

>

E

S

T

U

D

I

O

S

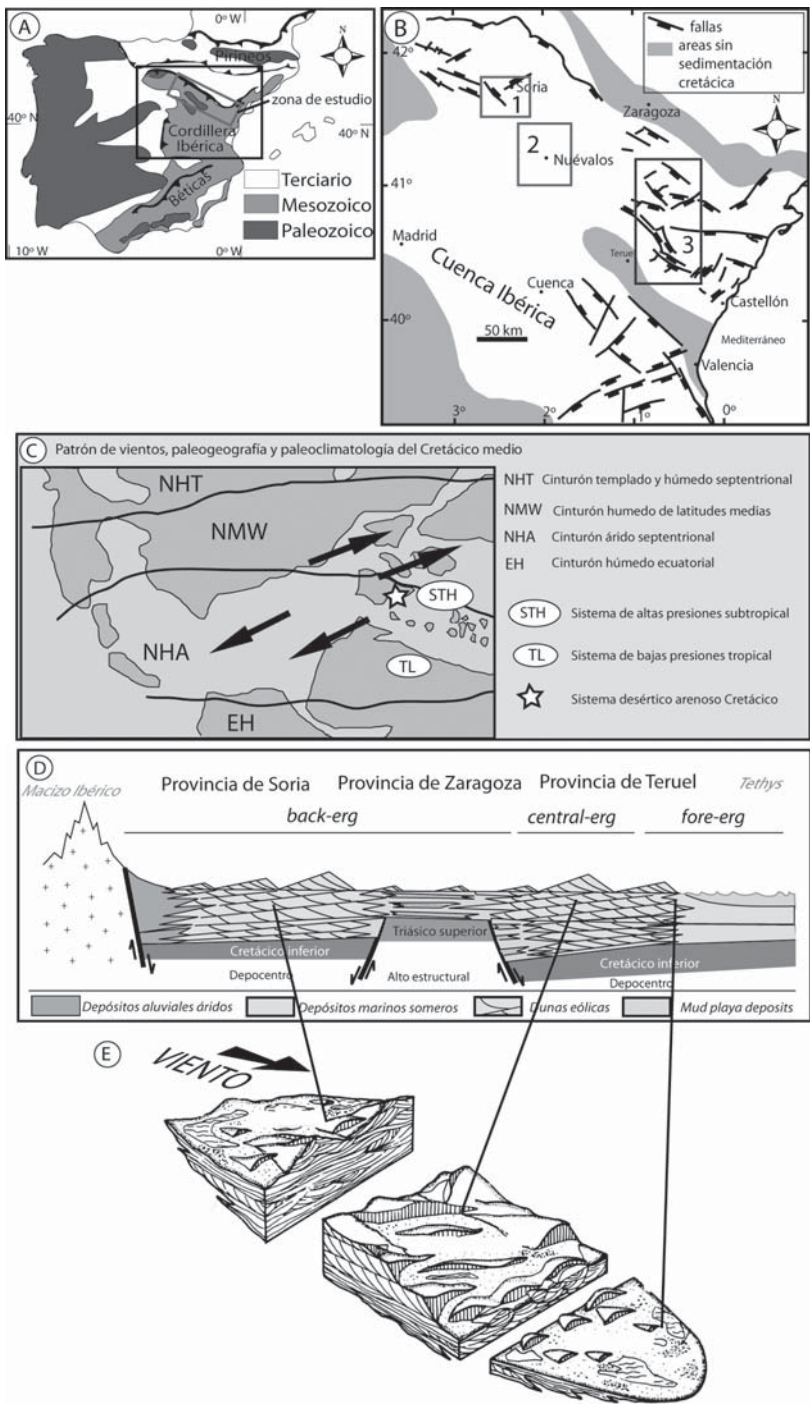


Figura 1. (A) Mapa geológico simplificado de la Península Ibérica. (B) Mapa paleogeográfico de la Cuenca Ibérica durante el Cretácico. (C) Patrón de vientos, paleogeografía y paleoclimatología del Cretácico Medio. (D) Zonación espacial del sistema desértico en las provincias de Soria, Zaragoza y Teruel. (E) Zonación espacial teórica de un erg (Porter, 1986).

EL DESIERTO CRETÁCICO IBÉRICO

JUAN PEDRO RODRÍGUEZ-LÓPEZ Y NIEVES MELÉNDEZ HEVIA
DEPARTAMENTO DE ESTRATIGRAFÍA. FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

RESUMEN

Durante más de 30 años, los depósitos predominantemente arenosos de las Formaciones Escucha y Utrillas de la Cordillera Ibérica han sido considerados como depósitos pertenecientes a sistemas deltaicos y fluviales que durante el Cretácico se desarrollaron en la Cuenca Ibérica. Sin embargo, las últimas investigaciones realizadas en estas unidades rocosas indican que dichos depósitos arenosos se depositaron a partir de la acumulación de grandes dunas eólicas en un sistema desértico arenoso que abarcó más de 16.000 km² en las provincias de Soria, Zaragoza y Teruel.

Este sistema desértico cretácico presentaba una zonación espacial característica (Rodríguez-López, 2008) previamente detectada en otros sistemas desérticos antiguos (p. e. Porter, 1986): (a) un *back-erg* (zona proximal del sistema desértico) localizado en las provincias de Soria y Zaragoza (sectores de Soria, Alhama de Aragón y Nuévalos), en el que se produjo la interacción entre sistemas fluviales efímeros y el viento (Rodríguez-López *et al.*, 2009), (b) un *central-erg* (zona central del sistema desértico) localizado en la provincia de Teruel (sectores de Estercuel-Gargallo y Oliete-Ariño), en el que se produce la principal acumulación de arena eólica y desarrollo de los depósitos eólicos del sistema desértico; (c) un *fore-erg* localizado en la provincia de Teruel (zona distal del sistema desértico presente en los sectores de Utrillas-Escucha y Estercuel-Gargallo) en el que se produjo la interacción entre el sistema desértico arenoso y el mar del Tethys.

Durante su evolución, el sistema desértico fue transgredido (inundado por el mar), generando el retrabajamiento de las facies eólicas en medios marinos restringidos (Rodríguez-López *et al.*, 2009).

guez-López *et al.*, 2006; 2008) y desarrollándose un sistema costero árido. Durante los periodos más húmedos, este sistema costero árido llegó a desarrollar marismas y manglares, que generaron niveles de arcillas carbonosas eventuales.

El desarrollo temporal del sistema desértico presenta periodos de mayor y menor actividad eólica asociada normalmente a variaciones en el aporte de arena eólica y a las variaciones del nivel del mar relativo, que en última instancia condicionó la preservación de los depósitos eólicos de la deflación.

INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO GEOLÓGICO

La presencia de extensos depósitos siliciclásticos en Iberia durante el Cretácico medio y superior lleva llamando la atención de geólogos nacionales y extranjeros desde hace más de dos siglos. Estos depósitos han sido agrupados dentro de las Formaciones Escucha y Utrillas en la Comarca de Andorra, Cuencas Mineras y sectores adyacentes en la Provincia de Teruel. Los trabajos previos de estas unidades interpretan la Formación (en adelante, Fm.) Escucha como un sistema deltaico o deltaico estuarino (Pardo, 1979, Querol, 1990) y la Fm. Utrillas como un sistema fluvial (Pardo, 1979).

Sin embargo, los estudios estratigráficos, sedimentológicos, paleoclimáticos, paleogeográficos, de relación tectónica-sedimentación, bioestratigráficos y paleoecológicos llevados a cabo durante el periodo comprendido entre 2005-2009 en el área tipo donde fueron descritas las Formaciones Escucha y Utrillas ponen de manifiesto que dichos depósitos arenosos se depositaron a partir de la acumulación de grandes dunas eólicas en un sistema desértico arenoso que abarcó más de 16.000 km² en las Provincias de Soria, Zaragoza y Teruel.

Estos depósitos arenosos se desarrollaron en la Cuenca Ibérica (precursora de la Cordillera Ibérica) desde el Albiense al Cenomaniense (Cretácico medio) (Fig. 1A y 1B).

CONTEXTO PALEOCLIMÁTICO. INICIO DEL SISTEMA DESÉRTICO ARENOSO

El origen del *erg* Ibérico está asociado al cambio climático acaecido en Iberia en el Albiense inferior. Este cambio climático supuso el paso de condiciones más húmedas a condiciones áridas desérticas que favorecieron el desarrollo del *erg* sobre potentes tramados de carbón que se habían depositado previamente (Fig. 2A). Estas capas de carbón, situadas estratigráficamente por debajo del sistema desértico arenoso, son los carbones que aún hoy se siguen explotando en algunas de las Comarcas de la Provincia de Teruel. El cambio de condiciones húmedas a áridas en Iberia se debe al desplazamiento de los cinturones climáticos hacia latitudes más septentrionales. En el tránsito Aptiense-Albiense, el desarrollo de un cinturón ecuatorial húmedo asociado a la conexión entre el Atlántico Sur y Norte forzó el desplazamiento de los cinturones áridos hacia paleolatitudes más altas, quedando la Cuenca Ibérica, y la mayor parte de Iberia, bajo el efecto de condiciones climáticas áridas durante el Albiense (Fig. 1C). Por otra parte, en el tránsito Aptiense-Albiense se registra un mínimo eustático de segundo orden, que ha sido asociado a un periodo de enfriamiento global.

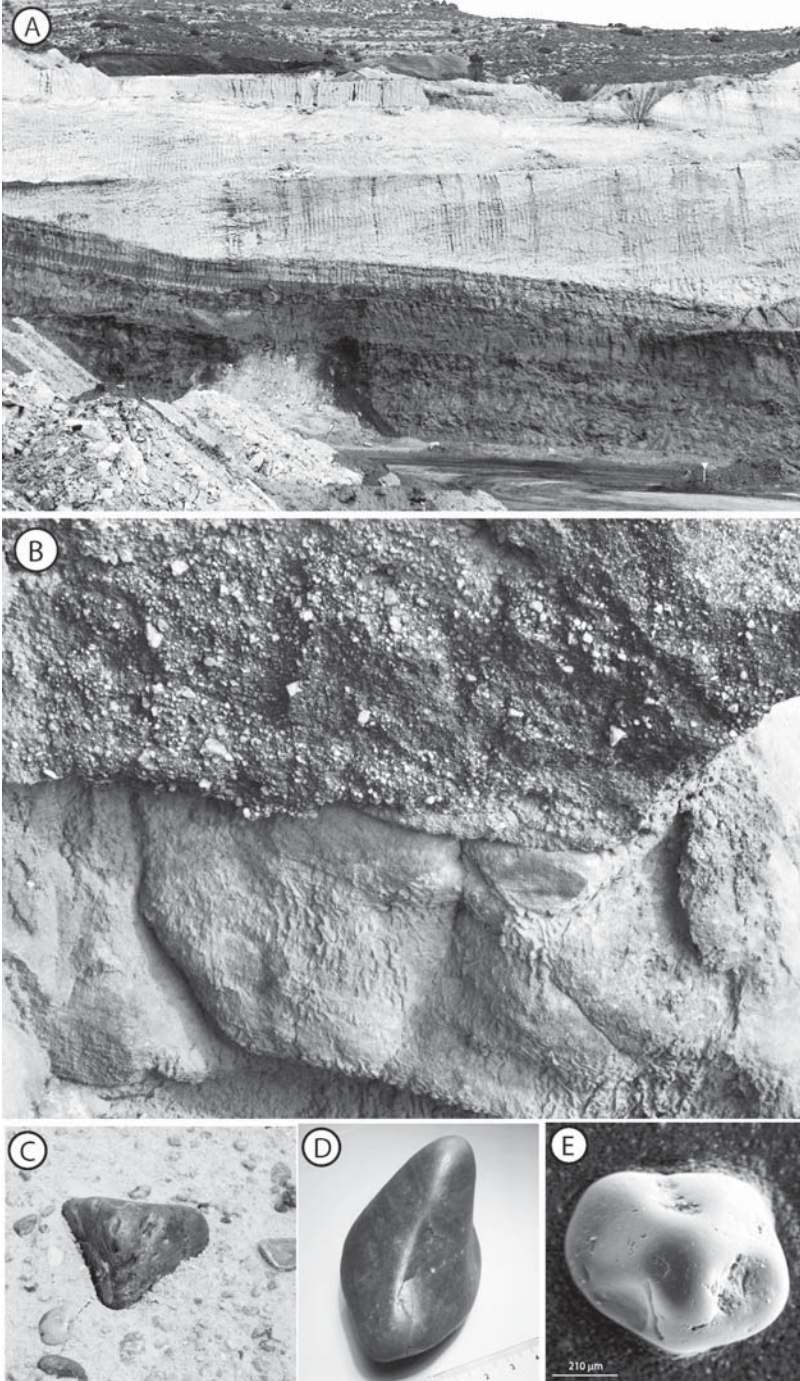


Figura 2. (A) Afloramiento mostrando el contacto entre las dunas eólicas del *erg* por encima de los depósitos de carbón previos en las proximidades del pueblo de Estercuel. (B) Conglomerados y areniscas aluviales del *back-erg* en las proximidades de la localidad de Nuévalos. (C y D) Ventifactos (cantos piramidales que han sido pulidos por el viento). (E) Imagen de un grano de cuarzo eólico visto al microscopio electrónico. El grano muestra una morfología redondeada y zonas hundidas debido a la abrasión eólica.

ZONACIÓN ESPACIAL DEL SISTEMA DESÉRTICO ARENOSO (ERG)

El sistema desértico presenta una zonación espacial característica (Fig. 1D) (Rodríguez-López, 2008) previamente detectada en otros sistemas desérticos antiguos (Fig. 1E) (p. e. Porter, 1986).

Back-erg

El *back-erg* constituye la zona proximal del sistema desértico y se ha reconocido en los sectores de Soria, Alhama de Aragón y Nuévalos, donde se produjo la interacción entre sistemas fluviales efímeros procedentes del Macizo Ibérico y el viento, dando lugar a ciclos fluvio-eólicos típicos de la orla de *wadis* que se desarrolla entre los macizos rocosos y el *central-erg*. El estudio sedimentológico de detalle desarrollado en el *back-erg* (Rodríguez-López *et al.*, 2010) muestra que estos materiales se depositaron en diferentes ambientes sedimentarios: mantos de arena eólicos; canales efímeros de arena y cantos (Fig. 2B); llanuras de inundación efímeras; pavimentos de deflación con ventifactos (cantos facetados por el viento) (Fig. 2C y 2D); dunas eólicas y depósitos eólicos bimodales (ver Rodríguez-López *et al.*, 2010).

En esta zona del *back-erg*, los fuertes vientos de este sistema árido soplaban y erosionaban la superficie generando *lags* de deflación y pavimentos desérticos que contienen ventifactos. Las dunas eólicas de este sector proximal del sistema desértico se desarrollaron a los pies de los relieves del Macizo Ibérico. La entrada de flujos de agua ocasionales en este margen del *erg* se encauzó a lo largo de los canales fluviales efímeros (*wadis*), que terminaron erosionando las arenas acumuladas en las dunas eólicas y las gravas acumuladas en los pavimentos de deflación.

La intensa acción del viento sobre los lechos emergidos y secos de los *wadis* favoreció el transporte de arena por el viento que viajaba a lo largo de kilómetros de distancia hacia otras zonas del sistema desértico arenoso. Estos granos eólicos transportados cuando son observados al microscopio electrónico de barrido presentan bordes redondeados y caras hundidas (Fig. 2E) debido a la intensa abrasión eólica sufrida durante su transporte desde el *back-erg* a otros sectores del sistema desértico arenoso.

Central-erg

El *central-erg* constituye la zona central del sistema desértico y se situaba geográficamente en los sectores de Andorra, Estercuel-Gargallo y Oliete-Ariño, en la Provincia de Teruel (Fig. 2). En el *central erg* se produce la principal acumulación y desarrollo de los depósitos eólicos del sistema desértico con el desarrollo de diferentes asociaciones de facies, cuyas características han sido estudiadas en detalle por Rodríguez-López *et al.* (2008); (1) dunas eólicas crescénticas; (2) *draas* lineares; (3) *draas* no lineares (Fig. 3A y 3B); (4) interdunas húmedas; (5) interdunas secas; (6) mantos de arena eólicos y (7) *sabkhas* siliciclásticas.

Las potentes acumulaciones de sedimentos eólicos generan unos afloramientos de color blanco a ocre-dorado característico (Fig. 4A y 4B), formados por areniscas de grano fino muy bien seleccionadas y con elevada porosidad, organizadas en *sets* de estratificación cruzada en diferentes órdenes y tamaños en función del tipo de dunas eólicas de las cuales se trate (ver Rodríguez-López *et al.*, 2008).

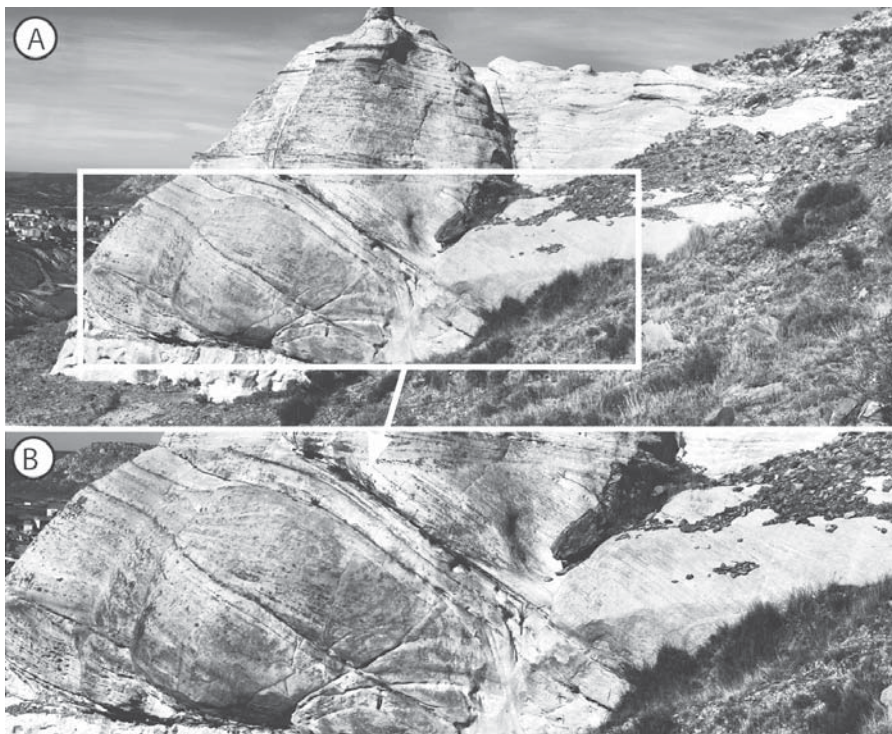


Figura 3. (A) (B) *Draa* (duna compleja) en el afloramiento de la ladera del Barranco de la Orden, cerca de Escucha. (B) Detalle de (A) mostrando la gran cara de avalancha de la duna eólica compleja.

Las grandes dunas eólicas que avanzaban y se acumulaban en esta zona del *erg* se construían a partir de la arena transportada por el viento procedente de la deflación del *back-erg*. Debido a las altas temperaturas asociadas a este desierto, se producía la precipitación de sales. Estas evaporitas han quedado preservadas en las areniscas eólicas como crestas de sal y como rosas del desierto fósiles.

Fore-erg

El *fore-erg* constituye la zona distal del sistema desértico; se ha reconocido en los sectores de Utrillas-Escucha y Estercuel-Gargallo. En el *fore-erg* se produjo la interacción entre el sistema desértico arenoso y el sistema marino coetáneo (mar del *Tethys*), generándose avances y retrocesos de la línea de costa, lo que favoreció el desarrollo de ciclos duna-lagoon y el retrabajamiento de las facies eólicas en medios marinos restringidos (llanuras de marea, bahía-lagoon restringidos) (Rodríguez-López *et al.*, 2006; 2008), desarrollándose un sistema costero árido en el que se formaron ciclos de ambientes de llanuras arcillosas áridas con niveles estromatolíticos en las áreas más proximales (Rodríguez-López, 2008); se desarrollaron igualmente extensas llanuras costeras arcillosas con canales mareales (Fig. 5A) en las que se llegaron a formar niveles de carbón arcilloso en manglares y marismas desarrollados durante periodos más húmedos.

El estudio sedimentológico de detalle permite diferenciar dos grandes grupos de asociaciones de facies: asociaciones de facies de avance de *erg* y asociaciones de facies de

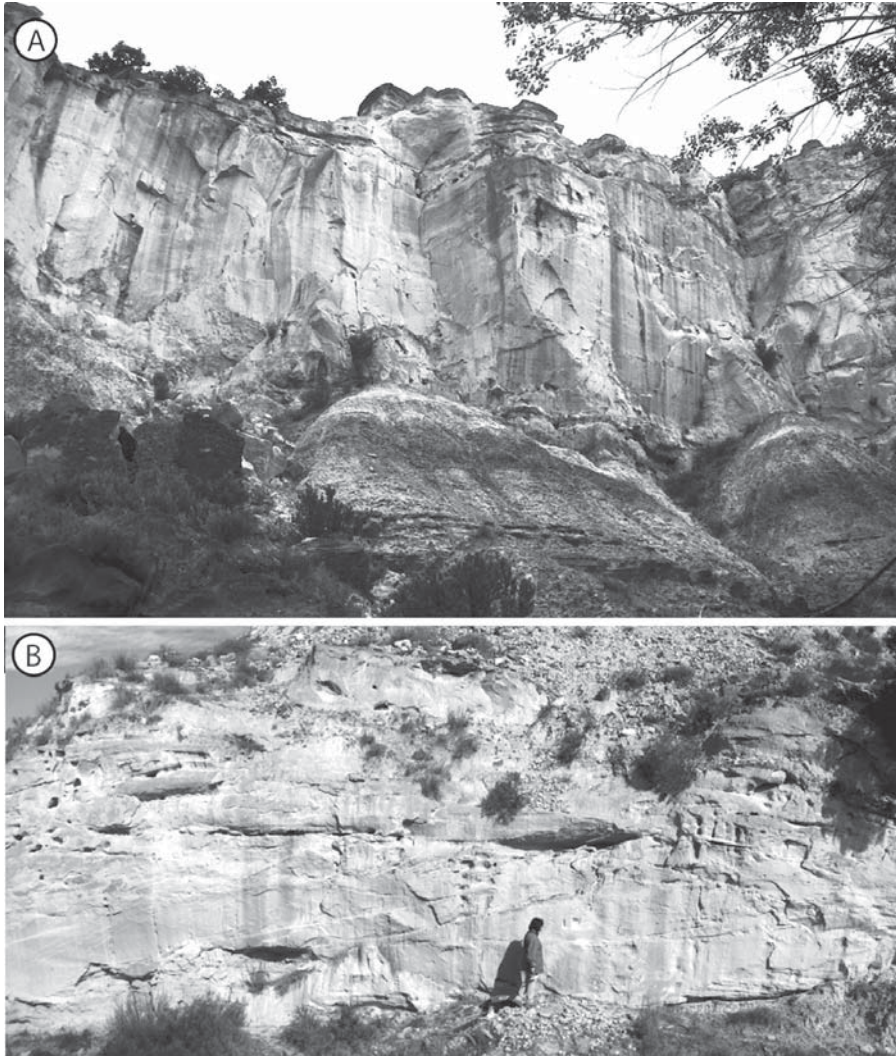


Figura 4. (A) Afloramiento típico de las areniscas eólicas en los alrededores de Estercuel. (B) Grandes caras de avalancha de dunas eólicas crescénticas en el Barranco de la Dehesa, cerca de Estercuel.

destrucción del *erg* debido al avance del mar. Entre las asociaciones de facies de avance del *erg* aparecen: dunas eólicas crescénticas y dunas eólicas complejas con retrabajamientos mareales. Entre las asociaciones de destrucción del *erg* aparecen: asociaciones de facies de *lagoon* con niveles de tormenta; asociaciones de facies de *playa-lake*; asociación de facies submareal (Fig. 5B y 5C) y asociaciones de facies de *sabkhas* costeras siliciclásticas.

EXPANSIÓN Y RETRACCIÓN DEL *ERG*

Los últimos datos indican que los desplazamientos latitudinales de los cinturones climáticos tuvieron su efecto en el conjunto de todo el sistema sedimentario árido; así, en periodos en los que el Macizo Ibérico se encontraba bajo el influjo del cinturón

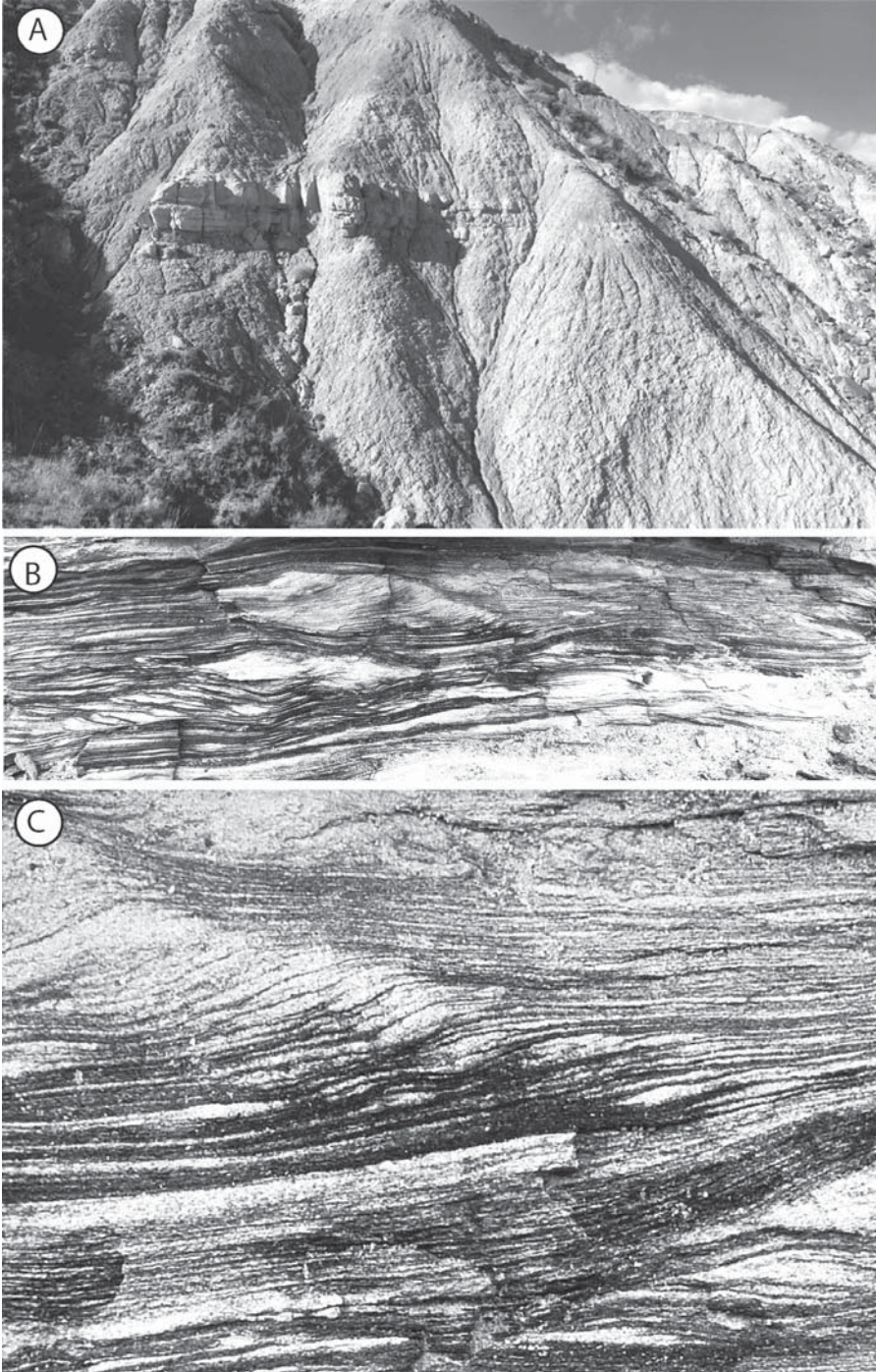


Figura 5. (A) Aspecto típico de los depósitos de lagos costeros arcillosos con canales mareales del *fore-erg*. (B y C) Depósitos submareales en el *fore-erg*. Ambas fotos corresponden al afloramiento de la ladera del Barranco de la Orden, cerca de Escucha.

climático húmedo de latitudes medias, éste recibía un mayor volumen de agua, lo que favorecía una recarga del acuífero regional, un aumento del nivel freático y, por ende, una reducción en la deflación. Esta disminución se traducían en un menor aporte eólico hacia el *central-erg*. La consecuencia directa de este hecho es que las dunas eólicas del *central-erg* dejaban de avanzar hacia el *Tethys* favoreciendo una transgresión del mar del *Tethys* sobre el margen del *erg*.

Durante estos periodos de mayor entrada de agua en el Macizo Ibérico, la recarga del acuífero regional favoreció el mantenimiento y sustentación de zonas vegetadas en la costa. Estas plantas se alimentaban tanto de las surgencias de aguas dulces subterráneas en puntos próximos al mar, como de la presencia de las aguas marinas que favorecían una mayor humedad. Durante los periodos en los que el Macizo Ibérico se encontraba bajo el influjo del cinturón climático árido septentrional, se producía una reducción en la entrada de agua desde el Macizo Ibérico hacia el sistema árido y, por ende, una bajada del nivel freático regional, lo que favorecía los procesos de deflación y transporte de arena eólica del *back-erg* al *central-erg*. Esto se traducían en un avance de las dunas eólicas hacia el *Tethys* fruto de la progradación y expansión del sistema desértico arenoso.

El descubrimiento del primer sistema desértico cretácico de Europa abre nuevas vías para la comprensión de los procesos paleoclimáticos y paleoceanográficos acaecidos durante el Cretácico medio.

PRINCIPALES AFLORAMIENTOS DEL ERG EN TERUEL

Los principales afloramientos del sistema desértico arenoso se sitúan en las provincias de Soria, Zaragoza y Teruel. En particular, los afloramientos de la provincia de Teruel se sitúan geográficamente entre las poblaciones de Utrillas y Andorra. Los principales afloramientos de dunas eólicas complejas se encuentran situados en los alrededores de las poblaciones de Esteruel y Crivillén. En estos sectores es posible observar potentes acumulaciones de dunas eólicas intercaladas con tramos arcillosos desarrollados en llanuras arcillosas áridas. En las proximidades de las localidades de Escucha y Palomar de Arroyo se sitúan los afloramientos del *fore-erg*, en el que potentes tramos arenosos de dunas eólicas complejas se encuentran intercaladas con depósitos marinos someros y lagos costeros arcillosos.

IMPORTANCIA ECONÓMICA Y PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO

Tanto las areniscas que constituyen los depósitos eólicos como las arcillas depositadas en las llanuras arcillosas áridas han sido tradicionalmente explotadas con fines económicos. Las canteras de arcilla de las comarcas septentrionales de la provincia de Teruel extraen las arcillas para utilizarlas en la industria cerámica. Las canteras en las areniscas de dunas eólicas las explotan para la industria del vidrio.

La evidente rentabilidad económica de los afloramientos del sistema desértico entra en conflicto directo con el interés e importancia científica de este *erg*, ya que constituye el primer sistema desértico arenoso desarrollado durante el Cretácico que ha sido descubierto

en Europa. La preservación y la protección de los afloramientos de este sistema desértico deberían primar sobre el interés económico que suscitan.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Estudios Locales de Andorra la posibilidad de divulgar el descubrimiento de este sistema desértico Cretácico. Este artículo constituye una contribución al Proyecto de Investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación CGL-05418-2008.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PARDO, G. *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones detríticas del Cretácico inferior terminal del Bajo Aragón Turolense*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1979, 473 pp.

PORTER, M. L. "Sedimentary record of erg migration", *Geology*, 14, pp. 497-500.

QUEROL, X. *Distribución de la materia mineral y azufre en los carbones de la Fm. Escucha. Relación con los factores geológicos, sedimentológicos y diagenéticos*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 1990.

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. P.; DE BOER, P. L.; MELÉNDEZ, N. *et. al.* "Windblown desert sands in coeval shallow marine deposits a key for the recognition of coastal ergs; mid-Cretaceous Iberian Basin, Spain", *Terra Nova*, 18, 2006, pp. 314-320.

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. P. *Sedimentología y evolución del sistema desértico arenoso (erg) desarrollado en el margen occidental del Tethys durante el Cretácico medio. Cordillera Ibérica. Provincias de Teruel y Zaragoza*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid-Instituto de Geología Económica (UCM-CSIC), 2008, 500 pp.

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. P.; MELÉNDEZ, N.; DE BOER, P. L. *et. al.* "Aeolian sand-sea development along the along the mid-Cretaceous western Tethyan margin (Spain): erg sedimentology and palaeoclimate implications", *Sedimentology*, 55, 2008, pp. 1.253-1.292.

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. P.; MELÉNDEZ, N.; DE BOER, P. L. *et. al.* "The action of wind and water in a mid-Cretaceous subtropical erg-margin system close to the Variscan Iberian Massif, Spain", *Sedimentology*, 2010, Digital Object Identifier (DOI): 10.1111/j.1365-3091.2010.01147.x