

**Departament de Cristal·lografia,
Mineralogia i Dipòsits Minerals.**

**GEOLOGIA I METAL·LOGENIA DEL
CONTACTE SUD DEL GRANIT
D'ANDORRA (PIRINEU CENTRAL).**

Albert SOLER i GIL

Gener 1990

Memòria elaborada pel que sotascriu
i dirigida pel Dr. Carles Ayora,
professor titular de la universitat
de Barcelona, per optar al grau de
doctor en ciències geològiques.

Especialment a l'Eva

INDEX

0.1-Agraiments.....	1
0.2-Situació Geogràfica.....	6
0.3-Situació geològica.....	8
0.4-Objectius i metodologia emprada.....	9
1.-Les sèries Paleozoiques.....	11
1.1-La sèrie Pre-Caradociana.....	12
1.2-La sèrie de l'Ordovicià Superior.....	14
1.3-La sèrie Siluriana.....	23
1.4-La sèrie Devoniana.....	24
1.5-Les sèries carboníferes.....	31
1.6-La sèrie permiana.....	34
2.-Les sèries Mesozoiques i Cenozoiques.....	35
2.1-La sèrie Triàsica.....	36
2.2-La sèrie del Cretàcic Superior a l'Eocè... 36	
2.3-La sèrie Oligocènica.....	37
2.4-La sèrie Neògena.....	38
2.5-Els materials quaternaris.....	38
3-Geomorfologia i els materials quaternaris.....	39
3.1-El modelat i les formes geomorfològiques heretades.....	40
3.2-El modelat i les formes geomorfològiques funcionals.....	44
4.-L'Estructura.....	49
4.1-Deformacions prehercinianes.....	50
4.2-La tectònica Herciniana.....	50
4.3-L'estructura post-herciniana.....	62
4.4-La Tectònica Alpina.....	70
4.5-La Neotectònica.....	75
4.6-La reconstrucció de la	

geologia herciniana.....	76
5.-El magmatisme tardihercinià.....	83
5.1-Les roques plutòniques.....	84
5.2-El seguici filonià.....	97
5.3-Geoquímica.....	103
5.4-Les condicions de cristallització.....	110
5.5-Conclusions	113
6.-El metamorfisme.....	117
6.1-Metamorfisme regional.....	118
6.2-Metamorfisme de contacte.....	120
7.-Prospecció estratègica a la batea.....	135
7.1-Introducció.....	136
7.2-La scheelita.....	144
7.3-L'or.....	151
7.4-Les esferes de magnetita.....	156
7.5-Conclusions a la prospecció al.luvionar..	168
8.-Els Jaciments minerals.....	173
8.1-Isòtops estables de C, O i S:	
característiques dels fluids	
metasomàtics.....	179
8.1.1.Isòtops estables de C i O.....	180
8.1.2.Isòtops estables de S.....	211
8.2-Skarns estèrils.....	213
8.2.1.Situació.....	214
8.2.2.Caracterització morfològica i	
estructural.....	214
8.2.3.Geoquímica.....	228
8.2.4.Condicions de formació.....	235
8.3-Skarns de wollastonita-idocrasa-	
hedenbergita mineralitzats en scheelita...	253
8.3.1.Caracterització morfològica i	
estructural.....	254
8.3.2.Caracterització mineralògica.....	258

8.3.3.	Geoquímica.....	259
8.3.4.	Condicions de formació.....	284
8.3.5.	Conclusions.....	305
8.4-	Skarns d'hedenbergita.....	311
8.4.1.	Caracterització morfològica.....	312
8.4.2.	Caracterització mineralògica i textural.....	319
8.4.3.	Condicions de formació.....	331
8.4.4.	Conclusions.....	366
8.5.	Skarns de pirrotina.....	371
8.5.1.	Caracterització morfològica.....	372
8.5.2.	Caracterització mineralògica i textural.....	379
8.5.3.	Condicions de formació.....	386
8.5.4.	Conclusions.....	409
8.6-	Skarns d'arsenopirita.....	416
8.6.1.	Caracterització morfològica i textural.....	421
8.6.2.	Condicions de formació.....	448
8.6.3.	Conclusions.....	480
8.7-	Skarns d'hedenbergita-actinolita amb pirrotina i arsenopirita:skarns mixtes...489	
8.7.1.	Descripció morfològica, mineralògica i textural.....	490
8.7.2.	Condicions de formació.....	504
8.7.3.	Conclusions.....	519
8.8-	Skarns de magnetita i hematites.....	525
8.8.1.	Els skarns de magnetita.....	526
8.8.2.	Els skarns d'hematites.....	534
8.8.3.	Condicions de formació.....	537
8.8.4.	Conclusions.....	544
8.9-	Caracterització global dels skarns.....	547
8.9.1.	Relacions entre les diferents	

tipologies de skarns.....	548
8.9.2.La físico-química de la solució hidrotermal.....	554
8.9.3.El transport i el dipòsit de l'or..	570
8.9.4.Transport i dipòsit del Pt-Pd.....	574
9.-Altres mineralitzacions.....	581
9.1-La bossada de sulfurs intragranítica.....	582
9.1.1.Descripció mineralògica i textural.	582
9.1.2.Condicions de formació.....	585
9.1.3.Relació amb els skarns estudiats...	591
9.2-Mineralitzacions d'As-Au-Sn-Q i de Cu en superfícies de falla.....	592
9.2.1.Bandes de cizalla mineralitzades en Cu.....	592
9.2.2.Mineralitzacions en bandes de cizalla amb As-Sn-Au.....	594
9.2.3.Condicions de formació.....	598
9.2.4.Conclusions.....	602
9.3-Les mineralitzacions de scheelita en diàclasis intragranítiques.....	603
9.3.1.Situació i distribució.....	603
9.3.2.Descripció mineralògica i morfològica.....	603
9.4-Mineralitzacions estratol·ligades al trànsit Silurià-Devonià.....	605
10.-Criteris de prospecció.....	611
10.1-Criteris genètics i geoquímics.....	612
10.2-Criteris de prospecció de camp.....	613
10.2.1.Mineralitzacions tipus skarn.....	613
10.2.2.Altres mineralitzacions.....	616
11.-Conclusions.....	619
11.1-Prospecció mineralògica a la batea.....	620
11.2-Geologia.....	620

11.3-Els skarns i dipòsits associats.....	622
11.4-Altres dipòsits.....	626
12.-Bibliografia.....	634
Annex I: mapa geològic	
Annex II: taules i mapes de la prospecció estratègica	
Annex III: anàlisis de roca total	
Annex IV: anàlisis de les fases minerals a la microsonda electrònica	
Annex V: el programa isotop3	
Annex VI: el programa cloritap	

AGRAIMENTS.

A l'Eva, la qual en els moments més dolents, m'ha encoratjat a seguir. Ha picat a màquina la majoria de les taules de la Tesi, ha suportat les llargues temporades que era fora al camp, i en tot moment ha fet seva aquesta tesi.

A en Carles Ayora, director d'aquesta tesi, de qui en tot moment he rebut l'empenta i ajut necessaris i en qui en tot moment he trobat un bon mestre.

A en Joan-Carles Melgarejo, company i amic, amb qui he mantingut llargues converses científiques i de qui he rebut en tot moment el suport incondicional.

A l'Esteve Cardellach, que ha realitzat les anàlisis d'isòtops estables de C i O. Tampoc no puc oblidar, les llargues estones passades amb ell, sobre un paper ple de š's.

A en Bernard Guy, per l'interès mostrat a aquesta tesi, la visita sobre el terreny dels skarns estudiats i l'orientació donada al començament del treball, així com per la càlida rebuda que em dispensà tots els cops que vaig anar a St. Etienne.

A en Josep Maria Fontbote, que malauradament ja no és entre nosaltres, per l'interès que mostrà a aquesta tesi.

A en Pere Enrique i na Gumersinda Galan per l'interès mostrat en l'estudi del plutonisme tardi-hercinià.

A la Montserrat Liesa per l'interès mostrat en l'estudi del metamorfisme.

A en Josep Maria Casas, Francesc Domingo, Anton Muñoz i Josep Poblet, per les llargues estones passades interpretant l'estructura herciniana i alpina. A en Joan Guimerà pels consells sobre l'estudi de la fracturació. A en Xavier Sanz, que en tot moment m'ha resolt dubtes sobre la sèrie devoniana.

A en Manel Viladevall, que m'ha assessorat en la planificació i realització de la campanya de prospecció al.luvionar. No puc oblidar les estones passades contant grans d'or dels concentrats de batea. A en Vaquero d'ADARO per llur informació sobre l'identificació de minerals en concentrats a la batea.

A en Josep Maria Mata, que en tot moment ha mostrat un gran interès a aquesta tesi, facilitant tota la seva coneixença sobre les mineralitzacions de l'àrea.

A en Salvador Galí en el qual sempre he trobat un bon mestre per resoldre els diferents problemes cristal.logràfics. A en Salvador Martínez que m'ajudà en l'estudi de l'ateració a sauló del granit.

A en Ramon Vaquer, m'assessora sobre les anàlisis de terres rares.

A l'Angels Canals, Jordi Delgado, Fidel Ribera, Mercè Corbella, Carme Costa, Miquel Angel Cuevas, Manel Labrador i tots els altres companys del Departament de Cristal.lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. A la Maria Jose Jurado, que en tot moment m'ha encorajat ha seguir. A l'Antonio Andreu, en Jorge Guillem i tots els amics de la Facultat de Geologia.

A l' Ecole Nationale des Mines de Saint Etienne, per les sessions de microsonda, part de les anàlisis de fluorescència de raigs X, anàlisis de Terres Rares al plasma I.C.P., part de les preparacions de làmina prima

i el polític metal·logràfic corresponent. La resta d'anàlisis de microsonda s'han realitzat a l'Ecole Nationale des Mines de Paris - Fontainebleau, i al Museu d'Història Natural de Paris, on M. Soncini i M. Barrandon m'han ajudat pacientment.

Al Servei de Microscòpia de la Universitat de Barcelona, on s'han realitzat les anàlisis qualitatives de fases minerals així com les anàlisis quantitatives de les arsenopirites, esfalerites i l'or. Concretament a en Ramon, l'Anna i la Carme. No puc oblidar en Jordi que m'ha posat al corrent de la microscòpia de transmissió. En fi a tot el personal del Servei que en tot moment han fet seus els problemes que han sorgit.

A en M. Scott que suministra els patrons d'arsenopirita ASP-57 i ASP-200, i a en M. Möelo que ahora suministra el patró d'arsenopirita RB-ORL.

Al Servei d'Anàlisi Química de la Facultat de Geologia, on s'han realitzat les anàlisis d'absorció atòmica, així com la preparació de les perles per les anàlisis de fluorescència de raigs X. Així com anàlisis pel mètode de colorimetria. En especial a na Rosa Maria, en Jaume i na Laia.

Al Servei d'Espectroscòpia de la Universitat de Barcelona, on s'han realitzat en part les anàlisis de fluorescència de raigs X (majors i traces) i part de les anàlisis de Terres Rares, mitjançant I.C.P., i les difraccions de raigs X, en especial a en Tomàs i en Xavier.

A na Trinitat Pradell, que ha realitzat les anàlisis de clorites mitjançant espectroscòpia Mösbauer en el departament de Física del Cosmos i de la Matèria condensada de la Fac. de Física, i que m'ensenyà a interpretar-les.

Al Servei de Dibuix i Cartografia de la Divisió III, on s'han realitzat part dels dibuixos d'aquest treball. En especial a en Joan i a na Berta.

Al Servei de Preparacions de la Divisió III, on s'han realitzat part de les preparacions de làmina prima, i concretament a l'Adolf i en Vicens. La resta de preparacions s'han realitzat al Laboratori d'Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya.

Al Servei Geològic de Catalunya, per la base cartografica de l'àrea d'estudi, així com per les fotografies aèries.

Al Departament de Geologia i geofísica de la Universitat de Yale, on s'han realitzat les anàlisis isotòpiques de S, C i O, i especialment a en Dany Rye pels seus consells analítics i d'interpretació.

Al Centre de Càlcul de la Universitat de Barcelona on s'han executat part dels programes informàtics. No puc oblidar les profitoses classes d'informàtica que m'imparti en Carles Ayora a l'inici d'aquest treball.

Al Plan de Formació del Personal Investigador, que ha finançat mitjançant una beca, la realització d'aquesta tesi, malgrat que el pagament sempre fos amb 3 o 4 mesos de retard. A la CIRIT que ha finançat la part de prospecció estratègica mitjançant l'Ajut a la Recerca AR-85: "Prospecció estratègica de la terminació sud-occidental del batolít granític d'Andorra". A l'acció integrada del M.E.C n° que m'ha permès realitzar les estades a St. Etienne i Paris.

A la C.A.Y.C.I.T. que ha finançat aquesta tesi mitjançant el projecte PB86-0572: "Procesos de concentració hidrotermal de As-Au y W en el hercínico de los Pirineos".

A la Núria Masons, que ha picat algunes taules d'aquesta tesi.

A en Joan Capdevila que ha realitzat la correcció lingüística de la tesi.

Als meus pares Santiago i Montserrat, pel finançament dels meus estudis i per la confiança que varen dipositar en mi, així com pel suport moral que m'han dispensat en tot moment.

A la Marta, En Ricard, l'Eli, l'Emili, la Carme, el Joaquim i a tots els meus amics, per la paciència que han demostrat al llarg d'aquests anys.

A la gent de la comarca de la Baixa Cerdanya, l'Alt Urgell i Andorra, concretament a la gent de Martinet de Cerdanya, i especialment a l'Angels Moran i la Carme. No puc oblidar la càlida rebuda que va donar la gent del poble de Coborriu de la Llosa.

A tots ells, i a tots aquells que d'una manera o altra han col.laborat en la realització d'aquest estudi i que un possible oblit podria silenciar, la meva més sincera gratitud.

0.2 SITUACIO GEOGRAFICA.

L'àrea, objecte d'aquests estudi, es situa al vessant sud de la serralada Pirinenca, concretament a les comarques de l'Alt Urgell, a la Baixa Cerdanya i a Andorra. (Fig. 0.1)

El Relleu de l'àrea és abrupte, destaquen els alts cims (Tossa Plana de Lles, 2916) separats per valls deprimides (vall del Segre a 900 m d'altitud). Els materials carbonàtics del devonià, solen donar lloc a grans espadalls (Plà de Lles, 2140 m; Roc Farinoles, 1993 m; Roc Xic; Roc Gros; Roc Beneïdor 1689 m), mentre que la granodiorita dona lloc a relleus suaus a la part sud de l'àrea (Prat Miró, Pla de la Cot, Pla del Rec, Clot del Sassà, Lles, Travesseres) i a la part nord forma cims abruptes (Pic de Sirvent, 2836; Tossa Plana de Lles, 2916; La Muga 2189 m). La xarxa hidrogràfica segueix principalment la fracturació NW-SE i E-W. Els rius més importants són el Segre, que es troba al sud de l'àrea d'estudi i el Valira, que constitueix un afluent de l'anterior.

La vegetació és representada per boscos de pi negre i avets fins a les rodalies dels 2000 m, a partir d'on segueix una vegetació de prats alpins poc desenvolupada.

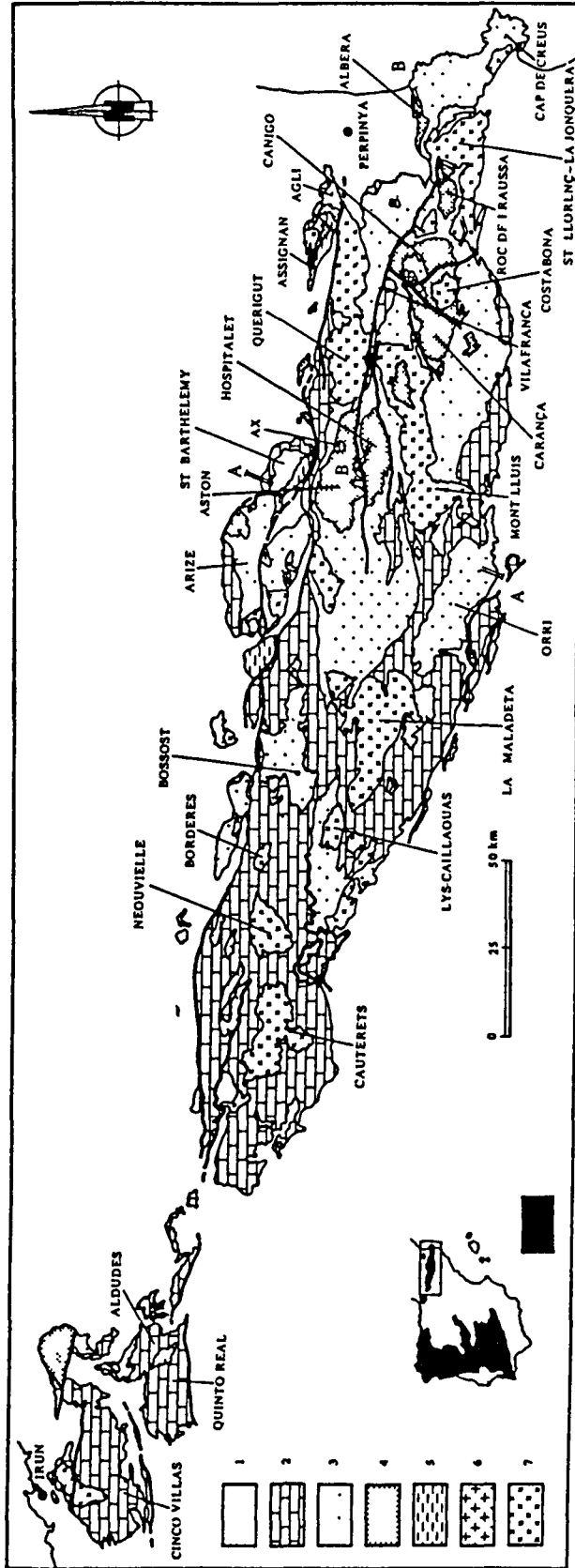


Fig. 0.1.- Situació de l'àrea d'estudi en el Pirineu. Llegenda: 1) Terciari, Mesozoic, Permà i Carbonífer post-hercinià. 2) Carbonífer pre-hercinià, Devonian i Silurià. 3) Cambro-Ordovicià. 4) ortogneis. 5) Granits i gneis en fàcies granulita. 6) Leucogranits moscovitics. 7) Granodiorites. Segons Carreras et al (1984).

0.3 SITUACIO GEOLOGICA.

L'àrea d'estudi és situa al sòcol hercinia aflorant en la zona axial dels Pirineus Centrals, concretament a l'extrem més oriental d'aquests (Fig. 0.1). L'àrea és constituïda principalment per sèries detritiques i carbonàtiques d'edats compreses entre el pre-Caradoc i el Carbonífer inferior. Aquests materials han sofert un fort plegament, formació d'encavalcaments i un metamorfisme regional de baix grau durant l'orogènia herciniana, contemporàniament a aquesta han sofert. En els temps tardi-hercinians, té lloc l'intrusió de la granodiorita d'Andorra en els materials anteriorment esmentats, produïnt una aurèola de metamorfisme de contacte sobre els materials anteriorment esmentats i la formació dels skarns, objecte d'aquest treball. Amb posterioritat, té lloc la deposició dels materials post-hercinians, una tectònica compressiva d'encavalcaments (orogènia alpina) i un episodi distensiu (temps neògens) en el que té lloc la formació de la fossa de la Cerdanya.

Límits.

a) Límits de la prospecció.

L'àrea en la qual s'ha realitzat la campanya de prospecció estratègica a la batea limita al nord amb la ratlla fronterera d'Andorra amb França, al sud amb el riu Segre, a l'est amb la vall del Riu Duran i a l'oest amb la vall del riu Valira inclosa.

b) L'àrea de cartografia i estudi metallogenetic limita al nord amb la frontera Andorrana, al sud amb la vall del riu Segre, a l'est amb la serra de Sta. Anna i el Calm Colomé i a l'oest amb el barranc de Bescaran.

0.4 OBJECTIUS I METODOLOGIA EMPRADA.

A l'hora de triar l'àrea on realitzar el treball, s'ha escollit un àrea potencialment mineralitzada en base al context metal·logènic regional que mostra importants mineralitzacions de tungsté de tipus skarn, tal com Costabona i Salau (Soler, 1977, 1980; Guitard i Laffite, 1960; Guy, 1979, 1988) i mineralitzacions singenètiques i epigenètiques encaixades en la sèrie Cambro-Ordoviciàna (Ayora i Casas, 1986). En ella s'ha realitzat una campanya d'exploració sistemàtica a la batea per tal de delimitar zones d'interès. De les dues zones trobades, una a Andorra i l'altra a les comarques de l'Alt Urgell i Baixa Cerdanya, s'ha escollit la present àrea per raons administratives, econòmiques i de facilitat d'accés. La zona d'Andorra resta pendent per estudis posteriors.

La documentació geològica de l'àrea objecte d'aquest estudi es remonta a l'estudi global del Pirineu realitzat als anys 1950-70 per l'escola holandesa de Leiden, sota un punt de vista autoctonista (Zwart, 1960; Mey, 1967, 68; Hartevelt, 1970). I amb posterioritat, estudis a altres contrades Pirinenques (Choukroune, 1976; Souquet et al, 1977; Daigneres et al, 1982; Gallart, 1982; Deramond, 1895; Fisher, 1984; Muñoz, 1985; Losantos et al, 1988; ECORS, 1988) han donat un nou gir a la interpretació d'aquesta serralada alpina. Ha calgut doncs, realitzar en el nostre cas un nou mapa geològic a escala 1:10.000 amb interpretació estructural, descripció litològica de les roques sedimentàries i ignies.

Durant l'elaboració del mapa geològic s'han detectat nombrosos indicis de diverses tipologies de mineralitzacions, fet que confereix eficàcia a aquesta prospecció "al martell" com a mètode d'exploració.

Posteriorment s'ha realitzat un estudi de les diferents mineralitzacions, amb especial dels skarns que ha permès classificarles i relacionarles entre elles. S'ha realitzat un estudi morfològic, mineralògic i termodinàmic per tal de cercar les estructures favorables i les condicions de formació. També s'ha realitzat un estudi detallat dels isòtops estables de C, O i S en aquestes mineralitzacions, per tal de cercar les estructures favorables de formació dels skarns, el mecanisme de metasomatisme, l'origen i el sentit de circulació dels fluids. Finalment s'ha elaborat un model genètic general, amb els criteris de prospecció.

1.- LES SERIES PALEOZOIQUES.

L'interès de l'estudi litoestratigràfic dels materials paleozoics, es centra en el fet que aquests materials són el substrate on es desenvolupen els skarns de l'àrea.

1.1.- LA SERIE PRE-CARADOCIANA.

És constituïda pels materials de la formació Seu (Hartevelt, 1965). Aquests materials foren descrits per Fontbote (1949) com a sèrie de Planoles i per Cavet (1957) com a sèrie de Jujols.

Macroscòpicament els materials de la formació Seu és caracteritzen per una monòtona alternança mil.li a centimètrica de gresos i lutites, de color gris verdós. En alguns trams de la sèrie poden predominar les lutites sobre els gresos i a l'inrevés. Localment es poden observar bancs quarsítics d'espessor decimètric, amb estratificació encreuada (Foto 1.1).

Microscòpicament els gresos estan constituïts per fragments sub-angulosos de quars, amb turmalina i zircó accessoris.

No ha estat possible determinar la potència d'aquests materials, al no haver estat observada la seva base a l'àrea d'estudi. Cavet (1957) al sinclinal de Vilafranca del Conflent estima una potència de 2000 m.

Autran, Fonteilles & Guitard (1966), interpreten que aquests materials jeuen sobre els gneis. El límit superior es situa a la base del primer tram dels conglomerats de Rabassa.

Els materials pre-caradocians afloren principalment a les grans estructures antiformals de l'àrea, doms de l'Orri i de Rabassa (Fig. 1.1).

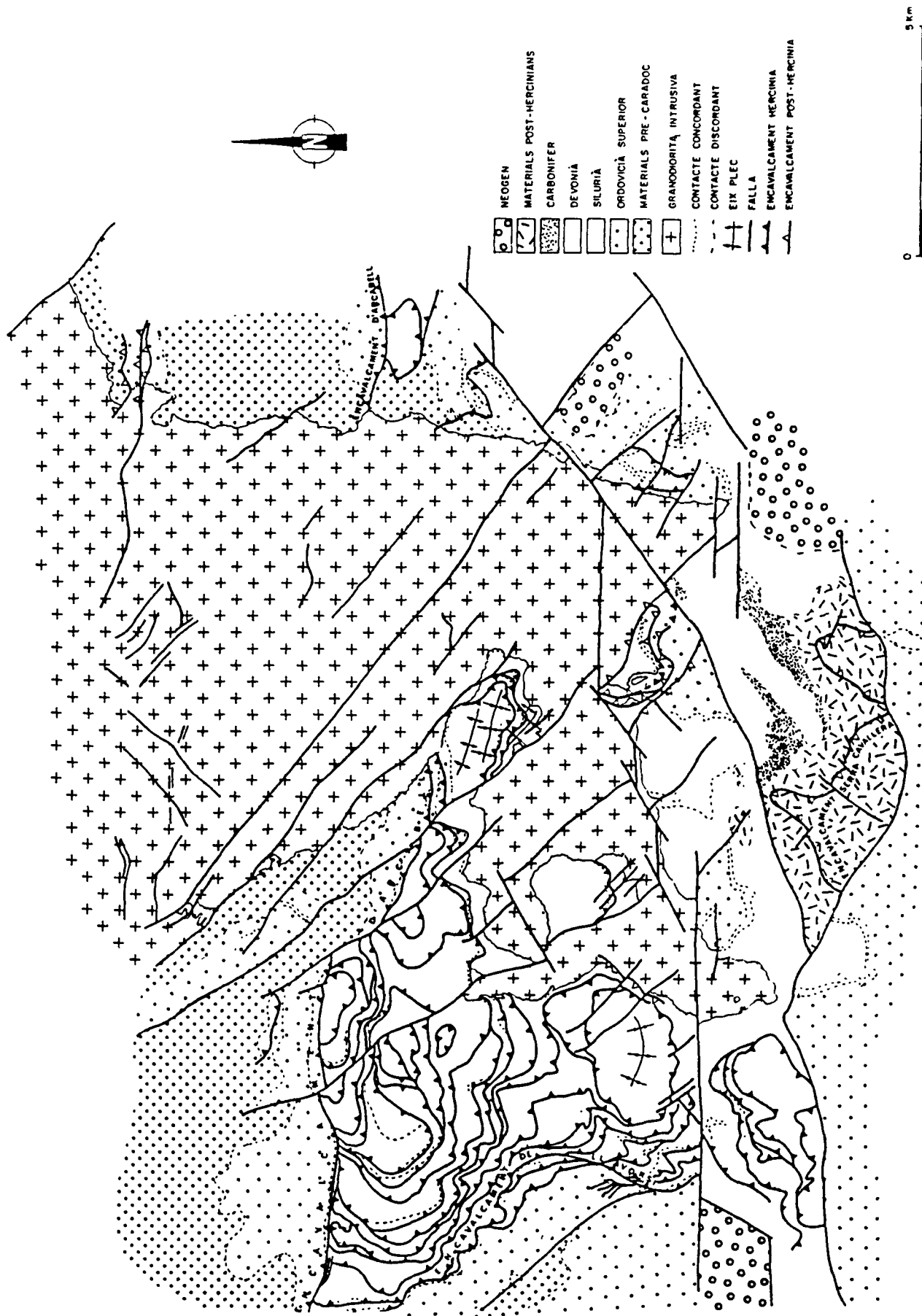


Fig. 1.1.1.- Esquema geològic del sector estudiat, per a més detall observeu el mapa geològic a escala 1:10.000 de l'àrea estudiada (Fig. A-1, Annex 1).

Els materials estudiats són correlables amb els esquistes de la formació Jujols definits per Cavet (1957) al sinclinal de Vilafranca del Conflent. La sèrie és azòica, i els diferents autors no estan massa d'acord amb la seva edat. Cavet (1957) atribueix una edat ordoviciana inferior a la formació Jujols per analogia litològica amb la sèrie fossilífera de la Montagne Noire. Santanach, 1972 cita l'existència d'una discordança entre els materials de la formació Jujols i els conglomerats situats a sobre d'aquesta formació, que possen en dubte l'edat ordoviciana d'aquests materials, ja que és possible que part o tot l'ordovicià inferior, hagi estat desmantellat.

Mirouse (1966) suggereix per aquests materials un origen marí, en el qual les variacions d'aports argilosos i quarsítics podrien esser deguts a variacions estacionals i climàtiques o a pulsacions epirogèniques.

1.2.- LA SERIE DE L'ORDOVICIA SUPERIOR.

És constituïda per materials essencialment detrítics. Hartevelt (1970), diferencia cinc formacions que de base a sobre corresponen a Rabassa, Cava, Estana, Ansobell i Bar. Aquest mateix autor observa una progradació d'aquestes fàcies de sud a nord (Fig. 1.2).

1.2.1.- FORMACIO RABASSA (Hartevelt, 1970).

Els conglomerats de Rabassa són constituïts per trams mètrics a decamètrics de conglomerats, que cap a la part alta poden presentar intercalacions de nivells decimètrics a mètrics, de lutites, gresos i microconglomerats (Fig. 1.3). Els còdols dels conglomerats, són de natura silícica, predominen els de quars i en menor proporció els de quarsita i molt localment d'esquist. La morfologia dels còdols és

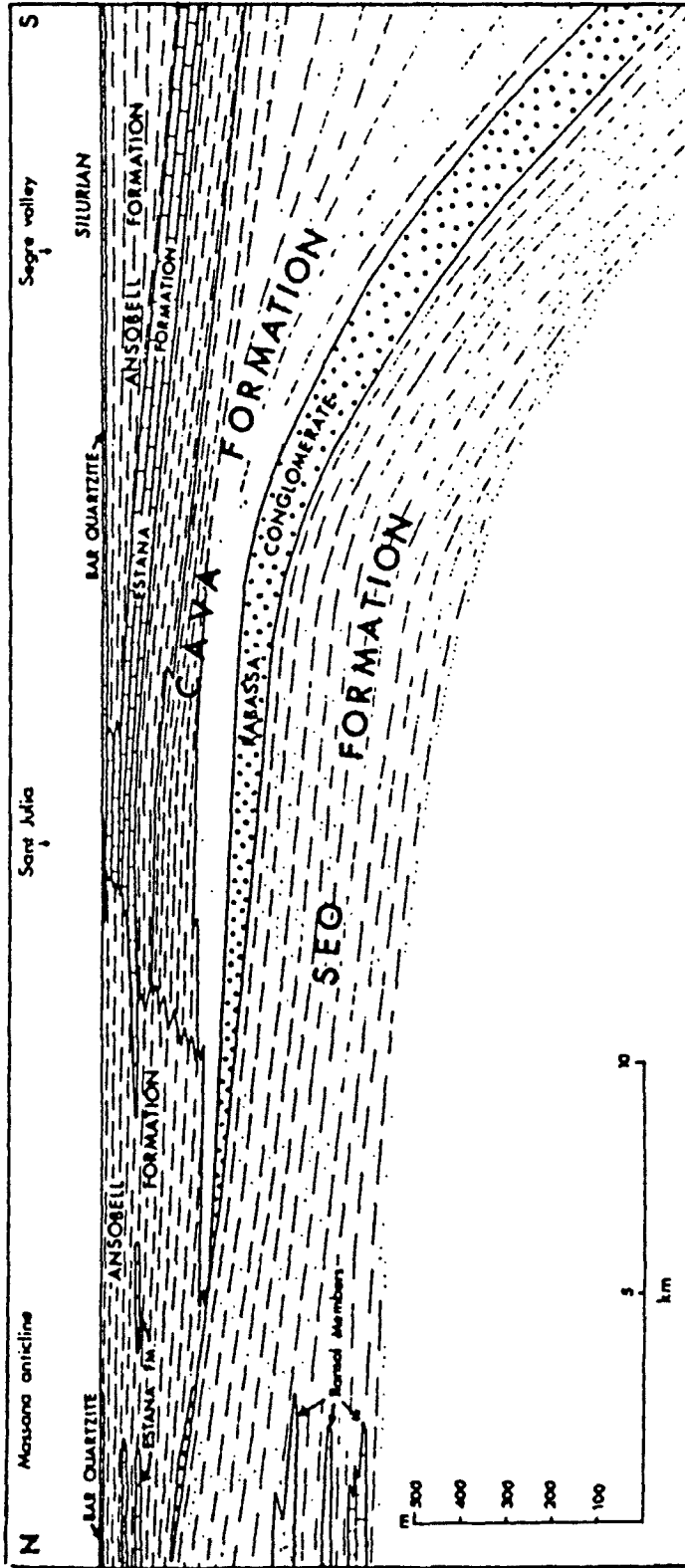


Fig. 1.2.- Progradació de les faciès de l'Ordovicià superior del Pirineu. Segons Hartevelt, 1970.

subàngulosa predominant els diàmetres de 4 a 5 cm. Els conglomerats presenten una fàbrica de suport de matriu, en la qual els còdols no presenten cap orientació preferent (Foto 1.2). Els gresos presenten una granulometria de sorra fina a grollera, amb algun còdol de microconglomerat aïllat a l'interior del gres. Els grans són subàngulosos i principalment de quars, la matriu és pelítica i suporta als grans de quars (suport de matriu). Les lutites són sorrenques i sempre estan relacionades amb els gresos. Es tracta en general de materials mal seleccionats que passen gradualment de lutites a gresos i a conglomerats (Fig. 1.3).

Aquests materials presenten un color marró-vermellós d'alteració que en fractura fresca esdevé marró-verdós.

La potència d'aquests materials oscil·la des de 20 m als 35 m de la Bastida.

La base de la formació Rabassa comença en el primer nivell conglomeràtic, situat discordantment damunt de les rítmites pre-caradocianes (Santanach, 1972). El límit superior es situa en el primer paquet de grauvaques de la formació Cavà. Els límits són sempre molt nets.

Els materials de la formació Rabassa afluïren principalment a les estructures antiformal, dom de Rabassa i de l'Orri.

Segons Hartevelt (1970), la presència de còdols de naturalesa desconeguda a les unitats infrajacentes, suposa un transport al llarg de grans distàncies. Els conglomerats s'haurien dipositat a partir de colades de fang "Mud Flows". Schmidt (1931), observa una disminució de la potència dels conglomerats i de la mida dels còdols cap al nord, per la qual cosa situa

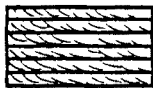
ESTRUCTURES



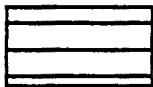
massís.



laminació
paral.lela.



laminació creuada



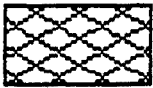
estratificació.



nòduls



estratificació
creuada.

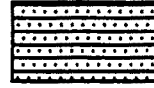


nòduls

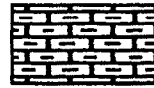
MATERIALS



pelites
negres.



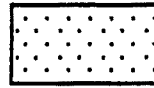
quarsita.



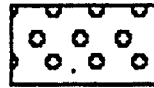
calcària lutífica.



grauvaca.



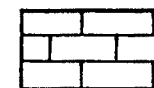
gres.



conglomerat.



margues.



calcàries.

LLEENDA DE LES COLUMNES ESTRATIGRAFIQUES.

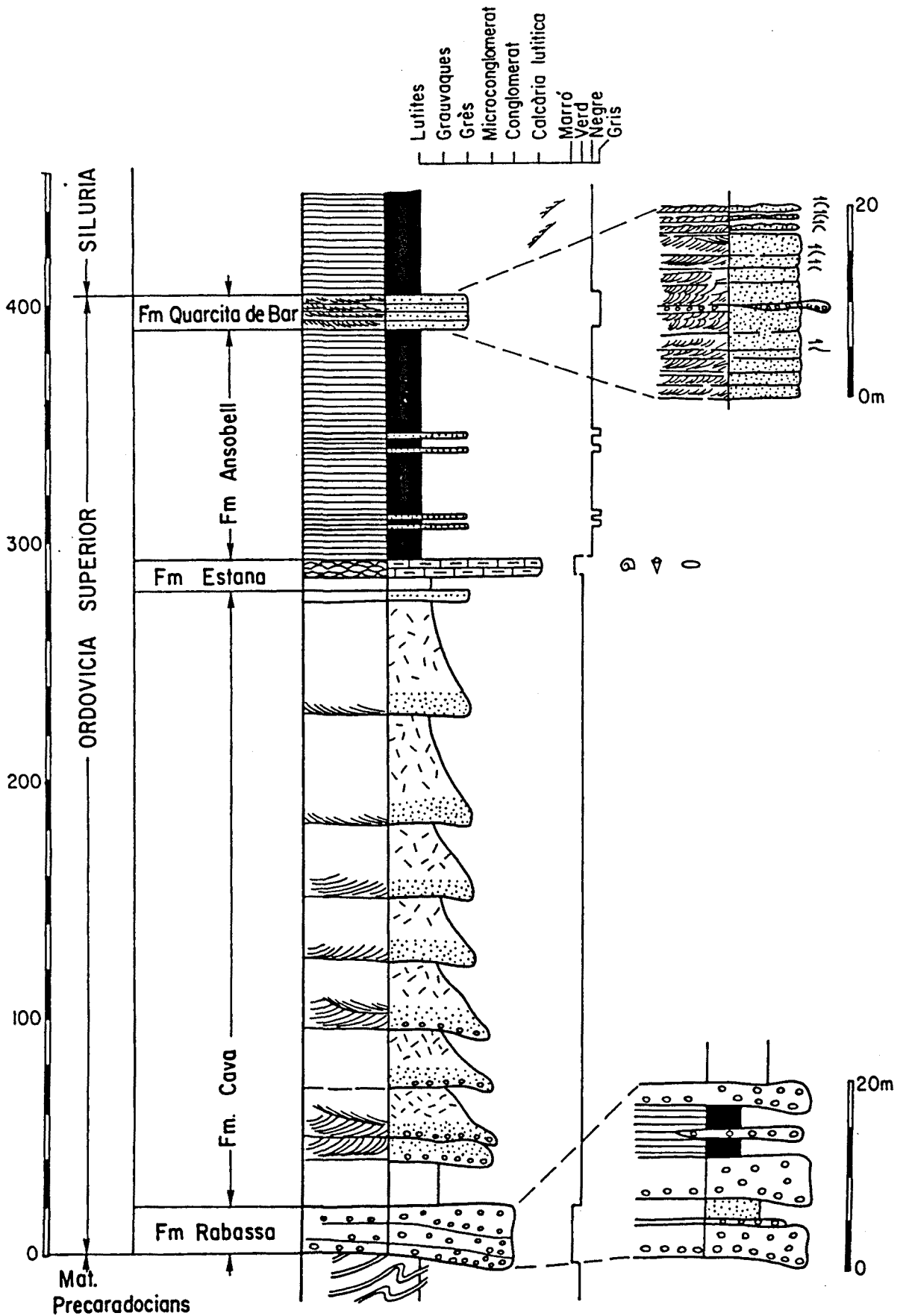


Fig. 1.3.- Columna sintètica dels materials de l'Ordovicià superior.

l'àrea font al sud. Brouwer (1968) observa canals de direcció nord-sud.

1.2.2.- FORMACIO CAVA(Hartevelt, 1970).

Hartevelt (1970), divideix aquesta formació en quatre membres que de base a sostre són: grauvaques, pissarres vermelles i verdes, limolites i quarsites.

No han estat diferenciats els quatre membres descrits per Hartevelt. La formació és constituïda per una sèrie rítmica de seqüències mètriques granodecreixents, que comencen a la base amb canals de microconglomerats, que gradualment passen a gresos, que al seu torn passen a pissarres i limolites a sostre. Cap a la part alta de la sèrie, els microconglomerats i gresos disminueixen i augmenta la potència dels nivells pissarrosos i limolítics. És una macroseqüència granodecreixent, formada per petites sèries granodecreixents. Localment a sostre de la formació, pot haver-hi un potent paquet de gres quarsític. Els clastes dels microconglomerats, són principalment de quars, quarsites i pissarres. En els gresos i pissarres s'observen grans de quars i algun feldspat sericititzat. Sovint s'hi troben cristalls de piritita disseminats.

La potència oscil·la entre els 200 i els 350 m.

El límit inferior d'aquesta formació es situa per sobre del darrer paquet conglomeràtic de la F. Rabassa. I el límit superior al primer paquet carbonàtic de la Fm. Estana.

Els materials de la formació Cava, afloren principalment a les estructures antiformals, dom de Rabassa i de l'Orri, així com a la vall del Segre (Fig.A-1, annex 1).

S'han trobat braquiòpods, briozous i coralls rugosos, diversos autors han recolectat fòssils en aquests materials, Schmidt (1931), Boissevain (1934), Solé i Llopis (1946), trobant una edat caradociana. Spjeldnaes en base a macrofòssils atribueix aquests materials al Caradocià alt (Hartevelt, 1970).

Brouwer (1968), basantse en l'observació de mudcracks, canals i còdols tous, opina, que aquests materials es depositaren en un ambient fluvial de plana d'inundació. L'ambient fluvial hauria anat disminuint cap a sostre de la formació passant a un ambient marí poc profund. Martí et al., (1986), troben en altres sectors del Pirineu Oriental (Ripollès), l'existència en aquesta formació de vulcanisme explosiu parcialment retraballat per l'ambient fluvial.

1.2.3.- FORMACIO ESTANA (Hartevelt, 1970).

Aquesta formació és constituïda per un paquet de calcàries i lutites carbonàtiques de color ocre en superfície i marronós en secció fresca. Les lutites carbonàtiques presenten nombrosos motllos de fòssils, principalment braquiòpods, coralls i gasteròpods. Aquests materials també són coneguts amb el nom de "schistes troués".

A l'àrea d'estudi aquesta formació és molt poc potent, oscil.lant entre els 4 m i els 10 de la Bastida.

El límit inferior no és gaire ben definit, aquest es situa concordantment sobre el gres de la formació Cavà o sobre les lutites de la mateixa formació. I el límit superior es situa sota les pelites negres de la formació Ansovell.

Els materials de la formació estana afloren principalment a les estructures antiformal, dom de Rabassa i de l'Orri, i a la vall del Segre.

S'han trobat braquiòpods, cystoids, gasteròpods i briozous. Diversos han estat els autors que han recolectat fòssils en aquests materials, Schmidt (1931), Boissevain (1934), Solé i Llopis (1946). Spejeldnaes (citada a Hartevelt, 1970), a partir de microfòssils atribueix aquestes materials a una edat Caradoc inferior - Ashgill. Boersma (citada a Hartevelt 1970) mitjançant conodonts atribueix aquests materials a la mateixa edat.

Brouwer (1968) assumeix una deposició en ambient marí poc profund, amb un flux de material detrític limitat.

1.2.4.-FORMACIO ANSOBELL (Hartevelt, 1970).

Aquesta formació és constituïda per una sèrie pelítica monòtona, que molt localment pot presentar algun nivell centimètric de gres. Les lutites són de color gris fosc i estan formades per una matriu argilosa, amb algun gra de quars i muscovita dispersos. Presenten pirites disseminades que sovint estan alterades a limonita. Els nivells de gres, són rars i estan formats per sorres de grà fi, sense estructures internes visibles i la seva potència varia de mil.li a centimètrica. Molt esporàdicament hi han nivells de rítmites que no sobrepassen l'ordre mètric, i que és caracteritzen per una alternança de nivells mil.limètrics de gres i lutita.

La potència d'aquests materials oscil.la entre 30 i 100 m.

El límit inferior d'aquesta formació es situa al darrer nivell carbonàtic de la formació Estana, quan

aquesta no existeix, es situa sobre el paquet de gres superior de la formació Cavà o bé sobre les lutites verdoses de la mateixa formació. El límit superior es situa sota la primera barra de quarsita de la formació Bar.

Els materials de la formació Ansobell afloren principalment a les estructures antiformal, dom de Rabassa i de l'Orri, i a la vall del segre (Fig. A-1, annex 1)

No han estat trobats fòssils en el sector estudiat. Aquests són rars en aquesta formació per la qual cosa la seva edat és objecte de discussió. Dalloni (1930) l'atribueix al Caradoc (s.l.), mentre que Schmidt (1931) i Boissevain (1934) l'atribueixen al Llandoveryà, Solé i Llopis (1946) ho fan al Silurià, i Hartevelt (1970) a l'Ashgill.

El color negre de les pissarres i els cristalls de pirita indiquen una deposició en un mitjà euxínic.

1.2.5.-FORMACIO QUARSITA DE BAR (Hartevelt, 1970).

Aquesta formació és constituïda fonamentalment per quarsites. La formació comença a la base amb bancs mètrics de quarsita, separats per juntes mil·limètriques de lutites. Esporàdicament poden haver-hi l·lencions de conglomerats i gresos de potència decimètrica (Foto 1.3). A la part alta de la sèrie la potència dels estrats de quarsita disminueix a potències decimètriques, alternant aquests amb nivells centi a decimètrics de lutites. La quarsita és formada principalment per grans de quars que van de sorra mitja a fina, també hi han en menor proporció miques blanques, biotita, rútil i zircó. Les capes de quarsita presenten sovint estructures internes com laminació paral·lela i laminació encreuada, i molt sovint es pot observar a sostre de les capes (sobre tot

les més altes a la sèrie) trens de ripples (Foto 1.4). Els conglomerats presenten còdols amb diàmetres de 2 a 3 cm, poden arribar fins els 6 cm, aquests són principalment de quars, quarsita i rarament de pissarra. Els conglomerats estan mal classificats i poden presentar alguna intercalació centimètrica de lutites, així com tenir a sostre o a base un nivell mètric de gresos grollers molt silícics.

El límit inferior d'aquesta formació comença en el primer banc de quarsita i acaba a sostre sota les pelites negres del Silurià (Fig. 1.3).

La potència oscil·la entre el 10 i 20 m.

Aquesta formació aflora principalment a les estructures antiformals, dom de Rabassa i de l'Orri.

No han estat trobats fòssils en aquesta formació a l'àrea d'estudi. Hartevelt (1970) troba braquiòpods, plaques de cystoids i coralls rugosos. La manca de fòssils vàlids per la determinació de l'edat, fa que l'edat d'aquesta formació sigui sols estimativa. Dalloni (1930) l'atribueix al Caradoc (s.l.), mentre que Schmidt (1931) i Boissevain (1934) l'atribueixen al Llandoveryà, Solé i Llopis (1946) ho fan al Silurià, i Hartevelt (1970) a la part alta de l'Ashgill.

1.3.- LA SERIE SILURIANA.

Litologia: és caracteritza per estar constituïda principalment per pelites negres (black shales), poden presentar cap a la part alta de la sèrie alguna intercalació carbonàtica. Les pissarres negres presenten gran quantitat de matèria carbonosa que posteriorment l'escalfament, associat al metamorfisme, transformara en grafit. També presenten miques blanques i quars dispersos, així com pirites i marcassites, que sovint són alterades a òxids de ferro

i melanterita respectivament. Els carbonats en un nivell de potència mètrica, consisteixen en calcàries de color negre tipus wackstone amb abundants orthoceràtids d'ordre centimètric.

El límit inferior d'aquests materials es situa immediatament a sobre de la última capa de quarsita de la formació Bar. Mentre que el superior és transicional i es situa sota el primer banc de calcàries grises quan aquestes alternen amb nivells de lutites grises.

Es difícil evaluar la potència d'aquests materials, ja que corresponen a un dels nivells de desenganxament dels encavalcaments de l'àrea. Al sector de Santa llogaia, presenta potències superiors als 80 m.

1.4.-LA SERIE DEVONIANA.

L'interès de l'estudi litoestratigràfic d'aquesta sèrie, radica en el fet que representa el substracte sobre el que es desenvolupen els skarns de l'àrea.

Mey (1967), estudia els materials devonians i carbonífers pre-hercinians al Pirineu, dividint els afloraments d'aquests materials en quatre àrees de fàcies, algunes de les quals també són dividides en àrees de subfàcies. (Fig. 1.4). Les fàcies establertes per aquest autor són: Area nord-Pirinenca, Area Septentrional, Area Central i Area Meridional. Aquesta darrera el mateix autor la subdivideix en un seguit d'àrees de subfàcies: Area de Subfàcies de Serra Negra, Area de Subfàcies de Baliera, Area de Subfàcies de Renamue i Area de Subfàcies de Comte.

Boersma (1973), agrupa les subfàcies de la fàcies Meridional en dues, la subfàcies Serra Negra (sensu lato) i la subfàcies Comte. La subfàcies Serra Negra

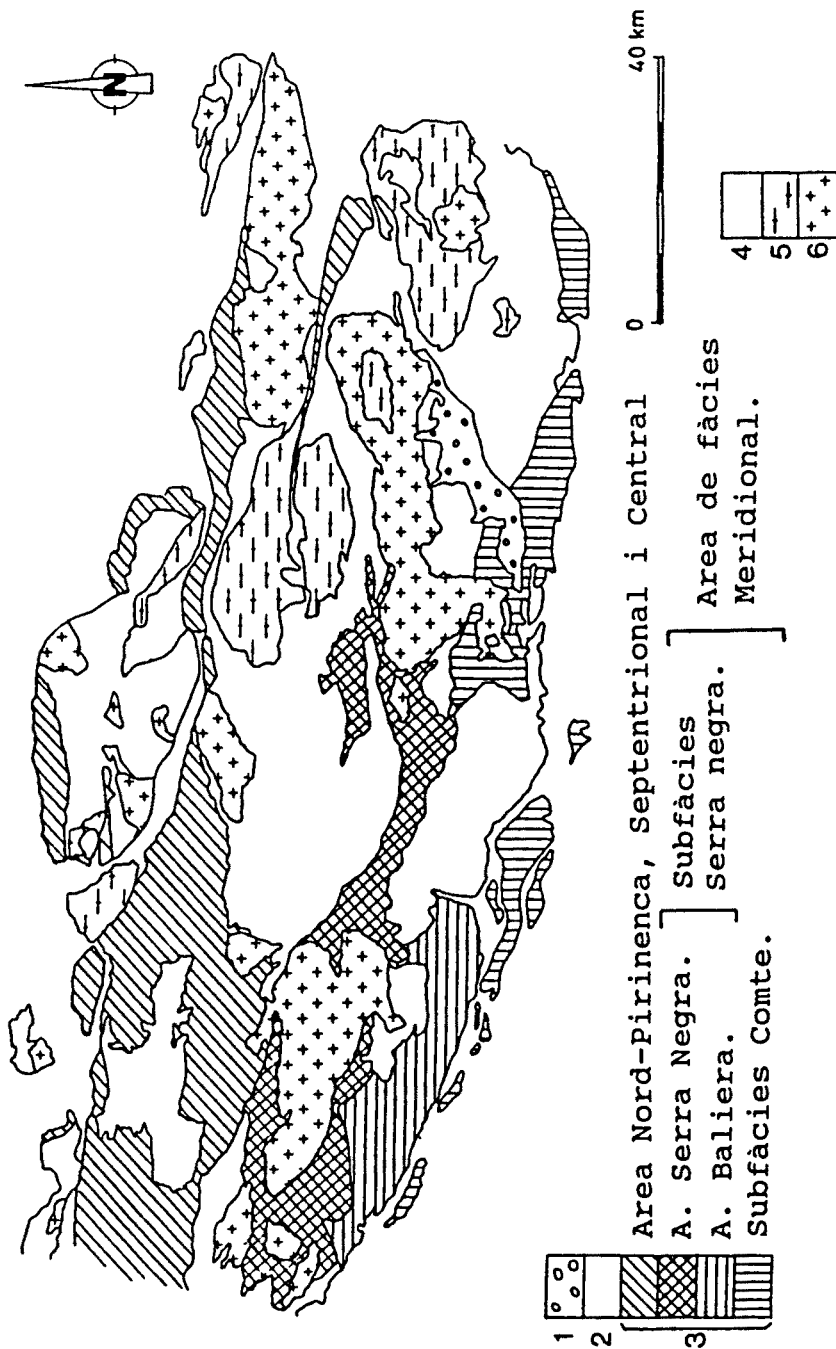


Fig. 1.4.- Distribució de les àrees de fàcies devonians del Pirineu Central (segons Zwart 1979, modificat). Llegendra: 1) Neogen; 2) materials post-hercynians; 3) Silurià, Devonian i Carbonífer pre-hercynià; 4) Cambro-ordovicià i Ordovicià superior; 5) gneiss; 6) granitoids intrusius i roques magmàtiques associades.

(s.s.) inclou les subfàcies definides per Mey (1967) com Serra Negra (sensu strictu), Baliera i Renamue.

Els materials devonians de l'àrea d'estudi són essencialment carbonàtics, pertanyen a l'àrea de fàcies Meridional, i concretament a la subfàcies Compte definida per Mey (1967), redefinida posteriorment per Boersma (1973). Mey (1967) divideix aquesta subfàcies en quatre formacions: fm. Rueda, fm. Basiver, fm. Villec i fm. Comte. A la Fig. 1.5, és mostra la columna estratigràfica dels materials devonians de l'àrea.

1.4.1.-FORMACIO RUEDA (Mey, 1967).

Aquesta formació consisteix en una alternança rítmica de nivells decimètrics de calcàries i lutites carbonàtiques. Sovint són de color gris i ocasionalment de color marró. Les calcàries són bioclàstiques tipus packestone i grainstone, essent típic d'aquesta formació, la presència de grainstones bioclàstics. Els nivells de calcàries lutitiques disminueixen a sostre de la formació. Localment, a la base de la formació, es troben cristalls de pirita molt disseminats que al alterar-se a òxids de ferro, donen a la roca un color marronós. També a la base de la formació pot presentar, localment, continguts de materia carbonosa que posteriorment l'escalfament, associat al metamorfisme, transformarà en grafit.

La potència oscil·la entre els 25 i 60 m.

El límit inferior d'aquesta formació es situa per sota del primer nivell de calcàries grises, i el superior en el darrer paquet potent de calcàries lutitiques.

Els materials d'aquesta formació afloren principalment a la part sud del sector estudiat.

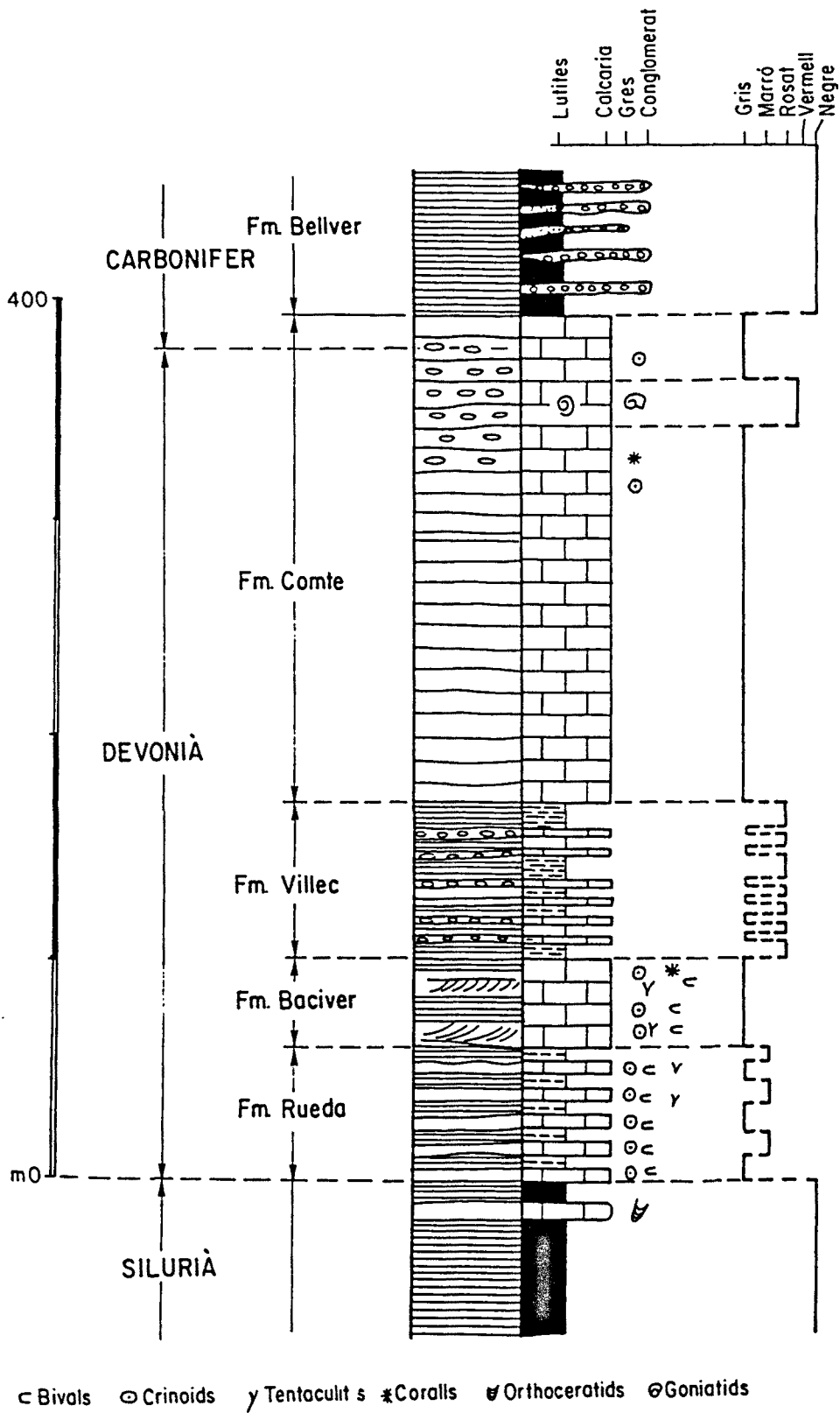


Fig. 1.5.- Columna sintètica dels materials devonians de l'àrea estudiada (la legenda es troba a l'annex 1).

En aquesta formació es troben nombrosos fòssils, principalment tiges de crinoideus, tentaculits, orthoceres, braquiòpodes i coralls solitaris. Hartevelt (1970) també troba trilòbits i conodonts. Diversos autors han estudiat la fauna d'aquesta formació, Dalloni (1930), Solé i Llopis (1946), Schmidt (1931) i Boissevain (1934). Schmidt (1931) mitjançant microfòssils atribueix al Gedinnià aquesta formació. Boersma (1968) data aquesta formació a zona de les Nogueres (W del sector estudiat) mitjançant conodonts, trobant una edat de Gedinnià baix.

Domingo (1985) a la propera àrea de la Tossa d'Alp atribueix aquests materials a tempestites distals.

1.4.2.-FORMACIO BASIVER (Mey, 1967).

Aquesta formació és constituïda per un paquet massís de calcàries grises, estratificat en bancs mètrics que al mateix temps són formats per estrats centimètrics a decimètrics. Els bancs són separats per juntes ben marcades, les quals sovint presenten lutites sense laminació aparent. Els diferents estrats són format per calcàries tipus wackestone, packestone i grainstone, predominant els dos primers. Els components són principalment bioclastes, però en menor proporció es troben grans de quars i argiles. Localment es poden observar estratificacions encreuades.

La potència d'aquests materials oscil·la entre 20 i 60 m.

El límit inferior es situa per sobre del darrer paquet potent de calcàries lutítiques i el límit superior es situa per sota del primer paquet de lutites de la formació Villec.

Aquests materials afloren principalment a la part sud del sector estudiat.

Com a fòssils predominen els tentaculits, les tiges i plaques de crinoid, bivalves, ostràcods i conodonts. Boersma (1968), a la zona de les Nogueres l'atribueix a l'Emsià

1.4.3.- FORMACIO VILLEC (Hartevelt, 1970).

Aquesta formació és constituïda per una alternança mètrica de nivells calcàris i calcàries lutítiques. Generalment són de color rosat fort, poden presentar localment color gris verdós. El nivells més calcàris són minoritaris i estan constituïts per calcàries tipus wackestone.

La potència d'aquesta formació oscil·la entre 80 a 110 m.

El límit inferior de la formació es situa a sostre de les darreres calcàries tipus wackestone o grainstone de la fm. Basiver, i el límit superior es situa sota les primeres calcàries massisses de la fm. Comte.

Els materials d'aquesta formació afloren principalment a la part sud del sector estudiat.

En aquests materials es troben crinoids, orthoceratids, conodonts, coralls i tentaculits dispersos. Dalloni (1930) mitjançant macrofòssils, atribueix una edat de Eifelià. Boersma (1968) in Hartevelt mitjançant els conodonts troba una edat d'Emsià a la base, d'Eifelià a la meitat i part alta de la sèrie, i Givetià al sostre.

1.4.4.- FORMACIO COMTE (Hartevelt 1970).

Hartevelt subdivideix aquesta formació en tres membres que de base a sostre són:

A.- Calcàries sovint noduloses de color gris clar.

B.- Calcàries noduloses de color vermell fosc (griotte).

C.- Calcàries noduloses de color gris clar.

El membre A és constituït per unes calcàries massisses grises tipus mudstones, wackstones, packstones i grainstones. S'observen seqüències granodecreixents de grainstones fins a mudstones. El membre B és constituït per calcàries noduloses, generalment els noduls contenen bioclàstes o goniàtids i són envoltats per nivells de mudstones vermells. Aquest membre és conegut tradicionalment com calcàries griotte (Foto 1.5). El membre C està format per calcàries noduloses de color gris, generalment de tipus wackestone i packestone.

La potència d'aquesta formació oscil·la entre els 100 m del Roc Beneido i els 250 m de Villec.

El límit inferior es situa a les primeres calcàries massisses, i el superior per sota de les pelites i conglomerats de la formació Bellver.

En els tres nivells es troben tentaculits, coralls, braquiòpods, ostràcods i conodonts. Són molt característics els goniàtids del nivell B (calcàries Griotte). Boersma (1973) data mitjançant conodonts aquests materials, trobant pel membre A una edat de Givetjà-Frasnià, pel membre B Frasnià-Famenià i pel terme C Famenià. Sanz (1986, 89) troba en els materials de la Tossa d'Alp (SE de l'àrea d'estudi) que els darrers metres de les calcàries del terme C tenen una edat Tournasiana.

1.5 LES SERIES CARBONIFERES.

1.5.1-LA SERIE CARBONIFERA PRE-HERCINIANA.

Correspon als materials de la formació Bellver descrita per Hartevelt (1970).

És una sèrie essencialment detrítica, constituïda principalment per una alternança rítmica d'ordre centimètric de pissarres i gresos. Intercalats entre les rítmites s'hi troben llentions mètrics de conglomerats i nivells mètrics de pelites. Els còdols són de quars, lidites, gresos, granit, calcària i còdols de les pissarres de la propia formació (Foto 1.6). La fàbrica és soportada pels còdols, que són força arrodonits amb una mida força variable compresa entre 3 i 18 cm. La matriu dels conglomerats és generalment gresosa, amb els grans de natura semblant a la dels còdols dels conglomerats.

No ha estat possible determinar la potència d'aquests materials, ja que a sobre és situen discordantment els materials post-hercinians.

La formació Bellver és situa discordantment sobre els materials devonians de la fm. Comte. El límit superior és situa sota els materials estefano-permians.

Aquests materials sols afloren a l' extrem sud-oriental del sector estudiat.

No s'han trobat fòssils en el sector d'estudi. Boissevain (1934) troba goniàtids atribuïts al Viseà i algun reste vegetal. Boersma (1968) a l'àrea de les Nogueres data aquests materials amb l'ajuda dels conodonts i li dona una edat de Tournasià-Viseà i una possible de Namurià.

Foto 1.1.- Alternança mil.limètrica de nivells gresosos i pelitics en els materials pre-caradocians. Serra del Calm Colomé (Baixa Cerdanya).

Foto 1.2.- Detall dels conglomerats de la formació Rabassa. Serra del Calm Colomé (Baixa Cerdanya).

Foto 1.3.- Nivell decimètric de conglomerats, inter-calat en la quarsita de Bar.

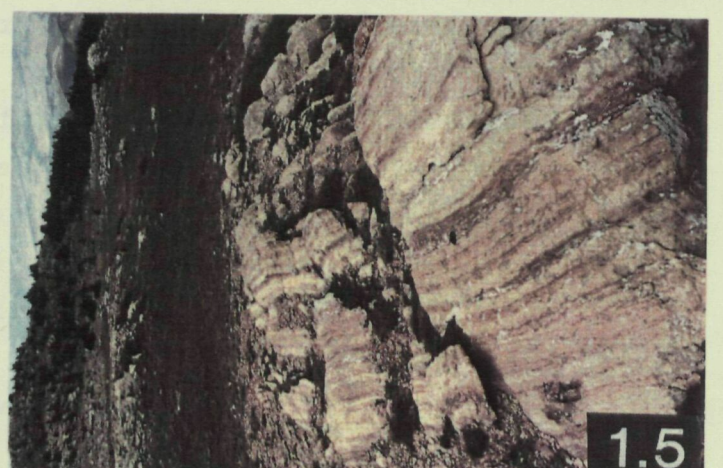
Foto 1.4.- Trens de ripples a sostre de la quarsita de Bar. Confluència del riu Ridolaina i del Segre.

Foto 1.5.- Detall de les calcàries griotte de la formació Compte. Plà de Talltendre (Baixa Cerdanya).

Foto 1.6.- Formació Bellver, còdol de pissarra de la propia formació en una intercalació conglomeratica.

Foto 2.1.- Detall dels conglomerats silícics de la formació Adraent (Cretacic). Querforadat (Alt Urgell).

Foto 3.1.- Superfícies erosives de Vilanova (V) i Toloriu (T), fotografia des del Serrat de la Tuta.



Es tracta de fàcies marines distals representades per les rítmites, junt amb les que també es sedimenten fàcies més proximals representades pels conglomerats.

1.5.2.- LA SERIE CARBONIFERA POST-HERCINIANA.

Aflora al sud, fora del sector estudiat, mercès a les falles normals de la depressió de la Cerdanya, que enfonsen part dels materials de la Serra del Cadí. La sèrie carbonífera post-herciniana, és constituïda per materials d'origen volcànic, principalment ignimbrites, cendres, laves, materials detrítics com gresos i grauvaques tobàcies i alguna intercalació esporàdica de calcàries (Hartevelt, 1970).

1.6.- LA SERIE PERMIANA.

És constituïda per materials detrítics, principalment red beds. És disposa discordantment sobre els materials carbonífers. A grans trets la sèrie és formada per tres membres: el membre inferior constituït per bretxes, grauvaques i gresos de material tobaci transportat; el membre mitjà constituït per una seqüència de gresos i llims amb intercalacions de calcàries; i el membre superior constituït per limolites i argiles. (Hartevelt, 1970).

2.- LES SÈRIES MESOZOIQUES I CENOZOIQUES.

A continuació farem una breu descripció dels materials que constitueixen les sèries mesozoiques i cenozoiques, tant dels materials que afloren a l'àrea d'estudi nos dels que afloren a les rodalies d'aquesta. La comprensió d'aquests materials es necessita per l'estudi de l'estructura de l'àrea, per altra banda imprescindible per l'estudi dels controls dels aqüífers de l'àrea.

2.1.- LA SÈRIA TRIÀSICA.

Els materials triàsics afloren al sud pràcticament tota de l'àrea estudiada, però els materials inferiors (facies Göttschstein) afloren a l'interior.

Formació Muntar:

2.- LES SÈRIES MESOZOIQUES I CENOZOIQUES.

Es disposa d'una sèrie de materials paleozoics i mesozoics. La formació principal és la de grèsos i lutites vermelles, generalment a la base presenta un paquet de conglomerats silíceus.

Formació Pont de Suert:

Va esser definida per Noy (1960), es disposa d'encordament sobre els materials de la formació Muntar i es constitueix per un paquet calcari que localment presenta nivells de guix.

En aquesta formació es troben intrusions de còncos efítics.

2.1.- LA SÈRIA DEL CRETACI SUPERIOR A L'EGÒ,

Dins els materials triàsics es dipositen d'encordament els materials del Cretaci superior. En el mapa geològic realitzat per Martevall (1979) hom pot

2.- LES SÈRIES MESOZOIQUES I CENOZOIQUES.

A continuació farem una breu descripció dels materials que constitueixen les sèries mesozoiques i cenozoiques, tant dels materials que afloren a l'àrea d'estudi com dels que afloren a les rodalies d'aquesta. La comprensió d'aquests materials es necessària per l'estudi de l'estructura de l'àrea, per altra banda imprescindible per l'estudi dels controls dels skarns de l'àrea.

2.1.- La sèrie triàsica.

Els materials triàsics afloren al sud practicament fora de l'àrea estudiada, sols els materials inferiors (fàcies buntsanstein) afloren a l'interior.

Formació Bunter:

Va ésser definida per Mey et al. (1968). És disposa discordantment sobre els materials paleozoics i permians. És constituïda per una alternança de gresos i lutites vermelles, generalment a la base presenta un paquet de conglomerats silícics.

Formació Pont de Suert:

Va ésser definida per Mey (1968), es disposa concordantment sobre els materials de la formació Bunter i es constituïda per un paquet calcàri que localment presenta nivells de guix.

En aquesta formació es troben intrusions de cossos ofítics.

2.2.- La sèrie del Cretàcic superior a l'Eocè.

Sobre els materials triàsics, es dipositen discordantment els materials del Cretàcic superior. En el mapa geològic realitzat per Hartevelt (1970) hom pot

observar que els materials Juràsics han estat erosionats en el sector de la vessant nord de la Serra del Cadí, si bé a la vessant sud afloren sota aquesta discordança del Cretàcic superior.

Hartevelt (1970) diferencia cinc formacions en aquesta sèrie que de base a sostre són:

* **Formació Adraent** formada per conglomerats silícics (Foto 2.1).

* **Formació Bona** formada per calcàries sorrenques a la base que de seguit passen a calcàries.

* **Formació Tremp**, formada per pissarres roges i violetes, gresos i conglomerats. Amb intercalacions molt locals de calcàries gresoses.

* **Formació Calcàries amb alveolines del Cadí**, constituïda per un potent paquet de calcàries amb intercalacions de margues a la base i de calcàries sorrenques a sostre.

* **Formació Roda** formada per sorres i margues amb intercalacions de gresos i localment conglomerats.

2.3.- La sèrie oligocènica.

Ja lluny de l'àrea d'estudi, vessant sud de la Serra del Cadí, afloren els conglomerats de la formació Collegats. Segons Hartevelt (1970), aquests es dipositen en alguns sectors cordantment sobre els anteriors materials i en altres sectors disconcordantment. Són conglomerats poligènics relacionats amb el desmantellament de la serralada Pirinenca recent formada.

2.4.- La sèrie neògena.

Durant els temps neògens és produeix una distensió que genera les fosses tectòniques de la Cerdanya i de l'Urgell (apartat 3.4). En aquestes depresions es dipositaren materials fluvials i lacustres.

2.5.- Els materials quaternaris.

Els materials quaternaris seran tractats junt amb la geomorfologia al capítol nº 3.