

## Els dipòsits d'origen glacial de la cubeta de La Massana-Ordino (Andorra): llur significació paleogeogràfica

per Joan Manuel VILAPLANA i David SERRAT

Departament de Geomorfologia, Universitat de Barcelona.

### ABSTRACT

This paper deals with the Quaternary glacial history of the NW part of Andorra starting from the sedimentological study of the important complex of glacial deposits located near La Massana and Ordino.

We have distinguished different depositional facies: juxtaglacial, subglacial and proglacial environments with till, glaciofluvial and glaciolacustrine sediments. Their detailed study and interpretation makes us think that these materials are attributable to different stages of the last glacial period. There was a maximum glacial stage with a subsequent retreat stage interrupted by a temporal stabilization of the glacial tongues in Arinsal and Ordino valleys.

### RESUMEN

A partir del estudio sedimentológico de un importante complejo de depósitos de origen glacial, localizados en los alrededores de las poblaciones de La Massana y de Ordino (Principado de Andorra), se ha reconstruido la historia glacial cuaternaria del sector NW de Andorra.

Se han diferenciado distintas facies deposicionales de ambiente yuxtaglacial, subglacial y proglacial, donde se han definido depósitos de till, depósitos glaciofluviales y glaciolacustres. Con su detallado estudio e interpretación se ha llegado a establecer que todos estos materiales son atribuibles a diversas pulsaciones de la última fase glacial, pudiéndose concretar un máximo glacial, con una posterior fase de retroceso interrumpida por una estabilización temporal de las lenguas glaciales de los valles de Arinsal y de Ordino.

### INTRODUCCIÓ

L'estudi és centrat en la part més occidental del Principat, concretament a les valls d'Ordino i d'Arinsal. Aquestes valls, d'una orientació conseqüent Nord-Sud, drenen dues conques hidrogràfiques de desiguals dimensions, 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.

L'àrea esmentada es troba situada dins de 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, i han estat l'objecte de diversos estudis Llopis i Solé (1947); Zwart (1965); Llopis (1969) i Puigdefàbregas et al. (1979). Aquests materials paleozoics són el substrat dels sediments quaternaris, majoritàriament d'origen glacial, que constitueixen l'objecte central del nostre estudi.

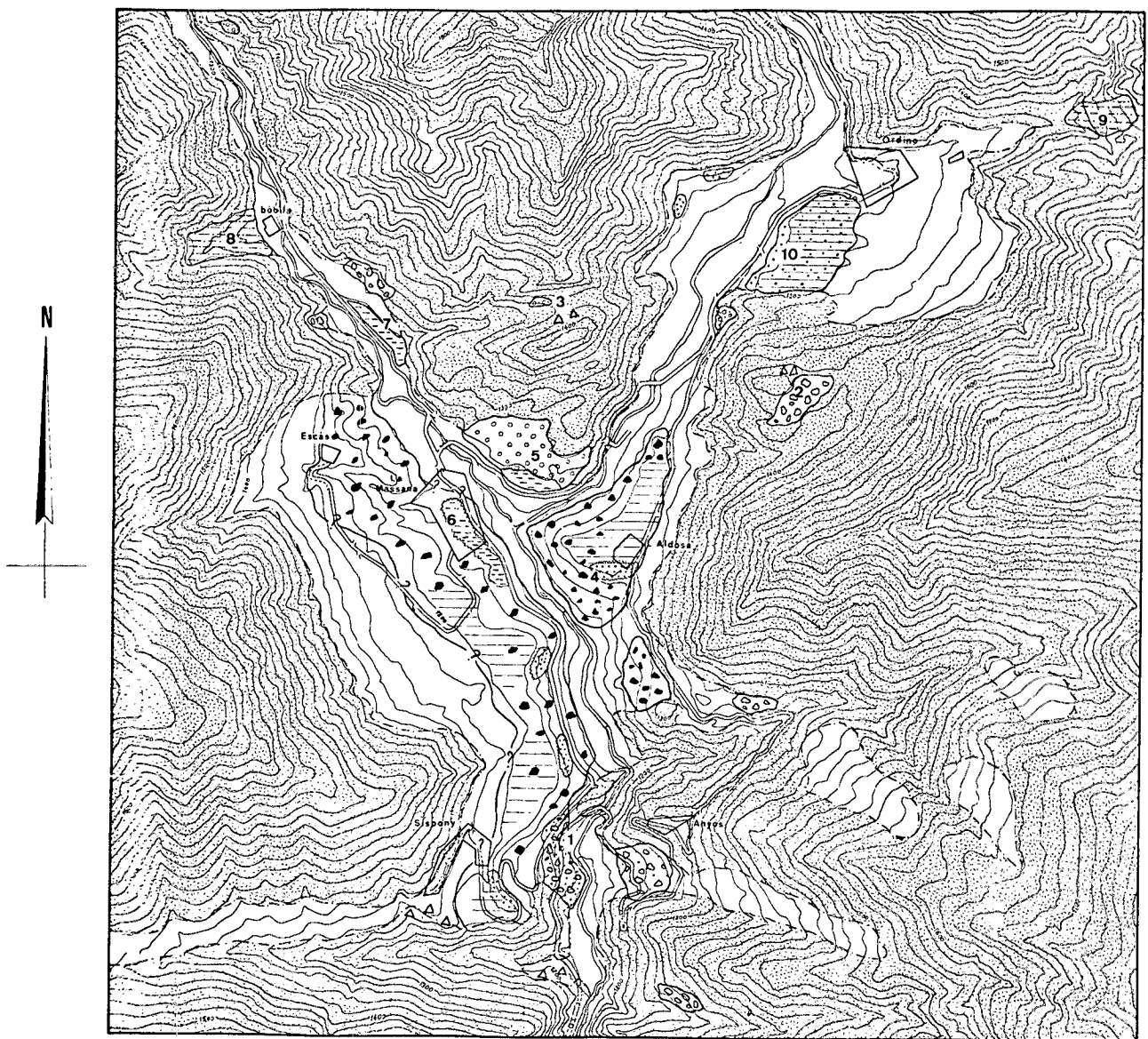
### Antecedents històrics

Penck, al 1883, en la seva gran obra *Die Eiszeit in den Pyrenäen*, cita per primera vegada l'existència de glaceres típiques de vall en el Principat d'Andorra durant els temps quaternaris. Ja en el nostre segle, Chevalier (1906, 1907, 1924, 1925) estudia exhaustivament el glaciariisme de les Valls d'Andorra, tot establint-hi tres glaciacions: atribueix la primera al Sicilià; la segona, que seria l'època del màxim glacial, al Riss; i la darrera que afectaria solament les zones més elevades del Principat, al Würm. Llobet (1947) fa esment per primera vegada dels dipòsits de la cubeta de La Massana.

Es en el Vè Congrés de l'INQUA del 1957 on Alimen et al. i Fontboté et al. donen per primera vegada una interpretació d'aquests dipòsits, diferenciant dues morrenes würmianes i uns dipòsits lacustres corresponents a un interstadial d'aquesta darrera glaciació. Com a resultat d'aquest Congrés Taillefer (1957) fa unes apreciacions sobre l'ambient diposicional dels sediments de La Massana. Més recentment Serrat i Vilaplana (1979), cartografiem tots aquests dipòsits glacials en un mapa geomorfològic a 1:50.000 de les Valls d'Andorra, inclòs i comentat en el llibre adjunt: *El patrimoni natural d'Andorra*.

### L'INTERÈS PALEO-AMBIENTAL DELS SEDIMENTS DE LA MASSANA-ORDINO

Com a síntesi de l'estudi dels dipòsits d'origen glacial hem confeccionat un mapa que anomenem de *facies diposicionals* (fig. 1). Hem cartografiat tots els dipòsits quaternaris relacionats amb l'existència de gel glacial, tot agrupant-los segons llur medi de sedimentació o diposició concret. D'aquests diferenciem aquells dipòsits sedimentats directament per una glacera, tot establint-hi diferenciacions més concretes, i aquells que, encara que no han estat sedimentats en el si del medi glacial, sí que en reben una influència molt clara, com queda demostrat en llurs característiques sedimentològiques. Ens referim als dipòsits on l'aigua ha intervingut com a principal agent sedimentari, ja sigui l'aigua corrent (glaciofluvial) o l'aigua estancada (glacio-lacustre). Dintre de cada un d'aquests, també hem pogut fer diferenciacions tenint en compte, per exemple, si el medi de sedimentació és juxtaglacial o bé pro-glacial.



JOAN MANUEL VILAPLANA, • OCTUBRE 1979

**Fig.1 . MAPA DE FÀCIES DIPOSICIONALS  
DELS SEDIMENTS D'ORIGEN GLACIAL  
DE LA MASSANA - ORDINO (ANDORRA)**

0 500 1000 m  
Equidistància de les corbes 20m

En la fig. 2 hem resumit les característiques principals dels afloraments que hem seleccionat com a més representatius, tant per llurs característiques sedimentològiques com per llur significat paleogeogràfic. I a continuació passem a exposar esdeveniments del Quaternari glacial en aquestes valls, tot relacionant-ho amb els dipòsits que ens donen la informació de cada moment i fet concret.

**RECONSTRUCCIÓ DE LA HISTÒRIA GLACIAL  
QUATERNÀRIA A LES VALLS DE LA VALIRA  
D'ORDINO I DEL RIU D'ARINSAL**

En les Valls d'Ordino i d'Arinsal només trobem indicis 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. Dintre de la darrera glaciació podem diferenciar, doncs, una fase de màxim glacial, seguida d'una fase de retrocés. També dintre d'aquest retrocés es 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 tardi-glacial, se'ns originen glaceres rocoses localitzades en la majoria dels circs glacials.

### 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 actuals. Concretament a les valls d'Ordino i d'Arinsal hi circulaven dues llengües glacials que s'unien a l'indret de La Massana i tot superant el llindar de Sant Antoni el glaç conflua amb la glacera de la Valira d'Orient o de Soldeu (veure fig. 3). És en aquest moment quan el Collet dels Colls funciona com a coll de transfluència, on hi trobem sorres i graves glacio-fluvials sedimentats per un corrent sub-glacial (aflorament n.º 3, fig. 1). També es produeix en aquest moment l'obturació del riu de Casamanya, a l'indret de Segudet, produint-se un ambient lacustre del que trobem restes en unes lutites grises amb laminació horitzontal (aflorament n.º 9, fig. 1).

Tenint en compte la situació d'aquests dipòsits lacustres, així com 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 llindar estructural de

Sant Antoni (aflorament n.º 1, fig. 1), l'engorjat del qual interpretem com una gorja subglacial. A la vall de la Valira d'Orient o de Soldeu, la llengua glacial és encara molt més espectacular, ja que rep llengües afluentes de diverses conques d'alimentació glacial. A l'estret d'Engolasters ens ha estat possible calcular el gruix de glaç tenint en compte la situació de la morrena lateral, i n'hem obtingut una xifra de 470 m. És de suposar que aquest gran gruix disminueix quan la llengua s'eixampla dins de la cubeta d'Andorra la Vella, però cal considerar també que en aquesta cubeta hi conflueixen també d'altres llengües glacials (veure fig. 3); per tant, es pot pensar fàcilment en un gruix de glaç de 200 a 300 m.

### 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 una mica més amunt de La Massana, on sembla ser que s'estabilitzaren durant un període determinat. El canvi climàtic pràcticament no va afectar 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 l'esmentada glacera, aquesta és capaç de penetrar parcialment per la vall de la Valira del Nord tot obturant la cubeta de La Massana. Aquesta obturació té com a conseqüència una sèrie de fets importants.

Una sobreacumulació de material morrènic basal i d'ablació, que a causa de l'elevat contingut de matriu argilosa contribueix favorablement a mantenir l'obturació. Aquest

Fig.- 2 QUADRE RESUM DELS AFLORAMENTS (veure situació en la fig.1)

	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 Ganarda	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	Glacio-fluvial de torrent sub-glacial
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 - glacio-fluvial d'out-wash
5	Sta. Caterina	1.270	50 m	40 m	Sorres i graves	Top - set Fore - set Bottom - set	Formació deltaica
6	La Massana	1.250	30 m	-	lutites	estrat. horitzontal i rítmica	Glacio - Lacustre
7	Riu de Serrana	1.250	5 m	-	lutites	estrat. horitzontal i rítmica	Glacio - Lacustre
8	La bòbila	1.310	-	45 m	lutites	estrat. horitzontal i rítmica	Glacio - Lacustre
9	Segudet	1.430	170 m	60 m	lutites	estrat. horitzontal i rítmica	Glacio - Lacustre
10	Ordino	1.280	30 m	10 m(?)	Sorres i graves	llitatge amb colapsaments	Glacio - fluvial d'out-wash

\* altitud sobre el nivell del riu

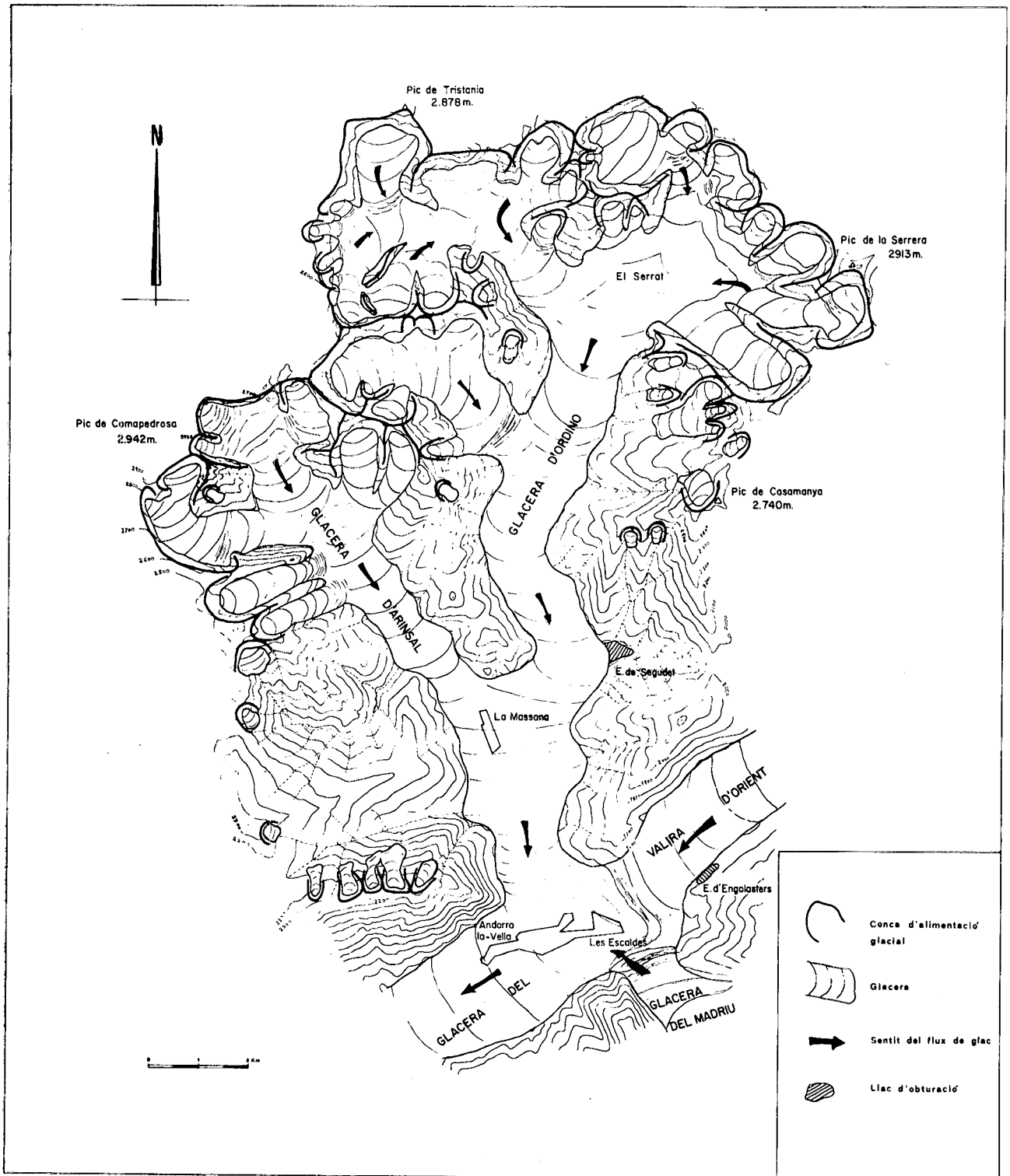

















Fig. 3 Aspecte de les valls d'Ordino i d'Arinsal durant l'últim màxim glacial.

SÍMBOLS D'POSICIONALS

Dipòsits d'ambient glacial		Dipòsits d'ambient glacio-fluvial	
	till basal		sub-glacial: de torrent
	till lateral		pro-glacial: d'"out-wash"
	till d'obturbació	Dipòsits d'ambient glacio-lacustre	
	blocs erràtics		pro-glacial: - deltaic
			- de llac
			juxta-glacial: de llac

ALTRES SÍMBOLS

	dipòsits quaternaris no glacials indiferenciats		límit de les formacions glacials
	sòcol paleozoic		límit visible del dipòsit
	nivell d'out-wash		contacte Quaternari/Paleozoic

material és el que anomenem *till d'obturbació*. Hem definit aquests dipòsits a la localitat de l'Aldosa (aflorament n.º 4, fig. 1); es tracta d'una massa d'argiles de color gris fosc, sense cap disposició ni estructura apreciable, que engloba blocs de diferent litologia, molt heteromètrics. A sobre d'aquesta formació hi trobem uns materials ben diferents. Es tracta de dipòsits de color gris clar amb un llitatge horitzontal ben marcat. Els trams inferiors són constituïts per nivells centimètrics de sorres de gra fi amb algun llit més llimós. S'hi poden observar estructures de corrent tipus *climbing ripples* (veure foto 1). Més amunt augmenta la mida del gra i apareixen llits de graves ben rodades que, cap al sostre, passen a blocs. Interpretem que aquesta formació correspon a un retreballat dels materials morrènics anteriors per part de les aigües de fusió provinents dels fronts glacials, amb la consegüent aportació de materials de característiques típicament fluvials. Cal dir, doncs, que en aquest moment de la història glacial la cubeta de La Massana funcionaria com una plana d'*out-wash* de la qual trobem encara alguna resta de l'antic nivell de reblliment (veure fig. 1).

La part d'aquest ambient pro-glacial situada entre la plana d'*out-wash* i els fronts glacials és de característiques clarament lacustres. Es tractaria d'un llac pro-glacial d'obturbació a la zona de La Massana. Els sediments lacustres que li corresponen tenen les característiques típiques d'uns dipòsits varrats: lutites rítmiques de color gris amb laminació paral·lela, tal com il·lustra la foto n.º 3. Aquesta formació lacustre (afloraments n.º 6 i 7, fig. 1) presenta també algunes estructures de deformació produïdes indubtablement per la inestabilitat dels fronts glacials. També cal remarcar-hi la presència de material morrènic englobat dins del sediment lacustre (foto n.º 2) provinent de la fusió de blocs de glaç (petits *icebergs*).

Les aportacions del llac pro-glacial serien en part sub-glacials però majoritàriament provindrien del torrent juxta-glacial de la glacera d'Ordino que formava un autèntic delta a l'indret de la gravera de Sta. Caterina (aflorament n.º 5, fig. 1). Com ens mostra la foto n.º 4 la formació deltaica s'ha conservat quasibè intacte, podent-hi apreciar, a la part

superior, les sorres, graves i blocs amb disposició horitzontal, que constitueixen els *top-sets*, i a la inferior els llits de graves i sorres inclinats més de 25º cap al centre de la cubeta (*fore-sets*), que ens indiquen el sentit de la progradació deltaica. Aquests *fore-sets* van recobrint els dipòsits fins dels *bottom-sets*.

També atribuïm a aquesta fase la formació del llac d'obturbació lateral de la bòbila d'Arinsal (aflorament n.º 8, fig. 1). Les característiques dels sediments lacustres són identitàries que les del llac pro-glacial de La Massana que acabem de descriure.

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

Fase de recessió total

Aquesta última fase es caracteritza per un augment important de les temperatures. Les noves condicions climàtiques obliguen les glaceres a retrocedir. D'aquesta manera desapareix l'obturbació de la cubeta de La Massana i, ràpidament, les aigües de fusió de les dues glaceres en retrocés excaven els dipòsits lacustres i d'obturbació 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 pro-glacials 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 *out-wash*. Els dipòsits glacio-fluvials d'aquest ambient són constituïts per sorres i graves amb llitatge horitzontal, on hi trobem estructures de corrent tipus *ripples* (aflorament n.º 10, fig. 1). En aquests materials hi hem localitzat brusques discontinuïtats i basculaments en el llitatge, com ens mostra la foto 5. Nosaltres interpretem aquestes estructures com de colapsament per fusió de gel mort (*kettle*), la qual cosa provocaria el colapsament bruscat del sediment en el lloc ocupat per la massa de glaç i, al mateix temps, un basculament de tot el dipòsit amb la consegüent inclinació del llitatge. És per tot això que interpretem que aquests dipòsits són d'ambient pro-glacial 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'*out-wash*, superfície de la qual se'n conserva un petit residu que correspon a l'aflorament indicat.

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

Fase post-glacial o tardi-glacial

Aquesta fase és posterior a l'última glaciació i ve caracteritzada, en el Pirineu Oriental, per l'existència de glaceres rocoses. Aquest problema ja ha estat tractat per Serrat (1979), i en aquestes valls andorranes les observacions fetes concorden perfectament amb aquests estudis. Aquestes glaceres rocoses, produïdes al peu d'una paret de circ, preferentment orientada al Nord, formen grans acumulacions de



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5

Fig.4 - LAMINA DE FOTOS.

1. Dipòsits glacio-fluvials de l'Aldosa.
2. Còdol provinent d'"ice-berg" en les lutites lacustres de La Massana.
3. Lutites varvades de l'antic llac de La Massana.
4. Formació deltaica ("top-sets" a dalt, "fore-sets" a baix) de l'antic llac pro-glacial de La Massana.
5. Estructura de colapsament ("kettle") en els dipòsits glacio-fluvials d' "out wash" d'Ordino.

FIG. 6 - Correlació i situació cronològica dels dipòsits de La Massana-Ordino durant l'última Glaciació pleistocènica. Les xifres de cada dipòsit corresponen a la numeració dels afloraments inventariats.

FASE II	Període de retrocés final	PRO-GLACIAL Glacio-fluvial d'"out-wash" 10 (Ordino)	
	Recessió Glacial	Període d'estabilització	JUXTA-GLACIAL Glacio-lacustre (la bòbila) 8
FASE I	Últim Màxim Glacial	4	5
		6-7	8
		PROGLACIAL Glacio-fluvial "out-wash" de llac (La Massana) Till d'obturgació 4	JUXTA-GLACIAL Glacio-lacustre (la bòbila) 8
		Till lateral (La Gonarda) Till basal 1	JUXTA-GLACIAL Glacio-lacustre (Segudet) 9
		2	3
		Glacio-fluvial (Collet dels colls)	
		SUB-GLACIAL	

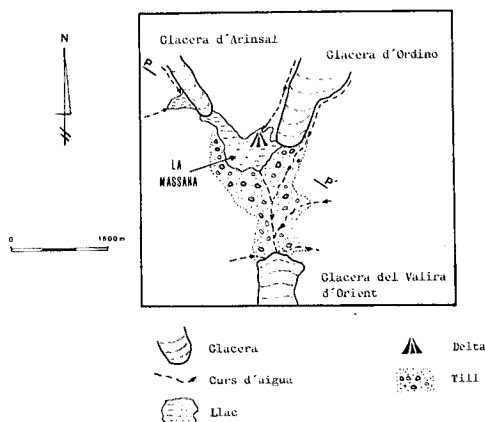
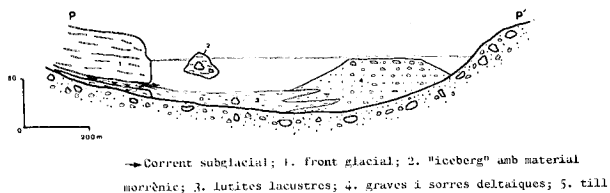


FIG. 5 - ESQUEMA I PERFIL INTERPRETATIUS DE L'AMBIENT GLACIO-LACUSTRE DE LA CUBETA DE LA MASSANA EN UN MOMENT D'ESTABILITZACIÓ DE LES GLACIERS DE L'ÚLTIM MÀXIM GLACIAL.



gelifractes de mida de gra considerable (> 40 cm). Aquestes formacions poden tenir més d'un quilòmetre de llargada i presenten una disposició en grans arcs o lòbuls, testimoni d'un desplaçament plàstic anterior, i es formen en clima fred però sec, amb més abundor de gelifractes que no pas de neu que passa a formar part de la massa com a gel intersticial, donant-li plasticitat.

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 més altes, les que han dirigit els processos morfogenètics fins als nostres dies.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALIMEN, M., SOLÉ SABARÍS, L. i VIRGILI, C. (1957): Comparaison des formations glaciaires des versants N et S des Pyrénées. *Rés. Comm. Vème. Cong. INQUA*, Madrid-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. Paris.
- CHEVALIER, M. (1907): Les glaciers pléistocènes dans les vallées d'Andorre. *Rev. Scientifique*, (5), VII, n.º 26, p. 501. Paris.
- CHEVALIER, M. (1924): Contribution à l'étude des Pyrénées. Note sur les terrains Néogènes 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. C. E. C.*, t. XXXIV, n.º 354, pp. 213-239, 3 fig., 4 lám., Barcelona.
- CHEVALIER, M. (1925): Andorra. *Libr. Dandel*, 106 p. 24 lám. Chambeny.
- FONTBOTÉ, J. M., SOLÉ SABARÍS, L. i ALIMEN, H. (1957): Livret guide de l'excursion N. PYRÉNÉES. *Vème. Con. Int. INQUA*, 107 p., Madrid-Barcelona.
- LLOBET, S. (1947): El medio y la vida en Andorra. *C. S. I. C.* Barcelona.
- LLOPIS, N. i SOLÉ SABARÍS, L. (1947): Mapa geológico de Andorra. *Inst. Est. Ilerdenses*, Lleida.
- LLOPIS, N. (1969): Mapa de Andorra, Geológico 1:25.000, 5 hojas. *Cuadernos de Geol. Ibérica*, t. I, Madrid.
- PENCK, A. (1883): Die Eiszeit in den Pyrenäen (Traducció francesa): *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* (19), 1885, pp. 105-200, 1 mapa. Toulouse.

- PUIGDEFÀBREGAS, C., SERRAT, D. i VILAPLANA, J. M. (1979): Geomorfologia i litologia de las Valls d'Andorra, Mapa 1:50.000 Inc. en El Patrimoni Natural d'Andorra. *Edit. R. Folch, Ketres*. Barcelona.
- SERRAT, D. (1979): The rock glacier morainic deposits in the Eastern Pyrenées, Inc. Moraines and Varves. *Edit. Ch. Schlüchter, Balkema*, pp. 93-100. Rotterdam.
- SERRAT, D. i VILAPLANA, J. M. (1979): El relleu i la xarxa hidrogràfica (Geomorfologia), Inc. en El Patrimoni Natural d'Andorra, *Edit. R. Folch-Ketres*, pp. 41-54. Barcelona.
- TAILLEFER, F. (1957): Glaciaire pyrénéen: versant N et versant S. *Rev. Géo. Pyrénées et du Sud-Ouest*, t. XXVIII, pp. 221-224, 8 figures, Toulouse.
- ZWART, H. J. (1965): Geological map of the Paleozoic of the Central Pyrenees, Sheet 6 Esc. 1:50.000. *Leiden Geol. Med.*, Deel. 33. Leiden.

Rebut, desembre 1979.