

# Sedimentologia i evolució geomorfològica quaternària del ventall al·luvial des Caló (Betlem, Artà, Mallorca)

Lluís GÓMEZ-PUJOL

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Gómez-Pujol, Ll. 1999. Sedimentologia i evolució geomorfològica quaternària del ventall al·luvial des Caló (Betlem, Artà, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 107-124. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

El ventall al·luvial des Caló és el més meridional dels ventalls que es disposen al vessant nord-oest de la península d'Artà, en una estreta franja litoral al peu de la timba d'un relleu monoclinat. L'estudi dels materials sedimentaris i les relacions morfològiques entre les diferents unitats estratigràfiques permet conèixer quina ha estat l'evolució de l'àrea i la interrelació entre els diferents processos, marins i terrestres, que caracteritzen aquest medi litoral. S'identifiquen tres períodes d'agradació al·luvial amb sengles episodis de dissecció, que s'intercalen amb dues formacions dunars. S'atribueix l'evolució dels ventalls al paper predominant de la tectònica, les variacions del nivell marí i la disponibilitat de sediments derivada de les variacions climàtiques. Es planteja una hipòtesi cronològica a partir de datacions i jaciments pleistocènics propers a l'àrea d'estudi.

**Paraules clau:** *ventalls al·luvials, sedimentologia, evolució quaternària, Mallorca.*

ES CALÓ ALLUVIAL FAN, SEDIMENTOLOGY AND QUATERNARY GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION (BETLEM, ARTÀ, MALLORCA). The Caló alluvial fan is located at Artà peninsula north-west flank. Sedimentation, morphology, and sequence architecture allow to identify which has been the fan evolution within a transition coastal environment. Three main accretion phases with their respective dissection phases interbedded with two dune formations have been characterised. The fans building phases appear to be controlled by tectonics, sea level and by climatically-driven pulses of sediment supply. A chronology tentative is proposed following dated sediments and paleontological evidence in a nearest area.

**Keywords:** *alluvial fans, sedimentology, Quaternary evolution, Mallorca.*

Lluís GÓMEZ i PUJOL. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Ctra. Valldemossa km 7,5. 07071 Palma de Mallorca. E-mail: [vdclgp4@clust.uib.es](mailto:vdclgp4@clust.uib.es)

*Recepció del manuscrit: 7-oct-99; revisió acceptada: 7-des-99.*

## Introducció

Els ventalls al·luvials són formes habituals en el paisatge de Mallorca; de fet, apareixen com a solució de continuïtat en bona part del perímetre de contacte entre els relleus de la Serra de Tramuntana o Llevant i les depressions del Pla. També es poden observar a les petites valls interiors de les serres o al peu dels relleus suaus que conformen les elevacions centrals de l'illa.

Els ventalls al·luvials són dipòsits de sediments detrítics, la superfície dels quals s'aproxima a un segment de con que irradia pendent avall des del punt on el corrent que aporta la càrrega detrítica deixa l'àrea muntanyosa (Bull, 1977). Hom coincideix en una primera definició geomètrica; ja que els ventalls al·luvials, al contrari del que és habitual en altre tipus de dipòsits detrítics, són un dels pocs fenòmens naturals fàcilment distingibles en base a la seva forma semi-cònica, una longitud radial que en ben poques ocasions supera els 10 km, un perfil longitudinal plano-convex i uns valors radials de pendent comparativament força més alts que els d'altres sistemes com pugin ésser els rius trenats o els deltes (Blair i McPherson, 1994b).

Ara bé, l'acord en les causes genètiques no és tan unànime com ho és en la definició d'aquesta forma. Així una de les propostes defensa que la formació dels ventalls al·luvials respon a la brusca ruptura de pendent que es produeix quan es passa d'una zona elevada a una de més plana (Allen, 1971; Blissenbach, 1954; White *et al.*, 1996). D'altra banda, són molts els autors que atribueixen un paper més important al canvi en la geometria hidràulica (Bull, 1977; Muto, 1987), quan es passa d'un canal confinat a un altre que no ho està es dona una disminució de la profunditat del flux i en conseqüència també disminueix la velocitat. L'efecte directe és la pèrdua de capacitat de càrrega del corrent i la deposició del material en suspensió. Existeixen altres arguments que s'afegeixen en aquesta dialèctica genètica,

com són: la infiltració de l'aigua, el grau de bifurcació, etc. (Rachocki, 1981).

La majoria de ventalls al·luvials presenten canals d'incisió. Dues són les hipòtesis evolutives que aborden aquesta característica, una d'elles és de caràcter climàtic mentre que l'altra segueix una perspectiva dinàmica. Tanmateix, avui per avui, ambdues teories tendeixen a complementar-se (Ritter, 1995). Harvey (1978; 1987) proposa que els canvis climàtics són determinants a l'hora de provocar la incisió o agradació del ventall al·luvial tot i que assenyalava que no es pot deixar de banda a aquells factors intrínsecs com la neotectònica (Calvache *et al.*, 1997) o la cobertura vegetal (Gómez, 1996).

L'estudi de l'evolució dels dipòsits dels ventalls al·luvials i les seves estructures internes, especialment en aquells que presenten canals d'incisió o talussos, són una font interessant per a entendre l'evolució recent i passada del relleu (Colombo, 1979). Arreu de la conrada mediterrània són nombrosos els estudis sobre els ventalls al·luvials, i en destaquem aquells que per similitud als que són objecte d'aquest estudi també es troben en àrees litorals (Harvey, 1978; Harvey *et al.*, 1998; Hayward, 1983; Nemeč i Postma, 1993; Segura, 1990; Silva *et al.*, 1992).

A Mallorca les referències dedicades al Quaternari -continental- són escasses si les comparem amb l'abundant bibliografia a l'entorn del Quaternari marí. Més enllà de les breus cites de La Marmora, Hermite, Fallot, Darder i Solé Sabaris (Cuerda, 1989), els treballs centrats en aquesta temàtica gairebé es redueixen a l'assaig metodològic de Verd (1972) i les observacions de Butzer (1964; 1975). Més proper en el temps trobam les breus descripcions dels ventalls al·luvials de la conca de Palma (Grimalt i Rodríguez-Perea, 1994) i una introducció geomorfològica al sistema de ventalls al·luvials de Betlem (Rodríguez-Perea, 1998). Pel que fa al registre fòssil, també existeixen alguns treballs sobre els ventalls al·luvials, tot i que fan referència al marc geogràfic del Miocè de Cabrera (Fornós *et al.*, 1984).

L'objectiu del present treball és la descripció dels cossos i processos sedimentaris que intervingueren en la configuració del ventall al·luvial des Caló i establir les relacions que pugui tenir amb altres seqüències descrites del quaternari en una àrea pròxima.

## Mètode

S'ha procedit a l'aixecament d'una cartografia de detall al camp, així com a partir de fotografia aèria escala 1:18.000. També s'ha procedit amb l'aixecament de columnes i seccions estratigràfiques seguint les pautes recollides per Graham (1998). Per a la classificació i denominació de les partícules gruixudes s'empra la terminologia de Blair i McPherson (1999).

Pel que fa a la caracterització dels diferents tipus de bretxes i conglomerats s'ha desenvolupat una anàlisi morfoscòpica on es consideren com a variables principals la forma i la textura dels clastes (Benn i Ballantayne, 1993). Hom accepta que aquest tipus d'anàlisi aboca força informació respecte els processos de deposició i mitjans de transport (Fritz i Moore, 1988; Miall, 1996).

Per a l'estudi de la forma, s'ha midat l'eix major (*a*), intermedi (*b*) i menor (*c*) de cada claste. S'han construït diagrames ternaris on les arestes representaven: la relació entre l'eix menor i el major (*c/a*, índex d'Sneed i Folk), la ratio entre l'eix intermedi i el major (*b/a*) i la proporcionalitat entre longitud i amplada (*a-b/a-c*, índex de Zing). Els diagrames ternaris, entre altres avantatges, permeten una comparació ràpida i molt gràfica entre diferents mostres i diferents processos.

Atès que els fanglomerats són cossos detrítics a primer cop d'ull força homogenis, s'ha considerat per a cada claste la seva textura tot seguint la classificació d'arrodoniment de Krumbein (1941), i que diferencia entre clastes molt angulars (VA); angulars (A); subangulars (SA), subarrodonits (SR) i arrodonits (R).

D'aquesta manera forma i textura s'integren a partir de l'índex  $C_{40}$  (Benn i Ballantayne, 1994) que representa el percentatge de clastes que tenen la seva ratio entre els eixos *c* i *a* igual o per sota del valor 0,4. L'expressió percentual de la quantitat de punts que es troben sota un valor de forma específic, ens ofereix l'avantatge de treballar amb un índex no paramètric, evitant la distorsió que podríem tenir a les mostres derivada d'una distribució asimètrica (Evans, 1999).

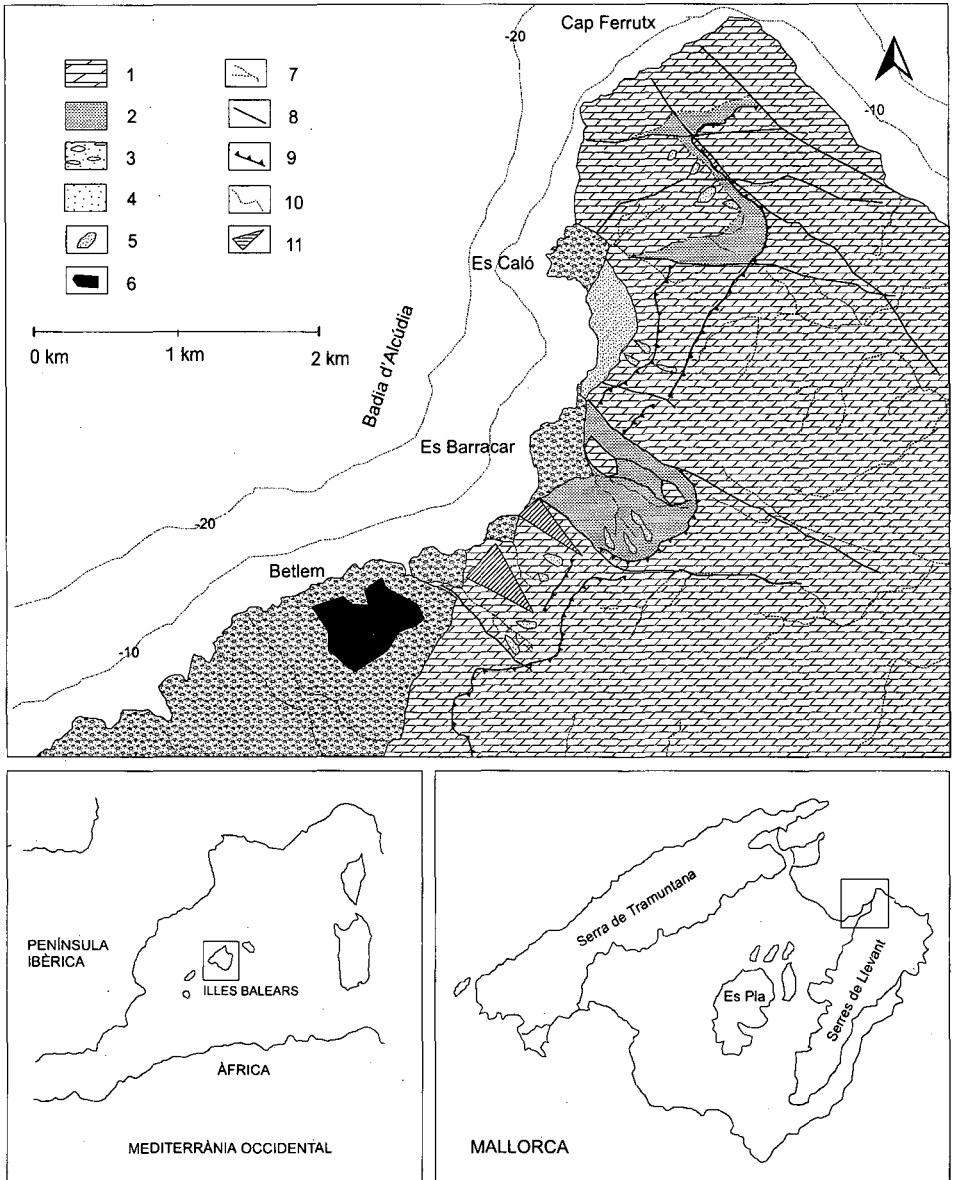
Les dades s'han pres sobre 20 mostres de 50 clastes, car aquest és el nombre que Pettijohn (1957) estableix com a representatiu en base del test de significació de Rayleigh ( $p > 0,88$ ).

## Situació geogràfica i esbós geomorfològic

El sistema de ventalls al·luvials de Betlem es troba situat al nord-est de la península d'Artà (Fig. 1), just a tocar del tancament de la badia d'Alcúdia al sud-est pel cap de Ferrutx, representen la perllongació del contacte entre les serres de Llevant i la depressió central de Mallorca dins la Badia d'Alcúdia.

Des d'una perspectiva simplista; les línies estructurals de les serres de Llevant, definides per la presència d'encavalcaments i plecs, s'organitzen en dues direccions ortogonals més o menys sincròniques: NE-SW i NW-SE (Sàbat, 1986). El sentit NE-SW defineix el contacte amb la depressió a partir d'un fort escarpament corresponent al conjunt de làmines encavalcades apilades amb vergència NW i a partir de les quals es desenvolupen els cossos sedimentaris dels ventalls al·luvials. La segona directriu direccional marca l'orientació de bona part dels cursos fluvio-torrencials així com de la línia de costa del sistema platja-duna de la badia d'Alcúdia.

Un cop d'ull general al conjunt de les formes presents a l'àrea ens ubica en un relleu de tipus apalatxià, on cal diferenciar



**Fig. 1.** Mapa de situació i croquis geomorfològic dels ventalls al·luvials de Betlem. 1) Dolomies. 2) Margocalcàries. 3) Ventall al·luvial. 4) Eolianites. 5) Rossegueres. 6) Nucli urbà. 7) Curs-fluviu torrencial. 8) Fractures. 9) Cresta monoclin. 10) Batimetria. 11) Glacis mixte, Flat iron.  
*Fig. 1. Location map and Betlem fans geomorphological sketch. 1) Dolomite. 2) Marly-calcareous. 3) Alluvial fan. 4) Sandstone. 5) Rock falls. 6) Betlem (village). 7) Mountain stream. 8) Fracture. 9) Hogback. 10) Bathymetry. 11) Flat iron.*

dos dominis a partir de les timbes del roquissar calcari (Fig. 2). A llevant des de la cresta monoclinal que corona els escarps, destaca un conjunt de relleus, tipus -cuesta-, sobre els que s'instal·la una xarxa fluvio-torrencial no gaire desenvolupada. A ponent després de l'abrupta paret liàsica tenim petites conques de les quals n'evolucionen ventalls al·luvials que a la vegada presenten sistemes dunars fòssils adossats (Rodríguez-Perea, 1998). Els vuit ventalls al·luvials que caracteritzen aquest tram de costa presenten com a peculiaritat que els seus canals d'incisió s'organitzen amb un caràcter lleument meandriforme i que tots ells acaben desguassant bruscament en direcció nord.

D'aquest sistema de ventalls, el des Caló és el més septentrional. S'ubica al peu del front d'un relleu estructural de disposició monoclinal, el pendent del qual cabussa vers el sud-est. La cresta d'aquest relleu arriba als 433,5 m d'alçària a la Talaia Moreia. Els materials que constitueixen els relleus són bàsicament calcàries i dolomies juràsiques, tot i que les zones més deprimides estan modelades sobre margues i margocalcàries del Juràssic mitjà i superior així com també del Cretaci inferior (Olmo *et al.*, 1992).

El ventall al·luvial des Caló presenta una conca de drenatge d'1,1 km<sup>2</sup>; mentre que

la seva àrea és de 0,15 km<sup>2</sup>, la longitud del canal major d'1,6 km i el radi del ventall de 0,4 km (Rodríguez-Perea, 1998). L'apex del ventall se situa en la confluència dels dos canals principals a l'entorn dels 25 m sobre el nivell de la mar. Des d'aquest punt s'encaixa cap a la mar un col·lector que amb un marcat caràcter meandriforme desguassa cap al nord. No hi ha altres canals d'incisió, tot i que cal destacar la presència d'alguns canals efimers sobre la superfície del con.

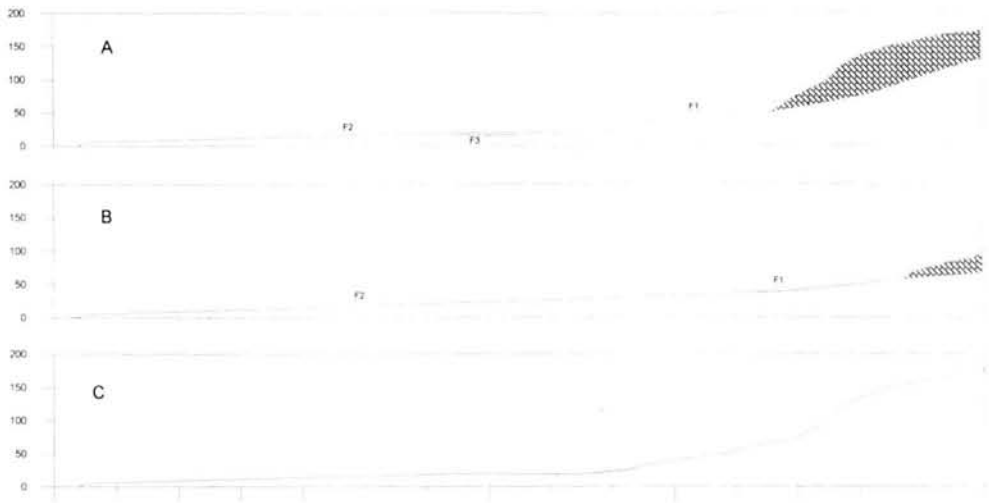
Dels canals que conflueixen a l'apex cal matisar les diferències pel que fa a pendent i encaixament (Fig. 3c), i és que el canal meridional està força més encaixat i té un pendent més suau, la situació queda justificada car es desenvolupa en el contacte entre els materials areno-margosos del Cretaci inferior i les dolomies del Retià, la diferència pel que fa a la resistència de materials així com el fet que ambdós canals tinguin el mateix ordre d'Strahler - ordre 3 - (Strahler, 1979) fa que descartem la possibilitat que el seu desenvolupament no hagi estat més o menys contemporani. A més a més ambdós presenten la mateixa orientació governada per les directrius estructurals NW-SE que afecten en aquest sector i que estan subordinades a l'orientació del conjunt de les serres de Llevant en direcció NE-SW. Aquesta mateixa

orientació és la que segueix el col·lector principal, el caràcter meandriforme del qual podria venir justificat per episodis de neotectònica dels quals se'n troben indicis als sistemes dunars de Sa Canova i Can Picafort amb orientacions similars (Servera, 1997).

L'arquitectura del ventall des Caló condiciona el traçat i les formes de la línia de costa. L'acció erosiva de la mar provoca una erosió diferencial atès a l'alternança entre els dipòsits de biocalcarenites i els propis del ventall en la seva zona distal. El nivell marí actual



Fig. 2. Els ventall al·luvial des Caló al peu de la cresta monoclinal.  
Fig. 2. Caló alluvial fan at hogback toe.



**Fig. 3.** Perfils longitudinals del ventall al·luvial des Caló. A) Superfícies dels ventalls al·luvials sobre el tálveg nord. B) Superfícies dels ventalls al·luvials sobre el tálveg sud. C) Detall de la incisió dels canals.

*Fig. 3. Caló alluvial fan longitudinal profile . A) Alluvial fan surface over northern mountain stream. B) Alluvial fan surface over southern mountain stream. C) Incised streams.*

desmantella un nivell de fanglomerats a l'hora que modela una plataforma d'abrasió litoral sobre les bioalcalarenites (Fig. 4), on s'observen exemples de marmites i cocons; tot i que dominen les formes d'aplanament ja que l'abundant nombre de clastes alliberats dels fanglomerats poleixen el nivell de bioalcalarenites. El canal d'incisió presenta en el seu tram distal dipòsits de graves que queden separades del codolar de na Jordi per una barra transversal.

### Fàcies sedimentàries

La construcció del ventall al·luvial des Caló respon a la superposició, imbricació i acumulació de diferents dipòsits sedimentaris. Tot i que els més importants tant pel volum, com pel seu paper en l'evolució geomorfològica del ventall són

les colades rocalloses (*debris flows*), els corrents laminars (*sheetfloods*) i les colianites; també hi apareixen alguns nivells de paleosòls i dipòsits col·luvials.



**Fig. 4.** Plataforma d'abrasió desenvolupada sobre les bioalcalarenites.

*Fig. 4. Shore platform developed on bioalcalarenites.*

*Colades rocalloses*  
(*debris flows*)

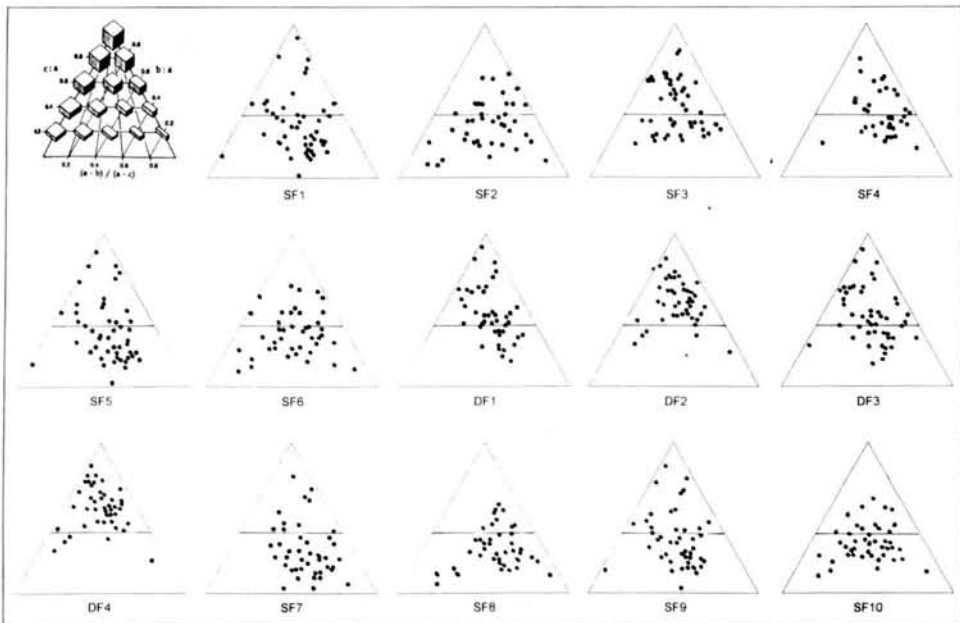
Els dipòsits de colada rocallosa es caracteritzen per tenir una granulometria variada, amb clastes que poden anar des de la mida bloc fins a còdols. Solen ésser granosoportats, sense que es pugi identificar matriu, excepte per a les fàcies més distals. Estan mancats d'estratificació interna i de vector dominant a la fàbrica (Fig. 5). La forma dels clastes sol ésser més o menys isomètrica ja que les condicions viscoses de transport, en una mixtura d'aire i aigua que es desplacen pendent avall per la força de la gravetat, no classifiquen ni modelen els clastes (Weeb i Freding, 1999). Així als diagrames ternaris



**Fig. 5.** Dipòsits de colada rocallosa.

*Fig. 5. Debris flows deposits.*

les mostres de dipòsit de colada rocallosa presenten com a mínim un 50% dels punts situats per sobre del límit  $C_{40}$  (Fig. 6). La disposició dels punts dins el triangle de Folk



**Fig. 6.** Diagrames ternaris. SF) Dipòsits de flux laminar. DF) Dipòsits de colada rocallosa. La línia horitzontal indica la situació de l'índex  $C_{40}$ .

*Fig. 6. Ternary diagrams. SF) Sheetfloods. DF) Debris flows. Horizontal lines marks  $C_{40}$  index.*

ens indica que els clastes tenen els tres eixos de dimensions semblants, esbiaixats cap a la isometria entre els eixos intermedis i major. A més a més, la textura dels *debris flows*

aglutina més d'un 60% dels individus entre les categories de molt angular i angular (Fig. 7).

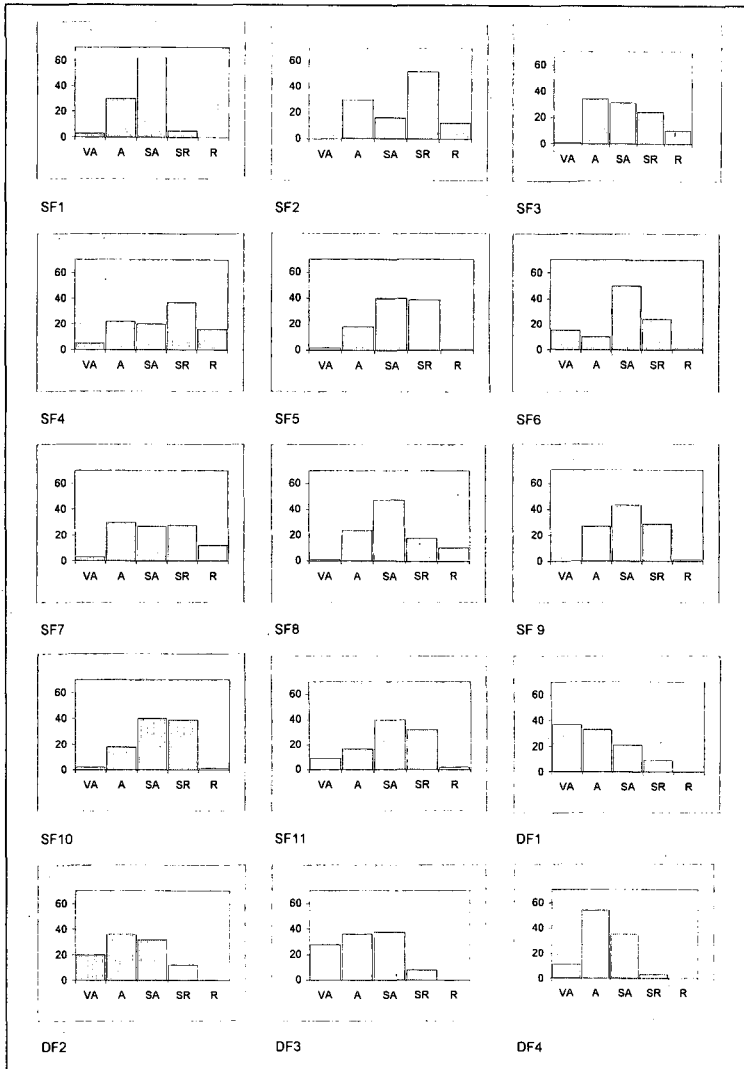


Fig. 7. Histogrames d'arrodoniment. VA) Molt angular. A) Angular. SA) Subangular. SR) Subarrodonit. R) Arrodonit.

Fig. 7. Roundness histograms. VA) Very angular. A) Angular. SA) Subangular. SR) Subrounded. R) Rounded.



Els dipòsits de *debris flows* representen les facies sedimentàries més importants pel que fa a volum de sediments al ventall al·luvial des Caló; el procés del qual en resulta pot iniciar-se per dos mecanismes (Blair i McPherson, 1994). El més comú implica la transformació i desintegració dels dipòsits col·luvials dels vessants quan l'aigua i l'aire s'infiltra a la regolita i inicien el moviment pendent avall. Aquest procés requereix de la presència d'una abundant quantitat d'aigua al col·luvió, així cal cercar la seva gènesi en una pluja intensa i abundant o bé després de la fusió de les neus. El segon mecanisme esdevé quan el moviment ràpid de l'aigua intercepta una conca amb vessants recoberts amb abundant sediment, l'energia de l'aigua es va dissipant quan posa en moviment els clastes, fent-los xocar, etc. Ambdós mecanismes són promoguts a les conques dels ventalls al·luvials arran que solen presentar fort pendent i escassa classificació dels materials col·luvials dels vessants, juntament amb una xarxa de drenatge convergent que concentra tant el flux de sediment com el d'aigua.

#### *Corrents laminars (sheetfloods)*

Els *sheetfloods* o corrents laminars són un dels processos fluids gravitatoris més importants en la construcció dels ventalls al·luvials. Els corrents laminars són el resultat de l'expansió no confinada del flux quan es desplaça ventall avall (Harvey i Renwick, 1987). Es desenvolupen quan fluxos ràpids i esporàdics es carreguen de sediment i són atenuats per la manca d'un canal i pel pendent multidireccional resultat de la forma semicònica del ventall al·luvial.

Els dipòsits dels corrents laminars es caracteritzen per una major classificació pel que fa la mida de gra, que abraça les fraccions de còdols i graves amb estratificació laminar i una fàbrica definida per la direcció de transport i una lleu inclinació cap a la superfície del ventall. També es poden trobar dipòsits de *sheetflood* amb una lleugera estratificació encreuada en disposició lenticular (Blair i McPherson, 1994).

Al ventall des Caló els nivells identificats com a *sheetfloods* corresponen a cossos de graves i còdols que per la seva forma denoten haver patit transport i en condicions menys viscoses que els còdols observats a les colades rocalloses; ja que la seva textura és més arrodonida (Fig. 8). Si observem els diagrames ternaris de forma i els histogrames de textura comprovarem que la distribució de punts al diagrama de Folk (Fig. 6) està força esbiaixada per sota de l'índex  $C_{40}$  i cap al sector del gràfic que representa els clastes més allargat. D'un 30 a un 55% dels individus de la mostra se situen per sota de l'índex  $C_{40}$ , i pel que fa a la textura presenta distribucions quasi normals front a les completament esbiaixades dels *debris flows*. En aquesta ocasió quasi la meitat dels clastes se situen a les classes de textura subangular i subarrodonit (Fig. 7) a les quals cal afegir una presència significativa dels clastes arrodonits, especialment quan el mostreig s'ha



Fig. 8. Dipòsits de corrent laminar.  
Fig. 8. *Sheetfloods* deposits.

realitzat ventall avall. Aquest fet denota una major acció sobre el claste durant el transport.

Tot i que la mida de gra i la classificació ja són uns primers criteris per a la discriminació entre els dipòsits de colada rocallosa i els de corrent laminar, l'anàlisi morfoscòpica ens permet establir una relació inversa entre la raó d'angulositat (RA), resultant de la suma del percentatge de clastes molt angulars i angulars de cada mostra, i el percentatge de clastes que es troba per sota de la relació que implica que l'eix major és quatre vegades l'eix menor; és a dir entre el conjunt de clastes allargats. Aquesta relació (Fig. 9) ens confirma condicions de transport diferent per a cada dipòsit. La viscositat dels *debris flows* queda reflectida tant en l'escàs arrodoniment de la textura com en la longitud similar dels eixos, semblança que denota un escàs retrabament. Característiques contràries als clastes que conformen els fluxos laminars ja que aquest presenten una prominència de l'eix major sobre els altres eixos, tret característic del clastes transportats per medis aquosos, i presenten un grau d'arrodoniment major.

Cal matisar que tot i que els *sheetfloods* es poden confondre com a dipòsits de tipus distributari (*braided*) Blair i McPherson (1994), a una extensa revisió dels sediments i processos que intervenen en la construcció dels ventalls al·luvials, demostraren que amb les condicions de pendent i confinament dels fluxos propis del ventall al·luvial, aquests dipòsits no es podien formar si no era com a resultat d'un procés secundari de remonició dels dipòsits de flux laminar (no canalitzats), i amb un caràcter superficial.

### *Eolianites*

Es tracta de dipòsits construïts per arenisques calcàries, els grans de les quals són majoritàriament biogènics. No s'observen restes de fauna, però si nivells de rizoconcrecions, l'estratificació és planoparal·lela i encreuada de baix angle (Fig. 10). Són abundants les cicatrius erosives reomplertes per còdols i matriu arenosa. Fornós *et al.* (1983) associen aquests dipòsits a cordons de dunes litorals en referència a la seva posició respecte a la costa, i a la tipologia d'estratificació.

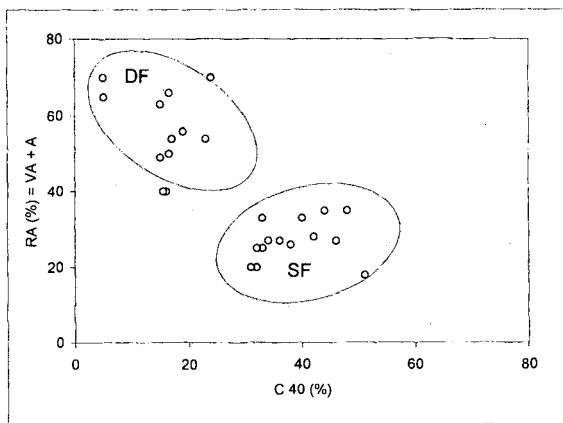


Fig. 9. Relació entre l'índex de forma i el de textura.  
Fig. 9. Relation between shape index and roundness index.

### Evolució geomorfològica

La cartografia detallada del ventall al·luvial des Caló (Fig. 11), l'anàlisi morfoscòpica dels sediments i l'estudi de les seccions i columnes estratigràfiques del ventall, permeten identificar tres episodis d'agradació al·luvial entre els quals s'intercalen dos formacions de cordons dunars.

#### *L'organització de les formes i dels sediments*

A grans trets, la forma del ventall des Caló és telescòpica (Bowman, 1978) amb segments dels episodis més moderns dins

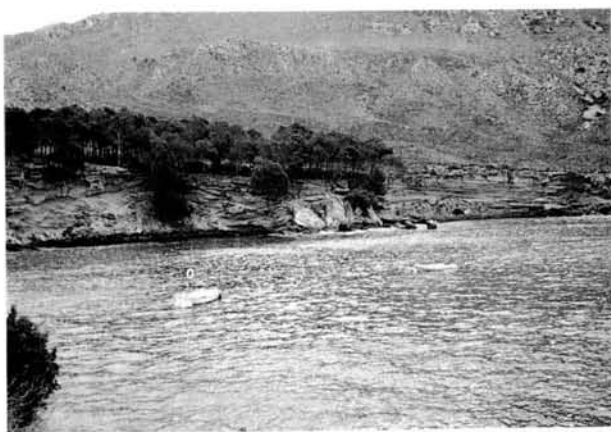


Fig. 10. Eolianites.  
Fig. 10. Eolianites.

les àrees disseccionades dels dipòsits més antics. Nivells d'encrostament, superfícies d'erosió, paleosòls i nivells dunars permeten diferenciar tres episodis d'agradació. La disposició d'un sobre l'altre varia en funció de la situació sobre els trams proximals i distals del ventall. Així a l'entorn de la cota 25 m el canal d'incisió deixa al descobert un tall on s'observa netament la superposició del segon nivell de fanglomerats (F1) sobre el primer episodi al·luvial, la transició ve marcada per un encrostament.

Aquest primer nivell de ventall al·luvial s'organitza en una seqüència sedimentària regressiva, en el sentit que passem de fàcies més energètiques i proximals (com puguin ser les colades rocalloses) a la base a dipòsits més distals com fluxos laminars molt arrodonits (Fig. 12). En els talussos retallats per l'acció marina s'observa com aquesta primera agradació (F1) es disposa mitjançant un contacte erosiu sobre el primer dels cossos dunars (D1) que es descriuen en aquest estudi (Fig. 3a). La matriu del fanglomerat així com el paleosòl que n'evoluciona tenen una important presència de grans d'arena bioclàstica. La seqüència que parteix del cos dunar D1 i sobre la que es disposen les fàcies distals i el paleosòl del primer episodi d'agradació del ventall al·luvial (Fig. 13) pot

ésser seguit des de l'entrant de Sa Platjola fins al contacte del ventall de s'Estanyol amb els sistemes dunars holocènics de Sa Canova.

El segon període d'agradació (F2) ve precedit d'un episodi de dissecció que parteix des de l'àpex de la superfície al·luvial que definim com a primera agradació (Fig. 14), així més que atribuir la dissecció a un descens en el nivell de base per motius eustàtics, cal cercar la seva raó d'ésser en un lleu reactivament tectònic. L'evolució d'aquest episodi es caracteritza per la

interacció (Fig. 3b) amb el segon cos dunar (D2). A ponent el cordó dunar (Fig. 15) en condiona la circulació i arran de mar destaquen gran quantitat de cicatrius reomplertes de conglomerats. Sòls a la secció de na Jòrdia (Fig. 16) hi observem el contacte directe del segon episodi al·luvial sobre el primer. Si fa, no fa, a la mateixa alçària que els trencaments del cordó dunar. A més a més, la matriu d'aquest segon episodi també és rica amb arenas bioclàstiques, per aquest motiu cal pensar en una coetaneïtat entre el desenvolupament del segon ventall i la deposició del segon cordó.

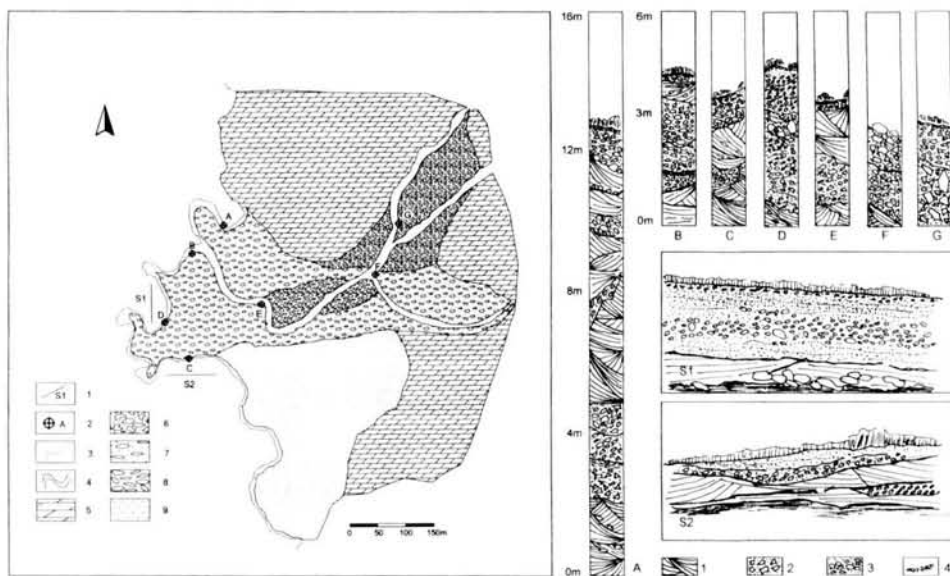
El darrer estatge evolutiu té un marcat component de reactivació tectònica. El canal d'incisió canvia de direcció, modificació que és comuna a tots els ventalls del coster occidental de la península d'Artà, i que condueix a un marcat caràcter meandriforme que jugarà el paper de barrera física durant l'agradació dels que anomenem tercer ventall (F3). Aquest episodi és present en forma de terrasses a banda i banda del canal d'incisió i queda per sota dels talls del segon episodi d'agradació. A diferència de les seqüències dels anteriors ventalls, aquest la presenta amb caràcter transgressiu, els dipòsits de *debris flow* recobreixen fàcies més distals.

La sèrie evolutiva queda tancada per la dissecció del tercer ventall, l'establiment d'una barra de grava a la desembocadura del torrent i l'acció de socavament de la mar sobre els dipòsits costaners del primer episodi d'agradació, que provoquen la caiguda de blocs d'eolianites i conglomerats d'ordre hectomètric.

*Significació de les formes i dels sediments*

L'evolució dels ventalls al·luvials respon a la interacció entre la tectònica i els factors climàtics. La tectònica és la responsable de crear el gros del relleu que permet la

formació del ventall a partir de la producció de sediment derivada de l'aixecament de les àrees muntanyoses (Bull, 1977). La tectònica també incideix en el pendent del ventall, ja que al provocar variacions en el nivell de base afavoreix la incisió del ventall al·luvial. El descens del nivell de base també cal relacionar-ho amb descens dels nivells de la mar o dels llacs (Harvey *et al.*, 1999). D'altra banda els factors climàtics tenen un paper preponderant pel que fa a l'abastament d'aigua i sediments a àrees de muntanya, un canvi en el volum de precipitació incideix en la dinàmica del ventall.



**Fig. 11.** Mapa geomorfològic del ventall al·luvial des Calò; 1) Localització seccions. 2) Localització columnes. 3) Plataforma D1. 4) Canals d'incisió. 5) Dolomies. 6) Ventall al·luvial F1. 7) Ventall al·luvial F2. 8) Ventall al·luvial F3. 9) Eolianites D2. Seccions i columnes estratigràfiques. 1) Eolianites. 2) Dipòsits de colada rocallosa. 3) Dipòsits de flux laminar. 4) Nivell edàfic. S1) Secció de Na Jòrdia. S2) Secció des Calò.

*Fig. 11. Geomorphological map of the Calò alluvial fan; 1) Stratigraphic section location. 2) Stratigraphic columns sections. 3) Shore platforms D1. 4) Incision channel. 5) Dolomites. 6) Alluvial fan F1. 7) Alluvial fan F2. 8) Alluvial fan F3. 9) Eolianites D2. Stratigraphic columns and sections; 1) Sandstone. 2) Debris flows. 3) Sheetflows. 4) Soil. S1) Na Jòrdia section. S2) Es Calò section.*



**Fig. 12.** Superfície del ventall al·luvial F1.

*Fig. 12. F1 alluvial fan surface.*

**Fig. 13.** Intercalació entre els dipòsits D1, D2, F1 i F2 a Sa Platjola.

*Fig. 13. Interbedded D1, D2, F1 and F2 deposits at Sa Platjola section.*



**Fig. 14.** Superfície del ventall al·luvial F2. Al fons de la fotografia s'observa el ventall F1.

*Fig. 14. F2 alluvial fan surface. F1 fan surface can be observed at photo end.*



**Fig. 15.** Cossos sedimentaris del ventall al·luvial F2 sobre les eolianites des Calò.

*Fig. 15. F2 alluvial fan sediments on Es Calò eolinites.*

L'agradació dels ventalls al·luvials durant el Quaternari a les regions àrides ha estat interpretat com a resposta a l'augment d'aport sedimentari durant els períodes de clima fred i/o humit (Dorn, 1994). Harvey (1978, 1987) a partir de nombrosos estudis al sud-est de la península Ibèrica suggereix que els canvis climàtics són responsables dels canvis entres els règims d'agradació i dissecció dels ventalls al·luvials, donant-se les fases d'agradació màxima durant els episodis glacials del Pleistocè. Els climes pleistocens es creu que eren força àrids amb glacials massa freds per al desenvolupament de vegetació amb port arbori, però amb intenses pluges estacionals (Butzer, 1975).

Així, cal pensar que l'aport de sediment i aigua necessària per a la gènesi dels *debris flows* i *sheetfloods* que construeixen les fases d'agradació identificades necessiten tant de l'activitat tectònica (que queda palesa en els canvis de direcció dels canals d'incisió i de pendent de les superfícies del ventall) com d'un règim

climàtic humit i/o fred. La agradació dels ventalls al·luvials seria, doncs, un indicador de cicles humits. Aquests, dins l'evolució climàtica del Quaternari, s'han de situar en la transició cap als episodis freds, ja que és quan hi ha un major volum d'aigua a l'atmosfera (Lowe i Walker, 1998).

Pel que fa a les eolianites hom les situa com indicadors de cicles regressius (Cuerda, 1989), de fet la composició biogènica ens ha de situar en un ambient càlid o bé temperat i, a més a més, la necessitat d'un nivell marí

baix, ja que només en condicions de moviment negatiu els vents de tempesta trobaran prou sediment per a desplaçar-ho a la costa (Rosselló, 1996), ens adreça novament a un cicle regressiu. Cal posar esment en el fet que durant els períodes regressius el potencial de conservació de sediments -tous- com les eolianites és força major que no en els cicles transgressius.

Així doncs, el conjunt de dipòsits presents en el ventall des Calò se situarien a



**Fig. 16.** Secció de Na Jòrdia.

*Fig. 16. Na Jòrdia section.*

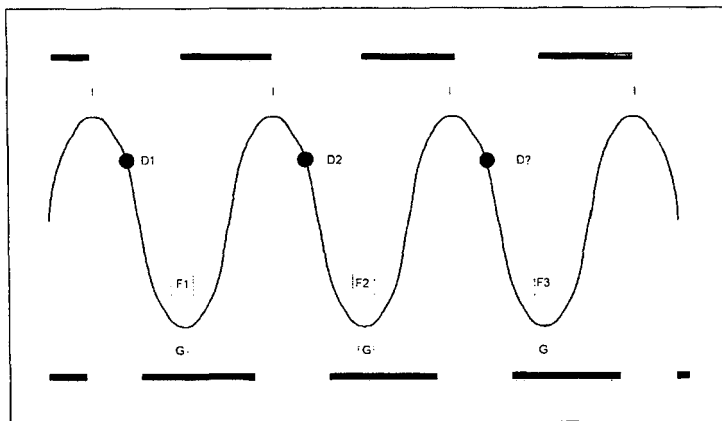
cavall dels cicles (Fig. 17) de transició entre períodes interglacials (càlids) i períodes glacials (freds); tot i que l'abast dels episodis d'agradació dels ventalls ocuparien un interval fred més ampli. La seqüència que hem presentat, a grans trets, implica el registre de tres pulsacions fredes dibuixades pels dipòsits de ventall i dos pulsacions càlides introduïdes pels cossos dunars.

### Temptativa de cronologia

La manca de datacions radiomètriques fa que l'aproximació que segueix no sigui més que una hipòtesi, una temptativa d'acomodar els cicles climàtics que implica el registre sedimentari des Caló a l'evolució del Quaternari definida per altres estudis amb una base cronològica sòlida. A una àrea propera disposem de dos estudis paleontològics i un de sedimentològic amb datacions radiomètriques.

Cuerda i Galiana (1976) estudien un jaciment situat a Caló des Cans, si fa no fa dos quilòmetres al sud del ventall al·luvial des Caló. Hi distingeixen un nivell d'eolianites a base que per estar recobert de conglomerats marins amb fauna eutirreniana assignen al període Riss. Aquesta mateixa edat és la que atribueixen Vicens i Gracia (1988) a les eolianites a nivell de mar d'un perfil situat a redós del Cap Ferrutx (Sa Font Salada). Aquest perfil presenta força similituds amb la columna estratigràfica de Sa Platjola, Vicens i Gracia (1988) atribueixen les eolianites que se situen per sobre d'un episodi continental al Würm.

Recentment ha estat publicat un acurat estudi sobre la estratigrafia i les implicacions climàtiques de les seccions costaneres del Caló des Cans, realitzat pels geògrafs de la universitat de Londres (Rose i Meng, 1999; Rose *et al.*, 1999). Dit estudi s'emmarca dins el programa NERC TIGGER IIc centrat en les respostes ambientals als canvis climàtics a



**Fig. 17.** Evolució del ventall al·luvial i els dipòsits dunars. La línia indica les variacions climàtiques, on I són els màxims interglacials i G els màxims glacials. Els punts negres situen els episodis dunars en contextos regressius i l'acreció dels ventalls durant els episodis humits, freds. Sobre els cicles interglacials les barres negres indiquen etapes predominantment erosives i les blanques deposicionals. Per als glacials les barres negres representen els períodes d'acreció i les blanques els d'incisió.

*Fig. 17. Alluvial fan and dune deposits evolution. Line shows climatic changes, where I are interglacials and G the glacials pulses. Black point locate dune deposition on regression context the ones, accretion during a cold episode. Bar blacks on interglacial poles mean erosion domine, and white deposition. Black lines below glacial poles mean deposition domine and the white ones, incission.*

la Mediterrània des del darrer interglacial fins al present. L'espectacularitat d'aquest estudi rau en la descripció d'una seqüència, quasi bé, únicament continental que registra tots els estadis isotòpics del quaternari des del darrer interglacial (140 ka). La gran quantitat de datacions realitzades a partir de diferents tècniques radiomètriques (amino-àcids, luminescència, Th/U, etc.) juntament amb la correlació estratigràfica permet extrapolar l'edat dels principals cossos sedimentaris del ventall al·luvial des Caló.

Amb una localització més meridional hi tenim l'estudi del sondatge de s'Albufera (Fornós *et al.*, 1996), on les datacions estableixen un marc que llevat d'un episodi d'albufera guarda un estret paral·lelisme amb l'evolució de la seqüència des Caló, s'identifiquen tres grans nivells al·luvials separats per dos grans nivells de cossos dunars. Els tres períodes d'agradació dels ventalls al·luvials són presents a altres indrets de la conca Mediterrània. En un marc geogràfic pròxim tenim exemples al litoral de Múrcia (Harvey *et al.*, 1999) i al del País Valencià (Rey i Fumanal, 1996).

Així doncs, el primer cos dunar (D1) seria atribuït a l'interglacial Riss-Würm (a les darreries de l'estadi isotòpic 6, *c.* 135ka) i el segon grup d'eolianites (D2) a l'última regressió de l'el Plistocè. El que situaria el primer cos al·luvial (F1) en les pulsacions fredes de l'estadi isotòpic 5; i el segon ventall (F2) a cavall dels estadis isotòpics 4 i 3. El tercer episodi d'agradació del ventall se situaria dins la primeria de l'Holocè. Tanmateix la ubicació en l'evolució cronològica del Quaternari mallorquí queda pendent de futures datacions.

## Conclusions

El ventall des Caló està construït per la intercalació de dipòsits de ventall al·luvial i cordons dunars. Els dipòsits de ventall al·luvial estan controlats per la tectònica i l'aport de sediment vinculat al canvi climàtic. Les condicions necessàries per al desen-

volupament dels dipòsits de colades rocalloses (*debris flows*) així com de fluxos laminars ens situen en condicions força humides, fredes; mentre que els dipòsits d'eolianites atès a la seva gènesi s'ubiquen, a grans trets, en la transició entre el màxim interglacial i el màxim glacial. La manca de datacions no permet més que una aproximació hipotètica als estats del Quaternari als quals podrien pertànyer aquestes formes.

## Agraïments

Desig manifestar el meu més sincer agraïment al Prof. Antoni A. Artigues (Dept. de Ciències de la Terra, UIB) per potenciar l'esperit d'investigació així com per facilitar-me els primers articles sobre els ventalls al·luvials juntament amb els Drs. Ferran Colombo (Dept. de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia, UB) i Josep A. Alcover (IMEDEA). Tanmateix aquest treball no hagués estat possible sense el bon mestratge, consells i paciència dels Drs. Joan J. Fornós i Antoni Rodríguez-Perea (Dept. Ciències de la Terra, UIB), a qui vull fer patent el meu agraïment.

## Bibliografia

- Allen, J.R.L. 1985. *Principles of physical sedimentology*. Allen i Unwin. London. 249 pp.
- Benn, D.I. i Ballantyne, C.K. 1993. The description and representation of particle shape. *Earth Surf. Process. Landforms*, 18: 665-672.
- Benn, D.I. i Ballantyne, C.K. 1994. Reconstructing the transport history of glacial sediments: a new approach based on the co-variance of clast form indices. *Sed. Geol.*, 91: 215-227.
- Blair, T.C. i McPherson, J.G. 1994a. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. *J. Sedim. Petrol.*, A64 (3): 450-489.
- Blair, T.C. i McPherson, J.G. 1994b. Alluvial fans processes and Forms. In Abrahams, A.D. i Parsons, A.J. (Eds). *Geomorphology of desert*



- environments: 354-402. London. Chapman i Hall.
- Blair, T.C. i McPherson, J.G. 1999. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *J. Sedim. Res.*, 69: 6-19.
- Blissenbach, E. 1954. Geology of alluvial fans in semiarid regions. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 65: 175-190.
- Bowman, D. 1978. Determination of intersection points within a telescopic alluvial fan complex. *Earth Surf. Proc.*, 3: 265-276.
- Bull, W.B. 1977. The alluvial fan environment. *Prog. Phys. Geogr.*, 1: 222-270.
- Butzer, K.W. 1964. Pleistocene cold-climate phenomena of the island of Mallorca. *Z. Geomorph. N.F.* 8: 7-31.
- Butzer, K.W. 1975. Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a mallorquin view. In: Butzer, K.W. i Glynn, L.I. (Eds.). *After the australopithecines: stratigraphy, ecology and culture change in the middle Pleistocene*: 25-71. Aldine. Chicago.
- Calvache, M.L. Viseras, C. i Fernández, J. 1997. Controls on fan development, evidence from fan morphometry and sedimentology, Sierra Nevada, SE Spain. *Geomorphology*, 21: 69-84.
- Cuerda, J. 1989. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Govern Balear. Palma. 310 pp.
- Cuerda, J. i Galiana, R. 1976. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior marino en la costa norte de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 21: 115-124.
- Colombo, F. 1979. *Introducció a l'estudi sedimentològic dels cons de dejecció (alluvial fans) i dels sediments associats*. Institució Catalana d'Història Natural. Barcelona. 163 pp.
- Dorn, R.I. 1994. The role of climatic change in alluvial fan development. In: Abrahams, A.D. i Parsons, A.J. (Eds). *Geomorphology of desert environments*: 593-615. London. Chapman i Hall.
- Evans, D.J.A. 1999. Glacial debris transport and moraine deposition: a case study of the Jardalen cirque complex, Sogn-og-Fjordane, western Norway. *Z. Geomorph. N.F.*, 43: 203-234.
- Fornós, J.J. Barón, A. i Pons, G.X. 1996. Evolució neògena de la zona de s'Albufera d'Alcúdia (Mallorca, Illes Balears). Descripció de la sèrie estratigràfica (sondatge I) i fàcies sedimentàries. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 39: 139-154.
- Fornós, J.J. Pomar, L. i Rodríguez-Perea, A. 1983. Las eolianitas del Plesitoceno de Mallorca. *Comunicaciones del X Congreso Nacional de Sedimentología*: 1.90- 1.93. 20-30 de Septiembre de 1983. Menorca.
- Fornós, J.J. Pomar, L. i Rodríguez-Perea, A. 1984. A composite senquence on alluvial fan, coastal and sea cliff deposits in the Upper Miocene of Cabrera Island (Balearics, Spain). *Publ. Geol.*, 20: 85-95.
- Fritz, W.J. i Moore, J.N. 1988. *Basics of physical stratigraphy and sedimentology*. John Wiley & Sons. New York. 371 pp.
- Gómez, A. 1996. *Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña*. Geoforma Ediciones. Logroño. 189 pp.
- Graham, J. 1988. Collection ans analysis of field data. In: Tucker, M. (Edr.). *Techniques in sedimentology*: 5 - 63. Blackwell Scientific Publications. London.
- Grimalt, M. i Rodríguez-Perea, A. 1994. Unidades morfológicas del llano de Palma (Mallorca). In: Arnáez, J.; García, J.M. i Gómez, A. (Edrs.). *Geomorfología en España*: 403-411. S.E.G. Logroño.
- Harvey, A.M. 1978. Dissected alluvial fans in southeast Spain. *Catena*, 5: 177-211.
- Harvey, A.M. 1987. Alluvial fan dissection: relationships between morphology and sedimentation. In: Frostick, R. i Reid, I. (Eds). *Desert sediments: ancient and modern*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 35: 87-103.
- Harvey, A.M. i Renwick, W.H. 1987. Holocene alluvial fan and terrace formation in the Bowland Fells, Northwest England. *Earth Surf. Process. Landforms*, 12: 249-257.
- Harvey, A.M. Silva, P.G. Mather, A.E. Goy, J.L. Stokes, M. i Zazo, C. 1998. The impact of Quaternary sea-level and climatic change on coastal alluvial fans in the Cabo de Gata ranges, southeast Spain. *Geomorphology*, 28: 1-22.
- Hayward, A.B. 1983. Coastal alluvial fans and associated marine facies in the Miocene of S.W. turkey. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 6: 323-336.
- Krumbein, W.C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *J. Sediment. Petrol.*, 11: 64-72.
- Lowe, J.J. i Walker, M.J.C. 1998. *Reconstructing Quaternary environments*. Longman. Essex. 446 pp.

- Miall, A.M. 1996. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Springer-Berlag. Berlin. 582 pp.
- Muto, T. 1987. Coastal fan processes controled by sea level changes: a quaternary example from the Tenryuawa fan system, pacific coast of central Japan. *J. Geol.*, 95: 716-724.
- Nemec, W. i Postma, G. 1993. Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 17: 235-276.
- Olmo, P. Alvaro, M. Ramírez, J. i Aguilar, M.J. 1992. Memoria de la Hoja 672: Artà. *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 53 pp.
- Pettijohn, F.J. 1957. *Sedimentary rocks*. John Wiley & Sons. New York. 161 pp.
- Rachocki, A.H. 1981. *Alluvial fans*. John Wiley & Sons. New York. 161 pp.
- Rey, J. i Fumanal, M.P. 1996. The valencian coast (Western Mediterranean): neotectonics and geomorphology. *Quat. Sci. Rev.*, 15: 789-802.
- Ritter, J.B., Miller, J.R., Enzel, Y. i Wells, S.G. 1995. Reconciling the roles of tectonism and climate in Quaternary alluvial fan evolution. *Geology*, 23: 245-248.
- Rodríguez-Perea, A. 1998. Ventalls al·luvials i sistemes dunars a Betlem (Artà, Mallorca). In Fornós, J.J. (Ed.). *Aspectes geològics de les Balears*: 169-189. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- Rose, J. i Meng, X. 1999. River activity in small catchments over the last 140ka, North-East Mallorca, Spain. In Brown, A.G. & Quine, T.A. (Eds.) *Fluvial processes and environmental change*: 91-102. John Wiley & Sons. London.
- Rose, J., Meng, X. i Watson, C. 1999. Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140ka: evidence from Mallorca, Spain. *J. Geol. Soc. London.*, 156: 435-448.
- Rosselló, V.M. 1996. Les Penyes de l'Albir (litoral prebètic valencià). Variació del nivell mari: repercussions geomòrfiques. *Cuad. Geogr.*, 60: 295-326.
- Sabat, F. 1986. *Estructura geològica de les serres de Llevant de Mallorca (Balears)*. Tesi doctoral, inèdita. Universitat de Barcelona. 2 vol.
- Segura, F. 1990. *Las ramblas valencianas*. Departament de Geografia. Universitat de València. València. 229 pp.
- Servera, J. 1997. *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesi doctoral, inèdita. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. 904 pàg. + Atlas 138 pàg.
- Silva, P., Harvey, A.M., Zazo, C. i Goy, J.L. 1992. Geomorphology, depositional style and morphometric relationships of Quaternary alluvial fans in the Guadaletín depression (murcia, Southeast Spain). *Z. Geomorph., N.F.*, 36 (3): 325-341.
- Strahler, A.N. 1979. Anàlisis quantitativo de formas de erosión. In Strahler, A.N. (Ed.). *Geografía Física*: 521-539. Omega. Barcelona.
- Vicens, D. i Gracia, F. 1988. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior en la playa de Sa Font Salada (Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 32: 33-46.
- Verd, J.M. 1972. Introducció al estudio sedimentològic del cuaternario continental del llano de Palma. *Bol. Soc. Hist. Nat. de Baleares*, 17: 79-126.
- Weeb, D.A. i Fielding, C.R. 1999. Debris flow and sheetflood fans of the northern Prince Charles Mountains, East Antarctica. In Miller, A.J. i Gupta, A. (Eds.) *Varieties of fluvial forms*: 317-341. John Wiley & Sons. Chichester.
- White, K. Drake, N. Millintong, A. i Stokes, S. 1996. Constraining timing of alluvial fan response to late Quaternary climatic changes, Southern Tunisia. *Geomorphology*, 17: 295-304.