

## Resultados preliminares del análisis de relaciones entre variables ecológicas y sedimentológicas en la duna costera (*foredune*) de un sistema de dunas árido.

### *Preliminary results on the relationships between ecological and sedimentological variables in the foredune of an arid dune system.*

A. Sanromualdo-Collado<sup>1</sup>, N. O'Keeffe<sup>2</sup>, J. B. Gallego-Fernández<sup>3</sup>, I. Delgado-Fernández<sup>2</sup>, M.L. Martínez<sup>4</sup>, P.A. Hesp<sup>5</sup>, N. Ferrer-Valero<sup>1</sup>, L. Hernández-Calvento<sup>1</sup>

1 Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente, Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Unidad Asociada ULPGC-CSIC, Parque Científico Tecnológico Marino de Taliarte. 35214 Telde, España. ([abel.sanromualdo@ulpgc.es](mailto:abel.sanromualdo@ulpgc.es))

2 Department of Geography and Geology, Edge Hill University, Reino Unido.

3 Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla, España.

4 Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México.

5 Beach and Dune Systems (BEADS) Laboratory, College of Science and Engineering, Flinders University, Australia.

**Resumen:** En los sistemas de dunas costeros de climas áridos, la duna costera (*foredune*) está constituida por *nebkhas*, las cuales se originan como resultado de la interacción de plantas arbustivas con la dinámica sedimentaria eólica. A pesar de la importancia que estas dunas tienen, tanto a nivel ecológico, como paisajístico, o por su papel en la protección frente a la erosión costera, hasta el momento no se han estudiado en detalle las relaciones entre las variables ambientales que dan lugar y mantienen estas geoformas. Este trabajo tiene como objetivo mostrar resultados preliminares de tales relaciones. Para ello se han analizado variables relacionadas con el relieve, el sustrato y la vegetación en una *nebkha* modelo situada en la duna costera de la playa de Famara (Lanzarote, islas Canarias). El conocimiento de las relaciones entre variables destaca la heterogeneidad espacial de las características relativas al sedimento y a la vegetación, siendo las variaciones en el eje longitudinal de la duna el principal factor relacionado.

**Palabras clave:** duna costera árida, *nebkha*, procesos sedimentarios eólicos, sedimento, vegetación.

**Abstract:** *The foredune in arid coastal dune systems is constituted by nebkhas. Nebkhas originate by interactions between shrub vegetation and aeolian sedimentary dynamics. Although the importance of these dune forms is known, not only in ecological and landscaping function; but also, as protection against coastal erosion, the relationship between variables which form and support these landforms has not been widely studied. Accordingly, this work aims to show preliminary results of an investigation on such relationships. Samples related to land relief, sediment and vegetation in a representative nebkha located in the foredune of Famara beach (Lanzarote, Canary Islands) were analyzed. Knowledge about relationships between the variables highlights the spatial heterogeneity of features related to sediment and vegetation, with the distance in the longitudinal axis of the dune being the main variation factor.*

**Key words:** aeolian processes, arid foredune, *nebkha*, sediment, vegetation.

## INTRODUCCIÓN

Las relaciones entre variables ecológicas y sedimentarias en sistemas de dunas costeros áridos han sido escasamente investigadas. Algunos estudios abordan la formación y dinámica de la duna costera (Hesp, 2002) y relacionan los procesos sedimentarios eólicos en zonas áridas y semi-áridas con variables ecológicas (Hernández-Cordero et al., 2015; Mayaud y Webb, 2017) y sedimentológicas (Li y Ravi, 2018; Yang et al., 2018). Sin embargo, son escasos los trabajos que analizan conjuntamente las variables que determinan la formación de dunas costeras en ambientes áridos, así como las correlaciones entre ellas. La duna costera de estos sistemas está constituida por *nebkhas* y *shadow-dunes*, fruto de la interacción de ejemplares de especies arbustivas predominantes, como *Traganum moquinii*, con la dinámica sedimentaria eólica.

El objetivo de este trabajo es caracterizar las relaciones entre variables ecológicas y sedimentarias en dunas costeras de las islas Canarias, cuyas particularidades ecológicas y geomorfológicas se enmarcan en un modelo de ambientes áridos. Con base en estas relaciones pueden derivarse modelos de regresión lineal múltiple que permiten evaluar la influencia relativa de algunas variables sobre otras.

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una campaña de campo, en octubre de 2018, en la playa de Famara (Lanzarote, islas Canarias). En este trabajo se exponen los resultados preliminares obtenidos de una *nebkha* con desarrollo de una *shadow-dune* a sotavento.

## ÁREA DE ESTUDIO

La playa de Famara, con unos 4,5 kilómetros de longitud, se localiza en el extremo oriental de la costa norte de Lanzarote (FIGURA 1). Conformata esta playa

el área de entrada de sedimentos al manto eólico de El Jable. La duna costera está ubicada en la playa alta, formando un campo de nebkhas y shadow-dunes. Para este trabajo se seleccionó una de estas dunas como objeto de estudio. La nebkha presentaba unas dimensiones de 6x5x1.85m de anchura, longitud y altura, respectivamente. Su formación está relacionada con la presencia de *Traganum moquinii*. Este arbusto ocupaba una superficie aproximada de 20m<sup>2</sup> y presentaba una altura máxima de 0.8m.

El clima de Lanzarote es árido, con una temperatura media anual de 21.1°C, una precipitación media anual de 111mm (AEMET 1981-2010) y vientos efectivos predominantes de dirección ENE, NE y NNE. La estación meteorológica “Teguise La Graciosa-Helipuerto”, situada a 13.5km de la zona de estudio registró, durante los 15 días anteriores a la campaña, vientos medios de 1.1m s<sup>-1</sup> de dirección ENE. Las rachas de viento máximas registradas durante esos 15 días fueron de hasta 12.8m s<sup>-1</sup>, de componente N.

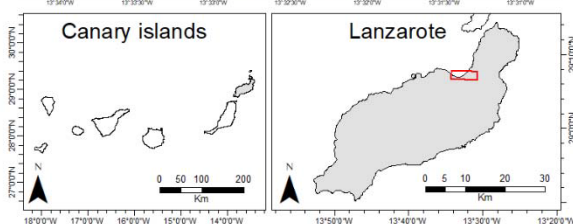


FIGURA 1. Localización de la playa de Famara y ubicación de la nebkha estudiada.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Trabajo de campo

Durante la campaña de campo se tomaron datos relativos al relieve, la vegetación, el sustrato, la dinámica eólica y el transporte de sedimento en varias dunas (nebkhas y shadow-dunes) de la playa de Famara. La nebkha analizada se subdividió en 120 parcelas de 0.5m de lado, en cada una de las cuales se midieron las coordenadas GPS (posición y altitud), el porcentaje de cobertura vegetal, las alturas máximas y

promedio de la vegetación y la temperatura del sustrato (FIGURA 2). También se registró en cada momento la temperatura ambiente, con el objetivo de realizar correcciones sobre la temperatura del sustrato. Se tomaron adicionalmente muestras de sedimento superficial, para su posterior análisis en laboratorio.



FIGURA 2. Ejemplo de parcelas de estudio y puntos de toma de datos.

### Análisis de laboratorio

Las muestras de sedimento se sometieron a mediciones de conductividad, tamaño de grano y contenido en carbonatos. La conductividad se determinó midiendo con un conductímetro el sobrenadante de diluciones 1:5 de cada muestra de arena. Previamente a la caracterización granulométrica y calcimétrica, las muestras fueron lavadas en agua destilada y secadas en estufa. Los parámetros granulométricos se obtuvieron mediante separación por tamaños de las distintas fracciones en una tamizadora electromagnética y su posterior pesaje. Los tamices utilizados incluyeron tamaños entre 2mm (gravas muy finas) y 0.063mm (arenas muy finas), a intervalos de 1Φ. Los pesos de las fracciones retenidas en cada tamiz se incorporaron al programa GRADISTAT (Blott y Pye, 2001), donde se interpretaron por el método de Folk y Ward (1957) para determinar el tamaño de grano medio. Los errores derivados del proceso de tamizado no superaron el 0.35% en ninguna muestra. Por su parte, el contenido en carbonatos contenido en cada muestra se determinó mediante el método volumétrico del calcímetro de Bernard (Gutián Ojea y Carballas, 1976).

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y correlaciones de Pearson entre orientación (ORI) y pendiente (PEN) de la parcela, distancia de la parcela en el eje longitudinal desde el límite de barlovento de la nebkha (DLON) y en el eje transversal (DTRA), temperatura relativa (RTEM), altura promedio de la vegetación (HPR), cobertura vegetal (COB), conductividad (CON), altura relativa de la parcela (ALT), porcentaje de carbonatos (CAR) y tamaño de grano (TAM) del sedimento; determinando

como significativas aquellas con un p-valor inferior a 0.05. La elección del mejor modelo explicativo de regresión lineal múltiple se determinó combinando consecutivamente el paquete LEAPS en R con la técnica de regresión por pasos hacia adelante y hacia atrás. Finalmente se determinó la colinealidad entre variables explicativas a través del Factor de Inflación de la Varianza (FIV).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la tabla I se presentan los estadísticos descriptivos principales para cada variable. El sedimento se compone de tamaños de grano inferiores a 0.42mm y por lo tanto altamente erosionables (Chepil, 1953). La elevada proporción de arenas relativamente finas en dunas expuestas al viento podría deberse a la presencia de vegetación, la cual reduce localmente la velocidad del viento y actúa como trampa de sedimento (Dupont et al., 2014).

	Media	Desv. Típica	Valor mín.	Valor máx.
Cobertura vegetal (%)	49.400	31.280	0	100
Altura promedio (cm)	17.477	8.145	3	45
Temperatura relativa (T <sub>sedimento</sub> /T <sub>ambiente</sub> )	1.060	0.098	0.904	1.409
Tamaño de grano (mm)	0.199	0.030	0.165	0.301
Conductividad (mS cm <sup>-1</sup> )	1.797	0.367	1.117	2.810
Contenido en carbonatos (%CO <sub>3</sub> )	60.471	5.286	49.271	76.962

TABLA I: Valores estadísticos descriptivos de las variables analizadas.

La obtención de los coeficientes de correlación de Pearson (FIGURA 3) refleja un patrón espacial de las características físicas y de vegetación de la nekha relacionado con la distancia hacia el interior desde el pie de duna (DLON). Puesto que las shadow dunes orientan su eje longitudinal en la dirección de los vientos efectivos dominantes en el momento de su formación, la variable correspondiente a la distancia longitudinal recoge de manera implícita factores como las variaciones de dichos vientos y la distancia al mar; así como los correspondientes cambios sobre el transporte de sedimento y la vegetación. A medida que aumenta esta distancia, el tamaño de grano del sedimento y su contenido en carbonatos disminuyen, debido al obstáculo que supone la propia nekha para el viento. El incremento de esta distancia longitudinal produce igualmente un aumento de la conductividad y de la temperatura, así como de la cobertura y altura promedio de la vegetación.

Se obtienen correlaciones significativas (p-valor < 0.05) del 70% entre la altura promedio de la vegetación y el porcentaje de cobertura vegetal, así como entre la altura promedio de la vegetación y la distancia longitudinal. Por su parte, el tamaño de grano presenta

correlaciones negativas superiores al 50% con el porcentaje de cobertura vegetal (-0.58), la altura promedio de la vegetación (-0.55) y la distancia longitudinal (-0.64); y positiva con el porcentaje de carbonatos (0.55). También se refleja una correlación positiva superior al 50% entre la temperatura relativa del sedimento y la distancia longitudinal (0.55). La disminución del tamaño de grano en aquellas zonas con mayor porcentaje de cobertura vegetal y altura promedio de la vegetación puede explicarse por la capacidad de la vegetación para retener granos más pequeños transportados por saltación o suspensión (Dupont et al., 2014).

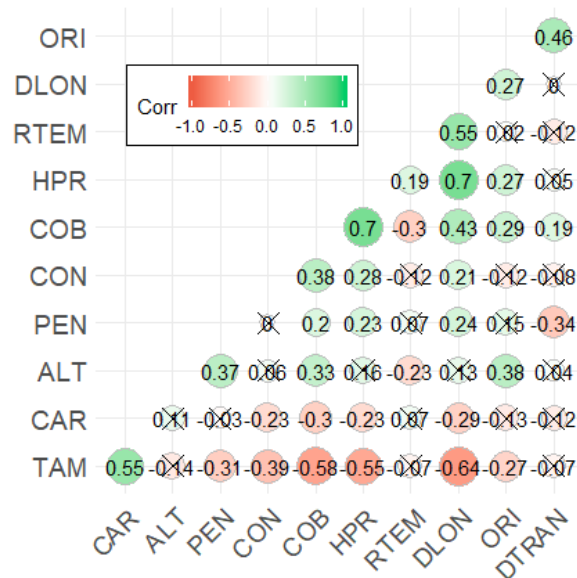


FIGURA 3: Matriz de correlaciones entre orientación (ORI) y pendiente (PEN) de la parcela, distancia de la parcela en el eje longitudinal (DLON) y en el eje transversal (DTRA), temperatura relativa (RTEM), altura promedio de la vegetación (HPR), cobertura vegetal (COB), conductividad (CON), altura relativa de la parcela (ALT), porcentaje de carbonatos (CAR) y tamaño de grano (TAM). Se muestran tachados aquellos valores con un valor de significación inferior a 0.05.

El análisis de regresión lineal múltiple permite predecir la cobertura vegetal en cada parcela de la duna objeto de estudio en función de los valores de temperatura relativa, conductividad del suelo, pendiente y posición, tanto longitudinal como transversal, de la parcela en la duna (TABLA II). Con base en este modelo, únicamente 5 variables son necesarias para definir el 62.18% de la variación en el porcentaje de cobertura vegetal.

De manera análoga, se puede explicar un 63.67% de la variación en la distribución del tamaño medio de grano en función de 4 variables independientes: distancia longitudinal, porcentaje de cobertura vegetal, contenido en carbonatos del sedimento y pendiente (TABLA III)

VARIABLES INDEPENDIENTES	COEFICIENTE DE REGRESIÓN	ERROR ESTÁNDAR	t valor	p valor		FIV	R <sup>2</sup> (%)
Constante	197.115	28.889	6.823	0.000	**		62.18
Temperatura relativa	-216.117	23.220	-9.308	0.000	**	1.677	
Conductividad	13.108	65.234	2.504	0.014	.	1.190	
Distancia Longitudinal	16.186	1.656	9.776	0.000	**	1.834	
Distancia Transversal	2.968	1.125	2.638	0.009	*	1.223	
Pendiente	0.366	0.191	1.917	0.058		1.263	

\*\*p-valor < 0.001; \*p-valor < 0.01; · p-valor < 0.05; p-valor < 0.1

TABLA II: Análisis de regresión lineal múltiple para el porcentaje de cobertura vegetal.

VARIABLES INDEPENDIENTES	COEFICIENTE DE REGRESIÓN	ERROR ESTÁNDAR	t valor	p valor		FIV	R <sup>2</sup> (%)
Constante	0.122	0.002	5.556	0.000	**		63.67
% Vegetación	-2.611*10 <sup>-4</sup>	6.047*10 <sup>-5</sup>	-4.319	0.000	**	1.301	
% CO <sub>3</sub>	2.012*10 <sup>-3</sup>	3.351*10 <sup>-4</sup>	6.003	0.000	**	1.142	
Distancia Longitudinal	-8.014*10 <sup>-3</sup>	1.319*10 <sup>-3</sup>	-6.076	0.000	**	1.316	
Pendiente	-4.539*10 <sup>-4</sup>	1.659*10 <sup>-4</sup>	-2.737	0.007	*	1.077	

\*\* p-valor < 0.001; \* p-valor < 0.01

TABLA III: Análisis de Regresión Lineal Múltiple para el tamaño de grano.

## CONCLUSIONES

La principal conclusión que se alcanza es que en las nebkhas que conforman la duna costera de sistemas áridos existen relaciones entre variables de distinta naturaleza, algunas de las cuáles no han sido estudiadas en profundidad hasta la fecha. Esta conclusión general engloba otras, entre las que cabría destacar: i) la presencia del arbusto *T. moquinii* retarda el viento y actúa como trampa de sedimento, produciendo la retención granos de tamaño inferior al esperable en ausencia de vegetación y evitando su erosión con vientos fuertes; ii) el análisis conjunto de variables de distinta naturaleza destaca la heterogeneidad espacial de las características del sedimento y de la vegetación, así como las tendencias espaciales a lo largo del eje longitudinal como principal factor relacionado; y iii) combinaciones de variables ecológicas, sedimentológicas y de relieve permiten explicar la distribución de la cobertura vegetal y del tamaño medio de grano en estos ambientes.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución del proyecto CSO2016-79673-R cofinanciado con fondos FEDER. Es una publicación de la Unidad Océano y Clima de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, una unidad de I+D+i asociada al CSIC. El primer autor realiza su investigación gracias a una ayuda concedida por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, con la cofinanciación del FSE, asociada al citado proyecto. Los autores agradecen la colaboración de Silvia Rodríguez y Fabio de Paoli en los análisis de laboratorio y los consejos de Ángelo Santana en el apartado estadístico.

## REFERENCIAS

Blott, S.J., Pye, K., 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis

of unconsolidated sediments. Earth Surf. Process. Landforms 26, 1237-1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>

Chepil, W.S., 1953. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: I. Soil texture. Soil Sci. 75, 473-484.

Dupont, S., Bergametti, G., Simoëns, S., 2014. Modeling aeolian erosion in presence of vegetation. J. Geophys. Res. Earth Surf. Cit. 119, 168-187. <https://doi.org/10.1002/2013JF002875>

Folk, R.L., Ward, W., 1957. Brazos River Bar: a Study in the Significance of Grain Size Parameters. J. Sediment. Petrol. 27, 3-26.

Gutián Ojea, F., Carballas, T., 1976. Técnicas de análisis de suelos. Pico Sacro, Santiago de Compostela.

Hernández-Cordero, A.I., Pérez-Chacón Espino, E., Hernández-Calvento, L., 2015. Vegetation, distance to the coast, and aeolian geomorphic processes and landforms in a transgressive arid coastal dune system. Phys. Geogr. 36, 60-83. <https://doi.org/10.1080/02723646.2014.979097>

Hesp, P., 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. Geomorphology 48, 245-268. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00184-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00184-8)

Li, J., Ravi, S., 2018. Interactions among hydrological-aeolian processes and vegetation determine grain-size distribution of sediments in a semi-arid coppice dune (nebkha) system. J. Arid Environ. 154, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.03.011>

Mayaud, J., Webb, N., 2017. Vegetation in Drylands: Effects on Wind Flow and Aeolian Sediment Transport. Land 6, 64. <https://doi.org/10.3390/land6030064>

Yang, Y., Liu, L., Li, X., Shi, P., Zhang, G., Xiong, Y., Lyu, Y., Guo, L., Liang, B., Zhao, M., Dai, J., Zuo, X., Han, X., 2018. Aerodynamic grain-size distribution of blown sand. Sedimentology. <https://doi.org/10.1111/sed.12497>