

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

ARXIU DE LA SECCIÓ DE CIÈNCIES, LXXII

JOAN MANUEL VILAPLANA

Del Departament de Geomorfologia i Tectònica
de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona,
i de la Institució Catalana d'Història Natural

ESTUDI DEL GLACIALISME DE
LES VALLS DE LA VALIRA
D'ORDINO I D'ARINSAL
(ANDORRA)

PREMI ANTONI FITER I ROSSELL, 1982

BARCELONA

1984

**ESTUDI DEL GLACIALISME DE LES VALLS DE LA
VALIRA D'ORDINO I D'ARINSAL (ANDORRA)**

This One



FZ89-U1N-1CHB

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

ARXIU DE LA SECCIÓ DE CIÈNCIES, LXXII

JOAN MANUEL VILAPLANA

Del Departament de Geomorfologia i Tectònica
de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona,
i de la Institució Catalana d'Història Natural

ESTUDI DEL GLACIALISME DE
LES VALLS DE LA VALIRA
D'ORDINO I D'ARINSAL
(ANDORRA)

PREMI ANTONI FITER I ROSSELL, 1982

BARCELONA

1984

ISBN: 84-7283-053-5
Dipòsit legal: B. 23.718 - 1984

© Joan Manuel Vilaplana
La present edició és propietat de l'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

A proposta d'una ponència formada pels senyors Lluís Solé i Sabarís, membre de la Secció de Ciències de l'INSTITUT, Oriol Riba i Arderiu, agregat a la Secció de Ciències de l'INSTITUT, Josep M. Fontboté i Mussolas, de la Institució Catalana d'Història Natural, Lluís Puig i Farriol, per l'Acadèmia de Jurisprudència i Legislació de Barcelona, i Salvador Llobet i Reverter, per la Societat Catalana de Geografia, l'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, en sessió plenària tinguda el dia 2 de juliol de 1982, acordà per unanimitat de concedir el VIè. premi Antoni Fiter i Rossell al senyor Joan Manuel Vilaplana pel seu treball *"Estudi del glacialisme de les valls de la Valira d'Ordino i d'Arinsal (Andorra)"*.

En sessió plenària del 21 de gener de 1983, l'INSTITUT prengué l'acord de publicar la dita obra, la qual és editada a cura del senyor Oriol Riba i Arderiu.

A LA MERCE

*Aquestes muntanyes
que tan altes són
me'n priven de veure
mes amors on són.*

(D'una cançó popular recollida per Joan Amades)

Abans d'iniciar aquesta memòria vull fer constar el meu agraïment a En David Serrat i Congost, que en tot moment m'ha donat un ajut i una col·laboració que han estat imprescindibles per a dur a terme aquest treball. També voldria expressar la meua gratitud a tots aquells que d'alguna manera han participat en la realització del present estudi, el qual fou presentat com a tesi de Llicenciatura a la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona, l'any 1979.

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Objectius de l'estudi

L'objecte principal d'aquest treball és l'estudi del glacialisme quaternari en una àrea molt ben delimitada al vessant meridional del Pirineu Oriental, concretament a les Valls d'Andorra.

És un treball enquadrat dins una línia d'estudi del Pirineu i, en concret, de la seva morfologia glacial i periglacial, que és portat a terme tant al Centre d'Estudis Pirinencs de Jaca, per Carles MARTÍ BONO, com a la Universitat de Barcelona. En aquest darrer Centre, cal destacar les tasques del Departament de Geografia per part d'Antonio GÓMEZ, Josepa BRU, Joan MARTÍ, Ferran SALVADOR, Josep VENTURA i David SERRAT, els quals es troben estretament relacionats amb els treballs realitzats al Departament de Geomorfologia i Tectònica, del qual és col·laborador i professor el Dr. SERRAT.

La nostra intenció en la realització d'aquest treball és de poder reconstruir la història glaciològica quaternària de l'àrea estudiada, tot centrant el pes de la interpretació paleogeogràfica en l'estudi dels sediments glacials.

1.2 Mètode de treball

Primerament, hom ha fet l'anàlisi de la bibliografia existent. D'una banda, tenint en compte totes aquelles obres que ens han proporcionat una informació temàtica sobre el glacialisme. S'utilitzen tant els manuals publicats sobre el tema en qüestió com aquelles publicacions que estudien exemples concrets de la problemàtica glacial, glàcio-fluvial i glàcio-lacustre.

També s'han estudiat els antecedents bibliogràfics que tracten, de forma general o concreta, el tema glacial a les Valls d'Andorra.

Hem fet un reconeixement de camp per precisar la zona a estudiar. En successives campanyes estudiem la litologia i la geomorfologia de l'àrea triada, donant principal importància a les formes d'origen glacial.

Hem seleccionat els millors afloraments de dipòsits glacials, glàcio-fluvials i glàcio-lacustres, i aquests són estudiats detalladament. Sobretot a la zona de La Massana-Ordino, on hem intentat la confecció d'un mapa de fàcies ambientals.

Simultàniament, hom ha fet una fotointerpretació geomorfològica de totes les Valls d'Andorra, analitzant-ne més especialment les formes glacials que han estat representades en el mapa de la morfologia glacial.

En la llegenda d'aquest mapa hom ha usat com a guia de referència l'emprada en la "Carte Géomorphologique de la France", escala 1:50.000, elaborada pels professors JOLLY i TRICART.

1.3 Situació geogràfica i geològica de la zona estudiada

Per bé que la cartografia de la geomorfologia glacial compregui totes les Valls d'Andorra, l'estudi està centrat en la part més occidental

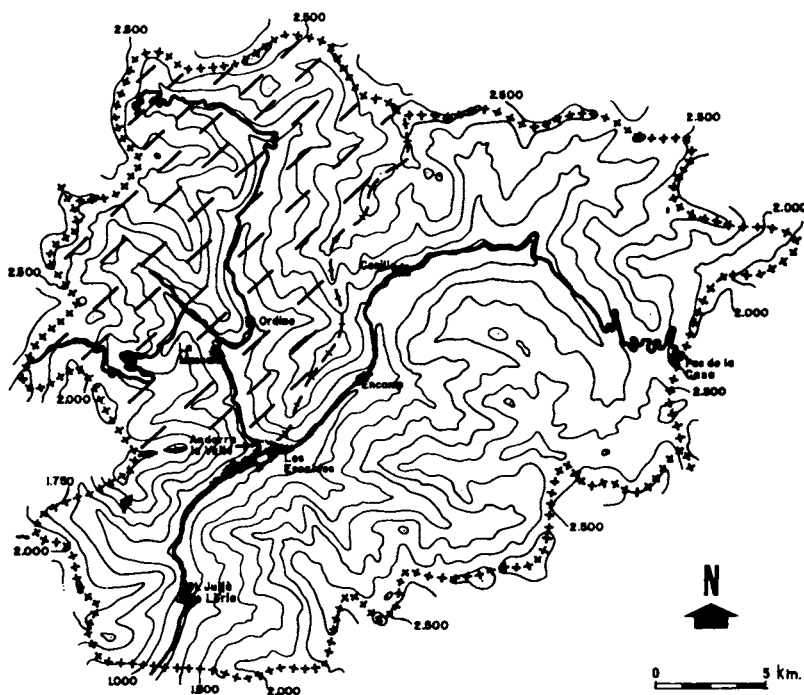
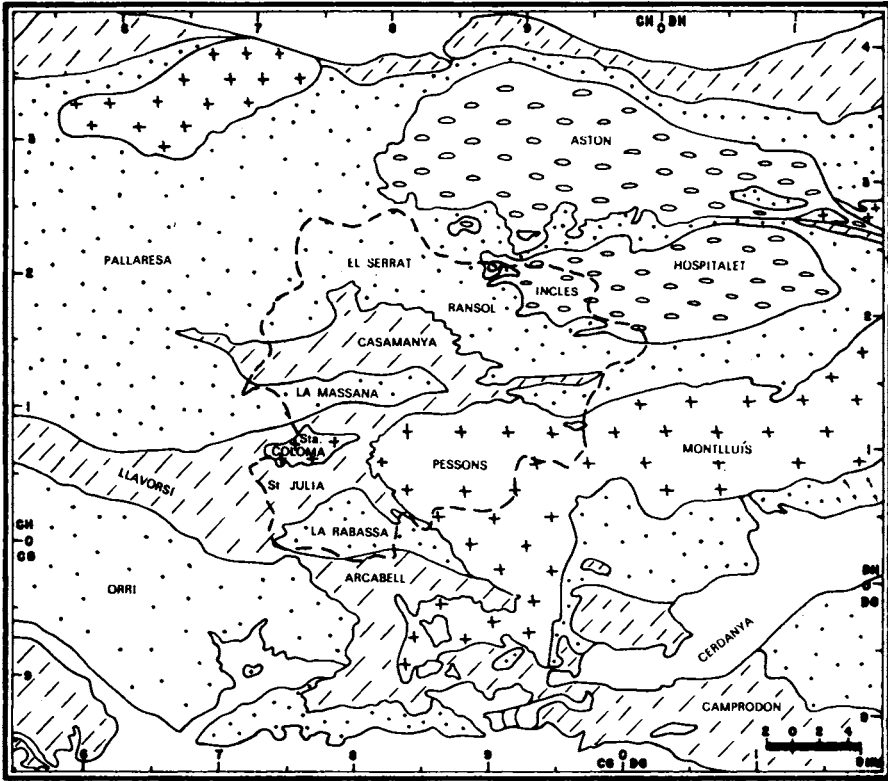


Fig. 1. Esquema de situació de l'àrea estudiada: les valls d'Ordino i d'Arinsal són indicades amb trama de ratlles; la conca de la Valira d'Orient resta en blanc.



-  Sediments posthercynians
-  Intrusions tardihercynianes (granodiorites)
-  Materials silurians, devonians i carbonífers (zones sinclinals)
-  Materials cambro-ordovicians (zones anticlinals)
-  Gneis
-  Límit del Principat d'Andorra

Fig. 2. Esquema geològic regional (Segons HARTEVELT 1970)

del Principat, concretament a les Valls d'Ordino i d'Arinsal. Aquestes valls, d'una orientació conseqüent Nord-Sud, drenen dues conques hidrogràfiques de dimensions desiguals, i conflueixen finalment en una àrea d'eixamplament que anomenem cubeta de La Massana. L'aiguabarreig del riu d'Arinsal i de la Valira d'Ordino rep el nom de Valira del Nord i, després de travessar l'estret de Sant Antoni, desemboca a la Valira d'Orient entre les poblacions de Les Escaldes i Andorra la Vella.

Les valls estudiades tenen com a relleus dominants: a l'Oest el Masís de la Coma Pedrosa amb l'altura màxima d'Andorra (2.942 m); al Nord i amb una disposició Oest-Est s'alinea la carena que fa frontera amb França, on destaquen el Pic de Tristaina (2.878 m), el Pic de Font Blanca (2.903 m), el Pic del Port de Siguer (2.638 m) i el Pic de la Serrera (2.913 m); a la part oriental de la zona estudiada, tenim com a altures més significatives el Pic de l'Estanyó (2.915 m) i el Pic de Casamanya (2.740 m).

L'àrea esmentada es troba situada dins la Zona Axial Pirinenca. Els materials geològics són principalment roques que tenen edats compreses entre el Cambro-Ordovicià i el Carbonífer. Tots aquests materials han estat fortament afectats per les orogènies Herciniana i Alpina. Cal remarcar que en alguns indrets es troben coberts per dipòsits més moderns, d'edat quaternària, principalment d'origen glacial.

En un proper capítol hom tractarà amb més de detall les característiques geològiques de tota l'àrea estudiada. També serà dedicat un apartat a l'estudi i la interpretació dels sediments glacials quaternaris que constituirà, com ja hem dit anteriorment, l'objectiu central del present treball.

1.4 Antecedents històrics

Des de mitjan segle passat hom comença a estudiar el glacialisme pirinenc. Podem dir que hi ha una gran quantitat de bibliografia sobre aquest tema, la qual ja ha estat analitzada detalladament per D. SERRAT (1973). Nosaltres ens referirem en aquest capítol a totes aquelles obres que han tractat d'una forma àmplia o concreta el problema del glacialisme a les Valls d'Andorra.

Si ordenem els treballs existents de forma cronològica, veurem com els més antics corresponen a àmplies monografies sobre el Pirineu. A mesura que ens apropem al nostre temps, les publicacions van tractant aspectes molt més puntuals i concrets. És per això que, per comentar les obres que creiem més importants, les agruparem dins els següents apartats:

- Antecedents fins a CHEVALIER.
- De CHEVALIER a l'INQUA de 1957 i l'escola de Toulouse.
- Treballs actuals.

1.4.1. *Antecedents fins a CHEVALIER*

L'obra de J. de CHARPENTIER (1841) titulada “Essai sur les anciens glaciers” fa referència per primera vegada a l'existència d'antigues glaceres al Pirineu. Diversos autors treballaren, durant els anys següents, sobre el glacialisme pirinenc, bé que amb molta més insistència al vessant N que no al S; cal destacar Max BRAUN (1843), Ch. MARTINS i E. COLLOMB (1854), ZIQUEL (1867), PIETTE (1874).

El 1883 apareix la primera gran obra sobre el tema, “Die Eiszeit in der Pyrenäen”, de la qual és autor Albrecht PENCK. Aporta noves dades sobre el sector occidental del Pirineu. Fa una síntesi de les publicacions que tracten el glacialisme al Pirineu Oriental. Compara l'extensió dels gels glacials pirinencs amb la dels Alps, i fa la primera aportació sobre la cronologia glacial del Quaternari al Pirineu, on, a partir de tres terrasses, hi atribueix tres glaciacions. Concretament a les Valls d'Andorra cita per primera vegada la morrena terminal del Pont de la Margineda a Sta. Coloma.

L'any 1885 S. THOS i CODINA publica el primer treball dedicat exclusivament a Andorra, bé que tracta primordialment els trets litològics del Principat.

Ja entrat el segle XX, trobem tota la sèrie de treballs duts a terme per Marcel CHEVALIER (1906, 1907, 1908, 1924, 1925, 1926, 1933). En els estudis més generals aquest autor analitza la geomorfologia i el Quaternari del Pirineu Oriental i Central. En els altres treballs tracta exclusivament la geomorfologia d'Andorra amb especial insistència en els aspectes glacials. En el treball publicat el 1924, “Contribution à l'étude des Pyrénées, Note sur les terrains Néogènes des Vallées du Valira”, després de parlar dels terrenys terciaris de la cubeta de la Seu d'Urgell, CHEVALIER fa referència als dipòsits quaternaris d'Andorra, tot reconstruint la història geològica d'aquest període. Tota aquesta informació ens ve complementada en un treball posterior, “Andorra” (1925). Consta de tres parts, la primera és el comentari del mapa topogràfic d'Andorra a escala 1:50.000, del mateix autor. Una altra part tracta de l'orografia i la hidrologia del Principat, i una tercera part correspon a un estudi geològic on Marcel CHEVALIER analitza l'estratigrafia i la tectònica de les Valls. Té un interès especial per a nosaltres l'apartat dedicat als dipòsits quaternaris on exposa els fets següents:

Estableix tres glaciacions per a les Valls d'Andorra. Una primera

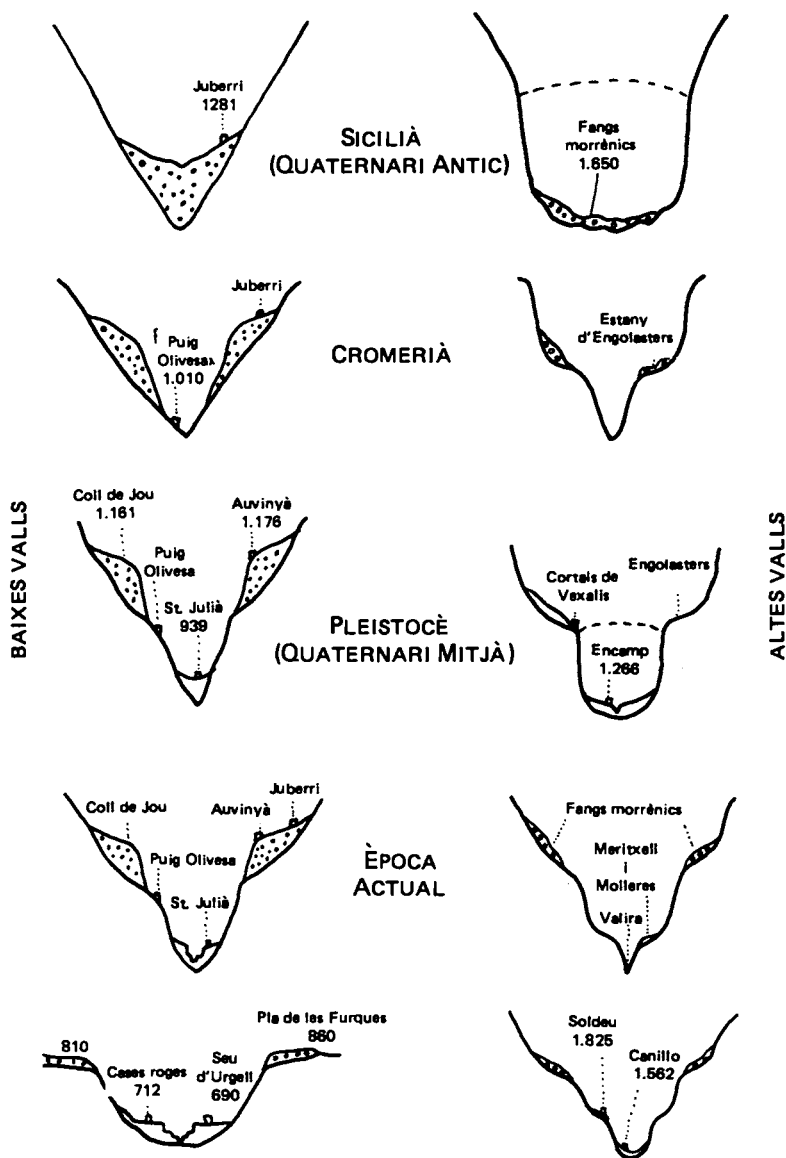


Fig. 3. Perfils transversals esquemàtics de les valls de la Valira: ens mostren la disseció de les valls i els dipòsits al·luvials successius des del final de l'Era Terciària fins als nostres dies (els dipòsits sicilians s'indiquen amb puntejat). MARCEL CHEVALIER (1925).

glaciació a la qual atribueix una edat siciliana i a la qual corresponen els dipòsits fangosos de color blavós situats a la Mosquera (Encamp). Devia haver estat un període de clima humit i fred.

Posteriorment fou seguit per una època de sequedat on degué tenir lloc la dissecció fluvial de les valls. El nivell de base dels rius devia descendir uns 100 m. Situa aquest moment al principi del Pleistocè. CHEVALIER parla seguidament d'una segona glaciació que atribueix al Riss. Seria l'època del màxim glacial: a l'indret de Les Escaldes hi conflueixen quatre glaceres, les de Pessons, La Massana, El Madriu i Perafita. Calcula uns 400-500 m de gruix de glaç. Els dipòsits d'Engolasters correspondrien a una resta de la morrena lateral d'aquesta glacera rissiana, i la morrena frontal d'aquest màxim és la que trobem actualment a Santa Coloma. No troba morrenes de recessió, la qual cosa li fa suposar un retrocés ràpid.

A continuació ens parla d'un interglacial de clima càlid i suau, on el riu Valira devia excavar la terrassa anterior.

La tercera i última glaciació a les Valls d'Andorra, correspon, segons M. CHEVALIER, a un període fred i humit amb una temperatura mitjana anual de 3 a 4° C, inferior a l'actual. Opina que aquesta és una glaciació de poca importància que només afecta les parts altes del Principat, ja que els testimonis els troba per sobre dels 1.400 m. És la causa del modelat actual dels circs i de la deposició de petites morrenes frontals i de morrenes laterals molt elevades.

1.4.2 Antecedents des de M. CHEVALIER fins al Congrés de l'INQUA de 1957 i l'escola de Tolosa

Autors com DALLONI (1930), MARCET i RIBA (1930) i BOISSEVAIN (1934) també fan referència en llurs treballs al glacialisme d'Andorra. Un altre gran morfòleg que introdueix innovacions en el tema de la morfologia pirinenca és l'investigador Fritz NUSSBAUM. Les seves obres principals són "Die Seen der Pyrenäen" (1934) i "Orographische und Morphologische untersuchungen in der östlichen Pyrenäen" (1946). La primera correspon a una anàlisi exhaustiva de totes les conques lacustres del Pirineu, acompanyada d'un estudi de totes les valls glacials, comparant l'extensió de les glaceres d'ambdós vessants del Pirineu. La segona obra és un estudi geomorfològic detallat de totes les valls del Pirineu Oriental.

Altres autors, com BIROT (1937) en el sector meridional del Pirineu i GORON (1941) en el sector septentrional, tracten exhaustivament el tema del glacialisme, per bé que sense entrar en el detall del sector andorrà.

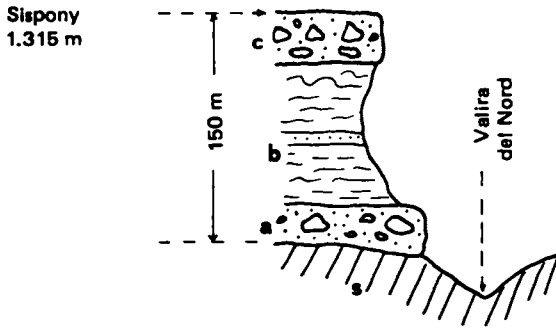
El 1947, SOLÉ SABARÍS i LLOPIS LLADÓ publiquen la memòria

del full geològic de Bellver on ens ofereixen un estudi dels dipòsits quaternaris de la Cerdanya així com del glacialisme de la regió. És aquest mateix any que hom publica l'obra del geògraf Salvador LLOBET titulada "El medio y la vida en Andorra". És la primera monografia andorrana que tracta tots els aspectes del Principat. En els primers capítols, dedicats al medi físic, l'autor ens parla de la geomorfologia de les Valls i ens concreta també aspectes del glacialisme. Recull les hipòtesis de CHEVALIER. Opina que durant el Würm la nivositat era superior a la del Riss. Fa esment dels dipòsits de la cubeta de La Massana tot dient que es tracta de: "... los sedimentos fluvio-glaciares de la antigua cubeta cerrada por el umbral de San Antonio, que ha sido recubierta posteriormente por una pequeña terraza fluvial y es probablemente contemporánea a la de Santa Coloma, que cubre los materiales glaciares." És la primera cita d'aquests dipòsits.

SOLE SABARÍS (1951) recull tota la informació existent sobre el Pirineu ampliant-la amb dades pròpies en una gran obra de síntesi titulada "Los Pirineos".

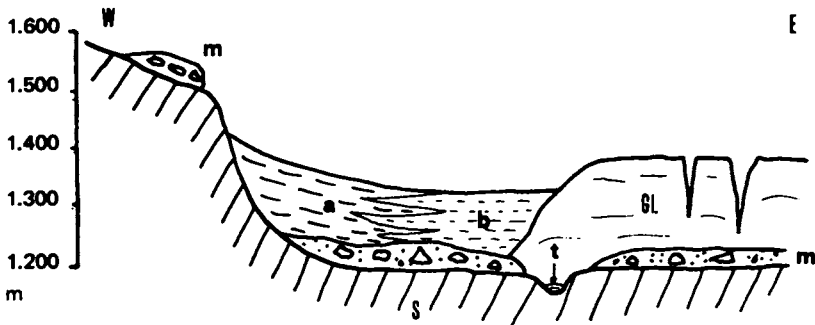
Amb el V Congrés de l'INQUA del 1957, hom dóna un fort impuls a l'estudi del Glacialisme pirinenc. Ens n'interessa especialment la comunicació presentada per ALIMEN, SOLÉ i VIRGILI on es comparen les formacions glacials dels vessants N i S del Pirineu. En aquest treball hom dóna, per primera vegada, una interpretació als sediments glacials de La Massana, atribuint-los a uns interstadials del Würm.

En el llibre guia de l'excursió "N.º 1 Pyrénées" els autors FONTBOTÉ, SOLÉ, ALIMEN, després de parlar de les generalitats del glacialisme a les Valls d'Andorra, també donen una descripció i una interpretació del complex de sediments que omplen la cubeta de La Massana. Com a introducció diuen que a la Vall d'Ordino són evidents la morfologia glacial així com l'existència de dipòsits del mateix origen fins més avall de Sispony. Calculen per a la glacera d'Ordino uns 11 km de longitud durant el Würm, moment en què no s'unia amb la de la Valira d'Orient. A la cubeta de La Massana parlen d'un complex de sediments de 150 m de potència, que fossilitzen un antic llindar rocós. A la Fig. 4 hom pot observar una secció interpretativa d'aquests dipòsits. A la part alta hi ha grans blocs de granit fresc i d'esquists que correspondrien a una morrena würmiana recent. A la part mitjana apareixen llims i sorres grises amb còdols angulosos d'origen local, ben estratificats i amb plecs de solifluxió. Lateralment, canvien a fangs grisos, torbosos, de tipus lacustre, que ocupen el centre de la cubeta. A la part baixa, descriuen una morrena de còdols frescos atribuïble al Würm I. Els autors interpreten la formació intramorrènica com uns dipòsits producte del rebliment d'un llac de vall originat a la zona terminal de la glacera i obturat pel llindar estructural de Sant Antoni.



a. Morrena del Würm I; b. Llims i sorres grisos amb còdols angulars d'origen local que passen lateralment a fangs grisos de tipus lacustre; c. Morrena del Würm II; s. Esquistes del Silurià.

Fig. 4. Interpretació dels sediments de la cubeta de La Massana segons FONTBOTÉ, SOLÉ, ALIMEN (1957)



a. Aportacions laterals; b. Argiles torboses lacustres (varves); m. Morrena; t. Torrent subglacial; GL. Glacera; S. Esquistes del Silurià.

Fig. 5. Esquema interpretatiu dels sediments de la cubeta de La Massana segons TAILLEFER (1957)

En aquesta mateixa guia també ens parlen de la morrena terminal de Santa Coloma, així com de l'origen del llac d'Engolasters i dels dipòsits morrènics que l'envolten, els quals atribueixen al Riss, basant-se en el grau d'alteració del granit.

F. TAILLEFER, com a resultat d'aquesta excursió, publica el mateix any una nota titulada "Glaciaire Pyrénéen: versant Sud et versant Nord", on tracta amb especial interès l'origen dels dipòsits de La Massana (Fig. 5), tot fent-hi algunes apreciacions noves. Al centre de la cubeta, sobre una morrena de blocs angulosos de granit i d'esquist no alterats, reposen llits de grava arrodonides i de sorra amb estratificació encreuada, alternant amb tres nivells d'argila torbosa, on es veuen alguns trams netament "varvats". A les vores de la cubeta, TAILLEFER parla d'unes alternances de llits llimosos amb llits de fragments angulosos d'esquists, que representen aportacions laterals davallades dels vessants.

F. TAILLEFER, com a màxim representant de la que anomenem "escola de Toulouse", ha continuat treballant sobre el glacialisme del Pirineu. En el VII Congrés de l'INQUA (1965), publicà una síntesi de la glaciació pleistocènica, la qual diferencia ben bé d'una fase posterior que anomena neoglacial.

El 1968, Lluís SOLÉ SABARÍS, en la gran obra titulada "Geografia de Catalunya", recull en un excel·lent resum les característiques primordials del glacialisme quaternari al Pirineu Català, així com les formes de modelat corresponents. Entre altres coses, posa ben de manifest els trets glacials de les Valls d'Andorra (glacera de la Valira, circ de Pessons, origen del llac d'Engolasters...).

Un any més tard hom celebra a París el VIII Congrés de l'INQUA, on F. TAILLEFER fa noves aportacions en el camp de la geomorfologia de la serralada pirinenca. Tracta les grans etapes morfogenètiques del Pirineu Oriental:

- Les altes superfícies terciàries.
- Els fets plio-vil·lafranquians.
- Els glacis d'erosió preglacials.
- La dissecció preglacial.
- Les glaciacions i llurs episodis.

Ens interessa especialment l'últim punt, on exposa les següents conclusions:

1. Un màxim glacial Rissia amb les següents característiques: nivell de neus permanents 2.000 m; fronts glacials a 1.200-1.600 m; arcs morrènics externs amb molta heterometria, rics de sorra i amb blocs alterats, que també se n'hi troben de frescos (interpreta una alteració anterior a la "mise en place" del dipòsit).

2. Nova fase glacial caracteritzada per cordons morrènics correspo-

nents a morrenes laterals, la qual cosa indica l'existència d'unes llengües glacials allargades. En algun cas, morrenes lobulars de peudemont. Alguna morrena interna clarament diferenciada de les externes.

3. Estadi de recessió que anomena neoglacial. Glaceres reduïdes als circs, amb morrenes on els arcs són ben modelats, formades per blocs sense matriu.

El 1971 el mateix autor escriu unes notes bibliogràfiques sobre "el relleu dels Pirineus Centrals franco-espanyols" inspirades en els treballs de M. Pierre BARRÈRE. És un treball morfològic molt interessant, on l'aspecte glaciològic coincideix perfectament amb els treballs anteriors.

1.4.3 Treballs actuals

Els membres de "l'escola de Toulouse" continuen llurs treballs sobre el Quaternari del Pirineu. Cal diferenciar actualment dues línies de treball: una, d'estudi del glacialisme pleistocènic, representada per HUBSCHMAN i JALUT, i una altra que té com a objecte l'estudi del periglacialisme i de la dinàmica actual, representada per SOUTADÉ.

Al sector Meridional de la Serralada, en Carles MARTÍ BONO porta a terme, des del Centre d'Estudis Pirinencs del CSIC, un important estudi geomorfològic de les altes valls de l'Aragó, on el tema glacial és el principal protagonista.

A la Universitat de Barcelona el treball en aquest camp és cada cop més important. En David SERRAT i CONGOST (1973, 1977), en l'estudi geomorfològic dels massissos del Puigmal-Costabona, on presenta, per primera vegada en el sector meridional, un estudi de l'evolució dels vessants, tracta també exhaustivament el glacialisme quaternari de la regió esmentada. En aquest treball SERRAT només troba dipòsits glacials atribuïbles a una última fase de màxim glacial. Posteriorment, i coincidint amb les idees de TAILLEFER, parla d'una fase tardiglacial (neoglacial segons l'altre autor) caracteritzada per l'existència de glaceres rocalloses.

Més a la vora del Principat d'Andorra, i concretament al sector septentrional de la Cerdanya, Antoni GÓMEZ estudia el periglacialisme i el glacialisme quaternaris.

Concretant més el tema a l'àmbit de les Valls d'Andorra, Joan BÉCAT (1978), per part del Centre de Perpinyà de l'Institut d'Estudis Andorrans, publica un mapa geomorfològic del sector Casamanya-Ensegur-Coma Obaga, a escala 1:15.000. Més recentment SERRAT i VILAPLANA (1979) han publicat un mapa geomorfològic a escala 1:50.000 de les Valls d'Andorra, amb el fons litològic a cura de Cai PUIGDEFÀBREGAS. Tot ell forma part d'un estudi interdisciplinari del patrimoni natural d'Andorra on els autors fan palesos els trets geolò-

gics i geomorfològics més notables del territori andorrà insistint especialment en la importància del fet glacial.

Posteriorment a la realització d'aquest estudi, D. SERRAT i J. M. VILAPLANA han continuat treballant el glacialisme quaternari de les Valls d'Andorra, i molt especialment en l'aspecte sedimentològic, que ha estat comparat amb d'altres punts del Pirineu. Vegeu les referències bibliogràfiques següents: VILAPLANA, J. M. i D. SERRAT (1979) i SERRAT, D., J. M. VILAPLANA i C. MARTÍ (1983).

2 CARACTERÍSTIQUES GEOLÒGIQUES DEL SUBSTRAT ANDORRÀ

El rocam de les Valls d'Andorra és compost per materials prehercians molt plegats i que formen part de la Zona Axial Pirinenca.

Al N de la zona estudiada hi ha el massís de l'Aston, constituït pels materials més antics (precambrians-cambrians) i fortament metamorfosats. A mesura que anem cap al Sud i entrem a les Valls d'Ordino i d'Arinsal veiem com decreix el grau de metamorfisme dels materials geològics, a la vegada que anem pujant en l'escala cronostratigràfica, fins a arribar als terrenys Carbonífers.

Al sector més meridional de l'àrea estudiada, concretament a la Serra de l'Enclar, ens aflora una part del gran batòlit granodiorític de Pessons.

2.1 Descripció dels materials de la zona

2.1.1 Materials del Precambrià-Cambrià

Els materials més antics són formats pels gneis que constitueixen el nucli del massís de l'Aston i que només afloren a la capçalera de la Vall d'Incles. Malgrat que no els trobem en la zona estudiada, a l'indret del Port de Siguer hi ha uns materials atribuïbles a la mateixa època, representats per migmatites i quarsodiorites.

2.1.2 Materials del Cambrià-Ordovicià molt metamorfosats

Els trobem al N de la zona estudiada, a Tristaina i a La Serrera. Estan representats per micasquists d'elevada duresa que els diferencien de la resta de les formacions esquistoses andorranes.

2.1.3 Materials del Cambrià-Ordovicià poc metamorfosats

En aquest apartat, cal que diferenciem diverses formacions i litològicament diferents, tal com esquists, quarsites i conglomerats. Ens afloren al sector de la Coma Pedrosa, el Serrat i del Pic de l'Estanyó, i més al S a l'indret de La Massana.

Els materials esquistosos són els més abundants. Es tracta d'una sèrie d'esquists amb bandes de color blau-gris fosc a negre, i també s'hi pot trobar algun nivell quarstític o calcari (Formació de Ransol, segons ZWART 1965) de poca importància cartogràfica en la zona estudiada.

La potència suposada a partir de l'extensió que ocupa aquesta formació a les regions veïnes (La Seu, l'Orri) és d'uns 2.000 m segons AUTRAN *et al* (1966).

Els membres quarstítics intercalats en aquesta formació esquistosa també tenen gran importància sobretot des del punt de vista morfològic. Aquestes quarzites es presenten en capes extenses, amb un gruix d'entre 10 i 20 m. Originàriament eren zones formades per quarzarenites i encara hi podem apreciar estructures internes tal com laminacions paral·leles i restes de "ripples".

Cal destacar la sèrie detrítica constituïda principalment pels conglomerats de la Rabassa i un membre superior gresós. Els conglomerats tenen una potència màxima de 100 m a La Rabassa. Estan formats per còdols de quars, de quarzita i d'esquist, englobats en una matriu argiloarenosa.

Al sector d'Ordino i Arinsal, aquests conglomerats afloren tal com es veu en el mapa geològic en nivells aïllats de poca continuïtat lateral dins la sèrie Cambro-ordovicià.

Aquests dipòsits detrítics sedimentats originàriament en un ambient de cons al·luvials poden fer pensar, segons han indicat LLOPIS (1965) i SANTANACH (1972), en una discordança regional important.

2.1.4 *Materials del Silurià*

Formats per esquists argilo-carbonosos de color negre. Contenen fòssils (graptòlits, trilòbits i crinoïdeus) i presenten algunes capes fines carbonatades. Són uns materials que han actuat de nivell lubricant davant els esforços tectònics i actualment veiem com faciliten els esllavissaments. Degut a llur natura argilosa, els afloraments silurians han estat sempre emprats com a zones de conreu.

2.1.5 *Materials del Devonian*

Constituïts per formacions eminentment carbonatades. Afloren com a nucli del sinclinal de Casamanya i més al S com a continuació del sinclinal d'Encamp.

Tal com ho indica el mapa geològic annex, en el sector de Casamanya les calcàries són massives, cosa que contrasta amb tota la resta dels terrenys devonians, constituïts per calcosquists i calcàries pissarrenques alternant amb esquists negres. La potència aproximada de la sèrie calcària seria d'uns 400-500 m.

2.1.6 *Materials del Carbonífer prehercinia*

Formats pels esquists micacis de color negre que estan en contacte amb els materials granítics al Pic d'Enclar. La carretera de La Massana, entre Engordany i Sant Antoni de la Grella, talla completament aquesta formació. Aquests esquists ben laminats tenen un cert grau de metamorfisme, explicable per la proximitat de la intrusió granítica.

2.1.7 *Materials d'origen intrusiu*

Com la majoria dels granits dels Pirineus, les masses intrusives de Pessons, Santa Coloma i Fontaneda tenen la composició mineralògica més aviat d'una granodiorita que no pas d'un granit típic. Les zones de contacte amb la cobertura sedimentària són verticalitzades i sovint fallades. A la zona estudiada, aquests materials tenen una importància relativa ja que només afloren localment a la zona més meridional.

Un altre tipus de formacions intrusives, menys importants per llur volum, són els dics. Són força abundants als massissos granodiorítics on es veuen encaixats en fractures de direcció preferent NW-SE. A la proximitat del batòlit trobem algun dic d'aplita que afecta la cobertura sedimentària i encaixa seguint els plans d'esquistositat de les pissarres silurianes.

Cal relacionar aquestes intrusions amb les fases tardanes de l'Orogènia Herciniana.

2.2. Estructura general

Totes les formacions litològiques descrites en l'apartat anterior han estat sotmeses a dos episodis tectònics principals, les Orogènies Herciniana i Alpina, degut a les quals han sofert deformacions i plegaments importants.

A petita escala, les deformacions es tradueixen en foliacions, esquistositats i altres tipus d'estructures menors.

A gran escala, l'estructura general de la zona estudiada va representada per una successió de plecs anticlinals i sinclinals d'ordre quilomètric. Tal com ho veiem a la Fig. 6, aquestes estructures tenen una direcció general E-W. El nucli dels anticlinals, que presenta una vergència al S molt marcada, correspon als materials esquistosos del Cambro-Ordovicià. Als sinclinals, hi trobem materials del Devonian o Carbonífer. Els materials pissarrencs i carbonosos, per llur natura summament plàstica, els trobem fortament plegats.

De N a S podem distingir una successió de grans plecs: anticlinal del Serrat, sinclinal de Casamanya, anticlinal de La Massana, i ja fora de l'àrea estudiada, el sinclinal de Sant Julià i l'anticlinal de la Rabassa.

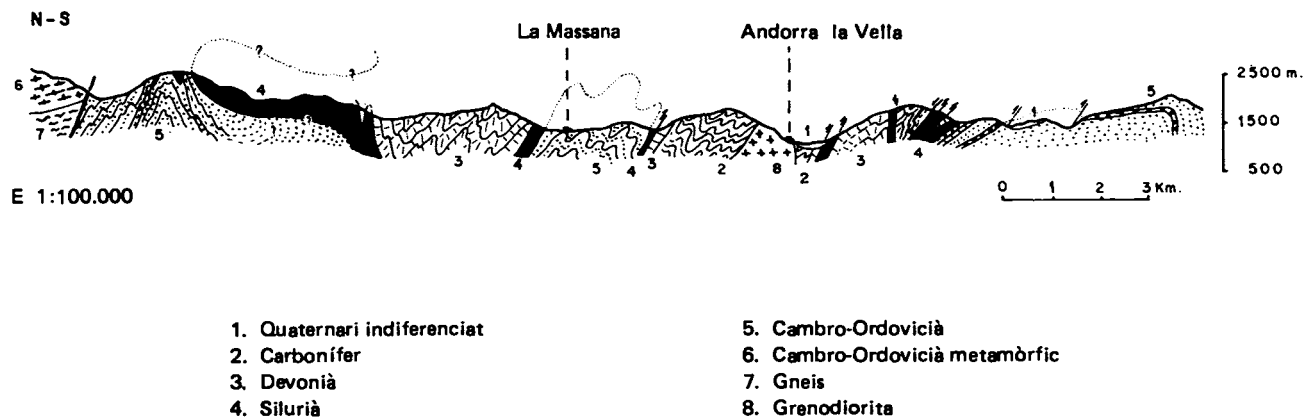
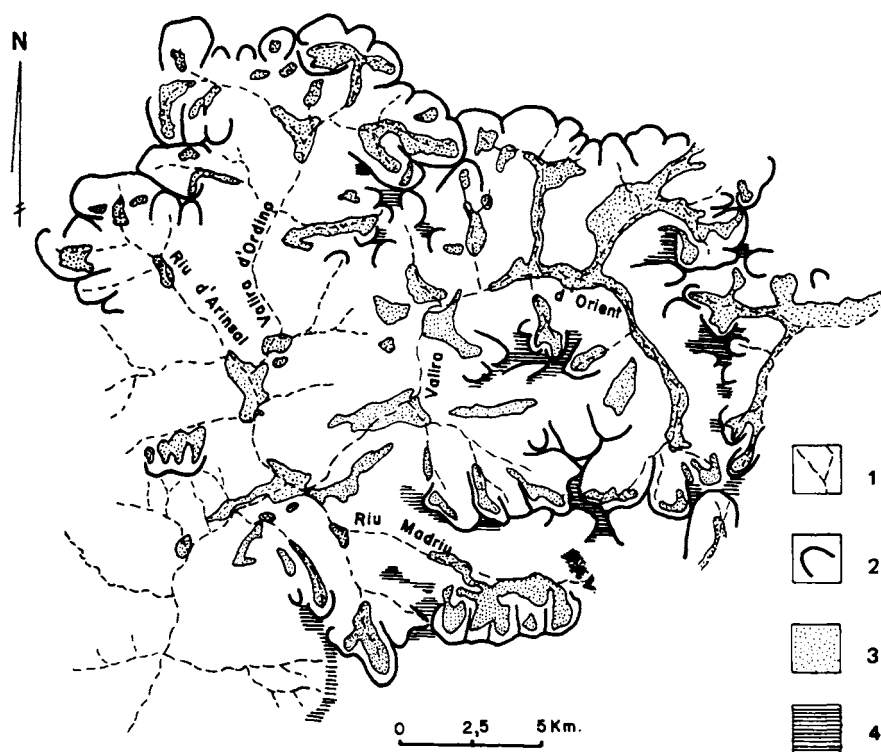


Fig. 6. Perfil geològic general de la zona estudiada, segons ZWART (1965)



1. Cursos fluvials
2. Circs glacials
3. Acumulacions de material glacial
4. Superfícies d'aplanament preglacials

Fig. 7. Principals trets geomorfològics de les valls d'Andorra

3 GEOMORFOLOGIA

En aquest capítol, voldríem fer referència, bé que d'una manera molt general, a les principals formes de modelat del relleu andorrà, insistent però, especialment, en el modelat glacial.

3.1 Formes d'origen glacial

3.1.1 Formes d'erosió

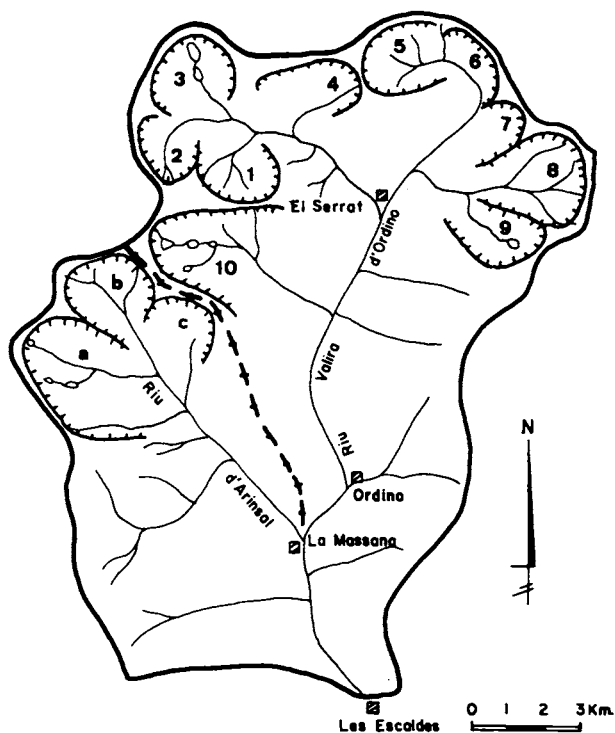
Les formes glacials, actualment totes heretades dels temps quaternaris, són les més nombroses i les més espectaculars, sobretot a les zones més elevades on l'activitat de les glaceres havia d'ésser més important.

3.1.1.1 Cirs glacials: L'erosió glacial té la nota més característica a les capçaleres de les valls, on es troben els típics amfiteatres anomenats circs que, naturalment, corresponen a les conques d'alimentació de les glaceres de vall quaternàries.

Hem cregut interessant de fer un quadre d'inventari dels principals circs glacials de la zona estudiada (Fig. 9). Hi hem anotat llurs característiques més importants, tot agrupant-los en dos grans grups: els que pertanyen a la conca de la Valira d'Ordino i els de la conca del riu d'Arinsal.

És interessant de remarcar la gran diferència de superfície entre les dues conques d'alimentació glacial, ja que això influïa en la dinàmica de les dues llengües glacials que conflueixen a la cubeta de La Massana.

3.1.1.2 Cubetes de sobreexcavació glacial: En els circs glacials més importants de la zona estudiada, hi trobem una sèrie de llacs que ocupen unes cubetes originades per fenòmens de sobreexcavació del glaç quaternari. Si observem el mapa de la morfologia glacial d'Andorra i comparem el nombre de cubetes de sobreexcavació existents en els diversos sectors andorrans, ens adonarem que la majoria d'aquestes formes es concentren en el sector granodiorític del S-E del Principat. S'hi han comptabilitzat més de setanta cubetes, la majoria ocupades per llacs i algunes de ja reblertes, formant aiguamolls o mulleres.



- Límit de la zona estudiada
 + + Divisòria de les dues conques hidrogràfiques

Sector de la Valira d'Ordino:

1. Arcalis; 2. Coma del Forat; 3. Tristaina; 4. Coma del Mig; 5. Rialb; 6. Siguer; 7. Cebollera; 8. La Serrera; 9. L'Estanyó. 10. L'Angonella.

Sector del riu d'Arinsal:

a. Coma Pedrosa; b. Pla de l'Estany; c. Momantell.

Fig. 8. Esquema de situació dels circs glacials més importants de la zona estudiada

SECTOR DE LA VALIRA D'ORDINO

Núm.	Nom del circ	Orientació	Litologia del substrat	Sobreexca- vació	Cota fons (m)	Cota cresta (m)	Extensió aprox. (km ²)
1	Arcalis	Nord	Esquists poc meta- mòrfics	No	2.280	2.600	2
2	Coma del Forat	Nord	Esquists poc meta- mòrfics	No	2.350	2.700	2,40
3	Tristaina	Sud	Micasquists molt metamòrfics	Sí 3 cubetes	2.300	2.700	3,04
4	Coma del Mig	Sud	Micasquists molt metamòrfics	Sí 3 cubetes	2.400	2.700	2,17
5	Rialb	Est	Micasquists molt metamòrfics	No	2.200	2.650	2,71
6	Siguer	Sud- Oest	Migmatites	Sí 2 cubetes	2.375	2.650	1,77
7	Cebollera	Oest	Contacte d'esquists amb micasquists molt metamòrfics	No	2.485	2.700	2,23
8	La Serrera	Oest	Micasquists molt metamòrfics	No	2.400	2.700	2,71
9	L'Estanyó	Nord- Oest	Esquists poc metamòrfics	Sí 2 cubetes	2.340	2.700	2,50
10	L'Angonella	Est	Esquists poc metamòrfics	Sí 6 cubetes	2.350	2.750	4,29

Superfície aprox. de la conca d'alimentació de la glacera de la Vall d'Ordino 25,82

SECTOR DEL RIU D'ARINSAL

Núm.	Nom del circ	Orientació	Litologia del substrat	Sobreexca- vació	Cota fons (m)	Cota cresta (m)	Extensió aprox. (km ²)
a	Coma Pedrosa	Est	Esquists poc metamòrfics	Sí 6 cubetes	2.260	2.800	3,92
b	Pla de l'Estany	Sud	Esquists poc metamòrfics	Sí 6 cubetes	2.600	2.850	3,71
c	Momantell	Sud	Esquists poc metamòrfics	Sí 1 cubeta	2.400	2.650	1,40

Superfície aprox. de la conca d'alimentació de la glacera de la Vall d'Arinsal 9,03

Fig. 9. Característiques dels principals circs glacials de la zona estudiada

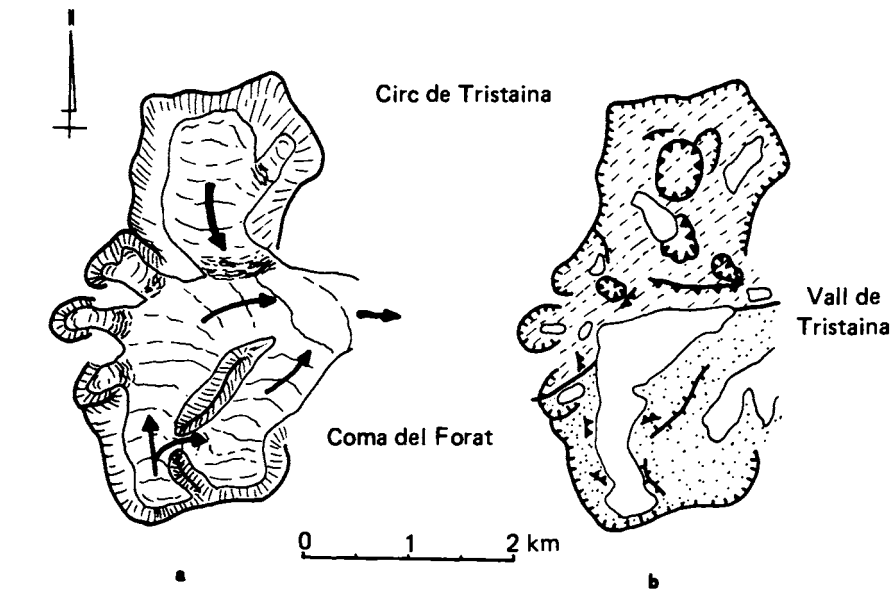


Foto 1. A primer terme la cubeta de sobreexcavació glacial de Tristaina (estany inferior) amb el llindar rocós corresponent. Al fons, el circ d'Arcalis. Compareu amb la Fig. 10.

A la zona d'Ordino i d'Arinsal només hi ha una vintena d'aquestes cubetes i en general de petites dimensions. La més important és la de l'Estany de Més Amunt de Tristaina (12,8 ha).

En el circ de Tristaina trobem tres cubetes esglaonades omplertes per tres estanys (el Primer, el del Mig i el de Més Amunt). En aquest circ es produí una sobreexcavació força interessant, on dos factors tingueren un paper important. D'una banda el llindar rocós de la boca del circ que correspon a un canvi de la litologia produït per la falla de Merens (es tracta d'una zona de milonitització que posa en contacte, dins la sèrie cambro-ordovicià, els materials altament metamòrfics amb aquells que pràcticament no ho són). I d'altra banda la influència de la llengua de glaç que circulava per la Coma del Forat cap a la vall de Tristaina i que amb més de 150 m de gruix barrava la sortida del glaç del circ de Tristaina (Fig. 10).

3.1.1.3 Valls glacials: Les típiques valls en U no són característiques de les Valls d'Andorra. Malgrat això en tenim alguns exemples molt clars: així és el cas de la mateixa vall de la Valira d'Orient a



Esquema a: els circs de Tristaina, de la Coma del Forat i d'Arcalis durant l'últim Màxim Glacial.



Esquema b: esquema geomorfològic del sector de Tristaina i la Coma del Forat.

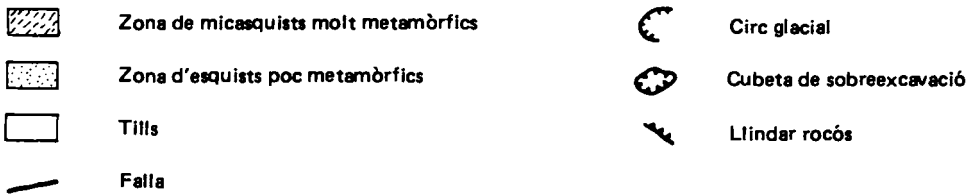


Fig. 10. El circ de Tristaina com a exemple de sobreexcavació glacial.

l'indret de Les Escaldes i Andorra la Vella. Igualment, trobem aquesta forma a les valls del Madriu, de Perafita i del Riguer, totes modelades sobre materials granodiorítics. És molt estrany trobar aquesta forma glacial a les valls de substrat esquistós, com és el cas de la zona estudiada. La ràpida regularització dels vessants en una litologia de menor duresa ens ha pogut fer desaparèixer, en la majoria dels casos, la verticalitat dels vessants a les valls d'Ordino i d'Arinsal. Malgrat aquest condicionant litològic, la forma de vall en U es troba estretament relacionada amb aquelles zones on es produí una màxima acumulació i alhora una prolongada estabilització de la glacera.

Tal com podem veure en els perfils longitudinals de les valls (Fig. 11), la inclinació del pendent és bastant uniforme. Només a les zones més altes de totes les valls de l'àrea estudiada, hom pot observar un esglaonament del perfil, degut a una sèrie de llindars rocosos provocats per nivells de quarsites interestratificades dins la sèrie Cambro-Ordovicià. Darrera aquests llindars no s'ha produït en cap cas una sobreexcavació del llit glacial.

Una altra forma lligada a l'excavació de les valls glacials són les valls penjades. A la capçalera de la Vall d'Arinsal en tenim un exemple a la Comallempa, a l'Oest d'Arinsal. A la part més meridional de la nostra zona, just abans de l'engorjat de St. Antoni, hi ha la vall del riu de Padern que ens queda penjada uns cent metres per sobre del llit actual de la Valira del Nord.

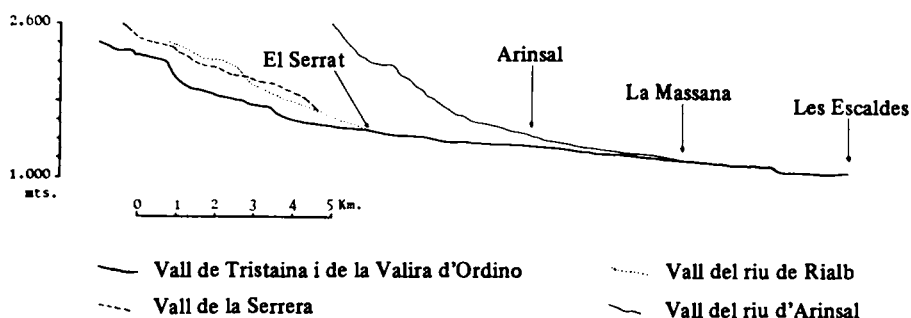
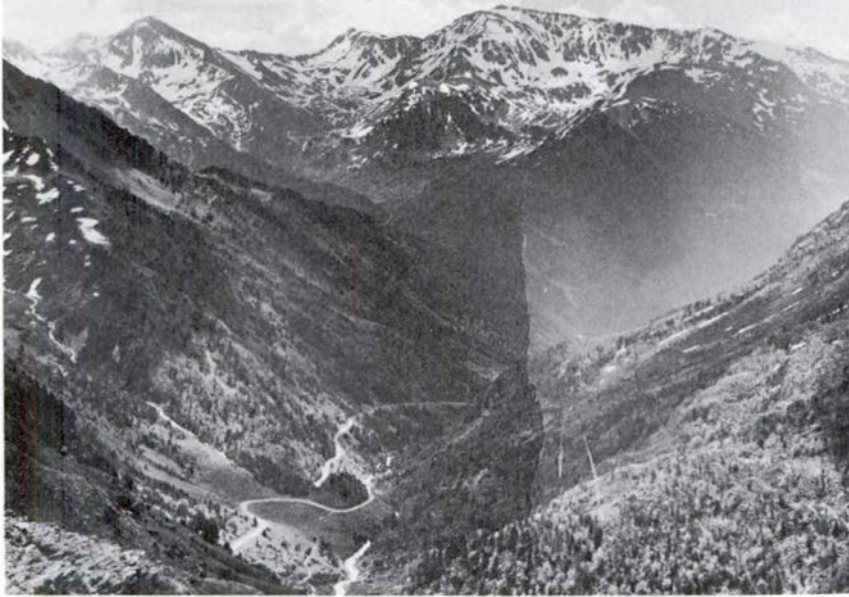


Fig. 11. Perfils longitudinals dels principals rius de la zona estudiada

Observeu les zones més planes de les capçaleres seguides d'una ruptura del pendent, que corresponen al nivell de fons de circs i als llindars rocosos respectivament. Tots ells són exponents clars d'un modelat glacial.



Fotos 2 i 3. A dalt la vall de Tristaina, capçalera de la Valira d'Ordino; al fons veiem els pics de La Serrera (dreta) i el de L'Estanyó (centre). La foto inferior correspon a la vall d'Arinsal.

3.1.1.4 *Colls de transfluència*: Hem localitzat dos colls de transfluència glacial en el sector estudiat. Al Nord de la zona, la Portella d'Arcalís posava en comunicació el glaç del circ de la Coma del Forat amb el del circ d'Arcalís. Molt més al Sud, un altre comunicaria la llengua de la glacera d'Ordino amb la d'Arinsal, tot just abans d'arribar a la Massana, a l'indret anomenat Collet dels Colls, situat a 120 metres per sobre d'ambdues valls; hom hi ha trobat algun bloc estriat, així com un petit aflorament de dipòsits glàcio-fluvials (vegeu la Fig. 13).

3.1.1.5 *Crestes i pics*: Totes les capçaleres dels grans circs, que coincideixen amb la línia fronterera, igualment com els que limiten la zona pel sector oriental, presenten un modelat típicament glacial en forma de crestes i pics.

3.1.1.6 *Micromodelat del llit glacial*: Les roques amoltonades i les superfícies polides són més extenses i abundants a les zones de circ, sobretot on el substrat és granític, i aquest no és el cas del sector estudiat. Malgrat això, en trobem alguns exemples força bonics tant a les àrees de fons de circ, com ara el cas de Tristaina, com a les zones de vall en indrets molt localitzats. Així ho veiem per exemple a les rodalies de les localitats d'Ordino i de la Massana tal com ho il·lustren les fotografies adjuntes (4 i 5).

3.1.2 *Formes d'acumulació*

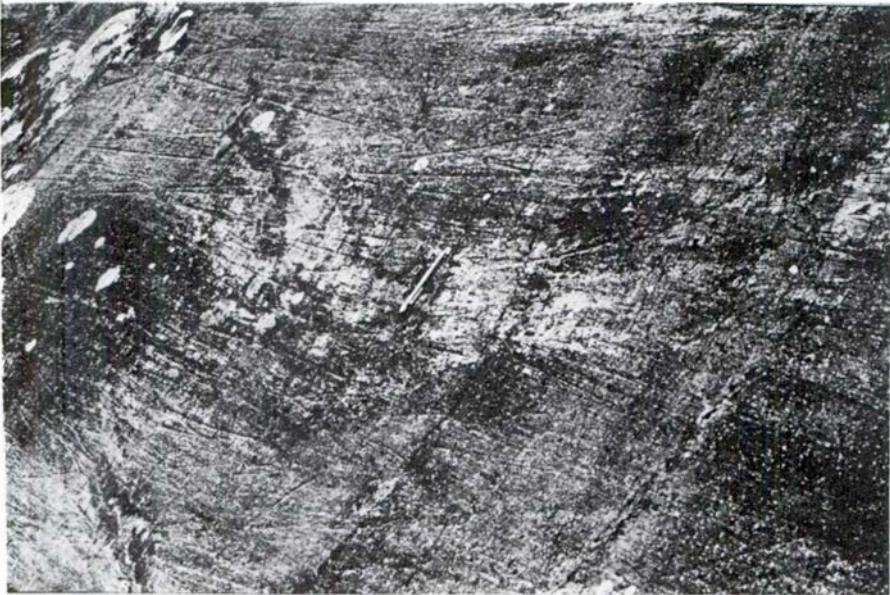
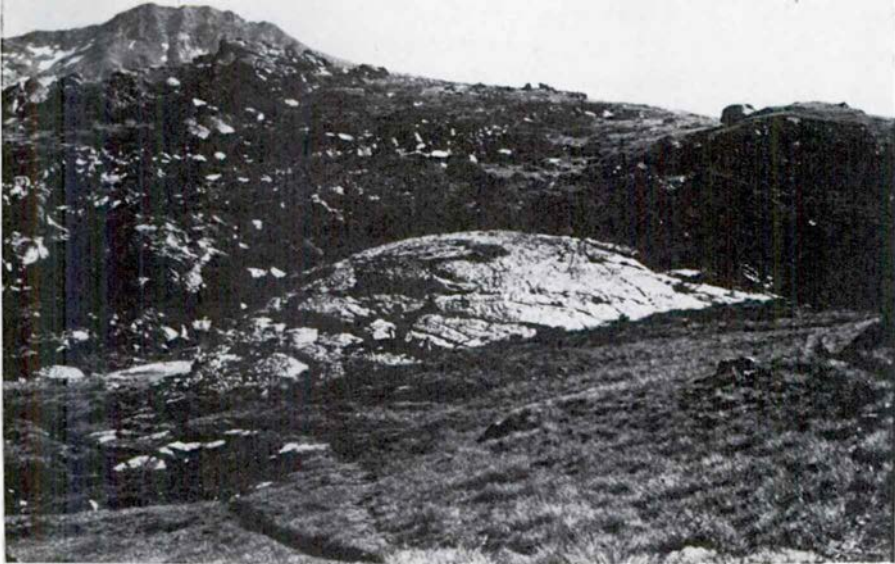
Estan constituïdes per tots aquells dipòsits la gènesi dels quals està relacionada amb l'existència de gel glacial.

Pensem que en aquest punt val la pena de fer un aclariment quant al lèxic que emprarem per a anomenar els diferents dipòsits glacials. Entre els diversos especialistes de la matèria, tant d'escoles franceses com anglo-saxones, no hi ha criteris unificats en la terminologia emprada per a designar els diferents tipus de sediments glacials. Per a simplificar el problema emprarem principalment els dos termes següents:

Till: sediment transportat i dipositat per o des d'una glacera, amb poca o nul·la classificació per aigua (definició elaborada per la "INQUA Commission on Genesis and Lithology of Quaternary Deposits").

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.

En passar a la descripció dels dipòsits glacials creiem necessari de diferenciar-los en dos grans grups segons llur situació en els circs o en les valls.



Fotos 4 i 5. Micromodelat del llit glacial: a dalt una roca amoltonada en la zona de micasquists de Tristaina. A baix podem observar una superfície rocosa polida i estriada a les proximitats de La Solana d'Ordino.

3.1.2.1 *Dipòsits de circ*: Cal distingir acumulacions de materials amb granulometries diverses que tapissen grans zones de fons de circ i que corresponen a morrenes de fons disposades durant la recessió de les últimes glaceres quaternàries. En tenim bons exemples a la Coma del Forat, a Rialb, a la Serrera i a L'Estanyó.

Un altre tipus de formacions correspon a acumulacions de blocs sense quasi gens de material fi. En alguns casos tenen una disposició de cordó morrènic, que potser podria correspondre a una morrena de "névé". En d'altres casos són morrenes de boca de circ.

Les acumulacions de blocs més importants són, sens dubte, aquelles que manifesten un antic desplaçament plàstic, amb disposició de grans arcs o lòbuls; són les anomenades glaceres rocalloses. Aquestes glaceres es desenvolupen al peu de parets de circ que podien proporcionar gran quantitat de gelifractes en el moment de llur gènesi. Cal remarcar que aquelles que s'orienten al Nord tenen un desenvolupament més important. Potser els exemples més significatius són els dels circs de la Serrera i de l'Estanyó, a la part NE de la zona estudiada, i els de la Serra de l'Enclar a la part Sud (vegeu les fotos 6 i 7).

3.1.2.2 *Dipòsits de vall*: S'hi inclouen tots aquells dipòsits d'origen glacial que trobem al llarg de les valls principals d'Ordino i d'Arinsal. Aquests sediments estarien relacionats amb les llengües glacials que circulaven per ambdues valls.

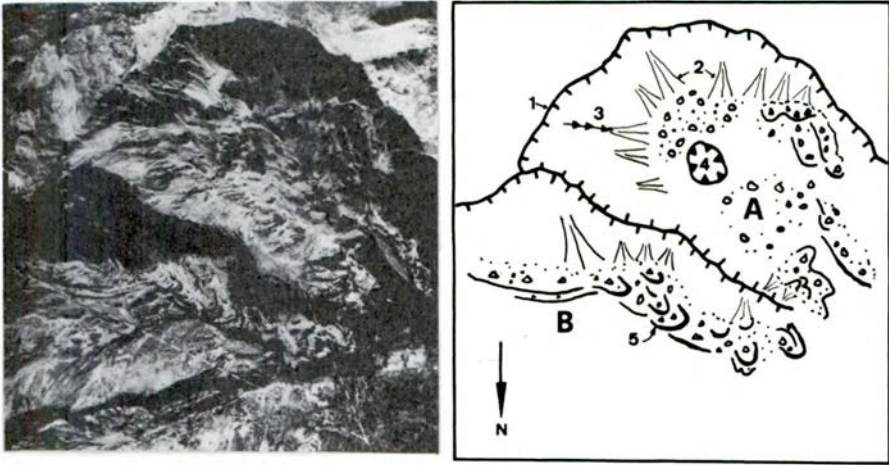
En aquest conjunt de dipòsits podem distingir morrenes de fons, com les del Serrat i d'Arinsal. També hi ha alguna resta de morrena lateral, com la del camp de motocross de l'Aldosa. Els més importants formen part de tot un complex glàcio-fluvial i lacustre d'obturació, que omple la zona d'Ordino - La Massana. Aquestes darreres acumulacions són pràcticament l'objecte central del present treball i són estudiades en detall en un proper capítol.

3.2 Les formes d'origen periglacial i nival

Des de la desaparició de les últimes glaceres fins a l'actualitat, s'han produït a l'alta muntanya andorrana uns processos morfogenètics relacionats amb l'acció gel-desgel, anomenats processos periglacials.

La dinàmica periglacial actual és força important i per tant trobem que molts dels processos periglacials són funcionals en l'actualitat.

Les formes periglacials i nivals són abundants a les zones més altes i van lligades generalment a les formes glacials, les quals es van degradant lentament per l'acció prioritària del gel/desgel tant sobre la roca com a les formacions superficials.



Fotos 6 i 7. El circ de L'Estanyó en visió aèria (A) i en panoràmica lateral acompanyat d'un esquema geomorfològic interpretatiu: 1. paret de circ; 2. acumulacions d'esbaldregalls (cons d'allaus); 3. canals d'allaus; 4. cubeta de sobreexcavació glacial; 5. glacera rocallosa. La lletra B de l'esquema indica el circ de la Serrera on trobem una de les acumulacions morrèniques més importants de glacera rocallosa (foto 7, C. Puigdefàbregas).

A continuació donem una relació d'algunes d'aquestes formes i processos més importants que hem pogut observar.

3.2.1 Gelifluxió

Com hom sap, es tracta de la fragmentació de la roca per l'acció del glaç.

Aquest procés ha actuat i actua amb facilitat sobre les roques esquistoses de l'àrea estudiada formant grans acumulacions de gelifractes (tarteres), al peu de les formes abruptes, que tendeixen a la regularització dels vessants. Al peu de les parets dels circs glacials és on més cons d'esbaldregalls trobem, molts d'ells funcionals i assistits quasi sempre per les accions nivals (allaus per exemple).

3.2.2 Gelifluxió

Les accions observades d'aquest tipus afecten en general les formacions superficials, tot al llarg i ample d'un vessant. Segons la major o menor inclinació del pendent, s'originen dues formes resultants diferents:

a) Gelifluxió en pendents suaus (10°) i amb escassa matriu argilènca, que es caracteritza perquè dona lòbuls aplanats, d'escala mètrica al llarg i a l'ample i de pocs decímetres de gruix. En trobem exemples a la zona de l'Ensegur i de Coma Obaga (vegeu les fotos 8 i 9).

b) Gelifluxió en pendents forts (30°), on es formen garlandes com a resultat de la resistència que ofereixen les festuques, arrelades un xic més profundament que per la part afectada per la gelifluxió, i que pel desplaçament de la part superior del vegetal dona la forma arquejada típica del sòl en garlandes. En tenim bons exemples al Pic de la Serrera, al Casamanya i a la Coma Pedrosa (vegeu la foto 10).

3.2.3 Criotorbació

Les conseqüències dels efectes provocats per la congelació del contingut d'aigua del sòl han d'ésser destacades entre les accions morfodinàmiques actuals en el Pirineu andorrà. Tant l'àmbit geogràfic d'influència d'aquests processos com llurs conseqüències morfològiques resulten bastant reduïts.

Ens referirem a dos casos significatius observats. En primer lloc l'acció del gel en el sòl quan aquest té un contingut aquós important (cas dels aiguamolls o mulleres) produeix una sèrie de bonys decimètrics en la superfície del sòl. Aquests són deguts a injeccions de la fracció fina del sòl de l'interior cap a la superfície que, no arribant a trencar el tapís herbós, ens donen la forma típica de *gespa encoixinada*. Això es produeix en zones planes situades per damunt dels 2.000 m, i



Fotos 8 i 9. Dinàmica periglacial. Visió general i de detall dels lòbuls de gelifluxió que entapissen una resta de superfície d'aplanament preglacial, situada a la cota 2.500 a l'indret de Maià, al N del port d'Envalira (fotos F. Gallart).

generalment en els fons de circ ocupant mulleres instal·lades en cubetes lacustres reblertes o també en prats somitals en algun cas.

Una altra acció relacionada amb els cicles gel/desgell a nivell del sòl és la produïda pel "pipkrake" o gel d'exsudació que produeix un tipus de criotorbació allà on manca la cobertora vegetal. L'aigua del sòl sota els efectes de la gelada produeix la segregació en superfície de cristalls de gel de creixement vertical (~ 5 cm) que provoquen un aixecament de les partícules del sòl (fins i tot còdols de grans dimensions), amb el posterior desplaçament lateral d'aquestes (si hi ha pendent) quan té lloc el desglaç.

3.2.4 Canals i cons d'allaus

Moltes de les parets rocoses que voregen els circs o les altes valls glacials són solcades per estretes i inclinades canals que generalment coincideixen amb febleses estructurals de la roca que forma el substrat (falles, diàclasis, etc.). En aquests llocs el rocam es troba fortament gelifractat i les acumulacions de neu a la part superior produeixen importants i freqüents allaus que arrossegueu els fragments de roca gelivada fins a les parts baixes de la paret. En conseqüència es formen importants acumulacions d'esbaldregalls al peu d'aquestes canals, amb una morfologia de con molt ben dibuixada.

3.3 Formes d'origen fluvial i torrencial

Poques diferències hi havia d'haver entre la xarxa fluvial preglacial i l'actual. Aquestes valls originàriament fluvials, retocades posteriorment per l'acció de les glaceres, tenen molt poca influència del modelat fluvial postglacial. Potser des del punt de vista erosiu, caldria destacar la incisió dels principals rius en els materials glacials, glàcio-fluvials i glàcio-lacustres de les cubetes de La Massana i d'Ordino.

Pel que fa a les acumulacions postglacials, hom troba dipòsits al·luvials en el llit dels rius més importants (Ordino, Arinsal, Pal). No podem, però, parlar en aquesta zona de terrasses fluvials clarament diferenciades.

Les acumulacions flúvio-torrencials són molt més destacables. Com es pot observar en el mapa morfològic, tot al llarg de les valls principals s'alineen una sèrie de cons de dejecció que corresponen a la desembocadura dels torrents laterals a les grans valls. Aquests cons produïts en èpoques postglacials, i els dipòsits al·luvials, donen, juntament amb els sediments glacials, la nota més característica del modelat del fons de les dues valls estudiades.

3.4 Altres formes

En aquest apartat són incloses formes d'origens diversos, de les quals farem una breu referència.

El relleu d'Andorra, com el de tot el Pirineu, correspon a una serralada de plegament alpina, amb una alineació estructural Est-Oest. En alguns aspectes concrets, aquesta estructura i al mateix temps la litologia han influït en el modelat del relleu. Tota la xarxa fluvial actual, i per tant la preglacial, forma valls conseqüents i subseqüents. En la documentació cartogràfica podem veure com, bé que les valls principals són perpendiculars a l'estructura geològica, a les capçaleres les conques d'acumulació del glaç es disposen subseqüentment a l'eix de la serralada. També les diferències de litologia (nivells de quarzites a la vall de Tristaina) o accidents tectònics (com ara la zona de milonització coneguda pel nom de "falla de Merens", que travessa la mateixa vall citada anteriorment, o també la fractura de l'Estany Blau al Madriu) han influït decisivament en la gènesi de sobreexcavacions glacials. Igualment moltes fractures d'ordre inferior són les responsables de la instal·lació de la majoria de canals d'allaus. És per això que, bé que difícilment podem parlar de formes típicament estructurals, és innegable el paper director de l'estructura en el modelat posterior d'aquestes valls.

En el sector del Coll de la Botella, Pal, Casamanya, on afloren materials calcaris del Devonian, seria lògic pensar en l'existència d'un modelat càrstic. Malgrat això, ni una sola forma típica del carst ens apareix en tota la zona calcària. LLOPIS LLADÓ (1969), en el seu mapa Geològic d'Andorra E. 1/25.000, fa referència a la carstificació d'aquesta zona, però des del punt de vista hidrogeològic. N'hem de cercar la possible explicació en la litologia de la sèrie devoniana. Pràcticament no trobem una continuïtat de trams de calcàries massives, sinó que predominen les calcopelites, alternant amb trams pissarrencs i amb calcosquists (LLOPIS 1969). Pensem, doncs, que aquesta manca de continuïtat de materials carbonatats massius influeix decisivament en l'absència de formes càrstiques.

Entre altres formes cal destacar les superfícies d'aplanament post-alpines, sobre les quals tingué lloc la incisió de la xarxa fluvial preglacial, posteriorment retocada per les glaceres quaternàries. Generalment, aquestes superfícies tenen un cert pendent, bé que molt suau, i les accions morfogenètiques principals que s'hi desenvolupen són les periglacials. Al sector fronterer meridional d'Andorra és on trobem més formes d'aquestes. El Calm de Claror, a 2.600 m, n'és la més important. En la zona estudiada hi ha petites restes de peneplanació a la carena que uneix el Pic de l'Estanyó amb el de Casamanya (Pla del Rellotge, 2.650 m) (vegeu la foto 11).



Foto 10. Garlandes al vessant SW del pic de La Serrera (2.900) (foto, C. Puigdefàbregas).



Foto 11. Calm de Claror i de Ramonet, un altre exemple de superfície d'aplanament preglacial en el sector més meridional del Principat (foto, C. Puigdefàbregas).

Sense voler entrar en el tema de l'origen d'aquestes formes, direm que els diversos especialistes que les han tractades, entre els quals cal destacar NUSSBAUM (1946), BOISSEVAIN (1934), BIROT (1937) i SOLÉ i LLOPIS (1947), no acaben de coincidir en llurs hipòtesis.

Molta més unitat hi ha actualment en la situació temporal d'aquest fet; SERRAT (1977) els atribueix una edat d'Oligocè Superior - Miocè Inferior. També GOURINARD (1980), relacionant aquestes superfícies d'erosió amb els sediments de reblliment de la fossa de la Cerdanya, coincideix amb l'autor anterior situant la gènesi d'aquelles superfícies en èpoques oligo-aquitànianes.

3.5 Cronologia de les principals formes del relleu andorrà

A títol de resum dels diferents tipus de modelats analitzats en aquest capítol voldríem fer les següents constatacions:

Si hom analitza el relleu andorrà a gran escala (vegeu la Fig. 7), els fets més ostensibles són l'existència d'unes valls principals on l'estretor i els redreçats vessants destaquen enormement de l'amplada de les capçaleres, on els grans circs són plens de petits estanys i estanyols coronats en alguns casos per crestes retallades en el rocam que es degraden lentament formant importants pedruscalls, i en d'altres dominats per elevats altiplans anomenats calms que testimonien l'existència d'antics nivells d'erosió.

3.5.1 *El relleu preglacial*

Resulta difícil de trobar indicis d'una morfologia "antiga", atribuïble a una etapa que se situaria entre la fi del plegament pirinenc i l'inici de les glaciacions quaternàries. A grans trets, però, és evident l'existència de restes de nivells d'aplanament, la majoria dels quals es troben entre els 2.400 i els 2.700 metres, i més abundantment conservats en els sectors Sud i Sud-Est del Principat. Sobre aquestes superfícies preglacials s'encaixà una xarxa fluvial a la vegada conseqüent i subseqüent amb l'estructura geològica que ha anat configurant les actuals valls fins als nostres dies.

3.5.2 *El relleu glacial*

Les glaceres de vall que s'instal·laren durant el quaternari al Pirineu andorrà aprofitaren les valls fluvials preexistents produint un eixamplament del fons de vall i un redreçament dels vessants. A les capçaleres es modelaren importants circs glacials on es produïren en alguns casos espectaculars sobreexcavacions. Cal destacar també, com a efecte mor-

fogenètic d'aquest període, el rebliment dels fons de vall de materials glacials i també glàcio-fluvials i glàcio-lacustres en algunes ocasions. La dificultat d'establir diferents períodes o fases glacials a partir de l'anàlisi geomorfològica és un fet remarcable que serà tractat en posteriors capítols.

Durant els temps glacials quaternaris, malgrat que la morfogènesi glacial fou el principal protagonista de les accions modeladores de les muntanyes andorranes, cal no oblidar que els gels no cobrien pas en tota llur extensió el territori andorrà. Així doncs, a les capçaleres de les valls, les crestes, els "nunataks" i les restes de les altes superfícies d'aplanament sobresortien del "mar de glaç", sotmesos a unes dures condicions periglacials. Aquestes foren molt probablement més acusades que no les que s'hi manifesten a l'actualitat, i cal pensar, per comparació amb la dinàmica actual, que eren protagonitzades per gelifraccions a les zones de roca nua i per gelifluxions i criotorbacions als indrets coberts per sòls i formacions superficials. A les zones més baixes on els vessants no arribaven a quedar coberts per les llengües glacials, les dures condicions climàtiques existents generaren importants acumulacions de dipòsits periglacials constituïts essencialment per gelifractes englobats en una matriu argilosa que contribuïren a regularitzar els vessants. Als sectors propers a Pal, La Massana i Anyós, hom n'hi troba restes importants.

3.5.3 El relleu tardiglacial

Amb la retirada total o quasi total de les glaceres quaternàries, hi ha un fet important que es manifesta a la majoria de circs de l'àrea estudiada. Es tracta de la gènesi d'unes formacions, constituïdes per grans acumulacions de blocs i situades a cavall entre els processos purament glacials i els periglacials, anomenades glaceres rocalloses, les quals han estat ben estudiades per David SERRAT (1979) en el Pirineu Oriental. Aquestes formacions seran tractades més endavant en el context de les glaciacions quaternàries.

3.5.4 El relleu postglacial

La continuïtat i la generalització de les accions periglacials, conjuntament amb les nivals i les torrencials, configuren la morfogènesi d'aquest sector del Pirineu des de la retirada total de les glaceres quaternàries fins a l'actualitat.

Els processos periglacials i nivals, més ben representats als sectors més elevats, contribueixen a degradar de forma lenta però continuada les formes glacials heretades de l'etapa anterior. D'altra banda, l'elevada

energia de les aigües torrencials dels rius andorrans retreballa la majoria dels materials glacials, els destrueix en part i a la vegada construeix nombrosos cons de dejecció a les confluències dels torrents que davallen de les cubetes lacustres, amb les valls principals del riu d'Arinsal i de la Valira d'Ordino. Finalment cal indicar les importants incisions produïdes per aquestes aigües torrencials en els sediments que omplien les cubetes de La Massana i d'Ordino.

3.5.5 Els ambients lacustres actuals

Cal considerar com un fet de remarcable interès la dinàmica que s'esdevé en els ambients lacustres que, reduïts de dimensions, són importants numèricament. Malgrat que en el sector on ha estat dut a terme el treball present (valls d'Ordino i d'Arinsal), els estanys i estanyols no siguin tan nombrosos com a la resta del Principat, hom voldria dedicar-los un comentari.

Pel que fa a l'origen dels llacs andorrans, és extensible a tots els del Pirineu. La gran majoria omplen cubetes d'erosió situades en els fons dels circs o de les valls i foren generats per l'acció de les glaceres quaternàries. Així doncs, aquests llacs es caracteritzen per estar limitats a la zona de desguàs per un llindar rocós i per tenir una profunditat relativament important si tenim en compte que llurs dimensions superficials són força reduïdes. Un altre tipus genètic de llacs són els que hom podria anomenar d'obturació. També tenen un origen relacionat amb les geleres quaternàries, bé que en aquest cas no condicionat per un procés erosiu sinó sedimentari. Es produeixen quan el cordó morrènic lateral obstrueix el drenatge d'una vall afluent a la de la gelera (vegeu la Fig. 16), i també és possible que el llac es produeixi a la vall principal sota l'acció de barratge d'un arc morrènic frontal. Pràcticament la totalitat dels llacs andorrans són del primer tipus, és a dir, ocupen cubetes de sobreexcavació glacial (vegeu l'apartat 3.1.1.2). La majoria d'aquestes cubetes es localitzen a les capçaleres de les valls ocupant el fons dels antics circs glacials en nivells esglaonats entre els 2.200 i els 2.600 metres. El nombre de llacs pot ésser variable a cada circ, des de cap fins a una vintena com és el cas del circ de Pessons. A l'àrea estudiada, però, hi són menys nombrosos, malgrat que hi ha estanys de dimensions importants com ara els de Tristaina, on l'Estany de Més Amunt, situat a la cota 2.306 m, té una superfície de 12,8 ha i és en extensió el tercer dels llacs andorrans. Cal dir però que alguna cubeta lacustre es troba localitzada fora de l'àmbit dels circs: a la vall de la Valira d'Orient hom troba l'Estany d'Engolasters, la situació del qual va lligada a la seva gènesi, ja que es tracta d'un barratge de la morrena lateral esquerra de l'antiga gelera que fluïa per la vall. En d'altres indrets alguna cubeta d'erosió

situada al fons de la vall ja no conserva l'ambient lacustre pel fet que aquest ha arribat a la fase de rebliment total.

La dinàmica lacustre d'aquestes cubetes començà amb la retirada aigües amunt de les glaceres, a la darrerria del període Pleistocè, i ha anat sempre condicionada per la climatologia. La deposició lacustre és regida per l'existència de cicles sedimentaris anyals dependents de les condicions climàtiques vigents en cada moment així com de les característiques del rocam i de l'extensió de la conca de drenatge aigües amunt del llac. És evident que sota les condicions hivernals, amb la superfície de l'aigua glaçada durant uns sis mesos i amb la conseqüent disminució de les precipitacions líquides, hi ha una manca d'aportacions important. Seguint aquesta lògica també entenem que a l'època del desglaç les aportacions hídriques seran màximes i per tant hi haurà una sedimentació detrítica important, la qual tornarà a davallar un cop entrat l'estiu. Tota aquesta successió de fenòmens implica una clara ciclicitat en la sedimentació lacustre. Aquests sediments rítmics o ritmites dipositats en aquestes cubetes no són però tots de tipus terrigen, car no hem d'oblidar el paper dels organismes que viuen en el medi lacustre. Aquesta qüestió, que s'escapa de la temàtica del present treball, fou estudiada en el cas d'Andorra per Lluís CAMPÀS (1979). En l'evolució de la vida d'un llac, la sedimentació orgànica i/o terrígena tenen un continuïtat temporal important, però es produeixen variacions en la velocitat de sedimentació i en el tipus de sediment generat, fins que finalment s'arriba al rebliment total de l'estany, estanyol o llac. En aquesta etapa final es passa d'un ambient d'aigües somes a una veritable mullera colonitzada per espècies vegetals que en morir produeixen acumulacions importants de matèria orgànica, tot generant una torbera.

4 ELS DIPÒSITS QUATERNARIS D'ORIGEN GLACIAL DE LA MASSANA-ORDINO

Com ja ha estat dit en el primer capítol, l'estudi d'aquest conjunt de dipòsits quaternaris que omplen la zona que anomenem cubeta de La Massana*, és el punt central d'aquest treball. Aquest complex de sediments ha estat tractat amb anterioritat per diversos autors (vegeu el capítol d'antecedents històrics), sobretot en el V^è Congrés de l'INQUA, celebrat l'any 1957, i a partir del qual el professor TAILLEFER n'esbossà una interpretació genètica. Nosaltres, tot seguint la mateixa línia, hem intentat aprofundir-hi, tant com ens ha estat possible, amb la intenció de reconstruir la història glacial quaternària en aquestes dues valls andorranes. Hem volgut també presentar un model ambiental o deposicional, concretat en un moment determinat en la successió dels esdeveniments del Quaternari d'Andorra.

Ja hem parlat anteriorment del mètode de treball emprat; malgrat això, trobem interessant de fer-hi una nova referència en el present capítol. Hem elaborat una cartografia geomorfològica a escala 1:50.000 de les Valls d'Ordino i d'Arinsal, on tractem prioritàriament les formes i els dipòsits d'origen glacial. Si ens fixem únicament en aquests darrers, i segons el que podríem anomenar llur situació topogràfica, veiem una sèrie de sediments que entapissen els fons de circ i uns altres que omplen les zones més baixes de les valls. És a aquest últim grup que pertany el complex sedimentari de La Massana-Ordino. En aquest indret hem dut a terme una cartografia interpretativa de les diferents fàcies deposicionals dels dipòsits en qüestió.

4.1 Característiques dels dipòsits

Hem cregut que l'estudi de detall dels dipòsits de La Massana-Ordino era el que més informació ens podia donar per a resoldre el problema plantejat. L'ús de criteris morfològics ha estat important, però és essencialment l'estudi sedimentològic allò que més dades ens ha aportat a l'hora de la interpretació.

* Hom ha preferit d'emprar aquesta grafia al llarg de l'obra, perquè és l'emprada oficialment a Andorra, malgrat que la forma més pròpia d'aquest topònim és La Maçana.

Hem fet un inventari i una posterior selecció dels afloraments més interessants i, a la vegada, significatius. A continuació donem una relació d'aquests afloraments, on també analitzem les característiques dels sediments de cadascun, tot acompanyant-les de la interpretació que nosaltres en donem.

Per a la situació, la cartografia i la corresponent toponímia dels afloraments hem emprat el full núm. 10 del Mapa de les Valls d'Andorra, editat pel M.I. Consell General l'any 1976.

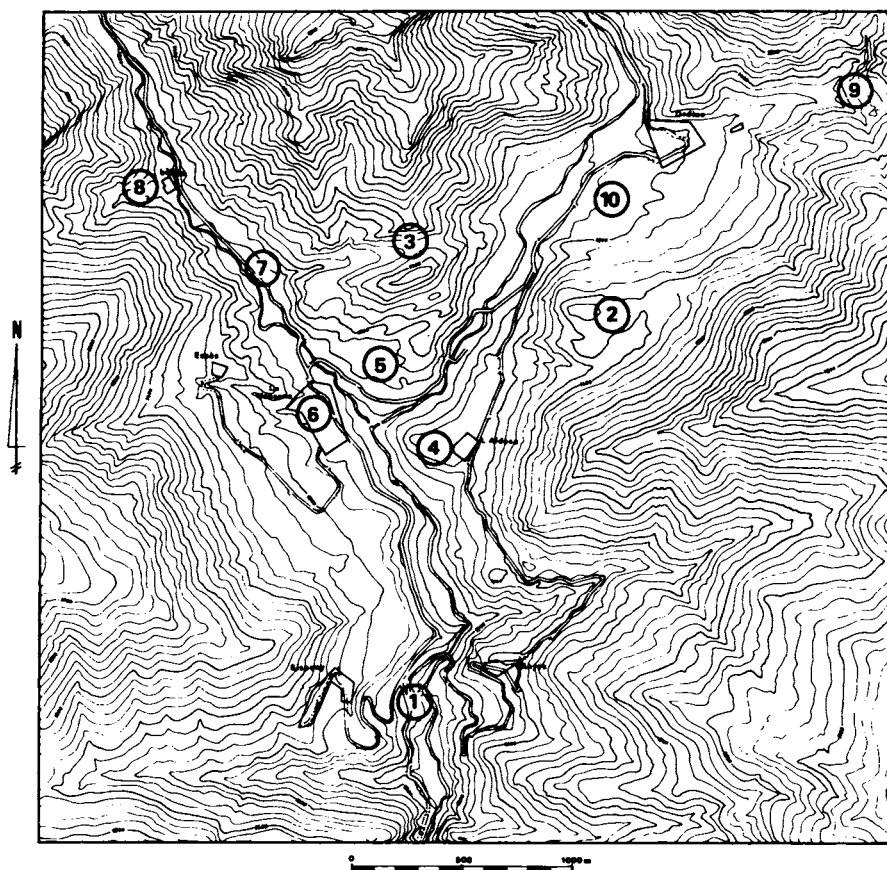


Fig. 12. Mapa de situació dels afloraments inventariats a la cubeta de La Massana-Ordino. Les xifres corresponen a l'ordre de la numeració emprada.

4.1.1 Aflorament núm. 1 – Sispony

Situació: a ambdues bandes de la Ctra. General núm. 3 d'Andorra La Vella a La Massana, als voltants de la desviació a Sispony.

Altitud: 1.190 - 1.220 m.

Substrat: Esquists amb bandes de blau-gris fosc a negres, del Cambro-Ordovicià.

Descripció: El millor tall d'aquest aflorament el trobem a l'esquerra de la Ctra. en direcció a La Massana, just al costat d'un edifici d'apartaments. S'hi observen blocs d'esquists de més de 30 cm, englobats en una matriu sorrenca, amb alguns còdols un xic arrodonits. S'hi veu també una certa tendència al llitatge, caracteritzat per petites lletilles de sorra on s'aprecien estructures de corrent de tipus "ripple". També hi hem trobat còdols d'argila arrebossats.

Potència del dipòsit: 40 m (suposats).

Interpretació: A les característiques de granulometria i estructura típiques d'un sediment morrènic s'afegeixen retocs produïts per les aigües de fusió i circulació subglacial. Per això ho interpretem com un dipòsit de morrena de fons ("basal till") retingut pel llinar estructural de Sant Antoni, format per calcosquists devonians, durant una fase glacial on la glacera de La Massana conflueix amb la de la Valira d'Orient a les Escaldes.

4.1.2 Aflorament núm. 2 – La Gonarda

Situació: Al vessant esquerre de la Valira d'Ordino, a 160 m per sobre del nivell del riu, al NW de l'Aldosa. Es troba a sobre d'un nivell estructural on hi ha instal·lat un terreny de motocross.

Altitud: 1.400 m.

Substrat: Esquists amb bandes, de blau-gris fosc a negres, del Cambro-Ordovicià.

Descripció: Constituït fonamentalment per blocs estriats d'esquists, pissarres i quarzites. Presenta gran heterometria; alguns blocs que també es troben dispersos en forma de blocs erràtics tenen més de 5 m. Els blocs del dipòsit estan englobats en una matriu sorrenca-argilosa de color beige. El dipòsit està recobert per una formació edàfica.

Potència: 5 m visibles.

Interpretació: El dipòsit és clarament morrènic, i correspondria a la resta d'una morrena lateral de la llengua glacial que circulava per la Vall d'Ordino.

4.1.3 Aflorament núm. 3 – Collet dels Colls

Situació: Els dipòsits són en el collet que dona nom a l'aflorament, just al Nord de la cubeta de La Massana; és un petit coll que



Foto 12. Aspecte general del dipòsit de morrena de fons de l'aflorament núm. 1 (1), retingut per l'existència del llindar de calcosquists devonians que forma l'estret de St. Antoni (2).



Foto 13. Detall de la morrena lateral de La Gonarda (aflorament núm. 2).

s'obre a l'W, cap a la vall d'Arinsal, i a l'E, cap a la vall d'Ordino, uns 130 m per sobre d'ambdues.

Altitud: 1.370 m.

Substrat: Esquists amb bandes de blau-gris fosc a negres, del Cambro-Ordovicià. Just al vessant N del collet hi ha el contacte amb els esquists negres del Silurià.

Descripció: Els dipòsits estan constituïts per uns nivells estratificats de graves arrodonides de litologia diversa, i de sorres amb algun tram lutífic. És important remarcar que és un aflorament de dimensions molt reduïdes que es troba al cantó N del collet i que està parcialment recobert per dipòsits de vessant. A més d'aquests sediments, també hi trobem, aïlladament, algun bloc estriat.

Potència aproximada del dipòsit: 2 m.

Interpretació: Per les característiques sedimentològiques i per la situació topogràfica, pensem que es tracta de dipòsits relacionats amb aigües de fusió d'una glacera. Podrien haver estat dipositats per un torrent subglacial o per un torrent juxtaglacial. Al mateix temps, sembla evident creure que els blocs estriats són d'origen morrènic. Per tot això interpretem que el Collet dels Colls havia funcionat com a coll de transfluència glacial entre les llengües glacials de la Vall d'Ordino i la de la Vall d'Arinsal.

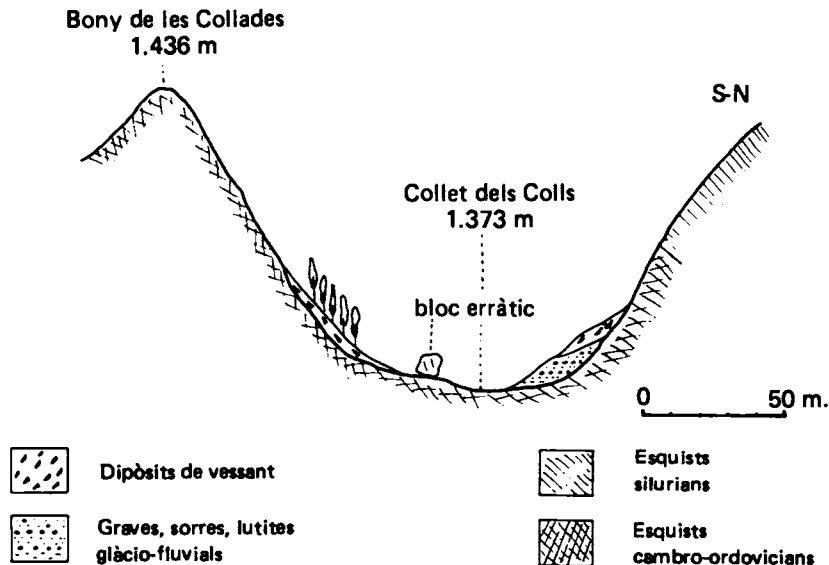


Fig. 13. Perfil del coll de transfluència glacial amb la corresponent situació dels dipòsits glàcio-fluvials de l'aflorament núm. 3.

4.1.4 Aflorament núm. 4 – L'Aldosa

Situació: A l'entrada de la Valira d'Ordino a la cubeta de La Massana. Comprèn tota la formació sobre la qual és assentada la població de l'Aldosa.

Altitud: 1.220- 1.290 m.

Substrat: Esquists amb bandes, blau-gris fosc a negres, del Cambro-Ordovicià.

Descripció: Cal distingir dues parts ben diferenciades en els materials i en l'estructura d'aquests. La base de la formació és constituïda per una massa d'argiles de color gris fosc, sense cap disposició ni estructura apreciable, que engloba blocs de diferent litologia (esquist, quarsita, migmatites) molt heteromètriques, de 0,30 a < 1,5 m de grandària.

A sobre d'aquesta unitat, descansen uns materials ben diferents. Es tracta de dipòsits de color gris clar amb un llitatge horitzontal ben marcat. Els trams inferiors estan constituïts per nivells centimètrics de sorres de gra fi amb algun llit més llimós. Hom hi pot observar, tal com es veu a la foto (14), estructures sedimentàries del tipus "climbing ripples". Més amunt, creix la dimensió de gra de la sorra i apareixen llits de graves ben arrodonides que, cap al sostre de la formació, passen a la grandària de còdol i bloc. Com veiem, doncs, es tracta d'una sèrie grano-creixent.

Potència aproximada: unitat inferior $\approx$ 45 m.

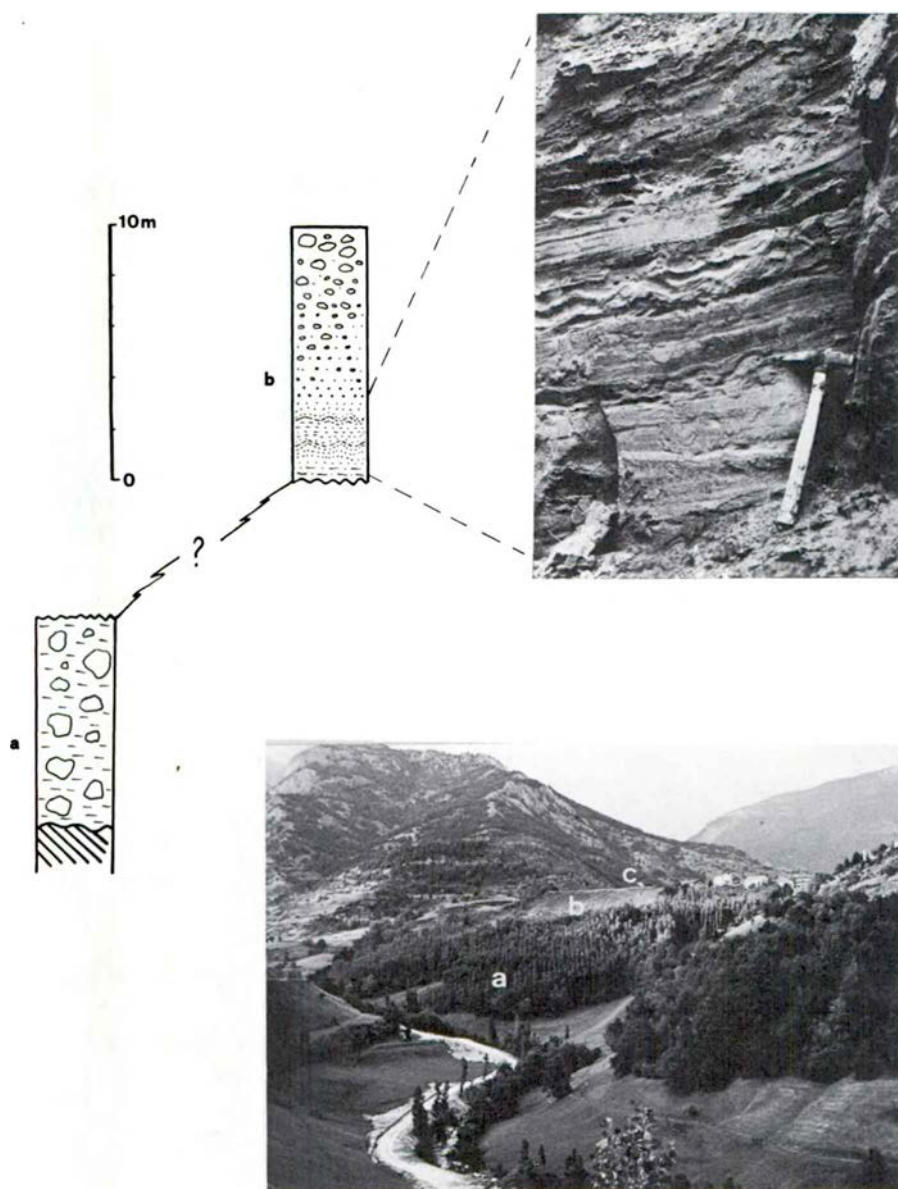
" superior $\approx$ 10 m.

(visibles)

Interpretació: La unitat inferior la interpretem com una formació morrènica. Cal dir que la trobem en diversos indrets de la cubeta de La Massana, tal com indica el mapa de fàcies deposicionals amb el nom de "till d'obturgació", concepte que aclarim en un apartat proper.* És important de remarcar que, així com a la zona de l'Aldosa no observem en aquests dipòsits morrènics cap tipus d'estructura, potser per la mala qualitat de l'aflorament, més cap al Sud, dins l'argila d'aquest "till d'obturgació", hom pot observar un cert llitatge.

La unitat superior té unes característiques sedimentològiques clarament fluvials. A més, aquests dipòsits els trobem en diversos indrets de la cubeta i en tots ells el sostre de la formació coincideix amb una superfície horitzontal de cota 1.290 m; creiem que aleshores es poden interpretar aquests dipòsits com a sediments glàcio-fluvials de domini proglacial que podrien correspondre a un ambient de plana d'"outwash".

* Es tracta d'un till basal en sentit genètic, i d'un till argilós en sentit litològic, segons els criteris de CH. SCHLÜCHTER 1977.



Fotos 14 i 15. Característiques de l'aflorament de L'Aldosa; a. material morrènic (till d'obturbació); b. sediments glàcio-fluvials; c. en el sostre de la formació hom observa una resta de l'antic nivell de plana d'"out-wash".

4.1.5 ¹Aflorament núm. 5 — Gravera de Santa Caterina

Situació: Aquesta gran acumulació de sediments es troba tot just al N de l'aiguabarreig de la Valira d'Ordino amb el riu d'Arinsal.

Altitud: 1.235 - 1.270 m.

Substrat: Esquists amb bandes, blau-gris fosc a negres, del Cambro-Ordovicià.

Descripció: Des de la base fins al sostre podem diferenciar tres unitats sedimentàries. A la base, hi trobem uns materials que afloren més avall de la gravera, molt a prop de la carretera. Estan constituïts per nivells de sorres de gra mitjà i fi i per lutites de color gris; totes presenten un llitatge horitzontal. Tal com ho il·lustra la foto (18), trobem algun còdol inclòs en aquests nivells i envoltat per la laminació.

A sobre d'aquests materials, descansa la segona unitat que és, juntament amb la més superior, explotada per la gravera. Es tracta d'una formació de graves arrodonides i sorres llitades que presenten una marcada inclinació d'uns 20° a 30° cap al centre de la cubeta de La Massana.

Clarament discordant, la tercera unitat recolza sobre la que acabem de descriure. La superfície de contacte és erosional, i els sediments en aquest cas tenen una disposició horitzontal. Tal com indiquem a la Foto 19 les característiques dels materials són les següents: a la base un nivell de blocs i graves amb matriu sorrenca sense cap estructura clara. Segueix un nivell d'uns 40 cm de sorra de gra molt gros amb "megaripples" de corrent, cobert per un tram de graves i sorres amb clara disposició horitzontal. Finalment, tot això és recobert fins al sostre de la formació per un tram de blocs i graves amb matriu argilosa de color gris i amb algun nivell lenticular de sorres. El sostre de la formació coincideix amb la superfície topogràfica totalment horitzontal (vegeu la foto 16).

Potència aproximada: 40 m.

Interpretació: Es tracta d'un dipòsit que reuneix totes les característiques d'una formació deltaica. De la base al sostre hi ha un augment de la dimensió del gra, a la vegada que les tres unitats descrites reuneixen les condicions que en la literatura anglo-saxona hom anomena de "bottomsets" (la inferior), "foresets" (la intermèdia) i "topsets" (la superior), amb la disposició típica d'un delta tal com ha estat reconstruït a la Fig. 14. Els materials basals són els més distals de l'"àpex deltaic" i per tant els que corresponen a un ambient de més baixa energia. La presència de còdols aïllats i blocs en alguns casos que distorsionen la laminació és típica dels llacs que es troben en contacte amb una llengua glacial (Foto 18). El material morrènic és englobat dins "icebergs" que resten surant per la superfície lacustre. En fondre's el gel, els materials

que contenia l'“iceberg” cauen al fons i queden englobats a dins del sediment.*

La unitat intermèdia de llits de sorres i graves inclinats cap al centre de la cubeta correspon als materials de progradació deltaica que recobreixen progressivament els “bottomset”. A partir de diverses mesures de paleocorrents, hem calculat la direcció principal d'aportacions, que resulta ésser N-160, i amb una màxima inclinació del llitatge de 30° cap al Sud, la qual cosa ens indica que s'ha dipositat en un règim d'aportacions constant. Això ens pot fer pensar, si suposem el delta com a proglacial, en una fase d'estabilitat de la glacera, amb una fusió pràcticament regular, sense cap fusió de glac brusca que provocaria una avinguda torrencial. Els materials del “topset” van recobrint tota la formació a mesura que el delta va avançant.

4.1.6 Aflorament núm. 6 – La Massana

Situació: Els materials d'aquest aflorament els trobem a la mateixa població de La Massana, en un tall de la carretera; principalment, però, els trobem en les obres de fonaments de les noves edificacions.

Altitud: 1.240 - 1.250 m.

Substrat: Esquistes amb bandes, blau-gris a negres, del Cambro-Ordovicià.

Descripció: Lutites de color gris-blavós amb estratificació i laminació horitzontals. Es tracta de dipòsits rítmics (Foto 21). Cada ritme està constituït per 2 o 3 cm d'argila grisa i per un nivell mil·limètric de sorra molt fina de color clar. Hom hi observa, també, una laminació paral·lela interna, ben marcada.

En algun indret, trobem aquests dipòsits basculats i afectats per petites falles normals (Foto 22). Dins aquests dipòsits podem trobar algun còdol aïllat.

A dins d'aquestes argiles hom ha trobat un gastròpode lacustre no classificable.

Potència: Impossible de determinar.

Interpretació: Es tracta d'uns sediments clarament lacustres, fins i tot podríem parlar de dipòsits varvats. Aquests dipòsits correspondrien a les fàcies del centre de cubeta d'un antic llac que ocuparia una zona considerable de La Massana. Aquest seria un llac proglacial que alhora entraria en contacte amb el front de les llengües de les dues glaceres, la d'Ordino i la d'Arinsal (vegeu la Fig. 20). Dos arguments ajuden a fer aquesta afirmació:

* Segons la literatura anglo-saxona, aquests components clàstics són anomenats “dropstones” o també “ice-rafted-pebbles”.

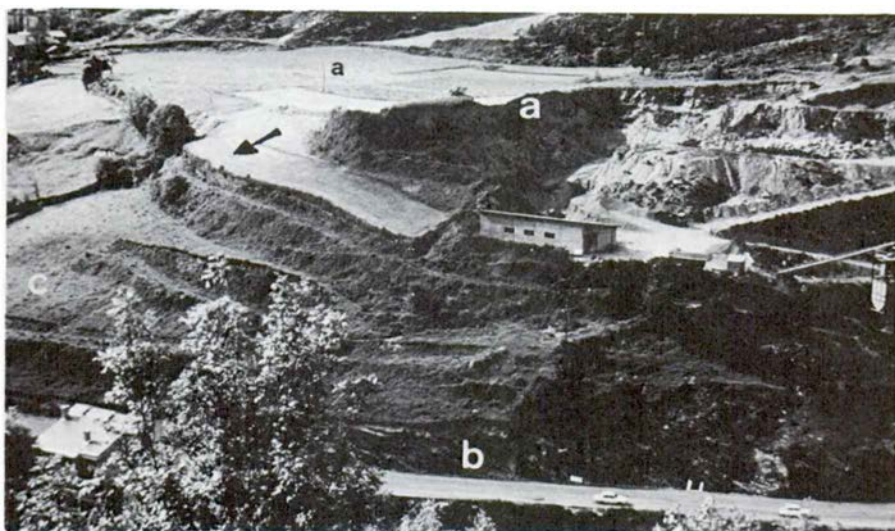


Foto 16. Aspecte general de l'aflorament núm. 5, on hi ha instal·lada una planta d'extracció d'àrids. Es tracta d'una formació deltaica en què la superfície topogràfica correspon als materials del "topset" (a); (b) indica on aflora el substrat paleozoic; al lloc de la lletra (c) hom observa materials lutítics del "bottomset". La fletxa ens indica la direcció i el sentit de l'avenç del delta.

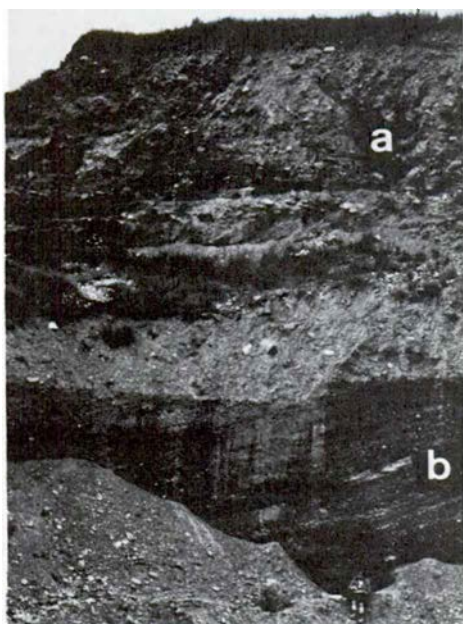


Foto 17. Secció de la formació deltaica a la gravera de Sta. Caterina. A la part inferior (b) s'observen els llits de progradació deltaica, "foresets", recoberts pels materials amb disposició horitzontal del "topset".

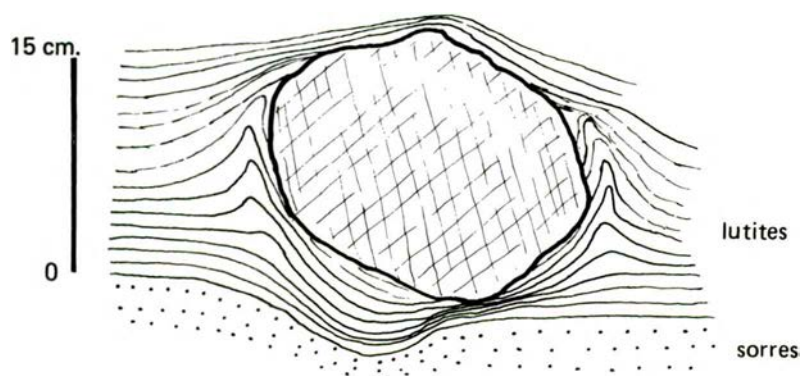
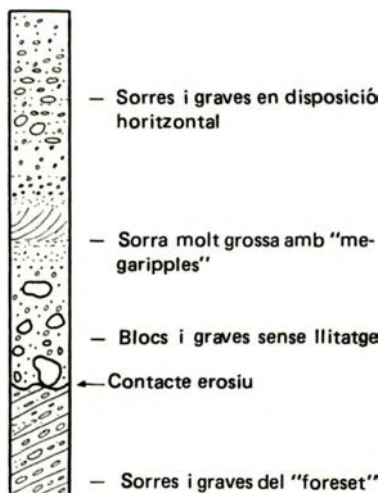


Foto 18. Lutites amb laminació paral·lela típiques del "bottomset" deltaic. S'hi observen còdols provinents d'"icebergs" que en caure dins el sediment distorcen la laminació.



Fotos 19 i 20. A la dreta podem observar la formació de "foreset" que ens indica el sentit de progradació deltaica. A dalt, el contacte d'aquesta formació amb la superior o "topset" deltaic, on hom pot apreciar un canvi brusc en l'energia del medi sedimentari.



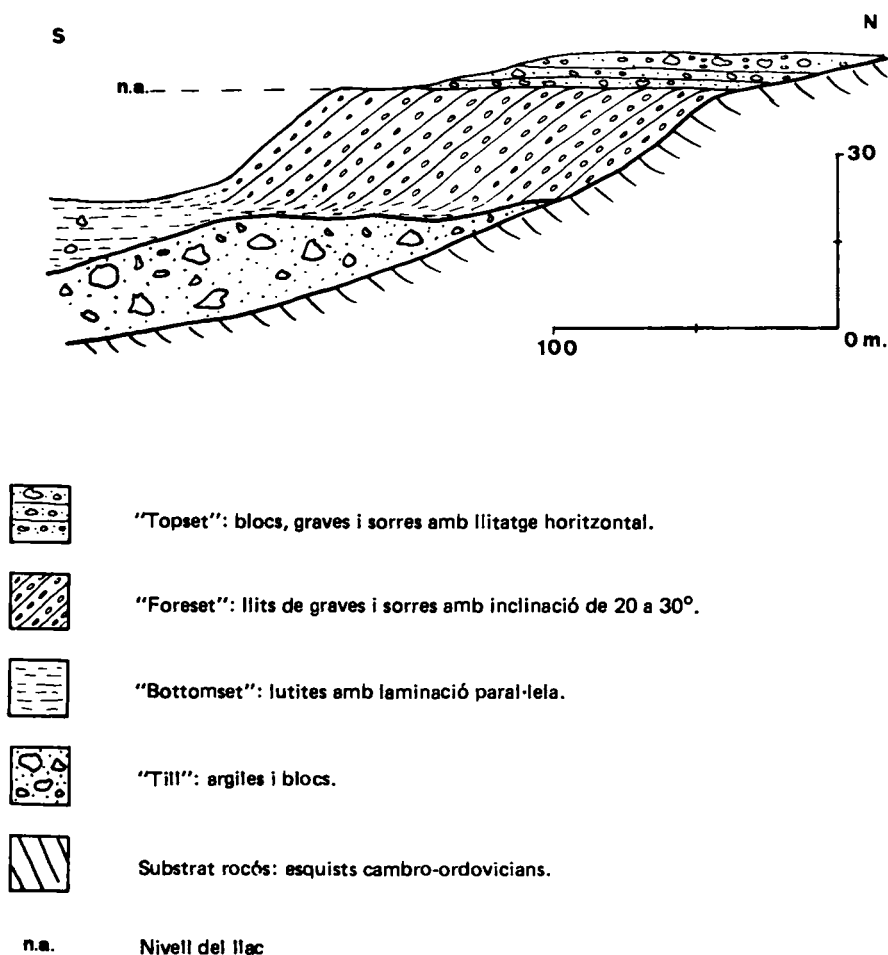


Fig. 14. Esquema de la formació deltaica del llac de La Massana

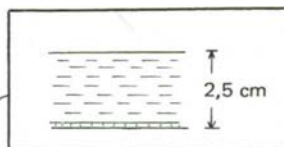
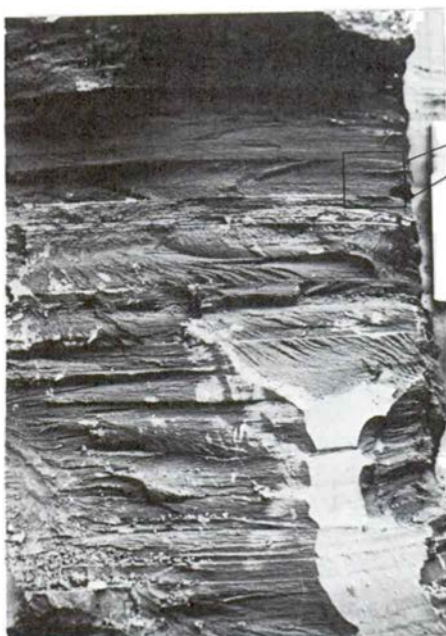


Foto 21. Lutites rítmiques, potser "varves", de l'antic llac de La Massana (aflorament núm. 6). Pràcticament la totalitat del sediment és argila; cada ritme, com mostra l'esquema, està format quasi totalment per argila grisa amb laminació interna i per un llit mil·limètric de sorra molt fina de color clar.



Foto 22. Còdols d'"iceberg", i estructures de glàcio-tectònica: fractures de tensió i basculament del dipòsit glàcio-lacustre de La Massana.

D'una banda l'existència de còdols i blocs aïllats dins els sediments lacustres, distorsionant la laminació (Foto 18). Aquests còdols i blocs corresponen a material morrènic englobat dins el gel i després del front glacial en forma d'"iceberg" que resta surant a la superfície del llac. En fondre's l'"iceberg", el material que transportava cau al fons del llac. D'un altre cantó cal considerar el basculament i la fracturació observats en els dipòsits argilosos, com a fenòmens de glacio-tectònica. Els petits moviments del front glacial, inestable, en contacte amb els sediments del llac, podrien ésser la causa d'aquestes estructures. Es tractaria, doncs, d'un llac proglacial que rebria les aigües dels torrents subglacials d'ambdues llengües, però que també rebria aportacions d'un important curs subaeri, possiblement juxtaglacial, la desembocadura del qual correspondria a la formació deltaica descrita en l'aflorament 5.

4.1.7 Aflorament núm. 7 – Riu de Serrana

Situació: a la Vall d'Arinsal, uns cinc-cents metres abans d'entrar a la població de La Massana, i just a l'indret de l'aiguabarreig del riu de Serrana amb el d'Arinsal.

Altitud: 1.245-1.260 m.

Substrat: Zona de contacte entre els esquists amb bandes, blau-gris a negres, del Cambro-Ordovicià, amb els esquists negres argilo-carbonosos del Silurià.

Descripció: En aquesta formació distingim tres unitats ben diferents (vegeu la Fig. 15). De baix a dalt tenim el següent: una primera unitat de lutites rítmiques de color gris-blavós, iguals que les descrites a l'aflorament de La Massana. A sobre, i per contacte erosiu, descansa una unitat de graves i sorres que engloben blocs subarrodonits de grandària considerable. Lateralment, aquests materials passen a uns nivells de sorres i lutites amb estratificació paral·lela de color bru. S'hi troba, també, algun nòdul de concrecions carbonatades. Finalment, una formació edàfica cobreix la unitat anterior.

Interpretació: No hi ha dubte que, des de l'òptica d'un estudi del glacialisme, la formació inferior és la que ens interessa més. Aquestes argiles rítmiques, d'origen lacustre, les suposem perfectament relacionades amb el llac de La Massana (l'explicació del qual ja ha estat feta en l'aflorament anterior). La formació superior ha de correspondre a una fase flúvio-torrencial o glàcio-fluvial, posterior a l'existència de l'esmentat llac i que, durant el retrocés definitiu de la glacera d'Arinsal, s'endugué la part superior del paquet d'argiles lacustres.

4.1.8 Aflorament núm. 8 – La Bòbila

Situació: En la confluència del barranc d'Escalluquer amb la Vall d'Arinsal, al marge dret d'aquesta última.

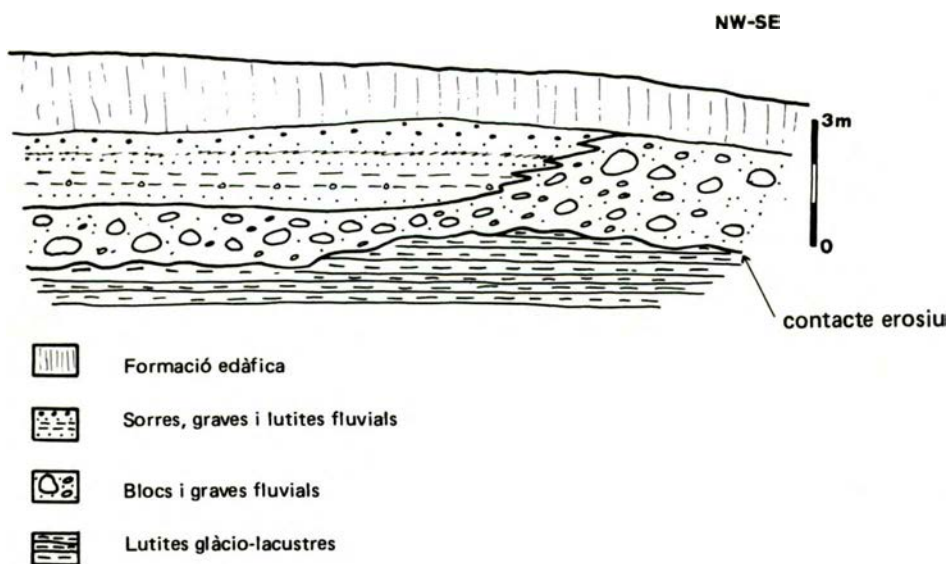


Fig. 15. Secció de l'aflorament núm. 7 (riu de Serrana).



Foto 23. Detall de l'aflorament núm. 7. A baix les lutites lacustres (a), i a sobre per contacte erosiu un dipòsit flúvio-torrencial (b).

Altitud: 1.265 - 1.310 m.

Substrat: Calcosquists del Devonian.

Descripció: Constituït per 30 o 40 metres de sediments argilosos de color gris-blavós. Les característiques del dipòsit són idèntiques a les esmentades en l'aflorament 6: es tracta, doncs, d'unes ritmites. Potser, en aquest cas, els ritmes són encara de menys gruix que en les lutites de La Massana. Hi trobem, també, alguna estructura sedimentària coincidint amb nivells més llimosos, i cal destacar l'existència de fractures de distensió. Al sostre de la formació trobem uns nivells de sorres i graves arrodonides, amb algun tram fortament cimentat per carbonat de calci. És difícil precisar més observacions, tenint en compte que aquests materials són explotats per una bòbila i, avui, la destrucció de l'aflorament és pràcticament total.

Potència aproximada: 40 m.

Interpretació: Pensem que es tracta de dipòsits lacustres corresponents a un llac que s'originà per obturació de la vall lateral (Escalluquer). L'esquema de la Fig. 16 ens explica, amb claredat, la gènesi d'aquest llac. Aquest esquema, juntament amb la foto (25), il·lustra l'existència d'estructures sedimentàries i falles normals poc comprensibles en sediments d'ambient tan tranquil. Una llengua glacial constitueix un barratge fortament inestable, la qual cosa pot provocar moviments sobtats tant de les aigües com dels sediments. Cal suposar que aquest llac rebia aigües tant del torrent d'Escalluquer com del torrent juxtaglacial. Això ens explica la presència de nivells de sorres i graves arrodonides a la part alta de la formació i, sobretot, a prop de la desembocadura del torrent d'Escalluquer. En canvi, la cimentació d'algun d'aquests nivells s'ha d'interpretar com un fenomen postsedimentari de circulació d'aigües carregades de carbonat, amb la corresponent precipitació.

4.1.9 Afiorament núm. 9 — Barranc de Cegudet

Situació: Uns quatre-cents metres més amunt de les cases de Cegudet, just sobre l'aiguabarreig del riu de Casamanya amb el de Les Aubes.

Altitud: 1.370 - 1.430 m.

Substrat: Calcosquists del Devonian.

Descripció: Aquesta formació està constituïda per lutites rítmiques idèntiques a les de La Massana i a les de la bòbila d'Arinsal, tant petrogràficament com en llur disposició horitzontal. Com a petites diferències hi apreciem una cimentació important del sediment, sobretot en els nivells més llimosos. També és destacable la presència de grans blocs estriats, per bé que no semblen clarament inclosos dins la formació lutítica.

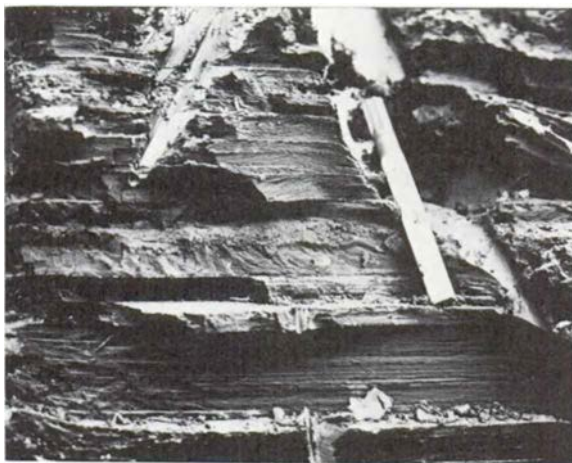


Foto 24. Lutites grises rítmiques sedimentades en un llac d'obturació lateral (aflo-
rament núm. 8). Vegeu la gran similitud amb els sediments del llac de La
Massana.

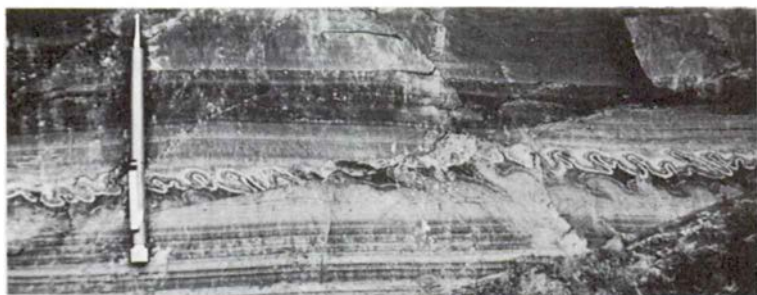


Foto 25. A dins els mateixos sediments lacustres trobem estructures sedimentàries
típiques de l'ambient glàcio-lacustre, i falles normals, produïdes segura-
ment en retirar-se la glacera i assentar-se el dipòsit. El nivell plegat corres-
pon a una làmina més llimosa, l'origen de la qual és fàcil d'imaginar si
tenim en compte la inestabilitat de l'obturació glacial que es tradueix en
moviments de la glacera i/o en sobtades avingudes d'aigua de fusió que
comporten alteracions en la tranquil·litat del medi del fons de la cubeta
lacustre. Això pot originar estructures sedimentàries com la fotografiada,
anomenades "crumpling structures" per GUSTAVSON (1975).

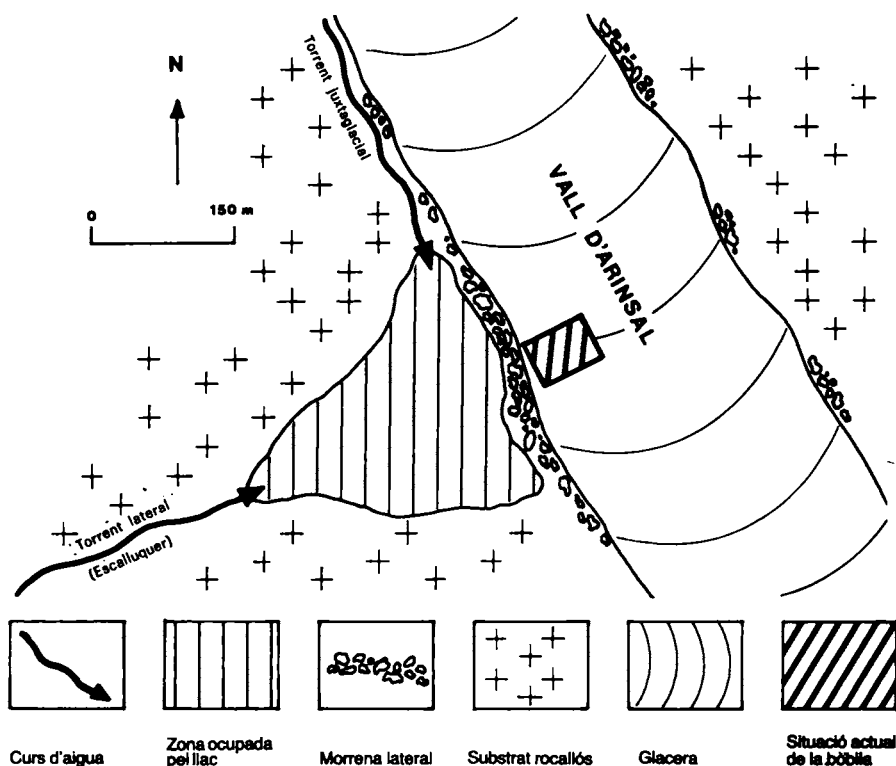


Fig. 16. Esquema interpretatiu de l'obturació produïda per la llengua glacial d'Arinsal sobre una vall lateral. En el llac que s'hi originà, s'hi sedimentaren les argiles que avui s'exploten a la bòbila d'Arinsal (SERRAT, D., VILAPLANA, J. M., 1979).

Potència aproximada: 50 - 60 m.

Interpretació: L'origen d'aquest dipòsit és idèntic al de l'aflorament descrit anteriorment. Es tracta de dipòsits lacustres sedimentats en un llac d'obturació glacial. En aquest cas eren els rius de Casamanya i de Les Aubes els que abocaven llurs aigües en un llac barrat per la glacera d'Ordino. Els blocs morrènics dispersos potser seria possible interpretar-los com a provinents de la fusió d'"icebergs", per bé que ens inclinem més aviat a pensar que són restes de la morrena lateral de l'esmentada glacera.

Tenint en compte que el sostre d'aquesta formació és a la cota 1.430, quan intentem correlacionar-les amb la del Coll de transfluència (núm. 3) i de la Gonarda (núm. 2), ens és fàcil atribuir-les a una mateixa fase glacial.



Foto 26. Aspecte de detall de les ritmites d'origen glàcio-lacustre de l'antic llac de Cegudet (correspon a l'aflorament núm. 9).

4.1.10 Aflorament núm. 10 – Ordino

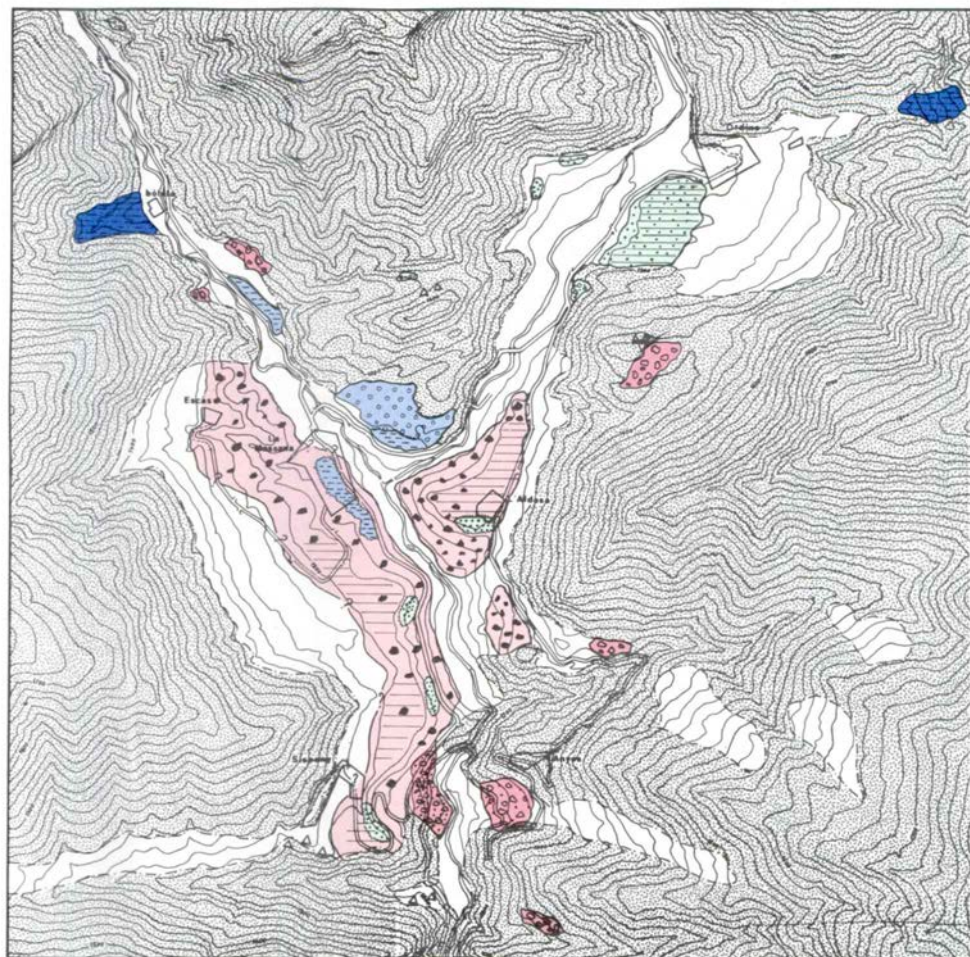
Situació: Està situat a la dreta de la Ctra. General núm. 3, uns quatre-cents metres abans de la població d'Ordino. Correspon a la trinxera de la carretera.

Altitud: 1.270 m.

Substrat: Zona de contacte entre els esquists negres argilo-carbonosos del Silurià i els calcosquists del Devonian.

Descripció: La trinxera de la carretera on es troba l'aflorament té una longitud considerable, aproximadament uns dos-cents metres. En el tall de la carretera, d'un gruix d'uns sis metres, podem diferenciar els materials de la part inferior dels de la superior.

MAPA DE FÀCIES DEPOSICIONALS DELS SEDIMENTS D'ORIGEN GLACIAL DE LA MASSANA-ORDINO (ANDORRA)



0 500 1000 m

Equidistància de les corbes 20m

SÍMBOLS DEPOSICIONALS

MAPA III

Dipòsits d'ambient glacial

-  till basal
-  till lateral
-  till d'obturgació
-  blocs erràtics

Dipòsits d'ambient glàcio-fluvial

-  subglacial: de torrent
-  proglacial: d'"outwash"

Dipòsits d'ambient glàcio-lacustre

-  } proglacial - deltaic
-  } - de llac
-  juxtaglacial: de llac

ALTRES SÍMBOLS

-  dipòsits quaternaris no glacials indiferencials
-  sòcol paleozoic
-  nivell d'"outwash"
- límit de les formacions glacials
- límit visible del dipòsit
- contacte Quaternari/Paleozoic

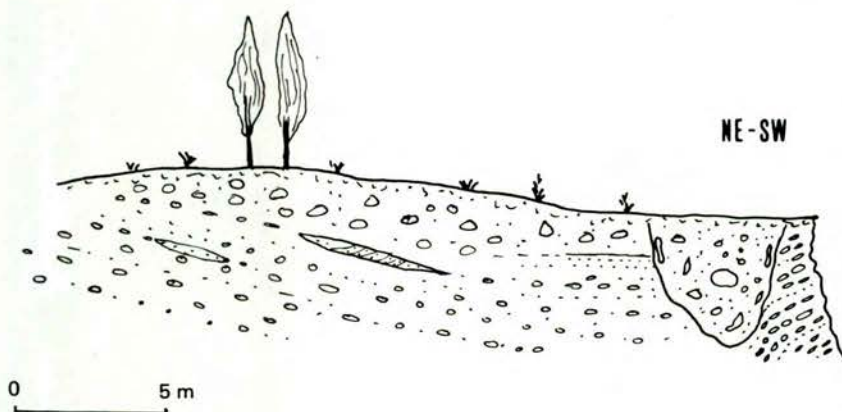


Fig. 17. Secció dels dipòsits glàcio-fluvials d'Ordino. Observeu la deformació de les graves i sorres deguda a un col·lapse per fusió de gel mort (vegeu les fotos 28 i 29).



Foto 27. Vista general del dipòsit d'Ordino. Amb tramat hem marcat el sostre dels sediments, que correspon a l'antic nivell d'"outwash".



Fotos 28 i 29. Aquestes fotografies il·lustren dos aspectes concrets del dipòsit d'Ordino. A dalt podem observar una inclinació en els llits de graves i sorres, i a sota una estructura de col·lapse del dipòsit, produïdes per fusió de gel mort. Compareu amb la fig. 17.

Els de la part inferior presenten un llitatge clar amb una inclinació de 14° al SW (vegeu la fig. 17) que tendeix a horitzontalitzar-se. Els llits corresponen a una alternança de sorres i còdols rodats. La litologia principal dels còdols correspon a esquists i pissarres, minoritàriament hi trobem quarzites i granitoides, aquests últims provinents de les migmatites de Siguer. En els nivells sorrencs, alguns dels quals tenen geometria de llentilla, hom observa estructures de corrent de tipus "ripple". Els nivells més permeables presenten una coloració ocre-vermellosa deguda a una precipitació d'òxids de ferro. A la part superior del tall, no s'hi observa un llitatge clar. La dimensió dels còdols és superior, i hom arriba a trobar-hi algun bloc, malgrat que les condicions d'homometria i litologia del dipòsit són idèntiques que a la part inferior. La matriu de la part superior és areno-argilosa de color gris fosc. En un punt de l'aflorament, la disposició llitada dels materials queda totalment tallada en un sector d'uns tres metres (vegeu la foto 29) per una acumulació de graves i sorres sense cap disposició determinada.

Finalment, és important de remarcar que el sostre d'aquesta formació ens dona una superfície topogràfica horitzontal a la cota 1.280, i tota la formació en conjunt es pot correlacionar amb un petit aflorament de dipòsits molt semblants a l'altre cantó de la vall.

Potència: No n'és visible la base, 6 metres visibles fins al sostre.

Interpretació: Les característiques sedimentològiques del dipòsit són clarament fluvials, bé que el llitatge no horitzontal i tallat bruscament que ens mostra l'esquema de la Fig. 17 no és típic d'aquest medi. Nosaltres interpretem aquestes estructures com d'ensorrament per fusió de gel mort, la qual cosa provocaria un ensorrament brusc del sediment en el lloc ocupat per la massa de glaç i, al mateix temps, un basculament de tot el dipòsit amb la conseqüent inclinació del llitatge. És per tot això que interpretem que aquests dipòsits són d'ambient proglacial i que foren sedimentats en una petita estabilització de la llengua glacial d'Ordino, una mica més amunt de la població. Durant aquest curt període, la zona d'Ordino funcionà com una petita plana d'"outwash", superfície de la qual se'n conserva un petit residu que correspon a l'aflorament descrit i que considerem com una terrassa glàcio-fluvial.

4.2 L'interès paleoambiental d'aquests dipòsits

Com a síntesi de totes les dades recollides en el present capítol, hem volgut confeccionar un mapa que anomenarem "de fàcies deposicionals" (MAPA III). Intentem que s'hi vegi reflectida la significació genètica de cada dipòsit. Hem cartografiat tots els dipòsits quaternaris relacionats

	Nom	Cota sostre	a.n.r.*	potència	materials	estructura	interpretació
1	–	1.220	60 m	40 m (?)	Blocs, graves i sorres	sense llitatge	Morrena de fons
2	La Gonarda	1.420	160 m	7 m	Blocs + matriu areno-argilosa	sense llitatge	Morrena lateral
3	Collet dels Colls	1.370	120 m	2 m	Lutites, sorres i graves	estratif. horitzontal	Glàcio-fluvial de torrent subglacial
4	L'Aldosa	1.290	80 m	60 m	Argiles i blocs Sorres i graves	sense estructures a la base llitatge al sostre	Base - dipòsit morrènic Sostre - glàcio-fluvial d'outwash
5	Sta. Caterina	1.270	50 m	40 m	Sorres i graves	Topset Foreset Bottomset	Formació deltaica
6	La Massana	1.250	30 m	–	Lutites	estrat. horitzontal i rítmica	Glàcio - lacustre
7	Riu de Serrana	1.250	5 m	–	Lutites	estrat. horitzontal i rítmica	Glàcio - lacustre
8	La Bòbila	1.310	–	45 m	Lutites	estrat. horitzontal i rítmica	Glàcio - lacustre
9	Cegudet	1.430	170 m	60 m	Lutites	estrat. horitzontal i rítmica	Glàcio - lacustre
10	Ordino	1.280	30 m	10 m (?)	Sorres i graves	llitatge amb col·lapses	Glàcio-fluvial d'outwash

* altitud sobre el nivell del riu

Fig. 18. Quadre resum dels afloraments (vegeu-ne la situació a la fig. 12)

amb l'existència de gel glacial, tot agrupant-los segons llur medi de sedimentació o deposició molt concret. D'aquests diferenciem aquells dipòsits sedimentats directament per una glacera, tot establint-hi diferenciacions més concretes, i aquells que, bé que no han estat depositats en el si del medi glacial, sí que en reben una influència molt clara, la qual cosa s'aprecia en llurs característiques sedimentològiques. Ens referim a aquells dipòsits on l'aigua ha intervingut com a principal agent sedimentari, ja sigui l'aigua corrent (glàcio-fluvial) o l'aigua estancada (glàcio-lacustre). A dins de cada un d'aquests, també hem pogut fer diferenciacions tenint en compte, per exemple, si el medi de sedimentació és juxtaglacial o bé proglacial.

4.3 Reconstrucció de la història glacial quaternària a les valls de la Valira d'Ordino i d'Arinsal

A partir de totes les dades recollides i exposades en el present treball (mapa geomorfològic, mapa de fàcies deposicionals, estudi i interpretació dels sediments) hem intentat de treure tota aquella informació vàlida per a una reconstrucció dels esdeveniments glacials quaternaris. Volem fer palès el fet de les limitacions a què és sotmesa una reconstrucció paleogeogràfica, en un treball on no ha estat possible d'aplicar unes tècniques de treball que sens dubte ens aportarien dades importants (palinologia, diatòmids, datacions absolutes, etc.). També cal tenir en compte les característiques del medi glacial com a ambient sedimentari molt localitzat en determinats indrets geogràfics i molt sensible a canvis climàtics.

Aclarim aquí que no empremerem pas la terminologia alpina per a les glaciacions quaternàries, car les característiques locals del glacialisme de cada massís o serralada ens demostren, cada dia més, la poca validesa d'emprar uns termes definits en un indret molt diferent del nostre.

A les Valls d'Ordino i d'Arinsal només trobem inicis d'una última i important glaciació. Interpretem, per tant, que les glaceres de l'*últim màxim glacial* s'endugueren els possibles dipòsits heretats de glaciacions anteriors. Dins la darrera glaciació podem diferenciar doncs una fase de *màxim glacial*, seguida d'una fase de *retrocés*. També dins aquest *retrocés* hom pot individualitzar un *moment d'estabilització* de les glaceres d'ambdues valls, seguit de la retirada definitiva de les glaceres. Finalment, en una fase posterior anomenada per d'altres autors com *tardiglacial*, s'originen glaceres rocalloses localitzades en la majoria dels circs glacials.

4.3.1 Últim màxim glacial

Aquesta fase correspon a un moment climàtic fred i humit, on

pràcticament totes les valls del Principat eren ocupades per glaceres de vall molt semblants a les glaceres alpines. Concretament a les valls d'Ordino i d'Arinsal circulaven dues llengües glacials que s'unien a l'indret de La Massana i, tot superant el llinar de Sant Antoni, el glaç confluint amb la glacera de la Valira d'Orient o de Soldeu (vegeu la Fig. 19). És en aquest moment on el Collet dels Colls funciona com a coll de transfluència, i també es produeix l'obturació del llac de Segudet a sobre d'Ordino. Tenint en compte la situació d'aquests dipòsits lacustres, així com la dels dipòsits morrènics de la Gonarda, atribuïble a una resta de la morrena lateral d'aquest màxim glacial, podem calcular un gruix de gel d'uns 160-170 m com a mínim a l'indret d'Ordino. També atribuïm a aquest màxim glacial la morrena de fons retinguda pel llinar estructural de Sant Antoni, l'engorjat del qual interpretem com una gorja subglacial. A la vall de la Valira d'Orient o de Soldeu, la llengua glacial encara és molt més espectacular, car rep llengües afluent de diverses conques d'alimentació glacial. A l'estret d'Engolasters ens ha estat possible de calcular el gruix de glaç tenint en compte la situació de la morrena lateral, i hem obtingut una xifra de 470 m. Cal suposar que aquest gran gruix disminueix quan la llengua s'eixampla dins la cubeta d'Andorra La Vella, però cal considerar també que, en aquesta cubeta, també hi conflueixen d'altres llengües glacials (vegeu la Fig. 19); per tant, hom pot pensar fàcilment en un gruix de glaç de 200 a 300 m.

4.3.2 Fase de petita recessió glacial

Possiblement un petit canvi climàtic, que comportà un augment de les temperatures, afectà les glaceres més petites, obligant-les a retrocedir. Aquest és el cas de les llengües glacials d'Ordino i d'Arinsal, que retrocediren cadascuna fins a una mica més amunt de La Massana, on sembla que s'estabilitzaren durant un període determinat. El canvi climàtic pràcticament no afectà la gran glacera de la Valira d'Orient o de Soldeu. Això és un fet molt important, ja que si tenim en compte el gran gruix de la dita glacera, aquesta és capaç de penetrar parcialment per la vall del Valira del Nord tot obturant la cubeta de la Massana. Aquesta obturació té com a conseqüència una sèrie de fets importants:

1^{er}. Sobreacumulació de material morrènic, que, per raó de l'elevat contingut de matriu argilosa, contribueix favorablement a mantenir l'obturació. Aquest material és el que anomenem "till d'obturació", bé que genèticament cal considerar-lo com un till basall.

2^{on}. La formació d'un llac proglacial d'obturació, instal·lat entre els fronts de les glaceres i el material d'obturació (vegeu la Fig. 20).

3^{er}. El retreballat de tots aquests dipòsits per part de les aigües de fusió provinents dels fronts glacials, amb les conseqüents aportacions de

materials de característiques fluvials. Es tracta d'una petita plana d'"outwash".

També atribuïm a aquesta fase la formació del llac d'obturació lateral de la bòbila d'Arinsal.

Perquè es complissin tots aquests esdeveniments fou necessària una estabilització important de les glaceres durant un temps determinat, tant de la que produïa l'obturació com de les que coexistien amb el llac de La Massana.

4.3.3 Fase de recessió total

Un augment important de la temperatura caracteritza aquesta última fase. Les noves condicions climàtiques obliguen les glaceres a retrocedir. D'aquesta manera desapareix l'obturació de la cubeta de La Massana i, ràpidament, les aigües de fusió de les dues glaceres en retrocés excaven els dipòsits lacustres i d'obturació anteriors, quasi en llur totalitat. La glacera d'Arinsal retrocedeix ràpidament, mentre que la d'Ordino, que té una àrea d'alimentació tres vegades més gran que l'anterior, ho fa més lentament. Això possibilita que les aigües proglacials que transporten gran quantitat de materials, els sedimentin en una zona d'eixamplament de la vall, a l'indret del poble d'Ordino. Aquesta petita plana es convertí en aquells moments en un veritable "outwash".

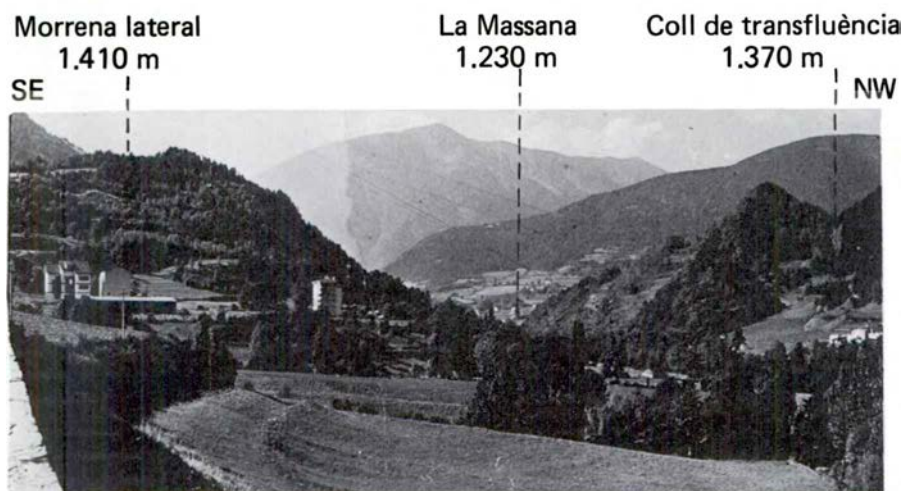


Foto 30. Visió, des de la població d'Ordino, de la situació dels dipòsits glàcio-fluvials del coll de transfluència (vegeu la fig. 12) i de la morrena lateral de La Gonarda (vegeu la foto 13), els quals atribuïm a l'últim màxim glacial.

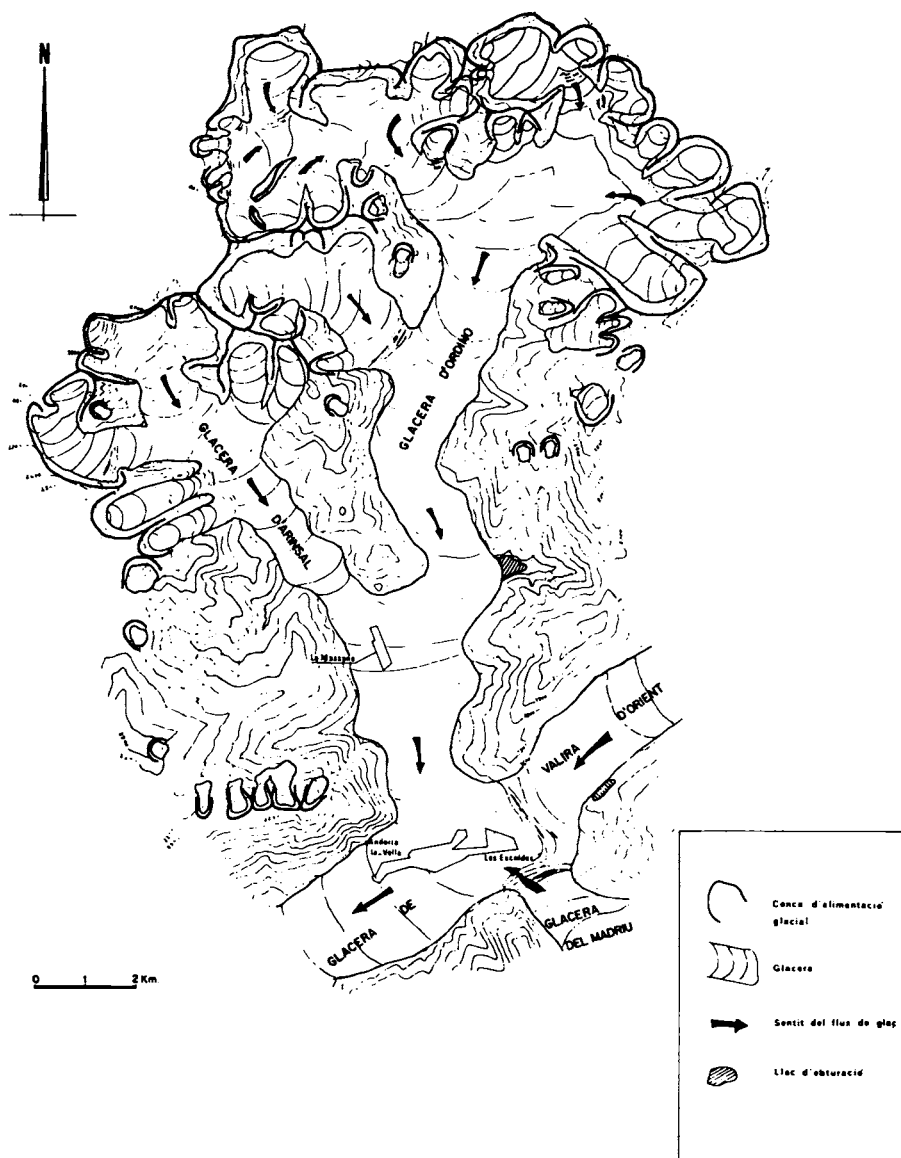


Fig. 19. Aspecte de les valls d'Ordino i d'Arinsal durant l'últim màxim glacial.

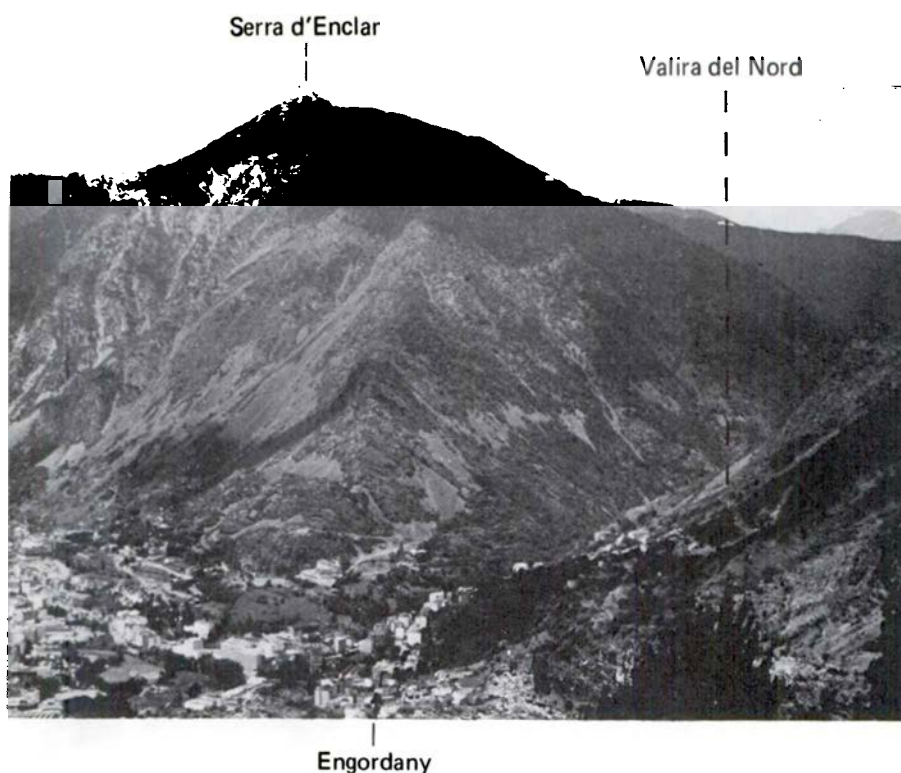


Foto 31. Confluència de la Vall de la Valira d'Ordino amb la de la Valira d'Orient o de Soldeu vista des de l'Ermita de St. Miquel d'Engolasters, situada a sobre de la morrena lateral d'Engolasters (1.488 m) (vegeu les Figures 7 i 19).

Aquesta morrena està 500 m més amunt d'Engordany. Això ens pot donar idea de la magnitud del gruix de glaç durant l'últim màxim glacial, la qual cosa ens ajudarà a entendre les possibilitats d'obturació de la vall de la Valira del Nord per part de la glacera que fluïa per la vall de la Valira d'Orient o de Soldeu.

Finalment, les glaceres, abans de desaparèixer definitivament, queden durant un temps reduïdes a glaceres de circ, de les quals trobem ara restes morrèniques que entapissen els fons dels circs.

4.3.4 Fase postglacial o tardiglacial

Aquesta fase és posterior a l'última glaciació i és caracteritzada, en el Pirineu Oriental, per l'existència de glaceres rocalloses. Aquest problema



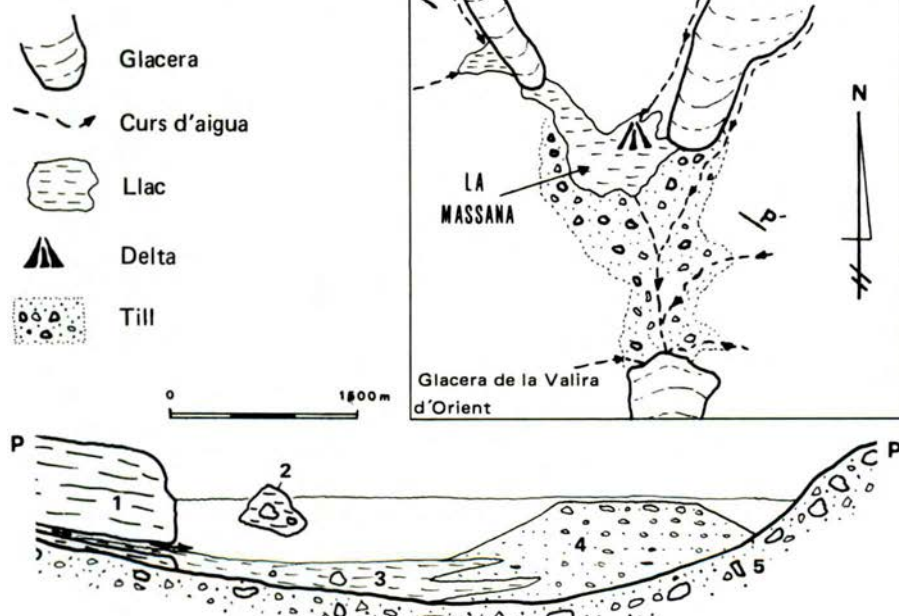
Foto 32. Vista general de la cubeta de La Massana on indiquem (X) les probables restes indicatives d'un antic nivell de plana d'acumulació glàcio-fluvial.

ja ha estat tractat per D. SERRAT (1977-1979), i en aquestes valls andorranes les observacions fetes concorden perfectament amb els estudis de D. SERRAT. Com es veu a les fotos (33-34) una glacera rocallosa és una gran acumulació de gelifractes de mida de gra considerable (< 40 cm), produïdes al peu d'una paret de circ preferentment orientada al Nord. Aquestes formacions poden tenir uns quants quilòmetres de llargada i presenten una disposició en grans arcs o lòbuls, testimoni d'un desplaçament plàstic anterior. El mecanisme de formació d'aquestes glaceres anomenades rocalloses és conegut directament de les existents en l'actualitat, als Alps, al Canadà, etc. Sota un clima fred, però sec, es produeix una acumulació més gran de gelifractes que no pas de glaç. Això origina grans acumulacions de materials gelifractats amb una part de gel intersticial suficient per a donar-los la mateixa plasticitat d'una glacera convencional.

La història dels esdeveniments del Quaternari a partir d'aquest moment canvia radicalment. Havent desaparegut definitivament l'acció glacial de les Valls d'Andorra, són les accions fluvials i torrencials a les valls, i les periglacial i nivals a les parts altes, les que han dirigit els processos morfogenètics fins als nostres dies.

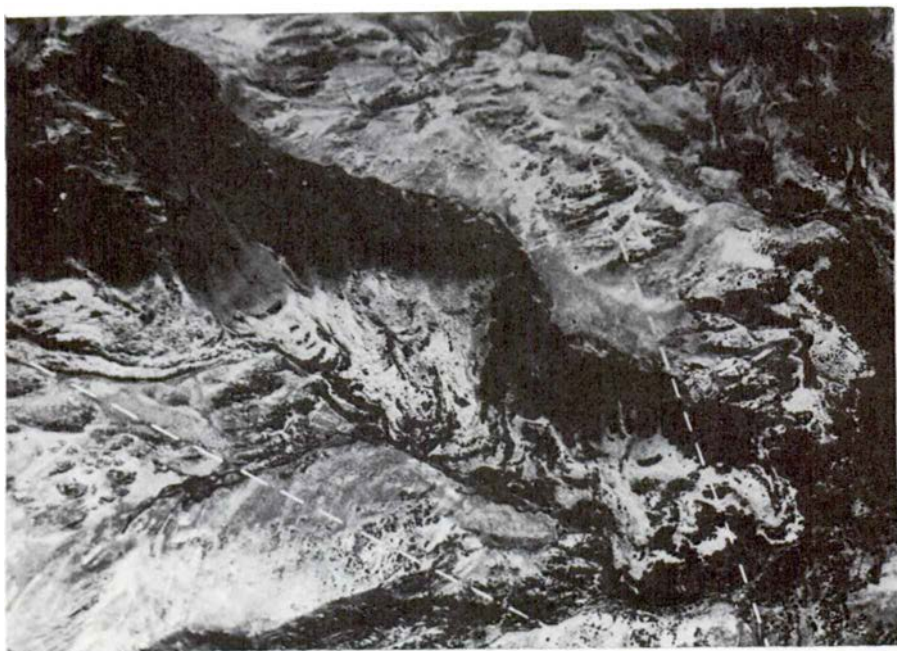


Dibuix de Marta Vilaplana (1981)



→ Corrent subglacial; 1. front glacial; 2. "iceberg" amb material morrènic; 3. lutites lacustres; 4. graves i sorres deltaïques; 5. till.

Fig. 20. Esquema i perfil interpretatiu de l'ambient glàciolacustre de la cubeta de La Massana en un moment d'estabilització de les glaceres de l'últim màxim glacial.



Fotos 33 i 34. Visió aèria de les glaceres rocalloses de La Serrera a dalt, i la de L'Angonella a sota. Ambdues orientades al Nord, que correspon a la part de baix de les fotografies.

5 CONCLUSIONS

Un cop finalitzat l'estudi del glacialisme d'aquestes dues valls del Pirineu andorrà, podem considerar els següents punts:

1^{er}. Establiment d'una interpretació genètica dels sediments d'origen glacial tenint en compte les diferents fàcies deposicionals. D'aquesta manera hom ha pogut reconstruir un model deposicional típic dins l'ambient glacial. Hom hi ha diferenciat dipòsits sedimentats per la glacera (en aquest cas els anomenem "tills") i d'altres dipòsits, també deguts a l'existència del gel glacial, però on l'agent sedimentari principal fou l'aigua de fusió; així tenim els dipòsits glàcio-fluvials i els glàcio-lacustres.

2^{on}. Establiment dels següents esdeveniments de la història glacial, a partir de la interpretació dels sediments:

Durant l'*última glaciació pleistocena* hem pogut establir una *fase de màxim glacial* caracteritzada per l'existència de glaceres de vall típiques, seguida d'una *fase de recessió*. Dins la fase de recessió hem distingit un primer *moment d'estabilització* de les glaceres i el posterior *retrocés total* del gel glacial.

Acabada l'època glacial, en els temps *postglacials* retrobem una fase freda anomenada *Tardiglacial* i caracteritzada per l'existència de glaceres rocalloses en la majoria dels circs, sobretot als orientats al Nord.

5.1 Interès en la continuïtat de l'estudi

La possible aplicació de tècniques d'estudi dels sediments glacials altres que les emprades en el present treball, li donen una continuïtat digna de menció. Creiem que la realització d'anàlisis palinològiques i l'estudi dels possibles diatòmids continguts en els sediments lacustres ens aportarien unes dades de gran vàlua en la reconstrucció paleogeogràfica. També considerem interessant el tractament dels sediments per a establir datacions absolutes.

5.2. Possibilitats de correlació amb altres punts del Pirineu

Aquest punt és francament interessant, com ja ho han demostrat diversos autors, sobretot en el vessant septentrional de la serralada. El present treball estudia com hem vist una àrea molt reduïda i no resol pas, ni ho preté, tots els problemes que planteja el glacialisme a les Valls d'Andorra. Nosaltres creiem que a partir dels resultats obtinguts en aquestes valls del Principat d'Andorra, seria interessant continuar, en la mateixa línia, l'estudi profund de la resta de valls andorranes per arribar a unes conclusions més generals. Un cop fet això seria immediat l'establiment d'una correlació amb els dipòsits de la depressió de la Seu d'Urgell i de les terrasses del Segre. A partir d'aquí i amb unes bases més sòlides que no les que tenim fins ara, seria possible intentar una correlació amb d'altres punts del Pirineu ben estudiats. Naturalment aquesta fita ultrapassa les possibilitats del present treball, i només serà possible d'arribar-hi mitjançant una planificació de la recerca de diversos especialistes, pluridisciplinar i coordinada.

FASE II	Període de retrocés final	PROGLACIAL Glàcio-fluvial d'"outwash" 10 (Ordino)	
	Recessió Glacial	PROGLACIAL Glàcio-fluvial d'"outwash" 4 de llac (La Massana) 6 - 7 (Sta. Caterina) 5 Glàcio-lacustre deltaic	JUXTAGLACIAL Glàcio-lacustre (la Bòbila) 8
FASE I		MARGINAL Till supraglacial SUB-GLACIAL Glàcio-fluvial (Collet dels Colls) 3 2 (La Gonarda) 1 Till basal SUBGLACIAL	JUXTAGLACIAL Glàcio-lacustre (Cegudet) 9
Últim Màxim Glacial			

Fig. 21. Correlació i situació cronològica dels dipòsits de La Massana-Ordino durant l'última Glaciació pleistocena. Les xifres de cada dipòsit corresponen a la numeració dels afloraments inventariats. Les paraules en minúscules defineixen el tipus genètic de sediment i les majúscules la situació de l'ambient sedimentari respecte a les glaceres d'Ordino i d'Arinsal.

6 – BIBLIOGRAFIA

La bibliografia ha estat agrupada en tres apartats. En un primer grup hem ajuntat totes aquelles obres de caràcter general que contenen informació temàtica sobre el glacialisme i la geomorfologia glacial en general o bé fent referència a exemples concrets.

En un segon grup tenim un conjunt de publicacions que estudien aspectes concrets del Pirineu d'Andorra i sectors fronterers, tant en l'aspecte geològic com en el geomorfològic i glaciològic. També s'hi inclouen els treballs que, bé que siguin de caràcter general, fan referència d'alguna manera al glacialisme de les Valls d'Andorra.

Finalment, hem cregut oportú d'agrupar en un altre apartat tota la Cartografia consultada, tant la geològica com la topogràfica, així com la fotografia aèria emprada.

6.1 Bibliografia temàtica

- ALIMEN, H. 1963 – “Grandes lignes de l'histoire glaciaire des Pyrénées de la Bigorre”. *Actes IV^{ème} Congrès INQUA* – Roma – Pisa, t. II, pp. 1032-1042, 2 fig. Roma.
- ALIMEN, H. 1964 – “Le quaternaire des Pyrénées de la Bigorre”. *Mem. Carte. Géol. de la France*, 394 pp. 117 fig. 24 tab. 12 plan. phot. París.
- BENEDICT, J. B. 1973 – “Origin of rock glaciers”. *Journal of Glaciology*, t. 12 (66), pp. 520-522, 6 refs. Cambridge.
- BRUNET, R. 1956 – “Un exemple de la régression des glaciers pyrénéens”. *Pirineos* t. XII, núm. 39-42, pp. 261-284, 6 figs. 4 lam. f.t. Saragossa.
- DYLIKOWA, A. 1957 – “Structural criteria in glacial morphology”. *INQUA, V^o Com. Inst. Madrid* – Barcelona.
- EMBLETON, C. i KING, C. 1975 – “Glacial Geomorphology” *Pbl. Anuald*, Londres T. 1.
- EMBLETON, C. i KING, C. 1975 – “Periglacial Geomorphology”. *Pbl. Anuald*, Londres T. 2.
- FAHNSTOCK, R. K. 1963 – “Morphology and Hydrology of a Glacial Stream - White River, Mont Rainier, Washington”. *Proff. Paper* - 4224 U.S. Geol. Survey, 67 pp. figs. 52, 8 Tabl. Washington.

- GOLDTHWAIT, R. P. 1975 — "Glacial deposits". *Edited by Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Pennsylvania.*
- GORON, L. 1941 — "Le rôle des glaciations quaternaires dans le modelé des vallées maîtresses des Pre-Pyrénées ariégeoises et garonaises et de leur avant-pays". *Edit. Privat*, 400 pp., 56 fig. 15 lam. phot. 6 lam. Tolosa.
- GOURINARD, Y. i BANDET, Y. 1980 — "La morphogénèse des Pyrénées Orientales". In. SOLÉ, L. et SOUQUET, P. "La chaîne alpine des Pyrénées", 26 Congr. Int. Géol., *Bull. Cent. Rech. Expl. Elf-Aquitaine. Mém. 3*, 172-173, Pau.
- GUSTAVSON, T.C.; G. M. ASHLEY i J. C. BOOTHROYD, 1975 — "Depositional sequences in glaciolacustrine deltas". In. A. V. JOPLING & B. C. Mc DONALD. "Glaciofluvial and glaciolacustrine sedimentation, 264-280, *S.E.P.M. Spec. Publ. n.º 23*.
- JAYET, A. 1946 — "A propos de l'âge du maximum glaciaire quaternaire". *Ed. Geol. Helv.*, vol. 38, n.º 2, pp. 458-469, 4 fig., Berna.
- JAYET, A. 1952 — "Quelques caractéristiques peu connues des défets glaciaires pléistocènes et actuels". *Ecl. Geol. Helv.*, 45/2, pp. 287-293, Berna.
- JAYET, A. 1955 — "Le problème fluvio-glaciaire". *Geographica helvetica*, t. 3, pp. 152. Berna.
- JAYET, A. 1957 — "Sur l'origine du caractère arrondi des galets glaciaires et fluvio-glaciaires". *Ed. Geol. Helv.*, 50/2, pp. 504, 5 fig. Berna.
- JAYET, A. 1958 — "Remarques sur la composition, la structure, les déformations mécaniques des moraines glaciaires pléistocènes et actuelles". *Ed. Geol. Helv. LI*, pp. 341-354, 10 fig. Berna.
- LÉGENDE 1970 — Pour la carte géomorphologique de la France au 1:50.000, C.N.R.S., 78 pp., Paris.
- LLIBOUTRY, L. 1964 — "Traité de Glaciologie". 2 T. — 1040 pp. Paris.
- JOPLING, A.V. i BARRIE C. Mc. DONALD 1975 — "Glaciofluvial and Glaciolacustrine sedimentation". *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists n.º 23*. Tulsa Oklahoma (recull de 14 treballs sobre el tema).
- PANZER, W. 1932 — "Die eiszcitlichen Endmoränen von Puigcerdà (Ostpyrenäen)". *Zeitschr. f. Glets-cheik*. Berlín. Traducció de Ll. Solé "Geleres quaternaries dels Pirineus". Butll. C.E.C., t. XLIV, pp. 153-162, 1 fig. Barcelona (1934).
- PORTMANN, J. P. 1956 — "Les méthodes d'étude pétrographique des dépôts glaciaires". *Geol. Rundt*, t. 54, pp. 411-453, 2 fig.
- REINECK, SINGH. 1973 — "Depositional Sedimentary Environments". *Springer-Verlag*. Nova York.
- ROMANOVSKY, U. i CALLIEUX, A. 1953 — "La glace et les glaciers". *Coll. "que sais-je?", Pres. Univ. France*, 120 pàg., 20 fig. Paris.
- SCHLÜCHTER, CH. 1977 — "Grundmoräne versus Schlammmoräne — two types of lodgement till in the Alpine Foreland of Switzerland". *Boreas*, vol. 6, pp. 181-188, Oslo.
- SERRAT, David 1973 — "Morfología glacial y periglacial del Pirineo Oriental". Tesi de Llicenciatura. Facultat de Ciències de la Universitat de Barcelona (inèdita).

- SERRAT, David 1977 – “Estudio Geomorfológico del Pirineo Oriental” (Puigmal-Costabona). Tesi Doctoral. Dpt. Geomorfologia. Universitat de Barcelona (inèdita).
- SERRAT, D. 1979 – “Rock glacier morainic deposits in the eastern Pyrenees”. In. SCHLÜCHTER, Ch. ed.: “Moraines and varves. Origin, genesis, classification.” pp. 93-100, A. A. Balkema, Rotterdam.
- TAILLEFER, F. 1977 – “Le glacier de l'Ariège dans le bassin de Tarascon”. *Revue Géographique des Pyrénées et Sud-Ouest*, T. 48 fas. 3, pp. 269-286. Tolosa.
- TAILLEFER, F. 1971 – “Notes bibliographiques. Le relief des Pyrénées Centrales Franco-Espagnoles d'après les travaux de M. Pierre Barrère”. *Revue Géographique des Pyrénées et Sud-Ouest*, T. 42 pp. 133-137. Tolosa.
- TANNER, W. F. 1965 – “Cause and development of an ice age”. *The journal of Geology*, vol. 73, n.º 3.
- TRICART, J. 1956 – “Accumulation glaciaire, fluvioglaciaire et periglaciaire. L'Exemple de La Durance”. *Act. W. Cen. Int. Quaternaire* t. I-II, pp. 48-56. Roma.
- TRICART, J. 1965 – “Principes et méthodes de la Géomorphologie”. *Masson et Cie*. pp. 496, 35 fig. 8 plan. 1 mapa. París.
- TRICART, J. 1969 – “Le modelé glaciaire et nival”. *Traité de géomorphologie*. T III. SEDES. París.
- TRICART, J. 1969 – “Le modelé periglaciaire”. *Traité de Géomorphologie*. T II. SEDES. París.
- VEDRUNA, J. M. de; 1956 – “Caracteres generales del glaciario pirenaico”. *Ibérica 2.ª época* t-23. n.º 329, pp. 380-382 y 397, 2 fot. Barcelona.
- VEDRUNA, J. M. de; 1956 – “Características de los glaciares del Macizo de la Maladeta”. *Ibérica 2.ª época* t-24. n.º 334, pp. 109-113 y 117, 3 fig. Barcelona.

6.2 Bibliografía específica

- ALIMEN, M.; SOLÉ SABARÍS, L.; VIRGILI, C. 1957 – “Comparaison des formations glaciaires des versants N et S des Pyrénées”. *Rés. Com V^{ème} Congrès INQUA*. Madrid-Barcelona.
- BARRÈRE, P. 1957 – “Corrélations des fronts glaciaires et des terrasses fluviales a N et S des Pyrénées Centrales”. *Rés. Com. INQUA* p. 17. Madrid - Barcelona.
- BIROT, P. 1937 – “Recherches sur la morphologie des Pyrénées Orientales franco-espagnoles”. *Edit. J. B. Baillière*. 318 pp. 65 f. París.
- BIROT, P.; GUITARD, G. 1971 – “Observations sur le relief de socle hercynien des Pyrénées Orientales”. *R.G.P. et S.O.*, 42-1, pp. 5-30. Tolosa.
- BOISSEVAIN, H. 1934 – “Étude géologique et géomorphologique d'une partie de la haute vallée du Segre”. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*. T. LXVI, pp. 32-170. 27 fig. 1 mapa. Tolosa.
- BUTZER, K. W.; FRANZLE, O. 1959 – “Observations on Pre-Würm glaciations on the Iberian Peninsula”. *Ztschr. f. Geomorph.* N. F., Bol. 3. Berlín.
- CAMPÀS, L. 1979. “Els llacs i els estanys”. In. FOLCH, R.: “El Patrimoni Natural d'Andorra”. pp. 223-254, Ketres editora, Barcelona.

- CHEVALIER, M. 1906 — "Sur les glaciers pléistocènes dans les vallées d'Andorre et dans les hautes vallées espagnoles environnantes". *C. R. Acad. Sciences*, t. 142, pp. 662-910. París.
- CHEVALIER, M. 1907 — "Les glaciers pléistocènes dans les vallées d'Andorre". *Rev. Scientif.* (5), VII n.º 26, pp. 501. París.
- CHEVALIER, M. 1908 — "Le quaternaire dans les Pyrénées catalans". *Imp. J. Horta*, 24 pp. 20 fig. Barcelona.
- CHEVALIER, M. 1924 — "Contribution à l'étude des Pyrénées. Note sur les terrains Neogènes des Vallées du Valire". *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.* t. XXIV, pp. 177-190, 3 fig. Barcelona.
- CHEVALIER, M. 1924 — "Les Valls d'Andorra". *Bull. Centre Exc. Catal.* t. XXXIV, n.º 354, pp. 213-239, 3 fig., 4 lam. Barcelona.
- CHEVALIER, M. 1925 — "Andorra". *Libr. Dardel* 106 pp. 24 lám. 5 gráf. Chambéry.
- CHEVALIER, M. 1926 — "Essai sur la physiographie de la Catalogne. Les formes topographiques et leurs relations avec la structure géologique. Leur évolution pendant les temps quaternaires". *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.* t. XXVI, pp. 25-41, 14 fig., 1 lám. Barcelona.
- CHEVALIER, M. 1933 — "Structure du versant méridional des Pyrénées orientales et centrales". *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.* Vol. XXXIII, pp. 262-291, 8 fig. Barcelona.
- DALLONI, M. 1930 — "Étude géologique des Pyrénées Catalanes". *Ann. Fac. Soc. Marseille*, T. XXVI, Fasc. III, 1 vol. 373 pp., 65 fig., 12 lám., 1 mapa. Alger.
- DERAMOND, J.R. MIROUSE i J. C. SOULA 1971 — "Déformations hercyniennes, superposées dans la vallée de la Valira Orientale (Pyrénées andorranes)". *C. R. Comm. Soc. Géol. Fr.* pp. 123-125, 1 fig. París.
- FONTBOTÉ, J. M., SOLÉ SABARIS, L., ALIMEN, H. 1957 — "Livret guide de l'excursion N. PYRÉNÉES". *INQUA, V^{ème} Com. Inter.* 107 pp. Madrid - Barcelona.
- HARTEVELT, J. J. A. 1970 — "Geology of the Upper Segre and Valira Valleys, Central Pyrénées, Andorra, Spain". *Leidse. Geol. Mededelf.* Deel 45, pp. 167-236, 67 fig., 5 hoj. pleg. f.t. Leiden.
- LLOBET, S. 1947 — "El medio y la vida en Andorra" (estudio geográfico). *C.S.I.C. Inst. Juan Sebastián Elcano — Estación de Estudios Pirenaicos*. Barcelona.
- LLOPIS LLADÓ, N. 1951 — "Andorra. Valira d'Ordino..." *Ed. Alpina*, 48 pp., 1 mapa pleg. f.t. Granollers.
- LLOPIS LLADÓ, N. 1954 — "Andorra. Baix Valira". *Ed. Alpina*, 24 pp., 1 mapa pleg. f.t. Granollers.
- LLOPIS LLADÓ, N. 1965 — "Sur le Paléozoïque inférieur de l'Andorre". *Bol. Sec. Géol. de France*, 7^{ème} Série, t. VII, pp. 652-659, 6 fig. París.
- LLOPIS LLADÓ, N. 1966 — "Sobre la estratigrafía del Silúrico de Andorra y el límite Silúrico-Devónico". *Rev. Pirineos* 81-82. Actas V Congres. Intern. Est. Pir. Jaca. Pamplona.
- LLOPIS LLADÓ, N. 1966 — "Sur le Dévonien du synclinorium de Cassamanya (Andorre, Pyrénées Orientales)". *C. R. Soc. Géol. France* (Fasc. 1 - Janvier 1966), pp. 27-28, 1 carte. París.

- LLOPIS LLADÓ, N. 1969 — “El Devónico de Andorra”. *Mem. de la Real Acad. de Ciencias y Artes de Barcelona*. 3.^a época n.º 738, Vol. XXXIX, n.º 7, pp. 214-290, 26 fig. 4 lám. 2 mapas. Barcelona.
- LLOPIS LLADÓ, N. 1969 — “Geología de los valles de Andorra” (inèdit).
- NUSSBAUM, F. 1934 — “Die Seen der Pyrenäen”. *Mitt. der Naturforsch. Gesellsch.* 180 pp., tables 7, fig. 20, Berna.
- NUSSBAUM, F. 1946 — “Orographische und morphologische Untersuchungen in der östlichen Pyrenäen”. *Jahresb. Geogr. Gess. Bern*, Bd. XXXV-XXXVI, 345 pp., 94 fig., 4 lám., fot. Berna.
- PENCK, A. 1883 — “Die Eiszeit in der Pyrenäen”. *Erdk. Leipzig*. Trad. Francesa per L. B. “La période glaciaire dans les Pyrénées”. *B.S.M.N.* t. XIX, pp. 105-200. Tolosa (1885).
- PUIGDEFABREGAS, C.; D. SERRAT i J. M. VILAPLANA. 1979 — “El medi geològic”. In.: FOLCH, R.: “El Patrimoni Natural de les Valls d’Andorra”, pp. 15-40, Ketres editora, Barcelona.
- SANTANACH, P. 1972 — “Sobre una discordancia en el Paleozoico inferior de los Pirineos Orientales”. *Acta Geol. Hisp.* Año VII, n.º 5. Septiembre-October 1972, pp. 129-132. Barcelona.
- SERRAT, D. i J. M. VILAPLANA. 1979. “El relleu i la xarxa hidrogràfica”. In. FOLCH, R. “El Patrimoni Natural de les Valls d’Andorra.”, pp. 41-53, Ketres editora, Barcelona.
- SERRAT, D.; J. M. VILAPLANA i C. MARTÍ (1983) “Some depositional models of glaciolacustrine environment in the South Pyrenees”, en: “EVENSON, RABASSA & SCHLUCHTER: *Tills and Related Deposits*, pp. 231-244, Balke-ma Ed. Rotterdam.
- SOLÉ SABARÍS, L. 1936 — “Els llacs dels Pirineus segons Nussbaum”. *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.* Vol. XXXVI, 2.º trim., pp. 107-115. Barcelona.
- SOLÉ SABARÍS, L. i LLOPIS LLADÓ, N. 1944 — “Estudios geológicos en el alto valle del Segre”. *Revista Ilerda*, II.
- SOLÉ SABARÍS, L. 1951 — “Los Pirineos. El medio y el hombre”. *Biblioteca española de Cult. General* t. 8, 627 pp. Barcelona.
- SOLÉ SABARÍS, L. 1958 — “Geografia de Catalunya”. *Ed. Aedos*. t. I, 666 pp. Barcelona.
- TAILLEFER, F. 1957 — “Glaciaire Pyrénéen. Versant Nord et versant Sud”. *Rev. Géog. Pyr. et Sud-Ouest*. t. XXVIII, pp. 221-224, 8 fig. Tolosa.
- TAILLEFER, F. 1967 — “Le Néoglaciale Pyrénéen”. *Mélanges géogr. Omer. Tulip-pe*. I liège, Edit. J., pp. 134-138, 4 phot., 2 fig., 2 tbl. Gembloux. Duculot.
- TAILLEFER, F. 1967 — “Extent of pleistocene glaciation in the Pyrenees”. *Artic and Alpine Environments*. H. E. Wright W. H., Osburn, Ed. pp. 255-266, 2 fig., 2 tabl. Indiana - University Press.
- TAILLEFER, F. 1969 — “Les glaciations des Pyrénées”. *Études françaises du Quaternaire*, Présentées: VIII Cong. Inter. de l’INQUA, París. *Supp. au Bull. Assoc. Fr. Étude Quatern.* pp. 19-32, 1 tabla. París.
- TAILLEFER, F. 1974 — “Les conditions locales de la glatiation pyrénéenne”. *Res. Com. VII, Com. Int. Est. Pu., Seu d’Urgell*. pp. 44. Jaca.

- THOS Y CODINA, S. 1885 – “Reconocimiento físico, geológico y minero de los valles de Andorra”, 2.^a ed. 52 pp. Barcelona.
- VERSPYCK, G. W. 1965 – “The geology and petrology of the Arties-Siguer Valira North valleys, Aston-Hospitalet Massif (France-Andorra)”. *Leidse Geologische Mededelingen*, deel 33, pp. 257-318.
- VILAPLANA, J. M. i SERRAT, D. 1979 – “Els dipòsits d'origen glacial de la cubeta de La Massana-Ordino/Andorra: llur significació paleo-geogràfica.” *Acta Geol. Hisp.* Vol. XIV homenatge al Dr. L. Solé i Sabarís, p. 433-440, Barcelona 1982.
- ZWART, H. J. 1965 – “Geological map of the Paleozoic of the Central Pyrenees”. Sheet 6, Aston, France, Andorra, Spain, 1/50.000 *Leid. Geol. Mededel.* Deel 33, pp. 191-254, 31 fig., 1 full Cart., 1 full map. f.t. Leiden.

6.3 Cartografia

- BÉCAT, J. 1978 – “Mapa geomorfològic del sector Casamanya, Ensegur, Coma Obaga”. E. 1/15.000 *Institut d'Estudis Andorrans*. Grup de Geografia - Botànica. Perpinyà.
- BERTRAND, C. 1912 – “Carte Géologique de l'Hospitalet”. E. 1/80.000. Publiée par le Dépôt de la Guerre.
- FONTARGENTE – Fulla n.º XXI-49 del mapa topogràfic de França. E. 1/50.000. *I.G.N.* París 1970.
- FOTOGRAFIES AÈRIES – Escala aprox. 1:33.000, vol francès exclusiu per la zona de l'Hospitalet - Andorra 1948.
- FOTOGRAFIES AÈRIES – Escala aprox. 1:25.000, vol francès, Fulla de Fontargente /300, 1971.
- HARTEVELT, J. J. A. 1970 – “Geology of the upper Segre and Valira valleys, Central Pyrénées. Andorre, Spain”. Mapa E. 1/50.000 Leiden. *Leidse. Geol.*
- LLOPIS LLADÓ, N. i SOLÉ SABARÍS, L. 1947 – “Mapa Geològic de Andorra”. *Inst. Estudios Ilerdenses*. Lleida. E: 1/50.000.
- LLOPIS LLADÓ, N. 1964 – “Andorra i sectors fronterers de l'Alt Urgell i Cerdanya”. 1 Mapa topogràfic E. 1/40.000. *Ed. Alpina*. Granollers.
- LLOPIS LLADÓ, N. 1969 – “Mapa de Andorra”. Geològic. Escala 1/25.000, 5 fulls. *Cuadernos de Geol. Ibérica*, t. 1.
- PUIGDEFÀBREGAS, C.; SERRAT, D.; VILAPLANA, J. M. 1979 – “Litologia i Geomorfologia de les Valls d'Andorra”. E: 1/50.000. Mapa adjunt a l'Estudi del Patrimoni Natural de les Valls d'Andorra. *Ed. Ketres*. Barcelona.
- VALLS D'ANDORRA 1976 – Mapa topogràfic. E. 1:10.000, Fulls. n.ºs 9 i 10. Treballs Públics del M. I. Consell General. Andorra-la-Vella.
- VALLS D'ANDORRA 1976 – Mapa topogràfic. E. 1:50.000, Treballs Públics del M. I. Consell General. Andorra-la-Vella.
- ZWART, H. J. 1965 – “Geological map of the Paleozoic of the Central Pyrenees”. Sheet 6, Aston, France, Andorre, Spain. Escala 1:50.000. *Leid. Geol. Mededel.* Deel 33. Leiden.

TAULA

1.— INTRODUCCIÓ

1.1.— Objectius de l'estudi	5
1.2.— Mètode de treball	5
1.3.— Situació geogràfica i geològica de la zona estudiada	6
1.4.— Antecedents històrics	8
1.4.1.— Antecedents fins a Chevalier	9
1.4.2.— Antecedents des de M. Chevalier fins al Congrès de l'INQUA de 1957 i l'escola de Tolosa	11
1.4.3.— Treballs actuals	15

2.— CARACTERÍSTIQUES GEOLÒGIQUES DEL SUBSTRAT ANDORRÀ

2.1.— Descripció dels materials de la zona	17
2.1.1.— Materials del Precambrià-Cambrià	17
2.1.2.— Materials del Cambrià-Ordovicià molt metamorfosats ..	17
2.1.3.— Materials del Cambrià-Ordovicià poc metamorfosats ..	17
2.1.4.— Materials del Silurià	18
2.1.5.— Materials del Devonian	18
2.1.6.— Materials del Carbonífer prehercinià	19
2.1.7.— Materials d'origen intrusiu	19
2.2.— Estructura general	19

3.— GEOMORFOLOGIA

3.1.— Formes d'origen glacial	23
3.1.1.— Formes d'erosió	23
3.1.1.1.— Cirs glacials	23
3.1.1.2.— Cubetes de sobreexcavació glacial	23
3.1.1.3.— Valls glacials	26
3.1.1.4.— Colls de transfluència	30
3.1.1.5.— Crestes i pics	30
3.1.1.6.— Micromodelat del llit glacial	30
3.1.2.— Formes d'acumulació	30
3.1.2.1.— Dipòsits de circ	32
3.1.2.2.— Dipòsits de vall	32

3.2.—	Les formes d'origen periglacial i nival	32
3.2.1.—	Gelivació	34
3.2.2.—	Gelifluxió	34
3.2.3.—	Criotorbació	34
3.2.4.—	Canals i cons d'allaus	36
3.3.—	Formes d'origen fluvial i torrencial	36
3.4.—	Altres formes	37
3.5.—	Cronologia de les principals formes del relleu andorrà	39
3.5.1.—	El relleu preglacial	39
3.5.2.—	El relleu glacial	39
3.5.3.—	El relleu tardiglacial	40
3.5.4.—	El relleu postglacial	40
3.5.5.—	Els ambients lacustres actuals	41
4.—	ELS DIPÒSITS QUATERNARIS D'ORIGEN GLACIAL DE LA MASSANA-ORDINO	
4.1.—	Característiques dels dipòsits	43
4.1.1.—	Aflorament núm. 1 — Sispony	45
4.1.2.—	Aflorament núm. 2 — La Gonarda	45
4.1.3.—	Aflorament núm. 3 — Collet dels Colls	45
4.1.4.—	Aflorament núm. 4 — L'Aldosa	48
4.1.5.—	Aflorament núm. 5 — Gravera de Santa Caterina	50
4.1.6.—	Aflorament núm. 6 — La Massana	51
4.1.7.—	Aflorament núm. 7 — Riu de Serrana	57
4.1.8.—	Aflorament núm. 8 — La Bòbila	57
4.1.9.—	Aflorament núm. 9 — Barranc de Cegudet	59
4.1.10.—	Aflorament núm. 10 — Ordino	62
4.2.—	L'interès paleoambiental d'aquests dipòsits	65
4.3.—	Reconstrucció de la història glacial quaternària a les valls de la Valira, d'Ordino i d'Arinsal	67
4.3.1.—	Últim màxim glacial	67
4.3.2.—	Fase de petita recessió glacial	68
4.3.3.—	Fase de recessió total	69
4.3.4.—	Fase postglacial o tardiglacial	71
5.—	CONCLUSIONS	
5.1.—	Interès en la continuïtat de l'estudi	75
5.2.—	Possibilitats de correlació amb altres punts del Pirineu	76
6.—	BIBLIOGRAFIA	
6.1.—	Bibliografia temàtica	77
6.2.—	Bibliografia específica	79
6.3.—	Cartografia	82

ACABAT D'IMPRIMIR
A ROMARGRAF, S.A.,
DE L'HOSPITALET DE LLOBREGAT
EL DIA 9 DE JULIOL DE 1984

