

1 **APROXIMACIÓN METODOLÓGICA AL ESTUDIO DE LA DINÁMICA EÓLICA Y**
2 **SEDIMENTARIA EN PLAYAS DE MALLORCA Y MENORCA (ILLES BALEARS)**

3

4 Miquel Mir-Gual¹, Guillem X. Pons¹, Francesc X. Roig-Munar¹, José Ángel Martín-
5 Prieto¹, Antonio Rodríguez-Perea¹, Irene Delgado-Fernández²

6

7 ¹ Grupo de Investigación BIOGEOMED, Dept. de Ciencias de la Tierra, Universitat
8 de les Illes Balears

9 ² Department of Geography. Edge Hill University. Ormskirk, Lancashire, UK.

10

11 **RESUMEN**

12 El presente trabajo propone establecer una aproximación metodológica a los
13 estudios de dinámica eólica y sedimentaria realizados en sistemas playa-duna de
14 las islas de Mallorca y Menorca (Islas Baleares). La utilización de sensores de viento
15 2D en períodos de 24h permitirá establecer los patrones de comportamiento del
16 viento que, complementada por un conjunto de trampas de sedimento verticales
17 (*Leatherman*), dará la oportunidad de establecer una relación entre el
18 comportamiento eólico y el transporte sedimentario bajo unas condiciones
19 atmosféricas determinadas. La aplicación de estos métodos permitirá mejorar el
20 conocimiento de los sistemas playa-duna en las Islas Baleares, a la par que servirán
21 para acotar con mayor precisión los severos problemas de erosión sufridos.

22

23 **ABSTRACT**

24 ***Methodological approach to the study of aeolian dynamics and sediment***
25 ***transport in beaches of Mallorca and Menorca (Balearic Islands)***

26 The present work aims to establish a methodological approach to the studies of
27 aeolian and sediment dynamics carried out in some beach-dune systems of Mallorca
28 and Menorca (Balearic Islands). The use of 2D anemometers will allow to better
29 understand the wind behaviour which, complemented by using vertical sediment
30 traps (Leatherman), will give the chance to compare aeolian dynamics with patterns
31 of sediment transport under a determined atmospheric conditions. This method can
32 increase the knowledge about the beach-dune systems in the Balearic Islands,
33 furthermore to help at the time to reduce the important erosion processes suffered by
34 wind.

35

36 **1. INTRODUCCIÓN**

37 Los procesos eólicos son característicos tanto de ambientes continentales áridos,
38 donde interactúan principalmente con los procesos aluviales y gravitacionales, como
39 de ambientes costeros, donde su acción se combina con la de oleaje, mareas y
40 corrientes. La ocurrencia de procesos sedimentarios en ambientes litorales
41 deposicionales es un hecho tan palpable como importante en tanto a su formación,
42 evolución y configuración. La magnitud e importancia de los procesos de erosión,
43 transporte y sedimentación eólica en ambientes playa-duna dependen *a priori* del
44 tamaño y génesis del sedimento, y de la velocidad de fricción del viento
45 (ALCÁNTARA *et al.*, 2011). Los ambientes litorales sedimentarios arenosos, debida
46 su fragilidad, presentan una vulnerabilidad especial a los episodios eólicos
47 incidentes sobre ellos, que a lo largo de las últimas décadas, y motivados por la
48 presión antrópica que sufren, incrementan recurrentemente sus procesos erosivos
49 (MIR-GUAL *et al.*, 2013). A lo largo de las últimas décadas, y en el si de la
50 geomorfología litoral como disciplina científica, los estudios sobre el comportamiento

51 del viento y su relación con los patrones sedimentarios en ambientes playa-duna
52 han ayudado a incrementar el conocimiento sobre su comportamiento. Las
53 interacciones entre el flujo del viento, la morfología de la duna y los patrones de
54 transporte de sedimentos son complejas, variando notablemente tanto a escala
55 temporal como espacial, y suponiendo factores claves en el control de la
56 geomorfología de dunas. En ese sentido varios son los trabajos que relacionan
57 positivamente el comportamiento del viento con factores tales como la topografía de
58 duna (HESP y WALKER, 2012; SMYTH *et al.*, 2012).

59 El contexto socioeconómico desarrollado en espacios insulares tales como las
60 Islas Baleares, basado en la explotación de la franja costera a expensas de los
61 intereses de la industria turística, ha hecho que ésta se haya visto notablemente
62 alterada. Dentro de los mecanismos de degradación sin duda los sistemas playa-
63 duna, por sus características, han sido uno de los espacios más castigados por
64 dicha actividad. En este contexto, tal y como concluyen Mir-Gual *et al.* (2013), el
65 estado de fragmentación mostrado por la primera línea de dunas en muchos de los
66 sistemas actuales es significativo de su estado integral de degradación. La
67 degradación del frente de dunas en algunos sistemas de las Islas Baleares a partir
68 de procesos tales como la abolición de morfologías dunares o foredunes, o la
69 desaparición de la vegetación herbácea existente en la primera línea (MIR-GUAL y
70 PONS, 2011; MIR-GUAL *et al.*, 2013) han acelerado los procesos erosivos
71 condicionados por el flujo del viento como agente mecánico responsable. La
72 degradación del frente de dunas condiciona la existencia de plataformas erosivas
73 conocidas como *blowouts*. En ambientes de dunas litorales éstos son definidos
74 como —cubetas‖ o —corredores‖ de deflación condicionados por la acción del
75 viento (HESP, 2002).

76 En el contexto insular de las Islas Baleares existe hasta el momento un cierto
77 desconocimiento sobre los procesos de erosión eólica en ambientes de dunas
78 litorales. Recientemente algunas campañas de campo se han llevado a cabo en
79 diferentes sistemas de las islas de Mallorca y Menorca con el objetivo principal de
80 incrementar el conocimiento sobre todos estos procesos y a la par, ver sus
81 connotaciones a nivel erosivo. En este sentido, el presente trabajo se centra en
82 exponer una aproximación a la metodología usada para llevar a cabo dichos
83 experimentos y, comparándola con otras variantes, establecer de forma ilustrativa
84 algunos resultados preliminares a nivel de ejemplo.

85

86 **2. EL VIENTO Y EL SEDIMENTO**

87 Dentro del abanico de agentes mecánicos que dan lugar a la formación y evolución
88 de los sistemas playa-duna el viento es el que mayor relevancia tiene en su parte
89 emergida. Éste tiene la importante función de poner en movimiento las partículas de
90 arena previamente depositadas por la acción marina y redistribuirlas espacialmente
91 formando el sistema de dunas propiamente dicho. No obstante, a parte de su
92 capacidad de formación también puede convertirse en un agente erosivo a tener en
93 cuenta. La simbiosis entre la incidencia del viento y la caracterización sedimentaria
94 será clave para entender y explicar los procesos existentes en ambientes litorales
95 sedimentarios.

96 La velocidad del viento y de arrastre determinarán unas condiciones de flujo bajo,
97 estableciéndose una velocidad umbral de fluido para una superficie arenosa
98 particular.

99 La velocidad umbral es la velocidad a la que las partículas de arena comienzan a
100 moverse (ALCÁNTARA *et al.*, 2011). Una vez que las partículas de sedimento ha

101 sido removida de la superficie ésta puede moverse por vía de distintos procesos
 102 tales como suspensión, saltación o reptación. Bagnold (1941) sugirió que una vez
 103 alcanzado el umbral crítico de velocidad las partículas en superficie pueden
 104 empezar a rodar por la misma debido a la presión directa del viento. Otros autores
 105 tales como Bisal y Nielsen (1962) constataron que los granos de arena, antes de
 106 ponerse en movimiento comienzan a oscilar hacia delante y hacia atrás, y después
 107 son elevados directamente al interior del flujo.

108 De cualquier modo son muchos los trabajos que evidencian una relación directa
 109 entre fuerza del viento y transporte. La tasa de transporte sedimentario, según la
 110 formulación de Bagnold (1941), es proporcional a la velocidad del viento elevada a
 111 a tercera potencia. No obstante, las condiciones específicas que cada lugar puede
 112 conllevar ha hecho que con el paso del tiempo otras fórmulas hayan salido a la luz
 113 (Tabla 1). Recientemente nuevas técnicas basada en la modelización de fluidos
 114 tales como la *Computational Fluid Dynamics* (CFD) han aparecido como una técnica
 115 útil y precisa a la hora de estudiar el comportamiento del viento en sistemas de
 116 dunas (Smyth et al. 2012).

117

118 Tabla 1. Ecuaciones de transporte eólico de sedimentos según Alcántara et al.

119 (2011).

AUTOR	ECUACION
Bagnold (1941)	$q = 1.8 \text{ (pa/g)} (d/0.25)^{1/2} U^3$
Chepil (1945)	$q = B \text{ (pa/g)} U^3$
Kawamura (1951)	$q = K \text{ (pa/g)} (U^* + U^*c)^2 (U^* - U^*c)$
Zingg (1953)	$q = 0.83 \text{ (pa/g)} (d/D)^{3/4} U^3$
Williams (1964)	$q = 0.17 \text{ (pa/g)} U^{3.42}$

Hsu (1971)	$q = 10^{-4} e^{4.97 \cdot d^{-0.47}} U^3 (g d)^{-3/2}$
Lettau y Lettau (1978)	$q = 4.2 (d/0.25)^{1/2} (pa/g) U^2 (U^* - U^*_c)$
White (1979)	$q = 2.61 (pa/g) U^3 (1 - U^*_c/U^*)(1 + U^*_c/U^*)$
Alcántara y Alonso (2002)	$q = 1,97 (pa/g) (d/D)^{1/2} (U - U^*_c)^2 U^*$

120

121 3. ESTUDIO DE CASO: ISLAS DE MALLORCA Y MENORCA (I. BALEARES).

122 UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

123 A pesar de los modelos teóricos ya formulados, el presente trabajo se centra en una
124 aproximación metodológica basada en potenciar el conocimiento sobre la influencia
125 espacial del flujo de viento incidente en la primera línea de dunas en superficie, y del
126 efecto que elementos tales como la topografía existente o la presencia de
127 vegetación herbácea tienen en tanto a los patrones de transporte sedimentario. Para
128 tal fin se utiliza la presencia de *blowouts* en el frente de dunas como parcela de
129 experimentación y modelización.

130 3.1. Diseño del experimento y modelización de la zona de estudio

131 Se llevaron a cabo campañas de campo de 24 h de duración en sistemas playaduna
132 de las islas de Mallorca (sistema d'es Comú de Muro) y Menorca (Cala Tirant)
133 (Figura 1). En el primero de los casos el experimento se realizó bajo condiciones de
134 viento débiles, mientras que en el segundo caso se llevó a cabo bajo condiciones
135 medias-altas.

136 Los experimentos se llevaron a cabo dentro de dos *blowouts*. En el caso d'es
137 Comú de Muro (Mallorca) se trata de un *blowout* mixto, de acuerdo a la clasificación
138 establecida por Mir-Gual y Pons (2011) y Mir-Gual et al. (2013), mientras que en el
139 caso de Cala Tirant (Menorca), se aproxima a un *bowl blowout* (Mir-Gual et al. in

140 press). La modelización 3D de dichos *blowouts* se llevó a cabo a partir de perfiles
141 topográficos realizados con pantómetros de 1.5 x 1.5 m y 0.5 x 0.5 m
142 respectivamente (Fig. 2a1) con el fin de establecer perfiles bidimensionales sobre su
143 longitud (x) y su altura (y) de acuerdo con el método ya utilizado anteriormente por
144 autores tales como Emery (1961), Delgado-Fernández y Lloyd (2004) y Mir-Gual et
145 al. (2013). Para medir con exactitud la pendiente de cada perfil se utilizó un
146 clinómetro de precisión. En el caso d'es Comú de Muro se llevaron a cabo un total
147 de 25 perfiles, mientras que en el caso de Cala Tirant fueron 46, siempre desde el
148 margen exterior del blowout, en el límite con la playa alta, hasta la parte interior (ver
149 ejemplo de Cala Tirant en la Fig. 2a2). Para obtener la tercera dimensión requerida
150 (z) se estableció una línea guía como punto de partida (0 m) a partir de la cual a
151 cada metro se desarrolló un perfil (Fig. 2a2). La base de datos topográficos
152 obtenidos (x,y,z) se trató con los software AutocadTM y Cinema4DTM..

153 **3.2. Muestreo de los datos de viento**

154 Durante cada experimento los datos de viento fueron registrados a través de la
155 disposición sobre el terrenos de un total de 7 anemómetros (*3-cup*) Davis 2D (cada
156 dispositivo lleva integrado un sensor de velocidad y otro de dirección) situados en el
157 margen exterior, dentro, y en la parte más interior del *blowout* (Fig. 2b1 y 2b2). El
158 viento fue estudiado durante un total de 24 h con intervalos de muestreo cada
159 minuto, obteniendo por cada uno de los anemómetros información sobre velocidad
160 máxima, velocidad media, y dirección media. Cada anemómetro fue instalado sobre
161 el terreno con un soporte de hierro de 60 cm de longitud (20 cm enterrados, y 40 cm
162 por encima de la superficie), y cuidadosamente calibrado hacia el norte geográfico
163 para evitar desajustes causados por la propia topografía (Fig. 2c1). Cada sensor
164 cuenta con su propio emisor el cual envía información a un *data logger* central Davis

165 Envoy8x. Además, los experimentos se completaron con la utilización de sensores
166 de temperatura ambiental, humedad del aire y humedad del suelo, también con la
167 misma frecuencia de muestreo (cada minuto durante 24 h). Los datos obtenidos del
168 muestro fueron procesados a partir del software Data Transfer Utility™ (DTU),
169 además del uso de otros mecanismos de libre acceso tales como Excel. Por lo que
170 respeta a la representación gráfica de las direcciones principales de viento
171 obtenidas por cada anemómetro, se llevo a cabo la transformación numérica de las
172 direcciones expresándolas en grados (°) para posteriormente procesarlas con el
173 programa Open Rose 0.01™.

174 A pesar de que el propósito de dicha metodología pasa por incrementar el
175 conocimiento sobre el comportamiento del flujo del aire en superficie, también se
176 estableció como objetivo insertar la variable altura (h) y el posible efecto de las
177 condiciones topográficas existentes en las diferentes zonas de estudio. En este
178 sentido, para calcular las modificaciones del flujo se estableció un transecto lineal de
179 anemómetros (anem. 1, 2, 3, 4 y 5), mientras que el anemómetro 7 fue utilizado
180 para normalizar los datos con datos a 6.5 m de altitud (Fig. 2b2), usando el
181 *Fractional Speed Ratio* (δ_s) definido por Jackson y Hunt (1975), y posteriormente
182 también aplicado por Hugenholtz y Wolfe (2009):

183

$$184 \delta_s = [u_z - U_z] / U_z$$

185

186 en donde u_z es la velocidad del viento a una altura z , y U_z es la velocidad del viento
187 a la altura del anemómetro de referencia (anem. 7). El *Fractional Speed Ratio* (δ_s)
188 permite reflejar de forma cuantitativa los posibles cambios que el flujo de viento

189 puede registrar una vez de adentra en el sistema de dunas, en este caso a través de
190 las morfología *blowout*.

191 **3.3. Muestreo del transporte sedimentario**

192 Aunque son varios los métodos existentes para calcular el transporte en sistemas
193 sedimentarios, para cuantificar el transporte a lo largo de los dos experimentos
194 realizados en las islas de Mallorca y Menorca se utilizaron un total de 12 trampas
195 verticales de sedimento (Fig. 2c2) siguiendo el diseño establecido por Leatherman
196 (1978), por ser principalmente un método simple a la hora de construir e instalar.

197 Otra ventaja de esta metodología es que es bastante popular y recurrente en la
198 literatura existente por lo que hace a los resultados obtenidos comparables con los
199 de otros estudios ya realizados (Cabrera y Alonso, 2010). Sin embargo, autores
200 como Delgado-Fernández (2011) sugieren algunos inconvenientes de las mismas,
201 e.g. que en periodos largos de muestreo las trampas necesitan ser vaciadas
202 regularmente, o bien que las trampas pueden tender a obstruirse si el grado de
203 humedad en el sedimento es alto, disminuyendo su eficiencia.

204 Tomando como referencia la metodología desarrollada por Cabrera y Alonso
205 (2010), las trampas utilizadas consisten en cilindros de PVC parcialmente
206 enterrados y con dos aperturas en tu parte sub-aérea (Fig. 2c2). Una de estas
207 aperturas fue cubierta con una maya de nylon de 60 μm con el fin de retener el
208 sedimento transportado por el viento. Una vez el sedimento es introducido en el
209 interior del cilindro, por gravedad, cae dentro de la parte enterrada y es recolectado
210 por la bolsa de muestreo existente en el interior. Cada trampa tiene una altura de
211 captación de 28.5 cm por encima de la superficie, 20 cm enterrados, y un diámetro
212 de 4 cm. Las 12 trampas fueron divididas en tres grupos de 4 trampas cada uno,
213 orientadas al N, S, E y O. El primer grupo (TA) se localiza en la parte superior de la

214 playa emergida, el segundo (TB) detrás del cordón de dunas embrionarias
215 existentes, en el margen exterior del *blowout*, y el último (TC) en el margen interior
216 del *blowout*, en el lóbulo de deposición (Fig. 3b1, 3b2 y 3c2). La orientación de cada
217 trampa fue de acuerdo a obtener distintos puntos de muestreo multidireccionales,
218 sobretodo teniendo en cuenta la variabilidad que el viento tiene en estos ambientes,
219 principalmente causada por la topografía existente. Para calcular el transporte de
220 sedimento registrado cada grupo de trampas fue muestreado a lo largo de 13
221 momentos distintos (*runs*) divididos a lo largo de las 24 h.
222 Cada grupo de trampas tomó muestras de sedimento a lo largo de 20 min por cada
223 *run*. Siguiendo el índice usado por Cabrera y Alonso (2010), los ratios de transporte
224 fueron calculados como:

225

$$226 \quad Q_{\text{trap}} = [St / Ts] / 1000$$

227

228 en donde *St* es el sedimento capturado (g), *d* el diámetro de apertura de la trampa
229 (expresado en mm), y *Ts* es el tiempo de muestreo. Todos los datos son expresados
230 en kg m⁻¹ min⁻¹.

231

232 **4. INTERPRETACIÓN DE ALGUNOS RESULTADOS PRELIMINARES**

233 **4.1. Velocidad del viento**

234 Los modelos teóricos estándares, como el diseñado por Bagnold (1941), permiten
235 establecer la columna vertical teórica del viento a partir de la altura. La metodología
236 propuesta en el presente trabajo, basada en la distribución de una maya de
237 sensores en superficie, nos permite dimensionar espacialmente el comportamiento
238 del flujo de aire a partir de su velocidad, a la vez que también establecer una

239 dimensión temporal a lo largo de las 24 h de muestreo, con una frecuencia de 1 min.
240 La Figura 3a representa la tendencia mostrada por la velocidad del viento registrada
241 a lo largo de una campaña de campo llevada cabo en una morfología *blowout* d'es
242 Comú de Muro (Mallorca) (Figura 1). Como se aprecia en la figura, el
243 comportamiento del viento no fue homogéneo en tanto a su velocidad, no tan solo a
244 nivel espacial, sino tampoco des del punto de vista temporal. En ese sentido, la
245 gráfica en cuestión permite establecer la interpretación empírica de la velocidad del
246 viento registrada en la zona de estudio con un alto nivel de precisión, a la par que
247 comparar el comportamiento y las oscilaciones de esta misma variable para cada
248 uno de los distintos puntos de muestreo.

249 Como complemento a la anterior, la Figura 3b permite enfatizar las diferencias
250 espaciales existentes entre los distintos puntos muestreados. Como se percibe en
251 ella, las máximas velocidades registradas a lo largo del experimento mostrado como
252 ejemplo se sucedieron en la parte alta de la playa emergida (anem.1), en donde el
253 viento incide sin ninguna resistencia topográfica, en el canal de deflación (anem. 3 y
254 4), en donde respondiendo al principio del Bernoulli se produce una canalización del
255 viento la cual genera un incremento en la velocidad del flujo, y finalmente en la zona
256 de descompresión más interior (anem. 7). Además de interpretar estas diferencias
257 estrictamente espaciales, si esta figura es comparada con las condiciones
258 topográficas en la zona de estudio, permite ver también como la influencia de dunas
259 embrionarias y vegetación herbácea en la primera línea genera una disminución en
260 la velocidad del flujo (anem. 2).

261 **4.2. Flujo del viento**

262 Los datos obtenidos en las distintas campañas de campo realizadas a partir de la

263 metodología expuesta en el presente trabajo muestran, a través de la modelización
264 del flujo de viento (Fig. 4) como factores tales como la topografía existente en la
265 zona de estudio son claves a la hora de entender la dinámica y el comportamiento
266 del viento en estos ambientes.

267 La morfometría de los *blowouts* estudiados hace que el flujo de aire, una vez
268 alcanza el frente de dunas quede condicionado. Así, el viento llega a una
269 determinada velocidad y dirección a la parte alta de la playa emergida. No obstante,
270 una vez alcanza la zona exterior del *blowout*, a consecuencia de la presión estática
271 generada por las paredes laterales se produce una importante canalización del flujo
272 de viento, principalmente en su parte central. Respondiendo al Principio de
273 Bernoulli, esta canalización tiene como consecuencia directa un incremento de la
274 velocidad del flujo (ver anem. 3 y 4 en la Fig. 3b) la cual incrementa también la
275 capacidad de remobilización y transporte del sedimento en superficie.
276 Finalmente, una situación contraria se sucede en la parte más interna del *blowout*,
277 en la zona deposicional. Al no estar tan condicionada por la presión ejercida por las
278 condiciones topográficas, el flujo de aire pierde presión, lo cual provoca su
279 diversificación y disminución de velocidad.

280 **4.3. Transporte de sedimento**

281 La distribución espacial de los grupos de trampas de sedimento permite establecer
282 dos relaciones importantes a la hora de incrementar el comportamiento sedimentario
283 en ambientes tan dinámicos como estos. En primer lugar hace posible identificar,
284 entre otras cosas, la influencia que la existencia de dunas embrionarias o
285 vegetación herbácea puede llegar a tener en tanto a la retención de sedimento.
286 Algunos ejemplos claros de ello son e.g. Run_3 y Run_4 en la Figura 5a, en donde
287 se ve que la influencia de estas estructuras generan una disminución del sedimento

288 atrapado por el grupo TB, situado detrás de la primera línea. En segundo lugar, la
289 canalización del flujo de aire y su consecuente incremento de velocidad a lo largo de
290 la cubeta de deflación, como ya se ha dicho antes, supone un incremento de la
291 capacidad de remobilización y transporte de sedimentos que después, una vez
292 éstos llegan a la parte más interior, por gravedad, son de nuevo depositados. Este
293 efecto se percibe por ejemplo en los Run_4, 5 y 8 de la Fig. 5a.

294

295 **Agradecimientos:** El presente trabajo se ha visto beneficiado por el proyecto
296 GCL2010-18616, y financiado por las ayudas de la *Direcció Gral. d'Universitats,*
297 *Recerca i Transferència del Coneixement del Govern de les Illes Balears* con fondos
298 FEDER al grupo competitivo BIOGEOMED, y de una beca de investigación (FPI) de
299 la *Direcció Gral. d'Universitats, Recerca i Transferència del Coneixement del Govern*
300 *de les Illes Balears* otorgada a Miquel Mir Gual.

301

302 5. BIBLIOGRAFÍA

- 303 ALCÁNTARA-CARRIÓ, J.; FONTÁN, A.; SÁNCHEZ, M.J.; CORBÍ, A. (2011):
304 —Métodos de campo y laboratorio para el estudio de los procesos eólicos, en
305 SANJAUME SAUMELL, E.; GRACIA PRIETO, F.J. (coord.): *Las Dunas en España.*
306 Cádiz , Sociedad Española de Geomorfología, p.67-85.
- 307 BAGNOLD, R.A. (1941): *The physics of blown sand and deserts dunes.* London,
308 Meuthen, p. 265.
- 309 CABRERA, L.L.; ALONSO, I. (2010): —Correlation of aeolian sediment transport
310 measured by sand traps and fluorescent tracers, *Journal of Marine Systems*, n. 80,
311 p. 235-242.
- 312 DELGADO-FERNÁNDEZ, I. (2011): —Meso-scale modelling of aeolian sediment

313 input to coastal dunesll, *Geomorphology*, n. 130, p. 230-243.

314 DELGADO-FERNÁNDEZ, I.; LLOYD, G. (2004): —A simple low cost method
315 for one person beach profilingll, *J. Coast. Research*, n. 20, p. 1246-1252.

316 EMERY, K.O. (1961): —A simple method of measuring beach profilesll,
317 *Limnology and Oceanography*, n. 6, p. 90-93.

318 HESP, P. (2002): —Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and
319 dynamicsll, *Geomorphology*, n. 48, p. 245-268.

320 HESP, P.; WALKER, I.J. (2012): —Three-dimensional aeolian dynamics within a
321 bowl blowout during offshore winds: Greenwich Dunes, Prince Edward Island,
322 Canadall, *Aeolian Research*, n. 3, p. 389-399.

323 HUGENHOLTZ, C.H.; WOLFE, S.A. (2009): —Form-flow interactions of an
324 aeolian saucer blowoutll, *Earth Surface Processes and Landforms*, n. 34, p. 919-928.

325 JACKSON, P.S.; HUNT, J.C.R. (1975): —Turbulent wind flow over a low hillll,
326 *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n. 101, p. 929-955.

327 LEATHERMAN, S.P. (1978): —A new aeolian sand trap designll, *Sedimentology*,
328 n. 25, p. 303-306.

329 MIR-GUAL, M.; PONS, G.X. (2011): —Coast sandy strip fragmentation of a
330 protected zone in the N of Mallorca, Spain (western Mediterranean)ll, *J. Coast.*
331 *Research*, SI64, p. 1367-1371.

332 MIR-GUAL, M.; PONS, G.X.; MARTÍN-PRIETO, J.A.; ROIG-MUNAR, F.X.;
333 RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2013): —Geomorphological and ecological features of
334 blowouts in a western Mediterranean coastal dune complex: a case study of the Es
335 Comú de Muro beach-dune system on the island of Mallorca, Spainll, *Geo-Marine*
336 *Letters*, n. 33, p. 129-141.

337 SMYTH, T.A.G.; JACKSON, D.W.T.; COOPER, J.A.G. (2012): —High resolution

338 measured and modelled three-dimensional airflow over a coastal bowl blowoutll,
339 *Geomorphology*, n. 177-178, p. 62-63.

340

341 **Figuras**

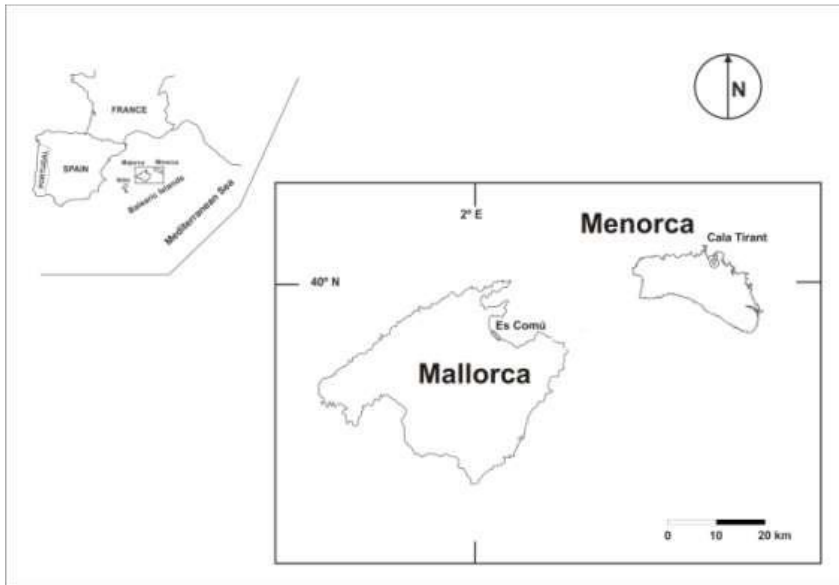


Figura 1. Localización de las zonas de estudio experimentales.

342

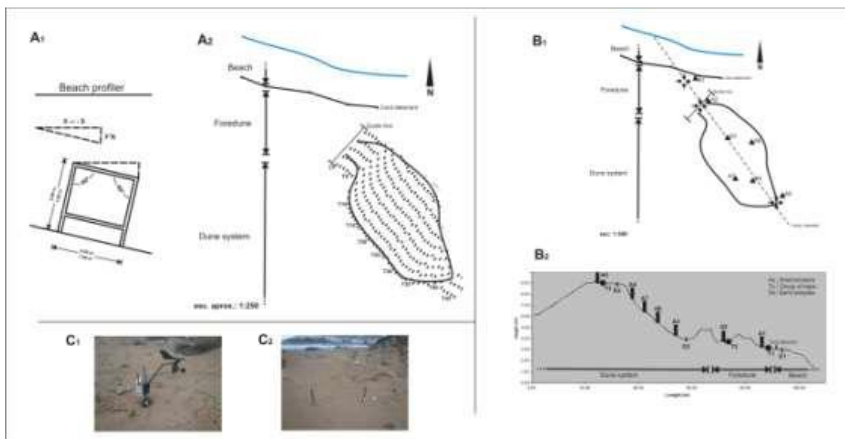


Figura 2. Representación gráfica de la metodología utilizada. El caso de Cala Tirant (Menorca).

343

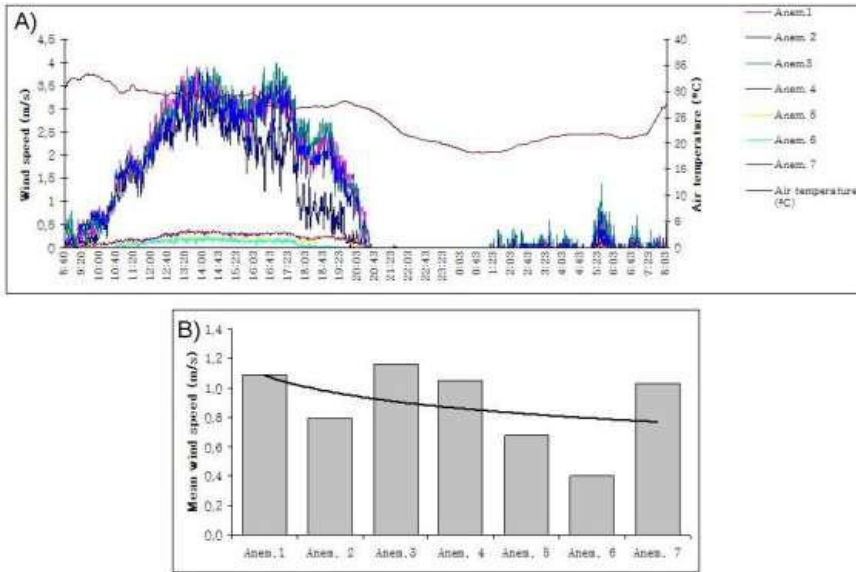


Figura 3. Representación gráfica de la velocidad de viento registrada por cada sensor. El caso de es Comú de Muro (Mallorca).

344

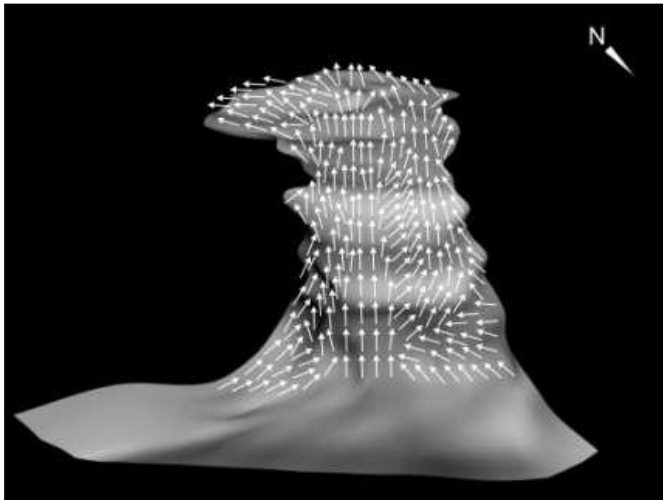


Figura 4. Modelización 3D del blowout analizado en es Comú de Muro (Mallorca) y representación del flujo de viento en la campaña de junio de 2012.

345

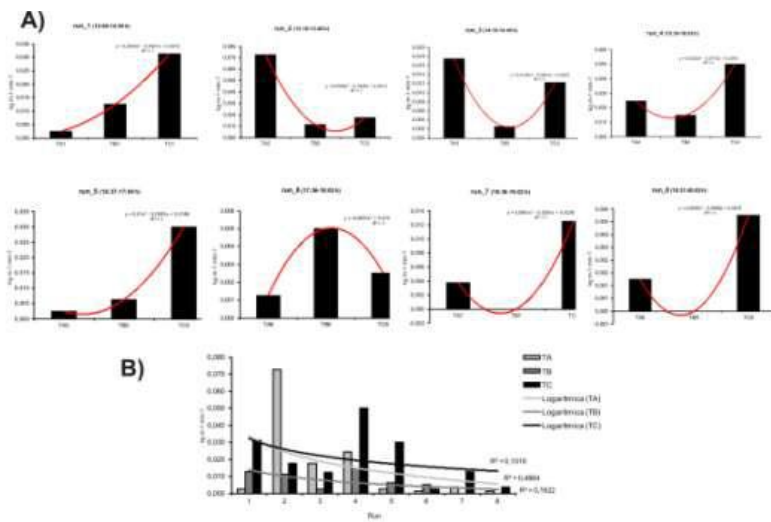


Figura 5. Distribución espacio-temporal del transporte sedimentario a lo largo de 24 h de muestreo.