

L'ACTIVITAT NEOTECTÒNICA A LES CADENES COSTANERES CATALANES

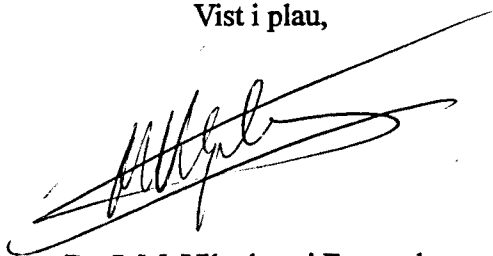
Eulàlia Masana

*Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia
Universitat de Barcelona*

1995

Tesi presentada per Eulàlia Masana Closa
per a optar al grau de doctor en geologia
Barcelona, Setembre de 1995

Vist i plau,



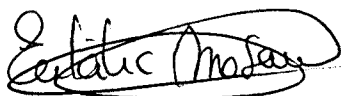
Dr. J. M. Vilaplana i Fernandez
Director de la tesi

Vist i plau,



043 MASANA CLOSA
Dr. J. Guimerà i Rosso
Director de la tesi

BIBLIOTECA DE GEOLOGIA
Universitat de Barcelona-CSIC



Eulàlia Masana Closa

2.4. ELS VENTALLS AL·LUVIALS

2.4.1. INTRODUCCIÓ

Els ventalls al·luvials són acumulacions de sediments que en planta tenen forma de ventall, amb l'àpex adossat normalment a un relleu muntanyós. Aquest tipus d'acumulacions es produeixen gràcies a la pèrdua de velocitat dels corrents que emergeixen del front muntanyós, per on circulaven confinats, la qual produeix una pèrdua de competència del corrent i per tant la sedimentació de part dels materials transportats degut a un canvi de la geometria del canal (amplada, fondària, pendent).

A la part proximal d'un ventall se l'anomena *fanhead* i a la distal *toe*. El seu perfil radial és concau mentre que un perfil transversal és convex. Aquesta distribució de pendents és deguda a la distribució de granulometries, més grolleres a la part proximal i decreixent cap a la distal (Hooke 1968); així, en zones semiàrides s'han observat pendents entre 5° i 10° en el *fanhead* i entre 1° i 2° al *toe*. El canal que emergeix del front muntanyós normalment té un pendent menor al del ventall i per tant aquest canal no interseca la superfície del ventall fins una mica més avall de l'àpex (fig. 2.46). Aquesta intersecció s'anomena punt d'intersecció i determina el punt a partir del qual es comença a produir sedimentació en el con.

Els factors principals que controlen la formació d'un ventall al·luvial són: 1) el clima, que influeix sobretot en el règim hídric i en el tipus i la quantitat de material meteoritzat en l'àrea font; 2) l'àrea font, que influeix sobretot pel que fa a la superfície drenada, que s'ha observat proporcional a la del con (Bull 1964), i pel que fa a la litologia; 3) la conca de deposició, que pot modificar les possibilitats d'expansió del con; i 4) la tectònica.

El control tectònic en un ventall al·luvial ve condicionat sobretot per la relació entre la velocitat d'aixecament de l'àrea font respecte a la velocitat d'encaixament del canal principal del con. Així, si el front s'aixeca més ràpidament que la incisió en el canal la sedimentació tindrà lloc més adossada al front que en cas contrari. Aquest procés, en el cas d'un front amb aixecament intens produeix una franja, estreta però de gran potència, de ventalls al·luvials adossada al front (fig. 2.47) (Steel 1976, Crowell 1974), encara que en alguns casos els ventalls poden mostrar també gran extensió (Llopis 1947, Fontboté 1954, Reinemund 1955, Mattauer 1973, Vetter 1975).

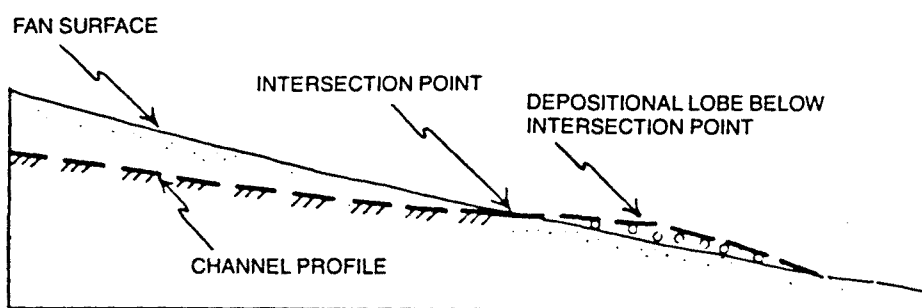


Fig. 2.46. La relació entre el pendent del canal del con i el pendent del con controla la situació del punt d'intersecció i per tant el punt a partir del que es produeix la sedimentació (De Nilsen 1982).

Fig. 2.46. *The relationship between the slope of the cone channel and the slope of the cone surface controls the position of the point of intersection and this is the point where the production of sediment begins. (from Nilsen 1982).*

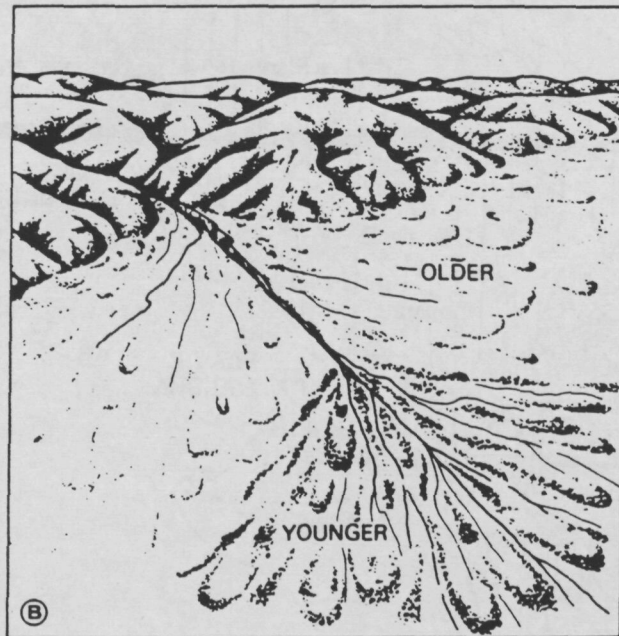
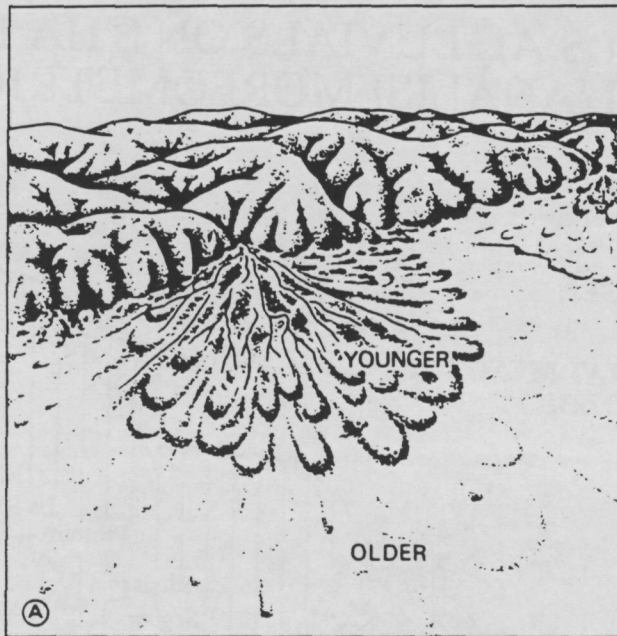


Fig. 2.47. Els ventalls al·luvials es depositaran adossats al front si hi ha un aixecament d'aquest (A) i allunyats del front si aquest no incrementa el pendent del canal (B) (De Bull 1977).

Fig. 2.47. The alluvial fans will be deposited against the front if there is a lifting of the front (A) and far away from the front if the gradient of the channel is not increased. (B) (from Bull 1977).

VENTALLS AL·LUVIALS ON S'HA REALITZAT L'ANÀLISI MORFOMÈTRICA

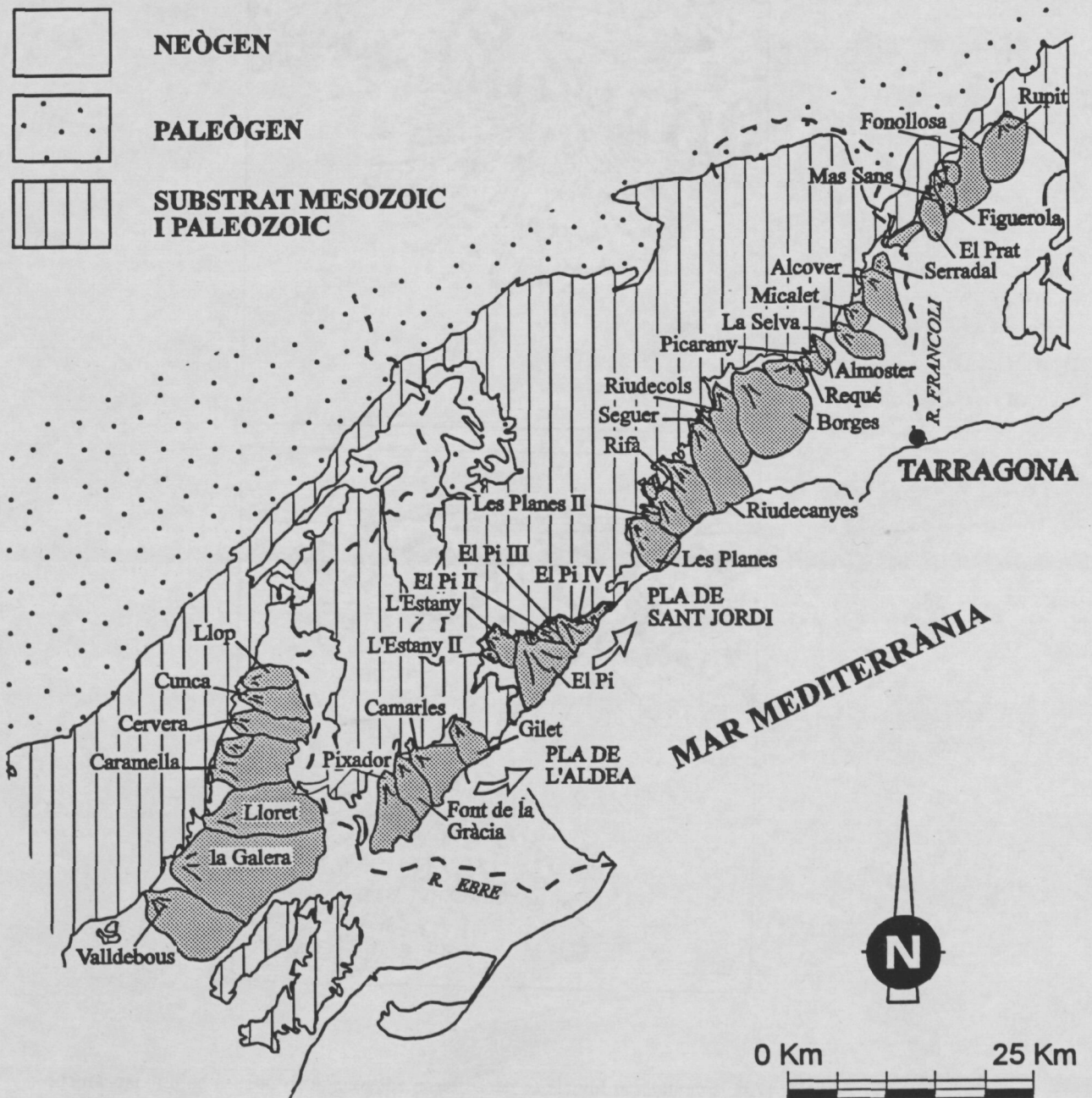


Fig. 2.48. Mapa de situació dels ventalls analitzats morfomètricament.

Fig. 2.48. A map of the position of the morphometrically analysed fans.

Un altre efecte de l'activitat tectònica sobre els ventalls al·luvials és la segmentació dels perfils radials que s'explica amb més detall més endavant.

En la zona estudiada els ventalls al·luvials es concentren a la meitat S de les Cadenes Costaneres Catalanes, a la fossa del Baix Ebre, a la zona dels plans de l'Aldea i de Sant Jordi i a la fossa del Camp (fig. 2.48). Tant al Baix Ebre com als plans de l'Aldea i de Sant Jordi els clastos que formen els ventalls són calcaris i dolomítics principalment. A la fossa del Camp, els ventalls amb còdols calcaris alternen amb ventalls amb còdols de granit, pissarres, corneanes, conglomerats i gresos, depenent de la litologia en la seva àrea de drenatge. En la majoria dels casos el canal principal dels ventalls es troba incidit tot al llarg del con, és a dir, que no mostren punt d'intersecció i per tant no hi ha sedimentació activa actualment. Tot i així, s'ha observat que en riuades extremes alguns d'aquests canals intersequen amb la superfície del con i produeixen sedimentació.

L'edat dels ventalls és difícil d'establir degut a què han estat segurament presents al peu dels fronts muntanyosos durant molta part de la seva evolució d'aquests i, per tant, les fàcies en aquesta zona de les fosses són molt semblants encara que les edats variïn i, consegüentment, són difícilment correlacionables amb d'altres sediments datables més fàcilment. Tot i així, al Baix Ebre, els ventalls es disposen per sobre de les margues marines del Pliocè (Magné (1978), Martinell i Domènech (1984), i Aguirre et al. (1982) consideren que els nivells margosos intermedis tenen una edat de Pliocè mitjà a superior, i Agustí et al. (1983) consideren que la seva edat és rusciniana), i a la fossa del Camp s'ha descrit indústria lítica musteriana en els sediments del ventall de Castellvell. També cal remarcar que diverses platges tirrenianes es troben encaixades a les parts distals d'alguns d'aquests ventalls (Porta et al. 1981). Així, es pot considerar que els ventalls són pliocen superior-quadernari mitjà a superior.

A partir del nivell de degradació superficial dels cons he distingit dues generacions^{de} ventalls a la fossa del Baix Ebre i a la del Camp (figs. 2.16 i 2.23). Als plans de Sant Jordi i de l'Aldea no s'observen diferències en la degradació. En tot cas és difícil poder comparar les dades de degradació entre fosses degut a les diferències litològiques.

De l'observació dels ventalls al·luvials es destaca l'existència d'alguns ventalls de menor extensió adossats als fronts del Baix Ebre i del Camp i que es troben menys degradats -alguns d'ells són actius actualment-.

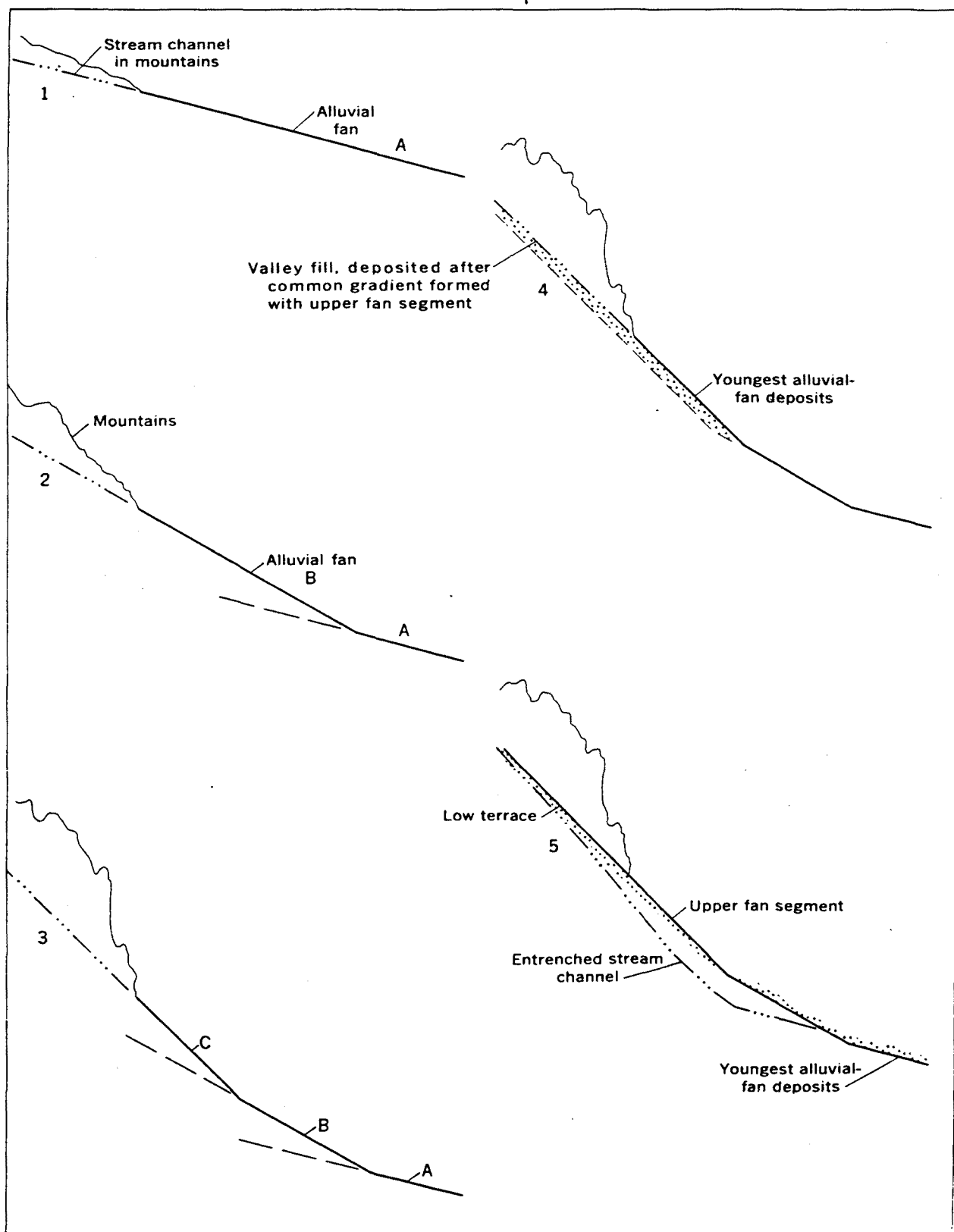


Fig. 2.49. Esquemes de l'angle de deposició de ventalls al·luvials depositats al peu d'un front que experimenta aixecament tectònic. (De Bull 1964).

Fig. 2.49. Schematics of the angle of deposition of the alluvial fans deposited at the foot of a front experiencing a tectonic lifting (from Bull 1964).

He realitzat una anàlisi morfomètrica dels pendents i les àrees de les conques de drenatge i del ventalls i també un estudi dels perfils radials dels cons, per a detectar la possible presència d'indicadors d'activitat tectònica recent.

2.4.2. ELS PERFILS RADIALS DE VENTALLS AL·LUVIALS

Com ja he esmentat, un ventall al·luvial mostra perfils radials còncaus i transversals convexos. Tot i així, en fronts muntanyosos que mantenen una activitat tectònica, els perfils radials dels ventalls poden estar formats per la unió consecutiva de diversos segments de pendent uniforme. Se'ls anomena ventalls al·luvials segmentats (fig. 2.49) (Bull 1964). El pendent de deposició d'un ventall està controlat sobretot pel pendent del canal del ventall aigües amunt; així, les variacions del pendent en el ventall poden atribuir-se a variacions del pendent del canal. Bull (1964), dedueix un aixecament en el front muntanyós a partir de l'existència de terrasses penjades a Western Fresno County, California, on els ventalls al·luvials al peu del front estan clarament segmentats. Interpreta que un aixecament intens del front produeix una variació en el pendent del canal i per tant el nou ventall al·luvial que se sedimenta té també més pendent que l'anterior i està més adossat al front. Així, la detecció de segments en els ventalls al·luvials és un indicador d'activitat tectònica, tot i que la no existència de segmentació no ho és d'inactivitat tectònica ja que en ventalls de caràcter groller o en ventalls on la infiltració és important aquests efectes poden ser inapreciables.

A la zona estudiada els ventalls estan formats principalment de material groller i per tant no són molt susceptibles de mostrar-se segmentats. Tot i així, he cregut convenient analitzar els grans trets de la topografia per a detectar-ne les possibles anomalies. He utilitzat una base topogràfica a escala 1:50 000 per a la primera aproximació i 1:25 000 per als perfils que necessitaven més detall. Els perfils radials els he realitzat després d'aplicar una suavització del relleu dels ventalls per a eliminar-ne els efectes de les incisions posteriors a la deposició (fig. 2.50).

Els pendents màxims i mínims calculats per als diferents ventalls per a desnivells entre 10 i 20 m a les zones d'apex varien entre 1° i 4.6° al Camp, 0.9° i 2° al Pla de Sant Jordi-l'Aldea i 1.2° i 4.6° al Baix Ebre, mentre que per a la zona de *toe* varien entre 0.5° i 2.1° al Camp, 1.1° i 2.1° Pla de Sant Jordi-l'Aldea i 0.5° i 1.4° al Baix Ebre. Tot i que en alguns perfils radials s'observen segments, aquests són difícilment correlacionables a d'altres perfils radials del mateix con, és a dir que es tracta en la majoria de casos d'anomalies puntuals del ventall, que no es poden relacionar amb el creixement d'un segon ventall amb més pendent.

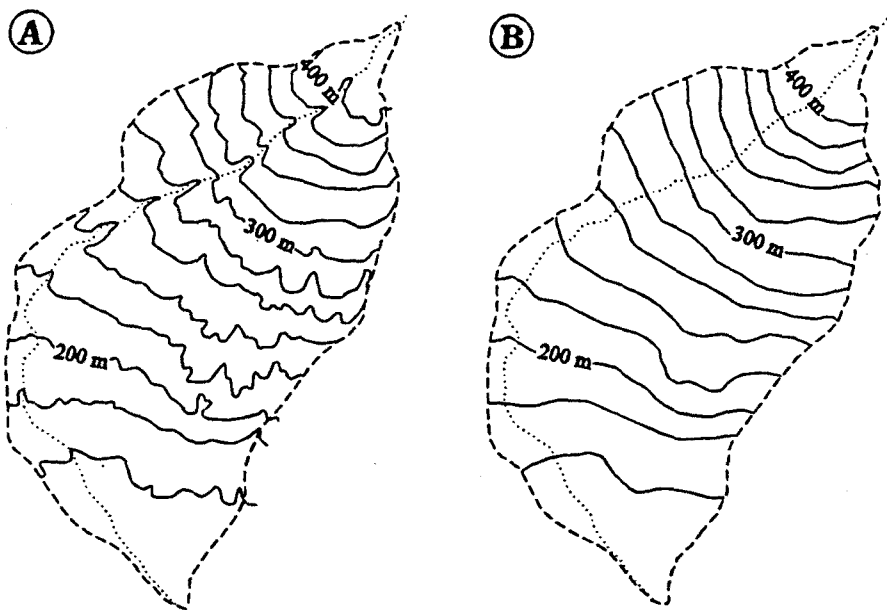


Fig. 2.50. Exemple de la suavització aplicada a la topografia dels ventalls al·luvials per a poder analitzar-ne els perfils radials i la possible segmentació.

Fig. 2.50. Example of the smoothing applied to the topography of the alluvial fans in order to analyse their segmentation in the radial profiles.

Només es pot parlar d'anomalia general a tot el ventall en el cas del ventall de Sant Jordi (fig. 2.51), al Pla de Sant Jordi-l'Aldea. En aquest ventall el pendent general varia entre 0.9° i 1.3° . En la part central dels perfils s'observa un esglaó de pendent entre 1.8° i 1.9° que separa en dos parts el perfil. Així, a banda i banda de l'esglaó el pendent no varia més que el que és raonable per a descriure la concavitat típica d'aquest tipus de perfils radials. Aquesta morfologia no concorda amb la d'un perfil segmentat tal i com indiquen Julià et al. (1979) sinó que ho fa millor amb la d'una forma dislocada per una fractura. La distribució de les corbes de nivell en el mapa topogràfic mostra que l'esglaó té una direcció aproximadament NNE-SSW, subparal·lela a les fractures principals amb indicis d'activitat recent de la zona (escarpament de Mont-roig, escarpament de l'Almadraba). Per altra banda, a l'apartat d'anàlisi de la xarxa fluvial he descrit un valor de $SL/K > 1.5$ al torrent de Sant Jordi, just a l'alçada de l'escarpament morfològic. Així, tot indica que aquest escarpament està produït per una fractura recent d'orientació aproximada NNE-SSW que ha afectat el ventall al·luvial i el canal que el travessa.

2.4.3. ANÀLISI MORFOMÈTRICA DELS VENTALLS AL·LUVIALS

Dels factors que controlen la formació dels ventalls al·luvials, el clima i les condicions de la conca de deposició es poden considerar homogenis per a l'àrea estudiada. Així, les característiques del ventall depenen principalment de les característiques de la conca de drenatge i de l'activitat tectònica. Per a analitzar la possible incidència de l'activitat tectònica en els ventalls he realitzat una anàlisi morfològica en la que he comparat els pendents i les àrees ocupades dels ventalls i de les conques tenint en compte la litologia de la conca de drenatge (taula 4.). Aquest estudi s'ha realitzat sobre la base topogràfica 1:50 000 i a partir de les dades de camp i de fotointerpretació a escala 1:33 000. Els pendents utilitzats representen la mitjana del ventall i de la conca i s'expressen en tant per cent. La litologia de la conca de drenatge s'ha estimat sobre els mapes geològics escala 1:50 000 de la "sèrie Magna" de l'IGME. He analitzat per separat els ventalls que contenen més del 50 % de roques carbonàtiques en l'àrea font dels que en contenen menys, ja que s'ha observat que aquesta característica controla la formació de dos tipus de ventalls: els formats principalment per còdols carbonàtics, on es formen abundants calitxes i el ventall es mostra cimentat en superfície, i els formats per pocs còdols carbonàtics, que es caracteritzen per gran quantitat d'argiles a la matriu i pel desenvolupament de sòls també carbonàtics però amb absència de calitxes i presència de nivells de nòduls, que fan que en aquests casos el ventall no es mostri cimentat en superfície.

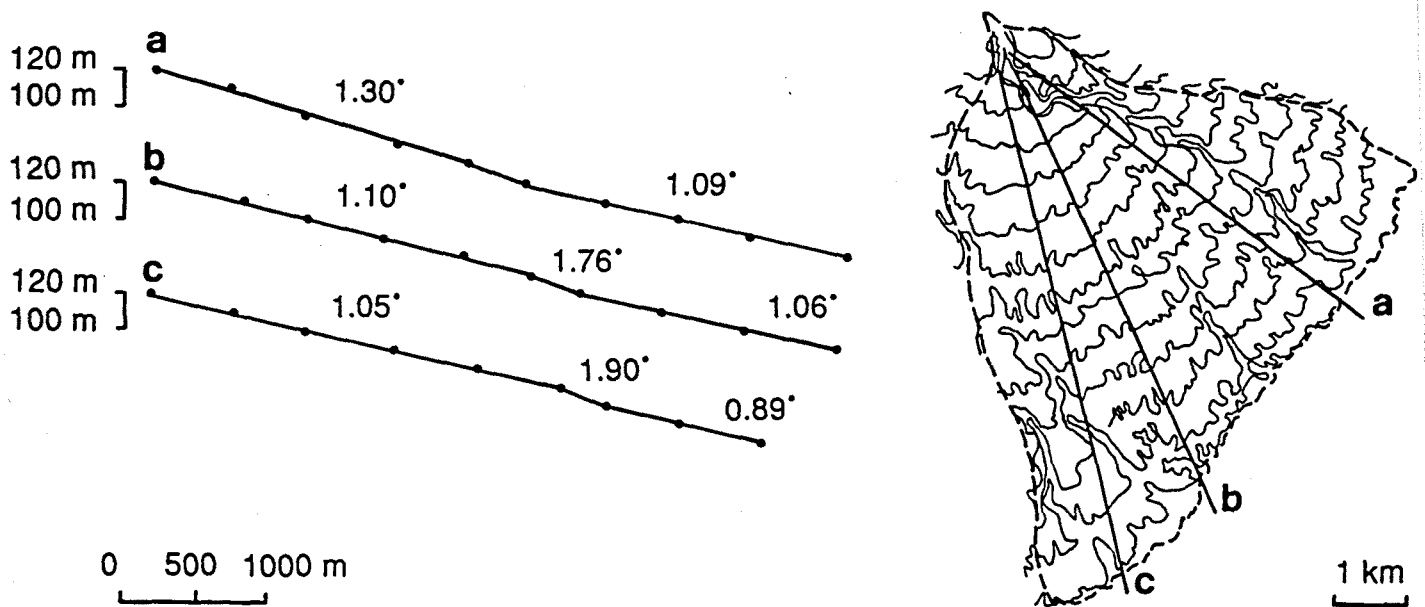


Fig. 2.51. Perfils topogràfics i corbes de nivell del ventall al.luvial del St. Jordi.
S'observa un esgraó topogràfic en els perfils. Vegeu explicació al text.

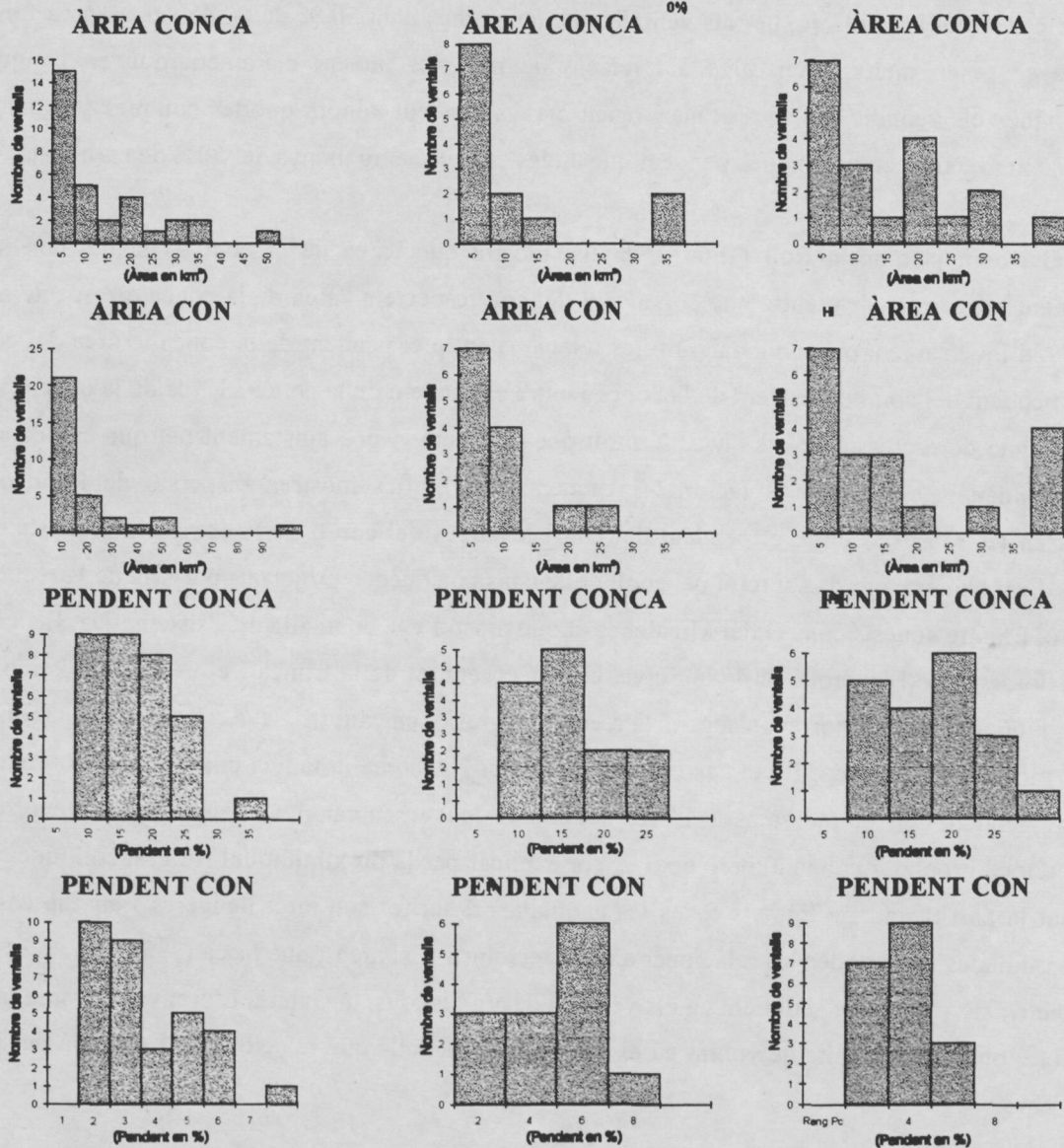
Fig. 2.51. Topographic profiles and curves at the level of the alluvial fan of St. Jordi.
A topographic step is observed in the profiles. See text for explanation.

A la fig. 2.52 es mostren els histogrames de les àrees i pendents dels cons i conques de drenatge per a tota la població, per als ventalls que tenen més d'un 50 % de carbonats a l'àrea font i pels que en tenen menys d'un 50%. La relació de mitjanes mostra clarament que en conques carbonàtiques els ventalls són més grans i tenen menys pendent, alhora que les conques són també més grans però tenen, en canvi, més pendent que en les conques amb menys del 50% de carbonats.

Tal i com ja descriu Bull (1964), l'anàlisi mostra que l'àrea de la conca i la del con són directament proporcionals mentre que el pendent del con respecte a l'àrea de la conca o respecte a la del con són inversament proporcionals. En les relacions entre el pendent de la conca i l'àrea del con, entre el pendent del con i el pendent de la conca i entre el pendent de la conca i l'àrea de la conca (fig. 2.53), la recta de regressió de les dades té molt poca pendent i poc ajustament pel que es dedueix poca dependència entre aquests factors. En general, els gràfics mostren dispersió de les dades, sobretot en les relacions entre el pendent del con i les àrees del con o de la conca. En aquests dos casos la dispersió és causada sobretot pel conjunt de cons que queden projectats per sota de la recta de regressió. D'entre aquests cons el del Micalet és el que mostra una anomalia més sistemàtica. Els cons de Sant Jordi, el de Figuerola, el de la Selva, el de Cervera, el de la Cunca i el de Llop mostren un pendent menor al que els correpon segons la recta de regressió, en canvi la seva relació d'àrees (conca-con) es mostra compensada. En el cas del con de l'Estany l'anomalia indica una àrea del con massa gran i un pendent del con massa petit. L'àrea del con d'Alcover, en canvi, és lleugerament menor a la que li pertoca proporcionalment, però això es pot explicar per la proximitat del riu Francolí, que n'ha erosionat la part distal. En tots els casos les anomalies descrites són molt lleugeres i en cap cas es tenen prou dades per a poder-les relacionar amb la tectònica. Cal afegir que Roca (1984), en un estudi morfomètric de volums de sediment en els ventalls de Valldebons, la Galera, Lloret i la Caramella, al Baix Ebre, observa una falta de volum en el con de la Caramella que relaciona amb l'erosió per part del riu Ebre.

Tot i que en els histogrames de pendents i àrees dels ventalls i les conques s'observen clares diferències entre els cons que tenen molts carbonats a les àrees de drenatge i els cons que no, les diferències són mínimes en l'anàlisi morfomètrica, tal com s'observa a la figura 54.

El fet que la morfologia dels cons no sembli influïda per la tectònica pot indicar una absència de deformació neotectònica o que aquesta no és prou intensa per influir en la morfologia al·luvial. En tots els casos es descarta una activitat tectònica molt important tal com també es desprèn de la resta de morfologies analitzades.



MITJANES	TOTS ELS CONS	< 50% CARBONATS	> 50% CARBONATS
AREA CONCA (km ²)	5,7	3	10
AREA CON (km ²)	6,8	4	10
PENDENT CONCA(%)	14,3	13	16
PENDENT CON (%)	2,6	4	2

Fig. 2.52. Histogrames del pendent (en %) i l'àrea (en km²) dels ventalls i les conques analitzades, en el cas general, amb tots els ventalls inclosos, i per separat els ventalls que tenen més d'un 50 % de roques carbonatades a la seves àrees font. Al peu es mostra una taula amb les mitjanes de cada un d'aquest histogrames.

Fig. 2.52. Histogram of gradient (in %) and the area (in km²) of the fans under analysis, in the general case, with all fans included, and separately the fans which have more than 50% of carbonated rocks at these source areas. At the foot is shown a table with the average of each of these histograms.

TOTS ELS VENTALLS

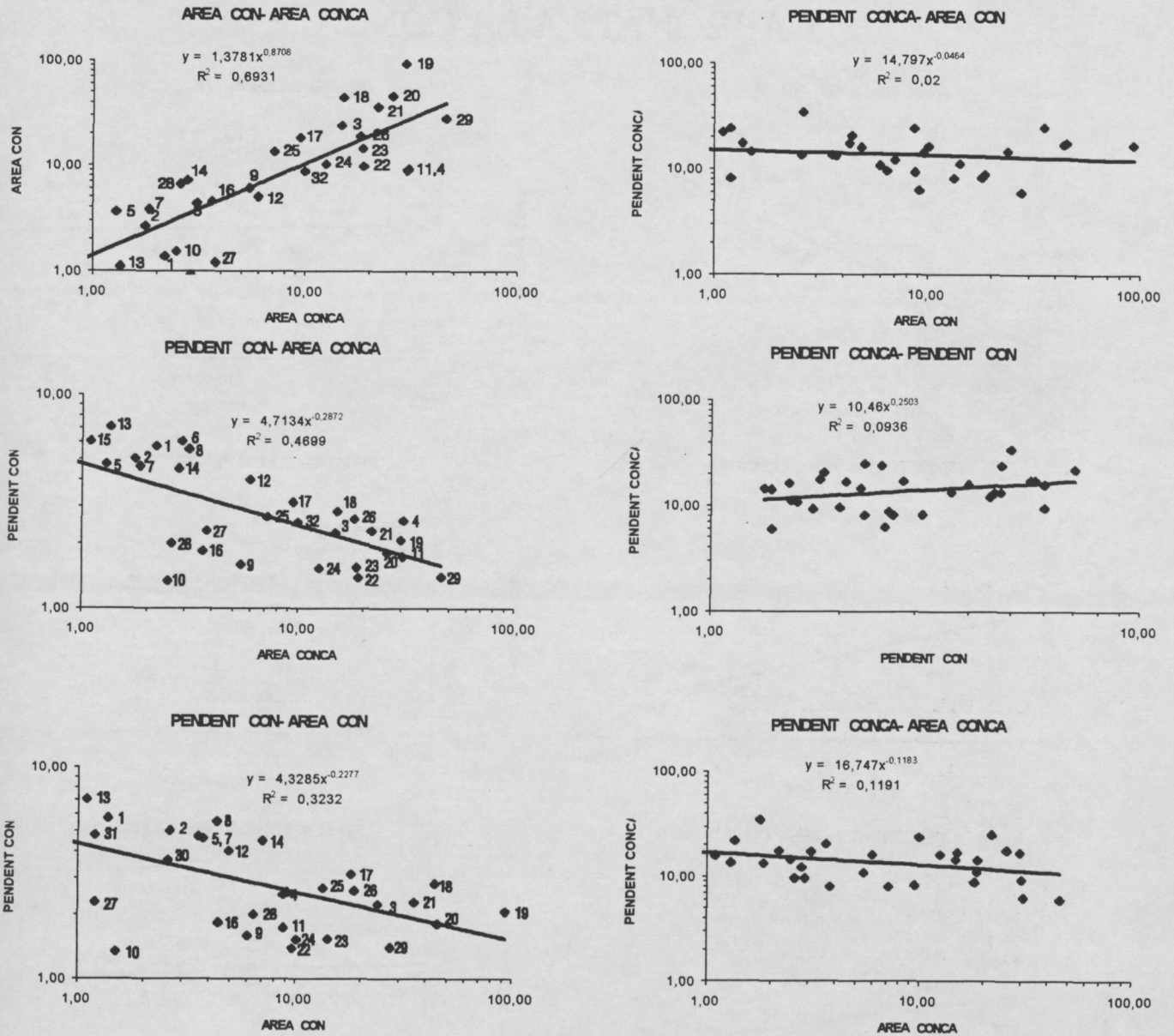
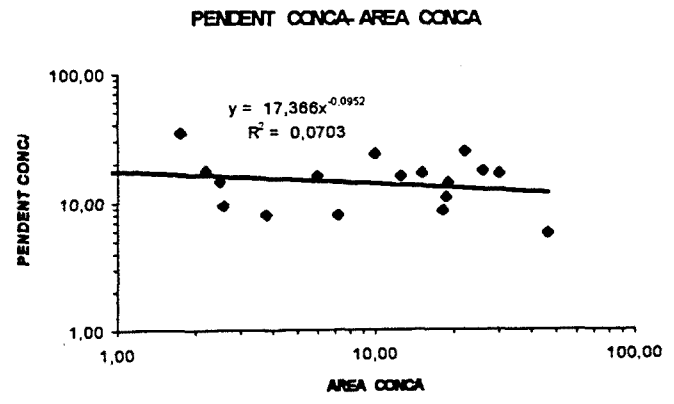
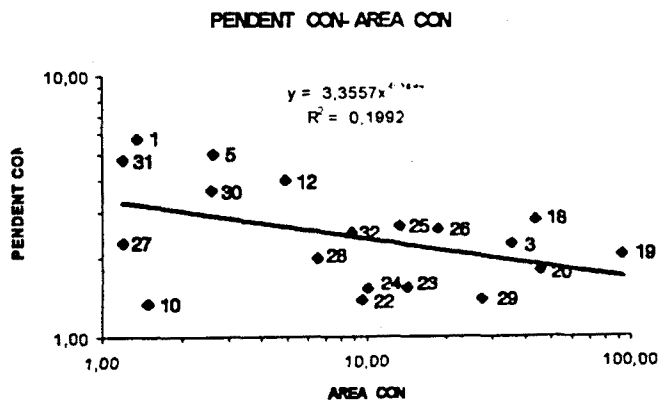
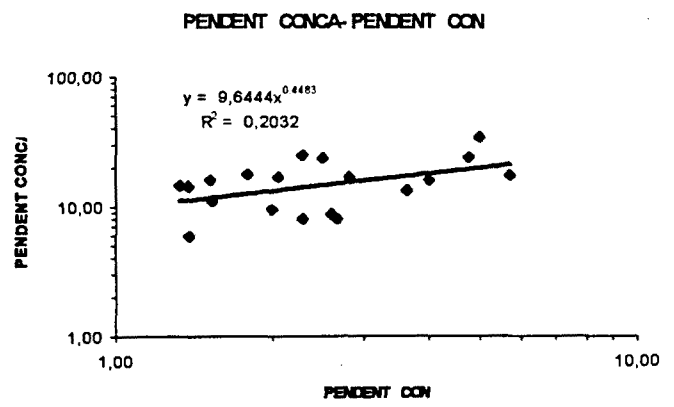
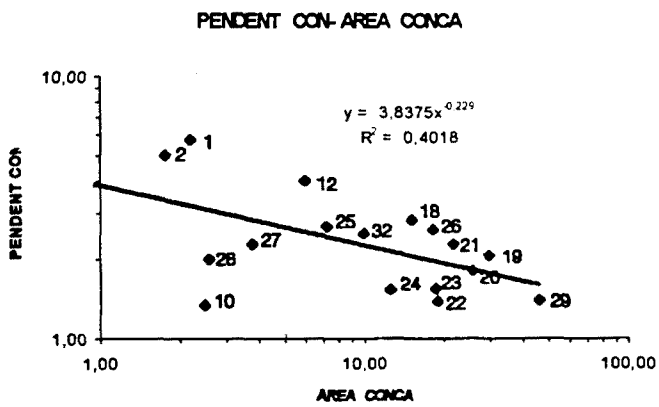
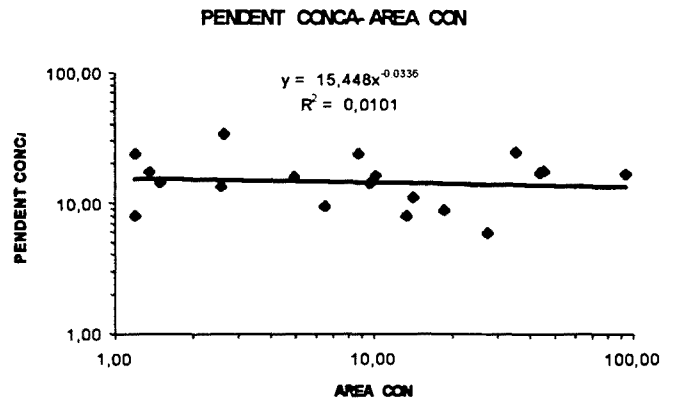
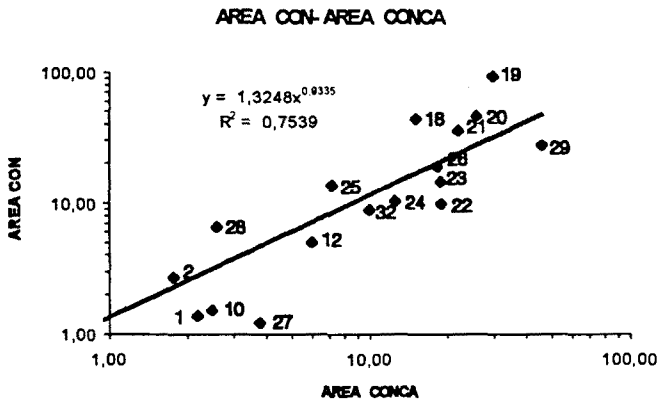


Fig. 2.53. Regressions lineals de les relacions entre l'àrea i el pendent de les conques de drenatge i els ventalls al·luvials analitzats, tant per a tots els ventalls alhora com per als que tenen més d'un 50% de roques carbonatades a la seva àrea font i els que en tenen menys d'un 50 %.

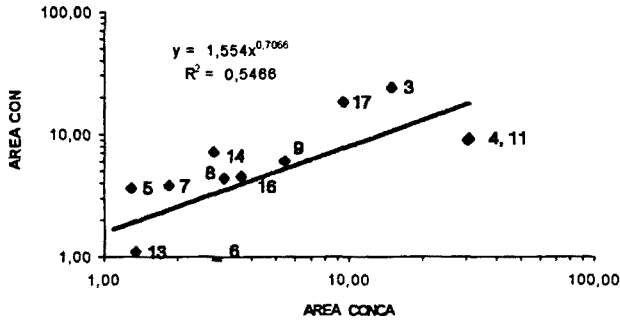
Fig. 2.53. Lineal regressions of the relationship between the area and the gradient of the drainage basin and the analysed alluvial fans, a) for all fans, b) for those which have more than 50% of carbonated rocks at the source area and c) for those that have less than 50%.

VENTALLS AMB MÉS DEL 50 % DE CARBONATS A LA CONCA

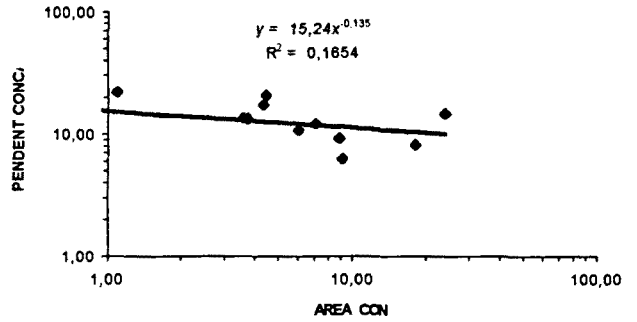


VENTALLS AMB MENYS DEL 50 % DE CARBONATS A LA CONCA

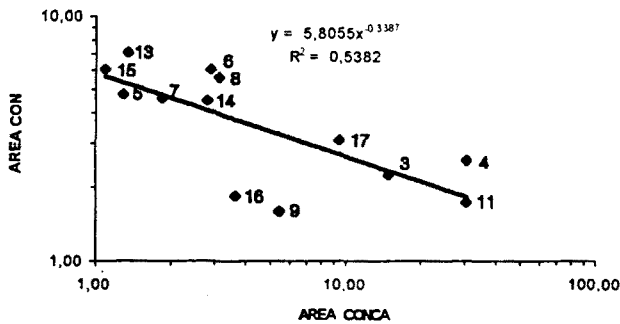
AREA CON-AREA CONCA



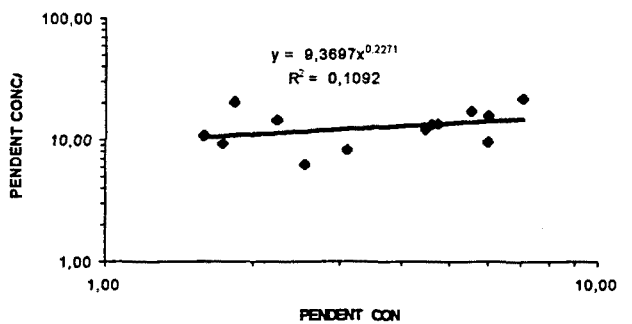
PENDENT CONCA-AREA CON



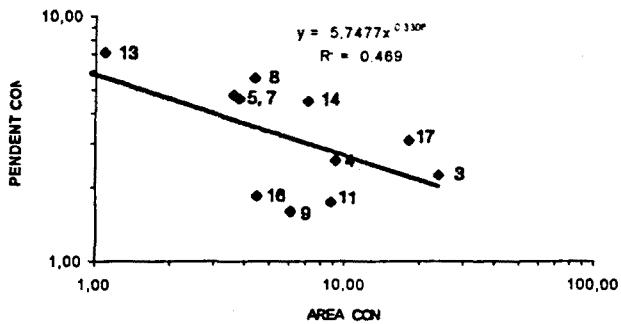
PENDENT CON-AREA CONCA



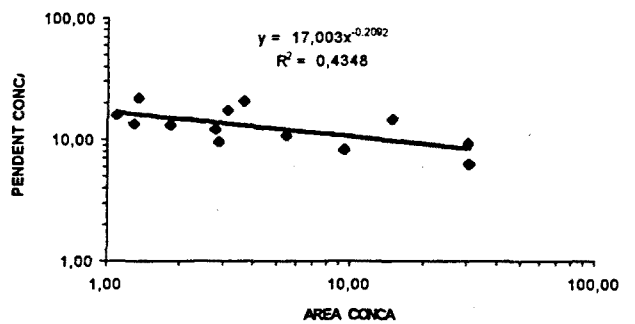
PENDENT CONCA-PENDENT CON



PENDENT CON-AREA CON



PENDENT CONCA-AREA CONCA



	A. Conca	A. Con	P. Con (°)	P. Con (%)	P. Conca (°)	P. Conca (%)	Carbonats (%)
1.LES PLANES II	2,20	1,37	3,27	5,71	9,85	17,36	96,36
2.LES PLANES III	1,77	2,65	2,86	5,00	18,86	34,17	100,00
3.RIFA	14,95	23,95	1,28	2,24	8,21	14,42	40,6
4.RIUDECANYES	30,85	9,20	1,46	2,55	3,57	6,24	0,00
5.SEGUER	1,30	3,60	2,71	4,74	7,59	13,33	0,00
6.REQUE	2,90	0,90	3,43	6,00	5,43	9,50	0,00
7.PICARANY	1,85	3,77	2,63	4,59	7,54	13,24	0,00
8.ALMOSTER	3,12	4,35	3,18	5,56	9,72	17,13	0,00
9.LA SELVA	5,47	6,05	0,91	1,59	6,09	10,67	0,00
10.MICALET	2,50	1,50	0,76	1,33	8,18	14,37	56,80
11.ALCOVER	30,50	8,87	0,99	1,73	5,28	9,24	48,52
12.SERRADAL	6,00	4,95	2,29	4,00	9,04	15,91	65,83
13.MAS LLOPS	1,35	1,10	4,04	7,06	12,30	21,80	8,89
14.EL PRAT	2,80	7,10	2,56	4,47	6,87	12,05	5,36
15.MAS SANS	1,10	0,65	3,43	6,00	8,93	15,71	0,00
16.FIGUEROLA	3,65	4,47	1,05	1,83	11,53	20,40	14,25
17.RUPIT	9,50	18,10	1,78	3,11	4,66	8,16	21,79
18.VALLDEBOUS	15,2	44	1,614	2,82	9,586	16,89	100
19.LA GALERA	30	93,7	1,182	2,06	9,537	16,80	96,67
20.LLORET	26	45,7	1,031	1,80	9,998	17,63	98,65
21.LA CARAMELLA	22	35,6	1,309	2,29	13,864	24,68	100
22.CERVERA	19	9,7	0,793	1,38	8,057	14,16	97,37
23.LA CUNCA	18,8	14,3	0,881	1,54	6,293	11,03	88,83
24.LLOP	12,6	10,2	0,873	1,52	9,117	16,05	84,92
25.FONT DE LA GRACIA	7,2	13,4	1,528	2,67	4,544	7,95	100,00
26.CAMARLES	18,3	18,8	1,489	2,60	5,006	8,76	100,00
27.L'ESTANY II	3,8	1,2	1,309	2,29	4,555	7,97	100,00
28.L'ESTANY	2,6	6,5	1,146	2,00	5,427	9,50	100,00
29.EL PI, ST JORDI	46,2	27,6	0,797	1,39	3,388	5,92	100,00
30.EI PI II	0,9	2,6	2,083	3,64	7,595	13,33	100,00
31.EI PI III	0,6	1,2	2,726	4,76	13,496	24,00	100,00
32.EI PI IV	10	8,8	1,432	2,50	13,366	23,76	100,00

Taula 4. Valors de l'àrea (en metres) i el pendent (en graus i en tant percent) dels ventalls al·luvials analitzats i les conques de drenatge d'aquests ventalls. Aquests valors s'han utilitzat en l'anàlisi morfomètrica (vegeu text).

Table 4. Values of the area (in metres) and the gradient (in degrees and in percentage) of the alluvial range analysed, and the drainage basins of these ranges. These values have been utilised in the morphometric analysis(see text).

2.5. DISCUSSIÓ

La comparació dels resultats obtinguts en les diferents anàlisis realitzades permet destacar l'existència de zones on es concentren els indicis d'activitat tectònica recent. A més, l'anàlisi ha detectat també indicis puntuals. Les zones amb concentració d'indicis són: la zona del Baix Ebre, la zona del Camp, la zona del Montseny, la zona del pla del Burgar i el ventall de Sant Jordi.

El Baix Ebre

Els indicis geomorfològics d'activitat tectònica recent a la zona del Baix Ebre es concentren quasi exclusivament al front muntanyós que limita al WNW la fossa del Baix Ebre. El front del Baix Ebre, d'orientació NNE-SSW, mostra diversos indicis d'aixecament recent: un valor de la sinuositat baix (1'69 en total, tot i que en algunes zones és de 1'2), una dimensió fractal baixa (1'08), facetes triangulars -fins a tres generacions-, un drenatge perpendicular al front, conques de drenatge amb un índex de separació relativament baix (entre 0'48 i 0'52), i amb formès de *wine glass valley*, perfils transversals al front convexes, i un índex d'incisió en el front amb valors baixos (entre 3'31 i 3'80).

La morfologia del front i l'alineació de les facetes triangulars mostren que aquest està format al menys per tres sectors, dos dels quals contenen més indicis morfològics d'activitat neotectònica: el sector central i el de la Sènia, al S. Aquests sectors han actuat de forma independent ja que no mostren la mateixa quantitat de generacions de facetes triangulars (dues generacions en el sector central i tres en el de la Sènia). El fet de presentar diferents generacions de facetes triangulars implica que el front ha tingut períodes d'inactivitat alternant amb períodes d'activitat que han donat lloc a les facetes. El salt ocorregut en cada un d'aquests períodes, que es pot estimar a partir del desnivell que mostren les diverses generacions de facetes, decreix cap a les vores dels sectors analitzats -central i la Sènia- indicant que aquests sectors poden correspondre a segments de la falla del Baix Ebre, és a dir, parts de la falla que han actuat independentment. En cada segment, el salt ocorregut en els diferents períodes d'activitat es releua per a acabar donant un salt uniforme.

L'edat de les facetes més altes s'ha estimat en 9 a 14 Ma, mentre que les facetes més baixes tenen una edat estimada de 1 a 3 Ma. No es tracta, per tant de característiques morfològiques actuals. Per altra banda, la zona mostra indicis d'haver experimentat un període d'inactivitat tectònica posterior a la formació del front. Així, es coneix l'existència d'un pediment al peu del front que implica que el front actual ha retrocedit respecte la seva posició original, més avançada. Per altra banda, el front no mostra en cap cas un escarpament recent al peu, ni anomalies de l'índex de gradient en la zona el front. A això cal afegir-hi que els ventalls al·luvials que es disposen al peu del front no

mostren cap anomalia pel que fa a l'àrea i el pendent ni es mostren segmentats, tot i que el fet de ser litològicament formats per conglomerats en pot ser també la causa.

L'anàlisi de l'índex de gradient mostra la presència d'una alineació d'anomalies, atribuïdes a l'activitat tectònica recent, disposada paral·lelament al front i a una distància homogènia d'aquest. La disposició d'aquesta alineació permet considerar que aquesta estigui causada per la mateixa falla del Baix Ebre, actualment avançada respecte el front actual. Això implicaria que la falla del Baix Ebre, podria estar iniciant un període tectònicament actiu, mostrant així una continuïtat en la seva evolució que, ja s'ha discutit, ha estat marcada per períodes alternants d'activitat i inactivitat.

L'anàlisi de la incisió, que es mostra poc intensa, alhora que la importància de la sedimentació quaternària a la fossa del Baix Ebre permeten interpretar que aquesta ha experimentat una subsidència respecte el seu nivell de base.

El Camp

Els indicis geomorfològics d'activitat neotectònica observats a la zona del Camp es concentren a la zona del front muntanyós que limita la fossa del Camp pel NW, on el front és format per la serra de Prades, mentre que a la serra de Miramar, més al N, no s'han observat indicis al respecte.

El front del Camp, d'orientació NNE-SSW, mostra tres grans alineacions de facetes triangulars, la de l'Hospitalet, la de Vilavella i la d'Alcover. Aquestes alineacions mostren dues o tres generacions de facetes triangulars depenent del cas, i un salt en cada generació de facetes que decreix cap als límits de l'alineació. Això permet considerar aquestes alineacions com segments de la falla del Camp que han actuat independentment.

L'alineació de la Selva mostra, a més de facetes triangulars, d'altres indicis geomorfològics que indiquen que aquesta part del front ha experimentat un aixecament recent: sinuositat baixa (1'25), dimensió fractal baixa (1'13), perfils longitudinals convexes, drenatge perpendicular al front, conques en forma de *wine glass valley*, amb un índex de l'espaiat baix (0'53), i un índex de la incisió al front baix (3'60 a 5'20). L'edat de les facetes més altes s'estima entre 8 i 10 Ma. El front no mostra en aquest cas un pediment al peu, tot i que la manca d'un escarpament al peu del front i la manca d'anomalies de l'índex de gradient a la zona del front mostren que no existeix una activitat subactual important en aquest segment del front.

La resta del front es mostra més degradat i amb pocs indicis morfològics d'aixecament recent, a banda de les facetes triangulars. Tot i així, l'escarpament de Mont-roig, al S del front, posa en evidència que la falla del Camp ha estat activa fins recentment (activitat posterior al Musterià i anterior a 4490-4790 a. BC, vegeu capítol de la paleosimilitat a les Cadenes Costaneres Catalanes).

La fossa del Camp, sobretot la part que es troba al peu del front de Prades, es mostra poc incidida i amb sedimentació quaternària. Això permet interpretar que ha experimentat subsidència durant aquest període. La assimetria de la conca de drenatge del Gaià, a més, permet interpretar un basculament de la fossa cap a la falla del Camp.

L'anàlisi de l'índex de gradient ha permès detectar algunes anomalies degudes a l'activitat tectònica recent disperses a la fossa del Camp que he interpretat com causades per l'activitat de falles secundàries que limitarien blocs en el substrat de la fossa.

El Montseny

La zona del Vallès que mostra més indicis geomorfològics d'activitat neotectònica és el front del Montseny. Aquest front, d'orientació NE-SW, mostra indicis d'aixecament recent que es concreten en una sinuositat baixa (1'45), una dimensió fractal baixa (1.07759), facetes triangulars (fins a quatre generacions), drenatge perpendicular al front, conques en forma de *wine glass valley*, perfils transversals convexos i un índex d'incisió del front baix (3'67 a 5'9). L'edat estimada per a les facetes més altes és de 11 a 14 Ma. Tot i que el front no mostra indicis clars i generals d'una activació subactual important de l'activitat neotectònica (no s'observen anomalies de l'índex de gradient sistemàtiques en el front, ni un escarpament continu al peu d'aquest), en canvi s'ha observat una zona del front on el pendent és més pronunciat, situada al peu d'aquest, i que podria representar un període més recent d'activitat tectònica. Es tracta, però, d'una zona poc extensa (uns 300 m), i existeix la possibilitat de que sigui degut a un contrast litològic.

A banda de les anomalies concentrades a la zona del Montseny, cal fer referència a l'alineació d'anomalies de l'índex de gradient detectada als rius Congost, Ripoll i Arenes. Aquesta alineació es disposa subparal·lelament al front del Montseny, i se situa al centre de la fossa. La inexistència d'un front muntanyós proper amb d'altres indicadors d'activitat neotectònica i la distància que la separa de les vores de la conca no permet interpretar aquesta alineació com una reactivació de la falla del Vallès, mentre que es considera com un producte de l'activació d'una de les falles que delimiten en blocs del substrat de la fossa del Vallès.

L'anàlisi de la incisió en la fossa del Vallès permet interpretar un aixecament d'aquesta fossa, que alhora explicaria també l'elevada degradació dels pocs sediments plio-quadernaris de la zona.

El pla del Burgar

A la zona del pla del Burgar s'observen alguns indicadors d'aixecament recent en el front muntanyós que limita la fossa neògena al W. El front del pla del Burgar, d'orientació N-S, mostra una sinuositat baixa (1'23), una dimensió fractal baixa (1'06) i algunes facetes triangulars alineades, en les que no s'observen generacions, possiblement degut a l'elevat grau de degradació. No presenta evidències geomorfològiques d'haver experimentat una activitat tectònica recent intensa ja que en cap cas s'ha observat un escarpament al peu ni anomalies en la xarxa fluvial en el front que ho indiquin.

El ventall de Sant Jordi

Tot i que les anomalies que s'han observat al ventall de Sant Jordi no són del mateix ordre de magnitud que les descrites fins aquí, convé remarcar-les de forma individual ja que no es troben a la vora de cap de les altres zones on es concentren indicis geomorfològics d'activitat neotectònica. Aquest ventall està format per dipòsits plioquadernaris. Presenta dues anomalies a tenir en compte: un esgraonament alineat NNE-SSW i una anomalia de l'índex de gradient que coincideix amb la zona on es produeix l'esgraonament. S'ha interpretat com un escarpament o una flexió de falla recent, degradat.

Els indicis geomorfològics d'activitat neotectònica detectats a les Cadenes Costaneres Catalanes mostren tots un moviment vertical de les estructures que els han causat. No s'han observat en cap cas indicadors de moviment direccional en la disposició en planta de la xarxa de drenatge.

També cal remarcar que totes les alineacions (fronts muntanyosos, alineacions d'anomalies de l'índex de gradient, esgraonaments) mostren una orientació NE-SW al N i NNE-SSW a N-S al S, paral·lela a la direcció de les falles neògenes extensives principals.

3. ANÀLISI DELS INDICADORS ESTRUCTURALS D'ACTIVITAT NEOTECTÒNICA

3.1. INTRODUCCIÓ

3.2. ANÀLISI DE LA FRACTURACIÓ

3.3. ANÀLISI DELS CÒDOLS ESTRIATS

3.4. LES FLEXIONS I ELS BASCULAMENTS

3.5. DADES DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL

**3.6. L'ESTAT D'ESFORÇ I DE DEFORMACIÓ
ACTUAL. SÍNTESI DE LES DADES EXISTENTS.**

3.7. DISCUSSIÓ

RESUM

A les Cadenes Costaneres Catalanes, la deformació produïda per la convergència entre Àfrica i Euràsia ha estat acomodada principalment per fractures de sòcol preexistents, d'orientació NE-SW, que actuaren com a falles direccionals i inverses durant la compressió que tingué lloc entre l'Eocè inferior-superior i l'Oligocè superior i invertiren el seu moviment durant el període d'extensió actuant com a falles normals (Miocè inferior-actualitat). En el sector més meridional de la zona estudiada, que forma part de la zona d'enllaç, entre les Cadenes Costaneres Catalanes i la Serralada Ibèrica, l'extensió neògena s'acomodà mitjançant falles normals d'orientació NNE-SSW que en aquest cas tallen les estructures compressives preexistents.

Els indicadors cinemàtics que s'observen en els dipòsits pliocens o quaternaris són poc abundants i principalment concentrats a la meitat meridional de la zona estudiada. Les estructures analitzades han estat principalment: 1) falles normals amb salts entre centimètrics i mètrics, en les que s'ha realitzat una anàlisi cinemàtica tan detallada com les dades han permès, 2) diàclasis, i 3) còdols estriats, en els que s'ha analitzat la distribució de les dissolucions per a interpretar-ne el camí recorregut per les partícules colindants sota un camp d'esforç. S'ha realitzat també una síntesi de les dades existents sobre fracturació i deformació recent a la plataforma continental i de les dades sobre el camp d'esforç actual.

Els afloraments on s'han pogut analitzar falles que afectin materials plio-quaternaris són escassos, i en la majoria dels casos es tracta de falles normals. En alguns afloraments s'ha pogut realitzar una anàlisi de la població de falles mitjançant els mètodes d'Anderson i d'Angelier i n'ha resultat, per a les estacions que afecten el Pliocè, una direcció de σ_1 vertical i σ_3 entre WNW-ESE i NNW-SSE i per a les estacions que afecten al quaternari una orientació de σ_1 també vertical, i σ_3 E-W. Les falles normals observades en afloraments on no s'ha pogut realitzar una anàlisi de població de falles degut a la poca quantitat de mesures disponible, tenen direccions que varien entre N-S i NE-SW per a les diferents fractures observades que afecten sediments quaternaris, així com per a la falla del Penedès, de direcció 050 que afecta materials pliocens.

La presència de diàclasis en els sediments quaternaris ha motivat la realització d'estacions per a analitzar-ne la distribució de les orientacions i comparar aquestes amb el camp d'esforç interpretat per a les estacions de falles. Les orientacions es mostren poc homogènies, variant entre NNW-SSE i NE-SW, tot i que la gran majoria mostren una freqüència màxima d'orientació N-S. Si es consideren aquestes fractures com d'extensió (s'observen obertes en alguns casos, tot i que no s'observen criteris clars al respecte), se'n pot deduir una direcció d'extensió E-W, tot i que aquesta dada s'ha de considerar com poc rellevant per les incerteses que presenta.

En quatre afloraments, en graves poligèniques miocenes, pliocenes i quaternaries, he detectat la presència de còdols estriats i fracturats que s'han analitzat mitjançant el mètode de Schrader que utilitza la trajectòria de les partícules per a deduir un eix de convergència equivalent a l'eix de mínim escurçament i un eix de divergència que és equivalent a l'eix de màxim escurçament, amb un eix intermedi que equival a l'eix intermedi de deformació. El resultat no és homogeni en tots els

afloraments, segurament degut a possibles rotacions dels còdols dintre de la matriu durant la deformació. Els resultats, amb l'excepció de l'aflorament d'Amposta, possiblement d'edat miocena, on s'indica un eix de compressió N-S, no són clars. Tot i així, he pogut interpretar dues fases de deformació a les graves quaternaries de Ford, una amb x vertical i σ_1 NE-SW i la següent amb z vertical i x E-W, aquesta última coincident amb el camp d'esforç deduït de les falles normals que afecten aquestes graves. A les graves pliocenes de Sant Quintí les estries permeten interpretar una orientació de x NE-SW, i a les graves pliocenes de Sant Onofre x s'interpreta vertical i z WNW-ESE; aquestes dades en materials pliocens no són coincidents amb les orientacions del camp d'esforç deduït de falles analitzades en materials de la mateixa edat, que indiquen una orientació se σ_3 entre E-W i SE-NW.

La presència de flexions i basculaments en diversos afloraments de materials pliocens i quaternaris està lligada en la majoria dels casos a falles normals que en alguns casos s'observen en el mateix aflorament i en d'altres es dedueixen mitjançant mètodes indirectes.

Les dades existents de fracturació a la plataforma continental són escasses. Alguns autors mencionen l'existència de falles normals o verticals amb el salt decreixent cap a la superfície fins a esdevenir una flexió. Aquestes estructures s'han definit sobretot a la zona propera al delta de l'Ebre, on a més s'observa una marcada subsidència, no relacionada directament amb aquestes falles.

Pel que fa a la síntesi de dades existents en la bibliografia sobre l'estat d'esforç i deformació actual, es disposa de dades de mecanismes focals i de mesures de borehole breakout de la plataforma continental i de la zona emergida del domini Català del Solc de València. Tan sols es disposa de quatre solucions del mecanisme focal, que indiquen, una orientació de l'eix màxim horitzontal NNW-SSE a NNE-SSW. Aquestes solucions determinen l'existència de falles inverses i direccionals que en cap cas s'observen al camp. Les dades de borehole breakout indiquen una direcció de mínima deformació horitzontal NW-SE per a la zona septentrional de l'àrea i WNW-ESE per a la meridional.

Els indicadors estructurals analitzats a la zona d'estudi mostren que l'activitat tectònica recent ha estat poc intensa a jutjar per la poca quantitat de deformació observada, i de major intensitat a la meitat meridional de les Cadenes Costaneres Catalanes. Tot i així les estructures observades permeten deduir una lleugera activitat durant el Pliocè i el Quaternari amb una direcció de σ_3 i de x WNW-ESE durant el Pliocè i E-W durant el Quaternari, amb petites variacions locals del camp d'esforç i de deformació, de forma coherent amb les dades existents dels camps d'esforç i deformació actuals. Les dades de camp suggereixen una deformació de tipus extensiu, amb predomini de falles normals.

3.1. INTRODUCCIÓ

S'ha exposat al capítol d'introducció que el període neotectònic abasta, a la zona estudiada, des del Miocè superior fins a l'actualitat. Tot i així, els elements estructurals corresponents a aquest període han estat fortament condicionats per l'evolució anterior de la zona. L'evolució geodinàmica de l'àrea l'he exposada a la introducció d'aquesta tesi; a continuació en ressaltaré els trets fonamentals.

A l'escala de la tectònica de plaques l'evolució de la Mediterrània occidental ha passat per dues grans fases (Dewey et al. 1989, Srivastava et al. 1990, Savostin et al. 1986, Dercourt et al. 1986). Durant la primera fase (Permià-Cretaci inferior) s'esdevé un període de *rifting* que provoca l'obertura de l'Atlàntic, el moviment de la placa africana cap al SE i la creació d'espai oceànic entre les plaques africana i euroasiàtica. La segona fase (Cretaci inferior-actualitat) es caracteritza per una convergència NE entre Àfrica i Euràsia, etapa durant la qual la microplaca ibèrica passa d'actuar solidàriament amb la placa africana (Cretaci mitjà-Eocè superior), a actuar amb independència (Eocè superior-Oligocè superior) i finalment a estar soldada a la placa euroasiàtica (Oligocè superior-actualitat) (Srivastava et al. 1990)(fig. 3.1).

Al marge NE de la Península Ibèrica la compressió produïda per la convergència entre les plaques africana i euroasiàtica, dona lloc a partir del Cretaci superior a la formació del Pirineu, de la Serralada Ibèrica i de la Cadena Costanera Catalana. La compressió va ser seguida d'un període extensiu que, al solc de València, s'inicià a l'Oligocè superior-Miocè inferior al domini catalano-valencià i al Miocè mitjà al domini bètico-balear (Fontboté et al. 1989)(fig. 3.2). Aquest període extensiu s'inicià amb una etapa de *rifting*, que dona lloc als sistemes de *horst* i *graben* que s'observen a la zona emergida i al marge continental del domini catalano-valencià, període que es prolongà fins al Miocè inferior. Posteriorment es produí un enfonsament degut a subsidència tèrmica i a la càrrega sedimentària i hidrostàtica (Roca i Desegaulx 1992), procés que es considera que pot haver actuat fins a l'actualitat. A partir del Miocè mitjà superior, els processos extensius es generalitzen a tota la zona catalana. Al domini catalano-valencià la deformació extensiva més important tingué lloc durant l'Oligocè terminal-Burdigalià, i fou més intensa a les parts emergides i més properes a la costa, mentre que a la zona central del domini catalano-valencià (entre la Península Ibèrica i el promontori Balear) la deformació fou menor, coincidint amb la part més apimada de l'escorça (Roca i Desegaulx 1992).

A la zona estudiada la deformació fou acomodada principalment per fractures de sòcol preexistents (Fontboté et al. 1990), d'orientació NE-SW que actuaren com a falles direccionals i inverses durant la compressió (Eocè inferior a superior-Oligocè superior) (Anadón et al. 1985, Guimerà 1988) i invertiren el seu moviment durant el període d'extensió actuant com a falles normals (Miocè inferior-actualitat) (Fontboté 1954, Guimerà 1984). En el sector més meridional de la zona estudiada, que forma part de la zona d'enllaç, l'extensió neògena s'acomodà mitjançant falles normals

d'orientació NNE-SSW que en aquest cas tallen les estructures compressives preexistents (Guimerà i Álvaro 1990).

Les descripcions de deformació en sediments plio-quadernaris són molt poques a la zona. Tal com exposo més extensament a la introducció la deformació produïda per l'acostament entre les plaques africana i europea es concentra sobretot al Sud de la Península Ibèrica, on s'han descrit nombroses deformacions de tipus compressiu amb falles direccionals que acomoden l'escurçament N-S i una sismicitat elevada (Udias i Mézcua 1986, Vegas 1991)(fig. 3.3). Als Pirineus diversos autors han descrit estructures que interpreten com a compressives amb una direcció de compressió N-S (Olivera et al. 1986, Goula et al. 1992, Escuer i Fleta, 1991, Philip et al. 1992), mentre que d'altres consideren que l'extensió és el règim imperant en el període neotectònic a la zona (Briais et al. 1990).

A les Cadenes Costaneres Catalanes s'hi han descrit poques deformacions del període neotectònic. Alguns autors fan descripcions qualitatives de la deformació (Mas 1978, Gallart 1980, Fontboté 1984, Arasa 1985, 1994), sense entrar a avaluar els indicadors cinemàtics. Tan sols Fontboté et al. (1984) i Santanach et al. (1980) efectuen mesures i sintetizen dades per a poder aproximar una primera anàlisi cinemàtica.

Les dades que es presenten en aquest capítol no són suficients per a realitzar una anàlisi cinemàtica completa, però permeten efectuar algunes consideracions al respecte. La major presència de sediments plio-quadernaris a la meitat meridional de la zona estudiada ha condicionat segurament la distribució dels afloraments on s'ha analitzat la deformació recent (fig. 3.4). Cal tenir en compte que en molts casos la deformació és difícil de detectar i d'analitzar degut a la litologia poc consolidada i estructurada dels sediments recents.

Les estructures analitzades són principalment: 1) falles normals amb salts entre centimètrics i mètrics, en les que s'ha realitzat una anàlisi cinemàtica tant detallada com les dades permetien, 2) diàclasis, que han permès la detecció de direccions preferents d'orientació, i 3) còdols estriats, en els que s'ha analitzat la distribució de les dissolucions per a interpretar-ne el camí recorregut per les partícules colindants sota un camp de deformació, 4) flexions i basculaments que s'han observat sovint associats a falles normals. S'ha realitzat també una síntesi de les dades existents sobre fracturació i deformació recent a la plataforma continental i de les dades sobre el camp d'esforç i el de deformació actuals.

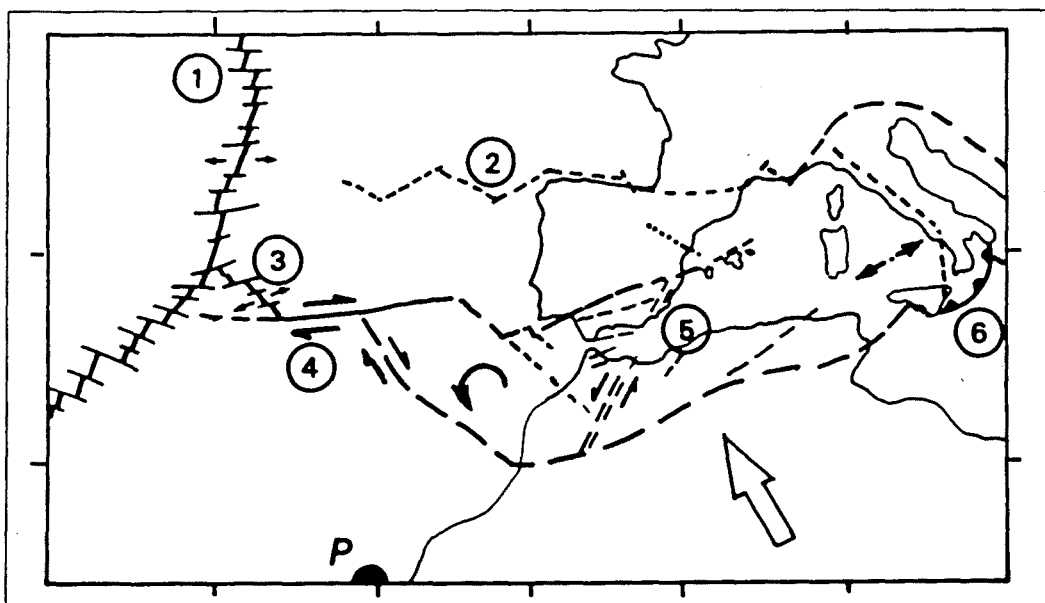
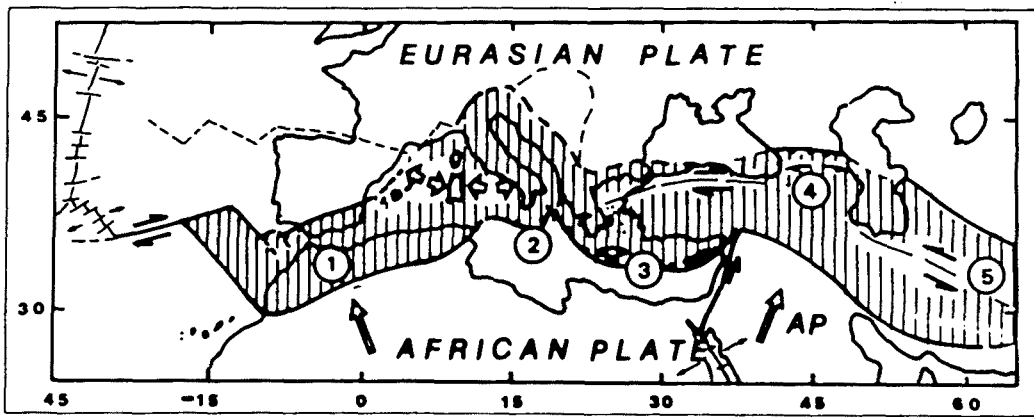
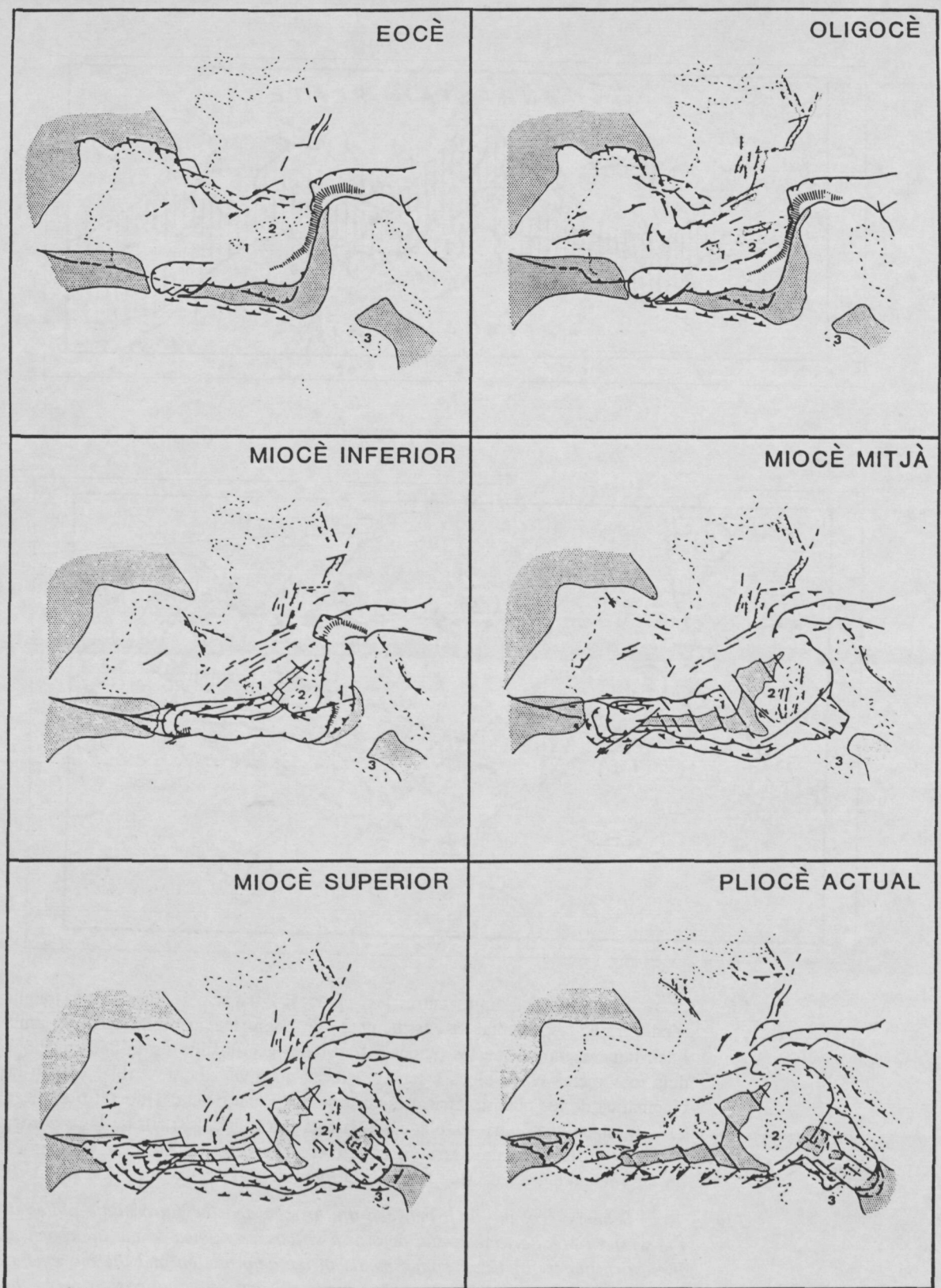


Fig. 3.1.a) Esquema del límit entre les plaques Africana i Euroasiàtica a la Mediterrània occidental i estructures de deformació relacionades amb l'acostament entre aquestes plaques. b) Model geodinàmic de la deformació i dels moviments entre blocs a la regió Ibero-magrebí i la seva relació amb la cinemàtica de les plaques africana, euroasiàtica i americana: 1) dorsal oceànica; 2) límit abandonat entre les plaques Ibèrica i Euroasiàtica; 3) rift de les Açores; 4) falla transformant de Glòria; 5) zona Íbero-Mogrebí; 6) Arc de Calàbria; P) pol de rotació entre Euràsia i Àfrica. (De Vegas 1991)

Fig. 3.1. a) Schematic of the limit between the African and the Euroasiatic plates at the western Mediterranean and deformed structures related to the approach of these two plates. b) Geodynamic model of the deformation and the movements between blocks at the Ibero-magrebi region and its relationship with the kinematics of the African plates, Euroasiatic and American: 1) oceanic dorsal; 2) the abandoned limit between the Iberic and Euroasiatic plates; 3) the Azores rift; 4) the Gloria transforming fault; 5) Ibero-mogrebi zone; 6) Calabrian arch; 7) pole of rotation between Eurasia and Africa. (from Vegas 1991).



Metamorfisme
 Escorça oceànica
 Principals estructures tectòniques

Fig. 3.2. Quadre sintètic de l'evolució tectònica de la Mediterrània occidental des de l'Eocè fins a l'actualitat. (De Roca 1992).

Fig. 3.2. Synthetic picture of the tectonic evolution of the Western Mediterranean and from the Eocene until the present. (from Roca 1992).

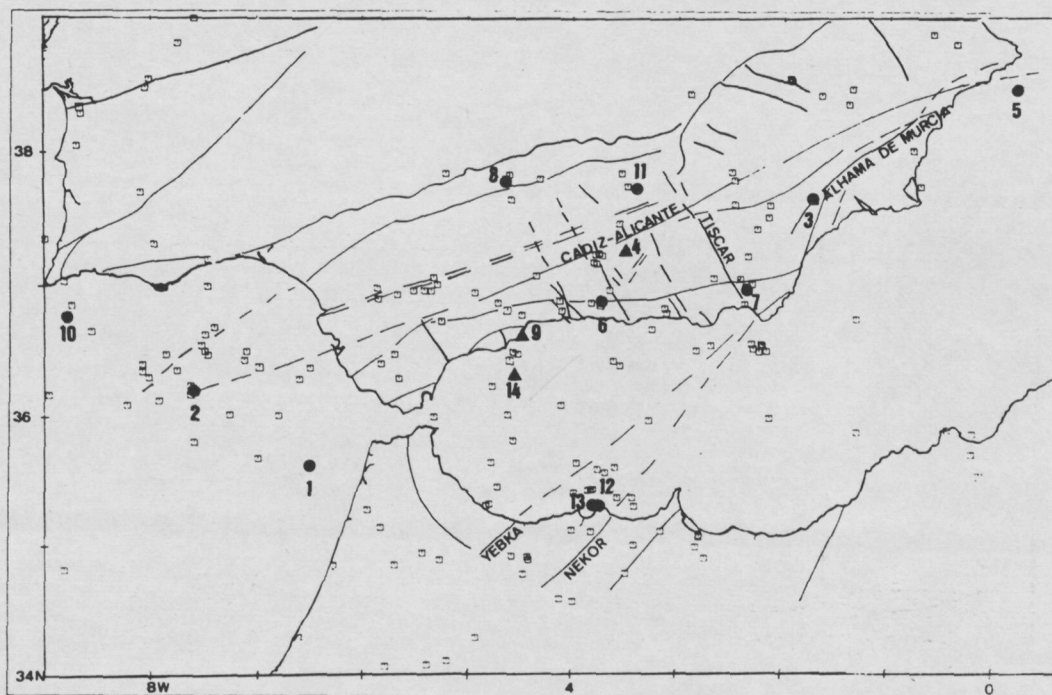


Fig. 3.3. Mapa de la sismicitat i estructura recent del S de la Península Ibèrica.

Fig. 3.3. Map of the recent seismic structure of the S of the Iberian Peninsular.

