

## **EL GLACIALISME DE LES VALLS DE LA VALIRA DEL NORD (PRINCIPAT D'ANDORRA): SÍNTESE D'AFLOREMENTS**

Valentí Turu i Jaume Bordonau  
*Dpt. de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia  
Universitat de Barcelona*

Dins de la línia d'investigació començada a partir dels treballs realitzats per VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984, 1985), es pretén augmentar els coneixements sobre la dinàmica glacial a les valls d'Andorra durant el darrer cicle glacial. Aquests autors van posar de manifest l'existència de diferents fases glacials en el sector nord-occidental de les valls d'Andorra, partint de l'estudi sedimentològic i estratigràfic de diversos afloraments. L'objectiu del present article és complementar les fases glacials determinades per VILAPLANA (1985) a les valls de la Valira del Nord.

La metodologia d'estudi emprada és la mateixa que la dels autors anteriors, basada en l'estudi sedimentològic i estratigràfic dels afloraments de la cubeta glaciolacustre de la Massana i Ordino. S'exposa a continuació la síntesi dels 176 afloraments estudiats, dels quals s'han seleccionat els més representatius per a aquest article. Amb aquesta síntesi s'arriba a l'establiment d'una interpretació paleoambiental, un model de funcionament i una cronologia relativa de l'evolució de les fases glacials a la part inferior de les valls de la Valira del Nord.

### **Antecedents**

L'evolució quaternària de la conca de la Massana-Ordino en l'últim cicle glacial ha estat estudiada per LLOBET (1947), FONTBOTÉ *et al.* (1957), TAILLEFER (1957), SERRAT i VILAPLANA (1979), VILAPLANA i SERRAT (1979), PRAT (1980), VILAPLANA (1984 i 1985), TURU (1992), BORDONAU (1992) i TURU *et al.* (1993).

LLOBET (1947) és el primer autor que consigna dipòsits de la cubeta de

la Massana. Aquest autor fa esment de l'existència de sediments glaciofluvials a Sispony i interpreta que han estat formats en una cubeta tancada pel llindar rocós de Sant Antoni.

Posteriorment, FONTBOTÉ *et al.* (1957) assenyala que la cubeta està reblerta per 150 metres de sediment que ocupen una antiga cubeta glacial. El rebliment de la cubeta consta d'una morrena a la base de la sèrie, seguida per uns dipòsits fluviolacustres que indiquen l'existència d'un ambient lacustre entre la glacera d'Ordino i el llindar rocós de Sant Antoni. Aquests autors observen que, lateralment, els nivells fluviolacustres passen a sediments de vessant amb graves anguloses d'origen local, i per sobre observen una morrena amb blocs angulosos. Aquests autors, entre el llindar rocós de Sant Antoni i Engordany, no troben proves del pas de la glacera de la Valira del Nord i situen el front de la glacera d'Ordino a 1.150 metres, just abans del llindar de Sant Antoni; és a dir, que per a aquests autors, les glaceres de les dues Valires no van arribar a confluir.

El mateix any, TAILLEFER (1957) dóna una interpretació a la gènesi de la cubeta de la Massana, que és la d'una cubeta obturada per la glacera de la vall principal (Valira d'Orient). La seqüència sedimentària que aquest autor va observar és la següent: una morrena amb blocs angulosos a la base de la seqüència, seguida de graves rodades amb sorres llitades que s'alternen amb tres capes d'argila torbosa netament varvades en certs indrets, i a les vores de la cubeta s'intercalen dipòsits de vessant. Aquesta descripció del rebliment de la cubeta de la Massana a Sispony coincideix a grans trets amb la de FONTBOTÉ *et al.* (1957), tot i que la segona morrena descrita per FONTBOTÉ *et al.* (1957) és interpretada per TAILLEFER (1957) com a blocs aïllats prop de Sispony.

No és fins a finals de la dècada dels setanta, i amb motiu de l'elaboració de l'obra *El patrimoni natural d'Andorra*, que es reprenen els treballs sobre el glacialisme a la vall de la Massana. SERRAT i VILAPLANA (1979) consiguen afloraments de sediments glaciolacustres i glaciofluvials a la Bòbila de la Massana, i assignen a aquests dipòsits un origen juxtaglacial, degut a l'obturbació de la vall lateral d'Escalluquer per part de la glacera de la vall principal (glacera d'Arinsal).

Contemporàniament, PRAT (1980) va realitzar una cartografia i un estudi geomorfològic de tot el Principat. Aquesta obra aborda la problemàtica glacial des d'un punt de vista geomorfològic, basant-se, això no obstant, en dades sedimentològiques i edàfiques. Per a PRAT (1980), la cubeta de la Massana i Ordino és classificada com un complex glaciolacustre. Aquesta

autora, basant-se en l'estudi de diversos afloraments, estableix la següent evolució glacial: una primera fase d'estabilització post-màxim caracteritzada per la retirada dels fronts de les glaceres d'Arinsal i d'Ordino aigües amunt de la Massana i la formació d'un llac d'obturbació, un segon episodi d'avenç de la glacera d'Ordino fins a l'Aldosa, i una darrera fase de retrocés generalitzat que dóna lloc a l'obertura del llac de la Massana, coincidint amb la retirada de la glacera de la Valira d'Orient aigües amunt de la plana d'Andorra i les Escaldes.

Els treballs de VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984 i 1985) presenten una cartografia detallada de la cubeta de la Massana-Ordino, amb una interpretació genètica i una cronologia relativa dels dipòsits. Aquests treballs previs permeten a VILAPLANA (1985) l'agrupament dels sediments de la cubeta en set unitats sedimentàries: Till de la Massana, Glaciofluvial de l'Aldosa, Glaciolacustre de la Massana, Glaciolacustre de la Bòbila, Glaciolacustre de Segudet, Till de la Gonarda i Glaciofluvial d'Ordino. Per altra part, estableix una seqüència amb cinc fases glacials corresponents a la darrera glaciació pleistocena:

Fase de Segudet: Confluència de les glaceres d'Arinsal i d'Ordino amb la de la Valira d'Orient. Sedimentació d'un till supraglacial a la Gonarda i de dipòsits glaciolacustres de Segudet.

Fase de l'Aldosa: Desconnexió de les glaceres de la Valira d'Orient i de la Valira del Nord. Els fronts glacials retrocedeixen i les aigües de fusió dipositen material glaciofluvial sobre els tills basals de la cubeta. Es forma una plana d'*outwash* amb un nivell de base donat per l'obturbació de la cubeta per part de la glacera de la Valira d'Orient.

Fase de la Massana: Retrocés generalitzat tant de les glaceres d'Arinsal i Ordino com de la glacera principal (Valira d'Orient), fet que comporta una baixada del nivell de base. Els cursos fluvials s'encaixen en els sediments de la plana d'*outwash*, fet demostrat pel nivell de base del delta de Santa Caterina. Per altra part, es genera un llac proglacial i els fronts glacials inicien un petit avenç fins a la seva estabilització a les portes de la cubeta de la Massana. També es forma el llac juxtaglacial de la Bòbila de la Massana a causa de l'obturbació de la vall de l'Escalluquer per la glacera d'Arinsal.

Fase d'Ordino: Retirada de les llengües glacials de les immediacions de la Massana. En un primer episodi de retrocés es forma una plana d'*outwash* amb acumulació de sediments glaciofluvials a Ordino. En un nou estadi de retrocés se sedimenten tills d'ablació a les rodalies dels pobles d'Arinsal i

del Serrat. En el segon episodi de retrocés es produeix la sedimentació de dipòsits morrènics a la majoria dels circs glacials.

Fase dels Circs: Aquesta fase es reconeix únicament en els sectors ocupats pels petits circs durant l'anomenat període Tardiglacial.

Més recentment, TURU (1992) realitza l'estudi sedimentològic i estratigràfic d'un aflorament prop de la vila de Sornàs, constituït per sediments pleistocens i holocens. Concretament, els nivells postglacials amb carbons tenen una edat compresa entre  $8589 \pm 90$  BP i  $8160 \pm 80$  BP, dins del període Boreal (TURU *et al.*, 1995).

Sobre la base de la bibliografia existent i de l'estudi dels principals complexos glaciolacustres dels Pirineus, BORDONAU (1992) realitza una síntesi de les fases corresponents al darrer cicle glacial pirinenc i proposa una cronologia absoluta estimada per a cadascuna de les fases (figura 1).

### Context litoestructural

Hom estudia en aquest treball la part baixa de la conca de la Massana i Ordino. El substrat rocós es constituït per esquists del Cambroordovicià, calcàries del Devonian i, ocasionalment, pissarres grafitoses del Silurià (figura 2). La cubeta de la Massana-Ordino està situada a uns setze quilòmetres dels circs de Tristaina, a l'antiga confluència de les llengües de les glaceres d'Ordino i d'Arinsal. Des del punt de vista fisiogràfic s'han diferenciat diverses subcubetes: cubeta d'Anyós, cubeta de la Massana, cubeta d'Ordino i cubeta de l'Escalluquer (figura 3).

En el sector septentrional, la cubeta de la Massana-Ordino es divideix en dues branques a l'altura de la vila de la Massana, una en direcció al poble d'Erts i l'altra en direcció al poble d'Ordino. La cubeta d'Ordino està emplaçada sobre materials pissarrencs del Silurià i esquists del Cambroordovicià. Aquesta cubeta està limitada al nord pels afloraments de calcoesquistos devonians del roc de la Meca, mentre que al sud conflueix amb la cubeta de la Massana. La cubeta de l'Escalluquer està emplaçada sobre calcoesquistos devonians i s'eixampla prop del contacte amb les pissarres del Silurià.

En el sector meridional, la cubeta de la Massana-Ordino és travessada per dos llindars rocósos: el llindar de la serra de l'Honor, que separa la cubeta d'Anyós de la cubeta de la Massana, i el llindar rocós de Sant Antoni, a l'extrem inferior de la cubeta d'Anyós.

### Els complexos sedimentaris

Els diferents afloraments estudiats s'han representat en la figura 3. Les relacions genètiques i cronològiques entre aquests afloraments fan possible la seva agrupació en unitats i complexos sedimentaris. En total s'han diferenciat set complexos sedimentaris (figura 4) que agrupen dipòsits d'una mateixa fase de rebliment. Cada complex sedimentari té una o diverses unitats sedimentàries que inclouen afloraments que es troben associats a un mateix ambient sedimentari o a una mateixa fàcies sedimentària.

### Complex sedimentari I

#### *Unitat sedimentària I-1: Till de Padern*

##### *Aflorament I-1.1: Till subglacial del Pont del riu Muntaner*

Entre els ponts del riu Muntaner i d'Anyós, a 1.190-1.180 metres d'alçada, aflora un sediment massiu de color blau gris, compactat, amb còdols i blocs suportats per la matriu. La potència del sediment no és observable en la seva totalitat, però hom pensa que arriba fins al llit del riu Valira.

##### *Aflorament I-1.2: Till de Padern*

Al final de la vall del riu Padern, a uns 1.280 metres d'altitud, aflora un till subglacial que retreballa uns sediments sense cap estructura interna. El sostre de l'aflorament és constituït per uns dipòsits de vessant. Aquest aflorament ja fou cartografiat per VILAPLANA i SERRAT (1979) com un till de fàcies indiferenciada.

#### *Interpretació de la unitat sedimentària I-1*

Els sediments de l'aflorament I-1.1 s'interpreten com un till subglacial originat per la glacera de la Valira del Nord en una fase de màxim avenç glacial.

El sediment inferior de l'aflorament I-1.2 presenta còdols angulosos i còdols amb morfologia glacial, i s'interpreta com un till supraglacial retreballat per un till subglacial. Ambdós tills presenten abundants clastos de litologies locals (calcoesquistos). En el till subglacial, la matriu és lutítica i

de color clar, totalment diferent de la dels tills subglacials de la Massana, que és de color blau gris. Aquest fet fa pensar en l'existència d'una glacera a la petita vall de Padern, que conflüia amb la glacera de la Valira del Nord.

### **Interpretació del complex sedimentari I**

El complex sedimentari I representa la fase de màxim englaçament a les valls de la Valira del Nord, dins del marc glacial de les valls d'Andorra descrit per TURU (1994).

### **Complex sedimentari II**

#### ***Unitat sedimentària II-1: Tills de la Cubeta d'Anyós***

##### *Aflorament II-1.1: Till del Pont d'Anyós*

En els tall de la carretera que mena a Anyós, entre la cruïlla de la carretera general 3 i el pont d'Anyós (1.195-1.200 metres), es pot observar una sèrie detrítica amb granulometries grolleres i intercalacions de sediments fins. La base de la sèrie no és observable, però els primers sediments que afloren constitueixen un dipòsit massiu amb abundants gelifractes, recobert per un nivell de graves imbricades seguit per un nivell de lutites laminades amb *dropstones*. Cap al sostre de la sèrie hi ha diferents nivells de graves imbricades, amb un paleocorrent N50E, que indiquen un origen del corrent tractiu en l'engorjat de la serra de l'Honor.

##### *Aflorament II-1.2: Tills de la Carretera General*

Seguint el tall de la carretera general entre la cruïlla de Sispony i la carretera general 3, en direcció a la serra de l'Honor, s'ha pogut observar un potent dipòsit de materials grollers.

La base de l'aflorament, a 1.220 metres d'altitud, és constituïda per un material massiu, suportat per una matriu sorrencollimosa, amb graves glacials i, majoritàriament, graves anguloses que presenta un paleorelleu al sostre de la capa, recobert per un nivell sorrenc lllitat amb estructures de càrrega. Per sobre aflora un dipòsit amb abundància de graves anguloses orientades i presència de graves glacials amb estructures laminars lleugerament inclinades. Per damunt, i en contacte erosiu, es disposa una capa amb

abundants blocs a la base, i s'observen entre ells lutites amb laminació deformada, mentre que cap al sostre hom observa abundants graves fluvials suportades per una matriu sorrencolútica. Al sostre de l'aflorament, a 1.234 metres d'altitud, s'observa una potent capa de graves imbricades amb canals, en contacte erosiu amb el nivell anterior.

La base de la columna s'interpreta com un till supraglacial que retreballa sediments d'origen glacial i dipòsits de vessant. Aquesta interpretació es basa en l'existència de graves subhorizontals, amb un lleuger pendent en sentit oposat al fons de vall, tret característic dels tills supraglacials quan existeix un espai físic entre la glacera i el vessant proper.

La segona capa pot interpretar-se com un till més lutític que l'anteriorment descrit, amb trets característics dels tills de fusió, com és ara la presència de laminites deformades entre els blocs.

##### *Aflorament II-1.3: Till subglacial de la carretera de Sispony*

Prop d'un revolt de la carretera que mena a Sispony des de la cruïlla amb la carretera general, a una altitud de 1.235 metres, s'ha pogut observar un aflorament de 5 metres de potència constituït per dos nivells de graves imbricades separats per un nivell de dipòsits massius.

A la base de la sèrie, les graves imbricades presenten uns paleocorrents N260E, N210E i N270E, que indiquen un origen del corrent en el riu Muntaner. Aquestes graves estan recobertes, en contacte erosiu, per un dipòsit massiu amb una matriu lutítica compacta i abundants graves fluvials. El sostre de la sèrie és constituït per graves glaciofluvials, també en contacte erosiu, amb paleocorrents N350E, que indiquen la procedència del corrent tractiu de la Valira del Nord. Aquesta seqüència sedimentària indica l'existència d'un llit fluvial a la vall de Muntaner, prop del front glacial, que és progradat i erosionat parcialment per la glacera de la Valira del Nord durant el seu avenç. Amb posterioritat, el front glacial experimenta un retrocés i se sedimenten les graves imbricades del nivell superior.

El till subglacial del nivell intermedi està relacionat amb el till subglacial de fusió de l'aflorament II-1.2. L'aflorament mostra la retirada del gel glacial de la cubeta d'Anyós i el posicionament del front glacial darrere del lllindar rocós de la serra de l'Honor. Per altra part, el till subglacial és sincrònic amb els blocs morrènics superiors descrits per FONTBOTÉ *et al.* (1957). Aquests blocs superiors correspondrien a un till supraglacial sedimentat per la glacera durant l'episodi d'avenç glacial.

### ***Interpretació de la unitat sedimentària II-1***

Els sediments de l'aflorament II-1.3 mostren l'existència d'una plana proglacial d'*outwash* amb aportacions sedimentàries provinents del riu Muntaner i amb un front glacial situat a la rodalia de la serra de l'Honor, tal com ho demostra el till supraglacial de l'aflorament II-1.2. Seguidament aquesta plana és progradada per la glacera de la Valira del Nord, que va arribar, com a mínim, fins al llindar rocós de Sant Antoni. Aquesta fase d'avenç va seguida per un posterior retrocés del front glacial.

### **Complex sedimentari III**

#### ***Unitat sedimentària III-1: Glaciofluvial de la cubeta d'Anyós***

##### ***Aflorament III-1.1: Glaciofluvial i glaciolacustre del Pont d'Anyós***

A la base s'observa un nivell de graves imbricades seguit per un nivell poc potent de lutites laminades amb *dropstones*; cap al sostre de la columna hi ha diferents nivells de graves imbricades amb un paleocorrent de N50E, que indiquen un origen del corrent en l'engorjat de la serra de l'Honor.

Aquest aflorament evidencia un nivell de base situat a uns 1.200 metres d'altitud. Les laminites amb *dropstones* demostren la permanència temporal d'una certa columna d'aigua en aquesta part de la vall, així com la proximitat del front glacial. Els dipòsits glaciofluvials que prograden sobre les laminites poden correlacionar-se amb les graves glaciofluvials de l'aflorament II-1.3.

##### ***Aflorament III-1.2: Glaciofluvial de la Carretera General***

La part superior de l'aflorament II-1.2 correspon a aquesta unitat, constituïda per una potent capa de graves imbricades i paleocanals que arriba fins a 1.230 metres d'altitud, en contacte erosiu amb el nivell anterior (till de fusió). Aquests sediments representen la progradació de les fàcies glaciofluvials per sobre dels tills en el moment que el front glacial retrocedeix d'aquestes posicions. L'ambient sedimentari va consistir en una plana de rentat de material (*outwash*), tal com evidencia la poca inclinació de les capes de graves glaciofluvials. Aquesta plana presentava diferents canals distributius que canviaven de curs segons la quantitat d'aportacions de fusió del front glacial.

##### ***Aflorament III-1.3: Glaciofluvial de la carretera de Sispony***

La descripció d'aquest aflorament ja s'ha fet anteriorment (vegeu Aflorament II-1.3: Till subglacial de la carretera de Sispony). Sobre el till basal de la carretera de Sispony, en contacte erosiu, es disposen unes graves glaciofluvials amb paleocorrents N350E, fet que indica el seu origen en la vall de la Valira del Nord.

El curs fluvial del riu Muntaner va ser afectat després de l'avenç de la glacera de la Valira del Nord. En retirar-se la glacera, aquesta zona va quedar sota el domini dels corrents de la plana d'*outwash*, i es retreballà el till subglacial sedimentat amb anterioritat.

### ***Interpretació de la unitat sedimentària III-1***

La glacera de la Valira del Nord, durant el seu avenç, va sedimentar una morrena en el llindar rocós de Sant Antoni de la Grella, fet que va determinar l'obturació de la cubeta d'Anyós i la sedimentació dels materials detrítics descrits en els afloraments II-1.3 i III-1.1.

La sedimentació de les fàcies lacustres indica l'existència d'un petit llac entre els llindars de la serra de l'Honor i de Sant Antoni de la Grella, que ja fou consignat per FONTBOTÉ *et al.* (1957) i TAILLEFER (1957).

### **Interpretació dels complexos sedimentaris II i III**

Després de la fase de màxim enllaçament (Complex I), la glacera de la Valira del Nord va experimentar un retrocés fins a la serra de l'Honor, i es produí un primer rebliment sedimentari de la cubeta d'Anyós. Posteriorment, la glacera va tornar a avançar fins a arribar a la gorja de Sant Antoni, i aquesta va quedar reblerta per material morrènic. Amb el posterior retrocés del front glacial, les aigües de fusió van aportar nou material detrític, fet que generà el rebliment sedimentari de la cubeta d'Anyós, amb la sedimentació de les laminites glaciolacustres descrites per FONTBOTÉ *et al.* (1957) i TAILLEFER (1957).

Aquest complex constitueix el registre sedimentari de la primera gran fase de retrocés glacial, moment en què es va produir la desconexió de les glaceres de la Valira del Nord i de la Gran Valira. Dins d'aquesta gran fase de retrocés, s'ha diferenciat un primer episodi d'avenç glacial i un posterior

retrocés amb l'estabilització del front glacial aigües amunt del llindar rocós de la serra de l'Honor.

## Complex sedimentari IV

### *Unitat sedimentària IV-1: Delta inferior de Santa Caterina*

#### *Aflorament IV-1.1: Till de deformació del Pont de l'Aldosa*

Després dels ponts de les Palanques i de l'Aldosa, a la bifurcació dels camins de les Gravades i del que mena a l'Aldosa des de la Massana (1.220 i 1.235 metres d'altitud), s'ha pogut estudiar una sèrie estratigràfica força complexa.

S'ha pogut observar un potent paquet de lutites laminades glaciolacustres totalment plegades (fotografia 1), amb els plans d'estratificació crenulats. Aquest dipòsit plegat es troba en contacte directe amb laminites glaciolacustres, d'aspecte molt similar, però sense cap deformació. Per altra part, sobre unes laminites glaciolacustres amb estructures de càrrega s'ha observat, en diferents cotes, un till subglacial.

La sèrie sedimentària es troba repetida a diferents altituds a causa d'un sistema de làmines encavalcants situades per sobre d'un nucli de laminites intensament deformades glacioteclònicament.

Aquest dipòsit constitueix, en el seu conjunt, un till de deformació format durant un episodi d'avenç de la glacera d'Ordino per sobre d'uns sediments glaciolacustres. Damunt d'aquest till de deformació, i posteriorment a l'episodi d'avenç glacial que s'ha esmentat, es van sedimentar unes lutites glaciolacustres que pertanyen al delta superior de Santa Caterina (unitat V-1).

#### *Aflorament IV-1.2: Till de deformació del Pont de les Palanques*

Prop del pont de les Palanques (1.220 metres d'altitud), a la riba septentrional de la Valira d'Orient, hom ha pogut observar un dipòsit constituït per graves i sorres estratificades, amb estructures tractives, que ha estat plegat i fallat (vegeu fotografia 2).

Aquest aflorament s'interpreta com un till de deformació que involucra uns sediments glaciofluvials. La deformació dels dipòsits dels ponts de les Palanques i de l'Aldosa fa pensar en l'existència d'un complex sedimentari deltaic que aportaria materials terrígens a un llac situat a la Massana,

deformat per un posterior avenç de la glacera d'Ordino. Tenint en compte que encara es reconeixen les estructures internes dels sediments glaciofluvials després d'haver estat deformats, hom pensa que l'origen d'aquestes graves havia de ser proper a l'indret conegut com Santa Caterina.

#### *Aflorament IV-1.3: Till subglacial de Santa Caterina*

Al carrer de Traves (a 1.260 metres d'altitud) s'ha observat un sediment massiu, compactat i amb abundant matriu de color blau gris, parcialment erosionat per unes graves amb estructures tractives.

La part inferior s'interpreta com un till subglacial. Per altra banda, s'ha observat una secció d'aquest till a l'avinguda de Sant Antoni (1.230 metres d'altitud), on s'han reconegut nombrosos plans de cisalla característics dels tills basals de tipus *lodgement* o d'acreció. També s'ha pogut observar en el mateix aflorament com el till basal ha retreballat parcialment un potent paquet de dipòsits de vessant. La part superior de la sèrie descrita és formada per sediments glaciofluvials corresponents al delta de Santa Caterina, que ha estat esmentat per diversos autors (VILAPLANA i SERRAT, 1979; PRAT, 1980 i VILAPLANA, 1984 i 1985), i que es descriurà més endavant.

Des del punt de vista paleoambiental, el fet que el till subglacial retreballi parcialment un dipòsit de vessant és molt significatiu a l'hora de determinar el nivell de base del llac que la glacera d'Ordino va progradar. Aquest nivell de base se situava a uns 1.230 metres d'altitud i es correlaciona amb la plana d'*outwash* descrita en l'aflorament III-1.2 (Glaciofluvial de la Carretera General).

### *Interpretació de la unitat sedimentària IV-1*

Després de la fase d'estabilització evidenciada pels dipòsits corresponents al Complex III, es produeix un retrocés glacial, i s'estabilitza el front de la glacera entre la Massana i Ordino.

A grans trets, hom pot dir que a les immediacions de Santa Caterina es va produir una sedimentació glaciofluvial, que aportava material detrític a un antic llac situat a la zona de la Massana, amb un nivell de base a uns 1.230 metres d'altitud definit per la plana d'*outwash* de la cubeta d'Anyós. Tant el delta com els sediments glaciolacustres van ser posteriorment deformats durant un episodi d'avenç de la glacera d'Ordino.

## Unitat sedimentària IV-2: Tills subglacials i glaciofluvial del camí d'Escàs

### Afloraments IV-2.1: Tills subglacials i glaciofluvial d'Escàs

Entre el canal del Fener de Cussols, el riu de les Claperes i el camí del Pou hi ha diversos afloraments singulars, tots ells situats entre la vila de la Massana i el poble d'Escàs.

Aflorament IV-2.1.1: Davant l'església parroquial de la Massana (a uns 1.255 metres d'altitud) s'ha observat un till subglacial de fusió (que anomenarem «till 1») que erosiona parcialment i deforma unes laminetes glaciolacustres que estan en contacte amb el substrat rocós. Aquest till subglacial és al seu temps erosionat parcialment per unes graves imbricades d'origen glaciofluvial.

Aflorament IV-2.1.2: A la cruïlla dels camins dels Hortals i d'Escàs (a 1.270 metres d'altitud) es pot observar un till subglacial («till 1») que està parcialment erosionat per unes graves imbricades d'origen glaciofluvial amb paleocorrents N210E i N220E.

Aflorament IV-2.1.3: Al camí d'Escàs, entre 1.275 i 1.285 metres d'altitud, es poden observar petits afloraments de graves glaciofluvials. Entre els 1.285 i els 1.293 metres d'altitud aflora un till subglacial de fusió amb canals interns de graves imbricades (que anomenarem «till 2»), seguit d'un nou paquet de graves glaciofluvials fins a una cota de 1.297 metres.

Aflorament IV-2.1.4: Al llarg del camí del riu de les Claperes fins al camí d'Escàs hom pot observar, en contacte amb el substrat rocós, entre els 1.280 i els 1.294 metres, una seqüència glaciofluvial granodecreixent seguida per un nivell de graves imbricades (paleocorrent N110E) i per un till subglacial («till 2»). El sostre del till subglacial es troba en una cota aproximada de 1.295 metres, i està parcialment erosionat per un nivell de graves imbricades i disposades en *fore-sets* (paleocorrent N350E) que arriba fins als 1.300 metres. Per sobre d'aquestes graves i fins a una cota de 1.305 metres hom pot observar un nou nivell de till subglacial (que anomenarem «till 3»).

Aflorament IV-2.1.5: Al carrer de la Borda, en una urbanització propera al poble d'Escàs, hom ha pogut observar en el desmunt d'una construcció un petit aflorament, a 1.320 metres d'altitud, constituït per lutites laminades glaciolacustres amb intercalacions de graves imbricades amb bases erosives.

Aflorament IV-2.1.6: Baixant des d'Escàs pel camí del Pou hom pot observar, entre els 1.320 i 1.315 metres d'altitud, alguns afloraments de till subglacial («till 3»).

### Extensió glacial

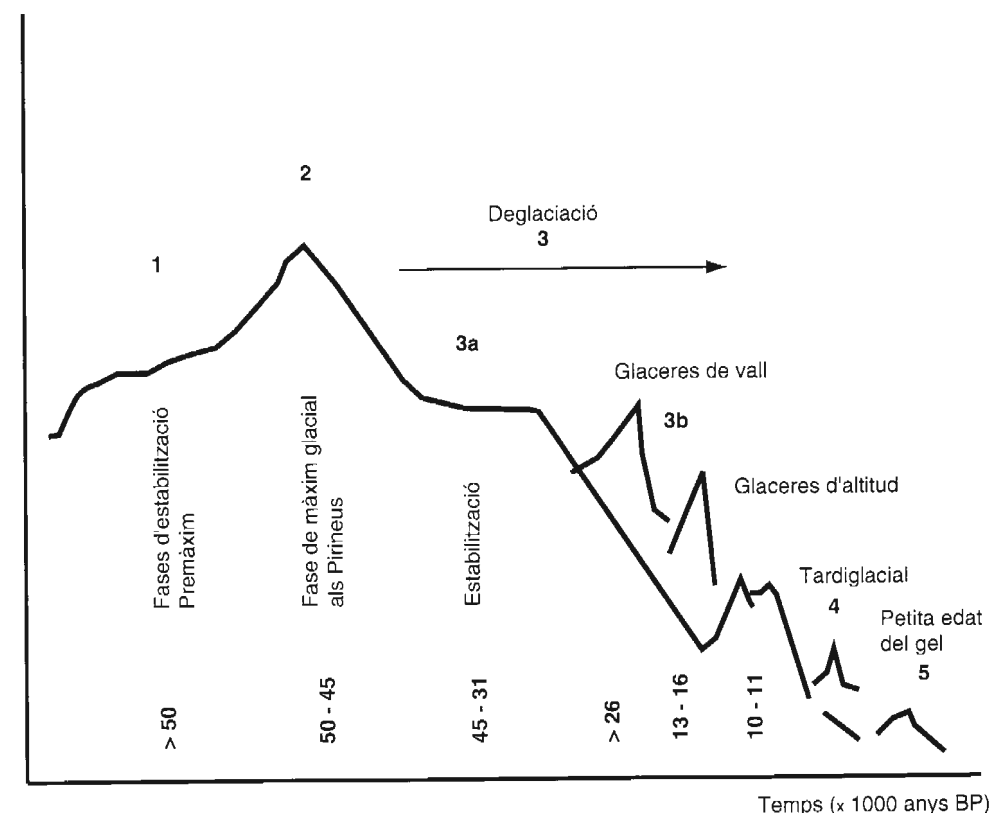


Figura 1: Corba d'extensió glacial corresponent a l'últim cicle glacial/interglacial en els Pirineus segons BORDONAU (1992). La posició relativa entre les diferents fases és basada en criteris geomorfològics i sedimentològics. La cronologia absoluta es basa en diferents seqüències datades als Pirineus. 1: Premàxim glacial, 2: Màxima extensió glacial, 3: Deglaciació, 3a: Estabilització glacial, 3b: Fases tardanes de deglaciació, 4: Tardiglacial, 5: Postglacial i fases històriques.

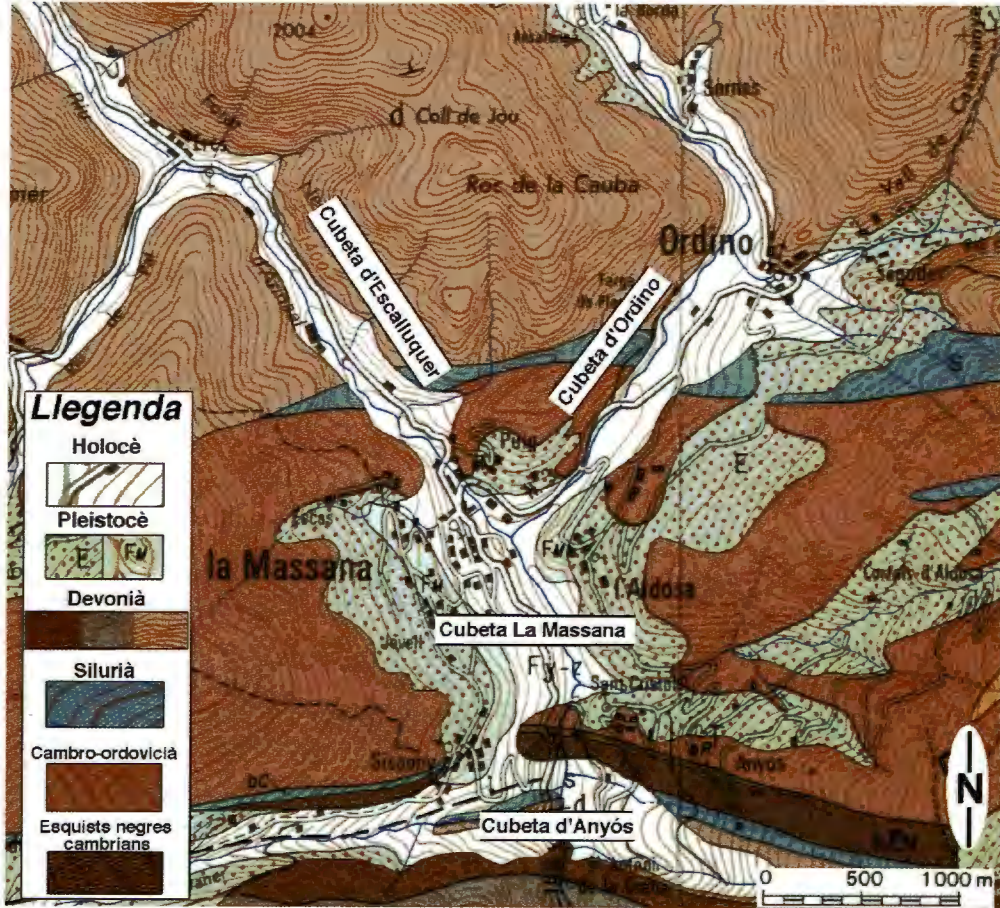


Figura 2: En aquest mapa geològic de BESSON (1991) es poden observar els principals trets litològics de l'àrea d'estudi, i les diferents cubetes rebertes per materials pleistocens.

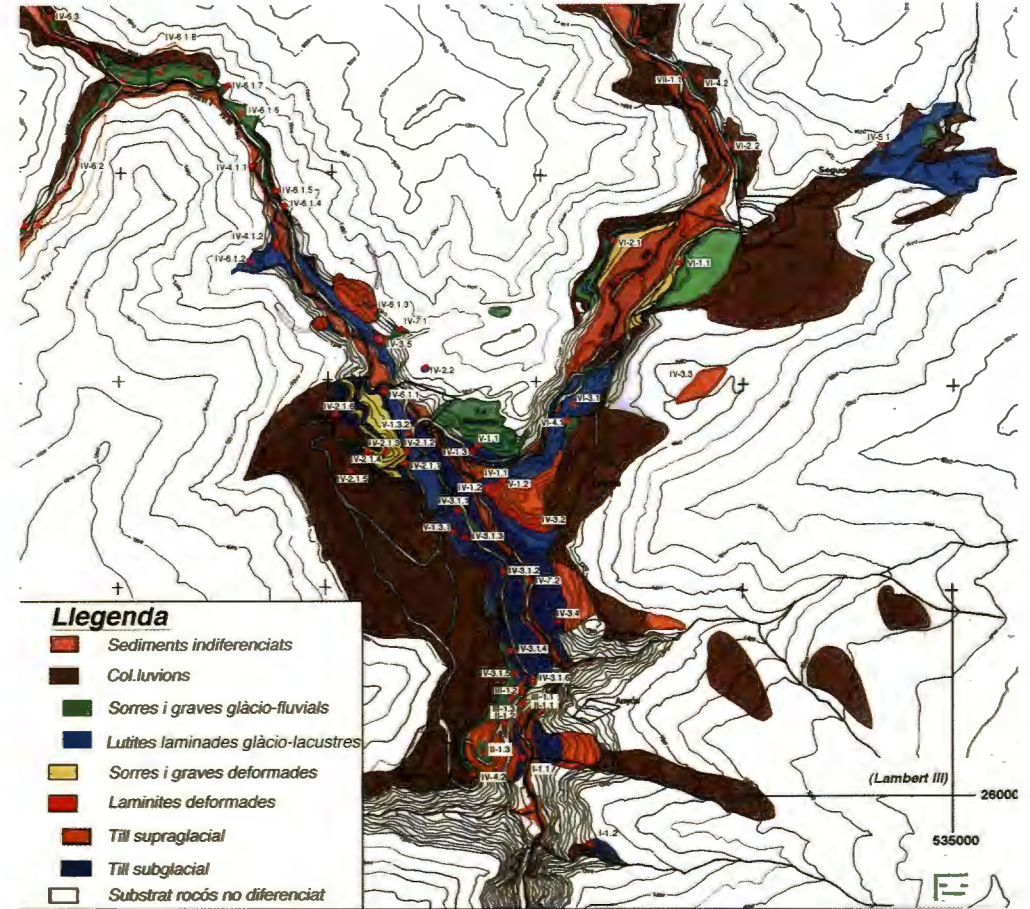
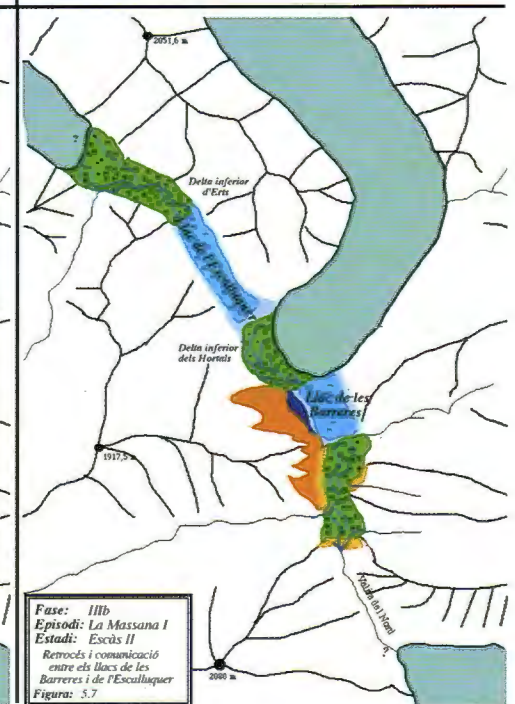
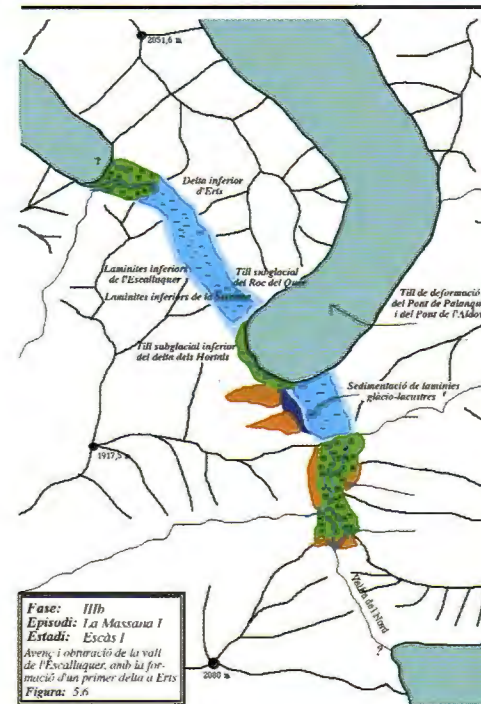
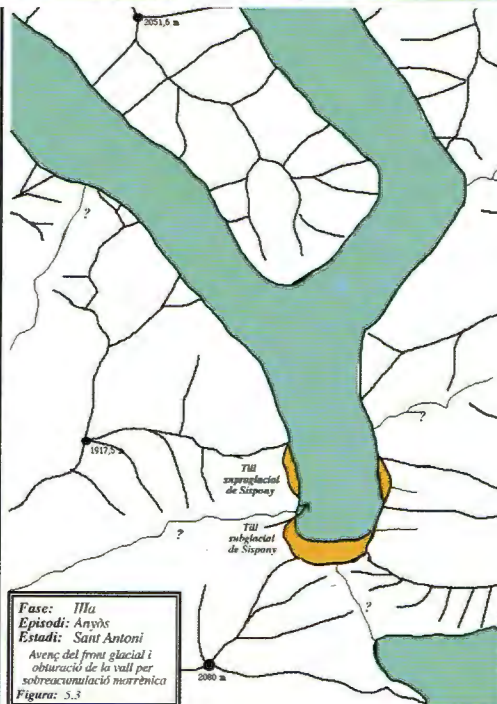
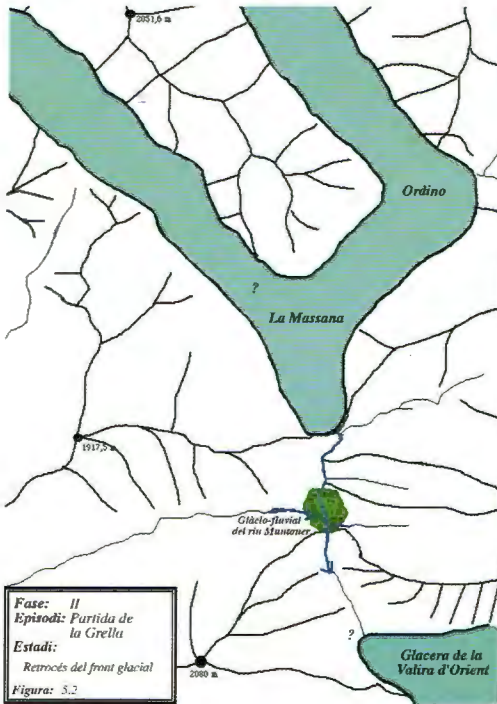
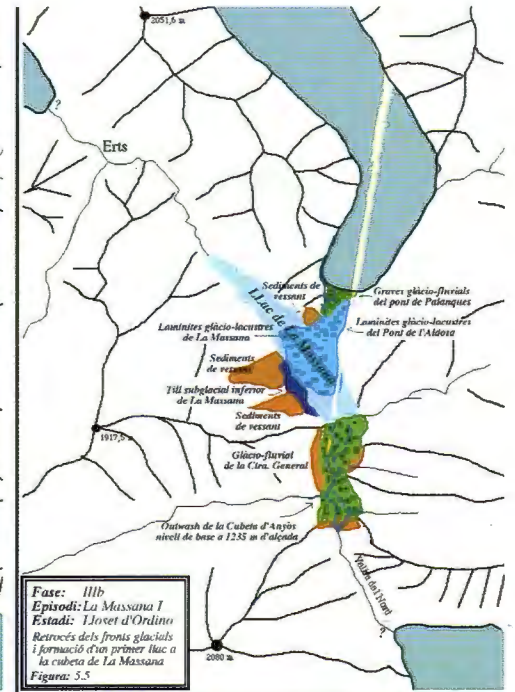
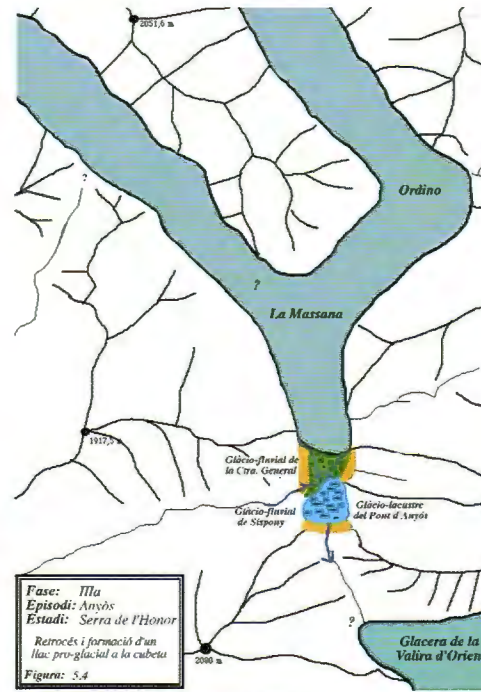
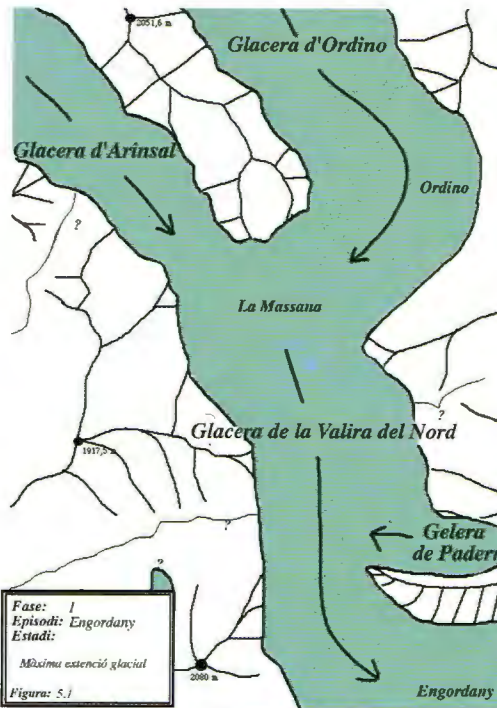
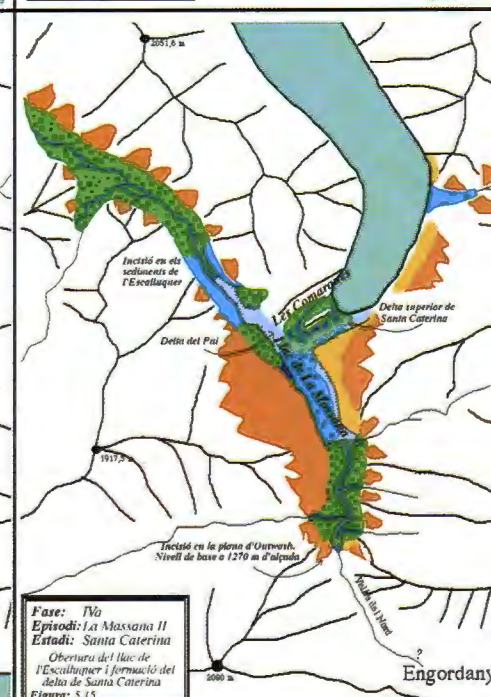
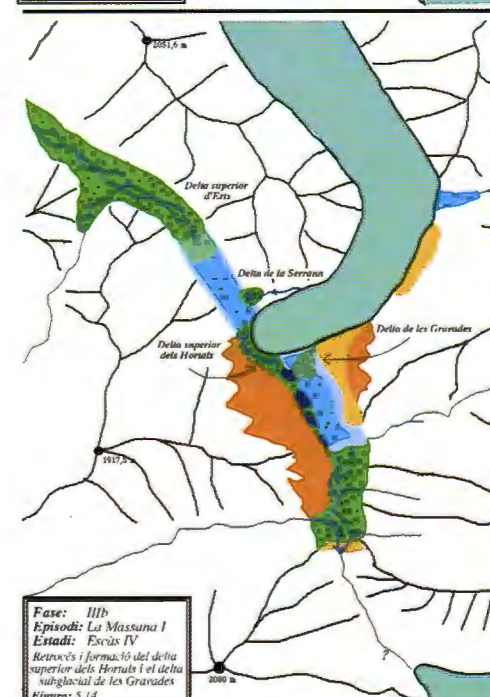
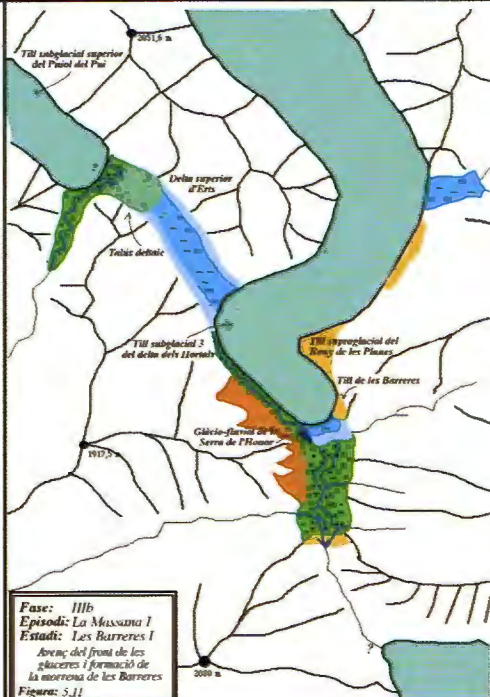
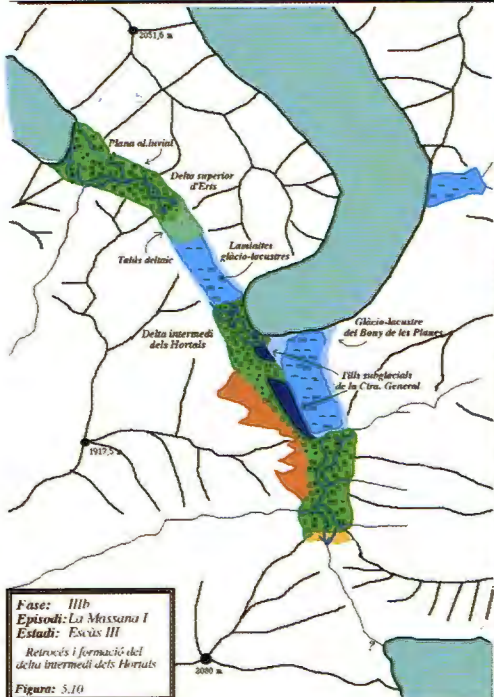
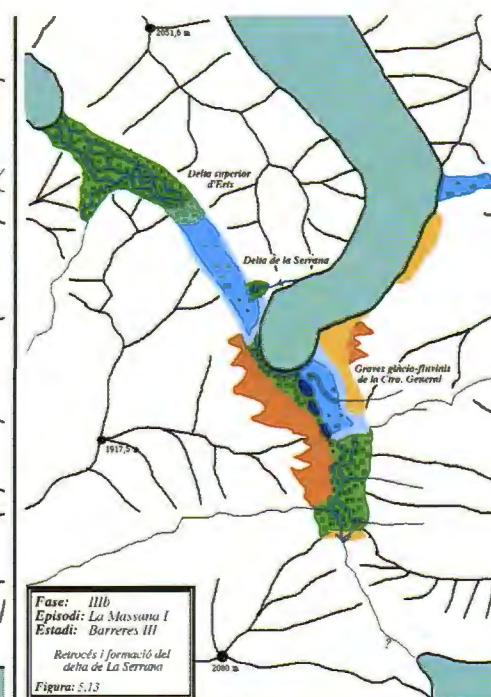
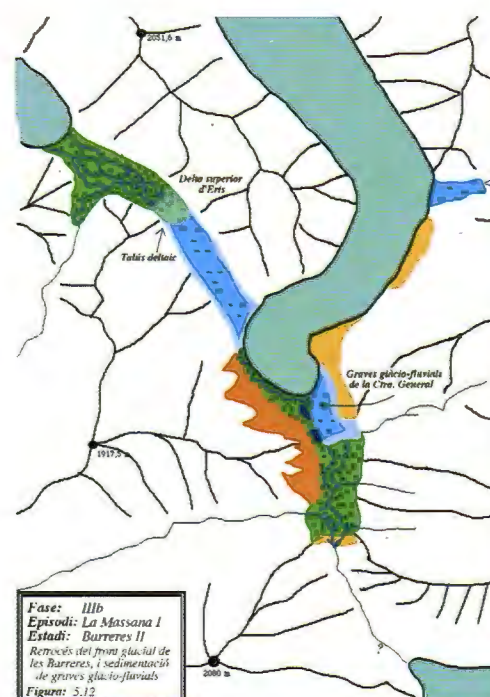
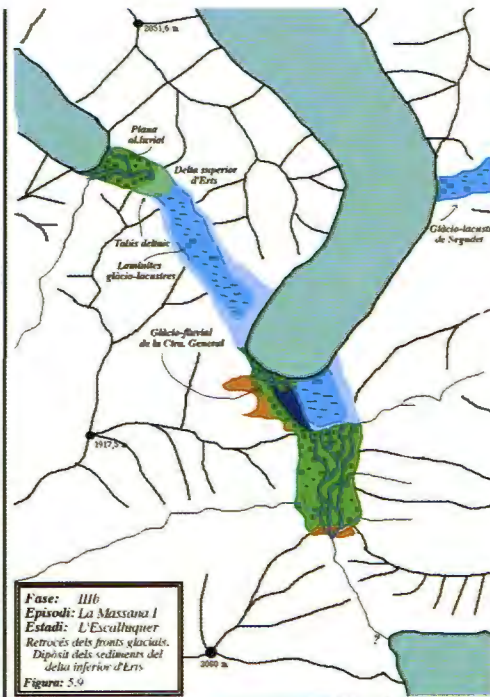
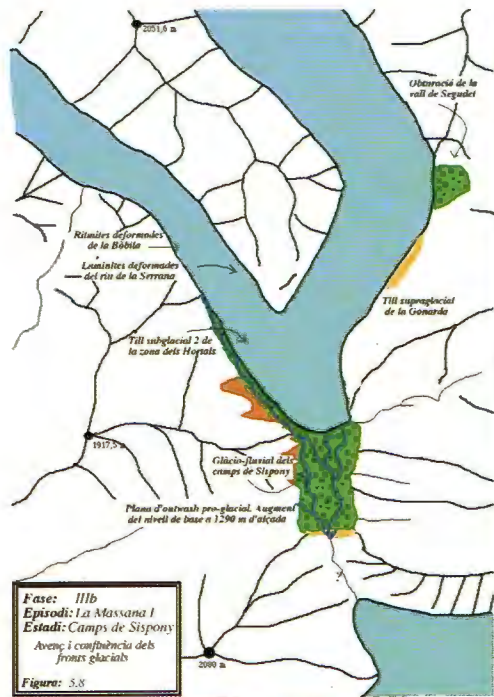


Figura 3: Cartografia de les facies sedimentàries glacials presents a la part baixa de la conca de la Valira del Nord. S'han situat els diferents afloraments esmentats en el present article.

Figura 4: L'agrupació dels afloraments estudiats s'ha realitzat partint d'unitats i complexos sedimentaris. Les unitats tenen una relació espacial de la distribució de les fàcies d'un o més ambients sedimentaris, mentre que els complexos agrupen un o més ambients sedimentaris glacials.





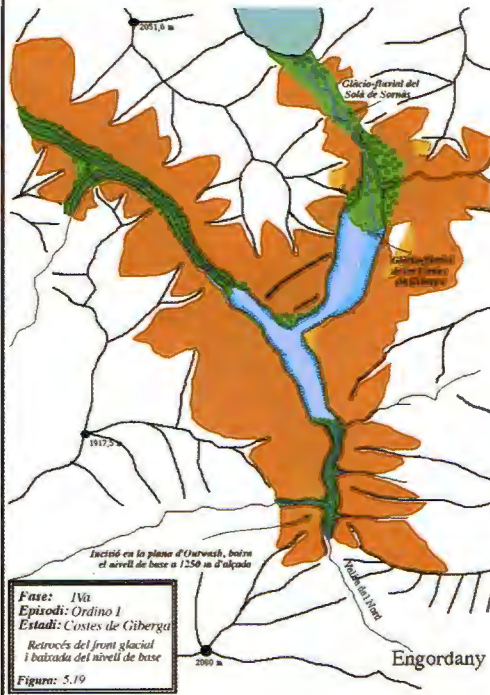
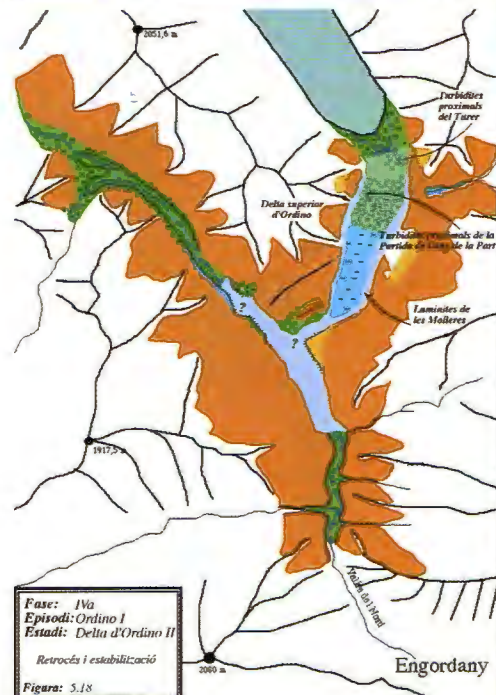
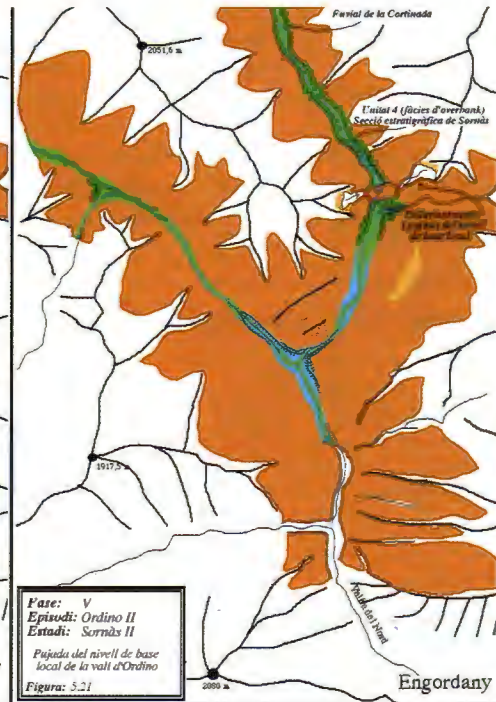
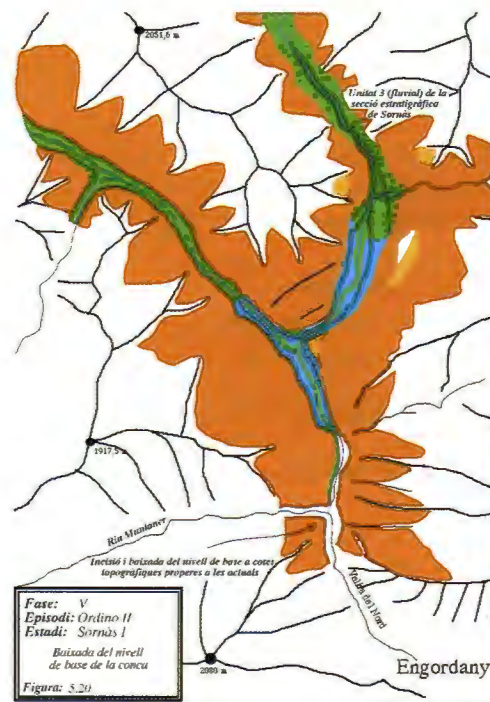
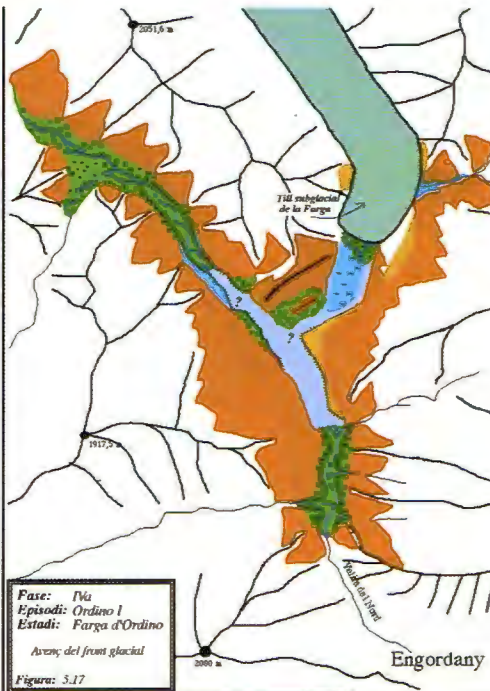
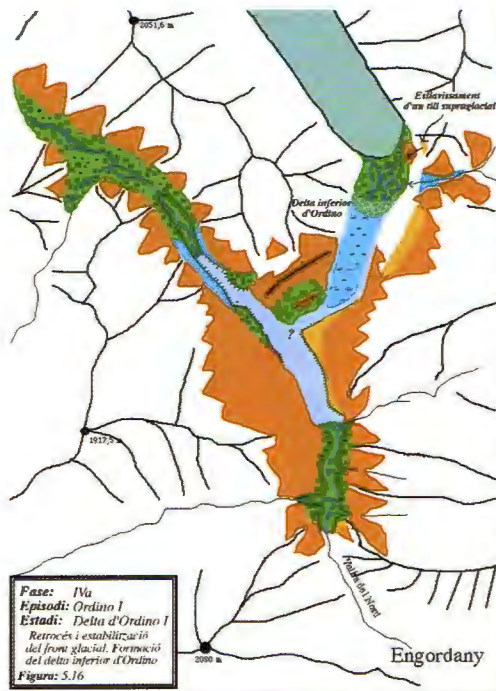


Figura 6: Síntesi de l'evolució glacial a les valls de la Valira del Nord

Marc regional Bordonau (1992)	Marc local Prat (1980)	Marc local Viaplana (1985)	Fases	Episodis de conca	Estadis de cubeta	Rebliment sedimentari	Complex	Unitat	Aflorament	Extensió glacial Arinat-Ordino (km)
Holocè	Holocè	Holocè	Holocè	Ordino II	Sornàs III	Nivell actual de base	VII	VII-1	VII-1.1	0
Fases de glaceres d'altitud i de circs	Fase V	Fase V	Fases IVb i V no observades		Sornàs II	Nivell de base local alt	VII	VII-1	VII-1.1	0
Fase de glaceres	Fase	Fase IV	<b>Fase Via</b>	Ordino I	Sornàs I	Davallada del nivell de base	VII	VII-1	VII-1.1	?
de vall	estacionament	Ordino	Retrocés generalitzat		Costes de Ciberge i Sornàs	Retrocés generalitzat de les glaceres i davallada progressiva del nivell de base per incisió en la cubeta d'Anyós	VI	VI-4	VI-4.1	13,5
Fase	postmàxim	Fase III	<b>Fase I/IIb</b>	La Massana II	Delta d'Ordino II	Retrocés i estabilització	VI	VI-3	VI-3.1	14,5
estabilització	estacionament	La Massana	Establització		Farga d'Ordino	Avenc glacial cap a les Molieres	VI	VI-2	VI-2.1	16
postmàxim	Episodi d'avenç	Fase II	postmàxim	La Massana I	Delta d'Ordino I	Retrocés i estabilització	VI	VI-1	VI-1.1	15,25
establització	estacionament	L'Aldosa	postmàxim		Santa Caterina	Retrocés i estabilització, delta superior de Santa Caterina	V	V-1	V-1.1	16,5
postmàxim	estacionament	L'Aldosa	postmàxim	Anyós	Escàs IV	Retrocés i formació del delta de la superior dels Hortals i del delta de les Gravades	IV	IV-3	IV-3.7	17,50
Fase de màxim	Fase de màxim	Fase I de Segudet	Fase I màxim enclapament		Barreres III	Retrocés i formació del delta de la Serrana	IV	IV-3	IV-3.6	17,75
				Anyós	Barreres II	Retrocés del llac de les Barreres	IV	IV-3	IV-3.1	18
					Barreres I	Avenc de la glacera fins a les Barreres	IV	IV-3	IV-3.1	5
				Anyós	Escàs III	Retrocés, delta intermedi d'Escàs	IV	IV-2	IV-2.1	17,5
					Escalluquer	Retrocés, delta superior d'Erts	IV	IV-2	IV-2.1	4,75
				Anyós	Camps de Sispon	Avenc i confluència de les glaceres	IV	IV-2	IV-2.1	18
					Escàs I	Retrocés, delta inferior dels Hortals	IV	IV-2	IV-2.1	7,75
				Anyós	Escàs I	Avenc, delta inferior d'Erts	IV	IV-2	IV-2.1	17,5
					Lloset d'Ordino	Retrocés i formació del delta interior de Santa Caterina	IV	IV-1	IV-1.1	4,75
				Anyós	Anyós	Establització i rebliment de la cubeta	III	III-1	III-1.1	10
					Serra de l'Honor	Retrocés fins a la serra de l'Honor	III	III-1	III-1.1	10
				Anyós	Santa Antoni	Avenc fins a Sant Antoni de la Grelia	II	II-1	II-1.3	11
					Lloset d'Ordino	Retrocés front glacial a la serra de l'Honor	II	II-1	II-1.1	10
				Engordany	Màxim enclapament, confluència amb la glacera de la Valira d'Orient	I	I-1	I-1.1	15	

Unitats	Complexos sedimentaris						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	Till de Padern	Tills de la cubeta d'Anyós	Glaciofluvial de la cubeta d'Anyós	Delta inferior de Santa Caterina	Delta superior de Santa Caterina	Delta inferior d'Ordino	Plana al·luvial de Sornàs - la Cortinada
2	—	—	—	Tills subglacials i glaciofluvial del camí d'Escàs	—	Delta superior d'Ordino	—
3	—	—	—	Tills de la Massana	—	Glaciolacustre de la Massana-Ordino	—
4	—	—	—	Delta inferior d'Erts i glaciofluvial de Sispony	—	Glaciofluvial de les Costes de Giberga i Sornàs	—
5	—	—	—	Glaciofluvial i glaciolacustre de Segudet	—	—	—
6	—	—	—	Delta superior d'Erts	—	—	—
7	—	—	—	Deltas de la Serrana i les Gravades	—	—	—

Figura 5: Representació esquemàtica i idealització dels diferents episodis de rebliment de la conca de la Massana-Ordino.



*Foto 1:* Till de deformació del Pont de l'Aldosa; es pot veure la intensa deformació que presenten les laminites glaciolacustres. En les laminites es poden observar interferències de plecs de tipus II de RAMSAY (1977), fet que indica que les ritmites han estat afectades per dues fases principals de deformació.



*Foto 3:* A la part superior del bony de les Planes es poden observar unes laminites glaciolacustres basculades i compactades en contacte erosiu amb un till supraglacial (nivell superior de còdols i blocs).



*Foto 2:* Prop del till de deformació de la fotografia 1, hom troba nivells de graves i sorres plegades prop del pont de les Palanques. En aquesta fotografia es poden veure uns nivells de graves en disposició antiforme.



*Foto 4:* En la present imatge, es poden observar uns nivells més foscos i altres de més clars que són conseqüència de la diferent granulometria que presenten. Els nivells foscos són formats per sèries turbidítics distals (llims i lutites), mentre que els nivells clars són formats per turbidites proximals (graves). També es pot diferenciar en la part alta *fore-sets* de sorres i graves (unitat intermèdia), que tendeix a horitzontalitzar-se. A la part superior tornen a observar-se nivells tabulars horitzontals de cossos turbidítics proximals.



Foto 5: Fotografia dels sediments deltes de Santa Caterina i del Pui, on es poden veure una part dels *fore-sets* d'aquest complex sedimentari. L'orientació de la fotografia és est-oest, i per la inclinació dels *fore-sets* hom pot dir que les aportacions provenien de l'oest (delta del Pui).



Foto 6: Es pot observar un llitatge horitzontal amb una fàbrica de clastos imbricats, i aquests indiquen que el corrent tractiu era originari de la vall d'Ordino. Per altra banda, les graves es troben per sobre d'unes laminetes, que corresponen al *bottom set* del delta de Santa Caterina de VILAPLANA (1984 i 1985), que és progradat pel *top-set*.



Foto 7: En aquesta imatge hom pot veure que la sèrie turbidítica del delta superior d'Ordino es disposa per sobre d'un till subglacial.



Foto 8: A la banda meridional de la partida de l'Any de la Part, es pot observar una formació de graves i còdols sense estructures ni organització interna, que formen part del sistema turbidític proximal del delta superior d'Ordino. En aquest aflorament es pot observar un còdol tou de sorres fines i lutites, producte de les erosions subaquoses generades pels corrents de terbolesa.



Foto 9: A la zona de les Molleres es poden observar laminites glaciolacustres corresponents a la sedimentació turbidítica distal del delta superior d'Ordino. També es poden observar nivells centimètrics de lutites negres amb petits nivells més clars entre les làmines. Els nivells foscos corresponen a membres turbidítics distals, mentre que els nivells blancs s'han format per una sedimentació estacional en el llac (varves).



Foto 10: En aquesta fotografia es pot distingir la unitat sedimentària 1 de la secció estratigràfica de Sornàs de TURU *et al.* (1995), de la resta dels sediments. En la part propera al vessant es pot veure com existeix un material groller amb una disposició inclinada cap al fons de vall, que és interpretat com un *debris flow*. Seguidament aquests materials han estat erosionats per un antic llit fluviotorrencial (Valira del Nord). Per sobre es disposen sediments més fins en disposició subhoritzontal, que corresponen a materials de fàcies d'inundació. En aquest sentit es pot observar un contacte *onlap* entre les fàcies d'inundació de plana al·luvial i el *debris flow* que ha erosionat la unitat 1.

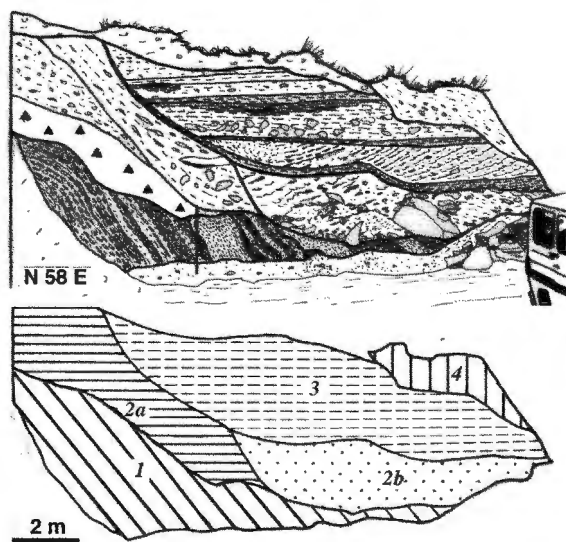


Figura: Esquema interpretatiu corresponent a la fotografia 10

*Aflorament IV-2.2: Till subglacial i glaciofluvial del roc del Quer*

A les construccions properes al roc del Quer, passat el poble del Pui i a una cota d'uns 1.330 metres, s'observa un aflorament de till subglacial que deforma unes laminetes glaciolacustres. Les laminetes estan per sobre d'un petit nivell de graves imbricades amb paleocorrent N80E que descansa sobre una superfície polida del substrat rocós. El paleocorrent indica que el flux tractiu provenia d'un riu lateral de la glacera d'Ordino.

*Interpretació de la unitat sedimentària IV-2*

Hom interpreta els afloraments IV-2.1 (Tills subglacials i glaciofluvial d'Escàs) com a dipòsits sedimentats en una posició proglacial, amb aportacions detrítiques provinents de la mateixa glacera (paleocorrents N110E) i amb corrents tractius provinents de la vall d'Erts (paleocorrents N350E i N220E). En aquest moment, la glacera d'Ordino va obturar la vall de la Valira d'Arinsal i es va formar un llac a la vall de l'Escalluquer. Aquest llac tenia sortida pel front de la glacera d'Ordino (a Escàs) amb un corrent tractiu que retreballava les graves glaciofluvials proglacials..

*Unitat sedimentària IV-3: Tills de la Massana*

*Afloraments IV-3.1: Tills subglacials de la carretera general i glaciofluvial de Sispony*

Amb aquesta denominació s'agrupen sis afloraments de till subglacial situats entre la urbanització Teixidor i la serra de l'Honor, entre 1.200 i 1.275 metres d'altitud, i diferents afloraments de fàcies glaciofluvial en les zones de Sispony.

Aflorament IV-3.1.1: Al poble de la Massana, entre la cruïlla de la carretera que mena al pont de les Palanques i la carretera general, a una cota de 1.226 metres, s'observa un till subglacial que es disposa, amb base erosiva, sobre un dipòsit constituït per gelifractes i còdols glacials que, al seu temps, està en contacte amb els substrat rocós. Aquest aflorament indica que uns sediments d'origen glacial han estat parcialment erosionats (durant la fase de màxim) i, posteriorment, en una nova fase d'avenç, contemporània al segon avenç dels afloraments IV-2.1, la glacera erosiona parcialment els sediments de vessant i sedimenta un till subglacial al seu damunt.

Aflorament IV-3.1.2: Durant la construcció de dos edificis es van observar tills subglacials en un revolt de la carretera general, entre els 1.235 i 1.270 metres d'altitud. Hom podia observar el contacte del till subglacial per sobre d'un dipòsit de gelifractes en contacte amb un substrat rocós polit. La superfície polida del substrat rocós es va formar durant la fase de màxim enllaçament; el dipòsit de gelifractes s'interpreta com un con d'esbaldregalls posterior a la fase de màxim enllaçament i anterior a l'avenç glacial en direcció a la cubeta d'Anyós. El till subglacial es correlaciona amb el segon episodi d'avenç dels afloraments IV-2.1. Aquest till subglacial està parcialment erosionat per un sediment glaciofluvial amb unes paleocorrents N250E i N245E que indiquen que el corrent tractiu venia dels Colls per mitjà d'una terrassa *kame* en comunicació amb el llac de l'Escalluquer quan la glacera d'Ordino obturava la vall de l'Escalluquer, després de retrocedir del seu avenç anterior. Seguidament s'observa, amb una base erosiva, un till subglacial que incorpora graves glaciofluvials, fet que indica un nou avenç del front glacial correlacionable amb el tercer avenç dels afloraments IV-2.1. Finalment, aquest till subglacial és parcialment erosionat per un dipòsit glaciofluvial amb paleocorrents dels Colls que indiquen que el flux tractiu provenia novament d'una terrassa de tipus *kame* en comunicació amb el llac de l'Escalluquer, quan el front glacial es trobava situat prop d'Escàs, obturant la vall de l'Escalluquer després de retrocedir novament del seu anterior avenç.

Aflorament IV-3.1.3: S'ha pogut observar un *lodgement* till en un talús de la carretera de la urbanització Teixidor, a uns 1.255 metres d'altitud. Aquest till presentava graves arrodonides i laminites deformades entre els còdols glacials, amb una foliació molt grollera a la matriu del sediment. Hom interpreta que aquest till pot haver-se format en la segona o tercera fase d'avenç glacial dels afloraments IV-2.1.

Aflorament IV-3.1.4: Al marge oest de la carretera general, en el punt quilomètric 4.8, hom ha pogut observar un till subglacial que es troba en contacte amb el substrat i que és parcialment erosionat per un dipòsit glaciofluvial de quatre metres de potència. Aquests sediments glaciofluvials presenten *fore-sets* amb paleocorrents N260E que indiquen que el flux tractiu tenia el seu origen en els Collets dels Plans. El till subglacial està relacionat amb el tercer episodi d'avenç de la glacera d'Ordino cap a la serra de l'Honor (afloraments IV-2.1), mentre que el dipòsit glaciofluvial està relacionat amb les aportacions d'una terrassa de tipus *kame* en comunicació amb el llac de l'Escalluquer en el moment en què el front glacial se

situava prop d'Escàs, després de l'última fase d'avenç sobre els sediments del llac de les Barreres.

Aflorament IV-3.1.5: Entre el quilòmetre 4.5 i 5 de la carretera general, a 1.236 metres d'altitud, prop del mur de la urbanització Sorribes, es pot observar un sediment massiu amb blocs glacials que engloba unes laminites plegades. Per sobre hi ha un petit aflorament de lutites laminades que es troben per sota d'un sediment groller. Hom interpreta la part baixa d'aquest aflorament com un till subglacial que retreballa i incorpora unes laminites glaciolacustres sedimentades en el llac de les Barreres en el moment en que es produeix el segon avenç de la glacera de la Valira del Nord (afloraments IV-2.1), en direcció a la serra de l'Honor. El sediment laminat superior s'interpreta com unes ritmites glaciolacustres sedimentades posteriorment al retrocés del front glacial. Aquestes laminites passen lateralment, en direcció de la serra de l'Honor, a graves imbricades amb paleocorrents N315E i N350E, interpretades com la desembocadura de canals distributius d'un curs fluvial al marge de l'antic llac de les Barreres. Els paleocorrents indiquen un origen de les aportacions en l'indret conegut com els Collets de la zona dels Plans, entre Sispony i Escàs, fet que indica que en aquest moment existia un torrent juxtaglacial de la glacera d'Ordino per la zona dels Plans. L'aigua d'aquest torrent provenia del llac de l'Escalluquer que estava oburat per la glacera d'Ordino.

Aflorament IV-3.1.6: Davant de la benzineria de la serra de l'Honor (a 1.235 i a 1.250 metres d'altitud), hom va poder observar un sediment massiu i compactat, amb una estructura *matrix-supported*, sobre del qual i en contacte erosiu hi havia un sediment amb abundants blocs dins d'una matriu sorrencolutítica. Per damunt s'observa un sediment *matrix-supported* amb abundants còdols de gelifractes que es troba erosionat parcialment per un paquet de graves imbricades que passen lateralment a sorres llitades, llims i lutites laminades en direcció a la Massana, relacionats amb el «till 2» dels afloraments IV-2.1.

La part inferior d'aquest aflorament s'interpreta com el pas de la glacera de la Valira del Nord per sobre del llinar de la serra de l'Honor, amb la sedimentació d'un till subglacial. La segona unitat presenta caràcters de till subglacial i supraglacial, per la qual cosa s'interpreta com una disminució de la columna de gel glacial en aquest indret, indicant el principi d'una retirada del front glacial aigües amunt de la serra de l'Honor. La tercera unitat correspon a un till supraglacial que retreballa dipòsits de vessant sedimentats en el marge glacial.

#### *Aflorament IV-3.2: Till supraglacial del bony de les Planes*

A la part alta del bony de les Planes (1.298 m) hom pot observar una acumulació de blocs amb trets glacials. Al vessant sud d'aquest turó, entre 1.280 i 1.265 metres, hom pot observar un sediment de gra fi (lutites i sorres) amb laminació deformada, seguit d'un dipòsit groller amb blocs subangulosos d'origen glacial inclosos en una matriu sorrencolútica, sense estructures internes, compactat i de color blau gris. Hom interpreta aquest aflorament com unes laminites glaciolacustres que es troben parcialment erosionades i deformades per un till supraglacial (fotografia 3).

VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984 i 1985) interpreten la base del bony de les Planes com un till d'obturació i la part superior, que correspon a l'aflorament descrit, com una plana d'*outwash* del llac de la Massana, que es trobaria situat a la zona septentrional del bony. PRAT (1980) caracteritza els sediments grollers anteriorment descrits com una morrena que indicaria un petit avenç de la glacera d'Ordino fins a l'Aldosa. Per altra banda, el till subglacial del bony de les Planes descrit per VILAPLANA (1984) podria relacionar-se amb un dels diferents avenços del front de la glacera d'Ordino.

A partir de l'altitud a la qual es troben els sediments glaciolacustres de les Barreres (1.270 metres), el nivell de base de la plana d'*outwash* de la cubeta d'Anyós estaria situat a uns 1.290-1.300 metres d'altitud.

#### *Aflorament IV-3.3: Till de la Gonarda*

La morrena de la Gonarda, situada a 1.420 metres d'altitud, fou descrita i interpretada per VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984 i 1985) com un till supraglacial corresponent a l'antiga morrena lateral esquerra de la glacera d'Ordino.

#### *Aflorament IV-3.4: Till de les Barreres*

La zona coneguda com les Barreres presenta una morfologia morrènica, amb abundants blocs glacials, cartografiada per VILAPLANA i SERRAT (1979) com un till d'obturació. Actualment no hi ha cap bon aflorament i únicament s'ha pogut observar un tall prop de l'actual llit del riu Valira del Nord. Entre 1.180 i 1.184 metres d'altitud s'observa un sediment massiu i compactat, amb abundants blocs i graves suportats per una matriu sorrencolútica. Hom interpreta aquest sediment com un till, possiblement supraglacial. La forma en arc d'aquest dipòsit indica la posició del front glacial en el moment del segon avenç de la glacera d'Ordino enregistrat en els afloraments IV-2.1.

#### *Aflorament IV-3.5: Laminites deformades del riu de la Serrana*

Prop del riu de la Serrana, seguint la carretera que mena al collet dels Colls, hom ha pogut observar unes laminites glaciolacustres lleugerament deformades amb estructures de crenulació.

Aquest aflorament presenta fàcies distals del delta inferior d'Erts situades a les portes de la cubeta de la Massana, que van ser afectades per fenòmens de glaciectònica. Aquests fenòmens han estat consignats per PRAT (1980) i per VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984 i 1985) en el seu aflorament número 6. Aquestes deformacions estan associades a un estadi d'avenç de la glacera d'Arinsal. Els sediments glaciolacustres es correlacionen amb la primera fase d'avenç del front glacial esmentada en els afloraments IV-2.1 i IV-3.1, mentre que la seva deformació està relacionada amb el segon episodi d'avenç.

#### *Interpretació de la unitat sedimentària IV-3*

Sobre la base dels afloraments de la unitat IV-3 i dels resultats obtinguts en la unitat IV-2 descrita anteriorment, es poden distingir diferents episodis d'avenç dels fronts glacials:

1) Primer estadi d'avenç glacial amb la sedimentació del «till subglacial 1». En aquest avenç la glacera va deformar els dipòsits sedimentats amb anterioritat (unitat IV-1: Delta inferior de Santa Caterina) i va erosionar parcialment les laminites de l'aflorament IV-2.1.1, que corresponen a les fàcies distals del delta inferior de Santa Caterina. En aquest moment es va formar un delta proglacial a la zona dels Hortals (part inferior del delta dels Hortals).

2) La glacera va retrocedir lleugerament i es van sedimentar graves glaciofluvials (afloraments IV-2.1.2 i IV-2.1.3) en posició proglacial, que van erosionar part del till anteriorment sedimentat.

3) El front de la glacera va tornar a avançar i va progradar les graves del delta inferior dels Hortals (aflorament IV-2.1.4, «till subglacial 2») arribant fins a les immediacions de la cubeta d'Anyós i sedimentant els tills de la serra de l'Honor (IV-3.1.6).

4) Posteriorment, la glacera va retrocedir i es formà un nou delta proglacial a la zona dels Hortals (delta intermedi dels Hortals, aflorament IV-2.1.4). Durant aquest retrocés es van sedimentar les graves glaciofluvials inferiors de l'aflorament IV-3.1.2, per sobre del «till subglacial 2».

5) El delta intermedi va ser progradat per un nou avenç glacial i el front de la glacera se situà a les Barreres (aflorament IV-3.4). Durant aquest episodi el «till subglacial 3» va erosionar parcialment les graves inferiors de l'aflorament IV-3.1.2. També es va sedimentar el till subglacial de l'aflorament IV-3.1.4 i el till supraglacial de l'aflorament IV-3.2.

6) Es produeix un nou retrocés del front glacial fins a Escàs, amb successives estabilitzacions que van donar lloc a la sedimentació de les ritmites glaciolacustres i les graves glaciofluvials dels afloraments IV-3.1.6, IV-3.1.5, IV-3.1.4, IV-3.1.2 i de l'aflorament IV-2.1.5 que correspon al delta superior dels Hortals.

#### ***Unitat sedimentària IV-4: Delta inferior d'Erts i glaciofluvial de Sispony***

##### *Afloraments IV-4.1: Delta inferior d'Erts*

Amb aquesta denominació s'agrupen els diferents afloraments de fàcies glaciofluvials i glaciolacustres amb indicis de deformació que es troben entre l'Escalluquer i Erts.

Aflorament IV-4.1.1: A la vall del riu d'Arinsal, al peu del roc de l'Escalluquer (1.290-1.295 metres d'altitud), s'observa un sediment massiu i compactat damunt d'unes laminetes predominantment lutítiques amb estructures de càrrega que es disposen per sobre d'unes graves amb estructures tractives.

Aflorament IV-4.1.2: Entre Erts i la Massana, en un indret proper a l'antiga factoria de la Bòbila de la Massana (1.265-1.270 metres d'altitud) s'observa un aflorament de lutites laminades, deformades i compactades.

##### *Aflorament IV-4.2: Glaciofluvial de Sispony*

Seguint la carretera que mena a Sispony, just per sota del cementiri (1.270-1.290 metres), hom pot observar un potent paquet de graves imbricades amb paleocorrents N310E i N350E. En alguns indrets aïllats presenten estructures de càrrega i fragments argilosos de till entre els clastos, que indiquen la influència d'un front glacial proper.

En alguns indrets hom pot observar clastos de mida de bloc imbricats, que indiquen cicles de gran energia. També són freqüents les estructures de col·lapse.

#### ***Interpretació de la unitat sedimentària IV-4***

L'aflorament IV-4.1.1. s'interpreta com la progradació de la glacera d'Arinsal per sobre d'uns sediments d'origen glaciofluvial i glaciolacustre. L'aflorament IV-4.1.2 s'interpreta com un till de deformació generat per la glacera d'Arinsal en un episodi d'avenç glacial sobre els sediments d'un llac a la vall de l'Escalluquer.

Amb anterioritat a aquest episodi d'avenç, la glacera d'Ordino obturava la vall de l'Escalluquer i es va formar un llac a la part baixa de la vall d'Arinsal. Les aigües de fusió del front glacial i les provinents de la vall de Pal desembocaven en aquest llac i els materials més grollers se sedimentaven a la rodalia d'Erts i les fàcies distals a la zona de l'Escalluquer i la Serrana.

L'aflorament IV-4.2 s'interpreta com l'acumulació de graves glaciofluvials i graves d'origen periglacial retreballades per un corrent tractiu provinent dels Camps de Sispony en una plana d'*outwash* proglacial. L'àrea font de les aportacions se situa en el marge oest de la glacera d'Ordino, quan aquesta es trobava als voltants de la serra de l'Honor. Aquests sediments es troben a la plana d'*outwash* des de 1.235 metres fins a 1.290 metres d'altitud, fet que va determinar d'una manera decisiva la sedimentació posterior a la cubeta de la Massana.

#### ***Unitat sedimentària IV-5: Glaciofluvial i glaciolacustre de Segudet***

##### *Aflorament IV-5.1: Vall de Segudet*

A la sortida del poble de Segudet, a 1.340 metres d'altitud, es va poder observar un sediment massiu i compactat amb blocs glacials, de color blau gris. També s'han observat afloraments de lutites prop del poble de Segudet (1.350 m), a la Creu de Nora (1.485 m) i a la conca del riu de les Aubes (1.530 m). Per altra part, hi ha diversos afloraments de graves imbricades a la conca del riu de Casamanya (1.390 m) que es continuen fins a l'engorjat de la Creu de Nora (1.460 m).

En un primer episodi es van sedimentar les graves glaciofluvials provinents de les aigües de fusió de petits aparells glacials situats a la part alta del vessant de Casamanya, tal com indiquen els paleocorrents mesurats a les graves. Seguidament es van sedimentar les laminetes glaciolacustres fins a assolir una cota de 1.530 metres.

Aquest aflorament va ser consignat per primer cop per VILAPLANA i SERRAT (1979), i descrit en detall per VILAPLANA (1984); VILAPLANA (1985) el va associar a la fase de màxim avenç glacial.

Cal dir que en aquests afloraments no s'han observat sediments afectats per fenòmens de glaciectònica; per tant, la sedimentació va començar amb el darrer avenç important experimentat per la glacera d'Ordino (segon avenç dels afloraments IV-2.1).

### ***Interpretació de la unitat sedimentària IV-5***

Durant la segona fase d'avenç glacial enregistrada en la unitat IV-3, tingué lloc l'obturació del riu de Segudet, i es formà un llac juxtaglacial amb una làmina d'aigua que va assolir la cota 1.530 m.

### ***Unitat sedimentària IV-6: Delta superior d'Erts***

#### ***Afloraments IV-6.1: Delta superior d'Erts***

Amb aquesta denominació s'agrupen diferents afloraments de fàcies glaciofluvials que es troben entre el riu d'Escalluquer i la cruïlla del mas de Ribafeta. Aflorament IV-6.1.1: A la vall d'Erts, un quilòmetre al nord de la confluència entre la Valira d'Ordino i el riu d'Arinsal, PRAT (1980) va observar una morrena interestratificada entre laminites glaciolacustres. Els sediments que constitueixen aquest aflorament corresponen al nivell superior de laminites consignat per PRAT (1980). El nivell morrènic esmentat per aquesta autora correspon al segon episodi d'avenç glacial enregistrat en els afloraments IV-2.1 i IV-3.1.

Aflorament IV-6.1.2: A la part alta del dipòsit descrit per VILAPLANA i SERRAT (1979), PRAT (1980) i VILAPLANA (1984 i 1985) a l'indret conegut com la Bòbila de la Massana, on ha estat descrita una potent acumulació de laminites glaciolacustres, hom pot observar una sèrie granodecreixent de quatre metres de potència, constituïda per graves imbricades a la base i llims i lutites laminades al sostre.

Aflorament IV-6.1.3: Al Solà del Pui (1.295 m) hom pot observar un paquet de 0.5 metres de potència constituït per lutites laminades glaciolacustres parcialment erosionades per un dipòsit massiu amb blocs glacials inclosos en una matriu lutítica.

Aflorament IV-6.1.4: A la canal de les Llongues (1.279 m) hom pot observar laminites glaciolacustres que es troben erosionades per un dipòsit massiu de graves d'origen glacial.

Aflorament IV-6.1.5: A la canal del Teixò (1.285 m) hom pot observar una alternança de sorres fines i grolleres, amb estratificació planoparal·lela i en posició inclinada. Uns dipòsits de vessant erosionen parcialment el nivell anterior.

Aflorament IV-6.1.6: Entre la canal de la Font de la Gambada i la canal del Jou hom pot observar, a una altitud de 1.300 metres, el millor aflorament d'aquest complex deltaic (vegeu fotografia 4). En la secció es poden diferenciar tres unitats.

En la unitat inferior, de base a sostre, s'alternen nivells tabulars sorrencs amb estratificació planoparal·lela i nivells de graves sense estructures internes o bé amb estratificació planoparal·lela i, ocasionalment, zones amb granoclassificació dins de la mateixa capa. Els nivells de sorres passen lateralment a lutites laminades. La unitat intermèdia presenta *fore-sets* de graves imbricades que es van horitzontalitzant en direcció a la Massana, amb una seqüència granodecreixent. La unitat superior és molt semblant a la inferior, amb una alternança de nivells grollers i sorrencs amb disposició horitzontal que poden arribar fins a una cota de 1.357 metres.

Aflorament IV-6.1.7: A la canal del Jou, entre 1.324 i 1.332 metres d'altitud, hom pot distingir un nivell inferior de graves grolleres sense estructures internes, per sobre del qual es disposa un nivell de graves imbricades amb *fore-sets*, correlacionable amb la unitat intermèdia de l'aflorament anterior.

Aflorament IV-6.1.8: Prop del poble d'Erts s'observen petits afloraments dispersos de laminites glaciolacustres (1.337 m), graves no imbricades (1.340 m a la canal dels Picons), llims sorrencs laminats (1.355 m) i graves imbricades entre Erts i la canal dels Picons, amb un paleocorrent N260E que indica un origen del corrent tractiu a la confluència entre els rius d'Arinsal i de Pal.

#### ***Aflorament IV-6.2: Fluvial de Xixerella***

A la carretera d'Erts a Xixerella hom troba dos afloraments de graves amb estructures tractives a unes altituds de 1.361 i 1.381 metres. Hom interpreta aquests sediments com a graves fluvials provinents del riu de Pal, sincròniques a la sedimentació en el delta d'Erts. També s'observen cicles d'inundació granocrecixents de tipus *overbank*.

#### *Aflorament IV-6.3: Till subglacial del Puiol del Piu*

A la vall d'Arinsal, prop de la cruïlla que mena a les bordes del Puiol del Piu (1.390 m), hom ha pogut observar un till subglacial en contacte amb el substrat rocós polit. Aquest till està parcialment erosionat per un dipòsit massiu amb abundants còdols angulosos, interpretat com el resultat d'un moviment de massa. Aquest últim dipòsit està recobert per un nivell de sorres fines, amb laminació planoparal·lela, retreballades per un nivell de graves imbricades. Per sobre es disposen unes sorres fines laminades amb una intercalació de ritmites glaciolacustres. Tota la sèrie es troba erosionada, en direcció a Arinsal, per un till subglacial. Per sobre del till s'observa un dipòsit massiu amb blocs glacials i angulosos, interpretat com un nou moviment de massa.

Els dos tills subglacials observats corresponen a la glacera d'Arinsal. El primer moviment de massa marca la retirada de la glacera d'aquest indret, fet que va provocar la inestabilització d'un dipòsit de vessant que es trobava adossat a la glacera (retrocés posterior al segon episodi d'avenç glacial dels afloraments IV-2.1 i IV-3.1). Per altra banda, les ritmites sense cap estructura de deformació es van sedimentar al mateix temps que el segon till, que correspondria al tercer episodi d'avenç glacial enregistrat en els afloraments IV-2.1 i IV-3.1.

#### *Interpretació de la unitat sedimentària IV-6*

Els afloraments IV-6.1 pertanyen a un mateix complex deltaic. Els materials de l'aflorament IV-6.1.6 constitueixen una seqüència completa que permet explicar l'evolució d'aquest delta. En aquest aflorament s'han distingit tres unitats: la primera unitat s'interpreta com el resultat de la sedimentació de cossos turbidítics, la segona unitat presenta els *fore-sets* típics d'una sedimentació de talús deltaic i la tercera unitat torna a presentar fàcies turbidítics.

La unitat inferior es va formar en un moment en què el nivell de base del llac de l'Escalluquer era elevat (correlacionable amb el «till 2» dels afloraments IV-2.1). La unitat intermèdia es va sedimentar amb un nivell de base baix, afavorint la progradació del talús deltaic per sobre del prodelta. La tercera unitat indica una nova fase d'inundació i retrogradació del talús deltaic cap a posicions més elevades, perquè la sedimentació d'aquesta unitat correspon a la part interna d'un ventall turbidític correlacionable amb el «till

3» de la unitat IV-2.1. Les parts distals dels ventalls turbidítics del delta d'Erts es trobarien prop del delta de la Serrana i viceversa a una cota de 1.295 metres.

El nivell de base del llac de l'Escalluquer oscil·lava entre 1.330 i 1.360 metres. Aquests canvis en la profunditat del llac eren governats per les oscil·lacions del front de la glacera d'Ordino a la rodalia d'Escàs, que provocaven erosions subaèries i subaquàtiques en el talús deltaic, formant ventalls turbidítics. Per altra part, els canvis en el nivell de base provocaven també avenços i retrogradacions del front deltaic. Quan la glacera d'Ordino va deixar d'obturar el llac de l'Escalluquer, el nivell de base va baixar fins als 1.290 metres. La plana glaciofluvial es va estendre també per la vall del riu de Pal, tal com mostren els sediments dels afloraments IV-6.2 (Fluvial de Xixerella).

El till subglacial del Puiol del Piu (aflorament IV-6.3) indica que la glacera d'Arinsal arribava fins al llac de l'Escalluquer. El nivell d'inundació del llac va arribar, com a mínim, fins a una cota de 1.390 metres.

#### *Unitat sedimentària IV-7: Deltas de la Serrana i les Gravades*

##### *Aflorament IV-7.1: Delta de la Serrana*

Prop del riu de la Serrana, seguint la pista que mena al collet dels Colls, es pot observar un aflorament a una altitud de 1.300 metres, en contacte amb el substrat rocós polit, constituït per una sèrie de *fore-sets* granodecreixents amb graves imbricades a la base, amb paleocorrents N160E i N100E, seguit per fàcies d'inundació on es poden reconèixer seqüències turbidítics. Cap al sostre de la sèrie, s'observen laminetes glaciolacustres que tendeixen a l'horitzontalització. Els paleocorrents de les graves indiquen que l'origen del flux es trobava en el riu de la Serrana, i està associat a l'aflorament glaciofluvial del collet dels Colls, descrit en l'aflorament 3 de VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984 i 1985). L'aflorament 7 dels mateixos autors també està associat a aquests dipòsits.

##### *Aflorament IV-7.2: Delta de les Gravades*

En un revolt d'un carrer que queda situat just per sota de la carretera general, a una cota de 1.212 metres, es poden veure, per sobre d'un till subglacial, sorres llitades i graves orientades en direcció N5E i amb *fore-sets* amb un cabussament 108/16 SW. El cabussament dels *fore-sets* i els paleocorrents indiquen que l'origen del flux es trobava situat a la zona del camí de les Gravades, a la part final de la morrena lateral del bony de les

Planes. Hom interpreta que els sediments eren transportats per un riu subglacial que desembocava a l'anomenat llac de les Barreres, a una cota de 1.235 metres, en un moment de retrocés del front glacial.

#### ***Interpretació de la unitat sedimentària IV-7***

El delta de la Serrana es va formar a finals de l'estadi d'obturació de la vall de l'Escalluquer, al mateix temps que es formava el delta de les Gravades al llac de les Barreres.

El sostre de la sedimentació del delta de la Serrana es troba situat prop dels 1.300 metres d'altitud. Els nivells de base dels llacs de l'Escalluquer i de les Barreres estaven situats a la mateixa cota, fet que indica que aquests llacs es trobaven en comunicació directa. En aquest moment el front de la glacera d'Ordino es trobava entre Escàs i Santa Caterina.

El delta de les Gravades no presenta cap estructura de deformació, fet que indica que el delta es va formar posteriorment a l'últim avenç del front de la glacera d'Ordino. Els *fore-sets* d'aquest delta es disposen directament sobre un till subglacial, fet que evidencia que la sedimentació d'aquestes graves es va produir després de l'últim retrocés de la glacera d'Ordino. Partint de la inclinació dels *fore-sets* d'aquest delta, hom pot dir que les aportacions provenien de la base del bony de les Planes (a uns 1.235 metres d'altitud), fet que fa suposar l'existència d'un torrent subglacial que circulava entre la glacera i el bony de les Planes.

#### **Interpretació del complex sedimentari IV**

Després de la sedimentació del complex sedimentari III es produeix un retrocés de la glacera d'Ordino fins la rodalia de Santa Caterina, on s'estabilitza temporalment i es forma un delta proglacial a les portes de la cubeta de la Massana. Un nou avenç del front glacial provoca la deformació dels sediments glaciofluvials i glaciolacustres sedimentats a la cubeta de la Massana. El front de la glacera d'Ordino se situava als voltants del poble d'Escàs on es va formar un delta proglacial. Aquest avenç del front de la glacera va comportar l'obturació de la vall de l'Escalluquer i la formació d'un complex glaciolacustre juxtaglacial.

El front de la glacera d'Ordino va experimentar un lleuger retrocés i va

tornar a avançar, com a mínim, fins a la serra de l'Honor. Durant aquest avenç es va produir la confluència de les glaceres d'Arinsal i d'Ordino, i una important sedimentació glaciofluvial a la cubeta d'Anyós i als plans de Sispony. Durant un nou estadi de retrocés, les glaceres d'Arinsal i d'Ordino es van separar, s'obturà novament la vall de l'Escalluquer per la glacera d'Ordino i es formà un delta proglacial entre el Puiol del Piu i Erts. En aquest episodi també es va formar, en una posició proglacial, el delta intermedi dels Hortals, alimentat parcialment pels corrents tractius que comunicaven el llac de l'Escalluquer amb el llac de les Barreres.

En el tercer avenç del front de la glacera d'Ordino es va formar l'arc morrènic de les Barreres i el bony de les Planes. Posteriorment es va iniciar un període de retrocés glacial amb curts estadis d'estabilització, durant els quals es van sedimentar graves glaciofluvials en el llac de les Barreres.

En els darrers estadis d'obturació de la vall de l'Escalluquer es va formar el delta de la Serrana. Al mateix temps, al llac de les Barreres es va formar el delta de les Gravades.

#### **Complex sedimentari V**

##### ***Unitat sedimentària V-1: Delta superior de Santa Caterina***

El delta de Santa Caterina marca un moment d'estabilització dins d'una fase de retrocés generalitzat de la glacera d'Ordino. El front de la glacera es va retirar fins a la solana del Lloset d'Ordino i les aigües de fusió glacial van construir un delta proglacial a l'indret conegut com Santa Caterina. Aquest delta ha estat descrit prèviament per VILAPLANA i SERRAT (1979), PRAT (1980) i VILAPLANA (1984 i 1985).

##### ***Aflorament V-1.1: Deltas del Pui i de Santa Caterina***

Entre el Pui i Santa Caterina (1.250-1.260 m) hom ha pogut observar diversos afloraments constituïts per graves imbricades i lutites laminades. La sèrie observada consta d'un till subglacial recobert per lutites laminades. Per damunt s'observa un dipòsit de graves glaciofluvials, on es diferencien dues unitats.

La primera unitat presenta *fore-sets* que s'horitzontalitzen en direcció a Santa Caterina, amb un paleocorrent N318E provinent de la zona del Pui (unitat 1, fotografia 5); la segona unitat presenta estratificació horitzontal i

paleocorrents N70E i N115E provinents de la vall d'Ordino (unitat 2, fotografia 6). Hom interpreta que en aquest indret conflüen dos aparells deltaics alimentats per les aigües de fusió del front glacial. El corrent tractiu provinent del Pui s'originava a la zona coneguda com les Comarques, mentre que l'altre corrent tractiu provenia de Santa Caterina. Aquest últim aparell deltaic és el que correspon a l'aflorament 5 descrit per VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984, 1985). L'aflorament que s'observa actualment correspon al *top-set* d'aquest delta.

#### *Aflorament V-1.2: Glaciolacustre de Santa Caterina*

Al turó del bony de les Planes, seguint el camí que mena a l'Aldosa i a una cota de 1.245 metres, es poden observar laminites glaciolacustres per damunt de les laminites deformades i fallades del till de deformació del Pont de l'Aldosa (aflorament IV-1.1).

Les laminites glaciolacustres es disposen discordantment per sobre del till de deformació i poden correlacionar-se amb les laminites del *bottom-set* del delta de Santa Caterina descrit per VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984 i 1985).

#### *Afloraments V-1.3: Glaciolacustre de la Massana*

Al sector de La Massana també es reconeixen diversos afloraments de laminites glaciolacustres.

Aflorament V-1.3.1: Glaciolacustre de la urbanització Teixidor (1.260 m): Hom ha pogut observar un nivell poc potent (2 metres) de laminites que recobreix un till subglacial.

Aflorament V-1.3.2: Glaciolacustre de la vila de la Massana: Prop de la cruïlla de la carretera general amb la carretera d'Arinsal (1.235 m) s'ha pogut observar un aflorament de 4 metres de laminites glaciolacustres progradat per uns dipòsits de vessant.

Cal remarcar que aquests aparells deltaics tenen un nivell de base més baix (1.270-1.280 m) que l'anteriorment descrit (1.290-1.300 m), fet que indica una certa incisió a la plana d'*outwash* de la cubeta d'Anyós.

### **Interpretació del complex sedimentari V**

La cubeta de la Massana presentava una plana d'*outwash* situada a la seva part meridional (cubeta d'Anyós). A la zona de Santa Caterina es va desen-

volupar un aparell deltaic proglacial, sedimentant-se laminites glaciolacustres entre l'aparell deltaic i la plana d'*outwash*.

### **Complex sedimentari VI**

#### ***Unitat sedimentària VI-1: Delta inferior d'Ordino***

##### *Aflorament VI-1.1: Delta inferior d'Ordino*

Entre la cruïlla de l'Aldosa i la vila d'Ordino hom troba una plana situada a uns 1.280 metres d'altitud. Aquesta plana ha estat interpretada per VILAPLANA i SERRAT (1979) i VILAPLANA (1984, 1985) com una plana d'*outwash* en posició proglacial, i per PRAT (1980) com un dipòsit glaciofluvial.

A la urbanització la Clota, a uns 1.260 metres d'altitud, hom ha pogut observar un nivell d'un metre de potència constituït per lutites laminades, amb alternança de colors clars i grisos, afectades per petites falles inverses i, per sobre, un potent paquet de graves imbricades. Per damunt d'aquestes graves imbricades s'ha observat un nivell massiu de color blau gris, parcialment erosionat per un segon paquet de graves imbricades.

#### ***Interpretació de la unitat sedimentària VI-1***

Al sud de la vila d'Ordino, i en una posició proglacial, va tenir lloc una sedimentació lacustre que fou progradada per les fàcies glaciofluvials d'un delta amb un talús de poca inclinació. Amb posterioritat, tots aquests sediments van ser progradats per un nou avenç del front glacial.

Hom interpreta la base de la seqüència com un dipòsit característic d'un llac amb sedimentació de varves lacustres estacionals, pròpia de llacs oligotròfics amb estratificació tèrmica anual (STURM i MATTER, 1978).

Aquest sediment varvat es troba parcialment erosionat per un dipòsit glaciofluvial de 5 metres de potència. Les graves presenten un cabussament d'uns 14° cap al sudoest (VILAPLANA, 1984, 1985) i s'interpreten com un talús deltaic, amb poca inclinació, que prograda sobre els sediments glaciolacustres, mentre que el front de la glacera se situa prop de la vila d'Ordino.

La capa següent correspon a un till basal que retreballa les graves anteriorment descrites. Aquests sediments estan relacionats amb els afloraments de la farga Plandolit (consignat per PRAT, 1980) i de la cruïlla de la carretera de l'Aldosa, on aquesta autora descriu fenòmens de glaciectònica. Aquest till subglacial evidencia un episodi d'avenç de la glacera per sobre de les graves glaciofluvials, fet que provoca la deformació de les argiles glaciolacustres inferiors.

La part superior de la sèrie és formada per un nou paquet de graves glaciofluvials sedimentades durant un episodi de retrocés del front glacial. Aquestes graves glaciofluvials corresponen a la part superior del delta d'Ordino, que es descriurà tot seguit.

### ***Unitat sedimentària VI-2: Delta superior d'Ordino***

Tant la part superior com la part inferior del delta d'Ordino estan actualment seccionades pel riu Valira del Nord. Els sediments es troben a la partida de l'Any de la Part i, majoritàriament, als prats del sud de la vila d'Ordino on s'ha descrit el delta inferior d'Ordino (unitat VI-1).

#### ***Aflorament VI-2.1: Sediments de la Partida de l'Any de la Part***

A la partida de l'Any de la Part es poden observar, al llarg del camí que va des de les bordes de la Canal Gran fins als Collets, diferents afloraments de graves glaciofluvials. Prop de les bordes, a 1.280 metres d'altitud, hom pot observar un till subglacial de fusió que es troba parcialment erosionat per un nivell de graves granodecreixents, sense estructures internes, però amb laminació planoparal·lela al sostre, que està recobert per unes sorres de mitjanes a grolleres amb *ripples* seguides per una laminació planoparal·lela. Per damunt s'observa un nou nivell de graves imbricades, amb base erosiva, seguit per un dipòsit de vessant (vegeu fotografia 7).

El nivell de graves i sorres situat damunt del till subglacial s'interpreta com un cos turbidític, perquè es poden identificar diferents termes de la seqüència truncada de BOUMA (1962), característica de la part proximal d'un ventall turbidític (fotografia 8).

El till subglacial es correlaciona amb el till subglacial descrit en la unitat IV-1, i marca la divisió entre les parts inferior i superior del delta d'Ordino. La part inferior del delta presenta fàcies de front deltaic, mentre que la part superior presenta fàcies de prodelta.

#### ***Aflorament VI-2.2: Glaciofluvial del Turer***

Entre el cementiri i la vila d'Ordino, a 1.280 metres d'altitud, hom ha pogut observar un nivell sense classificació interna constituït per blocs glacials i gelifractes inclosos en una matriu sorrencollimosa. Seguidament s'observa un nivell de graves amb imbricació alterada que presenta cimentacions per òxids de ferro. Per damunt es disposa un till basal de fusió que retreballa i incorpora sediments glaciolacustres i glaciofluvials.

Aquests sediments s'interpreten com el resultat d'una retirada de la glacera d'Ordino i l'esllavissada d'una morrena lateral que arriba a una plana al·luvial, progradada tot seguit pel front glacial.

A continuació s'observa un cos canaliforme amb graves imbricades i paleocorrents N280E, N290E i N315E provinents de la vall de la Valira d'Orient, que erosiona parcialment el till subjacent. Seguidament s'observa un nivell tabular de sorres i graves granocreixents amb imbricació dels clastos i paleocorrents N10E i N35E que corresponen a un canal distributiu del canal principal. Per sobre hi ha un nivell de laminites glaciolacustres que cap al sostre passen a sorres fines amb *ripples*.

Hom interpreta, basant-se en el registre sedimentari, una retirada del front glacial i una sedimentació de talús deltaic prop de la plana al·luvial, si hem de jutjar pels diferents canals observats. Les laminites indiquen la presència d'una certa inundació en el moment de la sedimentació d'aquests materials. Per sobre de les sorres amb estructures tractives de tipus *ripple* es va sedimentar un flux gravitatiu que va incorporar laminites glaciolacustres i restes de till basal.

El delta d'Ordino presentava un talús amb un pendent baix, ja que entre la situació del prodelta i el front glacial únicament hi havia una diferència de deu a vint metres.

### ***Interpretació de la unitat sedimentària VI-2***

Entre els voltants de la vila d'Ordino i la cruïlla de la carretera de l'Aldosa amb la carretera general es va desenvolupar un sistema deltaic amb un front glacial proper. Aquest delta se situa damunt d'un altre complex deltaic que va ser funcional amb anterioritat (delta inferior d'Ordino).

El complex sedimentari presentava una plana deltaica en posició proglacial entre Sornàs i Ordino, mentre que el talús deltaic i el prodelta

quedaven emplaçats, respectivament, entre la vila d'Ordino i la cruïlla de l'Aldosa, amb una sedimentació turbidítica de fàcies proximals.

### ***Unitat sedimentària VI-3: Glaciolacustre de la Massana-Ordino***

#### *Aflorament VI-3.1: Glaciolacustre de les Molleres*

A l'indret conegut com les Molleres, entre el pont d'Ordino i el bony de les Planes (1.232-1.270 metres d'altitud), hom va observar en un desmunt un potent dipòsit de lutites glaciolacustres.

#### ***Interpretació de la unitat sedimentària VI-3***

Per explicar aquesta gran acumulació de laminites glaciolacustres (vegeu fotografia 9) s'ha de tenir en compte que quan funcionava el delta de Santa Caterina, el nivell de base del llac de les Barreres estava situat a uns 1.270 metres i, una vegada retirat el front glacial del solà del Lloset d'Ordino, va existir un únic llac entre la zona de les Barreres i les Molleres. A Santa Caterina hi havia una important acumulació de graves glaciofluvials i lutites glaciolacustres que constituïa un llinzar en la conca lacustre. Aquest llinzar limitava l'extensió de les fàcies turbidítiques distals generades en el delta d'Ordino (unitat VI-2) i determinava la potent acumulació de laminites glaciolacustres a la zona de les Molleres.

### ***Unitat sedimentària VI-4: Glaciofluvial de les Costes de Giberga***

#### *Aflorament VI-4.1: Les Costes de Giberga*

A uns 1.250 metres d'altitud, hom pot observar un nivell de graves imbricades amb trets glacials que erosionen les laminites de les Molleres (aflorament VI-3.1). Entre els nivells imbricats hom pot observar laminites lacustres.

#### *Aflorament VI-4.2: Solà de Sornàs*

En un sondatge realitzat en la cota 1.316 entre el cementiri d'Ordino i el poble de Sornàs es va obtenir, de base a sostre, el registre següent: per sobre del substrat rocós, situat a 1.292 m, un nivell de sorres fines fins a la cota 1.308, seguit per un nivell de còdols i blocs fins a la cota 1.314, i

dipòsits de vessant fins al sostre del sondatge. Les dades d'aquest sondatge i l'aflorament estudiat per TURU (1992) tenen diversos trets comuns: les sorres llitades de la unitat deposicional 2 de TURU (1992) cobreixen un paleorelleu d'un till de deformació (unitat 1 de TURU, 1992).

### ***Interpretació de la unitat sedimentària VI-4***

Aquesta unitat s'interpreta com el resultat de la progradació de les fàcies de talús deltaic sobre les zones distals, fet que indica una disminució del nivell de base de la conca des de la cota 1.290 (unitat VI-3) fins a la cota 1.250.

La glacera s'ha retirat de la rodalia d'Ordino i, en el seu retrocès, les aigües de fusió sedimenten abundants materials glaciofluvials en posició proglacial, per sobre de dipòsits generats a la base de la glacera (unitat deposicional 1 de TURU, 1992).

### ***Interpretació del complex sedimentari VI***

El front glacial va experimentar un nou retrocès i una estabilització als voltants de la vila d'Ordino, i es desenvolupà una sedimentació lacustre distal entre la Massana i la farga d'Ordino, amb una distribució de les fàcies proximals prop de la vila d'Ordino. Amb posterioritat, aquestes fàcies proximals van progradar les distals a la urbanització la Clota, marcant el preludi de la progradació del front glacial per sobre dels materials preexistents.

El nivell de base del delta d'Ordino es trobava situat a uns 1.270 metres d'altitud, que és el mateix nivell de base en què es va desenvolupar el delta de Santa Caterina. L'avenç del front glacial va deformar parcialment els sediments deltaics i lacustres fins a l'altura de la cruïlla de la carretera que mena a l'Aldosa des de la carretera general III.

Posteriorment, el front glacial va tornar a retrocedir per a situar-se entre Sornàs i Ordino, on es va desenvolupar una sedimentació glaciofluvial en posició proglacial entre aquestes viles, un aparell deltaic a Ordino i una sedimentació glaciolacustre a les Molleres. La sedimentació de laminites glaciolacustres fou especialment important al sector de les Molleres, gràcies al fet que l'antic aparell deltaic de Santa Caterina va interceptar la majoria dels sediments corresponents a les fàcies lacustres distals.

Seguidament, el nivell de base de la conca baixa a uns 1.250 metres d'altitud i les fàcies deltaïques proximals prograden els sediments distals. La glacera retrocedeix cap a posicions més septentrionals i les aigües de fusió aporten un gran volum de materials glaciofluvials. Aquests materials es sedimenten en una posició proglacial per damunt d'antics sediments subglacials, al mateix temps que la glacera retrocedeix.

## Complex sedimentari VII

### *Unitat sedimentària VII-1: Plana al·luvial de Sornàs-la Cortinada*

#### *Aflorament VII-1.1: Secció estratigràfica de Sornàs*

En una nova secció (fotografia 10) realitzada perpendicularment a l'estudiada per TURU (1992), hom pot observar un till subglacial per sobre de la unitat deposicional 1 de TURU (1992) que està parcialment erosionat per un nivell de blocs sense orientacions preferents. La superfície d'estratificació del dipòsit marca un acusat paleopendent que és erosionat per la unitat deposicional 3 de TURU (1992) i recobert per la unitat deposicional 4 de TURU *et al.* (1995). Aquest nivell de blocs s'interpreta com un *debris flow* que indica una important davallada del nivell de base anterior a la sedimentació de la unitat deposicional 4 de TURU *et al.* (1995).

La unitat deposicional 4 de TURU *et al.* (1995) presenta fàcies sedimentàries corresponents a una plana d'inundació amb un nivell de base local situat a una cota de 1.290 metres. Posteriorment es produeix una nova davallada del nivell de base local fins a arribar als 1.280 metres, que és l'actual nivell del riu Valira del Nord.

#### *Aflorament VII-1.2: Fluvial de la Cortinada*

Al poble de la Cortinada hom ha pogut observar una sèrie granodecreixent de còdols imbricats amb paleocorrents N60E i N7E que, cap al sostre, passen a llims massius i petits nivells de graves imbricades amb paleocorrents N60E i N70E. Aquests paleocorrents indiquen que el flux tractiu provenia de la Valira del Nord. El sostre de la sèrie està situat a una cota de 1.338 metres, vuit metres per sobre del nivell actual del riu.

### *Interpretació de la unitat sedimentària VII-1*

Hom interpreta els dipòsits de l'aflorament VII-1.1 com a sediments fluvials grollers que són progradats per sediments fins corresponents a una plana d'inundació.

El nivell basal de còdols i graves imbricades de l'aflorament VII-1.2 és correlacionable amb la unitat deposicional 3 de TURU (1992), mentre que els nivells superiors de l'aflorament són correlacionables amb la unitat 4 de TURU *et al.* (1995).

### Interpretació del complex sedimentari VII

El nivell superior de *debris flow* de l'aflorament VI-2.2 i el nivell de blocs que erosiona la unitat deposicional 1 de TURU (1992) es van generar per la baixada del nivell de base a tota la conca com a resultat de la incisió fluvial en els materials de la cubeta d'Anyós.

Posteriorment es van produir diferents esclavissades de morrenes laterals que van obturar la vall d'Ordino i determinaren una elevació del nivell de base local i la formació dels sediments de la Cortinada i les unitats deposicionals 3 i 4 de TURU *et al.* (1995). Aquesta obturació tingué lloc poc abans dels  $8589 \pm 90$  anys BP, que és l'edat de la base de la unitat deposicional 4 de TURU *et al.* (1995). Finalment, la Valira del Nord es va encaixar en els materials que van obturar la vall fins a assolir el seu nivell actual.

### Etales del rebliment de les cubetes

Els trets geomorfològics i el rebliment sedimentari de les cubetes de sobreexcavació glacial han estat motiu d'estudi per part de diferents autors (VILAPLANA, 1983a i b; VILAPLANA i CASAS, 1983; BORDONAU *et al.*, 1989 i BORDONAU 1992), que han estudiat diferents cubetes glaciolacustres dels Pirineus meridionals emprant bàsicament tècniques de prospecció geofísica, basant-se en dades sedimentològiques i geomorfològiques.

Les cubetes acostumen a presentar rebliments sedimentaris que poden assolir una potència màxima d'uns quatre-cents metres (cas de la cubeta d'Esterrí d'Àneu) i es diferencien diverses etapes en l'evolució del seu

rebliment, que han estat definides per BORDONAU (1992): 1- sobreexcavació glacial, que dona lloc a la formació d'una cubeta; 2- sedimentació glaciolacustre proglacial, etapa en que la cubeta és inundada i el front glacial està en contacte amb el llac; 3- sedimentació glaciolacustre distal, etapa en què el front glacial es troba aigües amunt de la cubeta; 4- sedimentació lacustre, que correspon a una etapa en què la sedimentació no està influenciada pel front glacial i que sovint perdura fins al rebliment de la cubeta; 5- sedimentació al·luvial recent, que es desenvolupa quan la cubeta deixa de presentar una certa làmina d'aigua permanent.

A continuació s'exposen les diferents etapes evolutives del rebliment sedimentari de les cubetes d'Anyós, l'Escalluquer, Ordino i la Massana.

### **Cubeta d'Anyós**

La primera cubeta que va ser reblerta fou la d'Anyós. Presenta una primera etapa de sobreexcavació glacial, moment en què conflüen les glacera de la Valira del Nord i de Padern (figura 5.1). Seguidament les glacera de la Valira del Nord i de la Valira d'Orient es van separar. La glacera de la Valira del Nord va retrocedir fins a la serra de l'Honor, per a tornar a avançar posteriorment fins al llindar rocós de Sant Antoni de la Grella.

La segona etapa de rebliment es caracteritza per l'obturació de la cubeta a causa d'una sobreacumulació morrènica a la gorja subglacial de Sant Antoni (figures 5.2 i 5.3). El front glacial va retrocedir aigües amunt del llindar de la serra de l'Honor, i es desenvolupà una sedimentació glaciolacustre proglacial seguida d'una glaciolacustre distal caracteritzada per la sedimentació de laminites en el centre de la cubeta (figura 5.4).

Les reduïdes dimensions de la cubeta dificulten la diferenciació de les etapes lacustre i glaciolacustre distal. Finalment la cubeta queda reblerta fins al nivell marcat per l'obturació del llindar de Sant Antoni. En aquest moment comença una etapa al·luvial i la cubeta constitueix una plana d'*outwash* d'un llac desenvolupat a la cubeta de la Massana (figura 5.5).

### **Cubeta de l'Escalluquer**

La segona cubeta que va quedar reblerta de sediments fou la cubeta de l'Escalluquer. En una primera etapa, la glacera d'Arinsal va modelar la

vall quan aquesta conflüia amb la glacera d'Ordino a l'indret de la Massana (figures 5.1 a 5.4).

Amb la retirada del gel aigües amunt d'Erts va començar una etapa glaciolacustre proglacial (figures 5.5 a 5.7). La sedimentació es va interrompre a causa d'un avenç de la glacera d'Arinsal (figura 5.8).

En una segona fase de rebliment, la glacera d'Arinsal retrocedeix fins més amunt d'Erts, i s'inicia una nova etapa glaciolacustre proglacial (figures 5.9 i 5.10) seguida d'una etapa glaciolacustre distal. L'obturació de la vall per part de la glacera d'Ordino va truncar la sedimentació glaciolacustre distal tot determinant una profundització de la cubeta (figures 5.11 i 12). Novament es va iniciar l'etapa glaciolacustre proglacial, caracteritzada en aquest cas per la presència de dos fronts glacials a ambdós extrems de la cubeta (figures 5.13 i 5.14).

Quan la glacera de la Valira del Nord deixa d'obturar la vall es produeix una forta baixada del nivell de base i, a la part septentrional de la cubeta, es desenvolupa una sedimentació al·luvial (figura 5.15). A la part meridional de la cubeta, quan el delta superior d'Ordino és funcional, es desenvolupa, possiblement, l'etapa de sedimentació lacustre (figures 5.16 a 5.19).

Finalment, tota la cubeta va experimentar la sedimentació típica de l'etapa al·luvial com a conseqüència de la baixada del nivell de base de la conca (figures 5.20 i 5.21).

### **Cubeta d'Ordino**

La tercera cubeta que va quedar reblerta va ser la d'Ordino. Aquesta cubeta, desenvolupada en el contacte entre unes roques molt resistents (Devonià) i poc resistents (Silurià) (vegeu figura 2), es va modelar per acció de la sobreexcavació glacial (figures 5.1 a 5.15).

La primera etapa de rebliment es caracteritza per una sedimentació glaciolacustre proglacial seguida, possiblement, per una etapa de sedimentació glaciolacustre distal (figura 5.16) que estaria representada per les laminites del delta inferior d'Ordino. En qualsevol cas, l'etapa glaciolacustre proglacial està àmpliament representada pels *fore-sets* del delta inferior d'Ordino.

A continuació, la glacera d'Ordino va experimentar un avenç i va progradar els sediments del delta inferior d'Ordino (figura 5.17). Seguidament es produeix un retrocés de la glacera fins a la rodalia de la vila d'Ordino. Com a resultat d'aquest retrocés, la cubeta presenta novament la

sedimentació pròpia de l'etapa glaciolacustre proglacial, seguida de l'etapa glaciolacustre distal amb acumulació de turbidites proximals a la partida de l'Any de la Part i turbidites distals a les Molleres (figura 5.18).

Tot seguit, la sedimentació de la cubeta experimenta una etapa lacustre que comporta la progradació dels sediments deltaics per sobre de les fàcies turbidítiques distals (figura 5.19). Finalment, la Valira del Nord s'encaixa en els materials anteriorment sedimentats i comença l'etapa de sedimentació al·luvial (figures 5.20 i 5.21).

### **Cubeta de la Massana**

La quarta cubeta, la Massana, va experimentar diverses etapes de rebliment.

La cubeta de la Massana, limitada al sud pel llinar rocós de la serra de l'Honor, es va formar per sobreexcavació glacial a la confluència entre les antigues glaceres d'Ordino i d'Arinsal (figura 5.1).

No hi ha evidències directes de les primeres fases de rebliment, i cal deduir-les a partir dels afloraments observats a les altres cubetes.

Les dades obtingudes a la cubeta d'Anyós mostren que la cubeta de la Massana va ser ocupada pel gel glacial des de la fase de màxim avenç de la glacera fins al segon episodi de rebliment de la cubeta d'Anyós (figures 5.1 a 5.4). Posteriorment, la glacera de la Valira del Nord va retrocedir, i les glaceres d'Arinsal i d'Ordino s'individualitzaren (figura 5.5).

Amb els fronts glacials situats aigües amunt de la cubeta, aquesta va quedar ocupada per un llac (figura 5.5), i s'inicià la sedimentació glaciolacustre (ritmites deformades de l'aflorament IV-3.1.3). El nivell de base estaria situat entre 1.230 i 1.240 metres d'altitud, corresponent al sostre del rebliment de la cubeta d'Anyós (aflorament II-1.2). Al mateix temps els materials provinents dels vessants van progradar en direcció del llac (aflorament IV-1.3). Per altra part, les aigües de fusió de la glacera d'Ordino alimentaven el delta inferior de Santa Caterina. Aquesta distribució de les fàcies sedimentàries indica que la cubeta de la Massana constituïa una cubeta glaciolacustre distal. La sedimentació glaciolacustre proglacial podria haver tingut lloc quan el front glacial va retrocedir fins a la rodalia de Santa Caterina.

Posteriorment, el front de la glacera d'Ordino va experimentar un avenç (amb diverses pulsacions) que va determinar la deformació dels sediments corresponents al delta inferior de Santa Caterina (afloraments IV-1.1 i IV-

1.2) i dels dipòsits de vessant. Durant aquest avenç, la glacera va ocupar parcialment la cubeta de la Massana, on es va desenvolupar una sedimentació glaciolacustre proglacial. Una vegada progradat el delta inferior de Santa Caterina, el front glacial es va situar als voltants del poble d'Escàs (sedimentació del till dels afloraments IV-2.1.4 i IV-2.1.2) i causà l'obturació de la cubeta de l'Escalluquer i la formació del llac de les Barreres (figura 5.6). Seguidament es produeix un lleuger retrocès del front glacial (figura 5.7) i es forma un delta proglacial (delta inferior dels Hortals, aflorament IV-2.1.3). Una nova pulsació d'avenç comporta la confluència de les glaceres d'Ordino i d'Arinsal a l'indret de la Massana (figura 5.8). La glacera resultant (glacera de la Valira del Nord) va assolir el llinar de la serra de l'Honor (aflorament IV-3.1.6) i va sedimentar tills subglacials (till inferior de l'aflorament IV-3.1.2 i till de l'aflorament IV-3.1.5). En aquest moment es va desenvolupar una sedimentació proglacial en els camps de Sispony (graves glaciofluvials de l'aflorament IV-4.2). La sedimentació pròpia de l'etapa glaciolacustre proglacial en el llac de les Barreres va quedar avortada per aquest avenç glacial.

La glacera de la Valira del Nord va tornar a retrocedir i es dividí novament en dues (figura 5.9). El front de la glacera d'Ordino es va situar als voltants d'Escàs, i obturà novament la vall de l'Escalluquer. En aquest moment tornen a coexistir dos llacs, el de l'Escalluquer i el de les Barreres. En una posició proglacial (figura 5.10) es van formar dipòsits glaciofluvials que erosionen parcialment els tills subglacials sedimentats durant l'anterior estadi d'avenç (aflorament IV-3.1.2). Es forma el delta intermedi dels Hortals (afloraments IV-2.1.3 i IV-2.1.4) i se sedimenten ritmites glaciolacustres a la zona del bony de les Planes (aflorament IV-3.2).

La glacera d'Ordino va avançar un altre cop sobre la cubeta de la Massana (figura 5.11) tot sedimentant el till supraglacial del bony de les Planes (aflorament IV-3.2), el till de les Barreres (aflorament IV-3.4) i progradant tant el delta intermedi dels Hortals (afloraments IV-2.1.4 i IV-2.1.6) com els sediments glaciofluvials de l'aflorament IV-3.1. En aquests moments el volum del llac de les Barreres va quedar molt reduït.

Seguidament la glacera experimenta un retrocès del seu front (figura 5.12) i se sedimenten graves glaciofluvials (figura 5.13) per sobre del till subglacial generat anteriorment (afloraments IV-3.1.2 i IV-2.1.5). La glacera torna a estabilitzar-se a la rodalia d'Escàs, on novament es desenvolupa un delta proglacial (figura 5.14) a la zona dels Hortals (aflorament IV-2.1.2, delta superior dels Hortals). La vall de l'Escalluquer segueix obtura-

da i, en un ambient glaciolacustre proglacial, es formen els deltes de la Serrana (aflorament IV-7.1) i de les Gravades (aflorament IV-7.2).

Finalment, la glacera d'Ordino es retira definitivament i s'estabilitza a les portes de la Massana (figura 5.15), on es forma el delta superior de Santa Caterina (afloraments V-1). El nivell de base de la cubeta va baixar i es va situar a una cota de 1.270 metres, on es formà el delta del Pui, que conflueix amb el de Santa Caterina (ambdós alimentats per les aigües de fusió de la glacera d'Ordino). En aquest moment, la sedimentació de la cubeta és la típica d'un ambient glaciolacustre distal.

La sedimentació de l'aparell deltaic de Santa Caterina queda truncada quan la glacera d'Ordino retrocedeix i abandona definitivament la cubeta de la Massana (figura 5.16). En aquest moment, la sedimentació a la cubeta de la Massana és la pròpia d'un ambient lacustre sense influència glacial. La baixada del nivell de base i l'obertura de la cubeta de la Massana determinen la fi de la sedimentació lacustre i el començament de la sedimentació al·luvial.

## Síntesi de l'evolució glacial

La màxima extensió glacial a les valls de la Massana i Ordino coincideix amb el màxim avenç de la glacera de la Gran Valira. Aquesta màxima extensió dels fronts glacials ha estat cartografiada per diversos autors (PENCK, 1883; CHEVALIER, 1906; NUSSBAUM, 1934; LLOPIS, 1967; Prat, 1980 i TURU, 1994). Segons TURU (1994), la glacera de la Gran Valira, amb una longitud de 34 quilòmetres, va arribar com a mínim a l'antiga gravera de Sant Julià de Lòria, situada a 860 metres d'altitud.

Tot seguit s'exposen els diferents episodis glacials (i les etapes de cadascun d'ells) que s'han pogut diferenciar en el sector nord-occidental de les Valls d'Andorra.

Episodi d'Engordany (figura 5.1): Aquest episodi correspon a la fase de màxima extensió glacial, moment en què la glacera de la Valira del Nord va confluir amb les glaceres de la Valira d'Orient i del Madriu a Engordany, tal com proposa TURU (1993).

Episodi de la Partida de la Grella (figura 5.2): Després del màxim glacial, les glaceres d'arreu del Pirineu experimenten un retrocés (vegeu figura 1). La glacera de la Valira del Nord deixa de confluir amb la de la Valira d'Orient. En aquest moment el front glacial es retira de la vall de la Partida de la Grella i se situa a la rodalia de la serra de l'Honor.

Episodi d'Anyós: Aquest episodi marca un nou avenç del front de la glacera de la Valira del Nord i pot subdividir-se en tres etapes:

- Etapa de Sant Antoni (figura 5.3): La glacera assoleix el llindar de Sant Antoni i s'obtura la cubeta d'Anyós a causa d'una sobreacumulació morrènica.

- Etapa de la serra de l'Honor (figura 5.4): La glacera retrocedeix fins al llindar rocós de la serra de l'Honor i es forma un llac al centre de la cubeta d'Anyós.

- Etapa d'Anyós: Els sediments aportats per les aigües de fusió glacial rebleixen la cubeta d'Anyós, que es converteix en una plana d'*outwash* amb un nivell de base situat als 1.235 metres d'altitud.

Episodi I de la Massana: La glacera de la Valira del Nord experimenta un retrocés i s'individualitzen les glaceres d'Arinsal i d'Ordino. Les aigües de fusió glacial nodreixen un primer llac situat al sector de la Massana. Es poden diferenciar deu etapes:

- Etapa del Lloset d'Ordino (figura 5.5): La glacera d'Ordino experimenta un retrocés, el front glacial s'estabilitza prop del Lloset del pont d'Ordino, i es forma un primer delta a Santa Caterina.

- Etapa I d'Escàs (figura 5.6): La glacera d'Ordino avança fins a la rodalia d'Escàs i prograda els sediments deltaics i glaciolacustres del primer llac de la Massana. En aquesta etapa s'obtura la vall de l'Escalluquer i es forma el delta inferior d'Erts.

- Etapa II d'Escàs (figura 5.7): El front glacial experimenta un nou retrocés i es forma el delta proglacial inferior dels Hortals.

- Etapa dels camps de Sispony (figura 5.8): En aquesta etapa els fronts de les glaceres d'Arinsal i d'Ordino avancen i conflueixen a la Massana. El front de la glacera de la Valira del Nord arriba als voltants de la cubeta d'Anyós. En els camps de Sispony se sedimenta un important volum de graves glaciofluvials aportades per les aigües de fusió i el rebliment de la cubeta d'Anyós assoleix la cota de 1.290 metres. Per altra banda, comença la sedimentació d'un complex juxtaglacial a la vall del riu de Segudet.

- Etapa de l'Escalluquer (figura 5.9): El front glacial retrocedeix i es forma un llac proglacial que arriba fins a la serra de l'Honor, on estava situada la plana d'*outwash* de la cubeta d'Anyós. Es produeix l'obturació de la vall de l'Escalluquer i es forma el delta superior d'Erts. Un torrent juxtaglacial drena el llac de l'Escalluquer i sedimenta graves glaciofluvials al llac de les Barreres.

- Etapa III d'Escàs (figura 5.10): La glacera d'Ordino retrocedeix fins a la rodalia d'Escàs i es forma el delta proglacial intermedi dels Hortals. Les

aigües del llac de l'Escalluquer retreballen els sediments proglacials van a parar finalment al llac de les Barreres i se sedimenten graves glaciofluvials al marge occidental de la cubeta i argiles glaciolacustres a la part oriental.

- Etapa I de les Barreres (figura 5.11): Un nou i últim avenç del front glacial va formar el bony de les Planes i un arc morrènic a les Barreres. Les aigües del llac de l'Escalluquer, drenades per un torrent juxtaglacial, alimentaven el llac de les Barreres, situat entre el front glacial i la serra de l'Honor.

- Etapa II de les Barreres (figura 5.12): El front de la glacera d'Ordino retrocedeix novament fins a la rodalia d'Escàs. El drenatge del llac de l'Escalluquer continua desenvolupant-se juxtaglacialment i alimenta el llac de les Barreres.

- Etapa III de les Barreres (figura 5.13): Continua el retrocés del front de la glacera d'Ordino. Les aigües de fusió circulen pel collet dels Colls i aporten sediments al delta de la Serrana.

- Etapa IV d'Escàs (figura 5.14): La glacera d'Ordino, en el seu retrocés, s'estabilitza per últim cop a la rodalia d'Escàs, se sedimenten graves glaciofluvials en posició proglacial i es forma el delta de les Gravades.

Episodi II de la Massana: Aquest episodi es caracteritza per la retirada definitiva de la glacera d'Ordino aigües amunt de la cubeta de la Massana. A aquest episodi correspon l'etapa de Santa Caterina:

- Etapa de Santa Caterina (figura 5.15): La glacera d'Ordino retrocedeix fins estabilitzar-se a les portes de la Massana i es produeix la comunicació entre la vall de l'Escalluquer i la cubeta de la Massana. Aquesta etapa comporta una baixada del nivell de base i una sedimentació glaciofluvial al delta proglacial superior de Santa Caterina i al delta del Pui.

Episodi I d'Ordino: La glacera d'Ordino segueix el seu retrocés, en el qual es diferencien quatre etapes:

- Etapa I del delta d'Ordino (figura 5.16): El retrocés glacial continua fins que el front de la glacera s'estabilitza a les portes de la vila d'Ordino, on es forma el delta proglacial inferior d'Ordino.

- Etapa de la Farga d'Ordino (figura 5.17): El front glacial experimenta un avenç i s'estabilitza entre l'Aldosa i la farga d'Ordino, tot deformant els sediments generats amb anterioritat.

- Etapa II del delta d'Ordino (figura 5.18): El front glacial retrocedeix novament i se situa aigües amunt d'Ordino. Es forma el delta proglacial superior d'Ordino i se sedimenten laminites glaciolacustres al sector de les Molleres.

- Etapa de les Costes de Giberga (figura 5.19): A partir d'aquest moment els fronts glacials es retiren de les parts baixes de les valls, es rebleix el llac de la cubeta d'Ordino i es produeix una progressiva baixada del nivell de base de la conca.

Episodi II d'Ordino: A partir d'aquest episodi, la glacera d'Ordino deixa d'ocupar definitivament la part baixa de la conca. Es poden diferenciar tres etapes:

- Etapa I de Sornàs: Es produeix una davallada del nivell de base de la conca que genera una incisió fluvial en els materials sedimentats amb anterioritat (figura 5.20), fet que coincideix amb l'obertura de la conca.

- Etapa II de Sornàs: Es produeixen esllavissades que afecten antigues morrenes laterals i assoleixen el fons de la vall (figura 5.21). Una o diverses esllavissades van obturar la vall d'Ordino i el nivell de base local d'aquest sector de la conca va pujar poc abans dels 8589±90 anys BP, tal com mostren els afloraments de Sornàs i la Cortinada

- Etapa III de Sornàs: A continuació, el nivell de base local es va equilibrar amb el de la conca principal fins a assolir el nivell actual.

Els diferents episodis descrits s'han agrupat en fases d'evolució glacial que es relacionen amb els complexos sedimentaris estudiats. Aquesta correlació s'ha representat en la figura 6, que també mostra un intent de correlació amb les fases detectades per PRAT (1980) i VILAPLANA (1985) en aquesta conca, i en un marc regional dels Pirineus (BORDONAU, 1992).

## Agraïments

Aquest treball ha estat subvencionat per diversos ajuts concedits per l'Institut d'Estudis Andorrans als autors. El Patrimoni Cultural Nacional ha subvencionat les datacions de l'aflorament VII-1.1 (Secció estratigràfica de Sornàs). Diverses persones han fet possible el seguiment continuat dels afloraments d'aquesta conca, molt especialment Rosa Maria Bertran, Jordi Fernández, Xavier Naranjo, Salvador Pou, Joan Manel Rodríguez, Xavier Torra i el Dr. Joan Manuel Vilaplana.

## Bibliografia

- BESSON, M. (1991), *Carte géologique de la France, Fontargente*; BRGM (Eds.), full núm. 1.093, escala 1:50.000.
- BOUMA, A. H. (1962), *Sedimentology of some flysh deposits*; Elsevier (Ed.), Amsterdam, 168 pàgs.
- BORDONAU, J. (1992), *Els complexos glacio-lacustres relacionats amb el darrer cicle glacial als Pirineus*; Geofoma (ediciones), Logroño, 251 pàgs.
- BORDONAU, J.; POUS, J.; QUERALT, P. i VILAPLANA, J. M. (1989), «Geometría y depósitos de las cubetas glaciolacustres del Pirineo»; *Estudios geol.*, 45, pàgs. 71-79
- CHEVALIER, M. (1906), «Sur les glaciers Pleistocènes dans les vallées d'Andorre». *C. R. Acad. Sciences*, T. XLI, pàgs. 662-663
- FONTBOTÉ, J.M., SOLÉ SABARÍS, L. i ALIMEN, H. (1957), Livret guide de l'excursion Nord Pyrénées, Vème Congr. Inter. INQUA, Madrid-Barcelona, 107 pàgs.
- LLOBET, S. (1947), *El medio y la vida en Andorra, estudio geográfico*, CSIC Inst. Juan Sebastián Elcano-Estación de estud. piren., Barcelona, 347 pàgs.
- LLOPIS, N. (1967), *Mapa geológico de Andorra*, CSIC Inst. Geol. Econ., hoja IV, escala 1:25.000, Madrid.
- NUSSBAUM, F. (1934), «Die seen der Pyrenäen», *Mitt. Nat. Ges.*, 184 pàgs., Berna (Traducció catalana de SOLÉ. L.: «Els llacs dels Pirineus segons Nussbaum», *Butll. de la I.C.H.N.*, vol. XXXVI, II trimestre, pàgs.107-115, Barcelona 1936).
- PENNCK, A. (1883), «Die Eiszeit in der Pyrenäen», *Mitteilungen des Vereins für Erdkunde*, pàgs. 163-231, Leipzig, (traducció francesa de Braemer, L.: «La période glaciare dans les Pyrénées», *B.S.M.N.*, XIX, pàgs. 105-200, Toulouse 1885).

- PRAT, M. C. (1980), *Montagnes et vallées d'Andorre, étude géomorphologique*, tesi de tercer cicle, Inst. de Geogr. de la Univ. de Burdeus III, Burdeus, 267 pàgs.
- RAMSAY, J. G. (1977), *Plegamiento y fracturación de las rocas*; Blume (Ed.), Madrid, 590 pàgs.
- SERRAT, D. i VILAPLANA, J. M. (1979), *El relleu i la xarxa hidrogràfica*, dins *El patrimoni natural d'Andorra*, Ed. Ketres, Barcelona, pàgs. 41-53.
- TAILLEFER, F. (1957), «Glaciaire Pyrénéen: Versant Nord et versant Sud», *Rev. Géogr. Pyr. et du Sud-Ouest*, XXVIII, pàgs. 221-224.
- TURU, V. (1992), «La secció estratigràfica de Sornàs»; *Annals 1991 de l'Institut d'Estudis Andorrans*, Barcelona, pàgs. 47-76.
- TURU, V. (1993), *L'entorn geològic*, dins *Engordany, la vida al Solà*, segles II aC - XX dC; Govern d'Andorra (Eds.), Andorra la Vella, pàgs. 17-23.
- TURU, V. (1994), *Datos para la determinación de la máxima extensión glaciaria en los valles de Andorra (Pirineo Central)*; Actas de la III Reunión Nacional de Geomorfología, Logroño, pàgs. 265-276.
- TURU, V.; BORDONAU, J. i VILAPLANA, J. M. (1995), *La secció de Sornàs (Andorra, Pirineo Central)*; Actas de la III Reunión del Cuaternario Ibérico, Coimbra (1993), pàgs. 209-213.
- VILAPLANA, J. M. (1983a), *Estudi del glacialisme quaternari de les altes valls de la Ribagorça*; tesi doctoral, Dept. de Geomorfologia i Tectònica, Universitat de Barcelona, 322 pàgs.
- VILAPLANA, J. M. (1983b), «Quaternary glacial geology of Alta Ribagorça Basin (Central Southern Pyrenees)»; *Acta Geologica Hispanica*, T. 18, núm. 3 i 4, pàgs. 217-233.
- VILAPLANA, J. M. (1984), *Estudi del glacialisme de les valls de la Valira d'Ordino i d'Arinsal (Andorra)*; Arxius de la Secció de Ciències, LXXII, Institut d'Estudis Catalans; Barcelona, 84 pàgs.

- VILAPLANA, J. M. (1985), «Les fases glacials del Quaternari superior en el sector nord-oest del Pirineu Andorrà», *Rev. Inv. Geol.*, 41, pàgs.67-82.
- VILAPLANA, J. M. i SERRAT, D. (1979), «Els dipòsits d'origen glacial de la cubeta de la Massana-Ordino (Andorra): llur significació paleogeogràfica»; *Acta Geològica Hispànica*, XIV, pàgs. 433-440.
- VILAPLANA, J. M. i CASAS, A. (1983), «Las cubetas de sobreexcavación glacial de Bono y de Barruera (Alta Ribagorça: Pirineo Central)»; *Cuadernos del Lab. Xeol. de Laxe*, núm. 6, pàgs. 293-309.