

Modelización tridimensional y caracterización ecológica de playas con arribazones de *Posidonia oceanica*: ejemplos del sudeste de España

Three dimensional modeling and ecological characterization of beaches with Posidonia oceanica beach wrack: examples of Southeast Spain

C. Megías¹, H. Corbí², A. Riquelme³, A. Abellán⁴ y A. A. Ramos-Esplá^{5,6}

1 Grado en Ciencias del Mar, Universidad de Alicante (Alicante) cmb51@alu.ua.es

2 Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante 03080 San Vicente del Raspeig (Alicante) hugo.corbi@ua.es

3 Dpto. Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante 03080 San Vicente del Raspeig (Alicante) ariquelme@ua.es

4 Scott Polar Research Institute, Geography Department, University of Cambridge

5 Dpto. Ciencias del Mar y Biología Aplicada, Universidad de Alicante 03080 San Vicente del Raspeig (Alicante) alfonso.ramos@ua.es

6 Centro de Investigación Marina de Santa Pola (CIMAR), Universidad de Alicante-Ayuntamiento de Santa Pola

Resumen: Los arribazones de *Posidonia oceanica* se acumulan en las playas del mar Mediterráneo, formando una barrera protectora entre la interfase mar-tierra. Dicha barrera protege a la playa de la pérdida de arena, suponiendo un aporte de nutrientes al complejo arenoso y permitiendo la estructuración de la macrofauna de invertebrados, que encuentran alimento y protección en ellos. Debido al dinamismo de las playas de arena y de los arribazones, resulta necesario establecer modelos costeros que integren a los arribazones como elemento clave. En este trabajo se muestra la integración de estas estructuras en el modelo costero desarrollado, empleando para ello la técnica basada en instrumentación LIDAR, que ha permitido proponer una metodología para evaluar las variaciones de arena ganadas y pérdidas a lo largo de diversas campañas de estudio, teniendo como elemento clave a la estructura de los arribazones. Por otro lado, la permanencia a largo plazo de los arribazones permite una estructuración gradual de la fauna de invertebrados de las playas de arena. En este estudio, se compararon dos playas, una con los arribazones retirados por maquinaria pesada y otra no, mostrando diferencias significativas con mayor abundancia de ejemplares la playa en la que los arribazones no fueron removidos por maquinaria. El orden Amphipoda fue el más abundante en las inmediaciones de los arribazones, y el orden Coleoptera en el estrato supralitoral. Se desprende que la conservación de los arribazones permite una recuperación rápida del entorno.

Palabras clave: arribazones, *Posidonia oceanica*, LIDAR, geomorfología costera, invertebrados.

Abstract: *Posidonia oceanica* “banquettes” accumulate on the beaches of the Mediterranean Sea, forming a protective barrier between the sea-land interface. This barrier protects the beach from the loss of sand, besides supposing a nutrient contribution to the sandy complex, allowing the structure of the macrofauna of coastal invertebrates, which in addition to finding food, obtain shelter and protection in them. Due to the dynamism of the sandy beaches and the “banquettes”, it is necessary to establish study methodologies that integrate this beach-cast accumulation as a key element. This work shows the integration of these structures in the coastal model developed, using the technique based on LIDAR instrumentation, which have allowed us to propose a methodology to evaluate the variations of sand, taking as a key element to structure of the cliffs. On the other hand, the long-term permanence of dead leaves allows a gradual structuring of the invertebrate fauna in sandy beaches. In this work, two beaches were compared, one subjected to cleaning process by heavy machinery, and another in which it remained unpolluted during the study period, showing significant differences with greater abundance of specimens the beach which the cliffs were not removed. The order Amphipoda was the most abundant in the vicinity of the beach-cast accumulations, and the order Coleoptera in the supralittoral zone. It is evident that the conservation of the “banquettes” allows a quick recovery of the surroundings.

Key words: beach wrack, *Posidonia oceanica*, LIDAR, coastal geomorphology, invertebrates.

INTRODUCCIÓN

Los arribazones son estructuras procedentes de las hojas y rizomas de la planta marina *Posidonia oceanica* (Linné) Delile, que se acumulan en gran cantidad de playas del mar Mediterráneo, originando estructuras a modo de barrera entre la interfase mar-tierra donde se depositan. Esta barrera protege a la

playa de la pérdida de arena y supone un aporte de nutrientes al entorno arenoso, lo que permite la estructuración de la macrofauna de invertebrados (Deidun *et al.*, 2011).

El dinamismo de las playas de arena y arribazones, hace que sea necesario discriminar las metodologías de creación de modelos digitales de terreno que integren a

los arribazones como un elemento clave de los entornos costeros, de modo que permitan comprender su dinámica espacio-temporal y evaluar su función en los ciclos de ganancia y pérdida de arena, con la finalidad de discernir su relevancia en el fenómeno de erosión de playas arenosas (Gómez-Pujol *et al.*, 2013).

Las técnicas actuales fundamentadas en la fotogrametría, como el escaneado láser mediante instrumentación LIDAR (Light Detection and Ranging), permiten elaborar modelos digitales de elevación (MDE) de un modo rápido y con elevada precisión. Estas técnicas, se cree que ofrecerán la metodología adecuada para el estudio de las playas arenosas en conjunto con los arribazones, para posteriormente, desarrollar modelos costeros que evalúen el papel de éstos (Tomás *et al.*, 2016).

El objetivo general de este trabajo fue caracterizar geomorfológica y ecológicamente playas de arena del sudeste peninsular, empleando como indicadores a los arribazones de *P. oceanica*. Geomorfológicamente, se implementó la instrumentación LIDAR para establecer las técnicas de monitoreo costero con integración de arribazones; y ecológicamente, se caracterizó la abundancia y diversidad de especies de invertebrados de playas sin retirada de arribazones por maquinaria pesada. Se espera que la no limpieza permita una estructuración espacio-temporal de la fauna, con mayor presencia de ésta en la zona de playa sin limpieza.

METODOLOGÍA

Se seleccionaron dos playas arenosas del sudeste peninsular, situadas en el municipio de Santa Pola, Alicante (38°11'23"N – 0°33'20"O), conocidas como Calas del Cuartel I y II. Durante el año 2016, la playa I, situada más al sur, se mantuvo sin limpieza de maquinaria pesada ni retirada de arribazones, mientras la playa II sí sufrió limpieza. A lo largo de este periodo, se planteó un estudio anual desde dos prismas diferentes: geomorfológico y ecológico.

Monitoreo de la superficie de la playa

Se aplicó la técnica basada en instrumentación LIDAR en la playa I, realizándose dos campañas en primavera y otoño del año 2016, posterior y anterior a los temporales levantinos. Se empleó el sensor LIDAR Leica ScanStation C10 con dianas 6'' para el registro de los datos. Con el software CloudCompare se generaron las nubes de puntos de las dos campañas, para realizar una variación de la superficie de la playa, empleando la campaña de primavera como la base de referencia (Argüello *et al.*, 2016). La información para la creación de las nubes se definió por las coordenadas XYZ, los canales RGB y el valor del escalar. Se generó la malla de la superficie mediante triangulación con las irregularidades del terreno. La comparación de las

nubes se llevó a cabo empleando el algoritmo M3C2 (distancia normal a la superficie) (Lague *et al.*, 2013).

Caracterización ecológica

Se realizaron cuatro campañas a lo largo del año 2016, una por cada estación del año, en las dos playas. Se tomaron 25 réplicas por cada playa en cada campaña, distribuidas en cinco secciones paralelas a la zona de rompiente. El factor principal de análisis fue el estado de las playas (2 niveles, factor fijo). Se añadieron dos factores al modelo: el factor estacional (4 niveles, factor fijo) y el factor espacial (5 niveles, factor aleatorio), los tres ortogonales. La estacionalidad, considerada como observaciones fijas, se determinó en las cuatro épocas del año. El factor espacial indica las secciones en que se distribuyeron las muestras. Las variables de análisis fueron las especies de organismos, medidas en abundancia total (nº individuos/0.05 m²), y el número de réplicas por cada sección fue de cinco.

La recolección de fauna se llevó a cabo en horario nocturno, mediante la metodología de captura por caída (Deidun *et al.*, 2011), con trampas estandarizadas (9,8 cm diámetro x 10,5 cm de alto) introducidas en el sedimento, y separadas entre ellas una distancia de 5 a 10 metros. Los ejemplares se conservaron en alcohol 70° para su posterior clasificación taxonómica.

Se realizó un modelo lineal mixto (LMM) tomando la abundancia total de individuos como variable. Los parámetros se estimaron con REML (Restricted Maximun Likelihood), realizando un análisis de la varianza (ANOVA) y un test *a posteriori* mediante el test de Tukey. Se estudió la dependencia temporal con el modelo autorregresivo AR1, considerando la autocorrelación espacial. Tras comprobar la normalidad y homocedasticidad, se aplicó una transformación logarítmica para el análisis de ANOVA, empleando un nivel de confianza del 95% y usando el paquete estadístico R (Cayuela, 2014). El modelo lineal utilizado fue: $X_{ijkn} = \mu + P_i + E_j + S_k + Px E_{ij} + Px S_{ik} + Ex S_{jk} + Px Ex S_{ijk} + e_{nijk}$; siendo P: estado de la playa, E: época y S: secciones de la playa.

RESULTADOS

Escaneado mediante instrumentación LIDAR

Las nubes de puntos ofrecieron un modelo 3D de la playa para cada campaña. Se llevaron a cabo dos campañas de adquisición, obteniendo dos nubes de puntos, con 9.600.000 puntos para primavera y 6.102.571 puntos para otoño. En el modelo, se muestra el relieve de la playa y arribazón de ambas campañas, además de reflejar las elevaciones de la superficie de la playa. Los resultados comparativos indican mayor acumulación de arribazón en la zona de rompiente en primavera, con una distribución superficial heterogénea en toda la playa en ambas campañas (Fig. 1 y 2).

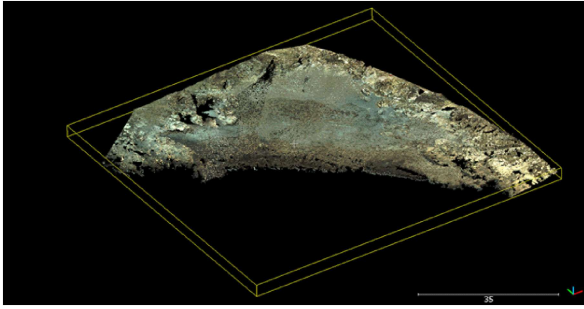


FIGURA 1. Nube de puntos de referencia de primavera, generada mediante el software CloudCompare.

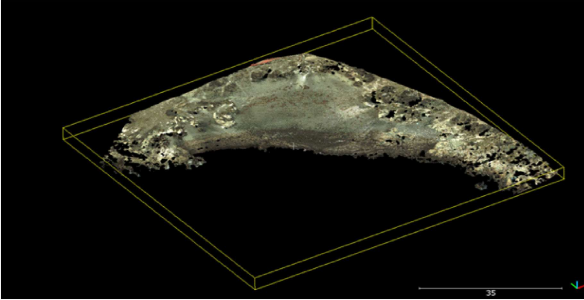


FIGURA 2. Nube de puntos de la campaña de otoño, generada mediante el software CloudCompare.

Estimación de las variaciones de sedimento en la superficie del terreno

La superposición de ambas nubes de puntos permitió estimar las diferencias de sedimento en la superficie de la playa. Los resultados indicaron un balance neto de ganancia y pérdida de arena, lo cual muestra el equilibrio del sistema arenoso (Fig. 3). Se observan las zonas de acumulación y erosión, con un máximo positivo de 1.2390 m en las inmediaciones del arribazón, y un mínimo negativo de -0.8970 m, distribuido entre la zona mediolitoral y el contorno arenoso-rocoso. El conjunto arenoso presenta dos secciones diferenciadas de balance positivo y negativo, siendo la sección más lejana a la zona de rompiente la que muestra una tendencia de mayor acumulación que aquella más cercana a la zona de rompiente.

Caracterización de fauna de invertebrados

Estudio taxonómico

Se obtuvo un total de 19 especies de invertebrados, agrupadas en dos subclases y cuatro órdenes taxonómicos de Arthropoda: Crustacea (Isopoda y Amphipoda) y Hexapoda (Dermaptera y Coleoptera). Las especies obtenidas fueron las siguientes:

- Orden Amphipoda: una agrupación de hembras y juveniles y cinco especies: *Orchestia stepenseni* Cecchini, 1928; *Orchestia montagui*, Audouin, 1928; *Cryptorchestia cavimana* (Heller, 1865), *Deshayesorchestia deshayesii* (Audouin, 1826) y *Platorchestia platensis* (Krøyer, 1845).
- Orden Isopoda: *Ligia italica* Fabricius, 1798; *Tylos europaeus* Arcangeli, 1938 y género *Porcellio* sp Latreille, 1804.
- Orden Dermaptera: *Labidura riparia* (Pallas, 1773) y *Anisolabis maritima* (Bonelli, 1832).

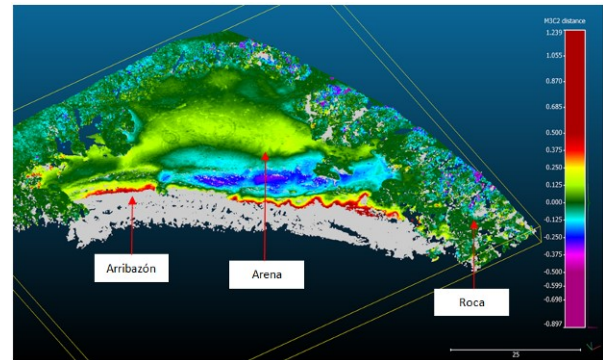


FIGURA 3. Modelo de comparación que muestra la variación de sedimento entre las dos campañas, obtenido con el algoritmo M3C2, con el software CloudCompare. Los puntos grises muestran aquella zona en la que no hay datos en la comparación de los dos escenarios, debido a la ausencia de arribazón.

- Orden Coleoptera: ejemplares en estado larvario y las especies: *Phaleria acuminata* Kuster 1852; *Pachychila frioli* Solier 1835; *Halammobia pellucida* (Herbst, 1799); *Xanthomus pellucidus* Mulsant & Rey 1856; *Cataphronetis crenata* (Germar, 1836); *Eurynebria complanata* (Linne 1767) y *Psylliodes* sp Berthold 1827.

El número total de individuos para ambas playas fue de 1032, siendo la playa sin limpieza la que mayor número presentó, con un 90% del total en relación al 10% de la playa con limpieza. En conjunto, el orden predominante en ambas playas fue Amphipoda, seguido de Coleoptera, Isopoda y Dermaptera.

Análisis estadísticos

El promedio obtenido de abundancia total indicó que los mayores valores se dieron en la playa en la que no se realizó limpieza, mostrando ambas playas un patrón a modo de gradiente temporal decreciente, siendo máxima la abundancia en invierno y mínima en otoño para ambos casos. La mayor variabilidad se dio en la playa sin limpieza en invierno y primavera, así como una variación más acusada entre primavera y verano. La playa con limpieza presenta el mismo patrón, pero no muestra variaciones tan acusadas ni tanta heterogeneidad (Fig. 4).

El LMM mostró dependencia temporal, por lo que se aplicó la estructura AR1 y posteriormente se realizó el test de ANOVA con transformación logarítmica, siendo los resultados significativos ($P < 0.05$) entre la interacción playa-época y dentro de cada factor.

DISCUSIÓN

Modelización 3D para playas arenosas con arribazones

La instrumentación LIDAR ha permitido generar un MDT de referencia para playas arenosas con presencia de arribazones. Los resultados han mostrado la dinámica estacional de cualquier playa arenosa (Mir-Gual, 2009), desde las ganancias y pérdidas de sedimento y su balance neto a lo largo de un año. Si

bien la metodología empleada ha respondido satisfactoriamente al objetivo de este trabajo, se debe tener en cuenta las particularidades de cada playa a la hora de plantear futuros modelos con presencia de arribazones. Para dichos modelos, se deben introducir los factores físicos y estacionales que controlan el flujo de formación entre la barra sumergida y la berma y la formación de los arribazones.

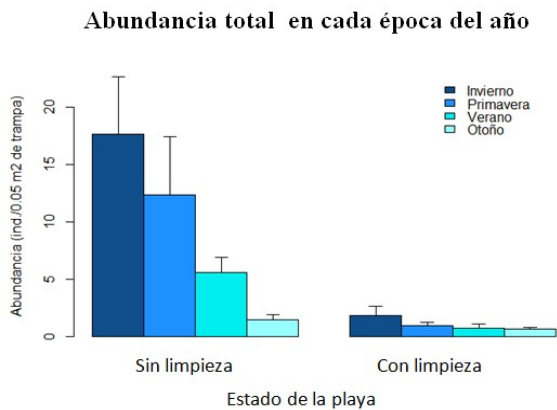


FIGURA 4. Gráficos de barras con desviación estándar, con el promedio de la abundancia total de individuos para cada playa en cada época del año.

Registro de fauna: implicaciones ambientales

Los arribazones aportan nutrientes a las playas y suponen un hábitat a las especies litorales, contribuyendo a que se estructuren gradualmente (Mateo *et al.*, 2003). Dicho fenómeno se ha manifestado en este trabajo, donde a lo largo de un año, la playa sin limpieza obtuvo significativamente mayor abundancia de individuos, frente a aquella en la que sí hubo limpieza. En paralelo a la estacionalidad de las playas, los individuos han presentado un gradiente temporal significativo, siendo mayor su abundancia en la época en la que la cantidad de arribazones es mayor, y disminuyendo a lo largo del año de la misma manera que la presencia de los arribazones decrece. Se sugiere generar futuros estudios más robustos para discriminar el efecto espacio-temporal y el efecto de los arribazones frente al fenómeno de limpieza.

CONCLUSIONES

La estacionalidad de las playas de arena en conjunto con los arribazones, ha quedado de manifiesto bajo los dos puntos de vista de este trabajo. Gracias a la creación de MDT, ha sido posible observar el régimen energético de la playa arenosa, ya no solo desde la ganancia y pérdida de sedimento, sino desde el factor presencia/ausencia de arribazón, puesto que la dispersión de éste en el entorno arenoso es un indicativo del régimen energético y estacional al que se ven sometidas las playas. Ligado a dicha estacionalidad, la abundancia de organismos ha indicado un claro patrón de distribución temporal, siendo máxima cuando la presencia de arribazones

alcanza sus mayores dimensiones, en el período invernal, y mínima cuando éstos tienen su menor representatividad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigaciones emergentes de la Universidad de Alicante (GRE14-05), en colaboración con el CIMAR (Centro de Investigación Marina) y el ayuntamiento de Santa Pola. Se agradece la ayuda de A. Izquierdo, E. Rubio, C. M. Cantarino, V. Fernández y F. J. Gomariz.

REFERENCIAS

- Argüello-Scotti, A., Zapata, L., Isla, M.F., Scivetti, N. y Sosa, N. (2016): Flujo de trabajo para la generación de modelos de afloramiento por fotogrametría: aplicaciones en sedimentología. *VII CLS – VII Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Libro de Resúmenes*.
- Cayuela, L. (2014): Actividades de investigación y docencia. (<http://luiscaayuela.blogspot.mx>) (consultada el 23 de mayo de 2016).
- Deidun, A., Saliba, S. and Schembri, P.J. (2011): Quantitative assessment and physical characterization of *Posidonia oceanica* wrack beached along the Maltese coastline. *Biología Marina Mediterránea*, 18(1): 307-308.
- Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Álvarez-Ellacuría, A., Terrado, J. and Tintoré, J. (2013): *Posidonia oceanica* beach-cast litter in Mediterranean beaches: a coastal videomonitoring study. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 65 (2): 1768-1773.
- Lague, D., Broud, N. and Leroux, J.J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (NZ). *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 82: 10-26.
- Mateo, M.A., Sánchez-Lizaso, J.L and Romero, J. (2003): *Posidonia oceanica* 'banquettes': a preliminary assessment of the relevance for meadow carbon and nutrients budget. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56 (1): 85-90.
- Mir-Gual, M. (2009): Modificaciones del perfil de las playas en las islas Baleares (Playas de Can Picafort y Es Comú de Muro). *Investigaciones Geográficas*, 50: 191-207.
- Tomás, R., Riquelme, A., Abellán, A. y Jordá, L. (2016): *Structure from Motion* (SfM): una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización y monitoreo de macizos rocosos. *10 Simposio Nacional Ingeniería Geotécnica. La Coruña*, 1: 19-21.

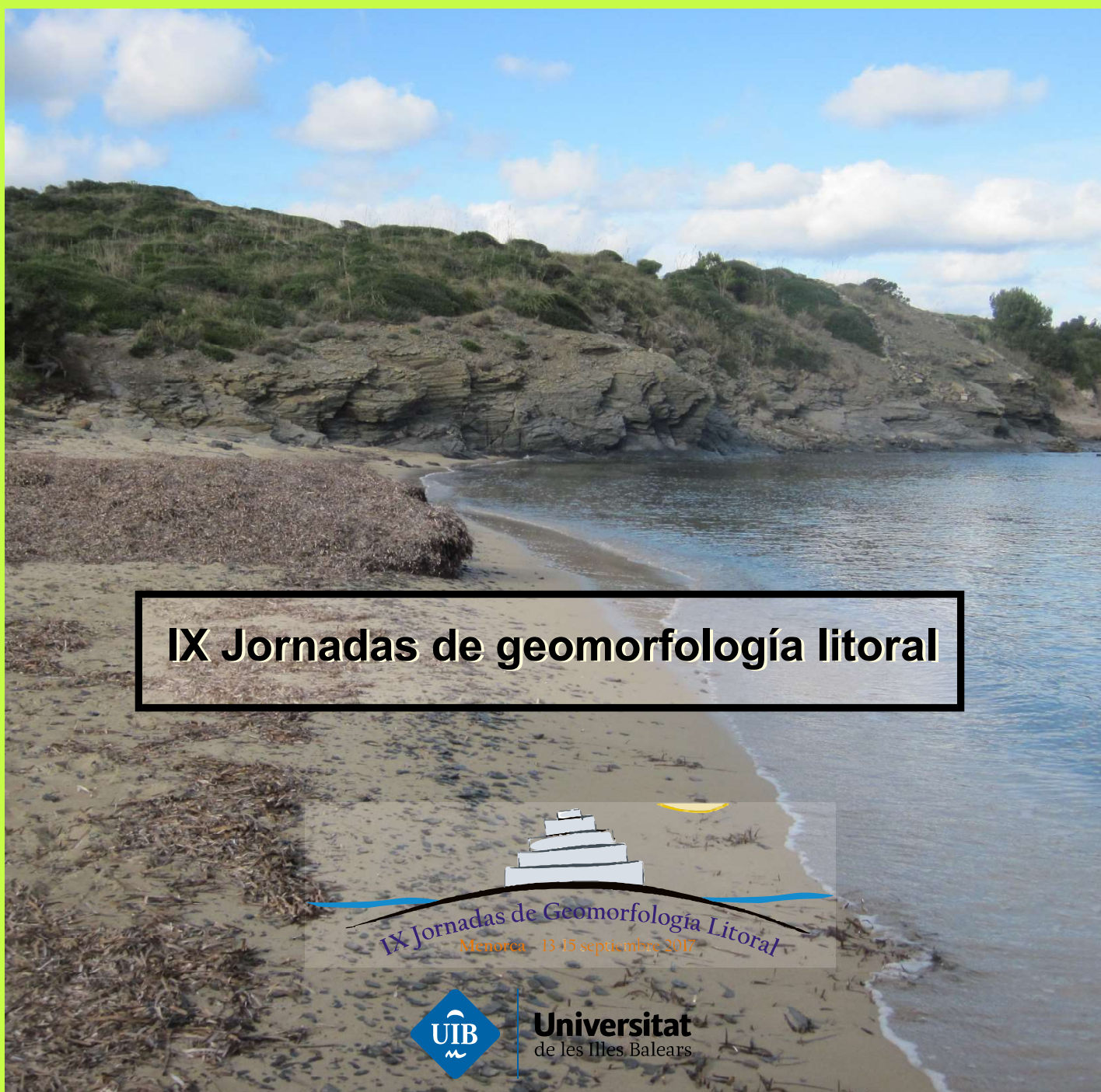
2017

Geo-Temas



Volumen 17

Geo-Temas



IX Jornadas de geomorfología litoral

Volumen 17

IX Jornadas de Geomorfología Litoral
Menorca - 13-15 septiembre 2017



Universitat
de les Illes Balears

Geo-Temas es una publicación de carácter no periódico en la que se recogen los resúmenes extensos de las comunicaciones presentadas en los Congresos Geológicos que celebra cuatrienalmente la Sociedad Geológica de España, así como en otros congresos, jornadas y simposios de carácter científico y organizadas por las comisiones de la SGE u otras asociaciones mediante convenios específicos. Los organizadores de cada reunión son los responsables de la obtención de los fondos necesarios para cubrir en su totalidad los gastos de edición y difusión del correspondiente número de Geo-Temas. Al no constituir una publicación de carácter periódico, Geo-Temas es distribuida exclusivamente a los inscritos en los actos a los cuales va dirigida la edición, reservándose un cierto número de ejemplares para la distribución por parte de la SGE.

La SGE no se hace responsable de las opiniones vertidas por los autores de los artículos, siendo por tanto éstas responsabilidad exclusiva de los respectivos autores.

La propiedad intelectual queda a plena disposición del autor de acuerdo con las leyes vigentes. queda prohibida la reproducción total o parcial de textos e ilustraciones de esta revista con fines comerciales sin autorización escrita de la SGE o de los autores. Se permite sin necesidad de autorización la generación de separatas para uso de los autores y la reproducción con fines docentes.

EDITOR PRINCIPAL

Blanca Bauluz Lázaro

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza (España)

Tel: +34 976 761 097; e-mail: bauluz@unizar.es

EDITORES ADJUNTOS

Beatriz Bádenas Lago

Dpto. de Ciencias de la Tierra,
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza,
50009 Zaragoza
bbadenas@unizar.es

Óscar Pueyo Anchuela

Dpto. Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza
50009 ZARAGOZA
opueyo@gmail.com

Manuel Díaz Azpiroz

Dpto. sistemas físicos,
químicos y naturales
Universidad de Pablo de Olavide
41013 SEVILLA
mdiaazp@upo.es

COMITÉ ORGANIZADOR

Guillem X. Pons (U. Illes Balears - Soc. d'Història Natural de les Balears - Inst. Menorquí d'Estudis)

Lluís Gómez-Pujol (Balearic Islands Coastal Observing and forecasting System, SOCIB)

Clemen García Cruz (Insitut Menorquí d'Estudis, IME)

Irene Estaún (Consell Insular de Menorca CIME, Agència Menorca Reserva de la Biosfera)

Joan J. Fornós (Universitat de les Illes Balears)

Antonio Rodríguez Perea (Universitat de les Illes Balears)

Miguel McMinn Grivé (Universitat de les Illes Balears - Societat d'Història Natural de les Balears)

COMITÉ CIENTÍFICO

Ignacio Alonso Bilbao (U. L. Palmas G. Canaria)

Ramon Blanco Chao (U. Sant. Compostela)

Susana Costas (Universidade do Algarve)

Irene Delgado Fernández (Edge Hill University)

Germán Flor Blanco (U. Oviedo)

Joan J. Fornós Astó (U. Illes Balears)

Lluís Gómez Pujol (SOCIB)

Emilia Guisado Pintado (U. Sevilla)

Luis Hernández-Calvento (U. L. Palm. G. Canaria)

Gonzalo Malvárez García (U. Pablo de Olavide)

Isabel Montoya Montes (U. L. Palmas G. Canaria)

Juan A. Morales González (U. Huelva)

Fátima Navas Concha (U. Pablo de Olavide)

Augusto Pérez Alberti (U. Sant. Compostela)

Emma Pérez Chacón (U. L. Palmas G. Canaria)

Guillem X. Pons Buades (U. Illes Balears)

Laura del Río Rodríguez (U. Cádiz)

Inmaculada Rguez. Santalla (U. R. Juan Carlos)

M^a. José Sánchez García (U. L. Palm. G. Canaria)

Macarena Tejada Tejada (U. Pablo de Olavide)

Laura del Valle Villalonga (U. Illes Balears)

Ismael Vallejo Villalta (U. Sevilla)

SEDE EDITORIAL

Sociedad Geológica de España:

Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s/n. 37008 Salamanca, España.

<http://www.sociedadgeologica.es>

Imagen de portada: Cala Tamarells, parque natural de la Albufera Des Grau, Menorca.
Fotografía de Guillem Pons Buades.

Geo-Temas



Editores:

Guillem Pons Buades

Jorge Lorenzo-Lacruz

Lluís Gómez Pujol

Vol. 17 (2017)