

# Dipòsits d'interferència eòlic-al·luvial al Pleistocè superior de les Illes Balears (Mallorca i Menorca, Mediterrània occidental): sedimentologia i implicacions paleoambientals

Francesc POMAR, Joan J. FORNÓS, Lluís GÓMEZ-PUJOL i  
Laura DEL VALLE

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Pomar, F., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L i del Valle; L. 2016. Dipòsits d'interferència eòlic-al·luvial al Pleistocè superior de les Illes Balears (Mallorca i Menorca, Mediterrània occidental): sedimentologia i implicacions paleoambientals. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 59: 147-185. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

El present estudi aborda la interferència entre dunes costaneres i ventalls al·luvials durant el Pleistocè superior en el marc geogràfic de les Illes Balears. Tot i que d'antuvi es tracta de dos ambients sedimentaris diferenciats, amb la participació de diferents processos i la gènesi d'un modelat o unes formes pròpies, molt sovint la seva interacció produeix un registre estratigràfic en què comparteixen característiques, així com també, mantenen elements heretats un de l'altre. En aquest sentit, la interferència eòlica-al·luvial és l'expressió estratigràfica-geomòrfica de la coincidència, interacció i/o superposició d'ambients eòlics i al·luvials. En aquest estudi, s'han descrit diferents dipòsits costaners que consisteixen en la successió d'ambients costaners, eòlics, col·luvials i al·luvials i les seves corresponent interferències. Tots aquests dipòsits estan constituïts en major o menor mesura, per seqüències de gresos carbonatats, bretxes, conglomerats i dipòsits de gra fi. Tanmateix, una de les característiques a destacar és que la majoria d'aquests dipòsits incorporen sediments bioclàstics d'origen marí. Aquesta fet sovint ha justificat que aquest dipòsits fossin classificats, de manera errònia, exclusivament com eolianites, tot proporcionant informació imprecisa i esbiaixada sobre la seva gènesi. En la gènesi de les fàcies d'interferència al·luvial-eòlica, el clima i el nivell de la mar controlen la magnitud i la intensitat en el paper de preponderància de cada ambient sedimentari i la naturalesa de la interferència. La datació de nivells eòlics, així com el contingut paleontològic, indiquen que els processos d'interferència entre aquests dos ambients sedimentaris foren especialment significatius durant el Pleistocè superior.

**Paraules clau:** *Interferència eòlic-al·luvial; sedimentació al·luvial; sedimentació eòlica; nivell marí, darrer període glacial; Pleistocè superior; Mallorca; Menorca; illes Balears.*

LATE PLEISTOCENE AEOLIAN-ALLUVIAL INTERFERENCE DEPOSITS IN THE BALEARIC ISLANDS (MALLORCA AND MENORCA, WESTERN MEDITERRANEAN): SEDIMENTOLOGY AND PALAEOENVIRONMENTAL IMPLICATIONS. This study deals with coastal dunes and alluvial fans interference. Although initially they are two different environments, with different processes and resulting forms, very often their interaction produces deposits that share characteristics and features from both environments, as well as, maintain inherited elements from one to each other. In this sense, the aeolian-alluvial interference is the geomorphological expression of the coincidence, disruption and/or overlapping of aeolian and alluvial environments. In this study, different coastal deposits have been

described involving the succession of coastal, aeolian, colluvial and alluvial environments. Carbonate sandstones, breccias, conglomerates and fine grained deposits are the main component of these sequences. One of the outstanding features is that most of these deposits contain marine bioclastic sediments. For this reason, very often these deposits have been classified solely as aeolianites, providing imprecise information about their genetic processes. Climate and sea level appears to be the most important controls on the role and magnitude of each sedimentary environment. Dating of aeolian levels, as well as palaeontological content, indicate that their deposition took place during the Late Pleistocene.

**Keywords:** *Aeolian-alluvial interference; alluvial sedimentation; aeolian sedimentation; sea level; Last Glacial Period; Late Pleistocene; Mallorca; Menorca; Balearic Islands*

*Francesc POMAR, Laura DEL VALLE i Joan J. FORNÓS. Grup de Ciències de la Terra (Geologia i Paleontologia "Guillem Colom"). Universitat de les Illes Balears. Ctra. de Valldemossa km 7,5, 07122 Palma. xiscopomar.geo@gmail.com. Lluís GÓMEZ-PUJOL. SOCIB, Balearic Islands Coastal Observing and Forecasting System (MINECO-CAIB). ParcBIT, Ctra. Valldemossa km 7.4, 07121 Palma.*

*Recepció del manuscrit: 9-nov-16; revisió acceptada:30-des-16.*

## Introducció

A la Mediterrània occidental abunden els afloraments de dipòsits pleistocens caracteritzats per la successió de nivells amb sediments d'origen marí, eòlic, al·luvial i/o col·luvial (Cuerda, 1975; 1989; Rose *et al.*, 1999; Andreucci *et al.*, 2010; Fornós *et al.*, 2009; Pavelic *et al.*, 2011; Andreucci *et al.*, 2014; Pascucci *et al.*, 2014; Pomar *et al.*, 2015a; Del Valle *et al.*, 2016). Aquests dipòsits acostumen a presentar una successió sedimentària més o manco contínua des del darrer període interglacial a partir de la qual es pot derivar el paper dels processos costaners, al·luvials o col·luvials i eòlics en la formació del relleu i el paisatge. Els dipòsits d'interferència eòlic-al·luvial consisteixen en uns dipòsits la característica bàsica dels quals és presentar estructures sedimentàries pròpies dels ambients sedimentaris al·luvials, però amb la particularitat que els materials que les integren són d'origen eòlic. Fins al punt que a sistemes costaners com els que ens ocuparan, són materials d'origen marí retreballats i integrats en els sistemes dunars per transport eòlic, els que

després passaran a formar part de cossos sedimentaris dels ventalls al·luvials o fins i tot quedaran remanegats per col·luvions. En aquest sentit, la interferència eòlic-al·luvial és l'expressió geomòrfica de la concurrència, distorsió i/o superposició dels ambients eòlics i al·luvials la qual cosa permet que els dipòsits resultants comparteixin característiques sedimentològiques d'ambdós ambients (Pomar *et al.*, 2015b). En el cas de la Mediterrània occidental, existeixen dipòsits pleistocens de ventall al·luvial, tot i que bona part del sediment que els integra procedeix de dunes costaneres desmantellades pels cursos al·luvials (Fornós *et al.*, 2009; Pascucci *et al.*, 2014). L'estudi d'aquests dipòsits ha posat de manifest que els principals controls en la interferència dels processos eòlics i al·luvials són les fluctuacions climàtiques i les oscil·lacions del nivell marí (White *et al.*, 1996; Rose i Meng, 1999; Harvey, 2002; Pope i Wilkinson, 2005; Pavelic *et al.*, 2011; Andreucci *et al.*, 2014; Pascucci *et al.*, 2014; Pomar, 2016). Així les coses, els processos de sedimentació eòlica estan relacionats amb èpoques fredes amb el nivell marí baix

(Fornós *et al.*, 2012; Pascucci *et al.*, 2014), mentre que els processos de sedimentació al·luvial assoleixen un major protagonisme durant períodes relativament més càlids però amb nivells marins encara baixos i durant períodes càlids i d'ascens del nivell marí veuen considerablement reduït el seu abast (Harvey, 1987; 2011; Harvey *et al.*, 1999; Macklin *et al.*, 2002). Les Illes Balears compten amb un bon nombre de dipòsits pleistocens marins i costaners (Cuerda, 1975; 1989) amb abundant fauna característica (Cuerda, 1987) que, en alguns treballs recents (Fornós *et al.*, 2009; Fornós *et al.*, 2012; Pomar, 2016) posen de manifest l'àmplia varietat de dipòsits (en la seva naturalesa, gènesi i morfologia) i de més a més, la important relació d'aquests amb els esdeveniments paleoclimàtics esdevinguts des del darrer període interglacial ( $\pm 130$  ka).

L'objectiu d'aquest treball és l'anàlisi sedimentològica d'uns dipòsits pleistocens que se caracteritzen per la interferència entre la sedimentació eòlica i l'al·luvial i que són habituals al litoral de Mallorca i al de Menorca. A partir de la descripció de talls estratigràfics representatius de cada localitat i de la revisió bibliogràfica de les cronologies de dipòsits del Pleistocè a través de datacions OSL de nivells eòlics i/o estimacions de l'edat en base al contingut paleontològic, s'ha realitzat una aproximació als processos i les condicions paleoambientals que afavoriren la formació dels dipòsits d'interferència eòlic-al·luvial durant els darrers 130 ka.

## Antecedents

Dels dipòsits pleistocens estudiats existeixen algunes referències dins la bibliografia del Quaternari illenc. Articles publicats al Bolletí de la Societat d'Història

Natural de les Balears (BSHNB), monografies dedicades al Quaternari a les quals hi apareixen descripcions sedimentològiques dels dipòsits així com el corresponent tall estratigràfic o la descripció del contingut paleontològic del jaciment. Dels dipòsits que s'havien descrit fins a dia d'avui, en cap cas s'hi havia identificat la interferència eòlic-al·luvial, donant per fet que la presència d'arena bioclàstica justificava la classificació com eolianites. Així per exemple, Cuerda (1989) anomena a les seves descripcions de talls estratigràfics realitzats a prop del cap Enderrocat (Badia de Palma, Mallorca) o a Tirant-Fornells (Menorca) "niveles de dunas de estratificación ondulada con presencia de cantos". Per altra banda, altres autors com Rose *et al.* (1999) realitzaren interpretacions més esbiaixades identificant al ventall al·luvial de Betlem (Artà, Mallorca) uns nivells de gresos bioclàstics d'aspecte massiu que els atribueix una gènesi producte d'esdeveniments tsunàmics.

D'alguns dels dipòsits estudiats en aquest treball, a Mallorca en fan referència Cuerda i Sacarès (1962; 1964; 1992), Cuerda (1975; 1989), Pomar i Cuerda (1979) i Vicens (2015) tot fent descripcions sedimentològiques i paleontològiques dels dipòsits pròxims al flanc sud del cap Enderrocat, identificant a la base nivells marins que atribueixen al darrer estadi interglacial (MIS 5e; 125 ka) i nivells superiors d'eolianites que atribueixen al darrer període glacial (MIS 4-2). La tesi doctoral de Bourrouilh (1983), el treball de Rodríguez-Perea (1998) i al mapa de l'IGME (1991a) identifiquen a la zona des Caló (Artà, Mallorca) importants dipòsits que interpreten com eolianites quaternàries. Per altra banda, Gómez-Pujol (1999) i Gómez-Pujol *et al.* (2008) realitzaren una descripció sedimentològica del ventall

al·luvial des Caló identificant diversos cossos sedimentaris tant eòlics com al·luvials i suggereixen una possible reinterpretació d'alguns nivells que constitueixen els dipòsits del ventall com el producte de 'dunes retreballades' per cursos al·luvials. Posteriorment, als treballs de Fornós *et al.* (2009 i 2012) s'aporten datacions dels distints nivells d'eolianites que constitueixen el ventall al·luvial des Caló. Aquestes datacions situen la sedimentació d'aquests dipòsits durant el darrer període glacial, concretament entre el MIS 4 i el MIS 3. A més, les descripcions sedimentològiques i el model estratigràfic realitzat per Pomar (2016) confirmen que els dipòsits del ventall estan constituïts en gran part per arenas eòliques indicant un retreballament de dipòsits eòlics per part d'aigües d'escorrentia. Vicens (2009) realitzà una descripció del contingut paleontològic dels dipòsits del ventall des Caló identificant mol·luscs terrestres atribuïts al Pleistocè superior. Vicens i Gràcia (1988 i 1998) i Vicens (2012) realitzaren una descripció sedimentològica i paleontològica dels dipòsits pleistocens de la costa nord d'Artà. Identificaren als voltants de la platja de sa Fontsalada dipòsits marins a la base pertanyents al MIS 5e i 5a coberts per alguns nivells col·luvials i d'eolianites. Bourrouilh (1983) identifica a la costa compresa entre la platja de sa Fontsalada i el morro d'Albarca dipòsits quaternaris que interpreta com eolianites.

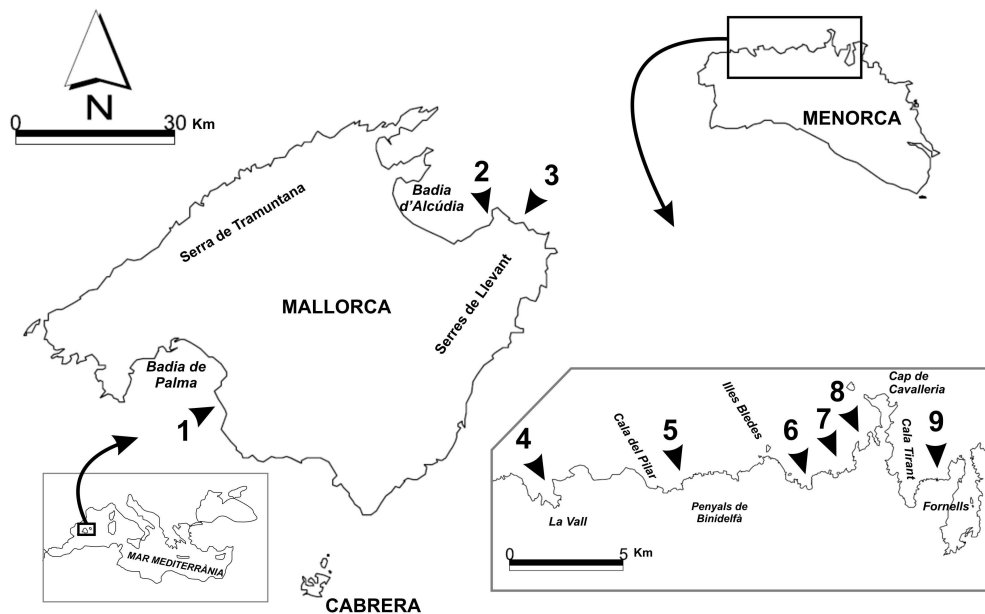
Pel que fa a Menorca, Mercadal (1960) i Mercadal *et al.* (1970) cita alguns dipòsits quaternaris a la costa nord de Menorca, entre els quals alguns dels estudiats en aquest treball com Fornells o Algaiarens. Identifica diversos nivells d'eolianites que relaciona amb els períodes freds ocorreguts des del Pleistocè mitjà. Henningsen (1990) en un estudi sedimentològic i mineralògic dels dipòsits quaternaris de Fornells també

identifica fins a tres nivells d'eolianites a la costa nord de Menorca que relaciona amb les fluctuacions climàtiques del Pleistocè. Els dipòsits de la zona de Fornells corresponen al nivell superior i més recent vinculat al darrer període glacial. Pomar (2016) realitza descripcions sedimentològiques i estratigràfiques dels dipòsits de la zona de Fornells, posant de manifest que es tracta de dipòsits col·luvials típics de processos d'interferència eòlic-al·luvial. A més a més, aporta una cronologia que situa la seva formació durant diversos períodes de refredament entre 140-10 ka. Bourrouilh (1983) localitza al llarg de la costa nord de Menorca diversos dipòsits quaternaris interpretats com eolianites o *marès*.

## Mètode

Per a la descripció sedimentològica, s'han realitzat talls estratigràfics a les zones més representatives de cada localitat d'estudi per a identificar els principals nivells que constitueixen els dipòsits tenint en compte les principals superfícies erosives i canvis sobtats de fàcies. A cada punt es prengueren observacions de direcció de l'eix de paleocanals i direcció i cabussament de les capes de nivells amb estratificacions encreuades per determinar els principals sentits del transport.

Dels diferents nivells, es prengueren mostres per realitzar una anàlisi petrogràfica i obtenir la mida de gra, el color, la mineralogia, el contingut en carbonats i la composició mineral. Cal dir que totes les mostres recollides presentaven un bon grau de cimentació, la qual cosa feu necessari tallar i polir les mostres per realitzar l'anàlisi de mida de gra i el de composició. Es prengueren imatges de la cara polida de cada mostra mitjançant lupa binocular de 4x amb programari *Motic Ima-*



**Fig. 1.** Localització de les zones estudiades. 1- Ses Olles-Cap Enderrocat; 2- Ventall al·luvial des Caló; 3- Albarca; 4- Algaiarens; 5- Ets Alocs; 6- Binimel·là; 7- Cavalleria-Cala Mica; 8- Pedrera de sa Nitja; 9- Tirant-Fornells.

**Fig. 1.** Location of the study areas. 1- Ses Olles-Cap Enderrocat; 2- Es Caló fan; 3- Albarca; 4- Algaiarens; 5- Ets Alocs; 6- Binimel·là; 7- Cavalleria-Cala Mica; 8- Sa Nitja quarry; 9- Tirant-Fornells.

ge 2.0 i posteriorment s'ha analitzat la mida de gra mitjançant el programari lliure d'anàlisi d'imatges *ImageJ*. Per la resta d'anàlisis, s'ha procedit a molturar la mostra.

Per a obtenir el color s'ha comparat pols de la mostra en sec i amb llum artificial mitjançant les taules Munsell. Per a conèixer la composició mineralògica s'ha fet un anàlisi de difracció de rajos X (XRD) utilitzant un difractòmetre SIEMENS D5000 i per a extreure el contingut en carbonats s'ha procedit amb el mètode del calcímetre de Bernard.

La interpretació genètica dels dipòsits es basa en els treballs de la sedimentologia de diferents ambients col·luvials, al·luvials,

eòlics i costaners com Picard i High (1973), Massari i Parea (1988), Livingstone i Warren (1996), Miall (1996), Blikra i Nemeč (1998), Nemeč i Kazanci (1999), Stow (2006) i Tsoar i Pye (2009).

## Descripció dels dipòsits

S'han seleccionat nou zones de les illes Balears; tres a Mallorca i sis a Menorca (Fig. 1), amb l'objectiu de recollir els diferents tipus i contextos més representatius en què afloren dipòsits pleistocens d'interferència. Es tracta en molts dels casos, d'afloraments costaners amb potents cossos sedimentaris emplaçats un centenars



**Fig. 2.** Imatges dels dipòsits de dues de les zones estudiades a Menorca: Tirant-Fornells (esquerra) i Algaiarens (dreta). Una de les característiques més destacables dels dipòsits d'interferència és que estan relacionats amb relleus costaners. Com s'observa a les imatges, els dipòsits es disposen sobre vessants o reomplint les zones més deprimides de les valls.

**Fig. 2.** Selected examples of deposits from Menorca: Tirant-Fornells (left) and Algaiarens (right). One of the main characteristics of interference deposits is their relationship with coastal reliefs. As shown in the images, these deposits are placed over coastal hillslopes or infilling valleys.

de metres al llarg de la línia de costa, tot i que en alguns casos arriben al quilòmetre de longitud. En qualsevol cas, allò més freqüent, és trobar-los pràcticament desmantellats per l'erosió marina en forma de pegats que s'estenen al llarg de la línia de costa i sense massa continuïtat lateral.

A grans trets poden diferenciar-se dos grans grups d'afloraments, d'una banda, els situats al peu d'un front muntanyós o penya-segat generant formes semblants a rampes arenoses (*sand ramps*) (Lancaster i Tchackerian, 1996; Bateman *et al.*, 2012), o bé en relació a ventalls al·luvials costaners, dipòsits de vessant als flancs de turons costaners o rebliments de vall (Fig. 2). Majoritàriament estan constituïts per capes de gresos però també poden contenir bretxes i conglomerats, així com també capes de llims. Tots els dipòsits estudiats es troben a la costa septentrional de les illes excepte els dipòsits de ses Olles – Cap Enderrocat que es situa a la costa meridional de Mallorca. Els dipòsits quaternaris estudiats es descriuen a

continuació començant per les zones seleccionades a Mallorca i a continuació les de Menorca.

### Ses Olles – Cap Enderrocat (Mallorca)

Aquest dipòsit es situa al flanc sud del cap Enderrocat (Fig. 1), entre el cap homònim i la raconada coneguda amb el nom de ses Olles (Badia de Palma, Mallorca). Es tracta d'un dipòsit continu d'uns 1,4 km de longitud que reomple una plataforma costanera (*shore platform*) d'uns 90 m d'amplada a la base del penya-segat tallat sobre calcarenites esculloses del Miocè superior (Pomar *et al.*, 1983; IGME, 1991b). Els materials quaternaris es disposen en forma de talús, dibuixant un perfil lleugerament còncav fins a assolir la cresta del penya-segat a uns 95 m snm. Aquests estan constituïts totalment per capes de gresos. A continuació es presenta la descripció sedimentològica de dos talls estratigràfics representatius del dipòsit (Fig.3).

**Tall A**

a) Basament corresponent a calcarenites miocenes formant una plataforma costanera a 1,5 m snm.

b) Conglomerat en capes de 0,1 a 0,3 m de potència, constituït per clasts arrodonits i allargats amb una mida mitjana de 2-3 cm amb màxims de 40 cm. Els clasts es disposen imbricats cabussant cap a la mar, en general clast-suportats però tendeixen, ocasionalment, a presentar-se suportats per la matriu. Els clasts són fragments del basament miocè. La matriu està constituïda per arena bioclàstica ben classificada amb una mida mitjana de gra de 0,4 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa al voltant del 80% amb un contingut majoritari de calcita. S'observen fragments de mol·luscs marins atribuïts al MIS 5e (Cuerda, 1989). S'interpreta com un nivell de deposició marina format a partir de l'erosió de la base del penya-segat i reomplert per una acumulació de graves i còdols procedents de l'erosió del mateix penya-segat.

c) Gresos en capes de 0,8 a 4 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,33 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats és igual o superior a 75% amb la calcita com a mineral majoritari. Localment pot mostrar certa presència de llims. En general presenten un aspecte massiu que pot canviar a laminació horitzontal i encreuada de baix angle. Mostren algunes estructures aïllades en forma de canal. Presència de clasts angulosos aïllats surant dins el sediment que poden organitzar-se en passades horitzontals localment. Presència de petjades de *Myotragus*. c<sub>1</sub>) Capes intercalades de fins a 0,2 m de potència constituïdes per gresos bioclàstics amb elevada presència de llims vermellosos color 10YR 7/4. Contenen clasts angulosos

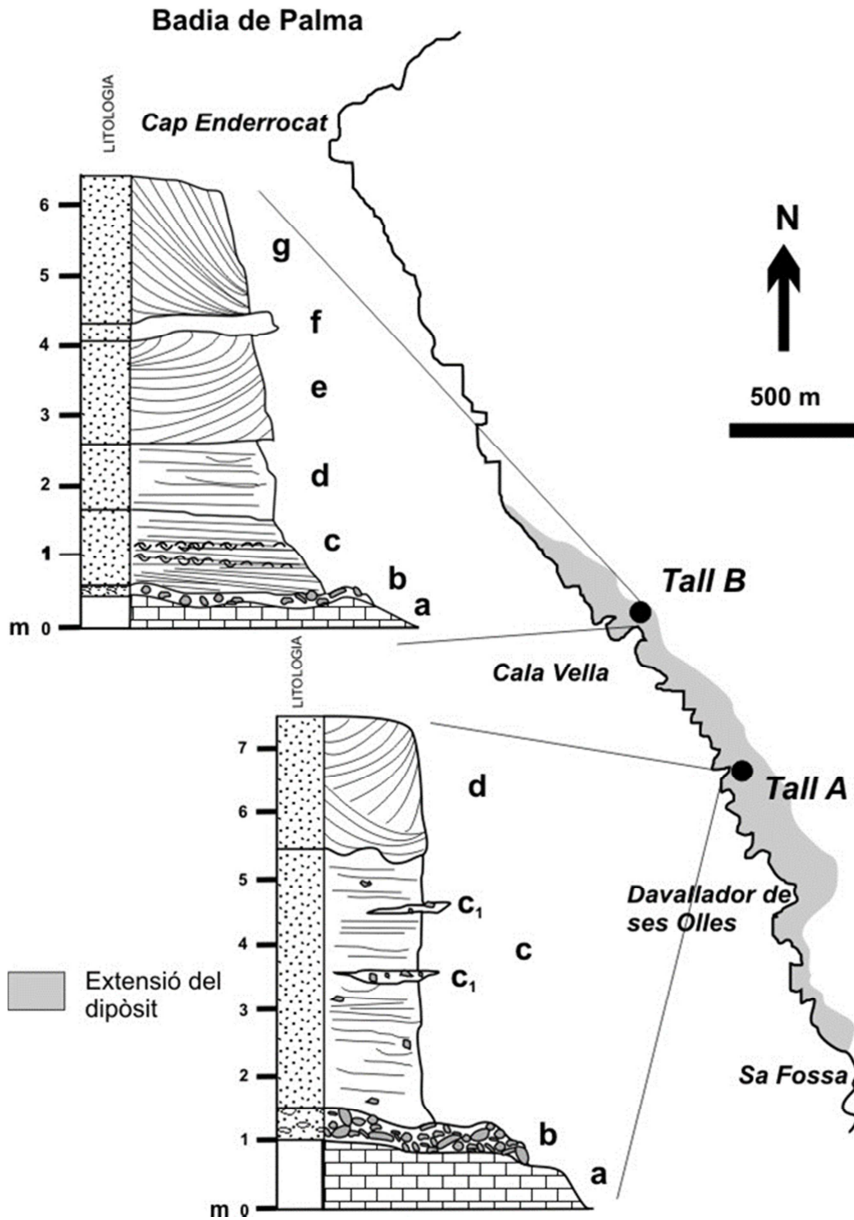
i bioturbació per vegetació. El contingut en carbonats arriba al 70% amb presència majoritària de calcita i quars. Es tracta d'uns nivells depositats a partir de la circulació d'escorrentia difusa en forma de làmina. Les capes c<sub>1</sub> intercalades indiquen moments dominats per processos col·luvials amb el substrat colonitzat per vegetació.

d) Gresos en capes de 0,5 a 2,5 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,38 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats arriba al 90% i el mineral predominant és la calcita. Aquests nivells presenten estructures d'estratificació horitzontal canviant a estratificació encreuada i encreuada en forma de canal. La laminació interna de les capes mostra una potència d'entre 1-2 cm. Localment mostra bioturbació per vegetació i també icnites de *Myotragus*. La direcció mitjana de cabussament de les capes és 153°/26° E. Aquest nivell s'interpreta com a dunes que procedien de la costa.

**Tall B**

a) Basament corresponent a calcarenites miocenes formant una plataforma d'abrasió marina a uns 0,4 m snm.

b) Conglomerat en capes de fins 0,1 m de potència constituït per clasts subangulosos a subarrodonits amb una mida mitjana de 2 a 5 cm i màxims de fins 12 cm. Són fragments procedents del basament miocè. Es disposen suportats per la matriu. La matriu està composta per arenes bioclàstiques amb una mida de gra mitjana de 0,35 mm i llims vermellosos de color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa al voltant del 75% i el mineral majoritari és la calcita, però també hi ha certa presència de dolomita i quars.



**Fig. 3.** Localització dels talls estratigràfics representatius de la zona de ses Olles-cap Enderrocat (veure localització a la Fig.1, zona 1).

**Fig. 3.** Location of the main stratigraphical sections at ses Olles-cap Enderrocat (see location at Fig.1, site 1).



Presenta un aspecte massiu i pot contenir algun gasteròpode marí. Es disposa cobrint la plataforma costanera modelada sobre les calcarenites miocenes (nivell a) mostrant un aspecte molt alterat per l'erosió. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit de transició entre un ambient terrestre i un ambient marí.

c) Gresos en capes de 0,25 a 0,9 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,47 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa al voltant de 85% i la calcita és el mineral majoritari. Presenten estratificació horitzontal que evoluciona a encreuada de baix angle amb un cabussament cap a la costa. S'observa alternança de cicles granodecreixents. Apareixen passades intercalades de copinyam dins els gresos que Cuerda i Sacarès (1992) i Vicens i Gràcia (1998) identifiquen com a *Glycimeris violacescens*, *Acanthocardia tuberculata*, *Barbatia plicata*, *Persististrombus latus* i *Conus testidunarius* entre d'altres, corresponents a fauna característica del MIS 5e. Aquest nivell s'interpreta com una platja, concretament d'un ambient marí poc profund de platja baixa (*foreshore*).

d) Gresos en capes de fins a 1 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,42 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa pròxim al 75% i el mineral predominant és la calcita. Les estructures sedimentàries predominants són l'estratificació horitzontal canviant a encreuada de baix angle i estructures en forma de canal. Localment les estructures poden difuminar-se mostrant un aspecte més massiu. Ocasionalment s'observa algun clast angulós aïllat surant dins el sediment. S'observen petjades de *Myotragus*. S'interpreta com a dipòsits al·luvials transportats per un corrent d'aigua difús.

e) Gresos en capes de 0,4 a 1,5 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,36 mm i color 10YR 8/3. Presenten un contingut en carbonats al voltant de 85% amb presència majoritària de calcita. Aquests gresos mostren estratificacions encreuades i bioturbació per vegetació. La laminació interna de les capes assoleix una potència de 2 cm. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 161°/28° E. Es tracta dunes que procedien de la costa.

f) Gresos en capes de fins a 0,25 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,38 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa al voltant de 70% i el mineral majoritari és la calcita amb certa presència de quars. Aquests gresos mostren un aspecte massiu, bioturbat per vegetació i amb presència de llims. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

g) Gresos en capes de 0,8 a 2 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,36 mm i color 10YR 8/2. Presenten un contingut en carbonats al voltant de 90% amb presència majoritària de calcita. Mostren estructures d'estratificació encreuada i bioturbació per vegetació. La laminació interna de les capes assoleix de 2 a 3 cm de potència. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 169°/26° E. S'interpreta com eolianites.

### Es Caló (Mallorca)

Els dipòsits quaternaris des Caló es situen a l'extrem més septentrional de les serres de Llevant al seu vessant nord-oest dins la badia d'Alcúdia (Fig. 1). Es tracta de potents dipòsits constituïts per conglomerats i gresos que a la zona

costanera i més deprimida d'una conca es disposen formant un ventall al·luvial costaner. El ventall ocupa una superfície de 22,5 ha i té una longitud de radi de 0,5 km. La conca presenta una superfície d'1 km<sup>2</sup> i els relleus que la delimiten assoleixen els 430 m snm. El basament que forma la conca està constituït majoritàriament per dolomies del Juràssic inferior (Bourrouilh, 1983). El tall que es presenta a continuació mostra pràcticament tots els nivells que es poden observar al ventall des Caló (Fig. 4):

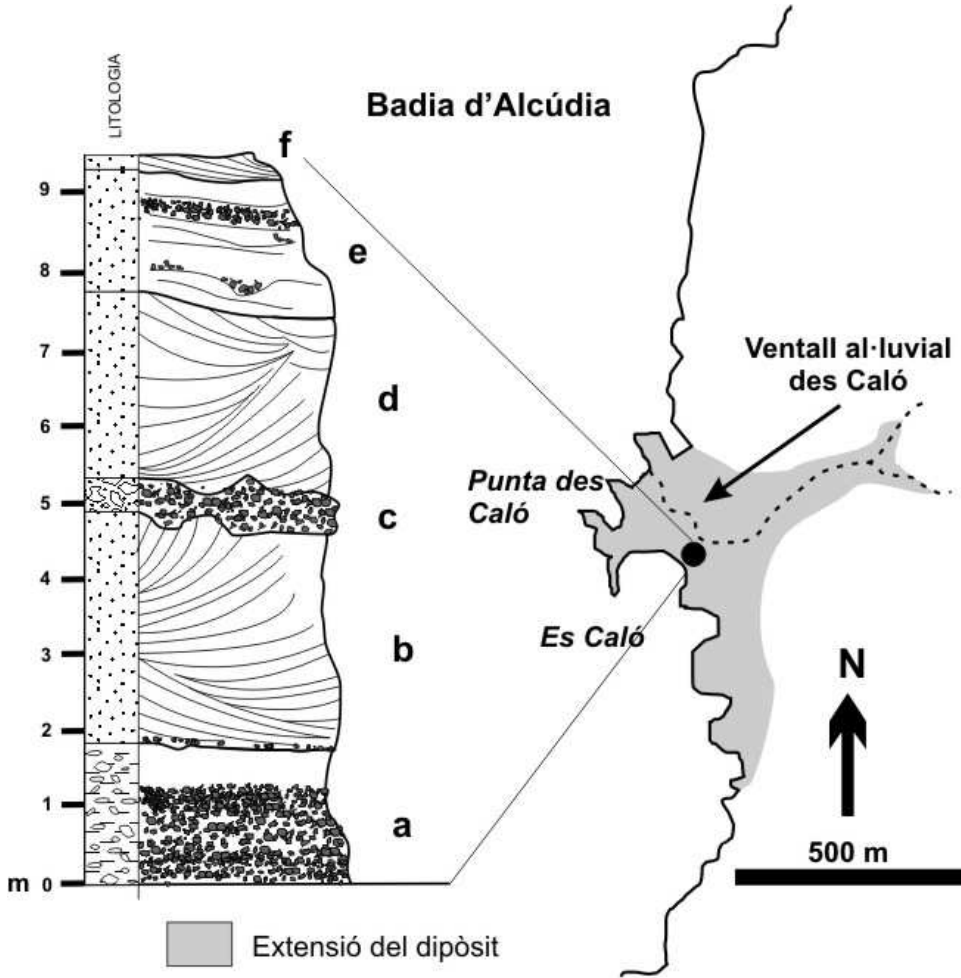
a) Conglomerat en capes de 0,5 a 1,8 m de potència constituïts per clasts subangulosos canviant a angulosos, heteromètrics amb unes mides mitjanes de 1 a 5 cm amb màxims de fins a 15 cm. Es tracta de fragments de les dolomies juràssiques del basament. Els clasts es disposen amb certa imbricació suportats per la matriu canviant localment a clast-suportats. La matriu està constituïda per llims amb certa presència d'arena bioclàstica. Presenta color 7.5 YR 6/6. El contingut en carbonats és situa al voltant del 16% i el mineral predominant és el quars seguit de la calcita. Les capes de conglomerat es disposen horitzontalment mostrant alternança de cicles granodecreixents. La capa superior d'aquest nivell està representada per un paleosòl de fins 0,4 m de potència amb bandes de ferro. Presència de fragments de gasteròpodes terrestres com *Iberellus companyonii* o *Chodrula gymnesica* atribuïts al Pleistocè superior (Vicens, 2009). Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit al·luvial transportat per una corrent d'aigua difusa en forma de làmina que circula sobre la superfície del ventall. El paleosòl suggereix l'afebliment del processos al·luvials.

b) Gresos en capes de 1 a 3 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,33 mm i color 10YR8/2. El

contingut en carbonats és superior al 90% i l'anàlisi mineralògic indica que el mineral predominant és la calcita. Les estructures sedimentàries observades són l'estratificació horitzontal canviant lateralment cap a estratificació encreuada. Les capes mostren una laminació interna molt regular de 1 a 2 cm de potència. A la base s'observen clasts angulosos de 1 a 2 cm de mida mitjana. Es poden observar algunes petjades de *Myotragus*. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 45°/21° E. Aquest nivell s'interpreta com a dunes que procedien de la costa. Les datacions que aporta Fornós *et al.* (2009) situen la deposició d'aquestes eolianites fa uns 65 ka.

c) Bretxa en capes 0,1 a 0,3 m de potència constituïda per clasts angulosos i heteromètrics amb una mida mitjana de 3 a 5 cm. Els clasts són fragments de les dolomies juràssiques del basament. La matriu consisteix en arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,363 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant de 85% i el mineral predominant és la calcita. El seu aspecte és en general massiu. Aquest dipòsit s'interpreta com un *debris-flow*.

d) Gresos en capes de 0,8 a 2 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,33 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats és superior al 90% i l'anàlisi mineralògica indica que el mineral predominant és la calcita. Les estructures sedimentàries observades són l'estratificació horitzontal que canvia lateralment cap a estratificació encreuada. S'observa alguna petjada de *Myotragus*. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 49°/23° E. Aquest nivell s'interpreta com a eolianites. Fornós *et al.* (2009) situa la deposició d'aquestes eolianites fa uns 44 ka.



**Fig. 4.** Localització del tall estratigràfic representatiu del ventall al·luvial des Caló (veure localització a la Fig. 1, zona 2)

**Fig. 4.** Location of the stratigraphical section of es Caló fan (see location at Fig. 1, site 2).

e) Gresos en capes de 1 a 2 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,34 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant del 85% i el mineral majoritari és la calcita. Mostra estratificació

horitzontal que evoluciona lateralment a encreuada de baix angle amb alguna estructura en forma de canal intercalada. Poden aparèixer algunes capes horitzontals de conglomerat primes de fins a 0,1 m de potència que contenen clasts heteromètrics angulosos a subangulosos, amb una mida

mitjana de 2 a 10 cm. Es poden observar algunes petjades de *Myotragus*. Alguns eixos de canals mesurats assenyalen una direcció del paleocorrent WSW-ENE. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport en forma d'escorrentia difusa (*sheetflow*).

f) Gresos en capes de 0,2 a 0,4 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,34 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats és pròxim al 90% i els resultats de l'anàlisi mineralògic indiquen una predominança de calcita. Les estructures sedimentàries observades són l'estratificació horitzontal i encreuada. L'exposició d'aquest nivell sobre el ventall permet observar algunes formes relictas de dunes parabòliques. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 175°/20° E. Aquest nivell s'interpreta com eolianites. Fornós *et al.* (2009) situa la deposició d'aquestes eolianites fa 34 ka.

### **Albarca (Mallorca)**

Els dipòsits d'Albarca es situen a la zona central de la costa nord de les serres de Llevant (Fig. 1). Es tracta de potents dipòsits que ocupen de manera quasi contínua un tram de costa d'un quilòmetre de longitud, limitat a l'est per la platja de sa Fontsalada i a l'oest pel morro d'Albarca (Fig. 5). Es disposen en forma de rebliments de vall formant penya-segats verticals de 4 a 10 m amb algunes plataformes rocoses estretes i inclinades a la base ocupades per blocs caiguts del penya-segat. El basament que constitueix aquesta zona són gresos calcaris del Cretaci inferior amb una mida de gra fina de color gris i elevada presència de fractures i diàclasis reomplertes de calcita (Bourrouilh, 1983; IGME, 1991a). L'estructura plegada del basament conforma uns turons arrodonits de fins a 90

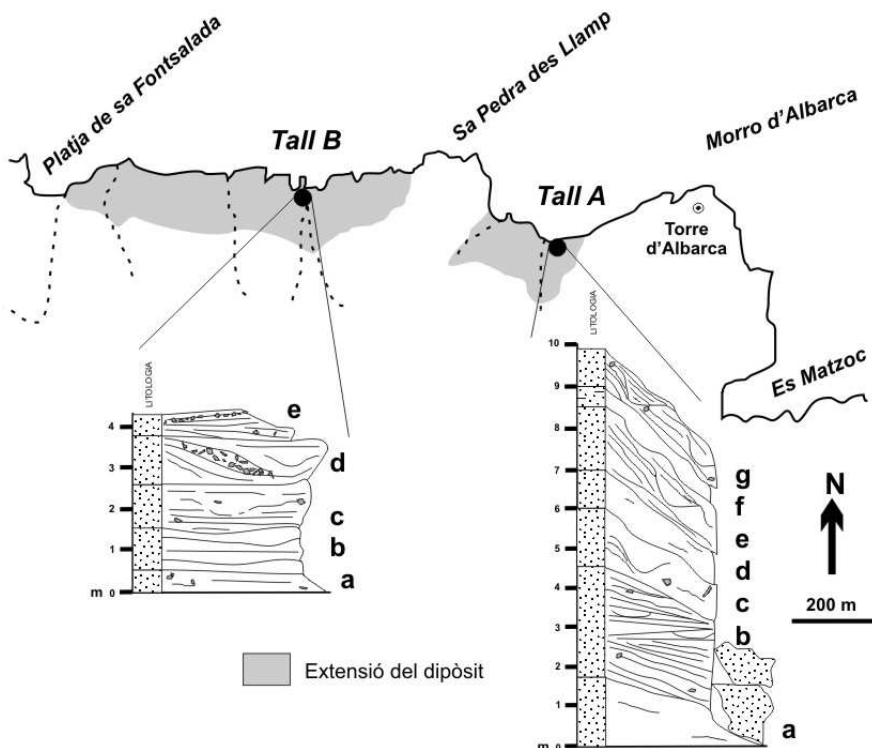
m snm que als seus vessants costaners es caracteritzen per penya-segats quasi verticals amb un perfil convex que poden assolir fins 50 m snm, interromputs per alguns entrants ocupats per petites platges. A la zona estudiada, està configurada per 5 conques amb una superfície de 2 a 4 ha que compten amb un únic canal de 200 a 400 m de longitud encaixat a les capes superiors dels dipòsits quaternaris formant una desembocadura penjada sobre la costa. Aquests dipòsits estan constituïts totalment per capes de gresos. A continuació es descriuen dos talls (A i B) corresponents a dos dels principals trams de costa ocupats pels dipòsits (Fig. 5).

### **Tall A**

a) Gresos en capes de 0,5 a 1,8 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,37 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa pròxim a 85% i el mineral majoritari és la calcita. Aquest nivell presenta en general capes massives que podem canviar a certa estratificació horitzontal. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

b) Gresos en capes de 0,8 a 3 m de potència composts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra de 0,37 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant del 90% i el mineral predominant es la calcita. Presenta capes amb estratificació horitzontal que pot canviar a estratificació encreuada de baix angle. Es pot observar alguna estructura de canal. S'observen alguns clasts angulosos producte de l'erosió del basament cretaci. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport de forma laminar (*sheetflow*).

c) Gresos en capes de 1 a 1,5 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques moderadament classificades amb una mida



**Fig. 5.** Localització dels talls estratigràfics representatius de la zona d'Albarca (veure localització a la Fig. 1, zona 3).

**Fig. 5.** Location of the main stratigraphical sections at Albarca (see location at Fig. 1, site 3).

de gra mitjana de 0,36 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa al voltant del 80% i el mineral majoritari és la calcita. Aquest nivell presenta en general un aspecte massiu que lateralment pot canviar a certa estratificació encreuada i estructures en forma de canal massiu. S'observen clasts angulosos surant dins el sediment amb unes mides mitjanes de 2 a 4 cm. Els clasts procedeixen del basament cretaci. S'interpreta com un dipòsit col·luvial de localment el transport tendia a concentrar-se i formar xaragalls (*streamflow*).

d) Gresos en capes de 0,6 a 1 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra

mitjana de 0,39 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa al voltant del 80% i el mineral majoritari és la calcita. Aquest nivell mostra un aspecte massiu que pot canviar a certa estratificació encreuada de baix angle i bioturbació per vegetació. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

e) Gresos en capes de 0,8 a 1,5 m de potència composts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,35 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats és pròxim 90% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estratificació horitzontal que lateralment canvia a estratificació ondulada, estratificació encreuada en forma de canal i capes

massives. També s'observen estructures en forma de canal reomplertes de làmines horitzontals. Localment s'observa bioturbació per vegetació. La direcció mitjana del paleocorrent assenyalada pels eixos dels canals és NNW-SSE. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial caracteritzat per un transport de forma laminar de rentat del vessant (*sheetflow*) que pendent avall es podia concentrar formant xaragalls. Posteriorment es reomplien per sediments arrossegats de manera difusa formant fluxos laminars.

f) Gresos amb alt contingut en llims en capes de 0,2 a 0,5 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,35 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa pròxim al 80% i el mineral predominant és la calcita amb certa presència de dolomita i quars. Aquest nivell presenta un aspecte massiu i bioturbació per vegetació. S'observen alguns clasts angulosos surant dins el sediment de no més de 3 cm. S'interpreta com un dipòsit col·luvial.

g) Gresos en capes de 0,7 a 1 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,34 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant del 85% i el mineral predominant és la calcita. Mostra capes massives que lateralment canvien a estratificació horitzontal i estructures en forma de llentia reomplertes per capes horitzontals que tallen les capes anteriors, així com també alguns canals massius. Surant dins el sediment s'hi observen clasts angulosos amb una mida mitjana de 2 a 4 cm i d'altres de poc més de 1 cm procedents dels gresos calcaris del basament. La direcció mitjana del paleocorrent assenyalada pels eixos dels canals és N-S. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit al·luvial caracteritzat per un

transport que tendia a concentrar-se pendent avall formant canals que posteriorment s'anaven reomplint així com s'abandonaven i se'n formaven de nous que tallaven els sediments dipositats.

### **Tall B**

a) Gresos en capes de 0,2 a 0,5 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,39 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa al voltant del 85% i el mineral predominant és la calcita. Presenta un aspecte en general massiu amb alguna estructura de canal massiu. S'observa certa bioturbació per vegetació. Poden observar-se clasts angulosos surant dins el sediment de no més de 2 cm. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

b) Gresos en capes de 0,4 a 0,8 m de potència composts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,35 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats és pròxim a 80% i el mineral majoritari és la calcita. Presenta capes horitzontals massives amb una potència de 0,2 m amb certa bioturbació per vegetació. S'hi observa alguna estructura de canal massiu. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

c) Gresos en capes de 0,7 a 1 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,38 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant de 90% i el mineral predominant és la calcita. Mostra estratificació horitzontal molt emmascarada per l'elevat grau de bioturbació per vegetació tallada per estructures en forma de canal. S'observen clasts angulosos amb una mida mitjana de 2 a 4 cm surant dins el sediment procedents del basament. És possible observar petjades de *Myotragus*. Aquest nivell s'interpreta

com un dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport de forma laminar (*sheetflow*) que es podia concentrar i formar canals a una zona molt colonitzada per vegetació.

d) Gresos en capes de 0,4 a 1 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,4 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa pròxim a 80% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estratificació encreuada canviant a certa estratificació encreuada en forma de canal. S'observen estructures en forma de canal reomplertes per lleties de clasts angulosos de 1 a 3 cm. Els clasts es disposen imbricats en passades formant petites barres. Localment s'observa certa bioturbació per vegetació. La direcció del paleocorrent mitjana assenyalada pels eixos dels canals és NNE-SSW. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport concentrat formant canals.

e) Gresos en capes de 0,3 a 0,5 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,33 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant de 85% i el mineral majoritari és la calcita. Mostra estratificació horitzontal canviant a estratificació encreuada de baix angle. Localment mostra bioturbació per vegetació. Apareix alguna passada horitzontal de clasts angulosos d'uns 3 cm. Es tracta d'un dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport de forma laminar sobre el vessant.

### **Algaiarens (Menorca)**

Els dipòsits d'Algaiarens es situen a l'extrem occidental de la costa nord menorquina (Fig. 1). Es tracta de petits afloraments de pocs metres de potència que es disposen de forma irregular als dos flancs de la cala d'Algaiarens sobre dos

turons que tanquen la cala: coster de ses Fontanelles (65 m) i puig Tremolor (38 m). El basament que conforma aquests relleus correspon a les dolomies en fàcies Muschelkalk del Triàsic mitjà (Bourrouilh, 1983). Aquests dipòsits estan constituïts majoritàriament per gresos i conglomerats que es disposen en forma de dipòsits de vessant molt inclinats. S'han realitzat dos tall (A i B), un a cada flanc de la cala i es descriuen a continuació (Fig. 6).

### **Tall A**

a) Gresos en capes 0,2 a 0,5 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques moderadament classificades amb una mida de gra mitjana de 0,39 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa al voltant del 80% i el mineral majoritari és la calcita. Aquest nivell mostra un aspecte massiu que canvia localment a una certa estratificació horitzontal. S'hi poden observar clasts angulosos aïllats surant dins el sediment. S'interpreta com un dipòsit col·luvial.

b) Gresos en capes de 0,5 a 2,5 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,32 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats és pròxim al 85% i el mineral majoritari és la calcita. Aquest nivell mostra estratificacions horitzontals de fins a 0,25 m de potència que canvien lateralment a estratificació encreuada de baix angle. Localment es pot observar certa laminació interna imbricada de 1 a 2 cm de potència cabussant pendent amunt. Poden observar-se certes estructures de canal massiu. Surant dins el sediment hi ha clasts angulosos a molt angulosos, heteromètrics de mida mitjana de 2 a 5 cm amb màxims de fins a 20 cm. Localment poden disposar-se en passades horitzontals que mostren certa imbricació. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial caracteritzat per

un transport gravitatori del sediment en forma de petits *debris-flows* però en general es tracta d'un escolament difús en forma de làmina (*sheetflow*).

c) Gresos en capes de 0,1 a 0,4 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,41 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats és situa al voltant de 70% i el mineral majoritari és la calcita, encara que també hi ha certa presència de quars. L'estructura sedimentària característica d'aquest nivell és l'estratificació horitzontal que canvia a capes massives. Les capes mostren bioturbació per la vegetació i clasts molt angulosos surant dins el sediment sense cap tipus d'organització. S'hi observa una petita presència de llims. S'interpreta com un dipòsit col·luvial amb un transport poc actiu degut a la colonització per vegetació.

d) Gresos en capes de 0,4 a 1 m de potència composts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,43 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa pròxim al 70% i el mineral predominant és la calcita, amb presència de dolomita i quars. Aquest nivell presenta estratificació horitzontal canviant a estratificació encreuada de baix angle. Pot observar-se alguna estructura en forma de canal amb alguns clasts angulosos a l'interior que lateralment canvia a laminacions imbricades tot seguint el pendent del vessant. Presenta clasts angulosos a molt angulosos surant dins tot el nivell. Bioturbació per vegetació. Aquest nivell s'interpreta com un nou dipòsit col·luvial caracteritzat per un transport en forma de *debris-flows*

### **Tall B**

a) Conglomerat en capes de 0,3 a 1,8 m format per clasts arrodonits amb certa tendència a allargats, heteromètrics amb

unes mides mitjanes de 5 a 10 cm (màxims de 30 cm). Els clasts són majoritàriament fragments procedents de les dolomies triàsiques. En general els clasts es disposen suportats per la matriu però cap a la mar tendeixen a clast-suportats. Es mostren imbricats cabussant cap a la costa. La matriu està constituïda per arenas bioclàstiques amb presència de llims de color 10YR 7/6. El contingut en carbonats es situa al voltant de 75% i l'anàlisi mineralògica indica una predominança de la calcita amb presència de quars. Mostra estratificació encreuada cabussant cap a la mar amb cicles granodecreixents. Les capes superiors mostren certa estratificació horitzontal. Terra endins i cap a la part superior el contingut en llims de la matriu augmenta. La potència d'aquest conglomerat disminueix cap a la mar. S'hi observen fragments de gasteròpodes marins com *Persististrombus latus* característics de la fauna càlida del MIS 5e. Aquest nivell s'interpreta com una platja de còdols de la qual se pot observar la progradació de diferents bermes. Aquesta característica indica una progressiva regressió del nivell marí acompanyat d'un augment d'aportació sedimentaria terrígena a la zona de *backshore* representat per l'augment de llims terra endins.

b) Paleosòl de fins 0,3 m de potència constituït per llims vermellors de color 10YR 7/4. El contingut en carbonats es situa al voltant del 30% i els minerals predominants són el quars i la dolomita. Poden observar-se alguns clasts angulosos i també d'arrodonits procedents del nivell inferior. Aquesta capa de paleosòl va perdre potència cap a la mar fins a desaparèixer.

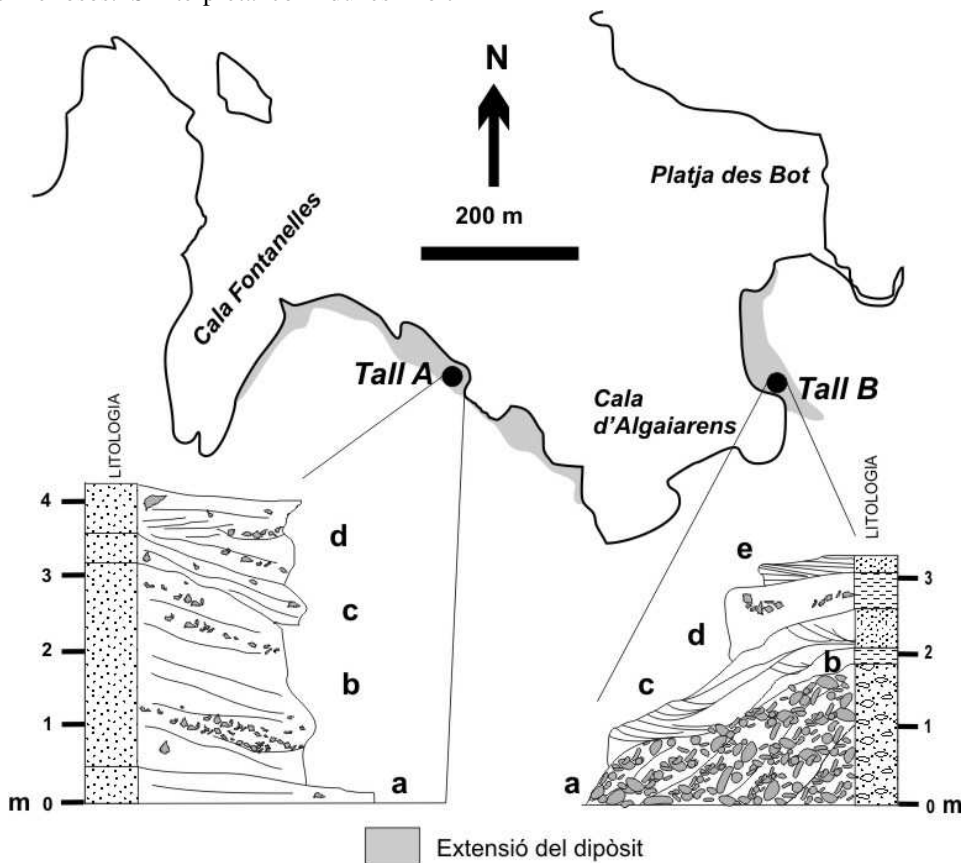
c) Gresos en capes de 0,2 a 0,4 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,38 mm i color



10YR 8/3. El contingut en carbonats és pròxim al 85% i el mineral predominant és la calcita. Aquest nivell presenta capes massives però localment se pot intuir certa estratificació encreuada. En general, mostra un alt grau de bioturbació per vegetació. Les capes mostren certa forma de falca als extrems i estan separades per una capa prima d'1 a 3 cm de potència de llims vermel·losos. S'interpreta com dunes molt

colonitzades per vegetació procedents de la costa.

d) Paleosòl de fins 0,3 a 0,5 m de potència constituït per llims vermel·losos de color 10YR 7/4. El contingut en carbonats es situa al voltant del 35% i els minerals predominants són el quars i la dolomita. Poden observar-se alguns clast angulars formant petites passades horitzontals o llienties.



**Fig. 6.** Localització dels tall estratigràfics representatius de la zona d'Algaiarens (veure localització a la Fig. 1, zona 4).

**Fig. 6.** Location of the main stratigraphical sections at Algaiarens (see location at Fig. 1, site 4).

e) Gresos en capes de fins a 0,25 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,37 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa pròxim al 90% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estratificació horitzontal amb laminació interna encreuada de baix angle amb una potència de 0,5 a 1 cm. Pot observar-se alguna petjada de *Myotragus*. Aquest nivell s'interpreta com dunes que procedien de la costa.

### **Ets Alocs (Menorca)**

Aquests dipòsits es situen en un tram de costa entre la cala del mateix nom i cala Calderer (Fig. 1). Consisteixen en afloraments d'uns pocs metres de potència que ocupen trams de costa de manera irregular d'entre 150 i 350 m longitud i que es disposen adossats a vessants molt inclinats o penya-segats. Els dipòsits formen un penya-segat quasi vertical d'uns 6 m d'altura amb una plataforma rocosa lleugerament inclinada cap a la mar d'uns 15 m d'amplada a la base. La costa es caracteritza per la presència de turons molt pròxims d'entre 100 i 150 m d'altura modelats per torrents de fins 400 m de longitud pràcticament rectilinis. En alguns casos els torrents s'encaixen dins els dipòsits quaternaris i formen una desembocadura penjada a uns pocs metres sobre el nivell de la mar. Les conques que alimenten aquests torrents tenen unes superfícies de 2 a 8 ha. El basament que constitueix aquestes conques és una alternança de capes plegades de 5 a 15 cm de gresos i llims amb un elevat grau d'esquistositat corresponents al Permià superior (Bourrouilh, 1983). Els dipòsits d'ets Alocs estan constituïts per potents capes de gresos amb algunes capes de bretxes intercalades. A continuació es

descriuen dos talls (A i B) corresponents a un dels afloraments més continu i complet de la zona (Fig. 7).

### **Tall A**

a) Gresos en capes de 0,3 a 1,5 m de potència que consisteixen en arenas bioclàstiques moderadament classificades amb una mida de gra mitjana de 0,31 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa al voltant del 70% i el mineral predominant és la calcita però també hi ha certa presència de quars. Presenta un aspecte massiu amb alguns clasts angulosos aïllats surant dins el sediment. Localment s'observa bioturbació per vegetació. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

b) Bretxes en capes de 0,1 a 0,25 m de potència constituïdes per clasts angulosos a molt angulosos, heteromètrics amb unes mides mitjanes de 4 a 10 cm i suportats per la matriu. Majoritàriament són fragments procedents de les capes de gresos del basament. La matriu està constituïda per llims vermellosos de color 10YR 7/4 amb cert contingut en arena bioclàstica que pot variar localment. El contingut en carbonats es situa pròxim al 26% i el mineral predominant és el quars. En general mostra un aspecte massiu i la presència de clasts pot variar de 5 a 20%. Localment pot mostrar certa estratificació horitzontal. S'interpreta com un dipòsit col·luvial.

c) Gresos en capes de 1 a 3 m de potència constituïdes per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,42 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa al voltant de 70% i el mineral predominant és la calcita. Les estructures sedimentàries característiques d'aquest nivell són l'estratificació horitzontal que lateralment canvia a estratificació encreuada de baix angle; capes massives canviant cap a laminació horitzontal i

laminació imbricada; puntualment estratificació encreuada en forma de canal i estructures en forma de canal massiu. Localment pot observar-se bioturbació per vegetació i clasts angulosos surant dins el sediment. També és possible observar petjades de *Myotragus*. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit transportat en general per una esorrentia difusa però que puntualment es concentrava formant canals. Algunes estructures com la laminació imbricada suggereixen intercalació de *debris-flows*.

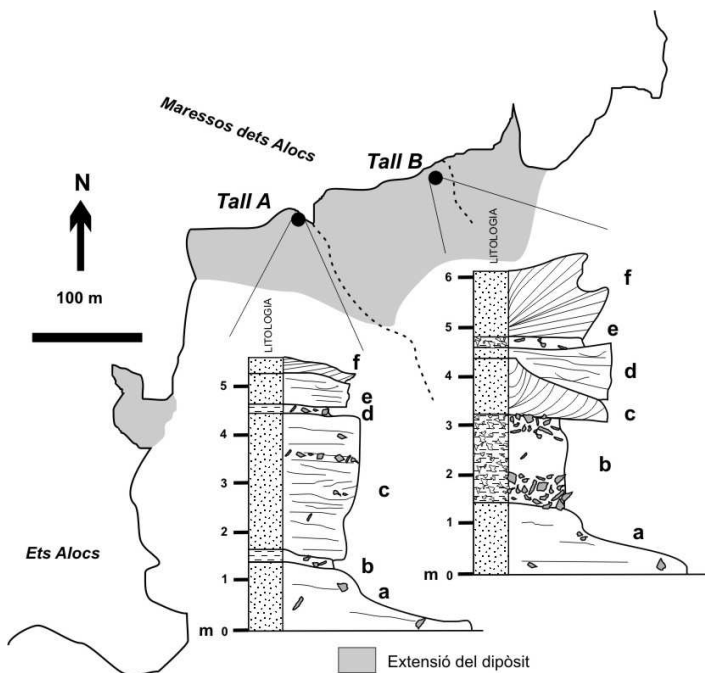
d) Bretxa en capes de 0,1 a 0,2 m de potència constituïda clasts angulosos, heteromètrics amb una mida mitjana de 4 a 10 cm i suportats per la matriu. Majoritàriament són fragments de les capes de gresos del basament. La matriu està composta de llims vermellosos color 10YR

7/4. El contingut en carbonats es situa al voltant de 22% i el mineral predominant és el quars. La presència de clasts en aquest nivell varia localment des de 2% a 20%. S'interpreta com un dipòsit col·luvial.

e) Gresos en capes de 0,25 a 0,7 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,39 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa pròxim a 70% i el mineral predominant és la calcita, així com també certa presència de quars. Mostra estratificació horitzontal que pot difuminar-se i canviar capes quasi massives amb alguna estructura en forma de canal massiu i bioturbació per vegetació. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport de forma difusa (*sheetflow*).

**Fig. 7.** Localització dels talls estratigràfics representatius de la zona dels Alocs (veure localització a la Fig. 1, zona 5).

**Fig. 7.** Location of the main stratigraphical sections at ets Alocs (see location at Fig. 1, site 5).



f) Gresos en capes de 0,1 a 0,25 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,38 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant de 85% i l'anàlisi mineralògic indica una predominança de la calcita. Presenta estratificació horitzontal canviant lateralment a estratificació encreuada de baix angle. Mostra bioturbació per vegetació, estructures de motlles d'arrels i petjades de *Myotragus*. És possible observar algunes estructures de dunes parabòliques en planta que indiquen una procedència de la costa. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 200°/23° S. Aquest nivell s'interpreta com eolianites.

#### **Tall B**

a) Gresos en capes de 0,2 a 1,5 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques moderadament classificades amb una mida de gra mitjana de 0,31 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa al voltant del 70% i el mineral predominant és la calcita però també hi ha certa presència de quars. Presenta un aspecte massiu amb alguns clasts angulosos aïllats surant dins el sediment. Localment s'observa bioturbació per vegetació i motlles d'arrels. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

b) Bretxes en capes de 0,25 a 1,9 m de potència constituïdes per clasts angulosos a molt angulosos, heteromètrics amb unes mides mitjanes de 5 a 10 cm, amb màxims de fins 20 cm i suportats per la matriu. Majoritàriament són fragments procedents de les capes de gresos del basament. La matriu està constituïda per llims vermellosos de color 10YR 7/4 amb cert contingut en arena bioclàstica. El contingut en carbonats es situa pròxim al 28% i el mineral predominant és el quars i

la dolomita. Presenta capes horitzontals massives que lateralment poden canviar a estratificació encreuada de baix angle. S'observa imbricació dels clasts. Mostra una capa inferior de bretxes amb matriu llimosa, a continuació una capa amb poca presència de clasts i matriu areno-llimosa i finalment una capa superior amb passades horitzontals de clasts amb matriu areno-llimosa. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit de vessant.

c) Gresos en capes de 0,5 a 1,5 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,36 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant 90% i el mineral predominant és la calcita. Mostra estratificació encreuada i bioturbació per vegetació. La direcció mitjana de cabussament de les capes és 195°/29° S. Aquest dipòsit s'interpreta com dunes que procedien de la costa.

d) Gresos en capes de 0,2 a 1 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,4 mm i color 10 YR 8/3. El contingut en carbonats és pròxim a 75% i el mineral predominant és la calcita tot i que hi ha certa presència de quars. Mostra capes amb estratificació horitzontal massives que poden canviar lateralment cap a estratificació encreuada de baix angle i encreuada en forma de canal. Pot aparèixer algun clast angulós surant dins el sediment. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport de forma difusa (*sheetflow*).

e) Bretxa en capes de 0,2 a 0,4 m de potència consistent en clasts angulosos a molt angulosos, heteromètrics amb una mida mitjana de 2 a 5 cm. Es disposen suportats per la matriu amb una presència de 20% que localment pot reduir-se fins a

la desaparició. El contingut en carbonats es situa al voltant del 30% i el mineral predominant és el quars. Presenta un aspecte massiu. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

f) Gresos en capes de 0,8 a 2 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,39 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa pròxim al 95% i el mineral predominant és la calcita. Aquest nivell mostra estructures d'estratificació horitzontal que lateralment canvia a estratificació encreuada de baix angle i estratificació encreuada. Localment presenta bioturbació per vegetació i motlles d'arrels. També presenta petjades de *Myotragus*. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 221°/30° S. S'interpreta com dunes que procedien de la costa.

### **Binimel·là (Menorca)**

Aquests dipòsits es situen al flanc est de la platja de Binimel·là (Fig. 1). En aquest tram de costa, d'uns 350 m de longitud, hi apareixen de manera molt irregular i altament erosionats petits dipòsits de sediments quaternaris. Al punt on s'hi observa una seqüència més completa consisteix en un petit aflorament en forma de dipòsits de vessant adossat a la desembocadura d'una conca de no més de 4 ha. Els relleus més pròxims no superen 75 m i es tracta de turons arrodonits constituïts per una alternança de capes plegades de 5 a 15 cm de gresos i llims amb un elevat grau d'esquistositat corresponents al Permià superior (Bourrouilh, 1983). Els dipòsits de Binimel·là estan constituïts majoritàriament per gresos amb la presència d'alguna capa de llims. S'han

realitzat dos talls (A i B) que es descriuen a continuació (Fig. 8).

### **Tall A**

a) Basament corresponent als gresos i llims del Permià superior formant un esglaó de fins a 1 m snm amb una estreta plataforma davant recoberta per una platja de graves i blocs de gresos quaternaris.

b) Gresos en capes de 0,4 a 1,8 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques moderadament classificades amb una mida de gra mitjana de 0,42 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa pròxim al 70% i el mineral predominants és calcita però també hi ha certa presència de quars. Presenta capes massives que lateralment canvien cap estratificació horitzontal i ondulada. S'observen algunes estructures en forma de canal massiu. Localment s'observa bioturbació per vegetació. Pot aparèixer alguna passada horitzontal de clasts molt angulosos. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial de vessant.

c) Paleosòl en capes no superiors a 0,3 m de potència constituït per llims vermellosos amb presència d'arena bioclàstica de color 10YR 7/4. El contingut en carbonats es situa al voltant de 42% i els minerals predominants són el quars i la calcita.

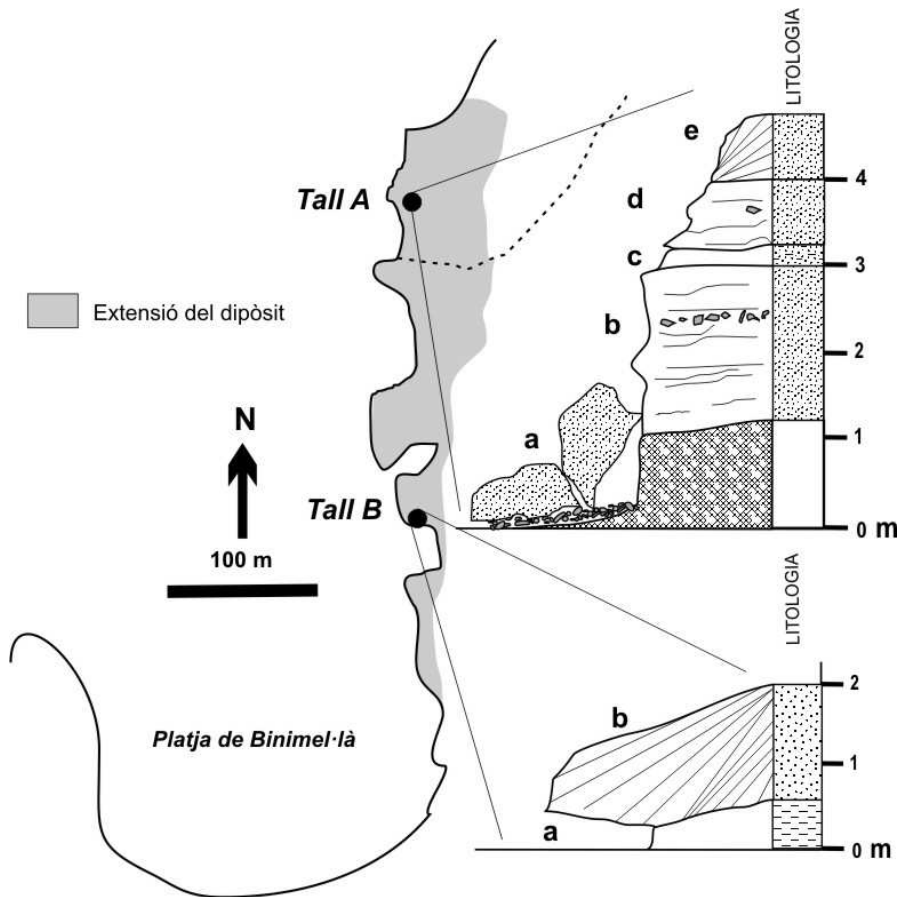
d) Gresos en capes de 0,4 a 0,7 m de potència consistents en arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,38 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa al voltant de 75% i el mineral predominant és la calcita. Mostra capes massives que lateralment poden canviar cap estratificació ondulada massiva i al grau de bioturbació per vegetació. Pot observar-se algun clast angulós aïllat surant dins el sediment. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial.

e) Gresos en capes de 0,2 a 0,8 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,33 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa pròxim al 90% i l'anàlisi mineralògica assenyalava la calcita com a mineral predominant. Les estructures sedimentàries característiques d'aquest nivell són l'estratificació encreuada de baix angle i l'estratificació encreuada. Presenta bioturbació per vegetació i motlles d'arrels. La direcció

mitjana del cabussament de les capes és  $110^{\circ}/24^{\circ}$  S. S'interpreta com eolianites.

**Tall B**

a) Paleosòl en capes de 0,2 a 0,5 m de potència constituït per llims vermellorsos de color 10YR 7/4. El contingut en carbonats es situa al voltant de 26% i el mineral predominant és el quars amb presència de dolomita. Conté certa presència d'arena bioclàstica.



**Fig. 8.** Localització dels talls estratigràfics representatius de la zona de Binimel·là (veure localització a la Fig. 1, zona 6).

**Fig. 8.** Location of the main stratigraphical sections at Binimel·là (see location at Fig. 1, site 6).

b) Gresos en capes de 0,5 a 1,5 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,32 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant del 90% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estratificació encreuada de baix angle canviant lateralment a estratificació encreuada cabussant cap a la costa amb els extrems disposats de forma asimptòtica. Es poden observar alguns motlles d'arrels sobre la seva superfície. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 145°/26° W. Aquest nivell s'interpreta com eolianites.

#### **Cavalleria – Cala Mica (Menorca)**

Aquests dipòsits estan emplaçats entre cala Mica i la platja de Cavalleria a la costa nord de Menorca (Fig. 1). Es tracta de dos petits dipòsits situats a la zona costanera més deprimida de dues conques. D'una banda el dipòsit de Cavalleria es disposa sobre un vessant formant un talús inclinat al flanc oest de la platja i per l'altra, el dipòsit de cala Mica es disposa sobre la costa en forma de petit ventall al flanc est de la cala. Les conques tenen unes superfícies de 5 a 8 ha i estan travessades per un torrent de no més de 400 m de longitud. Els relleus que delimiten les conques són turons arrodonits d'entre 50 i 60 m i estan constituïts per materials del Permià superior consistents en alternança de capes plegades de gresos i llims de 5 a 15 cm de potència (Bourrouilh, 1983). Els dipòsits quaternaris estan constituïts totalment per gresos. A continuació es fa una descripció dels dipòsits de la platja de Cavalleria i de cala Mica (Fig. 9).

#### **Tall platja de Cavalleria (PC)**

a) Gresos en capes de 0,4 a 0,9 m de potència constituïts per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra

mitjana de 0,43 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats és situa al voltant de 70% i el mineral predominant és la calcita. Aquest nivell mostra capes horitzontals massives que poden canviar a capes ondulades amb certa bioturbació per vegetació. S'interpreta com un dipòsit col·luvial.

b) Gresos en capes de 0,3 a 2 m de potència constituïts arenas bioclàstiques moderadament classificades amb una mida de gra mitjana de 0,4 mm i color 10YR 8/3. Hi ha certa presència de llims. El contingut en carbonats es situa al voltant de 65% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estratificació horitzontal que lateralment canvia a estratificació encreuada de baix angle o capes massives. Mostra bioturbació per vegetació i petjades de *Myotragus*. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport de forma laminar (*sheetflow*).

c) Gresos en capes de 0,1 a 0,25 m de potència formats per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,41 mm i color 10YR 8/3. El contingut en carbonats es situa pròxim al 85% i el mineral predominant és la calcita. Mostra estratificació horitzontal canviant cap estratificació encreuada de baix angle. Presenta un alt grau de bioturbació per vegetació. Aquest nivell s'interpreta com eolianites.

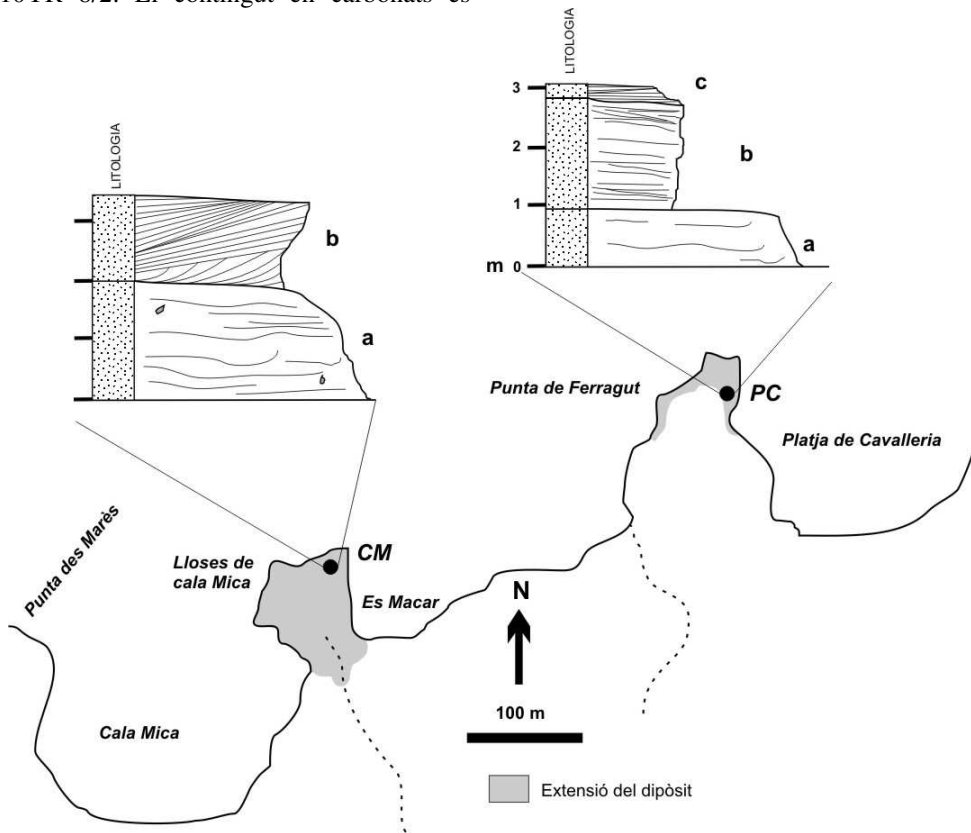
#### **Tall cala Mica (CM)**

a) Gresos en capes de 1 a 2 m de potència constituïdes per arenas bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,39 mm i color 10YR 8/4. Hi ha certa presència de llims. El contingut en carbonats és pròxim a 75% i el mineral predominant és la calcita. Les estructures sedimentàries característiques d'aquest nivell són les capes ondulades massives canviant lateralment cap

estratificació horitzontal o estructures en forma de lòbul. De forma local s'hi observa bioturbació per vegetació. També pot presentar algun clast angulós surant dins el sediment. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial caracteritzat per un transport laminar que pot concentrar-se formant petits *debris-flows* arenosos.

b) Gresos en capes de 0,8 a 1,5 m de potència consistents en arenes bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,38 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es

situa al voltant de 95% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estratificació horitzontal canviant cap estratificació encreuada de baix angle i estratificació encreuada. Les capes mostren laminació interna molt regular de 0,5 a 1 cm de potència. Certa bioturbació per vegetació a totes les capes i petjades de *Myotragus*. La direcció mitjana de cabussament de les capes és 93°/20° S. S'interpreta com dunes que procedien de la costa.



**Fig. 9.** Localització dels talls estratigràfics representatius de la zona de Cavalleria-Cala Mica (veure localització a la Fig. 1, zona 7).

**Fig. 9.** Location of the main stratigraphical sections at Cavalleria-Cala Mica (see location at Fig. 1, site 7).



### **Pedrera de sa Nitja (Menorca)**

Els dipòsits de la pedrera de sa Nitja se situen a una àmplia raconada flanquejada de penya-segats i costers entre la platja de Cavalleria i el port de sa Nitja (Fig. 1). Es tracta d'un dipòsit més o manco continu que ocupa un tram de costa rectilini d'uns 200 m de longitud. El dipòsit es disposa inclinat formant un dipòsit de vessant sobre un coster que assoleix fins a 36 m snm. Els materials que conformen el basament són dolomies amb una elevada presència de diàclasis de la fàcies Muscheskalk del Triàsic mitjà (Bourrouilh, 1983). L'explotació d'aquests dipòsits com a pedreres de marès ha permès l'exposició de diversos talls estratigràfics que mostren l'arquitectura dels cossos sedimentaris. Aquests dipòsits estan constituïts majoritàriament per gresos però també és possible observar algunes capes de bretxes. A continuació es descriuen els nivells d'un tall representatiu dels dipòsits de la pedrera de sa Nitja (Fig. 10):

a) Gresos en capes de 0,5 a 2,5 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,37 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa pròxim al 80% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estratificació horitzontal canviant cap estratificació encreuada de baix angle i puntualment alguna estructura en forma de canal massiu. Poden observar-se algunes passades de petits clasts angulosos amb una mida de fins 0,5 cm. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial caracteritzat per un transport sedimentari de manera laminar (*sheetflow*) de les aigües que rentaven el vessant i que localment es concentrava formant algun xaragall.

b) Gresos en capes de 0,3 a 1 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra

mitjana de 0,39 mm i color 10YR 8/4. Hi ha certa presència de llims. El contingut en carbonats es situa al voltant de 85% i el mineral predominant és la calcita. Mostra capes massives i amb estratificació horitzontal que poden canviar lateralment cap estratificació encreuada de baix angle i estructures en forma de canal. És possible observar estructures en planta sobre aquest nivell en forma de lòbul pendent avall que poden contenir clasts angulosos a molt angulosos amb una mida de 2 a 5 cm. També s'hi observen puntualment capes intercalades de brexa massiva d'un 0,25 m de potència constituïdes per clasts molt angulosos i suportats per la matriu. En general totes les capes poden mostrar clasts surant dins el sediment amb algun bloc de fins a 40 cm i bioturbació per vegetació. Els clasts procedeixen de les dolomies triàsiques. S'interpreta com un dipòsit col·luvial caracteritzat puntualment per un transport en forma de *sheetflow* però que en general hi predominen petits *debris-flow* arenosos.

### **Tirant – Fornells (Menorca)**

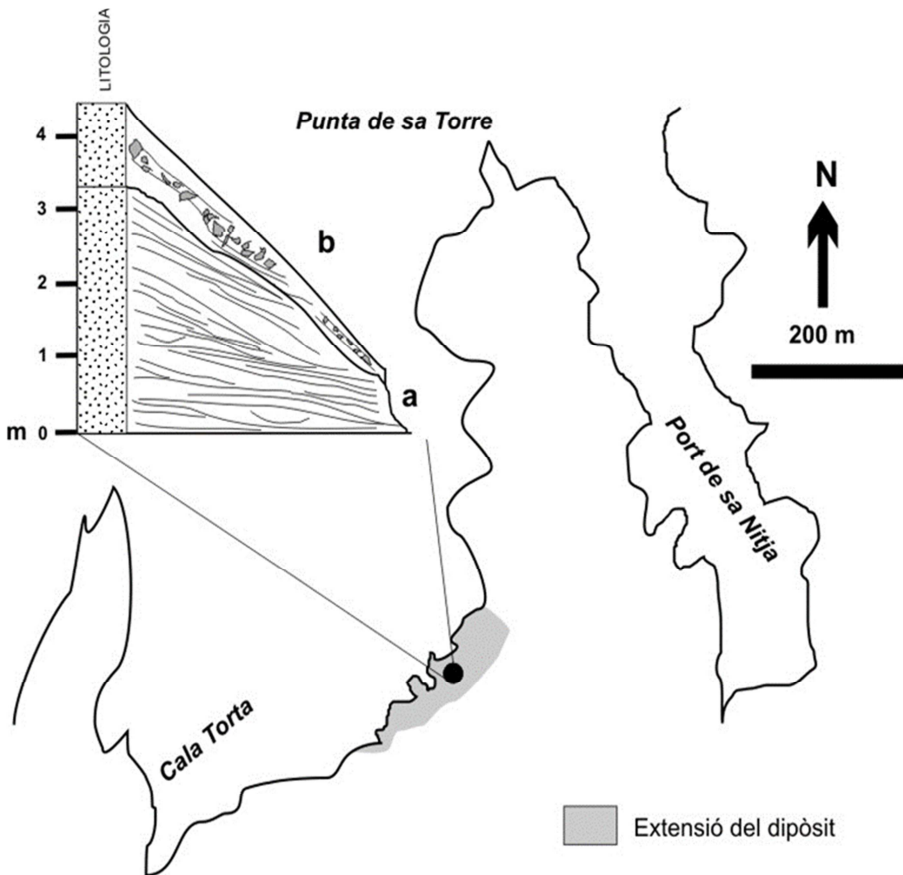
Els dipòsits que se presenten a continuació se situen a un tram de costa situat al centre de la costa nord menorquina, entre Fornells i cala Tirant (Fig. 1 i 11). Aquests dipòsits constitueixen la totalitat de la costa ocupant un tram de poc més de 1 km i formant petits penya-segats de fins a 7 m d'alçària i plataformes rocoses inclinades cap a la mar d'amplada variable. Es disposen ocupant les zones més deprimides de les conques i els vessants costaners, formant dipòsits de vessant o rebliments de vall. En aquesta zona està constituïda per una alineació de 9 petites conques amb superfícies que van des d'1 ha fins a 14 ha. Els relleus que delimiten les conques no superen els 100 m d'altura sobre el nivell

de la mar i estan constituïts per alternança de capes plegades de gresos i llims del Devonian inferior amb una elevada presència de diàclasis (Bourrouilh, 1983). Es tracta d'uns dipòsits constituïts bàsicament per gresos i bretxes amb alguna capa de conglomerat a la base. Juntament amb els dipòsits d'ets Alocs són els que presenten una estratigrafia més completa i contínua de

tots els dipòsits menorquins descrits en aquest treball.

A continuació es descriu un tall representatiu dels nivells que es poden observar a Tirant-Fornells (Fig. 11):

a) Platja de còdols actual que assoleix aproximadament 1,5 m snm i es disposa cobrint el nivell b.



**Fig. 10.** Localització del tall estratigràfic representatiu de la zona de la pedrera de sa Nitja (veure localització a la Fig. 1, zona 8).

**Fig. 10.** Location of the main stratigraphical section at sa Nitja quarry (see location at Fig. 1, site 8).

b) Conglomerat en capes de 0,1 a 0,2 m de potència constituïts majoritàriament per clasts arrodonits, heteromètrics, disposats suportats per la matriu amb tendència a clast-suportats, tendeixen a ser allargats amb un eix màxim de 10-20 cm. La matriu està constituïda per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,4 mm i color 10YR 7/6 amb certa presència de llims. El contingut en carbonats es situa al voltant de 70% i el mineral majoritari és la calcita. Poden aparèixer alguns clasts angulosos de no més de 5 cm. Localment els clasts poden estar imbricats i alineats pel seu eix major de manera paral·lela a la costa. Aquest nivell s'interpreta com un nivell de sedimentació costanera que assoleix entre 1,5 i 2 m snm i que Pomar (2016) atribueix al MIS 5e. Es tracta d'una platja de còdols de la qual es pot observar la seva zona subaèria (*backshore*) amb certa interferència terrígena.

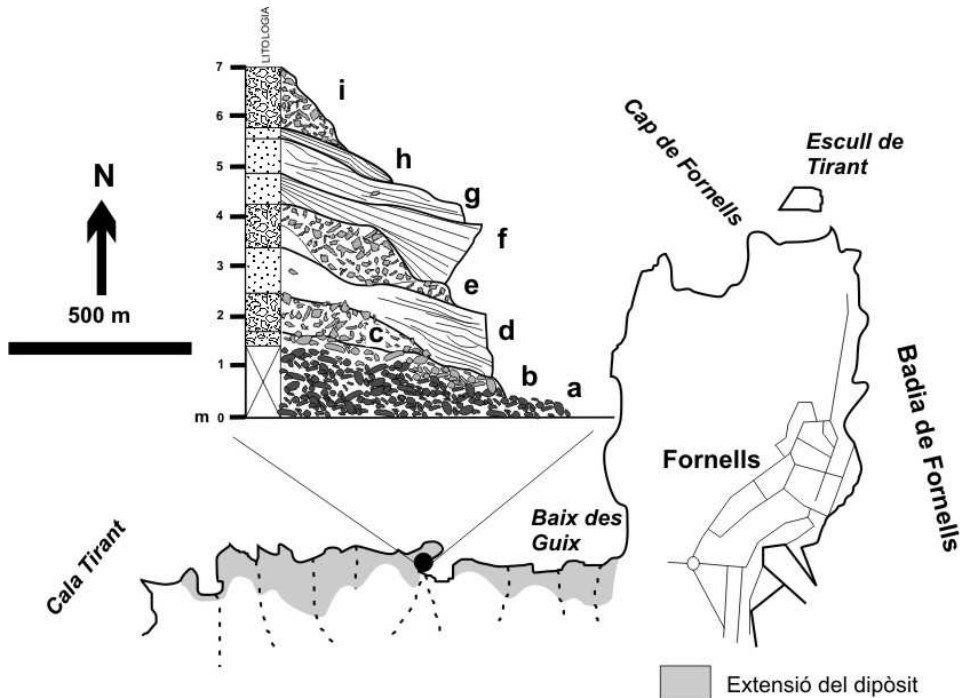
c) Bretxa en capes massives de 0,1 a 0,5 m de potència que localment pot arribar a 4 m composta per clasts angulosos i heteromètrics amb una mida mitjana de 5 a 10 cm. Localment presenten certa imbricació i en general es disposen suportats per la matriu. La matriu està constituïda per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,30 mm i color 10YR 7/6. Hi ha presència de llims. El contingut en carbonats es situa al voltant de 60% i els minerals predominats són el quars i els feldspats. L'aspecte general d'aquest nivell és massiu. Poden aparèixer restes de closques de gasteròpodes terrestres. S'interpreta com dipòsits de vessant.

d) Gresos en capes de 0,1 a 1,7 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques moderadament ben classificades amb una

mida de gra de 0,48 mm i color 10YR 7/4. El contingut en carbonats es situa al voltant de 70% i el mineral predominat és la calcita. Presenta un aspecte massiu que lateralment pot canviar a estratificació horitzontal, encreuada de baix angle i encreuada en forma de canal. Poden observar-se alguns clasts angulosos surant dins el sediment. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit col·luvial caracteritzat puntualment per un transport laminar (*sheetflow*).

e) Bretxes en capes de 0,5 a 1,6 m de potència compostes per clasts angulosos, heteromètrics, amb una mida mitjana de 5-8 cm i suportats per la matriu. La matriu està formada per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,41 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa pròxim al 70% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estructures en forma de canal reomplertes de bretxa massiva. La direcció de mitjana dels eixos dels canals és N-S. Aquest nivell s'interpreta com a dipòsits de *debris-flow*.

f) Gresos en capes de 0,5 a 1,5 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,43 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant de 90% i el mineral predominant és la calcita. Mostra estratificació encreuada amb una laminació de 2 a 5 cm de potència i disposades reomplint una superfície erosiva en forma de canal. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 190°/34° E. Aquest nivell s'interpreta com dunes que procedien de la costa i cobrien els dipòsits col·luvials. Les datacions que aporta Pomar (2016) en situen la deposició al voltant de 75 ka.



**Fig. 11.** Localització del tall estratigràfic representatiu de la zona de Tirant-Fornells (veure localització a la Fig. 1, zona 9)

**Fig. 11.** Location of the main stratigraphical section at Tirant-Fornells (see location at Fig. 1, site 9).

g) .Gresos en capes de 0,3 a 1 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,37 mm i color 10YR 8/4. El contingut en carbonats es situa al voltant de 60% i el mineral predominant és la calcita. Hi ha certa presència de llims. Presenta estratificació horitzontal amb una laminació de 0,5 a 1 cm de potència que pot canviar a estrats de fins a 20 cm i estructures en forma de canal. Tot el nivell mostra bioturbació per vegetació així com també alguns fragments de closques de bivalves. Pot aparèixer algun clast angulós surant dins el sediment. S'interpreta com un

dipòsit al·luvial caracteritzat per un transport de forma laminar (*sheetflow*).

h) Gresos en capes de 0,1 a 0,25 m de potència constituïts per arenes bioclàstiques moderadament ben classificades amb una mida de gra mitjana de 0,4 mm i color 10YR 8/2. El contingut en carbonats es situa al voltant del 95% i el mineral predominant és la calcita. Presenta estratificació encreuada canviant a estratificació encreuada en forma de canal. S'observa bioturbació per vegetació. La direcció mitjana del cabussament de les capes és 185°/20° E. S'interpreta com dunes que procedien de la costa. Les datacions

OSL realitzades en aquests nivells situen la deposició fa uns 60 ka (Pomar, 2016).

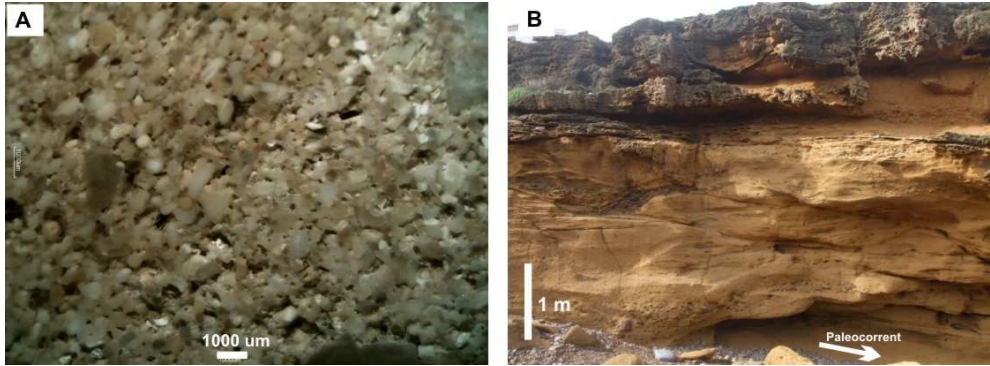
i) Bretxa en capes de 0,2 m a 1,2 m de potència constituïda per clasts angulosos a molt angulosos, heteromètrics de 5 a 10 cm i fins a 15 cm. La matriu està constituïda per arena bioclàstica amb una mida de gra mitjana de 0,41 mm i color 10YR 8/4. S'observa certa presència de llims. Els clasts es disposen en general suportats per la matriu però localment poden mostrar-se clast-suportats. El contingut en carbonats es situa al voltant de 80% i el mineral predominant és la calcita. Aquest nivell es presenta majoritàriament en capes horitzontals amb certa estratificació encreuada de baix angle, imbricació dels clasts i localment acumulacions de clasts en forma de llentia. Aquest nivell s'interpreta com un dipòsit de vessant caracteritzat per la combinació d'un transport de forma laminar i petits *debris-flows*.

## Discussió

Els resultats de l'anàlisi sedimentològica dels dipòsits els situa en el rang de les arenes mitjanes-gruixades ben classificades que indica una gran selecció coincident amb la produïda a ambients eòlics (Livingstone i Warren, 1996; Andreucci et al., 2009; Fornós et al., 2009; Tsoar i Pye, 2009). A més a més, la composició del sediment majoritàriament bioclàstica (Fig. 12A) així com un elevat contingut en calcita, pot indicar la procedència marina del sediment (Jaume i Fornós, 1992; Fornós i Ahr, 1997; Fornós et al., 2002; Fornós et al., 2009). Per altra banda, els resultats de l'anàlisi de les estructures sedimentàries posen de manifest una deposició caracteritzada majoritàriament per processos al·luvials i col·luvials (Fig. 12B).

Aquesta naturalesa es posa en evidència amb la presència d'abundants estructures sedimentàries com estratificacions horitzontals, encreuades de baix angle, encreuades en forma de canal, capes en forma de llentia i paleocanals. També és molt habitual observar contactes entre els distints nivells en forma de superfícies erosives ondulades o en forma de canal encaixat. Nombrosos nivells de bretxes o conglomerats es disposen en forma de capes massives o reomplint estructures en forma de canal. A més a més, s'han diferenciat dos grans grups d'afloraments; els situats al peu d'un front muntanyós o penya-segat generant formes semblants a rampes arenoses (*sand ramps*), o bé aquells que apareixen com a part dels ventalls al·luvials costaners, o com a dipòsits de vessant als flancs de turons o rebliments de vall. Les característiques sedimentàries així com també el context fisiogràfic de cada dipòsit estudiat, indiquen la interacció de diferents processos a les costes de les illes Balears. La successió de canvis en els sediments suggereix canvis en les condicions ambientals i, per tant en els processos geomorfològics que es produïen durant el Pleistocè (Thomas, 2013).

A partir de les dades que proporcionen diversos treballs que relacionen el registre sedimentari, l'evolució paleoclimàtica i la corba eustàtica de Mallorca durant el Pleistocè superior (Hearty et al., 1986; Hearty, 1987; Hillaire-Marcel et al., 1996; Vesica et al., 2000; Zazo et al., 2003; Nielsen et al., 2004; Tuccimei et al., 2006; Dorale et al., 2010; Fornós et al., 2012; Onac et al., 2012; Polyak et al., 2014) i de les datacions de nivells eòlics aportades a distints treballs de sedimentologia de dipòsits pleistocens (Fornós et al., 2009; Fornós et al., 2012; Pomar et al., 2013; Pomar, 2016), és possible establir la).



**Fig. 12.** Imatges en detall del sediment que constitueix els dipòsits d'interferència eòlic-al·luvial. **A:** Imatge en detall de lupa binocular d'una cara tallada i polida d'una mostra de sediment. S'observen majoritàriament grans bioclàstics de mida mitjana a grollera ben classificats. **B:** Vista en detall dels dipòsits exposats dins la desembocadura encaixada d'un torrent de la zona de Tirant-Fornells. Són abundants les estructures sedimentàries típicament al·luvials com l'estratificació encreuada de baix angle, l'estratificació encreuada en forma de canal, capes en forma de llentia, superfícies erosives ondulades i en forma de canal.

**Fig. 12.** Detailed images of eolian-alluvial interference sediments. **A:** Detailed image from binocular microscope of a cut and polished surface of a sample. Bioclastic medium to coarse well-sorted grains prevail. **B:** Detailed view of an exposed cliff within an incised ravine at Tirant-Fornells. Typical alluvial structures such as low angle cross stratification, trough cross stratification, lens-shaped layers, wavy and channel-shaped erosive surfaces are predominant.

cronologia climàtica i l'evolució ambiental de les àrees litorals de illes Balears durant el Pleistocè superior (Fig. 13).

Segons Pomar (2016), s'observen sis períodes d'activitat eòlica des de finals del MIS 6 al voltant de 136 ka i fins a la transició MIS 3/2 al voltant de 25 ka. Són períodes que es caracteritzen per unes condicions ambientals fredes i importants moments de regressió marina. Així per tant, els períodes de deposició eòlica semblen estar vinculats a períodes de nivell marí baix (Andreucci *et al.*, 2010; Fornós *et al.*, 2009; Pavelic *et al.*, 2011; Fornós *et al.*, 2012; Andreucci *et al.*, 2014; Pascucci *et al.*, 2014; Del Valle *et al.*, 2016). Durant aquests períodes grans extensions de bancs d'arena haurien quedat exposats a l'acció del vent sobre la zona costanera de la plataforma continental que envolta les illes. Durant intervals climàtics freds, la

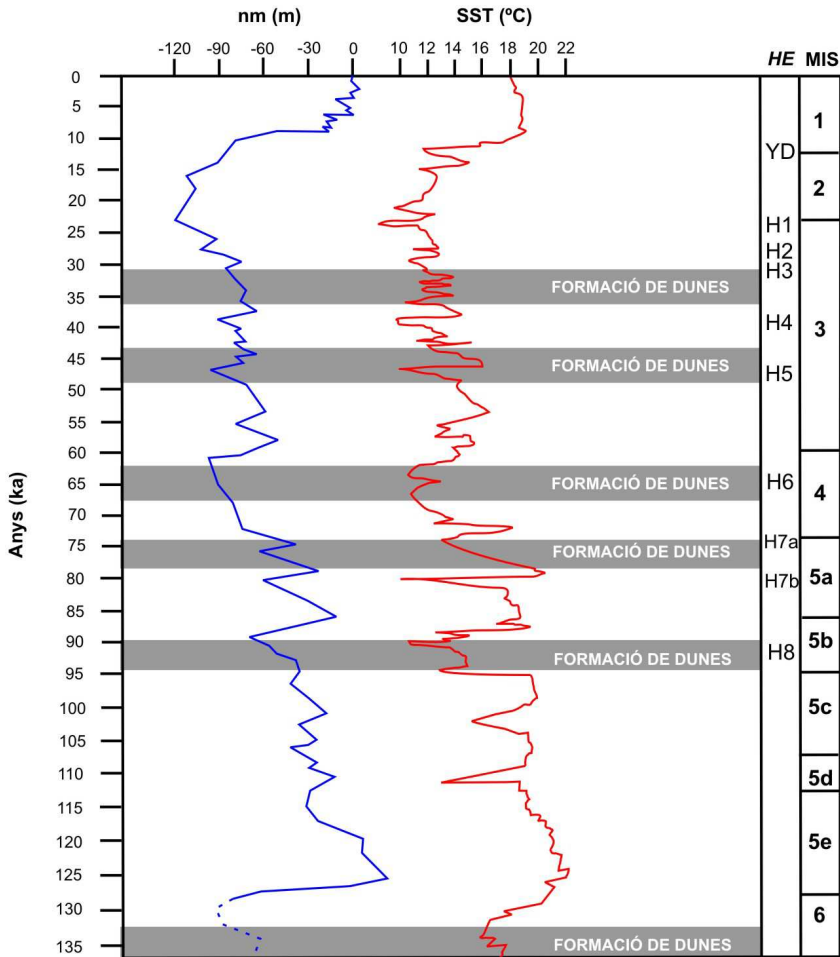
cobertura per vegetació hauria estat escassa cosa que hauria afavorit l'erosió per aigües d'escorrentia (Rose *et al.*, 1999); els vents probablement eren més forts i les dunes costaneres haurien pogut desplaçar-se terra endins avançant sobre els relleus de la zona o sobre la zona distal de ventalls al·luvials. Actualment el transport eòlic d'arena marina té lloc principalment durant l'hivern, moment en què la circulació general de l'oest és més intensa forçant el predomini de vents de component nord-oest amb velocitats mitjanes superiors a 8 m/s que es produeixen més d'un 10% de les vegades que es registren episodis ventosos (Servera, 1997; Puertos del Estado). Per tant, és possible entendre que unes condicions meteorològiques semblants foren les responsables del transport d'arena eòlica cap a terra durant els períodes freds del Pleistocè superior però amb algunes

particularitats que intensificarien els processos.

En general es considera que les èpoques fredes han estat períodes amb un ambient sec i dominat per processos eòlics (Livingstone i Warren, 1996; Bender, 2013). Segons les edats dels dipòsits eòlics recopilats als antecedents d'aquest treball, el transport d'arena eòlica va ser especialment important durant el MIS 5c/b, 4 i 3/2 (Fig. 13), provocant que extensos camps dunars cobrissin grans àrees costaneres al llarg del litoral de les illes Balears. Altres treballs de la zona del Mediterrani occidental indiquen que durant el darrer període glacial les costes estaven cobertes per camps dunars (Pascucci *et al.*, 2008; Andreucci *et al.*, 2010; Pavelic *et al.*, 2011; Andreucci *et al.*, 2014). D'aquesta manera, aquests resultats suggereixen un reforçament dels processos eòlics en grans zones del Mediterrani occidental durant els períodes freds. Les simulacions climàtiques apunten cap a una disminució de la influència de la circulació de l'oest durant períodes càlids com el MIS 5e, al contrari dels períodes de canvi cap un moment relativament fred que fa que la circulació de l'oest torni a reactivar-se al Mediterrani occidental (Moreno *et al.*, 2002; Kaspar *et al.*, 2007; Bardají *et al.*, 2009). A més a més, la intensificació de l'entrada de vents del nord-oest dins la Mediterrània occidental durant el canvi d'estadi càlid a estadi fred afavoreix la formació de tempestes que produeixen precipitacions intenses degut a les temperatures superficials de la mar relativament altes (Moreno *et al.*, 2002; Bardají *et al.*, 2009). Aquest escenari climàtic juntament amb la reducció de la cobertura vegetal associada a períodes freds i relativament àrids a la zona de la Mediterrània (Bout-Roumazeilles *et al.*, 2007) hauria afavorit d'una banda el transport eòlic i per l'altra el transport

al·luvial de sediments produït per les intenses precipitacions.

L'evolució ambiental pleistocena de les àrees litorals de les illes Balears es pot seguir segons el registre sedimentari des del darrer període interglacial (MIS 5,  $\pm 130$  ka), ja que s'han observat a algunes localitats estudiades diversos dipòsits de platja a la base de les seqüències per sobre del nivell marí actual atribuïbles a aquest període. Durant el MIS 5 hi hagué a les illes Balears dos períodes amb el nivell de la mar per damunt de l'actual; entre 2 i 3 m snm al MIS 5e i entre 1 i 1,5 m snm al MIS 5a (Hillaire-Marcel *et al.*, 1996; Tuccimei *et al.*, 2006; Dorale *et al.*, 2010; Polyak *et al.*, 2014). A partir d'aquí, la successió de diferents dipòsits al·luvials, col·luvials i eòlics es situen en gran part dins el darrer període glacial (MIS 4 i 3, 72-24 ka). Tot i ser un moment considerat en general fred, existeix una extensa bibliografia que parla de l'alternança de fluctuacions relativament càlides i fredes d'uns pocs milers d'anys (Bond *et al.*, 1999; Weaver, 1999; Schultz, 2002; Genty *et al.*, 2003; Rahmstorf, 2003; Hemming, 2004; Martrat *et al.*, 2004; Braun *et al.*, 2005; Sprovieri *et al.*, 2012; Incarbona *et al.*, 2013; Long i Stoy, 2013; Rabasa i Ponce, 2013). Fins a quatre períodes de caiguda sobtada de les temperatures anomenats *Heinrich events* (HE) es varen desenvolupar durant els MIS 4 i 3. Per altra banda, diverses fluctuacions d'uns 1.500 anys de durada d'escalfament i refredament abruptes anomenats *Dansgaard-Oeschger events* (DO) apareixen entre els *Heinrich events*. Tenint en compte el marc cronològic al qual s'insereixen aquest dipòsits, sembla que els períodes de deposició eòlica i de formació de dunes estaven relacionats amb els HE (Fig. 13). Els períodes de deposició al·luvial semblen relacionar-se amb les oscil·lacions *DO events* relativament més



**Fig. 13.** Períodes de deposició eòlica (franges grises) a les àrees litorals de les illes Balears des de finals del MIS 6 (140 ka) segons Pomar (2016). SST=Temperatura mitjana de la superfície de la mar (Martrat *et al.*, 2004), nm=Nivell marí (Siddall *et al.*, 2003), HE=Heinrich events, YD=Younger Dryas i la seva cronologia es basa en Seierstad *et al.* (2014).

**Fig. 13.** Periods of aeolian deposition (grey stripes) in coastal zones of the Balearic Islands since the end of MIS 6 (140 ka) based on Pomar (2016). SST=Sea Surface Temperature (Martrat *et al.*, 2004), nm=sea level (Siddall *et al.*, 2003), HE=Heinrich events, YD=Younger Dryas and their chronology is based on Seierstad *et al.* (2014).

càlides. Aquesta interpretació és consistent amb les simulacions climàtiques que apunten cap a una component estacional de fluctuacions a les temperatures provocant augment de les tempestes en els moments

de canvi d'estadi càlid a fred (Moreno *et al.*, 2002; Bardají *et al.*, 2009). A més a més, a altres zones de la Mediterrània occidental hi ha evidències d'alternança en els processos geomorfològics que actuaven



a les costes com a resposta a les fluctuacions DO *events* i HE (Pascucci et al., 2014). En aquest sentit, durant els períodes freds els camps dunars avançaven terra endins arribant a cobrir totalment les zones litorals més deprimides. Posteriorment, els processos eòlics disminueixen d'intensitat i es produeix un relatiu augment de les temperatures però amb un nivell marí encara baix. Aquest escenari genera períodes més humits caracteritzats per tempestes amb precipitacions intenses que generaren sobtades revingudes (*flashfloods*) capaces de desmantellar els camps dunars i incorporar el sediment eòlic als processos de sedimentació al·luvial. L'escassa vegetació afavoreix els processos d'erosió. Els resultats de l'anàlisi de fàcies suggereix que els processos al·luvials, col·luvials i eòlics s'anaven alternant condicionats per les fluctuacions climàtiques DO *events* i HE del Pleistocè superior. Finalment, al MIS 2/1 l'escalfament del clima i l'ascens de la mar fins al nivell actual produí una interrupció en els processos de sedimentació eòlica així com també la sedimentació al·luvial.

## Conclusions

Les illes Balears són un territori ric en dipòsits costaners que registren els canvis ambientals soferts durant el Pleistocè superior. Les localitats estudiades en aquest treball representen d'una banda en alguns casos la revisió d'algunes zones estudiades des de fa dècades, i per l'altra noves zones fins ara desconegudes. La bona exposició en penya-segats verticals amb diverses orientacions dels dipòsits estudiats ha afavorit una anàlisi de fàcies sedimentàries acurat que ha permès identificar diversos processos geomorfològics tals com: dipòsits

de sedimentació costanera com les platges representats per conglomerats i gresos; dipòsits de sedimentació col·luvial representats per bretxes i gresos; dipòsits de sedimentació al·luvial representats per conglomerats, bretxes i gresos i dipòsits de sedimentació eòlica representats per gresos. A més a més, l'anàlisi de composició que assenyalava uns dipòsits constituïts majoritàriament per arenes bioclàstiques, i l'anàlisi mineralògica una presència majoritària de calcita, indica la procedència marina de les arenes que constitueixen aquests dipòsits. Les estructures sedimentàries predominants a totes les localitats són les capes massives, l'estratificació horitzontal, l'estratificació encreuada de baix angle, l'estratificació encreuada en forma de canal i els contactes erosius en forma de canal, indicant processos de deposició típicament al·luvials.

L'evolució paleoambiental de les zones estudiades es situa cronològicament dins el Pleistocè superior. La presència de dipòsits de platja a la base d'algunes seqüències com ses Olles-Cap Enderrocat, Algaiarens o Tirant-Fornells a una alçada aproximada de 1,5 a 2 m snm situa l'inici de les seqüències sedimentàries al darrer període interglacial (MIS 5e). L'alternança de diferents processos sedimentaris identificats a través de l'anàlisi de fàcies i les edats de diversos nivells eòlics han mostrat com existeix una relació entre les fluctuacions climàtiques ocorregudes durant el Pleistocè superior i el paper jugat pel nivell marí. Durant períodes càlids amb un nivell marí alt han predominat els processos de sedimentació costanera, per altra banda, durant períodes freds amb un nivell marí baix els processos eòlics i la formació de dunes han estat l'ambient característic. Malgrat això, durant el darrer període glacial es succeeixen els cicles DO *events* i

HE (alternança de cicles de curta durada d'escalfament i refredament) que generaren períodes d'uns pocs milers d'anys amb temperatures relativament més càlides i temperatures més fredes. Durant els HE es produïa un reforçament dels processos eòlics; el nivell marí baix deixava exposat sobre la plataforma grans extensions d'arena marina que era transportada terra endins en forma de dunes. Aquest procés es veuria afavorit per una vegetació dispersa. Durant els DO *events* els processos al·luvials i col·luvials es reforçaven ja que un ambient relativament més càlid afavoria la formació de precipitacions intenses que generaven fortes revingudes. Aquestes aigües d'escorrentia eren capaces de desmantellar i retreballar el sediment eòlic de les dunes i incorporar-lo als processos de sedimentació al·luvial. Tot això era possible gràcies a que el nivell de la mar es mantenia baix durant el darrer període glacial. Per a finalitzar aquest treball cal fer una reflexió sobre la controvèrsia que pot generar classificar com eolianites qualsevol tipus de gres bioclàstic que trobam a les costes de les illes Balears ja que molts de dipòsits presenten unes estructures sedimentàries i una arquitectura que corresponen a acumulacions de tipus al·luvial-col·luvial.

## Agraïments

Aquest estudi ha estat realitzat gràcies al finançament del programa FPI-MICINN i forma part del projecte finançat pel MINECO CGL2010-18616 i CGL 2013-48441-P.

## Bibliografia

- Andreucci, S., Clemmensen, L.B., Murray, A.S. i Pascucci, V. 2010. Middle to late Pleistocene coastal deposits of Alghero, northwest Sardinia (Italy): Chronology and evolution. *Quaternary International*, 222: 3-16.
- Andreucci, S., Panzeri, L., Martini, P., Maspero, F., Martini, M. and Pascucci, V. 2014. Evolution i architecture of a West Mediterranean Upper Pleistocene to Holocene coastal apron-fan system. *Sedimentology*, 61: 333-361.
- Bardají, T., Goy, J.L., Zazo, C., Hillaire-Marcel, C., Dabrio, C.J., Cabero, A., Ghaleb, B., Silva, P.G. i Lario, J. 2009. Sea level and climate changes during OIS 5e in the Western Mediterranean. *Geomorphology*, 104: 22-37.
- Bateman, M.D., Bryant, R.G., Foster, I.D.L., Livignstone, I. i Parsons, A.J. 2012. On the formation of sand ramps: A case study from Mojave Desert. *Geomorphology*, 161-162: 93-109.
- Bender, M.L. 2013. *Paleoclimate*. Princeton University Press. 320 pp.
- Blikra, L.H. i Nemeç, W. 1998 Postglacial colluvium in western Norway: depositional processes, facies, and paleoclimatic record. *Sedimentology*, 45: 909-959.
- Bond, G.C., Showers, W., Elliott, M., Evans, M., Lotti R., Hajdas, I., Bonani, G. i Johnson, S. 1999. The North Atlantic's 1-2 kyr Climate Rhythm: Relation to Heinrich Events, Dansgaard-Oeschger Cycles and the Little Ice Age. In: Clark, P.U., Webb, R.S. i Keigwin, L.D. (Eds.). *Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales*. American Geophysical Union, Geophysical Monograph, 112: 35-58.
- Bourrouilh, R. 1983. *Estratigrafia, sedimentologia y tectónica de la isla de Menorca y del nordeste de Mallorca (Balears). La terminación nororiental de las cordilleras béticas en el Mediterráneo occidental*. IGME. Madrid. Colección memorias, 99. 672 pp.
- Bout-Roumazeilles, V., Combourieu, N., Peyron, O., Cortijo, E., Landais, A., i Masson-Delmotte, V. 2007. Connection between South Mediterranean climate and North African atmospheric circulation during the last 50,000 years BP North

Andreucci, S., Clemmensen, L.B., Murray, A.S. i Pascucci, V. 2010. Middle to late

- Atlantic cold events. *Quaternary Science Reviews*, 26: 3197-3215
- Braun, H., Christl, M., Rahmstorf, S., Ganopolski, A., Mangini, A., Kubatzki, C., Roth, K. i Kromer, B. 2005. Possible solar origin of the 1,470-year glacial climate demonstrated in a coupled model. *Nature*, 438: 208-211.
- Cuerda, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Dir. Gral. Cultura. Conselleria de Cultura, Educació i Esports, Govern Balear. 310 pp.
- Cuerda, J. 1987. *Moluscos marinos y salobres del pleistoceno balear*. Caja de Baleares "Sa Nostra". Palma. 420 pp.
- Cuerda, J. 1989. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. 2na edició. Dir. Gral. Cultura. Conselleria de Cultura, Educació i Esports, Govern Balear. 310 pp.
- Cuerda, J. i Sacarès, J. 1992. *El Quaternari al Migjorn de Mallorca*. Conselleria de Cultura, Educació i Esports. Dir. Gral. de Cultura. 130 pp.
- Cuerda, J. i Sacarès, J. 1962. Nuevos yacimientos cuaternarios marinos en el Levante de la Bahía de Palma. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 8: 77-80.
- Cuerda, J. i Sacarès, J. 1964. Nuevos yacimientos cuaternarios en la costa de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 10: 89-132.
- Del Valle, L., Gómez-Pujol, L.; Fornós, J.J.; Timar-Gabor, A., Anechitei-Deacu, V. i Pomar, F. 2016. Middle to Late Pleistocene dunefields in rocky coast settings at Cala Xuclar (Eivissa, Western Mediterranean): Recognition, architecture and luminescence chronology. *Quaternary International*, 407: 4-13.
- Dorale, J.A., Onac, P.B., Fornós, J.J., Ginés, J., Ginés, A., Tuccimei, P. i Peate, D.W. 2010. Sea-level Highstand 81,000 Years Ago in Mallorca. *Science*, 327: 860-863.
- Fornós, J.J., Bromley, R.G., Clemmensen, L.B. i Rodríguez-Perea, A. 2002. Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (*Artiodactyla*, *Caprinae*) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180: 277-313.
- Fornós, J.J., Clemmensen, L.B., Gómez-Pujol, L. i Murray, A. 2009. Late Pleistocene carbonate aeolianites on Mallorca, Western Mediterranean: a luminescence chronology. *Quaternary Science Reviews*, 28: 2697-2709.
- Fornós, J.J., Clemmensen, L.B., Gómez-Pujol, L., Ginés, A. i Ginés, J. 2012. Pleistocene eolianites and low sea levels. In: Ginés, A., Ginés, J., Gómez-Pujol, L., Onac, B.P. i Fornós, J.J. (Eds.). *Mallorca: A Mediterranean benchmark for Quaternary studies*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18: 85-110.
- Fornós, J.J. i Ahr, W.M. 1997. Temperate carbonates on a modern, low-energy, isolated ramp: The Balearic platform, Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 67: 364-373.
- Genty, D., Blamart, D., Ouahdi, R., Gilmour, M., Baker, A., Jouzel, J. i Van-Exter, S. 2003. Precise dating of Dansgaard-Oeschger climate oscillations in western Europe from stalagmite data. *Nature*, 421: 833-837.
- Gómez-Pujol, L. 1999. Sedimentologia i evolució geomorfològica quaternària del ventall al·luvial des Caló (Betlem, Artà, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 107-124.
- Gómez-Pujol, L., Fornós, J.J., Pope, R.J. i Clemmensen, L.B. 2008. Los abanicos aluviales litorales del NE de Mallorca: morfometría y arquitectura de facies. In: Benavente, J. i Gracia, F.J. (Eds.). *Trabajos de Geomorfología en España, 2006-2008*. SEG, Cádiz: 343-436.
- Harvey, A.M. 1987. Dissected alluvial fans in southeast Spain. *Catena*, 5: 177-211.
- Harvey, A.M. 2002. The role of base-level change in the dissection of alluvial fans: case studies from southeast Spain and Nevada. *Geomorphology*, 45: 67-87.
- Harvey, A.M. 2011. Dryland alluvial fans. In: Thomas, D.S.G. (Ed.). *Arid zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands*. John Wiley and Sons. 3a edició: 333-371.

- Harvey, A.M., Silva, P.G., Mather, A.E., Goy, J.L., Stokes, M. i Zazo, C. 1999. 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.
- Hearty, P.J. 1987. New data on the Pleistocene of Mallorca. *Quaternary Science Reviews*, 6: 245-257.
- Hearty, P.J.; Miller, G.H.; Stearns, C.E. i Szabo, B.J. 1986. Aminostratigraphy of Quaternary shorelines in the Mediterranean basin. *Geological Society of America Bulletin*, 97: 850-858.
- Hemming, S.R. 2004. Heinrich Events: Massive Late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint. *Review of Geophysics*, 42. RG1005, doi:10.1029/2003RG000128
- Henningsen, D. 1990. Quärtäre kalkige Äolianite von N-Menorca (Balearen, westliches Mittelmeer). *Eiszeitalter und Gegenwart*, 40: 120-125.
- Hillaire-Marcel, C.; Gariépy, C.; Ghaleb, B.; Goy, J.L.; Zazo, C. i Cuerda, J. 1996. U-series measurements in thyrronian deposits from Mallorca-Further evidence for two last-interglacial high sea level in the Balearic Islands. *Quaternary Science Reviews*, 15: 53-62.
- IGME. 1991a. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja 672. Artà.
- IGME. 1991b. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja 724. Lluçmajor.
- Incarbona, A., Sprovieri, M., Di Stefano, A., Di Stefano, E., Savagio Manta, D., Pelosi, N., Ribera d'Alcalà, M., Sprovieri, R. i Ziveri, P. 2013. Productivity modes in the Mediterranean Sea during Dansgaard-Oeschger (20,000-70,000yr ago) oscillations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 392: 128-137.
- Jaume, C. i Fornós, J.J. 1992. Composició i textura dels sediments de paltja del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 93-110.
- Kaspar, F., Spanghehl, T. i Cubasch, U. 2007. Northern Hemisphere winter storm tracks of the Eemian interglacial and the last glacial inception. *Climate of the past*, 3: 181-192.
- Lancaster, N. i Tchackarian, V.P. 1996. Geomorphology and sediments of sand ramps in the Mojave Desert. *Geomorphology*, 17: 151-165.
- Livingstone, I. i Warren, A. 1996. *Aeolian geomorphology: an introduction*. Addison-Wesley Longman, Harlow. 211 pp.
- Long, J.A. i Stoy, P.C. 2013. Quantifying the periodicity of Heinrich and Dansgaard-Oeschger events during Marine Oxygen Isotope Stage 3. *Quaternary Research*, 79: 413-423.
- Macklin, M.G., Fuller, I.C., Lewin, J., Maas, G.S., Passmore, D.G., Rose, J., Woodward, J.C., Black, S., Hamlin, R.H.B. i Rowan, J.S. 2002. Correlation of fluvial sequences in the Mediterranean basin over the last 200 ka and their relationship to climate change. *Quaternary Science Reviews*, 21: 1633-1641.
- Martrat, B., Grimalt, J.O., López-Martínez, C., Cacho, I., Sierro, F.J., Flores, J.A., Zahn, R., Canals, M., Curtis, J.H. i Modell, D.A. 2004. Abrupt temperature changes in the Western Mediterranean over the past 250,000 years. *Science*, 306: 1762-1765.
- Massari, F. i Parea, G.C. 1988. Progradational gravel beach sequences in a moderate-to-high-energy, microtidal marine environment. *Sedimentology*, 35: 881-913.
- Mercadal, B. 1960. El Tirreniense en la costa Norte de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 6: 73-74.
- Mercadal, B.; Villalta, J.F.; Obrador, A. i Rosell, J. 1970. Nueva aportación al conocimiento del Cuaternario menorquín. *Acta Geológica Hispánica*, 5 (4): 89-93.
- Miall, A.D. 1996. *The Geology of Fluvial deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer. 582 pp.
- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Prins, M.A., Sanchez-Goñi, M.F., Grimalt, J.O. i Weltje, G.L. 2002. Saharan dust transport and high-latitude glacial climatic variability: the Alboran Sea record. *Quaternary Research*, 58: 318-328.
- Nemec, W. i Kazanci, N. 1999. Quaternary colluvium in west-central Anatolia:

- sedimentary facies and paleoclimatic significance. *Sedimentology*, 46: 139-170.
- Nielsen, K.A., Clemmensen, L.B. i Fornós, J.J. 2004. Middle Pleistocene magnetostratigraphy and susceptibility stratigraphy: data from a carbonate aeolian system, Mallorca, Western Mediterranean. *Quaternary Science Reviews*, 23: 1733-1756.
- Onac, B.P., Ginés, A., Ginés, J., Fornós, J.J. i Dorale, J.A. 2012. Late Quaternary sea level history: a speothem perspective. In: Ginés, A., Ginés, J., Gómez-Pujol, L., Onac, B.P., Fornós, J.J. (Eds.). *Mallorca: A Mediterranean benchmark for Quaternary studies*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18: 147-162.
- Pascucci, V., Andreucci, S., Clemmensen, L., Fanelli, F., Ibba, A., Zucca, C. i Madrau, S. 2008. La successione tardo quaternario della Sardegna Settentrionale: implicazioni paleogeografiche e paleoclimatiche. *84 Congresso Nazionale*. Società Geologica Italiana. Sassari 15-17 Settembre 2008. Escursione E04.
- Pascucci, V., Sechi, D. i Andreucci, S. 2014. Middle Pleistocene to Holocene coastal evolution of NW Sardinia (Mediterranean sea, Italy). *Quaternary International*, 328-329: 3-20.
- Pavelic, D., Kovacic, M., Vlahovic, I. i Wacha, L. 2011. Pleistocene calcareous aeolian-alluvial deposition in a steep relief karstic coastal belt (island of Hvar, eastern Adriatic, Croatia). *Sedimentary Geology*, 239: 64-79.
- Picard, M.D. i High, L.R. 1973. *Sedimentary structures of ephemeral streams*. Developments in Sedimentology, 17. Elsevier. Amsterdam. 223 pp.
- Polyak, V.J.; Onac, B.P.; Fornós, J.J.; Dorale, J.A. i Tuccimei, P. 2014. Evidence for stable sea-level during Marine Isotope Stage 5e of the Last Interglacial from the Western Mediterranean. AGU meeting, San Francisco 14-15 desembre.
- Pomar, F. 2016. *Arquitectura i fàcies deposicionals de la interferència entre sedimentació al·luvial, col·luvial i eòlica a les Illes Balears durant el Pleistocè superior: implicacions paleoclimàtiques*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 377 pp.
- Pomar, L. i Cuerda, J. 1979. Los depósitos marinos pleistocénicos en Mallorca. *Acta Geológica Hispánica. Homenatge a Lluís Soler i Sarabaris*, 14: 505-513.
- Pomar, L., Esteban, M., Calvet, F. i Barón, A. 1983. La unidad arrecifal del Mioceno superior de Mallorca. In: Pomar, L.; Obrador, A.; Fornós, J.J.; Rodríguez-Perea, A. (Eds.). *El Terciario de las Baleares (Mallorca-Menorca)*. Guía de las excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología: 139-175.
- Pomar, F., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L. i Del Valle, L. 2013. El Pleistoceno superior de la zona de Tirant-Fornells (Norte de Menorca, Illes Balears): un modelo de interacció eòlica y al·luvial. In: Flor, G.; Flor-Blanco, G.; Pando González, L.A. (Eds.). VII Jornadas de Geomorfología Litoral, Oviedo. *Geo-Temas*, vol. 14: 123-126.
- Pomar, F., Del Valle, L., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. 2015a. Registro sedimentario litoral del Pleistoceno en las Islas Baleares (Mediterráneo occidental): implicaciones paleoclimáticas. VIII Jornadas de Geomorfología Litoral *GeoTemas* Vol. 15: 65-68.
- Pomar, F., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L. i Del Valle, L. 2015b. Interferència entre sedimentació eòlica i al·luvial. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 58: 127-157.
- Pope, R. J.J. i Wilkinson, K.N. 2005. Reconciling the roles of climate and tectonics in Late Quaternary fan development on the Spartan piedmont, Greece. In: Harvey, A.M., Mather, A.E. i Stokes, M. (Eds.). *Alluvial fans. Geomorphology, Sedimentology, Dynamics*. Geological Society, London, Special Publications, 251: 133-152.
- Puertos del Estado. 2016. <http://www.puertos.es/ca-es/oceanografia/Pagines/portus.aspx>
- Rabasa, J. i Ponce, J.F. 2013. The Heinrich and Dansgaard-Oeschger climatic events during Marine Isotopic Stage 3: Searching for appropriate times for human colonization of

- the Americas. *Quaternary International*, 299: 94-105.
- Rahmstorf, S. 2003. Timing of abrupt climatic change: A precise clock. *Geophysical Research Letters*, 30: 1-4.
- Rodríguez-Perea, A. 1998. Ventalls al·luvials i sistemes dunars a Betlem (Artà, Mallorca). In: Fornós, J.J. (Ed.): *Aspectes Geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*. UIB: 169-189.
- Rose, J. i Meng, X. 1999. River Activity in Small Catchments over the Last 140 ka, North-east Mallorca, Spain. In: Brown, A.G. i Quine, T.A. (Eds.). *Fluvial Processes and Environmental Change*. John Wiley & Sons Ltd: 91-102.
- Rose, J., Meng, X. i Watson, C. 1999. Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, London., 156: 435-448.
- Schultz, M. 2002. On the 1470-year pacing of Dansgaard-Oescher warm events. *Paleoceanography*, 17: 1-9.
- Seierstad, I.K., Abbott, P.M., Bigler, M., Blunier, T., Bourne, A.J., Brook, E., Buchardt, S., Buizert, C., Clausen, H.B., Cook, E., Dahl-Jensen, D., Davies, S.M., Guillevic, M., Johnsen, S.J., Pedersen, D.S., Popp, T.J., Rasmussen, S.O., Severinghaus, J.P., Svensson, A. i Vinther, B.M. 2014. Consistently dated records from the Greenland GRIP, GISP2 and NGRIP ice cores for the past 104 ka reveal regional millennial-scale  $\delta^{18}O$  gradients with possible Heinrich event imprint. *Quaternary Science Reviews*, 106: 29-46.
- Servera, J. 1997. *Els sistemes dunars litorals de les illes Balears*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 904 pp.
- Siddall, M., Rohling, E.J., Almogi-labin, A., Hemleben, CH., Melschner, D., Schmelzer, I. i Smeed, D.A. 2003. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, 423: 853-858.
- Sprovieri, M., Di Stefano, E., Incarbona, A., Savagio Manta, D., Pelosi, N., Ribera d'Alcalà, M. i Sprovieri, R. 2012. Centennial-to millennial-scale climate oscillations in the Central-Eastern Mediterranean Sea between 20,000 and 70,000 years ago: evidence from high-resolution geochemical and micropaleontological record. *Quaternary Science Reviews*, 46: 126-135.
- Stow, D.A.V. 2006. *Sedimentary Rocks in the Field. A Color Guide*. Academic Press. London. 320 pp.
- Thomas, D.S.G. 2013. Reconstructing paleoenvironments and paleoclimates in drylands: what can landform analysis contribute? *Earth Surface Processes and Landforms*, 38: 3-16.
- Tsoar, H. i Pye, K. 2009. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 458 pp.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Delitala, M.C., Ginés, A., Gràcia, F., Fornós, J.J. i Taddeucci, A. 2006. Last interglacial sea level changes in Mallorca island (Western Mediterranean). High precision U-series data from phreatic overgrowths on speleothems. *Zeitschrift für geomorphologie*, 50 (1): 1-21 NF.
- Vesica, P.L., Tuccimei, P., Turi, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Ginés, J. 2000. Late Pleistocene paleoclimates and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems, Mallorca, Spain. *Quaternary Science Reviews*, 19: 865-879.
- Vicens, D. 2009. Registre paleontològic a jaciments litorals del Pleistocè superior a la península d'Artà: Artà (Mallorca, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 61-80.
- Vicens, D. 2012. Els jaciments de platja pleistocens entre el cap Ferrutx i cala Torta (Mallorca, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 54: 163-173.
- Vicens, D. 2015. *EL registre paleontològic dels dipòsits litorals quaternaris a l'illa de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental)*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 1011 pp.
- Vicens, D. i Gràcia, F. 1998. Aspectes paleontològics i estratigràfics del Plistocè superior de Mallorca. In: Fornós, J.J. (Ed.). *Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*. UIB: 192-220.

- Vicens, D. i Gràcia, F. 1988. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior en la playa de sa Font Salada (Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 32: 33-46.
- Weaver, A.J. 1999. Millennial Timescale Variability in Ocean/Climate Models. In: Clark, P.U., Webb, R.S. i Keigwin, L.D. (Eds.). *Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales*. American Geophysical Union. Geophysical Monograph, 112: 285-300.
- White, K., Drake, N., Millington, A. i Stokes, S. 1996. Constraining the timing of alluvial fan response to Late Quaternary climatic changes, southern Tunisia. *Geomorphology*, 17: 295-304.
- Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Bardají, T., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., González-delgado, J.A. i Soler, V. 2003. Pleistocene raised marine terraces of the Spanish Mediterranean and Atlantic coasts: records of coastal uplift, sea-level highstands and climate changes. *Marine Geology*, 194: 103-133.