

# Las eolianitas cuaternarias de Menorca y los depósitos asociados

Francesc Pomar<sup>1</sup>, Joan J. Fornós<sup>1</sup>, Lluís Gómez-Pujol<sup>1,2</sup> y Laura del Valle<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grup de Ciències de la Terra “Geologia i Paleontologia Guillem Colom”. Universitat de les Illes Balears, Palma.

<sup>2</sup> ICTS SOCIB, Sistema de Observación y Predicción Costera de las Islas Baleares (MINECO-CAIB), Palma.

## RESUMEN

Las eolianitas son depósitos de areniscas de composición carbonatada que se desarrollaron en un ambiente de sedimentación eólico costero durante el Pleistoceno. Son depósitos muy abundantes alrededor del mundo, sobretudo en litorales de las latitudes medias y bajas. Una de las principales zonas, el Mediterráneo occidental, concentra importantes depósitos pleistocenos con excepcionales secuencias de eolianitas, depósitos coluviales y aluviales y depósitos de playa. Dentro del Mediterráneo, Menorca es una de las localizaciones destacadas en la cual abundan afloramientos costeros alrededor de la isla, constituidos mayoritariamente por niveles de deposición eólica con intercalaciones de depósitos de abanico aluvial-coluvial y algunos paleosuelos. Estas secuencias se sitúan cronológicamente entre el Pleistoceno medio y superior. El sedimento que constituye las eolianitas son arenas carbonatadas con un tamaño de grano de medio a grueso bien clasificadas con una elevada presencia de bioclastos. Por otra parte, los depósitos pleistocenos de Menorca se agrupan en dos ambientes deposicionales distintos: las eolianitas adosadas al frente de acantilados compuestas por secuencias dunares y algún nivel coluvial intercalado; y los depósitos de interferencia eólico-aluvial compuestos por secuencias de abanico aluvial que tienen la particularidad de estar constituidas por el sedimento eólico de dunas desmanteladas por aguas de escorrentía. La alternancia de depósitos eólicos y coluviales-aluviales responde a la variabilidad climática y a los cambios glacioeustáticos ocurridos durante el Pleistoceno. En este sentido, las cronologías más modernas realizadas mediante OSL y <sup>14</sup>C, sitúan la deposición eólica durante períodos fríos y áridos y de niveles marinos bajos. Estos son momentos en los cuales la plataforma continental queda expuesta dejando grandes bancos de arena preparados para ser transportados por el viento hacia la costa. Durante los períodos relativamente más cálidos y húmedos predominaba la deposición coluvial y aluvial.

**Palabras clave:** Eolianita, depósito coluvial, interferencia eólico-aluvial, nivel marino, Pleistoceno, OSL, Menorca, Islas Baleares

## ABSTRACT

Aeolianites are carbonate sandstone deposits developed in a coastal sedimentation environment during the Pleistocene. They are very common deposits around the world, mainly in littoral areas of mid-low latitudes. One of the main zones, the Western Mediterranean, concentrates important Pleistocene deposits with exceptional sequences of aeolianites, colluvial and alluvial deposits and beach deposits. One of the outstanding locations within the Mediterranean is Menorca, where there are many coastal outcrops consisting mainly of levels of aeolian deposition with interbedded alluvial-coluvial fan deposits and some paleosols. These sequences are chronologically placed at Middle to Upper Pleistocene. The sediment that constitutes the aeolianites is fairly well-sorted carbonate medium to coarse sands, with a high content of bioclasts. Moreover, Pleistocene deposits of Menorca are grouped into two different depositional environments: cliff-front aeolianites composed of dune sequences and some interbedded colluvial levels; and aeolian-alluvial interference deposits consisting of alluvial fan sequences which have the particularity of being constituted by aeolian sediment from dismantled dunes by runoff. The alternating aeolian and colluvial-alluvial deposits, responds to climatic variability and glacioeustatic sea level changes occurred during the Pleistocene. In this sense, modern chronologies set up by means of OSL and radiocarbon dating techniques, place aeolian deposition during cold and arid climatic periods and low sea levels. The characteristic environment of these periods was the continental shelf exposed leaving extensive surfaces covered by sand prepared to be wind-blown inland. During the relatively warmer and wetter periods, colluvial and alluvial deposition predominated.

**Keywords:** Aeolianite, colluvial deposit, aeolian-alluvial interference, sea level, Pleistocene, OSL, Menorca, Balearic Islands

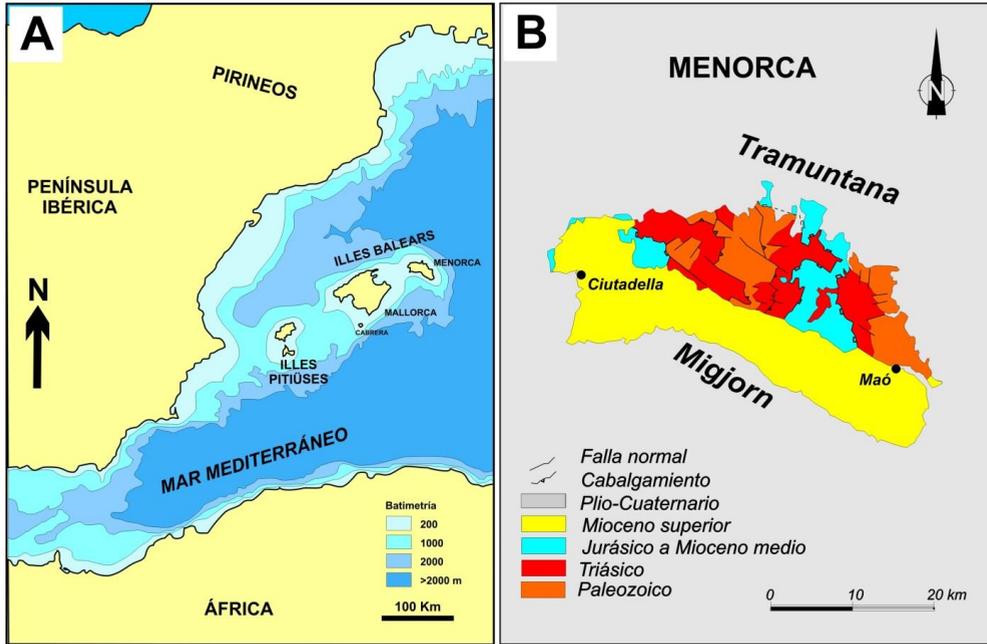
## 1 | Introducción

Las eolianitas son depósitos eólicos litificados y preservados mayoritariamente en forma de areniscas de composición carbonatada, los cuales se forman en zonas costeras bajas cercanas a latitudes entre 55° y 45° de ambos hemisferios, donde hay un relativo predominio de vientos constantes y un clima templado. Se suelen relacionar con zonas de plataforma marina subtropical-tropical (Tucker y Wright, 1990) o templada (James y Clarke, 1997) y con una producción de carbonatos abundante. Se han descrito importantes afloramientos en áreas mediterráneas, Sudáfrica, Australia meridional y en las costas del mar Caribe (Brooke, 2001).

Las eolianitas son uno de los depósitos más característicos de las secuencias sedimentarias del Pleistoceno (Abegg *et al.*, 2001; Brooke, 2001; Fornós *et al.*, 2002b; Nielsen *et al.*, 2004; Radies *et al.*, 2004; Sivan y Porat, 2004; Munyikwa, 2005; Andreucci *et al.*, 2010, 2014; Fornós *et al.*, 2009; Brooke *et al.*, 2014; Faust *et al.*, 2015; Del Valle *et al.*, 2016). El registro preservado en los depósitos eólicos puede ser datado con precisión (Price *et al.*, 2001; Frechen *et al.*, 2004; Leighton *et al.*, 2014) y además sirve como marcador para entender las relaciones estratigráficas con otros depósitos asociados que incluyen: abanicos aluviales, coluviones, depósitos de playa y/o paleosuelos, obteniendo así importantes informaciones de carácter paleoambiental como son las fluctuaciones del nivel marino y la evolución geomorfológica del paisaje (Kindler *et al.*, 1997; Carew y Mylroie, 2001; Kindler y Mazzolini, 2001; Rose *et al.*, 1999; Preusser *et al.*, 2002; Andreucci *et al.*, 2009; Coltori *et al.*, 2010; Elmejdoub *et al.*, 2011; Carboni *et al.*, 2014).

Las secuencias pleistocenas que contienen eolianitas en el Mediterráneo se encuentran a menudo en muchas zonas costeras (Hearty, 1987; El-Asmar, 1994; El-Asmar y Wood, 2000; Andreucci *et al.*, 2010; Andreucci *et al.*, 2014; Pascucci *et al.*, 2014; Gutiérrez-Elorza *et al.*, 2002; Nielsen *et al.*, 2004; Fornós *et al.*, 2009; Pappalardo *et al.*, 2013; Pomar *et al.*, 2015a; Del Valle, 2016; Del Valle *et al.*, 2016; Sivan *et al.*, 2016). La rápida litificación de estos depósitos eólicos debido a la exposición subaérea preserva un registro estratigráfico de gran resolución que permite el análisis sedimentológico detallado. En este sentido, las sucesiones de eolianitas que afloran alrededor de las costas del Mediterráneo occidental adquieren especial relevancia ya que han sido datadas con las técnicas más recientes (Andreucci *et al.*, 2010, 2014; Thiel *et al.*, 2010; Pappalardo *et al.*, 2013; Pascucci *et al.*, 2014; Pomar *et al.*, 2015a; Del Valle, 2016; Pomar, 2016).

La isla de Menorca situada en mitad del Mediterráneo occidental (Fig. 1a) representa una buena localidad para el estudio de los depósitos Pleistocenos y su relación con los cambios climáticos y del nivel del mar (Mercadal *et al.*, 1970; Cuerda, 1975; Servera y Riquelme, 2004; Rosell y Llompert, 2014). Los depósitos costeros de Menorca abarcan desde el Pleistoceno medio hasta Pleistoceno superior-Holoceno (Mercadal *et al.*, 1970; Fornós *et al.*, 2007, Pomar, 2016) y contienen mayoritariamente alternancias de eolianitas con depósitos de abanico aluvial. En la costa norte de la isla se observan emplazados sobre la base de laderas costeras (Cuerda, 1975; Pomar, 2016) constituidas por un basamento paleozoico (Bourrouilh, 1983) o adosados a la base de un acantilado vertical compuesto por materiales jurásicos; mientras que en la costa sur aparecen adosados a la base de acantilados verticales tallados sobre una plataforma calcárea miocena (Bourrouilh, 1983) o en relación a la



**Figura 1.** Localización de Menorca en el Mediterráneo occidental (A) y mapa geológico simplificado que muestra las principales unidades morfoestructurales de la isla (B).

**Figure 1.** Location of Menorca in the Western Mediterranean (A) and geological sketch map showing main morphostructural units of the island (B).

desembocadura de barrancos (Mercadal *et al.*, 1970; Servera y Riquelme, 2004). El presente trabajo constituye una revisión del estado actual del conocimiento del registro sedimentario del Pleistoceno menorquín en el contexto geológico de la isla. Se presentará una descripción de las principales características de las facies sedimentarias, principalmente eolianitas, pero también sus características petrológicas, icnológicas y su relación con los depósitos asociados. El trabajo se centrará en la descripción de las principales secuencias del Pleistoceno superior, la arquitectura estratigráfica y sus características. Para finalizar, se discutirán las principales implicaciones paleoclimáticas y las fluctuaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno superior.

## 2 | Marco geológico y climático

La isla de Menorca forma parte del extremo más oriental del Promontorio balear, el cual constituye la prolongación submarina de las cordilleras Béticas (Sàbat *et al.*, 2011). Se trata de una zona de engrosamiento cortical que conforma la continuación hacia el noreste del cinturón cabalgante Bético originado durante el Mioceno inferior y Mioceno medio, como consecuencia de la convergencia entre la placa africana y la ibérica (Gelabert *et al.*, 1992).

El registro estratigráfico abarca desde el Silúrico-Devónico hasta el Cuaternario, con la particularidad que desde los inicios del Mesozoico presenta una secuencia muy

discontinua con algunos depósitos de materiales carbonatados del Jurásico y Cretácico y a continuación se interrumpe hasta el Mioceno superior. La mayoría de materiales paleozoicos que conforman la comarca de Tramuntana (mitad norte; Fig. 1b) se disponen plegados en tres grandes láminas cabalgantes (Bourrouilh, 1983; Gelabert, 2003; Rosell y Llompert, 2014), mientras que la comarca de Migjorn (mitad sur; Fig. 1b) está constituida por una plataforma tabular de materiales post-orogénicos del Mioceno superior correspondientes a calizas arrecifales (Obrador *et al.*, 1992; Gelabert, 2003; Obrador y Pomar, 2004; Fornós y Gelabert, 2011).

Los depósitos Plio-Cuaternarios están constituidos por sedimentos continentales (conglomerados, brechas, areniscas y limos rojizos) relacionados con la erosión de los relieves silíceos de la Tramuntana, y por sedimentos de origen marino que forman depósitos costeros de areniscas bioclásticas (Fig. 2) que corresponden mayoritariamente a acumulaciones de eolianitas que reflejan las fluctuaciones del nivel del mar ocurridas durante el Pleistoceno. Cabe destacar que las Islas Baleares representan una área relativamente estable con una actividad tectónica muy baja o nula (Hearty, 1987; Fornós *et al.*, 2002a; Giménez, 2003; Silva *et al.*, 2005), cosa que favorece que los depósitos pleistocenos del litoral sean fáciles de interpretar debido a que no hay efec-



**Figura 2.** Depósitos coluviales constituidos por niveles de calcarenitas y brechas pleistocenas sobre laderas costeras en un tramo de costa del sector occidental de la costa norte.

**Figure 2.** Colluvial deposits consisting of Pleistocene calcarenites and breccia levels placed on coastal hillslopes in the Northern coast of Menorca.

tos tectónicos que distorsionen los cambios en el nivel del mar. Por esta razón, los estudios de depósitos pleistocenos en Menorca son de gran interés para establecer reconstrucciones paleoambientales de las costas y la posición del nivel marino durante el Pleistoceno.

Los depósitos cuaternarios de Menorca se pueden agrupar en dos grandes grupos: uno de depósitos de ambiente de transición (costero) y otro de depósitos de ambiente claramente continental. Los depósitos de ambiente costero se encuentran a lo largo de las costas de la isla de manera irregular y en la costa norte se encuentran los de mayor entidad relacionados con procesos eólicos y aluviales (Pomar, 2016; Pomar *et al.*, 2016). Los depósitos de ambiente continental están bien representados por los materiales procedentes de la erosión fluvial de los relieves paleozoicos y la formación de suelos sobre laderas suaves y en el fondo de amplios valles del interior de la isla. Por otra parte, también cabe destacar los rellenos sedimentarios del fondo de los barrancos que surcan la comarca de *Migjorn* (Segura *et al.*, 2004). Los depósitos más modernos se caracterizan por sistemas playa-duna que cierran una albufera (*lagoon*) que se extiende hacia el interior en zonas costeras amplias y bajas o en la estrecha desembocadura de algún barranco de la costa sur. La presencia de plataformas rocosas y entalladuras (*notches*) como evidencias de niveles marinos elevados, pueden observarse preferentemente en zonas costeras con presencia de calcarenitas miocenas y pleistocenas (Mercadal *et al.*, 1970; Servera y Riquelme, 2004).

El clima de la isla se caracteriza por ser típicamente mediterráneo con inviernos húmedos y templados y veranos cálidos y secos. El régimen de temperaturas se caracteriza por una temperatura media anual de 17°C, con temperaturas medias en torno a los 11°C en invierno y 27°C en verano. La precipitación media total anual se encuentra alrededor de 600 mm, repartidos de forma irregular durante el año. El otoño llega a acumular el 46% de la precipitación anual con períodos de fuertes tormentas, mientras que el verano las escasas precipitaciones sólo alcanzan un 3% de la precipitación anual. La distribución territorial de estas precipitaciones no presenta muchas variaciones pero asimismo se puede identificar un gradiente con un máximo de más de 600 mm/año en la zona centro-norte de la isla que se reduce hacia la costa sur con valores por inferiores a la media (Gujarro, 1986; Pons y Gómez-Pujol, 2003).

El régimen de vientos menorquín presenta unas claras direcciones predominantes de la componente norte, seguidos de los vientos procedentes del sureste y noreste. Por estaciones, durante el otoño las componentes predominantes son del norte debido a la proximidad de la circulación general del oeste. Durante el invierno se produce una situación de reforzamiento del otoño consolidando un claro predominio de la componente norte. En cuanto a la primavera, aún se mantiene el predominio del viento del norte. Por otra parte, el incremento de la temperatura favorece la formación de bajas presiones térmicas en el mar de Liguria que hacia Menorca impulsan vientos de componente norte y noreste. Durante el verano el viento del norte se debilita como consecuencia del desplazamiento de la circulación general del oeste hacia el norte. La componente predominante es del sureste debido a la formación de bajas térmicas sobre la Península Ibérica y norte de África. En general, el régimen de vientos de Menorca está claramente sesgado hacia una fuerte componente norte en parte debido a que Menorca se sitúa en el centro del Mediterráneo occidental y frente al canal del valle del Ródano que canaliza el viento del norte hacia el interior de la cuenca (Servera, 1997; Campins, 1998; Jansà, 1998; Pons y Gómez-Pujol, 2003; Jansà, 2004).

### 3 | El registro sedimentario pleistoceno de Menorca

Los estudios que abordan la caracterización de depósitos del Cuaternario en Menorca son escasos y dispersos durante las últimas décadas. Sin embargo, algunos de estos trabajos ponen de manifiesto la destacable presencia de yacimientos cuaternarios en Menorca. De este modo, las primeras referencias se encuentran en pequeños apartados dentro de otros trabajos históricos, de temática más amplias, en los que se cita su presencia y se hacen descripciones sin entrar en mucho detalle (Nolan, 1895; Fallot, 1922; Fallot, 1933 y Nolan, 1933).

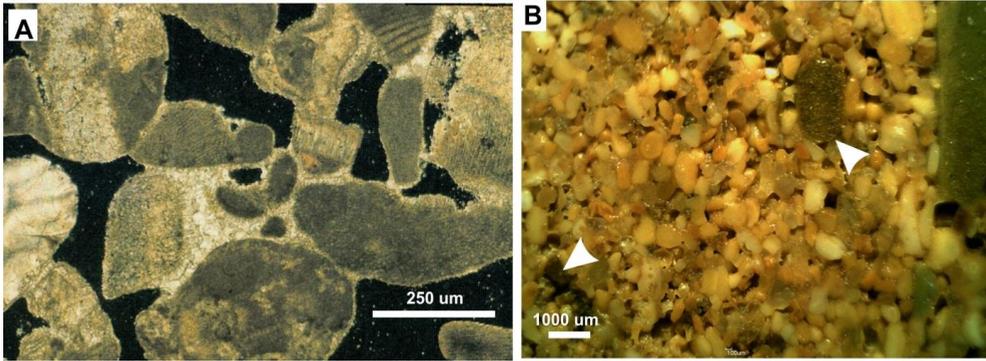
A partir de la década de los sesenta comenzarán a publicarse una serie de trabajos breves, la mayoría de ellos impulsados por el naturalista menorquín Benet Mercadal. Se trata de descripciones sedimentológicas y paleontológicas de algunos yacimientos litorales (Mercadal, 1959; Muntaner, 1959; Mercadal, 1960; Solé Sabarís, 1962; Bourrouilh y Magné, 1963; Cuerda *et al.*, 1966; Rosell *et al.*, 1969 y Mercadal *et al.*, 1970; Cuerda, 1975). Aunque en las secuencias estratigráficas descritas se identifica la alternancia de niveles eólicos, paleosuelos y algunos niveles de depósitos coluviales, generalmente los depósitos menorquines también comprenden una amplia variedad de depósitos de ladera, abanico aluvial y playas de cantos rodados (Mercadal, 1959; Muntaner, 1959; Pomar *et al.*, 2013; Pomar, 2016; Pomar *et al.*, 2016). Además, muchos de los trabajos citados aportan información paleoclimática y de niveles marinos pleistocenos a partir de las asociaciones de fauna fósil que contienen. La mayoría de trabajos atribuyen una cronología a estos depósitos cuaternarios entre el Pleistoceno medio y el Pleistoceno superior (Mercadal *et al.*, 1970; Henningsen, 1990).

Trabajos recientes, mediante dataciones OSL en niveles de eolianitas, han refutado las cronologías inferidas a partir del análisis paleontológico más de cuatro décadas atrás. Así, la cronología en base a dataciones OSL arroja la existencia de períodos de sedimentación eólica que cubren desde el MIS 12 (Pleistoceno medio; ~480 ka) hasta el MIS 3 (Pleistoceno superior; ~56 ka) caracterizados por la interacción con ambientes aluviales-coluviales y costeros (Pomar, 2016). No obstante el registro eólico en Menorca es más amplio y aparecen algunos sistemas más recientes repartidos por toda la isla. Fornós *et al.* (2007) han aportado una de las dataciones más recientes procedente de la caracterización de una localidad del norte de la isla. Se trata de una secuencia de sedimentos eólicos que alternan con niveles arenosos muy ricos en materia orgánica y restos de vertebrados. Según las dataciones por <sup>14</sup>C realizadas en un fragmento de hueso de *Myotragus balearicus*, así como de un fragmento de carbón vegetal, se atribuye la deposición de la secuencia eólica a mitad del Holoceno (5.500-4.800 ka BP).

### 4 | Sedimentología

#### ***Algunos aspectos terminológicos***

Las eolianitas son depósitos eólicos de composición carbonatada que suelen asociarse a ambientes litorales con la característica de una producción y deposición rápida de carbonatos. La terminología ha cambiado a lo largo del tiempo con importantes diferencias en la caracterización (incluyendo composición y emplazamiento): desde arenas litificadas en la zona de backshore (Davis, 1983) hasta eolia-



**Figura 3.** Sedimento que constituye las eolianitas pleistocenas de Menorca. A: Imagen de una lámina delgada que muestra que el sedimento bioclástico es el componente mayoritario de las eolianitas menorquinas. Se observa la presencia de fragmentos esqueléticos y de conchas con un grado bajo de cementación entre los granos. B: Imagen tomada con lupa binocular de la cara pulida de una muestra de eolianita. Se observa el elevado grado de clasificación de los granos, así como se diferencian algunos litoclastos (flechas) procedentes de areniscas paleozoicas.

**Figure 3.** Sediment that constitutes the Pleistocene aeolianites of Menorca. A: Image of a thin section showing that bioclastic sediment is the main component of the aeolianites of Menorca. Presence of skeletal and shell fragments with low degree of cementation is observed. B: Image of polished face of aeolianite sample taken by binocular magnifying. Image highlights fairly well-sorted sand, as well as some lithoclasts (arrows) from Paleozoic sandstones.

nitadas carbonatadas con más del 50% de materiales carbonatados (Abegg *et al.*, 2001). El uso actual del término “eolianita”, en su sentido más amplio, que es el que usaremos aquí, se refiere a una calcarenita litoral producto de la acumulación de depósitos dunares que consisten en arenas marinas (mayoritariamente bioclásticas) que sufrieron una cementación rápida y que fueron depositadas en un ambiente litoral a raíz de una gran producción de carbonatos durante el Cuaternario (Fairbridge y Johnson, 1978; Gardner, 1983).

### Características del sedimento

Las eolianitas pleistocenas de Menorca están constituidas principalmente por arenas bioclásticas y el sedimento que las forma tiene prácticamente la misma composición que el sedimento de los arenales y playas actuales del litoral menorquín (Gómez-Pujol *et al.*, 2013). De entre todos los elementos bioclásticos del sedimento, el componente principal son fragmentos de algas rojas (constituyen más del 50%), seguido de fragmentos de moluscos (sobre todo bivalvos y gasterópodos), equínidos, foraminíferos, briozoos y otros granos bioclásticos indiferenciados (Fig. 3a). El sedimento de las eolianitas también puede contener granos litoclásticos en función del contexto del afloramiento, aunque siempre en proporciones pequeña que proceden, por una parte de fragmentos de calcáreas (litología predominante en los materiales mesozoicos y terciarios de la isla), y por otra de granos siliciclásticos (Fig. 3b) producto del desmantelamiento de las areniscas paleozoicas presentes a lo largo de la costa norte de la isla (Henningsen, 1990; Pomar, 2016).

La composición bioclástica de la arena eólica revela que la fuente del sedimento se sitúa en un ambiente cercano de plataforma marina poco profunda. Este antiguo

ambiente tenía un ecosistema similar al que caracteriza la actual plataforma Balear (Fornós y Ahr, 1997 y 2006). Las praderas de fanerógamas marinas (principalmente *Posidonia oceanica*) se extienden desde una profundidad de unos 35 m hasta prácticamente la superficie del nivel del mar (Ruiz *et al.*, 2007), articulando un ambiente de protección y desarrollo de multitud de organismos calcáreos. La mayoría del sedimento de los sistemas playa-duna modernos consiste en bioclastos procedentes de comunidades que se desarrollan en las praderas, pero el volumen más significativo de fragmentos esqueléticos carbonatados procede de briozoos, rodófitas y conchas de moluscos que se producen a profundidades mayores al margen de las mismas (Canals y Ballesteros, 1997). La acumulación y fragmentación de este material esquelético produce la arena bioclástica que una vez depositada en la playa por las olas y las corrientes marinas, es transportada por el viento tierra adentro por los vientos predominantes y por las constantes y regulares brisas marinas típicas de las zonas de costa.

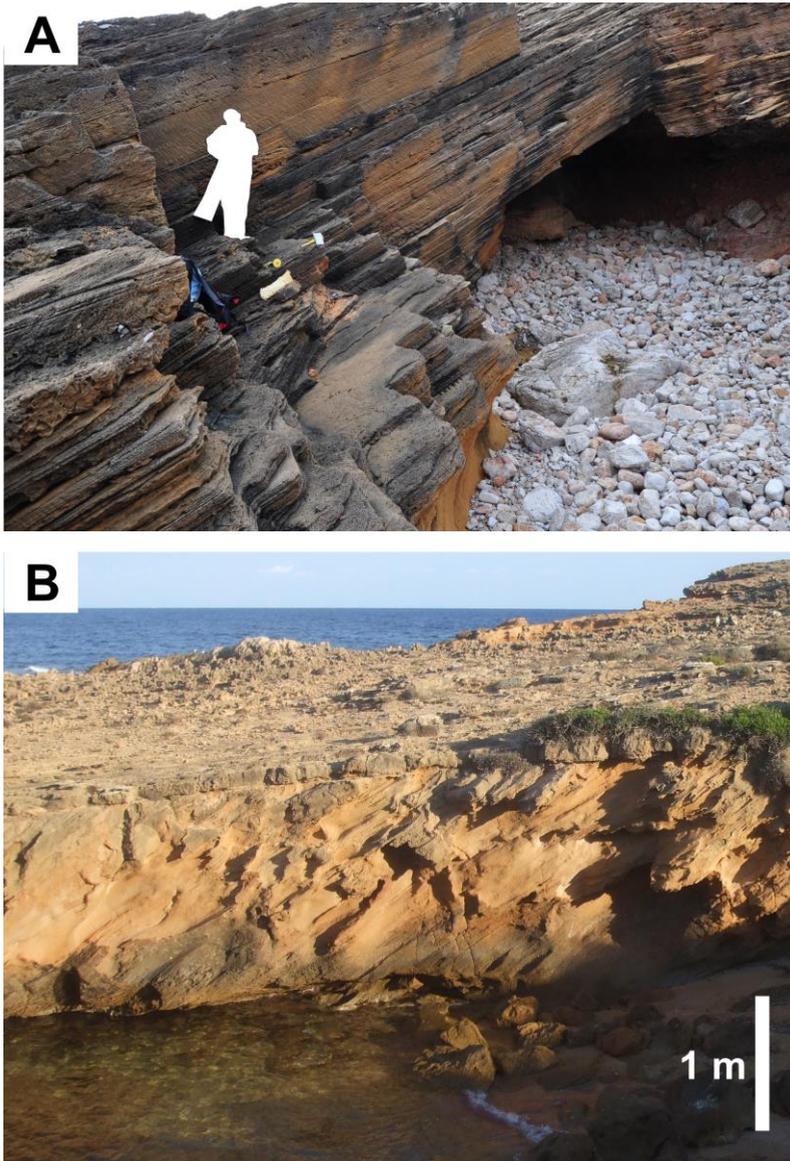
En líneas generales, el sedimento de las dunas eólicas se compone de arenas bioclásticas bien clasificadas (Fig. 3b), con un tamaño de grano entre medio y grueso, que fueron litificadas por la cementación inducida por la humedad ambiental (Calvet *et al.*, 1980). Las estructuras sedimentarias más comunes se caracterizan por una laminación de 2 a 5 mm de potencia con alternancias de tamaño de grano de medio a grueso con alguna lámina con tamaño de grano fino. Esta laminación, interpretada como consecuencia de la migración de *ripples* (Fryberg y Schenk, 1988), está enmascarada por una laminación rítmica (2-5 cm) relacionada con diferencias en la cementación de las láminas. La variación en el grado de cementación se atribuye a la alternancia de ciclos secos y húmedos típicos del clima Mediterráneo (Fornós *et al.*, 2002b). Otras eolianitas pueden contener láminas con alternancia de tamaño de grano que se pueden interpretar como procesos de *grain flow* y *grain fall* sobre la superficie de la duna. Las eolianitas muestran estratificaciones cruzadas de diferentes tipos (Fig. 4a y b) desde la clásica estratificación cruzada en forma de canal (*trough cross-bedding*), la estratificación cruzada paralela de gran escala (*planar cross-bedding*) y/o la estratificación cruzada de bajo ángulo (*low-angle cross-bedding*) hasta la espectacular estratificación cruzada de alto ángulo (*high-angle cross-bedding*) que desarrollan las dunas escaladoras (Clemmensen *et al.*, 1997; 2001).

### **Otros aspectos sedimentarios**

#### *Rizoconcreciones*

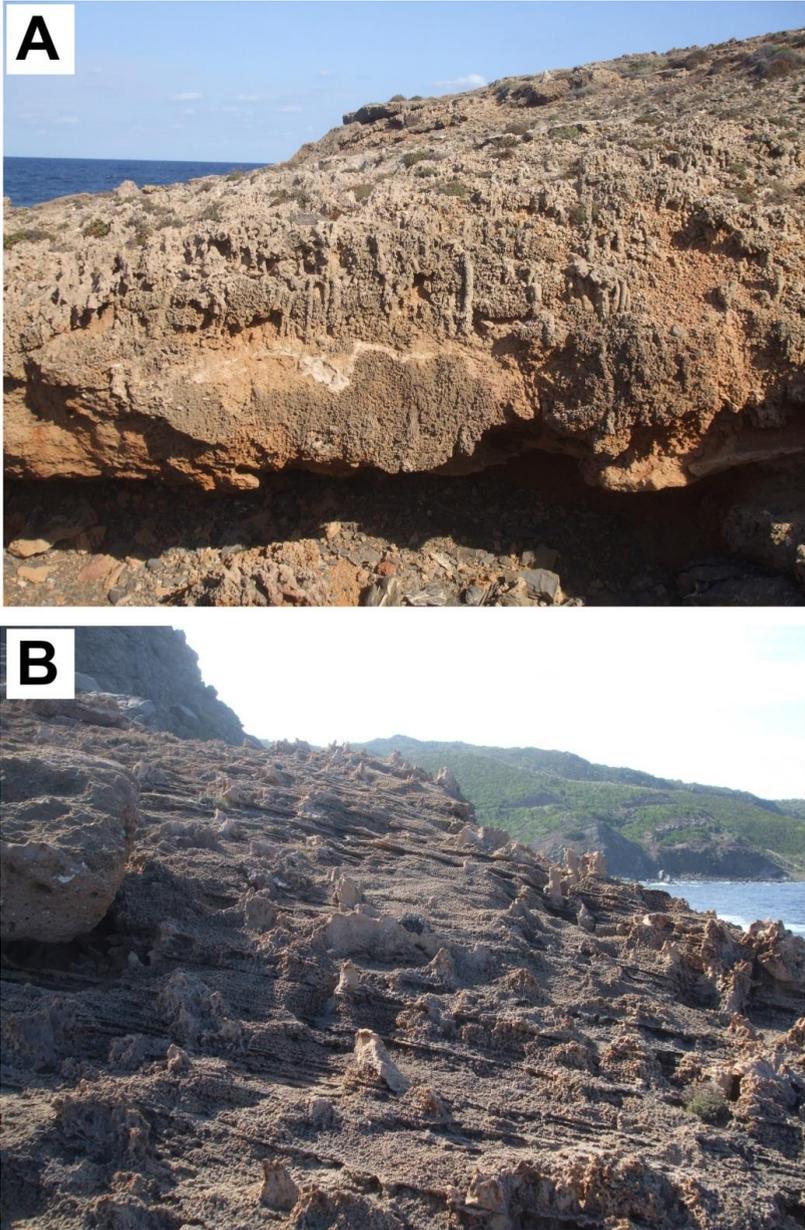
En los depósitos de eolianitas, y especialmente bajo niveles de deposición coluvial y paleosuelos, se desarrollan estructuras relacionadas con la presencia de raíces (root cast) de diferentes tamaños y formas (Calvet *et al.*, 1975; Esteban y Klappa, 1983). Las estructuras de raíces muy marcadas generando relieves en el sedimento son comunes en la mayoría de los depósitos dunares (Fig. 5a y b), exceptuando las dunas eco en las cuales no hay prácticamente evidencias de rizoconcreciones que indican una escasa colonización por vegetación.

Las rizoconcreciones son una característica diagenética de las eolianitas presentes en Menorca. Estas concreciones carbonatadas se forman por cementación preferencial alrededor de raíces de la vegetación que crece sobre las dunas. Esta cementación se produce gracias a la calcificación de las hifas de hongos que descomponen la materia orgánica de las raíces muertas. Una vez la materia orgánica está completamente des-



**Figura 4.** Estructuras sedimentarias típicas de los depósitos de eolianitas. A: Cuerpo dunar buzando hacia el mar correspondiente a la cara de barlovento de una duna adosada a un acantilado. Se observa una sucesión de capas con laminación paralela de unos pocos centímetros en la base, y a continuación laminación cruzada de bajo ángulo en las capas superiores. La persona de la imagen mide 1,7 m. B: Estratificación cruzada paralela característica de la cara de sotavento de las dunas.

**Figure 4.** Typical sedimentary structures of aeolianite deposits. A: Aeolian unit dipping to the sea corresponding to the stoss face of a cliff-front dune. A succession of planar lamination of few centimeters thick at the base changing to low-angle cross lamination at the top is observed. Person in the image is 1,7 m tall. B: Characteristic planar cross-stratified lee face deposits.



**Figura 5.** Rizoconcreciones en depósitos de eolianitas. A: Estructuras verticales de raíces dentro de depósitos dunares. La sección de la imagen tiene 60 cm de potencia. B: Rizoconcreciones expuestas sobre un depósito eólico de dunas escaladoras. Es muy habitual encontrar estas estructuras sobresalientes de forma troncocónica que obliteran la laminación.

**Figure 5.** Rhizoliths in aeolianite deposits. A: Vertical structures of roots within dune deposits. Section showed in the image is 60 cm thick. B: Rhizoliths exposed on a climbing dune deposit. It is quite common to find these conspicuous truncated cone-shaped structures obliterating the lamination.

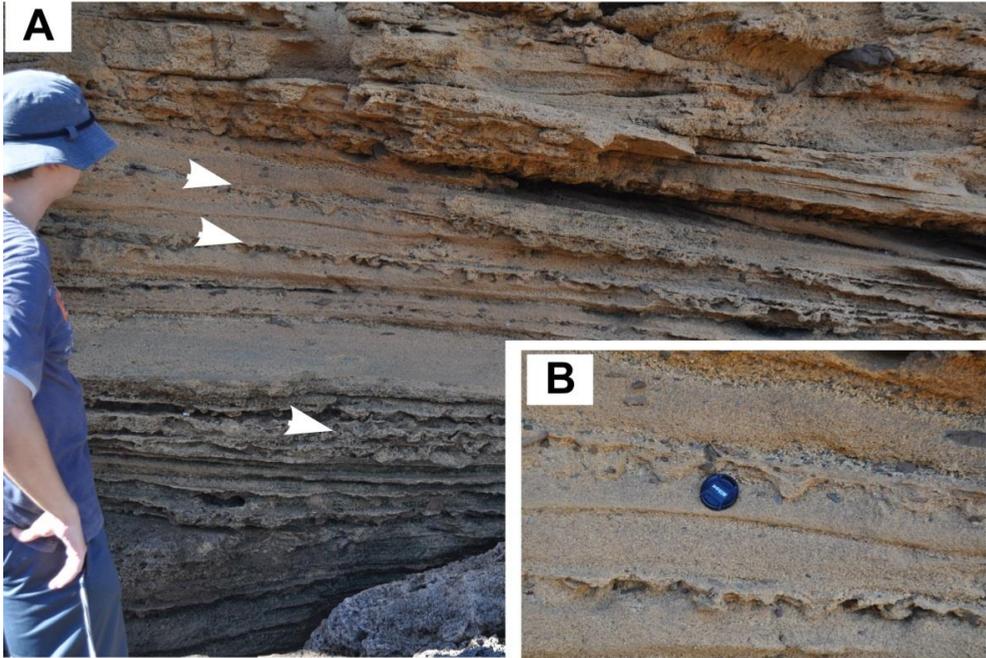
compuesta, el interior de la estructura colapsa y es rellenada por el sedimento que la envuelve (Argyilan *et al.*, 2015). Las rizoconcreciones se caracterizan por una orientación vertical y localmente pueden mostrar formas ramificadas con secciones que oscilan de unos pocos milímetros hasta varios centímetros de diámetro (Fig 5a). Longitudinalmente pueden alcanzar una magnitud de orden métrico sobre todo en disposición vertical (Calvet *et al.*, 1975; Ward, 1975). La presencia de concreciones laminadas (costras) y caliches relacionadas con paleosuelos (Klappa, 1978) son muy comunes, destacando la presencia de microestructuras esféricas formadas a partir de prismas de calcita y producidos por la calcificación de redes de microrraíces o hifas de hongos (*microrizae*) llamadas *Microcodium* (Esteban y Klappa, 1983). La presencia masiva de estas estructuras puede enmascarar o eliminar totalmente la laminación de la duna (Glennie y Evamy, 1986).

#### *Iconología: icnitas y pistas de Myotragus balearicus*

Las pistas y icnitas de la cabra endémica *Myotragus balearicus* (Bate, 1909) son una característica abundante en las eolianitas pleistocenas de zonas costeras de Menorca. Descritas por primera vez por Fornós y Pons-Moyà (1982) en una pequeña cantera en el sureste de Mallorca, están presentes en prácticamente todos los depósitos costeros de eolianitas de Mallorca y Menorca, hasta su desaparición alrededor de 5.000 ka BP cuando probablemente se produjo la exterminación de este animal con la llegada del hombre (Alcover, 2004).

Las pistas pueden observarse en todas las unidades eólicas siendo especialmente abundantes en los depósitos de frente de acantilado, donde abundan en la zona de la cresta de los depósitos, muy habituales en la cara de barlovento (menor pendiente) de las dunas y escasas en la cara de sotavento (mayor pendiente). También es muy habitual encontrar pistas en depósitos arenosos de abanico aluvial (Fig. 6a), sobre todo en zonas medias y distales del abanico caracterizadas por la presencia de depósitos de escorrentía laminar. La presencia de canteras para la extracción de estos materiales para construcción en la costa ha permitido dejar secciones de los depósitos de manera paralela y perpendicular a la laminación permitiendo ver las pistas y huellas en sección vertical y en planta. Las huellas producen una deformación plástica y una ruptura microtectónica del sedimento y su estructura laminar en forma de fallas, cabalgamientos y pliegues de microescala. Casi todas las secciones sedimentarias expuestas muestran secciones horizontales de huellas de *Myotragus* que se disponen siguiendo la laminación y deformándola. Se trata de deformaciones cóncavas que penetran en las láminas subyacentes unos pocos centímetros (Fig. 6b). La buena preservación de las huellas sugiere que la impresión se produjo sobre arena húmeda, que favorece la cohesión del sedimento y reduce las posibilidades que las paredes de la huella colapsen.

Los depósitos cuaternarios de Menorca cuentan con una información cronológica escasa. Hasta día de hoy se atribuía la edad de los depósitos a partir de algunos restos de fauna fósil característica que se podía diferenciar entre fauna de períodos cálidos y fríos dentro de las secuencias sedimentarias (Mercadal, 1959; Muntaner, 1959; Solé Sabarís, 1962; Bourrouilh y Magné, 1963; Rosell *et al.*, 1969 y Mercadal *et al.*, 1970; Cuerda, 1975). De esta manera se identificaban hasta tres eventos dunares durante el Pleistoceno en los depósitos situados en la costa norte de Menorca. Dos de ellos atribuidos al Pleistoceno medio y el último y más moderno al Pleistoceno superior (Henningsen, 1990).

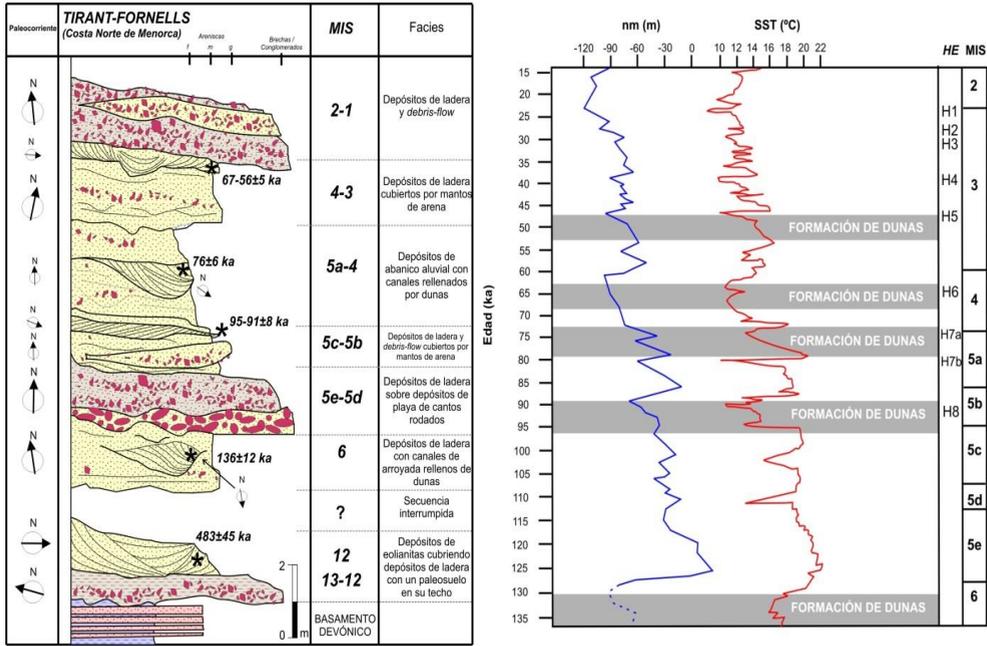


**Figura 6.** Huellas de *Myotragus* preservadas dentro de depósitos de abanico aluvial correspondientes a corrientes laminares. A: Vista general de las pistas (flechas) siguiendo la estratificación. B: Detalle de las huellas.

**Figure 6.** *Myotragus* footprints preserved within sheetflow alluvial fan deposits. A: General view of trackways (arrows) following the stratification. B: Detailed image of *Myotragus* footprints.

## 5 | Cronología de las eolianitas

Recientemente, mediante dataciones por OSL en depósitos de eolianitas de la costa norte de Menorca (Pomar, 2016), se ha podido establecer una cronología prácticamente continua durante el Pleistoceno superior (Fig. 7). Aun así, se identificó un depósito eólico situado en el Pleistoceno medio. Las dataciones OSL fueron realizadas utilizando los granos de cuarzo presentes en el sedimento de las eolianitas que procedían de areniscas paleozoicas que constituyen el basamento, pero también como consecuencia de precipitaciones que contenían polvo de zonas desérticas del norte de África (Fiol *et al.*, 2005). Las edades de los depósitos eólicos separados por depósitos aluviales y coluviales (Fig. 7) en la costa norte, cerca de la población de Fornells, son  $136 \pm 12$  ka, indicando un primer período de deposición eólica a finales del MIS 6;  $95 \pm 8$  hasta  $91 \pm 8$  ka que sugiere una renovación de la deposición eólica durante la transición del estadio MIS 5c/b. Finalmente durante el último período glacial se intensifica la actividad eólica a partir del final del estadio MIS 5a ( $76 \pm 6$  ka) y sucesivas pulsaciones frías del MIS 4 y MIS 3 ( $67 \pm 5$ ,  $60 \pm 3$ ,  $56 \pm 8$  ka). Esta cronología coincide con las ya realizadas en depósitos del Pleistoceno superior en Mallorca (Rose *et al.*, 1999; Fornós *et al.*, 2009), en Ibiza (Del Valle *et al.*, 2016) o en otras localizaciones del Mediterráneo occidental como Cerdeña (Pascucci *et al.*, 2014).



**Figura 7.** Columna estratigráfica sintética (izquierda) de los depósitos pleistocenos de Tirant-Fornells en la costa norte de Menorca y principales eventos eólicos (derecha) identificados durante el Pleistoceno superior (modificado de Pomar, 2016) comparados con la curva eustática; “nm” (Siddall et al., 2003) y de temperatura de la superficie del mar; “SST” (Martrat et al., 2004). La cronología de los Heinrich events (HE) y de los estadios isotópicos (MIS) se basa en Seierstad et al. (2014).

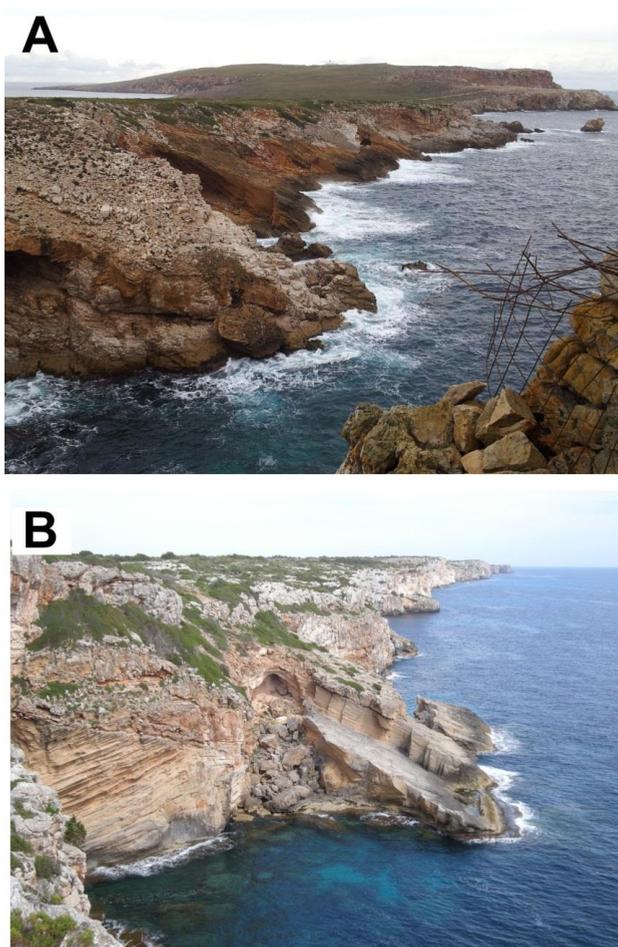
**Figure 7.** Synthetic stratigraphic column (left) of Tirant-Fornells Pleistocene deposits in the Northern coast of Menorca and main aeolian events (right) identified during the Upper Pleistocene (modified from Pomar, 2016) compared to eustatic curve; “nm” (Siddall et al., 2003) and sea surface temperature; “SST” (Martrat et al., 2004). Heinrich events and isotopical stages (MIS) chronologies are based on Seierstad et al. (2014).

Mediante técnicas de datación por <sup>14</sup>C se dató una secuencia dunar situada sobre una pequeña planicie elevada de la costa norte (Fornós et al., 2007). Dos niveles de eolianitas poco cementados con un elevado contenido en materia orgánica separados por paleosuelos arenosos fueron analizados arrojando una edad de 5495±45 y 4830±40 ka. Estas edades sitúan la actividad eólica a mediados del Holoceno.

## 6 | Ambientes sedimentarios y depósitos asociados

### *Eolianitas adosadas al frente de un acantilado*

Las acumulaciones eólicas controladas por la topografía comprenden las dunas eco (echo dunes), las dunas escaladoras (climbing dunes) y las rampas de arena (sand ramps). Normalmente su desarrollo se produce por la presencia de una barrera topográfica como acantilados (cliff-front dunes) o laderas empinadas (Livingstone y



**Figura 8.** Eolianitas adosadas al frente de un acantilado. A: Eolianitas adosadas en un acantilado tallado sobre dolomías jurásicas cerca del cap de Cavalleria (costa norte de Menorca). Muestran cuerpos dunares buzando hacia el mar típicos de la cara de barlovento de dunas escaladoras. En primer término a la izquierda se observa sobre una plataforma rocosa inclinada un nivel eólico cubierto por un depósito coluvial exhumado por la erosión. B: Eolianita adosada a los acantilados verticales del sur de Menorca modelados sobre calcarenitas del Mioceno superior (al este de cala en Porter). La explotación de este material como cantera ha dejado a la vista una magnífica sección de la duna en 3D. Se puede observar la forma de la cresta alcanzando casi la cima del acantilado. Este afloramiento se caracteriza por hasta cuatro niveles eólicos separados por delgados niveles coluviales constituidos por brechas.

**Figure 8.** Cliff-front aeolianites. A: Aeolianites covering a cliff composed of Jurassic dolomites nearby the Cape Cavalleria (Northern coast of Menorca). They show typical stoss-face sets of climbing dunes dipping to the sea. On the left part of the image there is a close-up of an aeolian level overlying an inclined wave-cut platform and covered by colluvial deposits exposed by erosion. B: Cliff-front aeolianite on the vertical cliffs shaped on Upper Miocene calcarenites in the Southern coast (close to cala en Porter). The exploitation of this material in a quarry has left exposed an outstanding 3D dune section showing a conspicuous dune crest almost reaching the top of the cliff. This outcrop is characterized by up to four aeolian levels separated by thin breccia levels.

Warren, 1996, Lancaster y Tchakerian, 1996; Pye y Tsoar, 2009; Bateman *et al.*, 2012). A lo largo de algunos tramos de costa de Menorca, se observan importantes acumulaciones eólicas adosadas a la pared de acantilados que alcanzan alturas entre 20 y 50 m snm. Los ejemplos más significativos de estos depósitos se sitúan en la base de acantilados casi verticales rellenando plataformas rocosas modeladas por la acción del oleaje o en los flancos verticales de las desembocaduras de cañones kársticos sobre calcarenitas del Mioceno superior de la costa sur o sobre acantilados de calizas y dolomías del Jurásico en la costa norte (Fig. 8). A estos acantilados se les puede atribuir un retroceso importante desde el Pleistoceno medio como el identificado a sus homólogos de la costa sureste de Mallorca (Fornós *et al.*, 2005) y probablemente alcanzaron su posición y forma actual en un corto espacio de tiempo durante el último período interglacial antes de la deposición de los sedimentos eólicos.

Los depósitos de frente de acantilado pueden dividirse en diversos ciclos sedimentarios. Cada uno de ellos iniciado por depósitos coluviales y a continuación cubiertos por depósitos dunares. Los depósitos dunares de la base de la secuencia se caracterizan mayoritariamente por la combinación de depósitos de dunas escaladoras, dunas adosadas y dunas eco; mientras que la parte superior de la secuencia se caracteriza por depósitos de rampas de arena (*sand sheet*) y dunas escaladoras. Los depósitos coluviales que separan los niveles eólicos están constituidos por brechas con clastos procedentes del acantilado que pueden contener sedimento eólico arrancado de la superficie de la duna.

Los depósitos de dunas escaladoras y dunas eco muestran unas estructuras sedimentarias caracterizadas por una estratificación cruzada de bajo ángulo en la cara de barlovento con un buzamiento hacia el mar y ángulos que oscilan entre 15° y 25° (rara vez se observan ángulos superiores a 30°). La cara de sotavento de la duna presenta capas de estratificación cruzada de alto ángulo con buzamiento hacia el acantilado con una inclinación entre 20° y 30° (Clemmensen *et al.*, 1997). La sección longitudinal de la duna muestra una forma que varía desde una cresta aguda hasta formas más redondeadas (Fig. 8a), estas últimas relacionadas con superficies de reactivación del avance de la duna. A menudo el frente de duna (cresta) de los depósitos eólicos se muestra alineado (paralelo) con la forma de la costa.

Los depósitos coluviales forman capas de poca potencia que no suelen alcanzar más de 50 cm y que aparecen intercalados entre los niveles eólicos (Fig. 8b). Se componen de brechas masivas soportadas por la matriz con clastos angulosos a muy angulosos constituidos por fragmentos de materiales procedentes de la erosión del acantilado que se disponen flotando dentro de una matriz de limo rojizo. A menudo la matriz puede contener arena bioclástica que en algunos casos alcanza más del 50% del material. Muestran contactos erosivos muy marcados con los depósitos eólicos subyacentes, mientras que el contacto en su límite superior con la capa eólica es gradual. Los depósitos coluviales representan caídas de pequeños bloques y procesos de arroyada que lavan la superficie del talud que define la acumulación de arena eólica en el frente del acantilado.

La alternancia de depósitos eólicos y coluviales registra la transición de ambientes áridos a ambientes relativamente más húmedos. Este escenario puede relacionarse con los ciclos climáticos *Dansgaard-Oeschger*, de corta duración (~1500 años), acaecidos durante el Pleistoceno superior (Bond *et al.*, 1999; Weaver, 1999; Schultz, 2002).

### ***Depósitos de interferencia eólico-aluvial en laderas costeras o acantilados bajos***

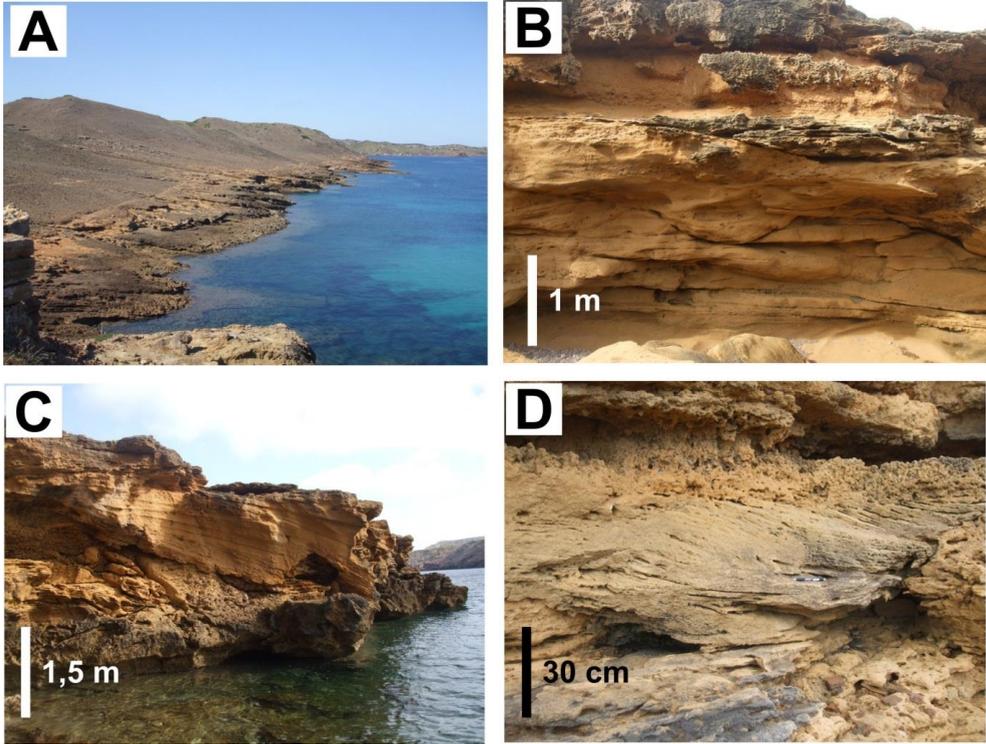
El segundo grupo de depósitos pleistocenos relacionados con la sedimentación eólica concierne ambientes deposicionales caracterizados por la presencia de laderas o acantilados de perfil suave. Los depósitos costeros del Pleistoceno superior en la costa norte de Menorca registran un interesante sistema que muestra una compleja interferencia entre deposición eólica, aluvial y coluvial (Pomar *et al.*, 2013; Pomar *et al.*, 2015b; Pomar, 2016; Pomar *et al.*, 2016). De los diversos afloramientos conocidos, el más completo y mejor preservado es Tirant-Fornells, situado cerca de la población de Fornells en la zona central de la costa norte. Estos depósitos muestran una interferencia entre diversos cuerpos de abanico aluvial y sistemas de dunas que resultan en una arquitectura estratigráfica compleja y muy variable (Fig. 7). Puntualmente es posible observar en la base de las secuencias sedimentarias la presencia de niveles de playas de cantos rodados atribuidos al estadio MIS 5e (Pomar, 2016).

Las características de las facies sedimentarias y su arquitectura son muy variables y reflejan las formas de las superficies deposicionales preexistentes controladas por la topografía del basamento, así como la interferencia entre los procesos eólicos y los procesos de formación de abanicos aluviales. El relieve controla por una parte el desarrollo de las dunas y, por la otra, los procesos de ladera y aluviales que contribuyen a formar los depósitos.

En la zona de Tirant-Fornells, los depósitos del Pleistoceno superior se localizan al pie de un pequeño sistema de colinas costeras (*Massís de Tirant*) caracterizado por la presencia de una alineación de diversas cuencas fluviales de poca extensión (Fig. 99). Los depósitos de abanico aluvial aparecen rellenando todo este tramo costero formando acantilados tallados por el oleaje de poca entidad (1-6 m snm), con el desarrollo de estrechas plataformas rocosas ligeramente inclinadas en su base. En las zonas axiales de las cuencas se observa encajado en los depósitos pleistocenos el canal de drenaje. Los acantilados exhiben una magnífica exposición de las facies y la arquitectura de los depósitos aluviales que muestran una gran variabilidad lateral y localmente en las zonas más deprimidas de las cuencas o sobre las divisorias aparecen niveles eólicos intercalados entre los cuerpos aluviales.

Los resultados del análisis sedimentológico indican que estos depósitos están constituidos mayoritariamente por capas de areniscas con un tamaño de grano situado en las arenas medias-gruesas bien clasificadas. Todo ello indica una granoselección coincidente con la producida en ambientes eólicos (Livingstone y Warren, 1996; Andreucci *et al.*, 2010; Fornós *et al.*, 2009; Tsoar y Pye, 2009). Además, la composición del sedimento mayoritariamente bioclástico, así como un elevado contenido en calcita, indica una procedencia marina del sedimento (Jaume y Fornós, 1992; Fornós y Ahr, 1997; Fornós *et al.*, 2002b; Fornós *et al.*, 2009). Por otra parte, los resultados del análisis de las estructuras sedimentarias ponen de manifiesto una deposición caracterizada mayoritariamente por procesos aluviales y coluviales (Fig. 9b). Esta naturaleza se pone en evidencia con la presencia de abundantes estructuras sedimentarias como estratificaciones horizontales, cruzadas de bajo ángulo, cruzadas en forma de canal, capas de forma lenticular y paleocanales. También es muy habitual observar contactos entre los distintos niveles en forma de superficies erosivas onduladas o en forma de canal encajado (Fig. 9b y c). Numerosos niveles de brechas o conglomerados se disponen en forma de capas masivas o rellenando estructuras en forma de canal. Algunas estructuras de paleocanales aparecen rellenas de niveles de

arenisca con estratificación cruzada que se interpretan como el avance de dunas sobre los abanicos (Fig 9c y d).



**Figura 9.** Depósitos de interferencia eólico-aluvial. A: Depósitos formando abanicos aluviales y depósitos de ladera sobre la costa en una de las zona estudiadas por Pomar (2016). B: Imagen detalle de una sección de estos depósitos expuestos en un arroyo encajado. Se trata de capas de calcarenitas bioclásticas que muestran abundantes estructuras sedimentarias de estratificación cruzada, cruzada en forma de canal, de bajo ángulo y superficies erosivas en forma de canal y onduladas. Se observan algunas estructuras de barras de meandros y superposición de canales típicas de flujos trenzados sobre la zona media de abanicos aluviales. C: Vista de un acantilado tallado sobre las calcarenitas bioclásticas pleistocenas que muestra una secuencia de abanico aluvial con un potente nivel eólico intercalado que avanzaba sobre canales de la superficie del abanico. D: Depósito eólico rellenando una estructura en forma de canal dentro de una secuencia de depósitos de ladera.

**Figure 9.** Aeolian-alluvial interference deposits. A: Alluvial fan and hillslope deposits on the coast in one of the studied sites by Pomar (2016). B: Detailed image of an exposed section within incised gully showing beds of bioclastic calcarenites with abundant sedimentary structures such as cross stratification, trough cross stratification, low-angle cross stratification and channel and wavy-shaped erosive surfaces. The typical braided stream structures on the mid-fan zone such as channel-infill bars and superimposed channels are observed. C: View of a cliff shaped on Pleistocene bioclastic calcarenites showing an alluvial fan sequence with a thick aeolian level interbedded. These aeolian sediments covered channels on the fan surface. D: Aeolian deposits infilling a channel-shaped structure within a hillslope deposit sequence.

## 7 | Implicaciones climáticas para la evolución del paisaje costero y nivel del mar durante el Pleistoceno superior

Las secuencias sedimentarias pleistocenas presentes a lo largo de las costas de Menorca con nueva información estratigráfica y cronológica mediante OSL, indica que la deposición de los sedimentos eólicos tuvo lugar durante períodos fríos, probablemente más áridos y ventosos, cuando el nivel del mar era más bajo que el actual. La consecuente degradación de la cubierta vegetal en este ambiente habría facilitado el transporte eólico tierra adentro desde zonas expuestas de la plataforma continental. Esta interpretación es consistente con la presencia de vegetación semiárida en el Mediterráneo asociada reducciones drásticas de la temperatura y la precipitación durante eventos climáticos fríos (Bout-Roumaizeilles *et al.*, 2007). La deposición eólica y aluvial estaba relacionada con períodos climáticos fríos entre 136 y 56 ka. Éstos fueron también períodos de niveles marinos bajos y momentos de máxima exposición de la plataforma continental y por tanto de los sedimentos carbonatados acumulados en la plataforma marina costera. Con vientos suficientemente fuertes durante estos períodos, este material habría sido transportado hacia el interior formando campos dunares.

Resumiendo los datos sedimentológicos descritos aquí, tenemos por una parte, el predominio de depósitos constituidos por arenas marinas transportadas por el viento y, por la otra, su disposición en forma de potentes paquetes sedimentarios formando abanicos aluviales. Todo ello indicaría el desmantelamiento de dunas costeras que avanzaban tierra adentro por parte de aguas de escorrentía que drenaban las cuencas durante avenidas repentinas (*flashfloods*), incorporándose de esta manera el sedimento eólico al sistema aluvial. Esta dinámica puede relacionarse con las fases climáticas *Dansgaard-Oesgcher* (alternancia de períodos fríos y áridos y períodos relativamente más húmedos). Además, el nivel del mar se mantuvo por debajo de -70 m durante gran parte del Pleistoceno superior, manteniendo el suficiente espacio de acomodación para el desarrollo tanto de procesos eólicos como aluviales (Pomar, 2016).

A partir de los datos que proporcionan diversos trabajos que relacionan el registro sedimentario, la evolución paleoclimática y la curva eustática durante el Pleistoceno 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) y de las dataciones de niveles eólicos aportadas en distintos trabajos de sedimentología de depósitos pleistocenos (Pomar *et al.*, 2013; Pomar, 2016), es posible establecer la cronología climática y la evolución ambiental de las áreas litorales de Menorca durante el Pleistoceno superior. Según Pomar (2016), se observan hasta cinco períodos de actividad eólica desde finales del MIS 6 alrededor de 136 ka y hasta la transición MIS 4/3 alrededor de 50 ka (Fig. 7). Son periodos que se caracterizan por unas condiciones ambientales frías e importantes momentos de regresión marina. Además, parece que los principales eventos eólicos pueden relacionarse con las pulsaciones especialmente frías llamadas Heinrich events. Por tanto, esto parece confirmar que los períodos de deposición eólica parecen estar vinculados a períodos de nivel marino bajo (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). Durante estos periodos grandes extensiones de bancos de arena habrían quedado expuestos a la acción del viento

sobre la zona costera de la plataforma continental que rodea la isla. Durante intervalos climáticos fríos, la cubierta vegetal era escasa lo que habría favorecido la erosión por aguas de escorrentía (Rose *et al.*, 1999); los vientos probablemente eran más fuertes y las dunas costeras habrían podido desplazarse tierra adentro avanzando sobre los relieves de la zona o sobre la zona distal de abanicos aluviales. Actualmente el transporte eólico de arena marina tiene lugar principalmente durante el invierno, momento en que la circulación general del oeste es más intensa forzando el predominio de vientos de componente noroeste con velocidades medias superiores a 8 m/s que se producen más de un 10% de las veces que se registran episodios ventosos (Servera, 1997; Puertos del Estado). Por tanto, es posible entender que unas condiciones meteorológicas similares fueron las responsables del transporte de arena eólica hacia el interior de la isla durante los periodos fríos del Pleistoceno superior pero con algunas particularidades que intensificarían los procesos.

Otros trabajos de las islas Baleares, así como también de zona del Mediterráneo occidental, indican que durante el último período glacial las costas estaban cubiertas por campos dunares (Pascucci *et al.*, 2008; Fornós *et al.*, 2009; Andreucci *et al.*, 2010; Pavelic *et al.*, 2011; Andreucci *et al.*, 2014; Del Valle, 2016; Del Valle *et al.*, 2016). De esta manera, estos resultados sugieren un reforzamiento de los procesos eólicos en grandes zonas del Mediterráneo occidental durante los períodos de enfriamiento y descenso del nivel del mar. Las simulaciones climáticas apuntan hacia una disminución de la influencia de la circulación del oeste durante períodos cálidos como el MIS 5e, al contrario de los períodos de cambio hacia un momento relativamente frío que favorece que la circulación del oeste vuelva a reactivarse en el Mediterráneo occidental (Moreno *et al.*, 2002; Kaspar *et al.*, 2007; Bardají *et al.*, 2009). Además, la intensificación de la entrada de vientos del noroeste en el Mediterráneo occidental durante el cambio de estadio cálido en estadio frío favorece la formación de tormentas que producen precipitaciones intensas debido a las temperaturas superficiales del mar relativamente altas (Moreno *et al.*, 2002; Bardají *et al.*, 2009). Este escenario climático junto con la reducción de la cubierta vegetal asociada a estos periodos habría favorecido por un lado el transporte eólico, y por el otro el transporte aluvial de sedimentos producido por las intensas precipitaciones donde el contexto topográfico (i.e. presencia de cuencas fluviales que capten la precipitación) favorece la formación de escorrentía.

### Agradecimientos

Estas investigaciones se integran dentro de los proyectos de investigación MINECO CGL2013-48441-P y CGL2016-79246-P (AEI/FEDER, UE).

### Referencias

- Abegg, F.E., Loope, D.B. y Harris, P.M. (Eds.) (2001): Carbonate eolianites-Depositional models and diagenesis. *SEPM Special Publication*, 71: 17-30.
- Alcover, J.A. (2004): Disentangling the Balearic first settlement issues. *Endins*, 26: 143-156.
- Andreucci, S., Pascucci, V., Murray, A. y Clemmensen L.B. (2009): Late Pleistocene coastal evolution of San Giovanni di Sinis, west Sardinia (Western Mediterranean). *Sedimentary Geology*, 216: 104-116.
- Andreucci, S., Clemmensen, L.B., Murray, A.S. y 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. y Pascucci, V. (2014): Evolution and architecture of a West Mediterranean Upper Pleistocene to Holocene coastal apron-fan system. *Sedimentology*, 61: 333-361.
- Argyilan, E.P., Avis, P.G., Krekeler, M.P.S. y Morris, C.C. (2015): The origin of collapse features appearing in a migrating parabolic dune along the southern coast of Lake Michigan. *Aeolian Research*, 19: 137-149.
- Bardají, T., Goy, J.L., Zazo, C., Hillaire-Marcel, C., Dabrio, C.J., Cabero, A., Ghaleb, B., Silva, P.G. y 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. y Parsons, A.J. (2012). On the formation of sand ramps: A case study from Mojave Desert. *Geomorphology*, 161-162: 93-109.
- Bond, G.C., Showers, W., Elliott, M., Evans, M., Lotti R., Hajdas, I., Bonani, G. y Johnson, S. (1999). The North Atlantic's 1-2 kyr Climate Rhythm: Relation to Heinrich Events, Dansgaard-Oeschger Cycles and the Little Ice Age. En: Clark, P.U., Webb, R.S. y Keigwin, L.D. (Eds., Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales. *American Geophysical Union, Geophysical Monograph*, 112: 35-58.
- Bourrouilh, R. 1983. *Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la isla de Menorca y del nordeste de Mallorca (Baleares). La terminación nororiental de las cordilleras béticas en el Mediterráneo occidental*. Madrid, IGME. 672 pp.
- Bourrouilh, R y Magné, J. (1963): A propos de dépôts du Pliocene supérieur et du Quaternaire sur la côte nord de l'île de Minorque (Baléares). *Bulletin de la Société géologique de France*, 5: 298-302
- Bout-Roumazeilles, V., Combourieu, N., Peyron, O., Cortijo, E., Landais, A., y Masson-Delmotte, V. (2007): Connection between South Mediterranean climate and North African atmospheric circulation during the last 50,000 years BP North Atlantic cold events. *Quaternary Science Reviews*, 26: 3197-3215.
- Brooke, B. (2001): The distribution of carbonate eolianite. *Earth-Science Reviews*, 55: 135-164.
- Brooke, B.P., Olley, J.M., Pietsch, T., Playford, P.E., Haines, P.W., Murray-Wallace, C.V. y Woodroffe, C.D. (2014): Chronology of Quaternary coastal aeolianite deposition and the drowned shorelines of southwestern Western Australia – a reappraisal. *Quaternary Science Reviews*, 93: 106-124.
- Calvet, F. Plana, F. y Traveria, A. (1980): La tendencia mineralógica de las eolianitas del Pleistoceno de Mallorca, mediante la aplicación del Método de Chung. *Acta Geológica Hispánica*, 15(2): 39-44.
- Calvet, F. Pomar, L. y Esteban, M. (1975): Las rizocreaciones del Pleistoceno de Mallorca. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Universidad de Barcelona*, 30: 35-60.
- Campins, J. (1998): L'estudi de la tramuntana: de J. M. Jansà al PYREX. *Territoris*, 1: 111-122.
- Canals, M. y Ballesteros, E. (1997): Production of carbonate particles by ohytobentonic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research II*, 44: 611-629.
- Carboni, S., Lecca, L., Hillaire-Marcel, C. y Ghaleb, B. (2014): MIS 5e at San Giovanni di Sinis (Sardinia, Italy): Startigraphy, U/Th dating and "eustatic" inferences. *Quaternary International*, 328-329: 21-30.
- Carew, J.L. y Mylroie, J.E. (2001): Quaternary carbonate eolianites of the Bahamas: Useful analogues for the interpretation of ancient rocks? En: Abegg, F.E., Harris, P.M. y Loope, D.B. (Eds.), Modern and Ancient Carbonate Eolianites: Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Diagenesis. *SEPM Special Publication*, 71: 33-45.
- Clemmensen, L.B., Fornós, J.J. y Rodríguez-Perea, A. (1997): Morphology and architecture of a late-Pleistocene cliff-front dune, Mallorca, Western Mediterranean. *Terra Nova*, 9: 251-254.
- Clemmensen, L.B., Lisborg, T., Fornós, J.J. y Bromley, R.G. (2001): Cliff-front aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean: a record of climatic and environmental change during the last glacial period. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 48: 217-232.

- Coltori, M., Melis, E. y Patta, D. (2010): Geomorphology, stratigraphy and facies analysis of some Late Pleistocene and Holocene key deposits along the coast of Sardinia. *Quaternary International*, 222: 17-18.
- Cuerda, J. (1975): *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Dir. Gral. Cultura. Conselleria de Cultura, Educació i Esports, Govern Balear. 310 pp.
- Cuerda, J., Sacarès, J. y Mercadal, B. (1966): Nuevos yacimientos marinos del Pleistoceno superior de Cala Santa Galdana (Menorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 12: 101-105.
- Davis, R.A. Jr (1983): *Depositional Systems: A genetic approach to sedimentary geology*. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice Hall Inc., 669 pp.
- Del Valle, L. (2016): El registre sedimentari eòlic del Plistocè litoral d'Eivissa. Tesis Doctoral. Palma, Universitat de les Illes Balears. 286 pp.
- Del Valle, L., Gómez-Pujol, L., Fornós, J.J., Timar-Gabor, A., Anechitei-Deacu, V. y 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. y Peate, D.W. 2010. Sea-level Highstand 81,000 Years Ago in Mallorca. *Science*, 327: 860-863.
- El-Asmar, H. M., Wood, P. (2000): Quaternary shoreline development. The northwestern coast of Egypt. *Quaternary Science Reviews*, 19: 1137-1149.
- El-Asmar, H.M. (1994): Aeolianite sedimentation along the north-western coast of Egypt: evidence for middle to Late Quaternary aridity. *Quaternary Science Reviews*, 13: 699-708.
- Elmejdoub, N., Mauz, B. y Jedoui, Y. (2011): Sea-level and climatic controls on Late Pleistocene coastal aeolianites in the Cap Bon peninsula, northeastern Tunisia. *Boreas*, 40: 198-207.
- Esteban, M. y Klappa, C.F. (1983): Subaerial exposure environment. En: Scholle, P.A., Bebout, D.G. y Moore, C.H. (eds.), Carbonate Depositional Environments. *Mem. American Association of Petroleum Geologists*, 33: 1-54.
- Fairbridge, R.W. y Johnson, D.L. (1978): Eolianite. En: Fairbridge, R.W. y Bourgeois, J. (eds.), *The Encyclopedia of Sedimentology*: 279-282. Stroudsburg, Dowden, Hutchinson and Ross.
- Fallot, P. (1922): *Etude géologique de la sierra de Majorque*. Tesis doctoral. Paris et Liège.
- Fallot, P. (1933): Le problème de l'île de Minorque. *Bulletin de la Société Géologique de France*, XXIII:3-44
- Faust, D., Yanes, Y., Willkommen, T., Roettig, C., Richter, D., Richter, D., Suchodoletz, H.V. y Zöller, L. (2015): A contribution to understanding of late Pleistocene dune sand-paleosol sequences in Fuerteventura (Canary Islands). *Geomorphology*, 246: 290-304.
- Fiol, L.L., Fornós, J.J., Gelabert, B. y Guijarro, J.A. (2005): Dust rains in Mallorca (Western Mediterranean): Their occurrence and role in some recent geological processes. *Catena*, 63: 64-84.
- Fornós, J.J. y Ahr, W. (2006): Present-day temperate carbonate sedimentation on the Balearic Platform, western Mediterranean: compositional and textural variation along a low-energy isolated ramp. En: Pedley, H.M. y Carannante, G. (Eds.), Cool-Water Carbonates: Depositional Systems and Palaeoenvironmental Controls. *Geological Society, London, Special Publications*, 255: 71-84.
- Fornós, J.J. y Ahr, W.M. (1997): Temperate carbonates on a modern, low-energy, isolated ramp: The Balearic platform, Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 67: 364-373.
- Fornós, J.J. y Pons-Moyà, J. (1982): Icnitas de *Myotragus balearicus* del yacimiento de ses Piquetes (Santanyí, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 135-144.
- Fornós, J.J., Clemmensen, L.B., Gómez-Pujol, L. y 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. y Ginés, J. (2012): Pleistocene eolianites and low sea levels. En: Ginés, A., Ginés, J., Gómez-Pujol, L., Onac, B.P. y Fornós, J.J. (eds.). Mallorca: A Mediterranean benchmark for Quaternary studies. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 18: 85-110. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.

- Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L., Rosselló, V.M., Segura, F., Pardo, J.E. y Van Strydonck, M. (2007): El mantell eòdic de ses Arenes (Ciutadella de Menorca): dades preliminars i primeres datacions. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 50: 227-237
- Fornós, J.J., Balaguer, P., Gelabert, B. y Gómez-Pujol, L. (2005): Pleistocene formation, evolution and retreat rates of a carbonate coastal cliff (Mallorca Island, Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, SI49:15-21.
- Fornós, J.J., Bromley, R.G., Clemmensen, L.B. y Rodríguez-Perea, A. (2002b): Traces and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artyodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180: 277-313.
- Fornós, J.J. y Gelabert, B. (2011): Condicionants litològics i estructurals del carst a les illes Balears. *Endins*, 35. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 37-52
- Fornós, J.J., Gelabert, B., Ginés, A., Ginés, J., Tuccimei, P. y Vesica, P.L. (2002a): Phreatic overgrowths on speleothems: a useful tool in structural geology in littoral karstic landscapes. The example of Eastern Mallorca (Balearic Islands). *Geodinamica Acta*, 15: 113-125.
- Frechen, M., Neber, A., Tsatskin, A., Boenigk, W. y Ronen, A. (2004): Chronology of Pleistocene sedimentary cycles in the Carmen Coastal Plain of Israel. *Quaternary International*, 121: 41-52.
- Fryberger, S.G. y Schenk, C.J. (1988): Pin stripe lamination: a distinctive feature of modern and ancient eolian sediments. *Sedimentary Geology*, 55: 1-15.
- Gardner, R.A.M. (1983): Aeolianites. En: Goudie, A.S. y Pye, K. (eds.). *Chemical sediments and geomorphology*: 265-300. London, Academic Press. London.
- Gelabert, B. (2003): La estructura geològica de Menorca: las zonas de Tramuntana y Migjorn. En: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds.), *Introducción a la geografía física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 39-48. Palma, AGE, Universitat de València, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Gelabert, B., Sàbat, F. y Rodríguez-Perea, A. (1992): A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203: 167-183.
- Giménez, J. (2003): Nuevos datos sobre la actividad post-Neógena en la Isla de Mallorca. *Geogaceta*, 33: 91-96.
- Glennie, K.W. y Evamy, B.D. (1968): Dikaka-plants and plant-root structures associated with Aeolian sand. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 23: 77-87.
- Gómez-Pujol, L., Roig-Munar, F.X., Fornós, J.J., Balaguer P. y Mateu, J. (2013): Provenance-related characteristics of beach sediments around the island of Menorca, Balearic islands (western Mediterranean). *Geo-marine Letters*, 33: 195-208.
- Guijarro, J.A. 1986. *Contribución a la Bioclimatología de Baleares*. Tesis Doctoral. Palma, Universitat de les Illes Balears. 232 pp.
- Gutiérrez-Elorza, M. (2002.): Quaternary. En: Gibbons, W. y Moreno, T. (eds.). *The Geology of Spain*: 335-366. London, Geological Society of London.
- 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. y Szabo, B.J. (1986): Aminostratigraphy of Quaternary shorelines in the Mediterranean Basin. *Geological Society of American Bulletin*, 97: 850-858.
- Henningesen, D. (1990): Quärtare 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. y Cuerda, J. (1996): U-series measurements in thyrrenian deposits from Mallorca-Further evidence for two last-interglacial high sea level in the Balearic Islands. *Quaternary Science Reviews*, 15: 53-62.
- James, N.P. y Clarke, J.A.D. (eds.) (1997): *Cool-water carbonates*. Tulsa. SEPM Special Publication, 56: 440 pp.
- Jansà, A. (1998): Meteorologia mediterrània: de Josep M. Jansà a avui. *Territoris*, 1: 171-186.

- Jansà, A. (2004): El clima del Migjorn. En: Fornós, J.J., Obrador, A. y Rosselló, V.M. (eds.), *Història natural del Migjorn de Menorca. El medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 39-52. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Jaume, C. y Fornós, J.J. (1992). Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 93-110.
- Kaspar, F., Spangehl, T. y Cubasch, U. (2007). Northern Hemisphere winter storm tracks of the Eemian interglacial and the last glacial inception. *Climate of the Past*, 3: 181-192.
- Kindler, P. y Mazzolini, D. (2001): Sedimentology and petrography of dredged carbonate sands from Stocking Island (Bahamas). Implications for meteoric diagenesis and aeolianite formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 175: 369-379.
- Kindler, P., Davaud, E. y Strasser, A. (1997): Tyrrhenian coastal deposits from Sardinia (Italy): a petrographic record of high sea levels and shifting climate belts during the last interglacial (isotopic substage 5e). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 133: 1-25.
- Klappa, C.F. (1978): Biolithogenesis of Microcodium: elucidation. *Sedimentology*, 25: 489-522.
- Lancaster, N. y Tchakerian, V.P. (1996): Geomorphology and sediments of sand ramps in the Mojave Desert. *Geomorphology*, 17: 151-165.
- Leighton, C.L., Thomas, D.S.G., Bailey, R.M. (2014): Reproducibility and utility of dune luminescence chronologies. *Earth-Science Reviews*, 129: 24-39.
- Livingstone, I. y Warren, A. (1996): *Aeolian geomorphology: an introduction*. Harlow,. Addison-Wesley Longman, 211 pp.
- Martrat, B., Grimalt, J.O., López-Martínez, C., Cacho, I., Sierro, F.J., Flores, J.A., Zahn, R., Canals, M., Curtis, J.H. y Modell, D.A. (2004): Abrupt temperature changes in the Western Mediterranean over the past 250,000 years. *Science*, 306: 1762-1765.
- Mercadal, B. (1959): Noticia sobre la existencia de restos de terrazas del Tirreniense en la costa sur de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, vol. 5: 39-44.
- 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. y Rosell, J. (1970): Nueva aportación al conocimiento del Cuaternario menorquín. *Acta Geológica Hispánica*, 5 (4): 89-93.
- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Prins, M.A., Sanchez-Goñi, M.F., Grimalt, J.O. y Weltje, G.L. (2002): Saharan dust transport and high-latitude glacial climatic variability: the Alboran Sea record. *Quaternary Research*, 58: 318-328.
- Muhs, D.R., Budahn, J., Avila, A., Skipp, G., Freeman, J y Patternson, D. (2010): The role of African dust in the formation of Quaternary soils on Mallorca, Spain and implications for the genesis of Red Mediterranean soils. *Quaternary Science Reviews*, 29: 25.
- Muntaner, A. (1959): Nota preliminar sobre las formaciones tirrenienses de la Isla de Menorca (Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, vol. 5: 33-39.
- Munyikwa, K. (2005): Synchrony of Southern Hemisphere Late Pleistocene arid episodes: A review of luminescence chronologies from arid aeolian landscapes south of the Equator. *Quaternary Science Reviews*, 24: 2555-2583.
- Nielsen, K.A., Clemmensen, L.B. y 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.
- Nolan, M.H. (1895): Rasgos generales de la estructura geológica del archipiélago balear. *Bol. de la Comis. del Mapa Geológico de España*, 22: 101-120.
- Nolan, M.H. (1933): Nota sobre diversos puntos de la geología menorquina para dilucidar y comprobar. Trad. E. Castaños. *Revista de Menorca*, XXVIII: 152-159
- Obrador, A. y Pomar, L. (2004): El Miocè del Migjorn. In: Fornós, J.J., Obrador, A. y Rosselló, V.M. (eds.), *Història natural del Migjorn de Menorca. El medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 73-92. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis
- Obrador, A., Pomar, L. y Taberner, C. (1992): Late Miocene breccia of Menorca (Balearic Islands) a basis for the interpretation of a Neogene ramp deposit. *Sedimentary Geology*, 79: 203-223.

- Onac, B.P., Ginés, A., Ginés, J., Fornós, J.J. y Dorale, J.A. (2012). Late Quaternary sea level history: a speleothem perspective. In: Ginés, A., Ginés, J., Gómez-Pujol, L., Onac, B.P. y Fornós, J.J. (eds.). *Mallorca: A Mediterranean benchmark for Quaternary studies*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18: 147-162. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Pappalardo, M., Chelli, A., Ciampalini, A., Rellini, I., Biagioni, F., Brückner, H., Fülling, A. y Firpo, M. (2013): Evolution of an Upper Pleistocene aeolianite in the northern Mediterranean (Liguria, NW Italy). *Ital. J. Geosci.*, 132, 2: 290-303.
- Pascucci, V., Andreucci, S., Clemmensen, L., Fanelli, F., Ibba, A., Zucca, C. y Madrau, S. (2008): *La successione tardo quaternaria della Sardegna Settentrionale: implicazioni paleogeografiche e paleoclimatiche*. Escursione E04, 84 Congresso Nazionale. Società Geologica Italiana. Sassari 15-17 Settembre 2008. Società Geologica Italiana.
- Pascucci, V., Sechi, D. y 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. y 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.
- Polyak, V.J., Onac, B.P., Fornós, J.J., Dorale, J.A. y 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. Palma, Universitat de les Illes Balears. 377 pp.
- Pomar, F., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L. y Del Valle, L. (2013): El Pleistoceno superior de la zona de Tirant-Fornells (Norte de Menorca, Illes Balears): un modelo de interacción eólica y aluvial. *Geo-Temas*, 14: 123-126.
- Pomar, F., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L. y Del Valle, L. (2015b). Interferència entre sedimentació eòlica i al·luvial (Alluvial-aeolian sedimentary interference). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 58:
- Pomar, F., Del Valle, L., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (2015a). Registro sedimentario litoral del Pleistoceno en las Islas Baleares (Mediterráneo occidental): implicaciones paleoclimáticas. *Geo-Temas*, 15: 65- 68.
- Pomar, F., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L. y Del Valle, L. (2016): Dipòsits d'interferència eòlica-al·luvial al Pleistocè superior de les Illes Balears (Mallorca i Menorca, Mediterrània occidental): sedimentologia i implicacions paleoambientals. (Late Pleistocene aeolian-alluvial interference deposits in the Balearic Islands (Mallorca and Menorca, Western Mediterranean): sedimentology and palaeoenvironmental implications). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, En prensa.
- Pons, G.X. y Gómez-Pujol, L. (2003). Introducción al medio físico de Menorca (Illes Balears). In: Rosselló, V.M., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L. (Eds.). *Introducción a la geografía física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 1-30. Palma, AGE, Universitat de València, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Preusser, F., Radies, D. y Matter, A. (2002): A 160,000-year record of dune development and atmospheric circulation in Southern Arabia. *Science*, 296: 2018-2200.
- Price, D.M., Brooke, B.P. y Woodroffe, C.D. (2001): Thermoluminescence dating of aeolianites from Lord Howe Island and south-west Western Australia. *Quaternary Science Reviews*, 20: 841-846.
- Pye, K. y Tsoar, H. (2009): *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 458 pp.
- Radies, D., Preusser, F., Matter, A. y Mange, M. (2004): Eustatic and climatic controls on the development of the Wahiba Sand Sea, Sultanate of Oman. *Sedimentology*, 51: 1359-1385.
- Rose, J., Meng, X. y 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.

- Rosell, J. y Llopart, C. (2014): *El naixement d'una illa, Menorca. Guia geològica pràctica*. Segona edició. Maó, Institut Menorquí d'Estudis, 279 pp.
- Rosell, J., Obrador, A. y Mercadal, B. (1969): Estudio sedimentológico y estratigráfico de la Isla del Aire (Menorca). *Boletín Geológico y Minero*, LXXX-VI: 538-544
- Ruíz, J.M., Marín-Guirao, L. y Sandoval-Gil, J.M. (2009): Responses of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to insitu simulated salinity increase. *Botanica Marina*, 52: 459-470.
- Sàbat, F., Gelabert, B., Rodríguez-Perea, A. y Jiménez, J. (2011). Geological structure and evolution of Majorca: Implications for the origin of the western Mediterranean. *Tectonophysics*, 510: 217-238.
- Schultz, M. (2002): On the 1470-year pacing of Dansgaard-Oescher warm events. *Paleoceanography*, 17: 1-9.
- Segura F.S., Pardo Pascual, J.E. y Palomar J. (2004): Els barrancs del Migjorn de Menorca. In: Fornós, J.J., Obrador A., y Rosselló, V.M. (eds), *Història Natural del Migjorn de Menorca: el Medi Físic i l'Influx Humà*, Mon. Societat d'Història Natural de les Balears, Palma: 129-156. Palma, Societat d'Història Natural de Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- 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. y 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*. Departament de Ciències de la Terra, Tesi Doctoral. Palma. Universitat de les Illes Balears. 904 pp.
- Servera, J. y Riquelme, J. (2004): L'acció del vent: sistemes dunars actuals i eolianites. In: Fornós, J.J., Obrador, A. y Rosselló, V.M. (eds.) *Història natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 213-233. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Siddall, M., Rohling, E.J., Almogi-labin, A., Hemleben, CH., Melschner, D., Schmelzer, I. y Smeed, D.A. (2003): Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, 423: 853-858.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Jiménez, J., Fornós, J.J., Cabrero, A., Bardají, T., Mateos, R.M., González-Hernández, F.M., Hillaire-Marcel, C.L. y Ghaleb, B. (2005): Mallorca island: geomorphological evolution and neotectonics. En: Desir, G., Gutiérrez, F., Gutiérrez, M. (eds.), *Field Trip Guides. Sixth International Conference on Geomorphology*: 433-472. Zaragoza, The International Association of Geomorphologists.
- Sivan, D. y Porat, N. (2004). Evidence from luminescence for Late Pleistocene formation of calcareous aeolianite (kukar) and palaeosol (hamra) in the Carmel Coast, Israel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 211: 95-106.
- Sivan, D., Sisma-Ventura, G., Greenbaum, N., Bialik, O.M., Williams, F.H., Tamisiea, M.E., Rohling, E.J., Frumkin, A., Avnaim-Katav, S., Shtienberg, G. y Stein, M. (2016): Eastern Mediterranean sea levels through the last interglacial from a coastal-marine sequence in northern Israel. *Quaternary Science Reviews*, 145: 204-225.
- Solé Sabarís, L. (1962): Le Quaternaire marin des Baléares et ses rapports avec les côtes méditerranéennes de la Péninsule Iberique. *Quaternaria*, VI: 309-342.
- Thiel, C., Coltorti, M., Tsukamoto, S. y Frechen, M. 2010. Geochronology for some key sites along the coast of Sardinia (Italy). *Quaternary International*, 222: 36-47.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Delitala, M.C., Ginés, A., Gràcia, F., Fornós, J.J. y 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 NF*, 50 (1): 1-21.
- Tucker, M.E. y Wright, V.P. (1990): *Carbonate sedimentology*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 482 pp.
- Vesica, P.L., Tuccimei, P., Turi, B., Fornós, J.J., Ginés, A. y 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.
- Ward, W.C. (1975). Petrology and diagenesis of carbonate eolianites of Northeastern Yucatán Peninsula, Mexico. *American Association of Petroleum Geologists. Studies in Geology*, 2: 500-571.
- Weaver, A.J. (1999): Millennial Timescale Variability in Ocean/Climate Models. En: 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.
- Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Bardají, T., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., González-delgado, J.A. y 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.