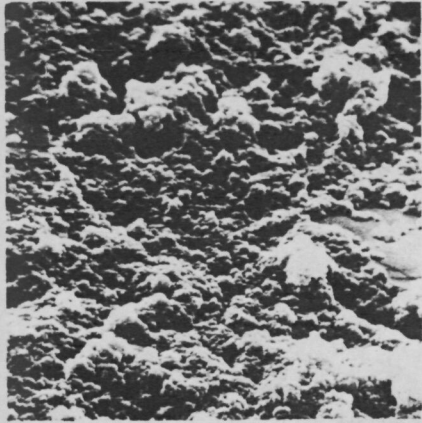
FOTO 24 - Fang negre: 1- Denticula tenuis v. ; 2- Fragilaria sp. ?
3- Crisoficea

FOTO 25 - Fang negre: 1- Crisoficea; 2- gra de quars subarrodonit

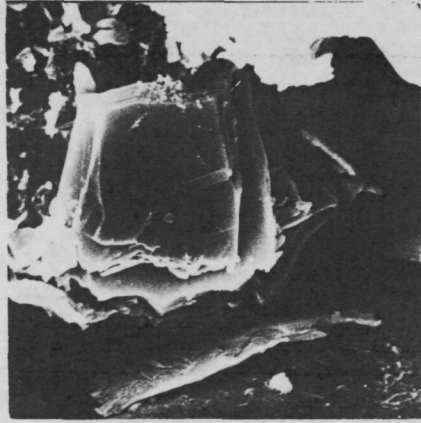
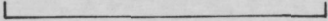
FOTO 26 - Fang negre: 1- Amphora sp. ; 2- Denticula tenuis v. crassula

FOTO 27 - Fang negre: Exemplars de diatomees no determinats

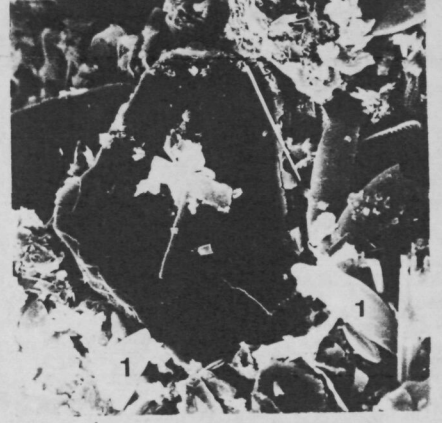
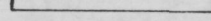
NOTA : el segment d'escala és equivalent a 10 μ



19



20



21



22



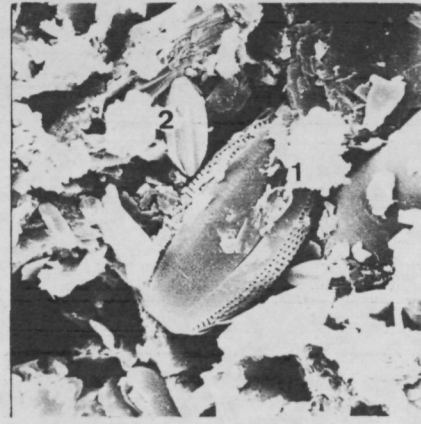
23



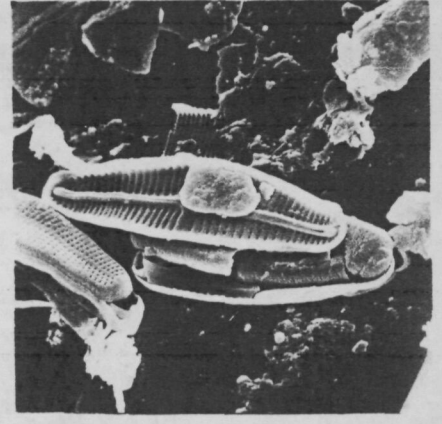
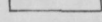
24



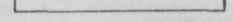
25



26



27



COMPONENTS BIOCLASTICS (DIATOMEES) DEL FANG NEGRE LACUSTRE DE LLAUSET

(Fotos scanning)

FOTO 28 - Navicula sp.

FOTO 29 - Fragilaria pinnata

FOTO 30 - Amphora ovalis v.

FOTO 31 - 1- Navicula sp.

FOTO 32 - 1- Diatomea cèntrica no determinada ; 2- Cyclotella comta ;
3- Denticula tenuis v. crassula; 4- Achnantes sp. ; 5- Cymbella
affinis

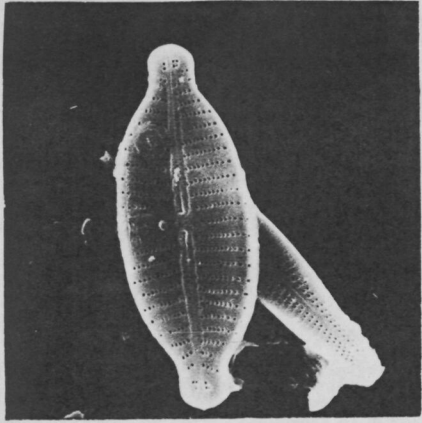
FOTO 33 - 1- Gomphonema sp.; 2- Achnantes sp.

FOTO 34 - 1- Amphora ovalis v. affinis ; 2- Achnantes minutissima

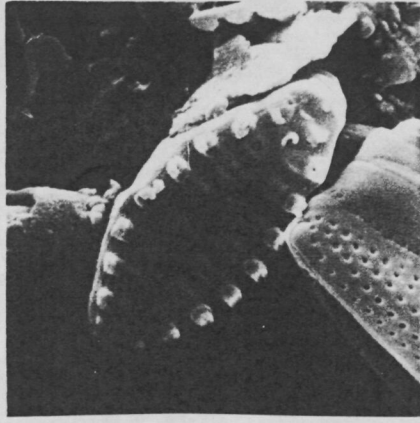
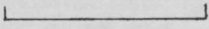
FOTO 35 - 1- Cyclotella comta; 2- Cianoficea; 3- Diatomea no determinada

FOTO 36 - Cyclotella comta

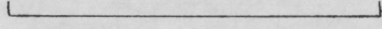
NOTA : el segment d'escala és equivalent a 10 μ



28



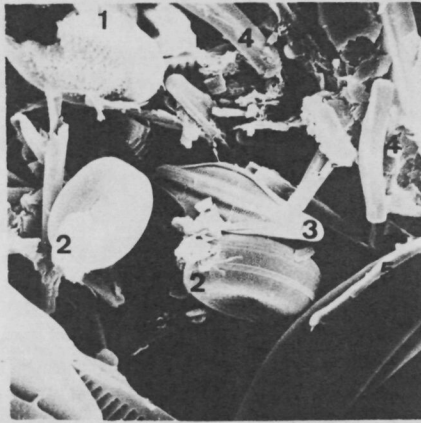
29



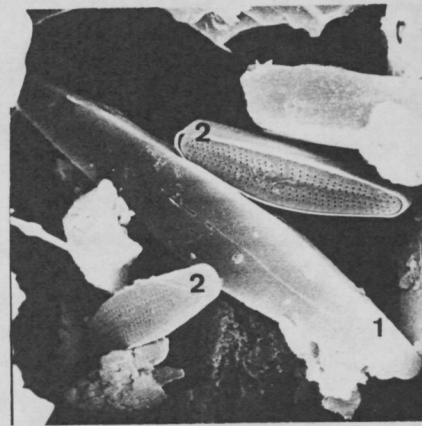
30



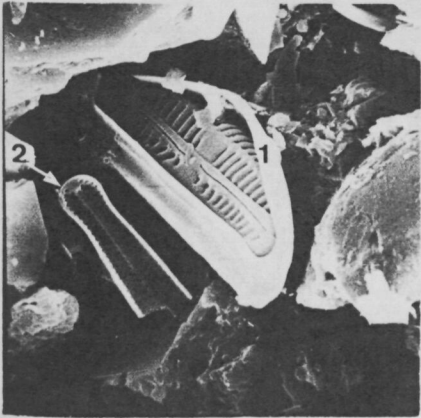
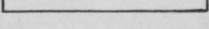
31



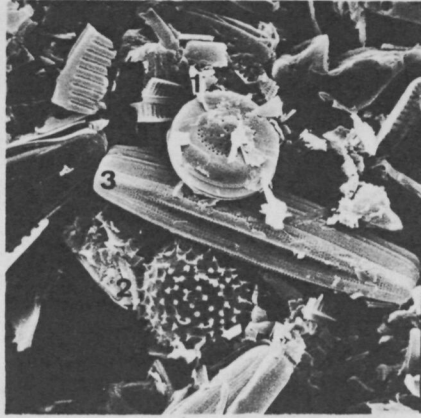
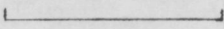
32



33



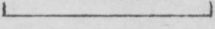
34



35



36



Exemplars classificats a la mostra M-5

Achnantes affinis *
Achnantes bioreti *
Achnantes lanceolata *
Achnantes microcephala *
Achnantes minutissima *
Amphora perpusilla
Amphora ovalis
Amphora ovalis var, pediculus
Amphora ventucosa
Ceratoneis arcus
Crisoficees
Cyclotella comta
Cymbella affinis
Cymbella caespitosa (.= C. prostata eveswaldii)
Cymbella cesatii
Cymbella cistula
Cymbella delicatula
Cocconeis placentula
Denticula tenuis var. crassula
Diatoma hiemale var. mesodon
Eunotia arcus
Fragilaria construens var. biodis
Fragilaria pinnata
Gomphonema gracila ? *
Gomphonema intricatum var. punila *
Gomphonema sp. pl. *
Gyrosigma sp.
Navicula bacillum
Navicula cryptocephala
Navicula pseudolanceolata
Navicula pupula
Navicula sp.

Navicula tuscula ?
Noteschia dissipata
Noteschia linearis
Surinella linearis

* exemplars més abundants.

Entre el sediment de la mostra M-2 i el de la M-5 hi ha diferències marcades. Mentres que al nivell M-2 la majoria de components del sediment són diatomees, en el nivell M-5 augmenta força la presència de components litoclàstics. Referent als diferents exemplars de diatomees trobats ja s'ha donat una indicació dels més abundants al final del llistat d'ambdues mostres. Es pot afegir però que en la mostra M-5 desapareixen Cymbella helvética, C. laevis, C. leptoceras i sobretot C. ehvenbergii; en canvi apareixen Ceratoneis arcus, Eunotia arcus, Diatoma hiemale var. mesodon.; en canvi hi ha menys Cyclotella compta que en la mostra M-2.

Unitat marginal: Aquesta unitat compren tots aquells dipòsits generats pels aports dels vessants de la cubeta lacustre. Es tracta doncs dels materials dels cons d'esbaldregalls que cobreixen els marges del llac, la sedimentació dels quals ha estat sincrònica amb la dels materials de les altres unitats anteriorment descrites. Es evident que no es tracta de dipòsits de fàcies lacustres però per les característiques del llac de Llauset cal tractar-les amb certa relevància. Els materials d'aquestes tarteres que recobreixen els vessants estàn constituïts fonamentalment per grans blocs i còdols angulosos que s'indenten amb els sediments de centre de cubeta. Aquest fet condiciona que

els dipòsits de decantació típics es troben fortament deformats per sobrecàrrega i caiguda de blocs a les parts més marginals de cubeta. A la vegada la gran quantitat de "drop -stones" ve explicada també per la caiguda esporàdica de clastes des dels vessants, en alguns casos directament a l'aigua i en d'altres després d'haver-se acumulat a sobre de la capa glaç generada a la superfície del llac a l'època hivernal i posteriorment fosa a la primavera. Aquest procés és encara actualment viu en la majoria de llacs de l'alta muntanya pirinenca situats en cubetes on els vessants es veuen afectats per una forta dinàmica nival i periglacial.

L'evolució del llac de Llauset

a) Fase d'excavació de la cubeta

La cubeta que acull el llac de Llauset fou generada per sobre-excavació de la glacera de Llauset durant l'últim màxim glacial quaternari quan aquesta glacera conflua amb la de la Ribagorçana. Ja han estat comentades anteriorment les característiques morfològiques d'aquesta sobre-excavació.

b) Fase de sedimentació del fang beig

Aquesta correspon al període on la glacera de Llauset retrocedeix aigües amunt del llac, el qual degué funcionar con un ambient pro-glacial. Cal atribuir aquesta sedimentació detrítica de les lutites laminades que formen el fang beig, a un dipòsit glàcio-lacustre de característiques texturals similars a d'altres sediments glàcio-lacustres descrits al Pirineu (VILAPLANA, J.M. i SERRAT, 1979; SERRAT et al. 1983).

c) Fase de deposició del fang groc

Durant la fase anterior de glacera degué establir-se aigües amunt del llac; el canvi sobtat en el tipus de sediment podria comportar però implicacions paleoclimàtiques importants que influïrien possiblement en la retirada quasibé total, o si més no a les zones més elevades de la conca, de la glacera de Llauset. És evident que la producció d'aquest metre de dipòsit ferruginós és deguda a un canvi en el quimisme i la dinàmica de les aigües lacustres que han oxidat el ferro abundant en forma de pirita a tota la capçalera on aflora el Silurià (veure mapa litològic f. 17), i a la vegada l'oxidació ha actuat sobre els sulfurs transformant-los, si més no parcialment en sulfats. Penso però que encara manquen dades per poder afirmar, a nivell general, quelcom més sobre les característiques d'aquest possible canvi climàtic.

d) Fase de la sedimentació del fang negre

El començament d'aquest episodi (20.930 ± 310 anys B.P.) ens indica un nou canvi en el medi lacustre marcat pel nou tipus de deposició. Aquests sediments són completament diferents, des d'un punt de vista de fàcies, als dipòsits glacio-lacustres, per tant fan interpretar que a partir d'aquella data la glacera de Llauset quedava restringida a l'àrea del circ de Botornàs, o bé era inexistent. Analitzant només la fàcies deposicional, la dinàmica lacustre ha estat pràcticament constant durant tota aquesta fase (des de 20.930 ± 310 anys B.P. fins a temps històrics, - no hi ha datació del sostre). La datació del nivell intermig (12.620 ± 160 anys B.P.) tan sols ens indica que la velocitat de sedimentació era més petita a la part baixa d'aquest tram (0.02 cm/any) que a la part alta (0.07 cm/any). L'anàlisi de les diatomees i la seva significació ens pot aportar nova informació referent a l'ecologia de l'ambient lacustre de Llauset durant els últims vint mil anys. Hem de ser molt crítics però a l'hora d'interpretar aquesta informació i extreure'n conclusions ja que entre

d'altres qüestions cal considerar que només treballem amb dues mostres (base i sostre del paquet sedimentari) i desconeixem per tant els canvis existents dins d'aquest espaiat. També cal dir que les conclusions extretes s'han fet sense recorre a un contactge estadístic de les diferents espècies.

A partir de les espècies identificades i esmentades anteriorment, i comparant entre sí el resultat d'ambdues mostres, es poden establir una sèrie de condicionants ambientals per el llac de Llauset durant la fase de sedimentació del fang negre:

Es tracta d'un llac oligotròpic, d'aigües ben oxigenades, amb poca i molt lenta sedimentació detrítica. Referent al quimisme de les aigües s'ha d'interpretar com alcalí ($\text{PH} \gg 7$) doncs la majoria de les espècies són alcalinòfiles. Això és coherent amb la geologia de l'àrea, doncs part de la cubeta es troba excavada en materials carbonàtics del Devonià. Havia d'existir una certa activitat orgànica doncs les formes Cymbella, Gomphonema, Achnantes, etc. són pedunculades i necessiten d'un substrat orgànic (macròfits ?) per viure. Les principals diferències entre la M-2 i la M-5 semblen indicar en el primer cas més diversitat d'espècies i formes poc litorals; mentres que en el segon cas la diversitat és inferior i els exemplars són d'ambient litoral. Referent a la temperatura de les aigües, des d'un punt de vista relatiu entre ambdues mostres, sembla que les diatomees presents en la M-5 responen a aigües lleugerament més fredes que les de la M-2. A nivell de condicions climàtiques generals ja hem vist que per la fàcies del sediment aquesta no correspon a un medi glàcio-lacustre. Si a més considerem les comunitats de diatomees de les dues mostres analitzades i les comparem amb d'altres estudis realitzats (segons treballs citats anteriorment i comunicació oral de X. TOMÁS), es pot dir que no recorden comunitats

d'aigües d'alta muntanya freda, possiblement ni tan sols les actuals del Pirineu; podrien doncs correspondre a unes condicions climàtiques d'un medi de muntanya baixa o mitja.

Comparació amb un altre model lacustre del Pirineu

A la serralada pirenenca hi ha molt pocs estudis similars que permètin una comparació sobretot des del punt de vista evolutiu. Potser l'estudi de la torbera de Freychinède fet per JALUT, G. et al (1983) és aquell que més lligams de relació guarda amb el model de Llauset.

Aquesta torbera correspon a un petit llac de sobre-excavació glacial situat a cota 1.350 m en el vessant nord del Pirineu, a la conca de l'Arieja i concretament a la vall de Suc. L'estudi en qüestió analitza exhaustivament les condicions geomorfològiques locals i regionals que complementen l'anàlisi sedimentològica i palinològica del registre sedimentari del llac, molt ben complementat per datacions absolutes. En conclusió els autors proposen el següent model evolutiu:

a) Fase d'excavació del llac.

Erosió de la cubeta per sobre-excavació glacial durant l'últim màxim glacial quaternari que situen anterior als 21.000 anys B.P. Durant aquesta fase i en funció del nivell de fons de circ, l'acoten entre 1.500 i 1700 m la línia de neus permanents.

b) Fase de sedimentació detrítica no calcària.

Comença la deposició en el llac amb argiles blaves glàcio-lacustres i el front de la gelera estabilitzat aigües amunt del llac. Seria un episodi de glaceres de muntanya, entre 21.000 B.P. i 13.150 B.P. A partir de 15.000 B.P. però es comença a detectar un augment de la temperatura.

c) Fase dels dipòsits lacustres calcaris.

Comença cap els 13.150 B.P. \pm 300 amb un augment de la temperatura clarament registrat a nivell de cobertura vegetal i del medi físic.

d) Fase de refredament.

Es tracta d'un episodi fred identificat localment, caracteritzat per un refredament ràpid de curta durada seguit per una disminució de la humitat. Podria correspondre al Tardi-glacial de SERRAT, D. (1977) pel Pirineu Oriental i representat per l'existència de glaceres rocoses. Al finalitzar aquesta fase cap als 11.200 B.P., comença el Post-glacial.

A tall de correlació.

Resulta temptador però difícil i potser perillós establir una correlació entre l'evolució del llac de Llauset i el de Freychinède. A nivell de grans etapes en els dos llocs hi ha una fase d'excavació atribuïda a l'últim màxim glacial anterior a 21.000 B.P. Les diferències altitudinals venen compensades per dissimetria que el glaciarisme quaternari presenta entre ambdós vessants del Pirineu i que diversos autors clàssics esmenten en els seus treballs; establint una diferència d'uns 400 m entre el nivell de neus permanents del vessant nord i el del vessant sud. En el dos llacs hi ha també representada una deposició glàcio-lacustre detrítica seguida d'una sedimentació d'ambient no glacial. En aquest cas no hi equivalència cronològica, la qual cosa s'explica per dos factors que dificulten la correlació. Primer, per la diferència de potència en el registre sedimentari d'ambdós llacs: Llauset 16 m de promig estimat, i en canvi Freychinède tan sols 5,2 m de sediment en el sondeig més profund. En segon lloc, cal dir que en

el cas francès hi ha l'estratigrafia palinològica detallada a diferència del cas de Llauset on aquesta no s'ha pogut realitzar. Tot i així la gran diferència en les fàcies sedimentàries fa pensar clarament que l'evolució d'ambdós llacs durant els últims 20.000 anys respon a condicions ambientals diferents. La qüestió està però, en el fet de veure si aquests condicionants ambientals són de caràcter local o bé, en el cas contrari, si ens marcarien una forta dissimetria entre ambdós vessants de la serralada.

Pel llac de Llauset sembla clar que poc abans dels 20.930 anys B.P., les condicions ambientals que vorejaven el llac van canviar (de molt a poc o gens oxidants). Impliquen aquests canvis una crisi climàtica generalitzable a tot el vessant sud del Pirineu, o bé responen a alteracions ambientals locals?. És evident que només nous estudis en d'altres llacs permetran emetre una resposta.

Durant la prolongada deposició del fang negre, unes noves i regulars condicions sedimentàries regíren l'ambient lacustre de Llauset fins pràcticament els nostres dies.

4.1.2. EL COMPLEX SEDIMENTARI DE LLESTUI

Tal com ja s'ha introduït al parlar de les generalitats de la vall de Llauset, a l'aiguabarreig dels barrancs del Clot i de Malmarrui, afluents del riu de Llauset per la marge esquerra, hom hi troba uns importants replans a sobre dels quals hi ha les bordes de Llestui. La incisió d'aquests barrancs ha posat de manifest l'existència d'uns dipòsits quaternaris d'elevat interès sedimentològic. Es tracta d'una formació glàcio-lacustre conseqüència de l'obturació d'aquells barrancs per la morrena lateral esquerra de la glacera que circulava per la vall de Llauset en temps quaternaris (veure fig.23.).

Vist en més detall, tal com ens il·lustra la fig.VII, si fem un tall del complex sedimentari de Nord a Sud, veiem que hi ha dos cons de dejecció corresponents als torrents abans esmentats que passen lateralment a la part baixa a dipòsits lacustres i que els recobreixen a la part alta. Més avall aquestes dues unitats es recolzen i en part s'indenten amb materials morrènics que presenten diverses fàcies de tills.

a) Els dipòsits glacials

Tal com s'il·lustra en el mapa geomorfològic de la vall de Llauset (Fig. IV-), a l'indret de les bordes de Llestui es conserva força bé la cresta de la morrena lateral de la glacera de Llauset quan aquesta conflua amb la de la Ribagorçana durant l'últim màxim glacial. Gràcies a l'aixaragallament de les aigües fluvio-torrencials hom disposa d'un tall que permet una bona descripció d'aquests dipòsits. El conjunt de l'acumulació morrènica té una potència estimada entre 80 i 90 m, i en ella es poden diferenciar clarament una unitat inferior d'una superior, les quals corresponen, genèticament parlant, a dos tipus diferents de tills

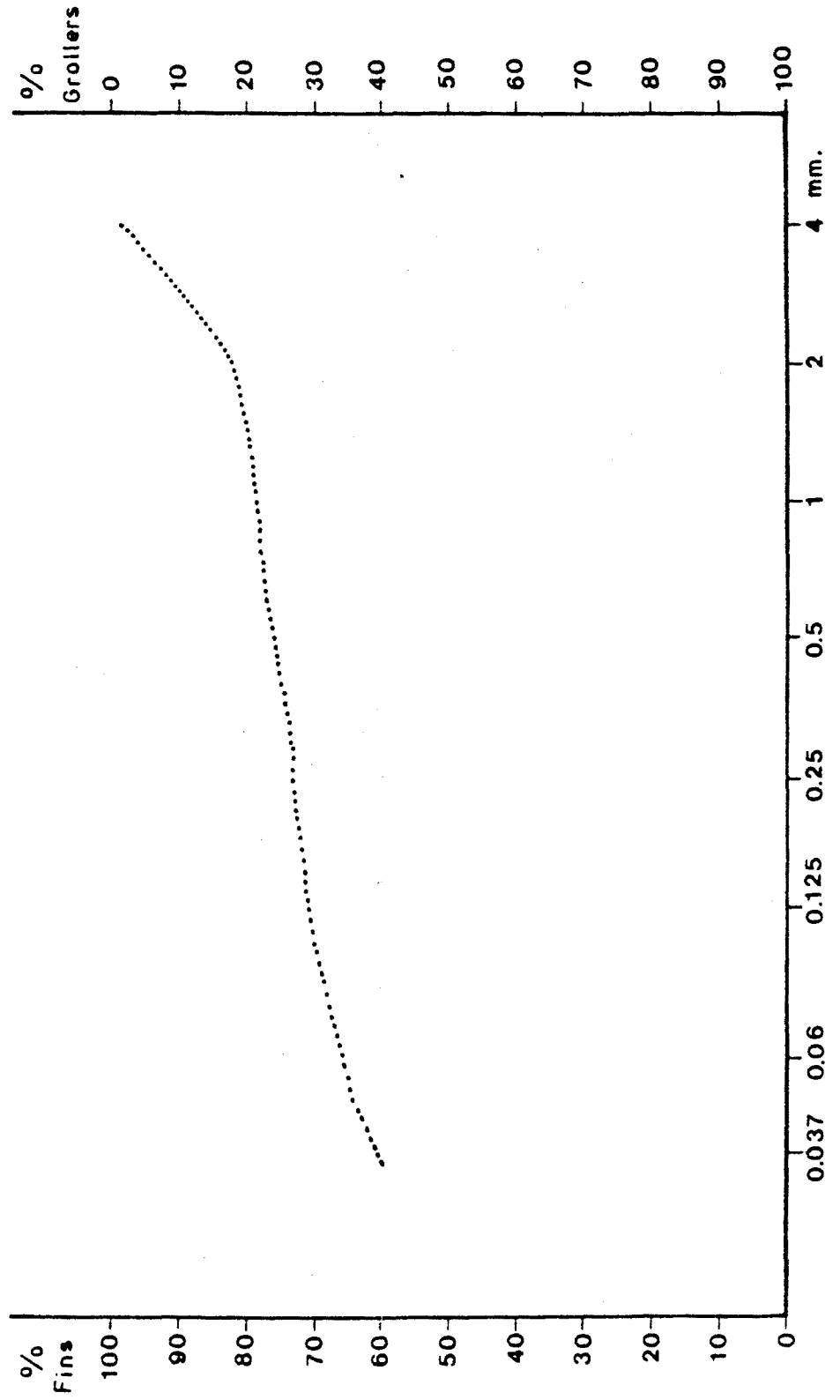
(foto 38).

La unitat inferior de color gris blavós té una gruixària d'entre 40 i 50 m, i està constituïda per clastes de mida heteromètrica (des de graves a blocs) inclosos en una matriu lutítica bastant compactada. La litologia dels clastes és diversa, encara que en els blocs hi dominen els granits, alguns alterats i d'altres frescos, seguits dels calco-esquistes i de les pissarres. La forma dels clastes es situa entre subangulosa i subarrodonida, sobretot aquesta última, pels granítics, i molts d'ells, principalment els esquistosos, presenten traces d'abrasió glacial com ara estries i marques d'arrencament d'esquirles. Referent a la matriu, cal dir que és molt abundant; respecte als components clàstics a nivell textural, i tant a escala macro com micro es pot parlar de "matrix supported", (veure fot. 44). Segons les anàlisis granulomètriques realitzades sobre la matriu d'aquest sediment (fig. 22.) conté aproximadament el 60% de fins. El sediment no presenta cap tipus d'estructura, tan sols a la part de dalt abans de passar a la unitat superior, s'hi troben unes passades de sorres fines i lutites amb laminacions paral·leles deformades.

Genèticament aquest dipòsit és un till subglacial o basal i més concretament es pot dir que es tracta d'un "lodgement till" en la seva gran part. A la part alta on sembla que la matriu és encara més dominant i on es conserven dipòsits i estructures lacustres es podria parlar de "Waterlain till" segons DREIMANIS, A. (1979), concretat en un "flow till" subaquàtic.

La unitat superior (foto 39) de color beig té una gruixària de 40 m, i està constituïda per clastes heteromètrics, alguns superiors als 3 m, en una matriu llimo-arenosa molt menys abundant que en el cas del till basal inferior. La litologia dels clastes és similar a la dels de la unitat inferior (granit, calco-esquistes, pissarres), en

FIG.22-CORBA GRANULOMÈTRICA ACUMULATIVA DE LA MATRIU DEL
TILL SUB-GLACIAL DE LLESTUI.



FORMACIÓ SEDIMENTÀRIA DE LLESTUI

FOTO 37 - Vista general de l'acumulació. Vegeu: a) la cresta del cordó morrènic; b) la superfície del con de dejecció; c) la situació dels dipòsits lacustres.

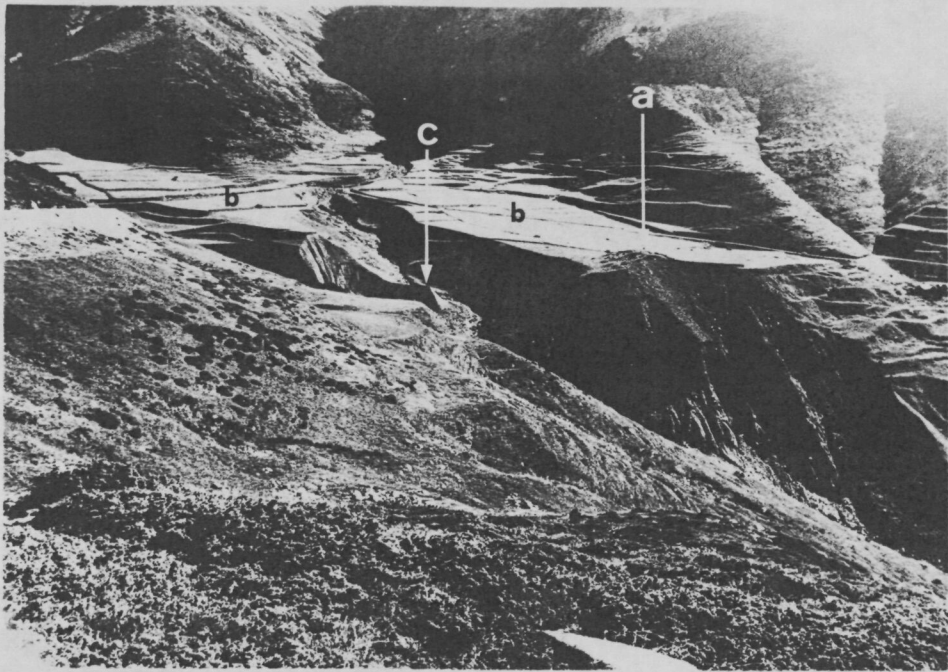
FOTO 38 - Acumulació morrènica de Llestui:

1- Till sub-glacial

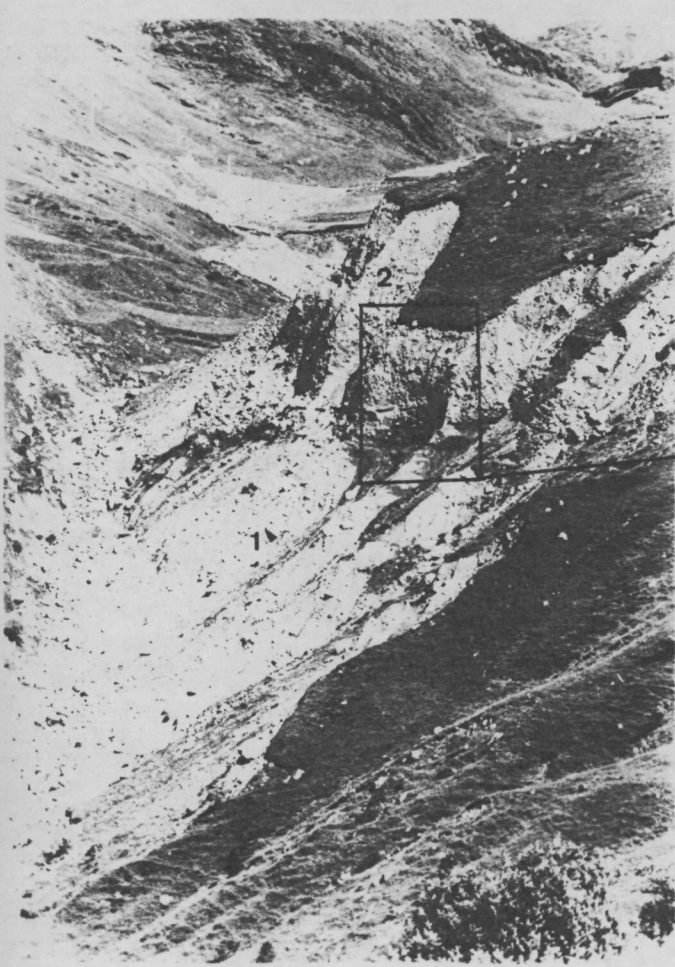
2- Till supra-glacial

FOTO 39 - Detall de la foto anterior.

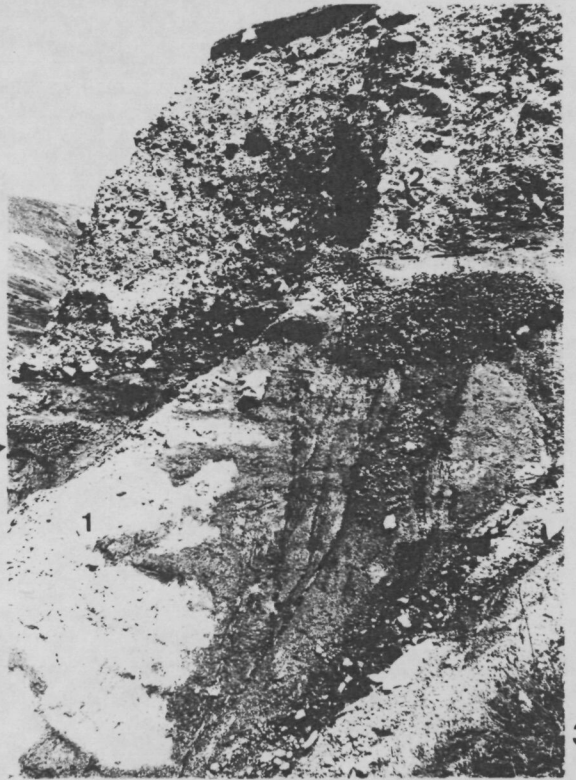
FOTO 40 - Morrena lateral esquerra de la vall de Lauset, una mica més amunt de les bordes de Llestui. Fàcies de "Flow-till" supra-glacial: vegeu com els blocs es disposen seguint uns plans de relliscament d'inclinació contrària al vessant. La posició de la llengua glacial era a l'esquerra de la foto.



37



38



39



40

canvi la forma que presenten és d'angulosa a subangulosa amb pocs o gens restes d'abrasió glacial. A nivell estructural cal destacar-hi una orientació generalitzada dels blocs que els disposa en plans en contra del vessant, és a dir amb un cert cabussament cap al Nord d'uns 25°. Localment s'hi observen petits nivells de gravetes rentades de poca continuïtat lateral, així com algun llentíol de lutita grisa laminada.

Aquesta unitat superior correspon doncs a un till supraglacial, que al sostre té la forma de cordó morrènic lateral, i el qual ha estat depositat juxta-glacialment en contacte amb el llac de Llestui a la part nord, i on els principals processos deposicionals foren els moviments de massa ("massflows") cap a l'interior de la cubeta lacustre, així com les aigües de fusió glacial que farien un rentat i una certa classificació local dintre del dipòsit. Seguint la classificació de la "INQUA Commission" recollida per DREIMANIS, A. (1982), aquest sediment estaria format per un "flow-till" supraglacial i localment seria "melt-out till" supraglacial.

b) Els dipòsits lacustres

Aquests sediments constituïts principalment per nivells de lutites grises laminades alternant amb sorres fines a mitges, tenen una potència màxima de 30 m., aprimant-se cap al Nord on passen a graves i sorres, i cap al Sud passen lateralment als dipòsits morrènics abans descrits.

Per realitzar l'anàlisi de la sedimentació en aquest antic llac, s'ha aixecat un perfil estratigràfic de detall (Fig.VIII), el qual serà comentat a continuació. Jun- tament amb la realització d'aquesta columna es prengueren mostres (continues quan era possible i amb un espaiat de 5 cm quan la naturalesa del sediment així ho requeria) per a l'anàlisi palinològica del registre sedimentari, i també

TEXTURA DELS SEDIMENTS DE LLESTUI

FOTO 41 - Micro-textura argilosa de la matriu del till sub-glacial de Llestui ("mud-till").

FOTO 42 - Micro-textura argilosa de les lutites lacustres de Llestui. Observeu la similitut textural amb la foto anterior.

FOTO 43 - Grans de quars amb les vores subarrodonides, dins de les lutites lacustres de Llestui.

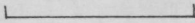
NOTA : el segment d'escala és equivalent a 10

FOTO 44 - Aspecte del till sub-glacial de Llestui en un tall de l'aflorament. Presenta una estructuració massiva amb suport de la matriu, i la majoria de clastes tenen una morfologia sub-arrodonida.

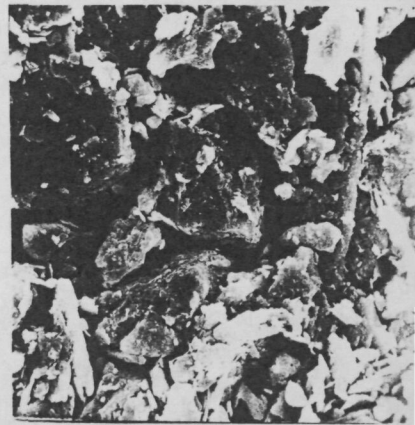
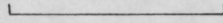
FOTO 45 - Aspecte al microscopi òptic, amb llum normal, d'una làmina prima de la matriu del mateix till abans esmentat. Els fragments blancs són petits clastes, i la part negra correspon a la massa lutítica.



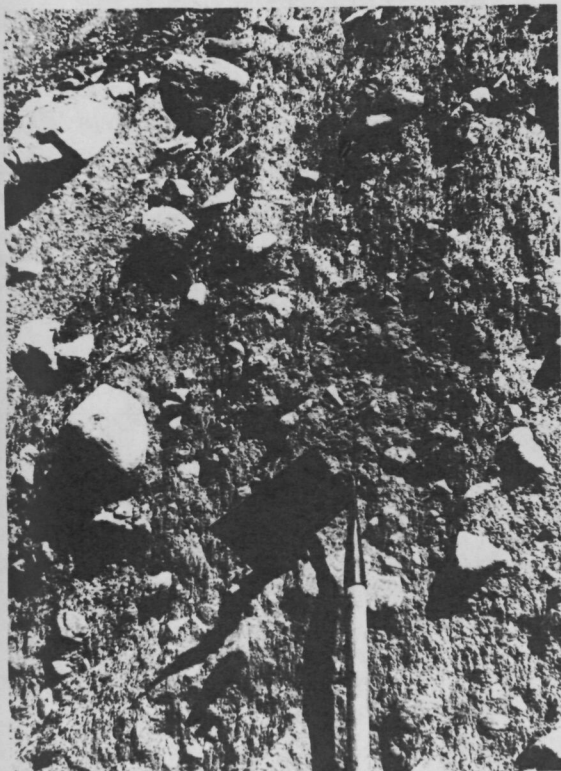
41



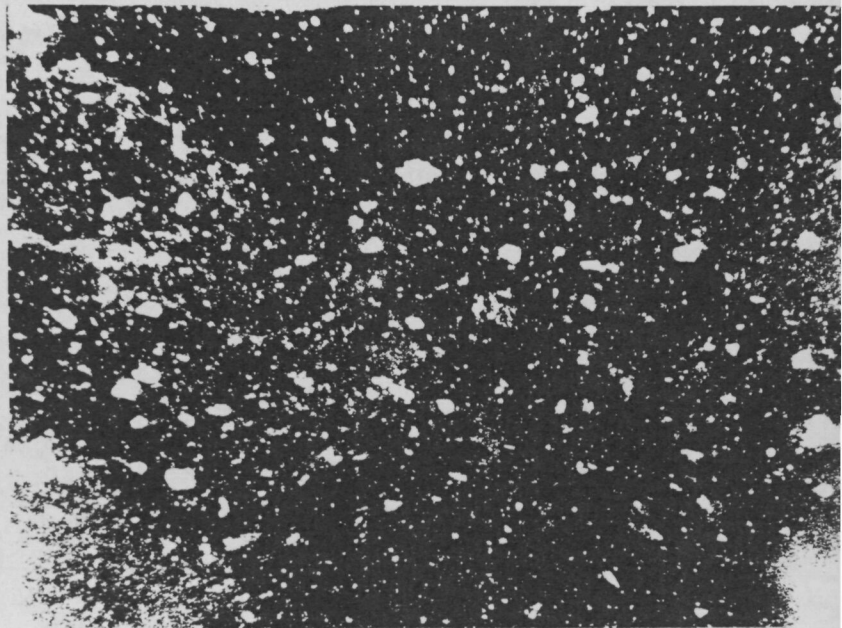
42



43



44



45

X 10

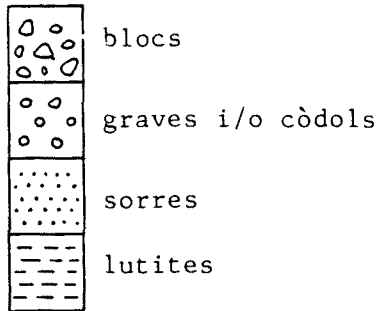
s'agafaren altres mostres de sediment. Malauradament i per motius aliens a la realització del present estudi, al moment de redactar aquestes línies els resultats parcials o totals d'ambdues tècniques analítiques no han arribat encara en mans de l'autor, per la qual cosa no podran ser inclosos en el present treball. Esperem però que en dates ben properes aquests resultats podran ser incorporats a les interpretacions sedimentològiques aquí aportades de manera que es pugui completar el coneixement estratigràfic d'aquesta formació quaternària.

Tal com s'il·lustra en el gràfic adjunt a la columna, l'aixecament del perfil s'ha efectuat sobre una sèrie sedimentària de 27,15 m. que per motius de manca d'aflo-rament han hagut de ser repartides en quatre seccions, les quals sumen un total de 16,2 m. La part de dalt de la secció I, la més al Nord, està situada aproximadament al sostre dels dipòsits lacustres, i la secció IV, la situada més al Sud, representa la base de la formació lacustre que en aquest punt de l'antic llac es recolza a sobre del till basal que correspon a la part alta de la unitat inferior dels dipòsits glacials descrits en l'apartat anterior.

En la representació gràfica del perfil estratigràfic de Llestui s'ha tingut en compte la litologia, la granulometria del sediment i les estructures, tan les sin-deposicionals com les post-deposicionals; tota aquesta simbologia és explicada en la llegenda adjunta al perfil (Fig. VIII.). A més, he introduït un còdig de fàcies, per diferenciar diferents famílies de litofàcies. Aquest còdig segueix els criteris utilitzats per EYLES, N. et alt. (1983) que al seu torn està inspirat en el treball de MIALL, A.D. (1978). El còdig per diferenciar diverses famílies de litofàcies en ambients glacials consisteix en utilitzar diverses lletres: la primera en majúscula ens indica la família de litofàcies; les altres lletres escrites en minúscules, ens donen informació relativa a l'estructura interna del sediment,

LLEGENDA DEL PERFIL ESTRATIGRÀFIC DE LLESTUI (FIG. VIII)

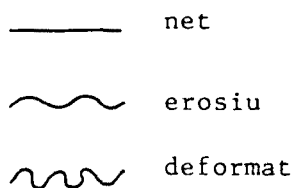
LITOLOGIA



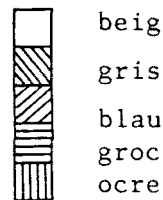
GRANULOMETRIA

- l - lutita
- s - sorra fina
- s - sorra mitja
- s - sorra grossa
- g - graves a còdols
- b - blocs

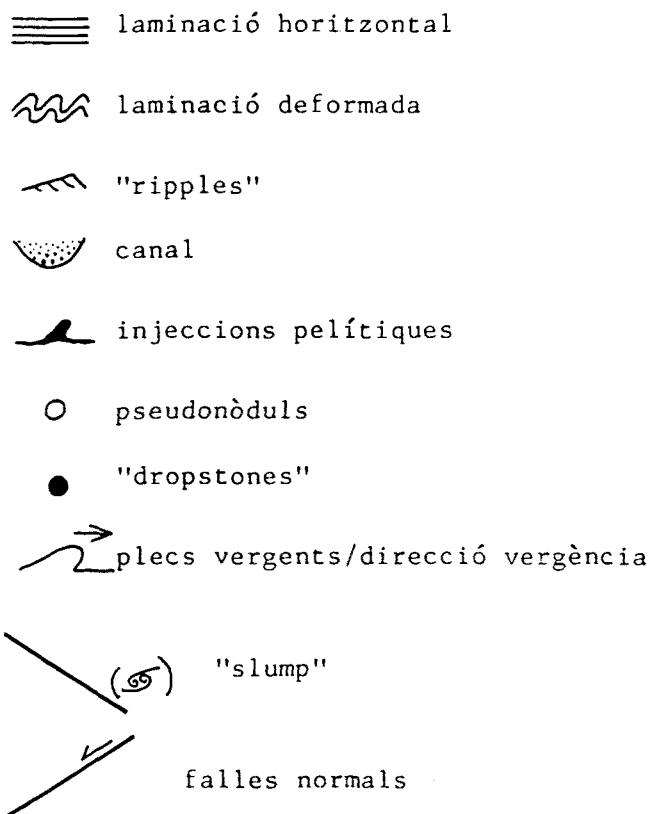
CONTACTES



COLOR



ESTRUCTURES



CÒDIG FACIES

- D: Diamictita - G: grava
- Gm/ Dm: "matrix supported"
- Gc/ Dc: "clast supported"
- G-m/ D-m: massiva
- G-s/ D-s: estratificada
- D--(s): estructura de cizallament
- S: Sorra
- Sr: amb "ripples"
- Sh: amb laminació horitzontal
- Sm: massiva
- Sg: gradada
- Sd: deformada
- F: Fins (inclou lutita i sorra molt fina)
- Fl: laminats
- Fm: massius
- Fd: laminació deformada
- F-d: amb "dropstones"

i també de la matriu i de les característiques excepcionals del dipòsit.

Les litofàcies del perfil de Llestui i la seva significació

Fàcies Diamictita

Han estat representades per la lletra D en el còdig utilitzat. La segona lletra indica la relació clastes/matriu ("clast supported" o "matrix supported"), la tercera lletra indica l'estructura interna del sediment, i ocasionalment una quarta lletra entre parèntesi en informa sobre alguna característica excepcional.

Els nivells de diamictites de Llestui estan formats per unes lutites gris-blavoses que engloben clastes de mides predominants: graves i gravetes, amb algun còdol. Eventualment hi pot haver un cert contingut en sorres, i l'estructuració és nul·la, essent doncs massives. Les gruixàries d'aquests trams solen ésser petites, entre 4 i 50 cm, i els contactes acostumen a ser nets però majoritàriament erosius. En referència a la litologia dels clastes, en la majoria de diamictites són coherents amb la litologia de l'àrea que drenen els torrents del Clot i de Malmarui. En alguns casos però, hom hi troba algun còdol granític i algun altre amb estries, motiu que fa pensar que la seva provenència és la morrena lateral de la glacera de Llauset.

La interpretació de la seva gènesi dintre d'un ambient lacustre esdevé un xic problemàtica. Diversos autors de treballs sobre ambients glàcio-lacustres citen la presència de nivells de diamictites; SHAW, J. (1975) i SHAW et al. (1979) les interpreta com tres possibles tipus de dipòsits: "basal melt-out tills", "lodgement tills" en alguns casos, o bé "flow tills" en d'altres. COHEN, (1979) parla de diamictites en les seqüències de "fore-sets", i basant-se en d'altres autors els hi atribueix un mecanisme deposicional del tipus moviment de massa subaquàtic d'alta

viscositat que anomena "slurry flow". Pel cas de Llestui crec que el mecanisme deposicional pot ser de dos maneres diferents. En funció dels treballs citats i de les observacions de camp referents a geometria dels contactes, potència, i a la litologia i altres característiques dels clastes, així com en funció de l'estructuració dels nivells infrajaccents a les diamictites, una part d'elles provenen de petits moviments en massa de material que es troba en condicions d'inestabilitat en el talús deltaic i que per un flux d'alta viscositat es deposita al peu del talús. Aquestes diamictites no contenen clastes de litologia ni morfologia de procedència morrènica i són generalment les que presenten gruixàires més petites. El procés que generaria l'altre tipus de diamictita cal relacionar-lo amb l'existència d'una glacera activa que obtura la cubeta i que deposita tills tant en medi subaèri, (han estat descrits en l'apartat anterior) com en medi subaquàtic. El mecanisme de deposició seria per "flowage" o per "slumping" (DREIMANIS, A. 1982) el qual produiria "flow tills" sediments en medi lacustre. Aquests "flow tills" generalment seccionen els sediments infrajaccents, i en alguns casos els deformen per sobrecàrrega, produint per compressió vertical una sèrie de falles normals que afecten als nivells de sediments fins. Això és clar en les diamictites dels nivells 1180 i 2100 (cms respecte la base de la columna). Tant el primer nivell situat en la secció II del perfil, com el segon situat en la secció I els interpreto com "flow tills" subglacials. Tots dos sediments tenen molta matriu lutítica molt compactada amb clastes clarament morrènics dispersos. En ambdós casos doncs i en funció d'aquesta interpretació ens queden registrats dos episodis durant els quals la glacera va progradar a l'interior del llac. En els altres nivells de diamictites interpretables com a "flowtills" resulta difícil parlar de medi deposicional subglacial o supraglacial; malgrat tot, jo em decantaria per la segona possibilitat doncs no es compleixen les mateixes condicions que

en els dos nivells més amunt referits.

Fàcies Grava

Ha estat representada per la lletra G en el còdig utilitzat. A l'igual que per la fàcies Diamictita, la segona lletra indica la relació entre la matriu i els components clàstics ("matrix supported" o "clast supported"), i la tercera lletra es refereix a l'estructura interna del sediment.

Pràcticament tots els nivells de Fàcies Grava presenten un aspecte massiu, en les graves es troben barrejades amb sorres. Eventualment però algun nivell conté alguna estructura de corrent de tipus canal. Aquests nivells de graves tenen una potència molt variable des de 10 cm fins a 2,6 m pel nivell de la base de la columna que està depositat a sobre del till basal de Llestui. Generalment, la base d'aquests nivells correspon a contactes erosius. Cal destacar dintre d'aquesta fàcies un nivell de graves anguloses amb disposició horitzontal dels clastes, sense sorres i interestratificats en sediments fins. En tots els casos els diferents nivells de graves tenen una litologia similar a les graves dels cons de dejecció dels torrents que drenen la petita conca fluvio-torrencial. La morfologia dels clastes és en general subangulosa a subarrodonida.

Aquestes fàcies Grava corresponen a dos mecanismes de deposició diferents dintre de la cubeta lacustre. Els petits nivells de 2 a 4 cm nets de matriu, amb els clastes horitzontals intercalats en les lutites, corresponen a fases de desgel de la superfície del llac. Aquest procés ja ha estat esmentat pel llac de Llauset; tots els llacs en medi glacial i periglacial durant els hiverns presenten una disminució dels aports hídrics i terrígens, i la superfície de l'aigua pot gelar-se en un gruix decimètric a mè-

tric durant els mesos hivernals. Les condicions fredes fan evolucionar els vessants de la cubeta de manera que hi ha un aport de material terrígen fonamentalment clàstic (graves, còdols, i fins i tot blocs) local, i de fins per aports eòlics que van recobrint la superfície gelada del llac. A l'estació de la fusió del glaç tot aquest material cau a l'interior de la cubeta lacustre i pot formar un espècie d'"empedrat" que s'intercala en la decantació de fins. Aquest és el mecanisme que proposo per a generar aquest petits nivells de fàcies Grava. Els altres nivells de graves, que són la majoria, corresponen a una deposició d'aports d'elevada energia, provinents dels cursos fluvio-torrencials que desembocaven en el llac interrompent la sedimentació tranquil·la de decantació. Podria ser que aquestes fases de sedimentació grollera anéssin acompanyades d'un important descens en el nivell de les aigües del llac.

Fàcies Sorra

Aquest nivells de sorres han estat representats amb la lletra S seguint el còdig utilitzat. En aquest cas la segona lletra indica l'estructura interna del sediment.

Els nivells inclosos en aquesta fàcies presenten una mida de gra que oscil·la entre sorra fina, mitja i grossa. Aquests nivells tenen gruixos petits que quasi mai sobrepassen els 15 cm. La majoria de nivells són massius encara que n'hi ha algun amb laminació paral·lela horitzontal. Les estructures de corrent de tipus "ripples" són escasses, en canvi és freqüent el trobar una gradació en la granulometria d'aquests nivells. La major part d'aquests últims són grano-creixents i només s'han identificat tres nivells grano-decreixents. Aquestes sorres amb grano classificació positiva passen cap amunt a lutites laminades. Si seguim el model establert per STURM and MATTER (1978) per al llac de Brienze als Alps, es podria tractar de fases

de deposició turbidítica a la plana de centre de cubeta (serien una sorres distals). Aquestes turbidites poden relacionar-se amb corrents de terbolesa generades, sempre segons els mateixos autors, al peu del front deltaic per una avinguda important, potser indicativa d'un període de fusió nival excepcional o bé de pluges torrencials de gran magnitud.

Els nivells de sorra massius i els grano-creixents correspondrien a fàcies més proximals que les anteriors, indicatives d'un canvi bruscat en l'energia del medi lacustre. En algun cas, passen a graves cap al sostre; en la majoria però s'intercalen en els sediments fins, indicant en ambdós casos un augment de l'energia hidrodinàmica.

Fàcies Fins

Aquesta fàcies ha estat representada per la lletra F seguida d'una altra lletra en minúscula que indica l'estructura interna del sediment; també s'ha utilitzat una tercera lletra, concretament la d per indicar l'existència de graves i/o còdols caiguts ("drop-stones") a l'interior dels dipòsits fins.

La fàcies Fins inclou tots aquells sediments des de les sorres molt fines fins a les argiles. La majoria de nivells estan constituïts per uns ritmes de sorres molt fines i lutites que en alguns casos són clarament argiles. La coloració d'aquests nivells és gris-blavosa i presenten laminació paral·lela horitzontal i de vegades deformada. També es troba algun nivell lutític amb disposició massiva. La potència d'aquests trams és molt variable des de 2 cm fins a poc més d' 1m. Molts d'aquests nivells de fins han estat escapçats erosivament pel tram suprajacent. Els nivells de ritmites podrien correspondre fàcilment a varves glacials on la successió dels cicles sorra-lutita (milimè

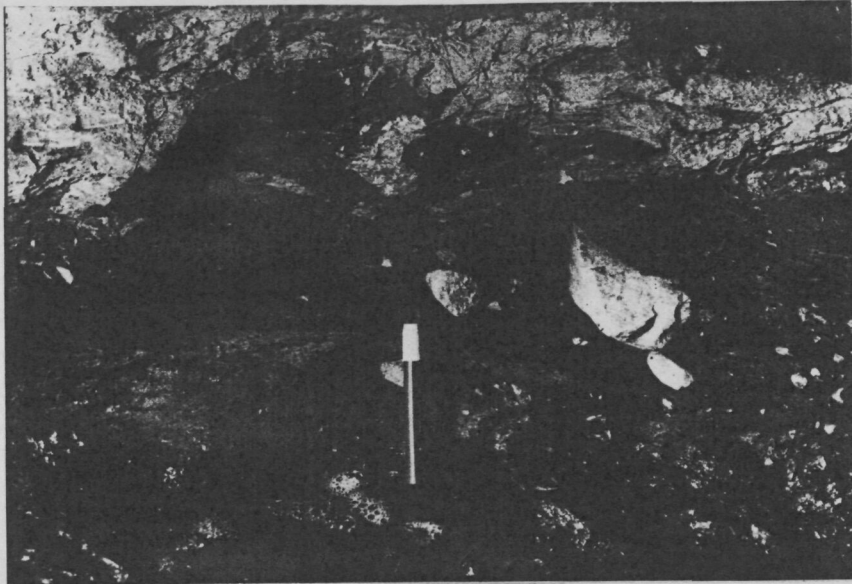
FOTO 46 - Aspecte de la fàcies Diamictita que apareix en la secció II del perfil estratigràfic de Llestui. En aquest cas el sediment és interpretat com un "flow-till" sub-glacial.

FOTO 47 - Detall de la secció II del perfil de Llestui:

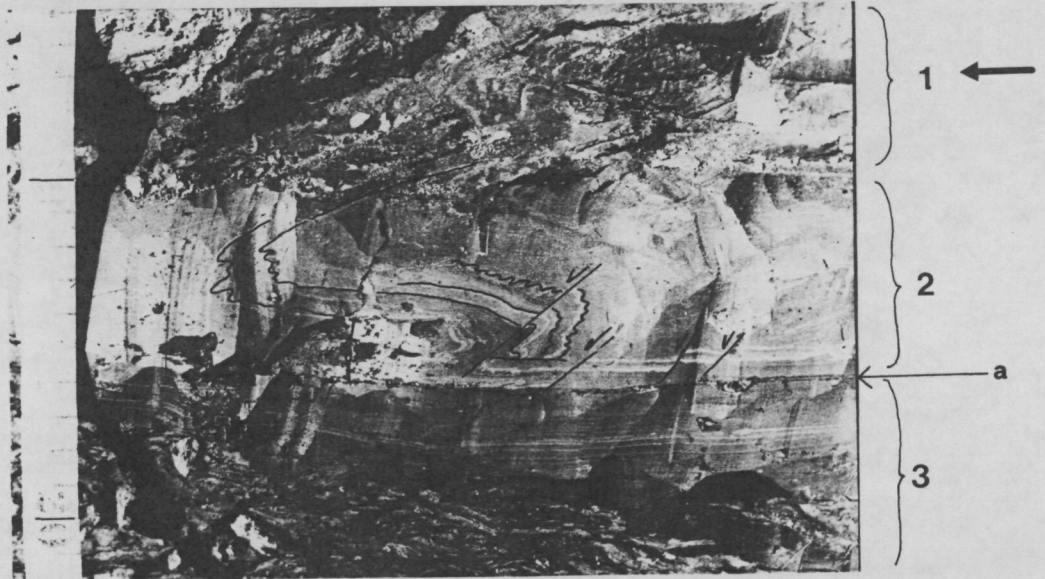
- 1- Till sub-glacial (la fletxa indica el sentit d'avenç de la glacera).
- 2- Nivell lacustre amb laminació deformatada en una primera fase i fallada posteriorment. La vergència dels plecs indica que no s'han produït per deformació glaci-tectònica, sinó per esllavissament d'un paquet sedimentari lacustre. Les petites falles normals indiquen un escursament vertical produït durant la deposició del till superior.
 - a) Nivell de desenganxament entre 2 i 3.
- 3- Nivell lacustre amb laminació horitzontal.

FOTO 48 - Tram de la secció I del perfil de Llestui, amb nivells de sorres (foscs) i de lutites (clars), afectats per falles normals conjugades.

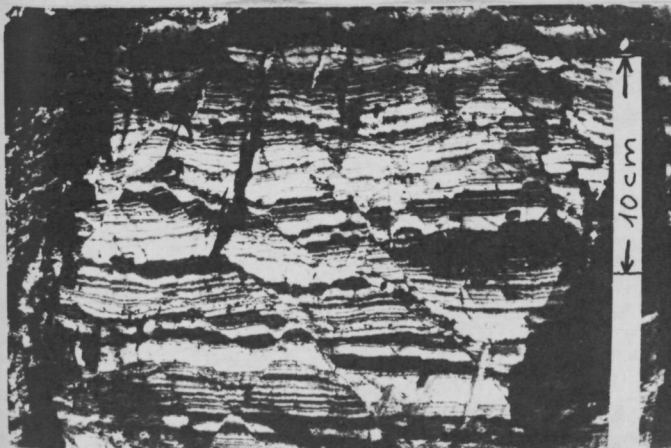
FOTO 49 - "Micro-slump" en les lutites lacustres laminades de la secció I del perfil de Llestui.



46



47



48



49

trics) correspondria a una periodicitat deposicional anyal, encara que en absència de les datacions absolutes i de les dades pol.líniques resulta aventurat assegurar-ho. En tot cas la fàcies Fins és indicativa d'una deposició en aigües tranquiles.

Es però en aquests nivells de lutites on trobem representades les principals estructures sedimentàries d'aquest ambient lacustre. Es freqüent trobar-hi "drop-stones" provinents de la superfície glaçada del llac, o de còdols esllavissats de la morrena que fa el barratge, o també de la fusió de possibles "ice-bergs" de la glacera que contenen material morrènic. Les estructures de sobrecàrrega són també abundants: laminacions deformades en lutites a sota de nivells de graves o de diamictites; injeccions pelítiques i pseudonòduls d'argila en els nivells sorrencs suprajacents. Hi ha un altre tipus d'estructures que presenten una geometria de làmines deformades però en aquest cas no és per motius de sobrecàrrega. A la secció I del perfil podem observar un nivell de sediments fins rítmics replegat que interpreto com un petit "Slump". La geometria de l'estructura marca un sentit de l'aport de Nord a Sud i presuposa l'existència d'un pendent perquè es produeixi l'esllavissada que correspondria al talús deltaic. Un altre tipus d'estructures que també atribueixo al mateix micro-ambient deposicional de peu de talús deltaic, són una sèrie de plecs clarament vergents cap al Sud que afecten a nivells de lutites i sorres fines laminades que trobem a les seccions I, II i IV (Foto47). Aquests plecs de radi centimètric a decimètric es troben entre dos nivells que conserven perfectament la laminació horitzontal, la qual cosa fa pensar que en certa manera el tram plegat ha actuat com a nivell de lliscament del tram superior respecte a l'inferior. Possiblement algun tipus de moviment relacionat amb la inestabilitat del medi glàcio-lacustre provoca relliscaments de paquets de sediment que es troba en zones amb un cert pendent com ara el talús del front deltaic. Cal descartar la influència de la glàcio-tectònica en la gènesi d'aquests nivells plegats, ja que això seria contradictori

amb el sentit de vergència. També s'observen altres tipus d'estructures, com ara basculaments locals del paquet sedimentari presentant una inclinació cap al centre de la cubeta. Potser cal destacar els dos trams que es troben afectats per falles normals a les seccions I i II del perfil. Més amunt han estat relacionades amb una compressió vertical produïda per una progradació eventual de la glacera en el llac, ja que el tram suprajacent ha estat interpretat com un "flowtill" subglacial. En el nivell fallat de la secció II, les fractures afecten a plecs sinsedimentaris descrits també en aquest apartat (Fig.VIII).

c) Els dipòsits flúvio-torrencials

Aquests sediments estan constituïts per llits de graves poc rodades i amb blocs a les parts proximals, amb alguna passada de geometria lenticular, més abundant a les parts distals, on la potència estimada del dipòsit és de 35 m. Els llits de graves tenen un cabussament d'uns 5° SSW. Observant la morfologia es veu que es tracta de dos cons de dejecció coalescents, el del barranc del Clot i el del barranc de Malmarrui (Foto 37). En el tall que aflora a la zona de transició entre el con i el llac es pot observar una sèrie grano-creixent de 20 m que passa de lutites grises laminades a la base, a sorres amb "ripples" alternant amb nivell de lutites i de graves, on s'observen deformacions per sobrecàrrega i nivells de "clay drapes". Es tracta doncs d'un dipòsit de con de dejecció que prograda dintre de la cubeta lacustre, actuant durant la vida del llac com un con-delta, i posteriorment al rebliment del llac, recobrint tot el paquet lacustre i recolzant-se amb la morrena lateral de la glacera que actuava com a nivell de base local.

Discussió sobre el model glàcio-lacustre de Llestui

El llac de Llestui es produí per obturació d'una

petita conca flúvio-torrencial, per part de la glacera de Llauset. Els diferents tipus de sediments i concretament les característiques deposicionals de les litofàcies lacustres comentades en l'apartat anterior, ens configuren un ambient sedimentari glàcio-lacustre molt inestable. Inestabilitat que ve marcada per nombrosos i sobtats canvis en la sedimentació. Aquests canvis venen condicionats per una banda per la glacera activa que eventualment prograda a l'interior de la cubeta (deposició de "flow till" sub-glacial); també hi ha esllavissaments subaquàtics del till supra-glacial ("flow till" supra-glacial); aquests petits avenços i retrocessos de la glacera respecte al llac poden condicionar també basculaments en el paquet sedimentari i també poden provocar variacions en el nivell de les aigües. Per altra banda, aquests canvis veuen condicionats per avingudes sobtades, amb aport de sediments grollers, produïdes en la conca fluvio-torrencial. En tot cas, tot indica una interrupció i alteració, repetida al llarg de la vida del llac, de la sedimentació normal glàcio-lacustre representada per la decantació de ritmites de sorres fines i lutites grises.

És molt interessant estudiar la relació entre les lutites lacustres i la matriu del till basal de Llestui que constitueix la unitat inferior de l'acumulació glacial que origina el barratge i que ha estat descrita anteriorment. Com s'ha dit aquest till té molta matriu lutítica, sobretot en la seva part superior. S'han recollit mostres d'aquesta matriu i de les lutites lacustres i s'ha comparat la micro-textura i la composició mineralògica (fotos).

Determinació mineralògica de les lutites lacustres de Llestui

Diagrama segons agregat orientat

<u>2θ</u>	<u>d</u>	<u>composició</u>
6.05	14.6	Clorita
8.6	10.26	Illita
12.3	7.18	Clorita
17.5	5.06	Illita
18.6	4.764	Clorita
26.5	3.359	Quars
28.9	3.085	Calcita

Determinació mineralògica de la matriu del till basal de Llestui.

Diagrama segons agregat orientat

<u>2θ</u>	<u>d</u>	<u>composició</u>
5.9	14.9	Clorita
8.405	10.50	Illita
12.1	7.30	Clorita
17.35	7.10	Illita
18.45	4.80	Clorita
24.8	3.585	Illita
26.3	3.384	Quars
29.05	3.070	Quars

Tant la microtextura argilosa fotografiada amb el microscop electrònic de rastreig com els minerals principalment argilosos d'ambdós sediments, ens marquen una similitut extraordinària. Crec que es pot concloure la comparança dient que hi ha una relació directa entre la formació del till argilós basal i el sediment lacustre que és reprès per la glacera per constituir el seu propi sediment. Un exemple similar és el del "mud till" definit per SCHLÜCHTER, Ch. (1977) als Alps Suïssos on estableix una relació directa entre el "mud till" i les argiles lacustres, les quals són incorporades per la glacera formant un till basal.

4.1.3. A TALL DE RESUM I CONCLUSIONS: LA GLACERA DE LLAUSET.

La instal·lació d'aparells glacials durant el quaternari a la vall de Llauset resulta evident (Fig.23-). Es tractava sens dubte d'una glacera de vall, la llengua de la qual conflua amb la de la Noguera Ribagorçana durant la fase de màxim glacial. El llindar de Llauset, davant el qual s'havia de formar una espectacular cascada de "séracs", ens separaria l'àrea d'acumulació, d'uns 9 km², de la d'ablació. El sector de Vallhiverna - Botornàs actuaria com un conjunt unitari de circs glacials esgraonats, on es produiria la màxima acumulació de glaç. Tal com s'indica en l'esquema interpretatiu, la llengua de la glacera de Llauset produiria dues obturacions de petites conques no glacials; una a l'indret de Menada i l'altra al de Llestui. Cal suposar un gruix de glaç considerable, des de 250 m. a la Pleta dels Bous, anava augmentant fins a atènyer els 500 m a les proximitats de Bono on conflua amb la glacera de la Ribagorçana.

Referent a l'existència de possibles glaciacions diferenciades així com la seva cronologia, cal dir que en funció de totes les observacions realitzades i exposades en aquest text, tots els dipòsits i formes relacionables

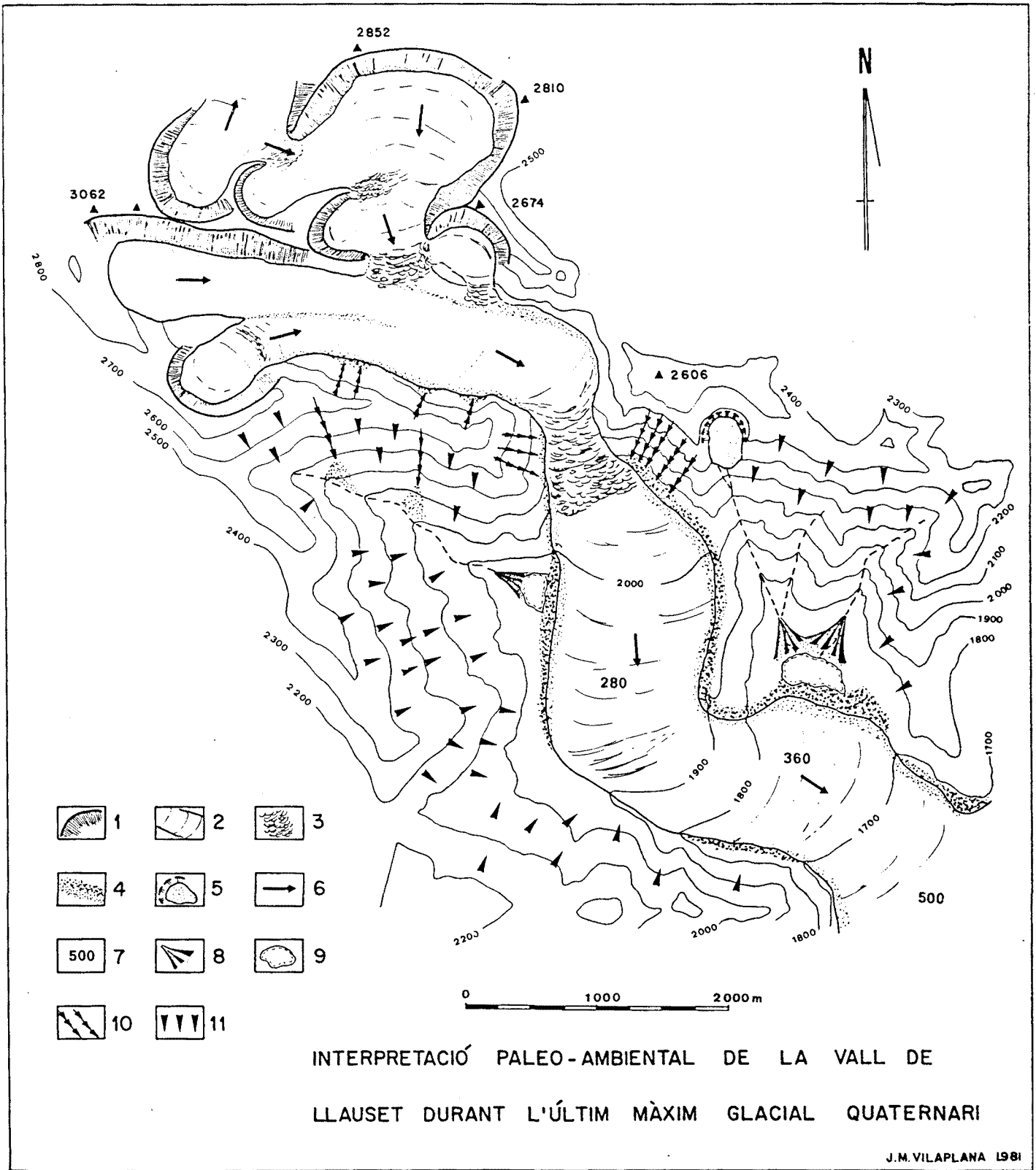


FIG.23 - 1. Paret de circ glacial; 2. glacera; 3. séracs; 4. arrosse-galls glacials; 5. nínxol de nivació amb congesta permanent; 6. flux glacial; 7. gruix en metres de la glacera; 8. con de dejecció; 9. llac; 10. canals d'allaus; 11. vessant amb gelifluxió generalitzada.

amb una gènesi glacial són atribuïbles a la darrera glaciació quaternària. La no existència de sòls interestratificats en els diferents sediments, així com la manca d'una alteració important generalitzada i el bon estat de conservació de les formes glacigèniques ho corroboren. Tot això no exclou la diferenciació de diverses fases dintre d'aquesta important glaciació del Pleistocè superior.

Fases de la darrera glaciació enregistrades a la Vall de Llauset.

- Fase I. És la més antiga i correspon a la màxima extensió del glaç. Hi ha connexió entre les glaceres de Llauset i de la Ribagorçana. Es produeix l'excauació de la cubeta de Llauset i comencen les obturacions juxta-glacials.
- Fase II. Petit retrocés seguit d'un perllongat període d'estabilització de la glacera que malgrat tot mostra petites oscil·lacions, enregistrades en l'ambient glàcio-lacustre de Llestui.
- Fase III. Aquesta fase té dues interpretacions possibles, només solucionables quan hom disposi de les dades absolutes del perfil de Llestui.

1ª interpretació: Retrocés de la glacera de Llauset aigües amunt del llac (abans de 20.930 ± 310 B.P.).

Final de l'obturació de Llestui.

2ª interpretació: Retrocés de la glacera de Llauset com en el primer cas, però l'obturació de l'ambient glàcio-lacustre segueix funcionant a causa de la penetració de la gran llengua glacial de la glacera de la Ribagorçana.

Fase IV. Final de la glaciació, retirada de totes les glaceres. Segueix la sedimentació del fang negre al llac de Llauset, i hi ha incisió dels torrents en els dipòsits de Llestui en funció del nou nivell de base local.

Aquestes conclusions sectorials a les quals hom arriba referent a les glaciacions quaternàries, en cap cas s'han d'interpretar com una hipòtesi monoglaciària. El fet de no trobar indicis de glaciacions anteriors a la vall de Llauset no les exclou de cap manera, sinó que ens aporta més arguments a favor d'interpretar aquest últim màxim glacial com una fase de gran extensió, amb formació de gransaparells glacials que retreballaren qualsevol resta de glaciacions anteriors.