



Intercalaciones de polvo sahariano en paleodunas bioclásticas de fuerteventura (Islas Canarias)

Saharan dust interbedded in bioclastic palaeodunes in Fuerteventura, Canary Island

Criado, C.⁽¹⁾; Torres, J. M.⁽²⁾; Hansen, A.⁽³⁾; Lillo, P.⁽²⁾; Naranjo, A.⁽³⁾

(1) Departamento de Geografía. Universidad de La Laguna. 38071, La Laguna, Tenerife, España. ccriado@ull.es

(2) I.E.S. Gran Tarajal. 35620, Gran Tarajal, Fuerteventura, España.

(3) Departamento de Geografía. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35003, Las Palmas de Gran Canaria, España.

Resumen

En las Canarias orientales (Lanzarote y Fuerteventura) abundan las formaciones dunares, tanto funcionales como relictas. Estas últimas, debido a su utilización como canteras de áridos, presentan secuencias de gran interés geomorfológico y paleoclimático. En ellas se reconocen estratos de color marrón claro y aspecto terroso que contienen conchas de gasterópodos terrestres y nidos de insectos. La bibliografía los identifica como paleosuelos derivados de la alteración de las arenas o con aportes arcillosos saharianos. Sin embargo, no se observan rasgos que indiquen la existencia en el pasado de procesos edafogénicos que hayan dado lugar a estas formaciones. El estudio granulométrico, geoquímico y mineralógico de una secuencia localizada en Corralejo (Fuerteventura), en el que se diferencian dos estratos terrosos, apunta a un origen derivado de la mezcla de arenas bioclásticas con polvo sahariano (*dust*), predominando en éste la fracción limosa y siendo el cuarzo el mineral más destacable. Las dataciones de ¹⁴C, realizadas sobre conchas de gasterópodos terrestres, permiten establecer una secuencia temporal finipleistocena para los dos estratos de textura areno-franca, que se habrían formado en situaciones paleoclimáticas caracterizadas por deposiciones masivas de polvo sahariano, en forma de *lluvia de sangre*, bajo un clima más húmedo que el actual.

Palabras clave: paleodunas, polvo sahariano, *dust*, *lluvia de sangre*, Pleistoceno Superior, Fuerteventura, Islas Canarias.



Abstract

Aeolian sand dunes deposits are very well developed in Lanzarote and Fuerteventura Islands. There, active and fossil (palaeodunes) aeolian sand formations can be distinguished. These have been used as sand quarry showing very interesting cross-sections. An accuracy survey allows differentiate silty layers, pale brown coloured, with presence of land snails remains and insects nets. The literature defined these layers as paleosoils issued from the weathering of bioclastic sands; others authors explained them as Saharan clays. The geochemical, mineralogical and grain-size study carried out on a cross-section located on Corralejo (Fuerteventura) point to a mixture between bioclastic sand-dunes and Saharan dust, composed by silt fraction including quartz as the most important mineral. The study include grain-size, geochemical and mineralogical analysis (XRD) and two radiocarbon ages got on shells of terrestrial snails. These, included on silty layers, has been dated 16 ka and 13 ka BP. The comparison of these data with grain-size parameters of actual sand-dunes from Corralejo Natural Park allow presume a weak wind velocity during the arid phases of Late Pleistocene times; indeed, the presence of silty layers, interbedded between sandy layers is an evidence of important deposition of dust airborne from Sahara desert; geochemical and mineralogical evidences point to frequents arrival of African fine fraction. On the other hand, the close association between sahara dust and animal remains (insect nets and shell of *Theba geminate*) is an evidence of more dense vegetation cover. We suggest that the presence of these silty layers can be related with more humid palaeoclimates producing a massive deposition of Saharan dust as blood rain in a time when the polar front move southward in relation with changes in the atmosphere dynamic.

Key words: Paleodunes, dust, blood rain, Upper Pleistocene, Fuerteventura, Canary Islands.

1. Introducción

El archipiélago canario, todo él de origen volcánico, muestra importantes variaciones geomorfológicas entre las diferentes islas que lo componen. Así las islas del grupo oriental (Lanzarote y Fuerteventura), junto con Gran Canaria, presentan mayor abundancia de dunas (activas y fósiles), mientras que en las occidentales son escasas e incluso inexistentes.

El papel de las paleodunas en la evolución geomorfológica y paleoclimática de las islas orientales no ha pasado desapercibido a los investigadores extranjeros y españoles, siendo numerosos los trabajos que las han abordado como fuentes para entender la evolución paleoclimática y paleoecológica de esta parte del archipiélago canario a lo largo del Cuaternario (Petit-Maire et al., 1987; Rognon y Coudé-Gaussen, 1987; Rognon et al., 1989; Criado, 1990 y 1991; Rognon y Coudé-

Gausen, 1996; Bouab y Lamothe, 1997; Meco et al., 1997; Criado et al., 2004; Ortiz et al., 2005; Meco et al., 2006 y 2008; Criado et al., 2010 y 2011; Gutiérrez-Elorza et al., en prensa).

El aprovechamiento de las paleoformas eólicas como canteras de extracción de áridos permite la observación directa de las formaciones dunares; constituidas esencialmente por arenas bioclásticas, de una llamativa tonalidad clara, que muestran estratos intercalados de textura más terrosa y color marrón claro (Figura. 1).

Estas capas han sido interpretadas como el resultado de cambios en la dinámica eólica, en momentos en los que un clima más húmedo favoreció la formación de un paleosuelo o bien producto de la arribada masiva de arcillas transportadas por el viento desde el vecino continente africano (Petit-Maire et al., 1987; Rognon y Coudé-Gaussen, 1987;



Figura 1. Estrato de arenas bioclásticas (color claro) sobre el que reposa otro de arena bioclástica mezclada con polvo sahariano (tono más oscuro). Se puede observar la presencia de nidos de insectos y conchas de gasterópodos terrestres (Parque Natural de Corralejo).

Figure 1. Strata of bioclastic sand (pale color) overlapped by bioclastic sand mixed with saharan dust (dark color). We can see the presence of insect's nests and shells of land snails (Corralejo Natural Park).

Rognon et al., 1989; Rognon y Coudé-Gaussen, 1996; Bouab y Lamothe, 1997; Meco et al., 1997; IGME, 2004; Ortiz et al., 2005; Meco et al., 2006 y 2008); la presencia de abundantes conchas de gasterópodos terrestres, ha permitido obtener edades absolutas por ^{14}C y también se han hecho determinaciones geocronológicas por TL, OSL e IRSL (Rognon y Coudé-Gaussen, 1987; Rognon et al., 1989; Rognon y Coudé-Gaussen, 1996; Bouab y Lamothe, 1997; Bouab, 2001; Meco et al., 2008; Gutiérrez-Elorza et al., en prensa). Pero la cuestión que planteamos es simple: ¿podemos considerarlas como paleosuelos? ¿son sólo arcillas de origen africano? ¿son otra cosa?

En este trabajo presentamos los resultados obtenidos en el estudio detallado de una secuencia (Corralejo 2) localizada en una cantera de arena sita en Corralejo, en el extremo NE de Fuerteventura (Figura 2), donde también se localiza la secuencia Corralejo 1, de menor interés y cuyos resultados han sido publicados con anterioridad (Criado et al., 2004 y 2010).

1.1. Contexto geográfico

La cantera se sitúa en un amplio sector topográficamente llano, cuya base está constituida por lavas basálticas del Pleistoceno

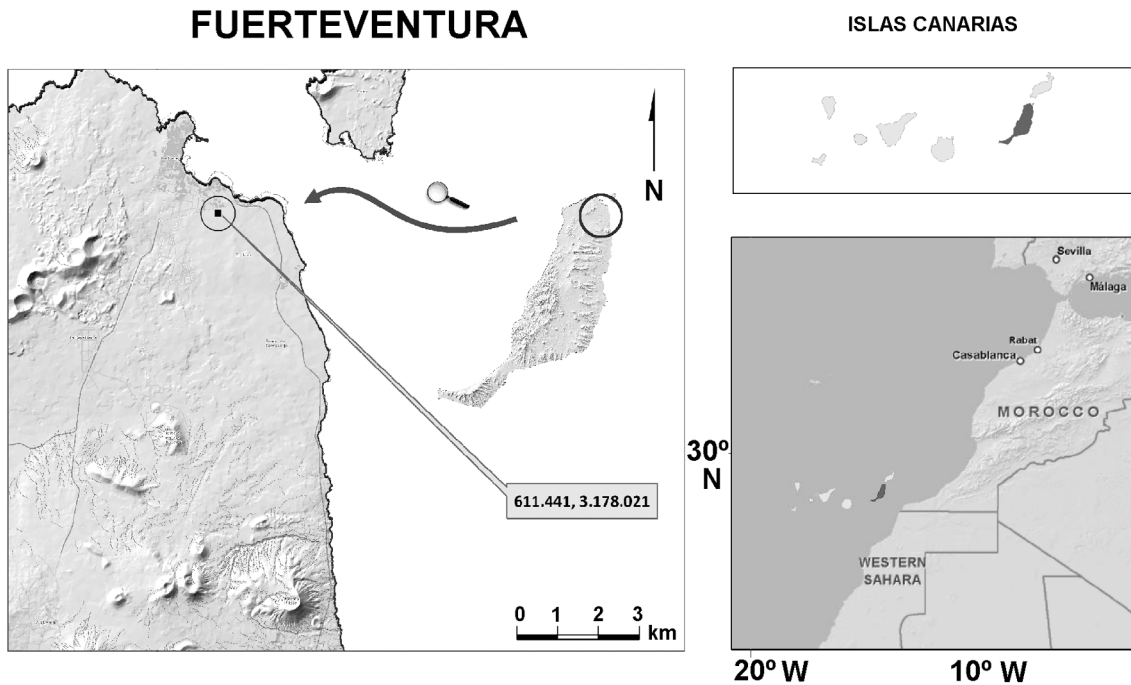


Figura 2. Mapa de localización de la cantera donde se ubicaba la secuencia Corralejo 2.
Figure 2. Location map showing the position of quarry where was Corralejo 2 cross-section.

Superior procedentes del complejo eruptivo del Bayuyo (134 ka. Meco et al., 2002). La cantera formaba parte del campo dunar de Corralejo, si bien al quedar situado fuera del área del Parque Natural hoy está urbanizada. La secuencia Corralejo 2 (Figura 3) muestra una potencia visible de algo más de 3 metros (no es apreciable el contacto con las lavas pleistocenas subyacentes) y en él se alternan capas esencialmente arenosas (C.2.1 y C.2.3), de color muy claro, con otras que combinan arena y fracción fina (C.2.2 y C.2.4), con aspecto más terroso y color marrón claro. El espesor de los estratos es variable, con potencias que se sitúan en torno a 1 m (C.2.1 y C.2.4) y otras en torno a 0,5 m (C.2.2 y C.2.3). El ambiente climático de la parte norte de la isla viene marcado por precipitaciones escasas e irregulares (90,9 mm/año y coeficiente de variación de 55,1 %), humedad relativa alta (70 % de media anual), temperaturas moderadas (a veces con máximas por encima de 40 °C); vientos soplando

todo el año, casi siempre del primer cuadrante, con especial incidencia en verano (velocidad media 25 km/h en julio) y ETP (evapotranspiración potencial) superior a 1.000 mm/año (Dorta, 2005). La aplicación del índice de aridez de la UNESCO dio un valor de 0,07 que permite incluir este clima dentro la zona árida (Criado, 2005). La aridez reinante, unida a una topografía plana y a un sustrato volcánico reciente en la zona que limita el campo dunar, determina la inexistencia de un drenaje organizado, de forma que el agua de lluvia se infiltra *in situ*, no habiéndose generado una mínima red de drenaje. Este dato es importante ya que el material sedimentario visible en la secuencia Corralejo 2, sólo puede tener un origen eólico, tanto local (arenas bioclásticas de procedencia marina) como alóctono (la fracción fina de origen africano), no siendo posibles aportes de sedimentos derivados de la meteorización de materiales volcánicos transportados por la arroyada.

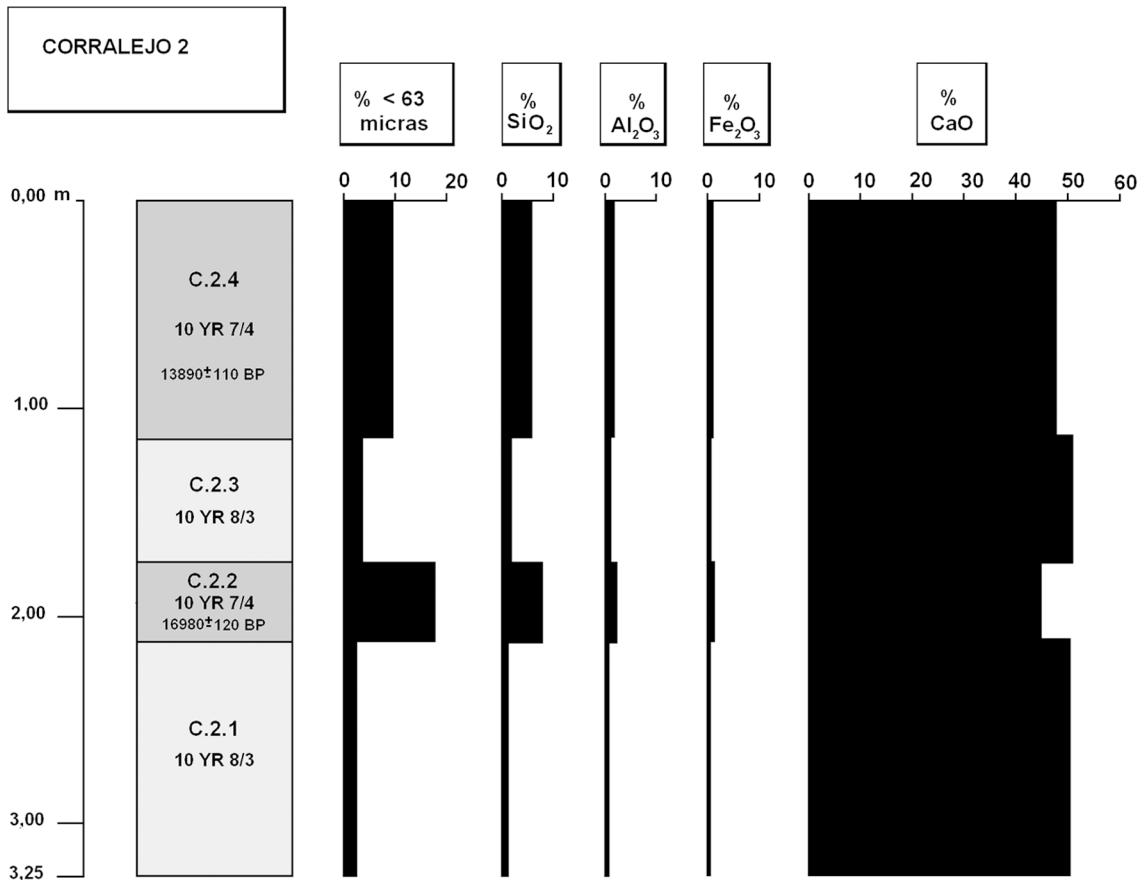


Figura 3. La secuencia Corralejo 2. Estratigrafía, color Munsell, edades ^{14}C y porcentajes de fracción $< 63 \mu\text{m}$, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y CaO .

Figure 3. Corralejo 2 cross-section and main data of grain-size, geochemistry and absolute ages.

2. Metodología

En el campo se procedió a localizar la secuencia con ayuda del GPS (UTM. R28 X: 611441; Y: 3178021) y al levantamiento de la

misma (Figura 3). En cada uno de los estratos se procedió a tomar una muestra de un tamaño suficiente como para realizar sobre todas ellas una serie de determinaciones granulométricas, geoquímicas, mineralógicas y

Tabla 1. Porcentajes de arena, limo y arcilla, porcentajes de carbonato cálcico equivalente y presencia de restos de fauna en la secuencia Corralejo 2.

Table 1. Sand, silt and clay percents, carbonates percent, and presence of fauna remains on Corralejo 2 cross-section.

Estrato	Espesor (cm)	Color Munsell	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CaCO_3 eq. %	Moluscos terrestres	Nidos de himenópteros
C.2.4	140	10YR7/4	90,0	5,6	4,4	79,0	Abundan	Abundan
C.2.3	65	10YR8/3	96,9	1,3	1,8	89,0	Ninguno	Ninguno
C.2.2	20	10YR7/4	83,3	12,0	4,7	79,0	Abundan	Abundan
C.2.1	115	10YR8/3	97,5	0,6	1,9	84,0	Ninguno	Ninguno

**CORRALEJO 2
CURVA GRANULOMÉTRICA**

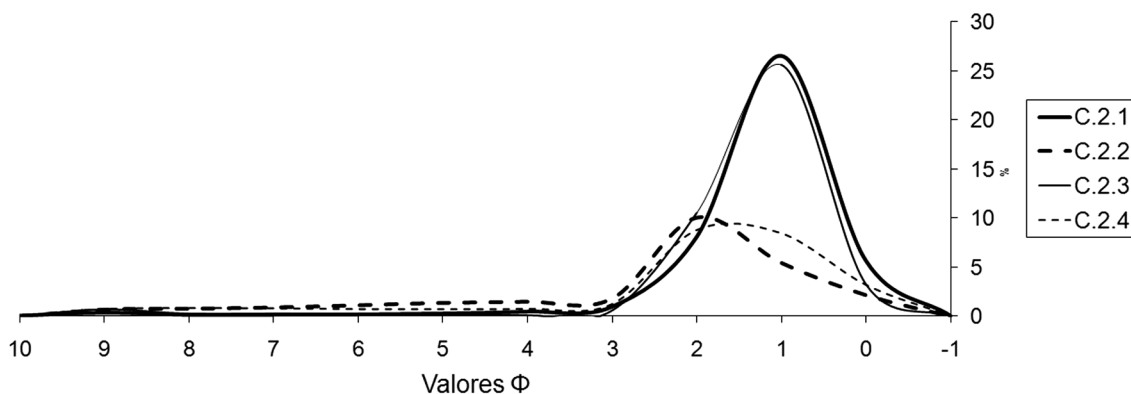


Figura 4. Curvas granulométricas de los cuatro estratos reconocibles en la secuencia Corralejo 2. Se aprecian marcadas diferencias entre las arenas bioclásticas (C.2.1 y C.2.3) y las arenas bioclásticas mezcladas con polvo sahariano (C.2.2 y C.2.4).

Figure 4. Grain-size curves of the four strata on Corralejo 2 cross-section. We can see important differences between the bioclastic sands (C.2.1 y C.2.3) and the bioclastic sand mixed with saharan dust (C.2.2 y C.2.4).

geocronológicas (sólo en aquellas dos en las que aparecían conchas de gasterópodos terrestres de la especie *Theba geminata* susceptibles de ser datadas por ¹⁴C).

En cada una de las muestras recogidas se midió el color según la Tabla *Munsell*. La determinación granulométrica de la fracción inferior a 2.000 µm se basó en el método densimétrico de Boyoucos y en el uso del *Coulter Laser Granulometer* (Universidad de Reading, Reino Unido). La granulometría de la fracción arenosa se hizo por tamizado en seco y los resultados se procesaron con la aplicación informática GRADISTAT. Los carbonatos se midieron a través del calcímetro de Bernard. Se realizó el análisis de óxidos totales en los laboratorios de ACTLABS (Canadá) y

la mineralogía se determinó en el Servicio de Difracción de rayos X de la Universidad de La Laguna, realizándose medidas sobre polvo cristalino y también en agregados orientados sobre muestra en húmedo y tras calentamiento a 105 °C. Por último, se procedió a datar por ¹⁴C –método radiométrico– las conchas de gasterópodos terrestres (*Theba geminata*) presentes en las capas C.2.2 (Beta-125.056) y C.2.4 (Beta-125.057) en los laboratorios Beta Analytic (Coral Gables, Florida, EEUU).

3. Resultados

En la secuencia Corralejo 2 distinguimos cuatro capas (Figura 3). En C.2.2 y C.2.4 (color

Tabla 2. Porcentajes de óxidos totales de las diferentes muestras (LOI=Lost on ignition).
Table 2. Total oxides percents of the samples.

Estrato	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Ti2O	P2O5	LOI
C.2.4	5,17	1,33	0,9	0,012	3,14	47,22	0,44	0,14	0,153	0,1	40,44
C.2.3	1,84	0,58	0,55	0,008	3,31	50,56	0,41	0,05	0,108	0,1	42,77
C.2.2	7,57	1,74	0,92	0,016	3,29	45,55	0,46	0,28	0,155	0,14	39,47
C.2.1	1,7	0,43	0,36	0,006	3,24	50,6	0,4	0,07	0,06	0,11	42,94

Tabla 3. Minerales determinados por DRX (* = trazas).
 Table 3. Mineralogical composition got by XRD (* = traces).

Estrato	Polvo desorientado			Agregado orientado			
	Aragonito	Calcita	Calcita magnésica	Cuarzo	Ilita	Caolinita	Cuarzo
C.2.4	+	+	+	+	+	+	+
C.2.3	+	+	+				
C.2.2	+	+	+	+	+	+	+
C.2.1	+	+	+				*

10YR7/4), los datos derivados del análisis granulométrico permitieron confeccionar una curva de frecuencia mesocúrtica que manifiesta una tendencia bimodal en ambas

muestras (Figura 4), lo que lleva a considerarlas como el resultado de una mezcla de arena, transportada por saltación, y material fino transportado por suspensión; el conte-

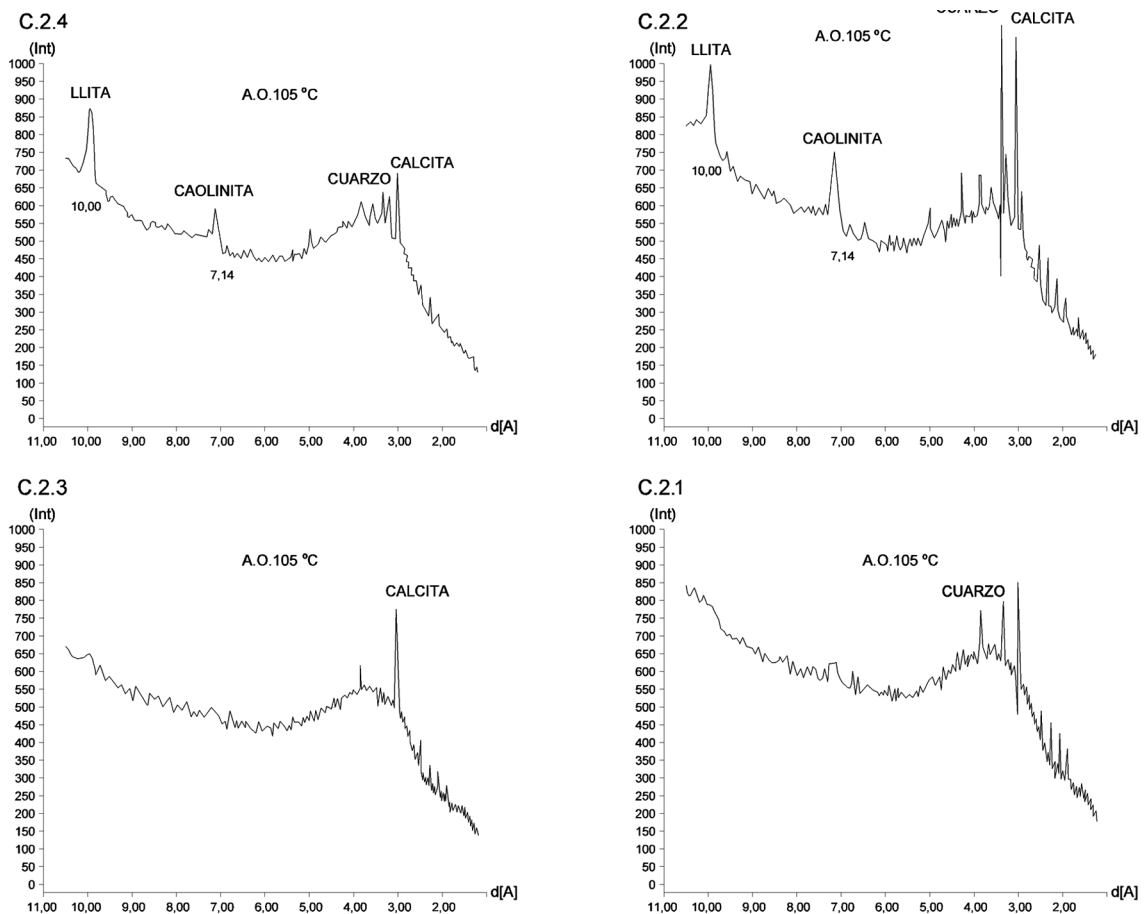


Figura 5. Difractogramas de agregados orientados calcinados a 105 °C de los cuatro estratos de la secuencia Corralejo 2.
 Figura 5. X-ray diffractogrammes on orientated aggregate heated at 105 °C of the four strata on Corralejo 2 cross-section.

nido en fracción inferior a 63 μm se situó en 16,6 % en la muestra C.2.2 y 9,9 % en la C.2.4. Los datos de óxidos totales muestran un incremento del porcentaje de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 respecto a los estratos C.2.1 y C.2.3, al tiempo que sus porcentajes de CaO son menores que los de éstas (Tabla 2). El contenido en carbonatos se sitúa en 79 % en ambas muestras. El análisis mineralógico semicuantitativo, incluyendo la fracción cristalina y amorfa, por difracción de rayos-X (DRX de ahora en adelante) dio los siguientes resultados (Tabla 3): C.2.2 contiene calcita (41 %), aragonito (32 %), y un llamativo pico de cuarzo (27 %). El análisis sobre agregado orientado muestra picos significativos en 10 Å y 7,14 Å tras calentar a 105 °C, identificables con arcillas tipo illita y caolinita (Tabla 3 y figura 5). Por su parte C.2.4 (Tabla 3) tiene calcita (16 %), aragonito (21 %), calcita magnesiana (29 %) y mayor proporción de cuarzo (34 %). El estudio en agregado orientado permitió identificar ambos minerales arcillosos (Tabla 3 y figura 5). La datación de las conchas procedentes de ambos estratos dio 16980 ± 120 BP (Beta-125.056), para la C.2.2 y 13890 ± 110 BP (Beta-125.057) para la C.2.4. (Figura 3). Ambas fechas dentro del estadio isotópico 2.

Por su parte las muestras C.2.1 y C.2.3 (Tabla 1) son esencialmente arenosas (con sólo 2,5 % y 3,3 % de fracción < 63 μm), con curvas marcadamente leptocúrticas y color muy claro (10YR8/3). Desde un punto vista mineralógico la muestra C.2.1 contiene fundamentalmente calcita (24 %), aragonito (31 %) y calcita magnesiana (44 %) (Tabla 3). El difractograma de la muestra C.2.3 es similar, con aragonito (47 %), calcita magnesiana (53 %) y trazas de cuarzo en el estudio sobre agregados orientado (Tabla 3 y figura 5). Los porcentajes tan elevados de calcita magnésica obtenidos mediante DRX son de nuevo relativamente ilógicos dado el escaso porcentaje de óxido de magnesio (3,29 %) detectado en los análisis de óxidos totales (Tabla 1).

4. Discusión

Una de las características más destacadas del corte de Corralejo es la presencia de una fracción fina que representa entre 9,9 % y 16,6 % en las capas C.2.2 y C.2.4, respecto al 2,5 % y 3,3 % en las C.2.1 y C.2.3, situadas inmediatamente debajo de las anteriores (Tabla 1). Si comparamos los porcentajes de cuarzo de C.2.2 y C.2.4 (27% y 34%), obtenidos a través del análisis semicuantitativo por DRX, con los respectivos porcentajes de SiO_2 (5,17 % y 7,57 %), vemos que los primeros son muy superiores a los segundos, lo que es ilógico. Por otro lado, los porcentajes de SiO_2 son ligeramente inferiores a los porcentajes de la fracción < 63 μm (lo que indica la presencia de otros minerales además de cuarzo en la fracción fina), no pudiendo ser nunca el porcentaje real de cuarzo superior al de la fracción transportada en suspensión eólica desde el vecino Sáhara. El contraste entre granulometría, geoquímica y mineralogía por DRX, nos lleva a pensar que ésta última técnica permite identificar las fases minerales cristalinas presentes en la muestra, pero no nos parecen verosímiles los porcentajes obtenidos en el análisis semicuantitativo por DRX, siendo más precisos los datos porcentuales obtenidos en los análisis de óxidos totales.

Para las formaciones arenosas del norte de Fuerteventura se ha planteado el origen alóctono de la illita, que es una de las arcillas presentes en la fracción fina de las mismas (Rognon y Coudé-Gaussen, 1987). En Corralejo 2 la illita tiene un patrón de distribución similar al del cuarzo, que es un mineral de origen alóctono debido a su casi ausencia en los materiales geológicos de Fuerteventura (IGME, 2004), lo que permite suponer un origen semejante. Además, debido a la naturaleza calcárea de la fracción arena es muy poco posible la formación de minerales de naturaleza silíceas, como son la illita y la caolinita, a partir de la alteración de la misma.

Acorde con la mineralogía se ha observado un enriquecimiento de determinados óxidos

en las capas más ricas en fracción fina. La cantidad de SiO_2 es 4,5 veces superior en la capa C.2.2 respecto a la capa C.2.1 y 2,8 veces superior en la capa C.2.4 respecto a la capa C.2.3. Este enriquecimiento en SiO_2 también aparece en el Al_2O_3 y el Fe_2O_3 y se ha observado una elevada correlación entre estos y la fracción $< 63 \mu\text{m}$ (limo + arcilla). La correlación entre fracción fina y SiO_2 alcanza 0,99; la de la fracción fina y Al_2O_3 llega a 0,97 mientras que la de la fracción fina y Fe_2O_3 presenta una correlación de 0,80. Es decir, a medida que aumenta la fracción fina aumenta la proporción de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 . El enriquecimiento de estos elementos en los niveles C.2.2 y C.2.4 respecto a los niveles C.2.1 y C.2.3 subyacentes no puede interpretarse a partir de ningún proceso edafogénico que implique una alteración del material subyacente ya que este es pobre en SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 . Los valores más elevados de esos óxidos en los horizontes C.2.2 y C.2.4 parecen estar originados por aportes de materiales alóctonos como polvo en suspensión proveniente del vecino desierto sahariano y depositado sobre las arenas bioclásticas calcáreas.

Por otra parte se observa que la fracción fina y el óxido de calcio tienen una correlación negativa (-0,97). Es decir, a medida que aumenta la fracción fina disminuye la proporción de CaO , que es el óxido más abundante en las arenas bioclásticas, debido al aumento relativo de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , que corresponden al polvo en suspensión depositado.

Investigaciones llevadas a cabo por Mizota y Matsuhisa (1995), señalan, a partir de estudios isotópicos, que todo el cuarzo -siempre con tamaño microscópico- que aparece en los suelos de Canarias procede del vecino Sáhara. En el caso de Corralejo una distancia a la costa sahariana de sólo 122 km facilitaría la arribada del polvo sahariano y la formación de depósitos arenosos enriquecidos en su parte superficial por fracción fina procedente del desierto del Sáhara. Las condiciones que

facilitan la deposición y la permanencia del polvo son: un sustrato húmedo en superficie en el que el agua actúa como agente cohesivo o una cubierta vegetal continua que actúe como trampa. Respecto a la primera condición, debido a la poca capacidad de retención de agua de un sustrato arenoso y a la ausencia de porosidad fina que humedezca por capilaridad a la capa superficial, esta generalmente se encuentra seca. En estas condiciones la incorporación del polvo en suspensión al suelo es poco probable y si se produce será fácilmente arrastrado por los vientos. Por tanto, la incorporación efectiva de polvo al suelo debería producirse asociada a la lluvia. Varios autores consideran que la deposición de polvo es mayor como deposición húmeda que como seca (Pye, 1987; Pye y Tsoar, 1990; Pye y Sherwind, 1999), produciéndose las mayores deposiciones como *lluvia de sangre* (Pye, 1987; McTainsh, 1999). Este es un fenómeno meteorológico común en las áreas mediterráneas (Nihlén y Mattsson, 1989; Martín, 1991; Rapp y Nihlén, 1991; Quereda y Olcina, 1994), aunque ocasionalmente las *lluvias de sangre* alcanzan altas latitudes, habiéndose recogido polvo sahariano en Alemania (Littmann, 1991) y Escandinavia (Franzén, 1989). Por otra parte, estudios recientes sobre el polvo sahariano que arriba actualmente a las islas, apuntan a una mayor deposición del mismo cuando las lluvias siguen a los episodios intensos de polvo sahariano (Torres-Padrón et al., 2002).

Sin embargo, en Canarias, la mayor parte de las invasiones de polvo sahariano están relacionadas con tiempo seco, ocasionando además un ascenso de las temperaturas (Dorta, 1999); bajo estas condiciones la visibilidad puede ser muy baja pero la deposición de polvo es poco significativa. Los datos proporcionados por Chester y Johnson (1971) muestran una prevalencia de la fracción $< 2 \mu\text{m}$ en muestras de polvo sahariano recogidas en alta mar, al sur de Gran Canaria (M10 con 66 %) y al norte de Tenerife (M11 con 57,5 %), siendo los minerales más abundantes el cuarzo seguido por arcillas (ilita y caolinita). Por tanto, ni por la situación meteorológica

que provoca, ni por la granulometría del material aportado, las condiciones normales del llamado *tiempo sur* o *levante* parecen haber sido las responsables de la estabilización de las dunas y la generación de estratos de textura areno-franca.

No obstante, en la actualidad, esporádicamente, se producen intensas lluvias acompañadas de masivas caídas de polvo sahariano en forma de *lluvia de sangre*. Al menos cuatro episodios de ésta se han producido en Canarias a lo largo del siglo XX (probablemente han sido más pero no tenemos evidencias claras). En febrero de 1920, una densa tormenta de polvo (*dust storm*), empujada por un viento fuerte del SE afectó a las islas haciendo caer la visibilidad por debajo de los 500 m y finalizando con una lluvia intensa; una muestra de polvo recogida fue analizada y mostró que el principal componente era el cuarzo (Bannermann, 1922). Una situación similar se produjo el 7 y 8 de enero de 1999, cuando una *gota fría* en las capas altas de la troposfera produjo la formación de una baja presión centrada sobre las islas (Criado y Dorta, 2003), generando un flujo del SE que, tras cruzar el norte de Mauritania y Sáhara Occidental, llegaba al archipiélago produciendo una drástica reducción de la visibilidad, por debajo de 1.000 m en todos los aeropuertos de las islas –con un valor mínimo de 500 m en el aeropuerto de Lanzarote– lo que permitió clasificarlo como un *dust storm* (Goudie, 1978; Goudie, 1983; Livingstone y Warren, 1996; Middleton, 1997; Goudie y Middleton, 2001; Middleton y Goudie, 2001; Goudie y Middleton, 2006). El evento terminó con intensas lluvias (aeropuerto de Lanzarote, 32 mm; aeropuerto de Fuerteventura, 49 mm; aeropuerto Tenerife Norte, 49 mm); el polvo se depositó como *lluvia de sangre*; el valor calculado a partir de las muestras recogidas en Guamasa (a 1 km del aeropuerto Tenerife Norte) dio una cantidad nada despreciable de 23 gr/m².

El estudio sedimentológico de la muestra aportó datos de interés. La geoquímica mos-

tró que el óxido más importante era el SiO₂ (50,4 %), y los carbonatos llegaban al 25,8 %. La DRX indicó la presencia de cuarzo, calcita y pequeñas cantidades de yeso, hematites, apatito y arcillas (ilita y caolinita). La granulometría indicaba un predominio de los limos finos (modas entre 12 µm y 18 µm), valores dentro del rango de las partículas que viajan varios cientos de kilómetros (Middleton, 1997; McTainsh, 1999) y el *skewnes* positivo confirmó el transporte en suspensión, sin mezcla con partículas locales.

La deposición de polvo que se produce en este tipo de situaciones, como la ocurrida los días 5 y 7 de enero de 2002, se caracteriza por formar una costra superficial sobre la arena. Pero este encostramiento no es permanente. A la semana esta costra tiene una distribución discontinua y se observa asociada a obstáculos como raíces y en determinadas zonas ricas en moluscos terrestres. Posteriormente desaparece debido a la acción abrasiva producida por el viento, la cual se ve aumentada por la acción de la arena desplazada por reptación y saltación. Por tanto, aunque durante este tipo de episodios de lluvia con polvo en suspensión asociado se produce un aporte efectivo de éste al sustrato, posteriormente no se dan las condiciones en un entorno de aridez para la permanencia del mismo. Es decir, no se puede considerar un aporte importante al sustrato ya que implicaría una inmovilización de las arenas de las dunas, aspecto que no se produce. Por tanto, estos episodios de lluvia no son suficientes para justificar la incorporación de la fracción fina a las arenas bioclásticas. Además hace falta una protección de la superficie receptora ante la acción del viento y del agua, que evite que el polvo sedimentado vuelva a ser nuevamente erosionado. Esta protección la proporciona la cubierta vegetal.

Respecto a esta segunda condición, la existencia de una cubierta vegetal que actuase como trampa, el alto número de conchas de *Theba geminata*, la especie de molusco terrestre herbívoro más abundante en los are-

nales costeros de Canarias orientales (Yanes et al., 2004) y nidos de insectos indican la existencia de una densidad de vegetación necesaria para su desarrollo.

El elevado número de nidos de insectos, que aparecen asociados con caracoles terrestres, es aún objeto de discusión. Meco et al., (2008, 2010 a y 2010 b) afirman que se trata de ootecas de acrídidos, mientras que Castillo et al. (2005) los consideran nidos de himenópteros de abejas solitarias posiblemente del género *Antophora*. Algunos autores señalan que la presencia de estos nidos prueba la existencia de un ecosistema arbusivo de tipo mediterráneo seco, bajo lluvias que triplicarían las actuales (Edwards y Meco, 2000); otros creen que esta abundancia de nidos no está asociada necesariamente con una fase paleoclimática húmeda (Ellis y Ellis-Adam, 1993); desde un punto de vista geomorfológico pensamos que su presencia intercalada entre dunas activas significa que, en esos momentos, la morfogénesis eólica se habría moderado. Además, si consideramos que las dataciones de ^{14}C nos sitúan en la última gran regresión marina, con una amplia plataforma continental emergida y expuesta a la deflación eólica (que uniría Corralejo con la vecina isla de Lanzarote), la presencia masiva de nidos de insectos y conchas de caracoles terrestres es una clara evidencia de la existencia de un campo de dunas estabilizado, bajo un clima más lluvioso que el actual, produciendo un relativamente denso recubrimiento vegetal que capturaría el polvo sahariano depositado; por otra parte es conveniente recordar que según Grousset et al., (1998) la emisión de polvo desde el Sáhara a finales del Pleistoceno se habría cuadruplicado respecto a los valores actuales.

5. Conclusiones

Con las aclaraciones realizadas en los apartados anteriores, se pueden esbozar las condiciones y procesos que originaron la secuencia Corralejo 2, la cual muestra un mismo proceso repetido en dos ocasiones.

La parte inferior de la secuencia (C.2.1) corresponde a una duna bioclástica de naturaleza calcárea cuya fracción arenosa (97,5 %) podría proceder de la arena dejada por el mar en una línea de costa cercana semejante a la actual o de la plataforma insular que habría quedado emergida a consecuencia de la regresión marina. Debido a la escasa fracción fina (2,5 %) de este depósito (C.2.1) no parece que existiese un aporte de polvo en suspensión importante o, si existió, no hubo condiciones para su deposición y posterior incorporación al depósito arenoso subyacente. La ausencia de restos de fauna invertebrada (conchas de moluscos terrestres y nidos de insectos) señala unas condiciones paleoambientales poco favorables para el desarrollo de las plantas y la subsiguiente estabilización de las dunas. Todas las evidencias apuntan a una notable morfogénesis eólica que habría generado un paisaje de dunas activas.

Sobre este estrato arenoso se sitúa otro más rico en fracción fina (16,6 % de limo y arcilla). Esta fracción $< 63 \mu\text{m}$, el contenido en SiO_2 y Al_2O_3 y la presencia de cuarzo, sugieren una mezcla del polvo sahariano con la arena bioclástica de origen marino local. Además la presencia de conchas de gasterópodos terrestres y nidos de insectos, lleva a concluir que las arribadas y masivas deposiciones de polvo se produjeron durante fases paleoclimáticas húmedas que, propiciando la estabilización de las dunas por la vegetación, crearon condiciones ambientales favorables para la vida animal. Por tanto, dentro del periodo glacial en el que se produjo el depósito podemos definir una pulsación húmeda en torno al $16980 \pm 120 \text{ BP}$ (Beta-125.056) que permitió la sedimentación e incorporación a la parte superior de una duna bioclástica de importantes cantidades de polvo en suspensión procedente del cercano desierto del Sáhara. Aunque el tipo de arcillas presentes en el depósito es semejante a las existentes en los suelos de Fuerteventura (Torres, 1995) se descarta que el origen del polvo proceda de la propia isla ya que las condiciones de fitoesta-

bilidad que permitirían la deposición y la retención del polvo también existirían en los suelos circundantes. Además, mientras en los suelos circundantes desarrollados por la alteración de basaltos la proporción de illita es generalmente superior a la de caolinita, en la capa C.2.2 las proporciones de ambas son semejantes, lo cual indica su posible origen eólico.

Sobre este depósito más rico en fracción fina se depositó otro formado por arenas calcáreas de origen marino (C.2.3) con una escasa fracción fina (3,1 % de limos y arcillas) y abundancia de arena (96,9 %). Las condiciones para su formación se consideran que fueron semejantes a las ya descritas para la capa C.2.1. De esta manera podemos considerar que existió otro periodo de aridificación de la isla posterior al 16980 ± 120 BP (Beta-125.056) en el que se dieron las condiciones para un nuevo aporte de arenas bioclásticas de origen marino y para su sedimentación sobre los suelos preexistentes. El contacto brusco entre la capa C.2.3 y la inferior C.2.2 indica una discontinuidad entre ambas capas las cuales corresponden a depósitos arenosos diferentes.

Posteriormente, unas condiciones ambientales más húmedas facilitaron el desarrollo de una cubierta vegetal que permitió la captura de importantes cantidades de polvo en suspensión. La abundancia de conchas de moluscos terrestres (*Theba geminata*) y de nidos de insectos es indicativo de estas condiciones con mayor cubierta vegetal. Este nuevo periodo húmedo ocurrió hacia el 13890 ± 110 BP y en él se originó una nueva capa (C.2.4) enriquecida en fracción fina (9,9 % de limos y arcillas). En esta fracción fina se detecta la presencia de illita y caolinita, pero con disminución del cuarzo, lo que puede ser interpretado como un empobrecimiento de ese mineral en las áreas del Sahara donde se levantaba el polvo que posteriormente era trasladado hasta Canarias o a que las zonas de alimentación de polvo cambiaron durante ese periodo debido a variaciones en el patrón de

circulación atmosférica (Mush et al., 2010). Estas posibles causas quizás se puedan verificar en el futuro tras un mayor número de análisis. En ninguna capa se ha detectado la presencia de esmectita encontrada por Damnati (1997) en depósitos areno-limosos de Rosa Negra, situada 11 km al suroeste del Corte de Corralejo. La ausencia de esta arcilla indica que la contaminación por sedimentos procedentes de los suelos circundantes de haberse producido fue muy escasa.

Por tanto, la secuencia Corralejo 2 indica la existencia de unas condiciones áridas anteriores al 16980 ± 120 BP en la que existía movilización y sedimentación de arenas bioclásticas de origen marino (C.2.1). Durante la pulsación húmeda ocurrida en torno al 16980 ± 120 BP debido a una mayor fitoestabilidad disminuyó el movimiento de arenas y aumentó la sedimentación de polvo en suspensión procedente del Sáhara. Un nuevo periodo árido ocurrido entre el 16980 ± 120 BP y el 13890 ± 110 BP produjo una reducción de la cubierta vegetal que facilitó el movimiento de arenas bioclásticas de origen marino procedentes de las playas cercanas o de la plataforma insular dejada al descubierto por una regresión marina. Estas arenas formaron depósitos arenosos (C.2.3), los cuáles cubrieron los depósitos preexistentes más ricos en fracción fina. Por último, una nueva pulsación húmeda acaecida hacia el 13890 ± 110 BP permitió un nuevo aumento de la cubierta vegetal que, al tiempo que limitó el movimiento de las arenas facilitó la captura y retención del polvo en suspensión procedente del desierto del Sáhara. De este modo se formó una capa más rica en fracción fina (C.2.4), que en la actualidad se encuentran en superficie. Esta última pulsación húmeda coincide con la datación obtenida por Rognon et al. (1989) en conchas de moluscos terrestres correspondientes a depósitos arenosos de Jandía (sur de Fuerteventura) los cuales fueron fechados en 13850 ± 200 BP. Así pues, el estudio de la secuencia Corralejo 2 muestra que dentro de un periodo caracterizado por una aridez dominante, se produjeron dos

pulsaciones húmedas en torno al 16980 ± 120 BP y al 13890 ± 110 BP (ésta ya iniciada la deglaciación) que dieron lugar a capas más ricas en limos y arcillas. En nuestra opinión estos periodos de mayores precipitaciones se pueden haber producido como consecuencia del paso de borrascas centradas sobre o al sur del archipiélago canario; esta situación, en la actualidad muy inusual, sería más frecuente durante la última fase glacial cuando, debido a las altas presiones térmicas derivadas de la presencia del inlandsis escandinavo, la circulación de las depresiones templadas debía desarrollarse más al sur que en la actualidad.

El estudio de la secuencia Corralejo 2 indica que el enriquecimiento en materiales ricos en sílice en los horizontes más ricos en fracción fina no puede atribuirse a un proceso de alteración del material arenoso calcáreo subyacente. El origen de la fracción fina existente en algunas capas se atribuye a un proceso de sedimentación de polvo en suspensión procedente del desierto del Sáhara. La práctica inexistencia de fracción inferior a $63 \mu\text{m}$, valores bajísimos de SiO_2 , junto a la ausencia de cuarzo nos sitúa en un ambiente de dunas activas en los estratos C.2.1 y C.2.3, alimentadas por arenas marinas -esencialmente bioclásticas mezcladas con algunos granos volcánicos procedentes de una costa que en algunas partes es rocosa-, y empujadas por vientos, de dirección similar a los actuales, con velocidades suficientes para entrañarlos por saltación. La velocidad se deduce de los experimentos de campo, que muestran que el movimiento de las arenas se inicia con velocidades de vientos superiores a los 5 m/s (Criado et al., 2010), y de la comparación de los tamaños de grano de las muestras C.2.1 y C.2.3 con arenas procedentes de *nebkhas* y dunas actuales del Parque Natural de Corralejo; así, los tamaños medios de las muestras del corte son inferiores a las arenas que se eolizan en la actualidad (Tabla 4). Ello podría indicar una velocidad del paleoviento en el Pleistoceno tardío menor que el alisio actual, lo que apoya la idea de Diester-Haass (1980) acerca de una disminución del efecto *upwe-*

lling en la costa africana por atenuación del flujo del alisio en el 18.000 BP y choca con la idea de Sharstein et al. (1981), quienes señalan un aumento significativo de la velocidad del alisio para el mismo momento.

La deposición y posterior incorporación al suelo del polvo necesitó de una cubierta vegetal que evitase su erosión y facilitase su integración en el suelo. Condiciones de mayor humedad para el desarrollo de esa cubierta vegetal se presentaron en 16980 ± 120 BP y al 13890 ± 110 BP y quedaron reflejadas por capas más ricas en limos y arcillas (9,9 % a 16,6 %) y por abundancia de nidos de insectos y conchas de moluscos terrestres. Periodos más áridos favorecieron la formación de depósitos más pobres en fracción fina (2,5 %-3,3 %) en los cuales la ausencia de vegetación no permitía las condiciones para la fijación en el suelo del polvo en suspensión procedente del desierto del Sahara.

Si bien hay estudios recientes que apoyan la idea de la presencia de *loess* en las Canarias Orientales (Von Suchodoletz et al., 2009) y a pesar de algunas características sedimentológicas, como la presencia de limos y cuarzo, no se cumplen las condiciones para considerar a los materiales que conforman los estratos C.2.2 y C.2.4 como *loess*; la proporción de limos se sitúa muy por debajo del 40 % y la proporción de cuarzo está muy por debajo de los 60 % -70 % que caracterizan al *loess* (Pécsi, 1990; Pye, 1995). La importancia de la fracción arenosa no es argumento para considerarlos como *sandy-loess* ya que las arenas, si bien son el resultado de acciones eólicas, tienen un área de procedencia marina y local, mientras que el depósito realmente alóctono es polvo de procedencia sahariana; la mayor parte de la arena sahariana que era movilizada por saltación y suspensión a corta distancia (*short-term suspension*), terminó decantándose en el canal marino que separa la costa africana de las islas Canarias orientales. Además, la naturaleza de las arenas de estos depósitos no es silíceas como la existente en la mayor parte del

desierto del Sáhara, sino carbonatada, semejante a la de las costas y los fondos marinos que rodean la isla. Por lo anteriormente expuesto, podemos definir los estratos ricos en fracción fina en la secuencia Corralejo 2 como depósitos sedimentarios de origen eólico, en los cuales existe una fracción arenosa dominante de origen local y una fracción fina minoritaria (9,9 % -16,6 %) en su mayor parte de origen alóctono (*dust*) procedente del desierto del Sáhara.

Agradecimientos

Este trabajo se financió con cargo al proyecto de la Dirección General de Universidades del Gobierno de Canarias 228 135/97. Los parámetros granulométricos han sido calculados mediante la aplicación informática GRADISTAT disponible. Agradecemos a sus autores el hecho de haberlo puesto en la red a disposición de cualquier usuario. Nuestro agradecimiento asimismo al personal del SIDIX de la Universidad de La Laguna y al Dr. Claudio Moreno (ULPGC) quién amablemente revisó el manuscrito final. Por último nuestro agradecimiento a los revisores, cuyas recomendaciones y sugerencias han permitido mejorar la calidad final del trabajo.

Bibliografía

- Bannerman, D. (1922). *The Canary Islands. Their history, natural history and scenery*. Gurney and Jack, London. 365 pp.
- Bouab, N.; Lamothe, M. (1997). Geochronological framework for the Quaternary Paleoclimatic record of the Rosa Negra section (Fuerteventura-Canary Islands, Spain). En: *Climates of the Past* (J. Meco; N. Petit-Maire, eds). ULPGC, Las Palmas, 37-42.
- Bouab, N. (2001). Application des méthodes de datation par luminescence optique à l'évolution des environnements désertiques – Sahara occidental (Maroc) et Iles Canaries orientales (Espagne). Tesis. Université du Québec à Chicoutimi.
- Castillo, C. ; Martín, E. ; Barquín, J. ; Yanes, Y. (2005). Síntesis paleontológica. En: *El Patrimonio Natural de Fuerteventura* (O. Rodríguez, coord.) Cabildo de Fuerteventura y CCPC, Santa Cruz de Tenerife, 303-323.
- Chester, R.; Johnson, L.R. (1971). Atmospheric Dust collected off the Atlantic Coast of North Africa and the Iberian Peninsula. *Marine Geology*, 1, 251-260.
- Criado, C. (1990). Dinámica de dunas, paleosuelos y torrencialidad en el Pleistoceno Reciente y Holoceno de Fuerteventura (Islas Canarias). *I Reunión Nacional de Geomorfología*, tomo I, 245-254.
- Criado, C. (1991). *La evolución del relieve de Fuerteventura*. Cabildo Insular de Fuerteventura, Puerto del Rosario, 318 pp.
- Criado, C. (2005). Formas de modelado y procesos morfogenéticos. En: *El Patrimonio Natural de Fuerteventura* (O. Rodríguez, coord.) Cabildo de Fuerteventura y CCPC, Santa Cruz de Tenerife, 45-58.
- Criado, C.; Dorta, P. (2003). An unusual "blood rain" over the Canary Islands. The Storm of January 1999. *Journal of Arid Environments* 55, 765-783.
- Criado, C.; Guillou, H.; Torres, J.M.; Hansen, A.; Hansen, C.; Lillo, P.; Naranjo, A. (2004). Geomorphological evolution of Parque Natural de Las Dunas de Corralejo (Fuerteventura, Canary Islands). En: *Contribuciones recientes sobre Geomorfología* (G. Benito ; A. Díez, eds). SEG, 292-297.
- Criado, C.; Guillou, H.; Hansen, A.; Hansen, C.; Lillo, P.; Torres, J.M.; Bethencourt, J.F.; Naranjo, A. (2010). Mapa Geomorfológico del Parque Natural de las Dunas de Corralejo (Fuerteventura). *XIII Jornadas de Estudio sobre Lanzarote y Fuerteventura*, tomo 2, 397-427.
- Criado, C.; Yanes, A.; Hernández, L.; Alonso, I. (2011). Origen y formación de los depósitos eólicos en Canarias. En: *Las dunas en España*. (E. Sanjaume; F.J. Gracia, eds). SEG, 447-465.
- Damnati, B. (1997). Mineralogical and sedimentological characterization of quaternary eolian formations and paleosols in Fuerteventura and Lanzarote (Canary Islands, Spain). En: *Climates of the Past*. (J. Meco; N. Petit-Maire, eds). Servicio de Publicaciones de la ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria, 71-77.
- Diester-Haass, L. (1980). Upwelling and climate off Northwest Africa during the Late Quaternary. *Palaecology of Africa*, 12, 229-238.
- Dorta, P. (1999). *Las invasiones de aire sahariano en las Islas Canarias*. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno Autónomo de Canarias-Caja Rural de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife, 287 pp.
- Dorta, P. (2005). El Clima. En: *El Patrimonio Natural de Fuerteventura* (O. Rodríguez, coord.) Cabildo de Fuerteventura y CCPC, Santa Cruz de Tenerife, 81-90.
- Edwards, N.; Meco, J. (2000). Morphology and palaeoenvironment of brood cells of Quaternary ground-nesting solitary bees (Hymenoptera, Apidae) from Fuerteventura, Canary Islands, Spain. *Proceedings of the Geologist' Association*, 111, 173-183.
- Ellis, W.N.; Ellis-Adam, C. (1993). Fossil Brood Cells of Solitary Bees on Fuerteventura and Lanzarote, Canary Islands (Hymenoptera: Apoidea). *Entomologische Berichte*, 53 (12), 161-173.
- Franzén, L. (1989). A Dustfall Episode on the Swedish West Coast, October 1987. *Geografiska Annaler*, 71 (A), 3-4, 263-267.

- Goudie, A. (1978). Dust Storm and their geomorphological implications. *Journal of Arid Environments*, 1, 291-310.
- Goudie, A. (1983). Dust Storms in space and time. *Progress in Physical Geography*, 7, 502-530.
- Goudie, A.; Middleton, N. J. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, 56, 179-204.
- Goudie, A.; Middleton, N. J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer. Berlín-Heidelberg-New York, 287 pp.
- Grousset, F.E.; Parra, M.; Bory, A.; Martínez, P.; Bertrand, P.; Shimmield, G.; Ellam, R.M. (1998). Saharan Winds Regimes traced by the Sr-Nd Isotopic Composition of Sbtropical Atlantic Sediments: Last Glacial Maximun vs Today. *Quaternary Sciences Review*, 17, 395-409.
- Gutiérrez-Elorza, M.; Lucha, P.; Gracia F.J.; Desir, G.; Marín, C.; Petit-Maire, N. (en prensa). Paleoclimatic considerations of talus flatirons and aeolian deposits in Northern Fuerteventura volcanic island (Canary Islands, Spain). *Geomorphology* (aceptado para publicación). DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.09.020
- IGME (2004). *Serie Magna a 1:25.000. Hoja 1087 II-III (La Oliva)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, Mapa + memoria.
- Littman, A. (1991). Dust deposition in West Germany. Sediment characteristics and Climatological aspects. En: *Loess. Geomorphological processes and hazards* (O. Setsuo; A. Rapp; Z. Lanzhou, eds). *Catena Supplements*, 20, 57-74.
- Livingstone, I.; Warren, A. (1996). *Aeolian Geomorphology. An Introduction*. Longman, Essex, 271 pp.
- Martín, J. (1991). Las lluvias de barro: análisis estadístico de una serie de 43 años en Barcelona. *Geographicalia*, 28, 161-173.
- McTainsh, G. (1999). Dust Transport and Deposition. En: *Aeolian Environments. Sediments and Landforms* (A.S Goudie; I. Livingstone; S. Stokes, eds). Wiley, Chichester, 181-211.
- Meco, J.; Petit-Maire, N.; Fontugne, M.; Shimmield, G.; Ramos, A. J. G. (1997). The Quaternary deposits in Lanzarote and Fuerteventura (eastern Canary Islands, Spain): an overview. En: *Climates of the Past* (J. Meco; N. Petit-Maire, eds). International Union of Geological Sciences, Unesco y ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria, 123-136.
- Meco, J.; Guillou, H.; Carracedo, J.C.; Lomoschitz, A.; Ramos, A. J. G.; Rodríguez-Yanes, J.J. (2002). The maximum warmings of the Pleistocene world climate recorded in the Canary Islands. *Palaeogeography, Paleoclimatology and Palaeocology*, 185, 197-210.
- Meco, J.; Ballester, J.; Betancort, J.F.; Cilleros, A.; Scaillet, S.; Guillou, H.; Carracedo, J.C.; Lomoschitz, A.; Petit-Maire, N.; Ramos, A.J.G.; Perera, M.A.; Meco, J.M. (2006). *Paleoclimatología del Neógeno en las Islas Canarias. Geliense, Pleistoceno y Holoceno*. Ministerio de Medio Ambiente, Servicio de Publicaciones de la ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria, 204 pp.
- Meco, J.; Betancort, J.F.; Ballester, J.; Fontugne, M.; Guillou, H.; Scaillet, S.; Lomoschitz, A.; Cilleros, A.; Carracedo, J.C.; Petit-Maire, N.; González, A.J.; Perera, M.A.; Soler-Onís, E.; Montesinos, M.; Meco, J. M. (2008). *Historia geológica del clima en Canarias*. (J. Meco, ed), Las Palmas de Gran Canaria, 296 pp. (pdf).
- Meco, J.; Muhs, D.R.; Fontugne, M.; Ramos, A.J.G.; Lomoschitz, A.; Patterson, D. (2010). Late Pliocene and Quaternary Eurasian locust infestations in the Canary Archipelago. *Lethaia*, DOI: 10.1111/j.1502-3931.2010.00255.x.
- Meco, J.; Petit-Maire, N.; Ballester, J.; Betancort, J.F.; Ramos, A.J.G. (2010). The acridian plagues, a new Holocene and Pleistocene palaeoclimatic indicator. *Global and Planetary Change*, 72, 318-320.
- Middleton, N. J. (1997). Desert Dust. En: *Arid Zone Geomorphology*. (D.S.G.Thomas, ed), Wiley and Sons, Chichester, 413-436.
- Middleton, N. J.; Goudie, A. (2001). Saharan dust: sources and trajectories. *Transactions of Institute of British Geographers*, NS 26, 417-435.
- Mizota, Ch.; Matsuhisa, Y. (1995). Isotopic evidence for the eolian origin of quartz and mica in soils developed on volcanic materials in the Canary Archipelago. *Geoderma*, 66 (3-4), 313-320.
- Muhs, D.R.; Budahn, J.; Skipp, G.; Prospero, J.M.; Patterson, D.; Bettis, D. (2010). Geochemical and mineralogical evidence for Sahara and Sahel dust additions to Quaternary Soils on Lanzarote, eastern Canary Islands, Spain. *Terra Nova*, 22, 399-410.
- Nihlén, T.; Mattsson, J. O. (1989). Studies on eolian Dust in Greece. *Geografiska Annaler*, 71 (A) 3-4, 269-274.
- Ortiz, J.E.; Torres, T.; Yanes, Y.; Castillo, C.; De La Nuez, J.; Ibáñez, M.; Alonso, M.R. (2005). Climatic cycles inferred from the aminostratigraphy and amino-chronology of Quaternary dunes and palaeosols from the eastern of the Canary Archipelago. *Journal of Quaternary Science*, 21(3), 287-306.
- Pécsi, M. (1990). Loess is not just accumulation of dust. *Quaternary International*, 7-8, 1-21.
- Petit-Maire, N.; Rosso, J.C.; Delibrias, G.; Meco, J.; Pomel, R. S. (1987). Paleoclimats de l'île de Fuerteventura (archipel canarien). *Palaeocology of Africa*, 18, 351-356.
- Pye, K. (1987). *Aeolian Dust and Dust Deposits*. Academic Press, London, 334 pp.
- Pye, K.; Tsoar, H. (1990). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Unwin Hyman, London, 396 pp.
- Pye, K. (1995). The nature, origin and accumulation of loess. *Quaternary Science Reviews*, 14, 653-667.
- Pye, K.; Sherwin, D. (1999). Loess. En: *Aeolian Environments, Sediments and Landforms* (A.S Goudie; I. Liv-

- ingstone; S. Stokes, eds). Wiley, Chichester, 213-238.
- Quereda, J.J.; Olcina, J. (1994). Incremento de las lluvias de barro en la fachada mediterránea de la Península Ibérica. ¿Un signo de cambio atmosférico? *Cambios y variaciones climáticas en España*, 235-247.
- Rapp, A.; Nihlén, J. (1991). Desert Dust-Storms and Loess deposits in North Africa and South Europe. En: *Loess. Geomorphological processes and hazards* (O. Setsuo; A. Rapp; Z. Lanzhou, eds). *Catena Supplements*, 20, 43-56.
- Rognon, P. ; Coudé-Gaussen, G. (1987). Reconstitution paléoclimatique à partir des sédiments du Pleistocène supérieur et de l'Holocène du nord de Fuerteventura. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF 31 (1), 1-19.
- Rognon, P. ; Coudé-Gaussen, G. ; Le Coustumer, M.N. ; Balouet, J.C. ; Occhietti, S. (1989). Le massif dunaire de Jandia (Fuerteventura, Canarias): Evolution des paléoenvironnements de 20000 BP à l'actuel. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 1, 31-37.
- Rognon, P. ; Coudé-Gaussen, G. (1996). Changements dans les circulations atmosphérique et océanique a la latitude des Canaries et du Maroc entre les stades isotopiques 2 et 1. *Quaternaire*, 7 (4), 197-6.
- Sharstein, M.; Tetzlaff, G.; Koopmann, B.; Wolter, K.; Pflaumann, U. (1981). Glacial and interglacial wind regimes over the eastern subtropical Atlantic and North-West Africa. *Nature*, 293, 193-196.
- Torres, J. M. (1995). El suelo como recurso natural. Procesos de degradación y su incidencia en la desertificación de la isla de Fuerteventura. Tesis doctoral. Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna, 560 pp.
- Torres-Pradrón, M. E.; Gelado-Caballero, M. D.; Collado-Sánchez, C.; Siruela-Matos, V. F.; Cardona-Castellano, P. J.; Hernández-Brito, J. J. (2002). Variability of dust inputs on the CANIGO zone. *Deep-Sea Research II*, 49, 3455-3464.
- Von Suchodoletz, H.; Kühn, P.; Hambach, U.; Dietz, M.; Zöller, L.; Faust, D. (2009). Loess-like and palaeosol sediment from Lanzarote (Canary Islands, Spain) – indicators of palaeoenvironmental change during the Late Quaternary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 278, 71-87.
- Yanes, Y.; Castillo, C.; Alonso, M. R.; Ibáñez, M.; De La Nuez, J.; Quesada, L.; Martín-González, E.; La Roche, F.; Liché, D.; Armasa, R. (2004). Gasterópodos Terrestres Cuaternarios del Archipiélago Chinijo, Islas Canarias. *Vieraea*, 32, 123-134.