

ACTAS

Santiago de Compostela
27-29 de julio de 2022

**XI Jornadas de
Geomorfología
Litoral
Galicia 2022**



EDICIÓN A CARGO DE
Ramón Blanco Chao
Manuela Costa Casais
Alejandro Gómez Pazo
Daniel Cajade Pascual
Ángela Fontán Bouzas
Rita González Villanueva
Ana Bernabéu Tello
Laura López Olmedilla

XI Jornadas de Geomorfología Litoral

CURSOS E CONGRESOS DA
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA
N.º 267

XI Jornadas de Geomorfología Litoral Galicia 2022

ACTAS

Santiago de Compostela, 27-29 de julio de 2022

EDICIÓN A CARGO DE

Ramón Blanco Chao • Manuela Costa Casais
Alejandro Gómez Pazo • Daniel Cajade Pascual
Ángela Fontán Bouzas • Rita González Villanueva
Ana Bernabéu Tello • Laura López Olmedilla

2022

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA



Esta obra atópase baixo unha licenza internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Calquera forma de reprodución, distribución, comunicación pública ou transformación desta obra non incluída na licenza Creative Commons BY-NC-ND 4.0 só pode ser realizada coa autorización expresa dos titulares, salvo excepción prevista pola lei. Pode acceder Vde. ao texto completo da licenza nesta ligazón: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.gl>

© Universidade de Santiago de Compostela, 2022

Maqueta

Isabel Argüelles
Imprenta Universitaria

Edita

Servizo de Publicacións e Intercambio Científico
da Universidade de Santiago de Compostela
Campus Vida
15782 Santiago de Compostela
usc.gal/publicacions

DOI <https://dx.doi.org/10.15304/9788419155832>

ISBN 978-84-19155-83-2

COMITÉ ORGANIZADOR

Ramón Blanco Chao (Univ. de Santiago de Compostela)
Manuela Costa Casais (Univ. de Santiago de Compostela)
Daniel Cajade Pascual (Univ. de Santiago de Compostela)
Alejandro Gómez Pazo (Univ. de Santiago de Compostela)
Ángela Fontán Bouzas (Univ. de Vigo)
Rita González Villanueva (Univ. de Vigo)
Ana Bernabeu Tello (Univ. de Vigo)
Laura López Olmedilla (Univ. de Aveiro)

ESTUDIANTES USC

Anxo Vigueret Santabaya; María Noya Juncal; Marta Gayo Febrero;
Marta López Villar y Pablo Medín Carracedo

COMITÉ CIENTÍFICO

Javier Alcántara Carrió (Univ. Autónoma de Madrid); Ignacio Alonso Bilbao (Univ. Las Palmas de Gran Canaria); Javier Benavente González (Univ. de Cádiz); Antoni M. Calafat Frau (Univ. de Barcelona); Daniel Calvete Manrique (Univ. Politècnica de Catalunya); Susana Costas Otero (Univ. do Algarve); Laura del Río Rodríguez (Univ. de Cádiz); Laura del Valle Villalonga (Univ. Illes Balears); Irene Delgado Fernández (Edge Hill University); Germán Flor Blanco (Univ. Oviedo); Lluís Gómez-Pujol (Univ. Illes Balears); Fco. Javier Gracia Prieto (Univ. de Cádiz); Jorge B. Guillén (Institut de Ciències del Mar-CSIC); Luis Hernández Calvento (Univ. Las Palmas de Gran Canaria); Javier Lario Gómez (UNED); Gonzalo Málvarez García (Univ. Pablo de Olavide); Isabel Montoya Montes (Univ. Las Palmas de Gran Canaria); Juan Antonio Morales (Univ. de Huelva); Fátima Navas Concha (Univ. Pablo de Olavide); José Ojeda Zújar (Univ. de Sevilla); Augusto Pérez Alberti (Univ. Santiago de Compostela); Emma Pérez-Chacón Espino (Univ. Las Palmas de Gran Canaria); Josep Pinto Fusalba (Univ. de Girona); Guillem Xavier Pons (Univ. Illes Balears); Inmaculada Rodríguez Santalla (Univ. Rey Juan Carlos); María José Sánchez García (Univ. Las Palmas de Gran Canaria); Macarena Tejada Tejada (Univ. Pablo de Olavide); Ismael Vallejo Villata (Univ. de Sevilla); Paulo Batista (Univ. Aveiro); Paulo Silva (Univ. Aveiro); Emilia Guisado Pintado (Univ. de Sevilla)

CONTENIDO

Presentación.....	17
-------------------	----

FORMAS Y PROCESOS EN AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Análisis geomorfométrico en planicies de cordones litorales como evidencia de su evolución (Punta Rasa, Argentina).....	21
M. F. ISLA y E. GUISTADO-PINTADO	

La evolución de la barra de arena y la laguna costera de Sotavento (Fuerteventura, islas Canarias) entre 1956 y 2018	27
N. MARRERO-RODRÍGUEZ, M. J. SÁNCHEZ-GARCÍA, M. CASAMAYOR y I. ALONSO	

Caracterización geomorfológica de los campos de arenas eólicas del norte de la isla de La Graciosa	33
F. CASTRO ÁLAMO, N. FERRER VALERO y L. F. HERNÁNDEZ CALVENTO	

Evolución a medio plazo del pie de duna de la playa de Camposoto (San Fernando, suroeste de España)	37
C. MONTES GARCÍA, J. BENAVENTE y T. A. PLOMARITIS	

Washover deposits in the structure of beach-dune systems	43
J. SERRANO, A. URRULEA, L. RIVERO y A. CALAFAT	

Double spits in channels and interdistributary bays of deltas	49
J. ALCÁNTARA-CARRIÓ, R. P. MANZOLLI, B. PORTAS, A. FONTÁN-BOUZAS & L. PORTZ	

Morphodynamic modelling of an embayed beach: role of the forcing sources	55
N. CARRIÓN, A. FALQUÉS, F. RIBAS, D. CALVETE, R. DURÁN, C. MARCO-PERETÓ, M. MARCOS, A. AMORES, T. TOOMEY, A. FERNÁNDEZ-MORA & J. GUILLÉN	

Las implicaciones de la erosión costera de la barra arenosa de la Isla Salamanca en la sedimentación en la desembocadura del Río Magdalena – Colombia	61
M. CANTILLO-SABALZA, R. P. MANZOLLI y L. PORTZ	
Evolución de la barrera dunar de Pantín, NO ibérico.....	67
A. MAS-LLINÀS DEL TORRENT, R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA, M. SOLLA, A. SÁEZ, A. HERNÁNDEZ, R. CARBALLEIRA y R. BAO	
Sediment exchanges from the shoreline to the lower shoreface inferred from morphological changes (Llobregat Delta, Western Mediterranean)	73
J. GUILLÉN, G. SIMARRO, R. DURÁN, F. RIBAS, R. L. DE SWART & D. CALVETE	
Propiedades sedimentarias en la configuración de un sistema litoral. Islote Areoso (Ría de Arousa, Pontevedra)	79
D. CAJADE-PASCUAL, R. BLANCO-CHAO y M. COSTA-CASAS	
The role of the Cíes Islands on the wave regime and morphodynamics of the pocket beaches (Vigo Ria, Northwestern Iberian Peninsula).....	85
Á. FONTÁN-BOUZAS, C. C. FERREIRA, T. ABREU, A. BERNABÉU, P. A. SILVA, J. ALCÁNTARA-CARRIÓ, L. PORTZ & R. MANZOLLI	
Hydrodynamic longshore uniformity in embayed beaches: Patos beach case study.....	91
C. C. FERREIRA, T. ABREU, Á. FONTÁN-BOUZAS, P. A. SILVA & A. BERNABEU	
Análisis de la vegetación dunar de la playa de A Frouxeira (Valdoviño)	97
P. MEDÍN, J. FERNÁNDEZ y M. GAYO	

AMBIENTES ROCOSOS Y EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO

Depósitos costero-marinos del Pleistoceno Superior de Es Ram-Es Estufadors (Formentera, Illes Balears, Mediterráneo occidental): evolución climática y geomorfológica	105
L. DEL VALLE, G. X. PONS y J. J. FORNÓS	

Estudio preliminar sobre la evolución de los acantilados en el sector de Luarca en relación con los temporales de ola (Asturias-España)	111
P. ALONSO-ALONSO y G. FLOR-BLANCO	
Interpretación de procesos mareales en base a estructuras sedimentarias en el Neoproterozóico africano (Fm. Dindefelo, Senegal).....	117
E. GARCÍA-VILLALBA, C. I. YOUM, M. BASILE, J. M. DOMINGO-SANTOS y J. A. MORALES	
El Tsunami de Lisboa de 1755 en Conil de la Frontera (Cádiz): nuevas aportaciones a partir de un registro sedimentario urbano	123
C. NARVAEZ, V. GÓMEZ, C. ARTEAGA y J. ALCÁNTARA-CARRIÓ	
Evolución holocena del marjal de Magaluf (SW Mallorca).....	129
J. J. FORNÓS, L. GÓMEZ-PUJOL, A. J. FAR, G. MATEU-VICENS y G. SERVERA-VIVES	
Depósitos de tormenta en una playa de gravas y cantos encajada en la desembocadura de un cañón cárstico (Torrent de Pareis, Mallorca)	135
L. GÓMEZ-PUJOL, A. FERNÁNDEZ-MORA, P. BALAGUER, J. J. FORNÓS y A. ORFILA	
Salinas en costas rocosas: uso y modificación del karren litoral para la producción de sal en Menorca (Illes Balears)	141
F. X. ROIG-MUNAR, V. FORTEZA y L. GÓMEZ-PUJOL	
Control estructural, mega bloques y dinámica costera del sector Oia – A Guarda (Pontevedra).....	145
A. GÓMEZ-PAZO y A. PÉREZ-ALBERTI	
Caracterización de la geomorfología glaciaria costera mediante UAV en las bahías Fildes y Almirantazgo (Islas Shetland del Sur)	151
R. P. MANZOLLI, L. PORTZ, A. FONTÁN-BOUZAS y J. ALCÁNTARA-CARRIÓ	
Pendiente, tamaño de sedimento, permeabilidad y herencias en playas de material grueso.....	155
R. BLANCO-CHAO, M. COSTA-CASAIS y D. CAJADE-PASCUAL	

MÉTODOS Y TÉCNICAS APLICADAS AL LITORAL

Aplicación del Escáner Láser Terrestre para la evaluación del retroceso del acantilado de la playa de Gerra (Cantabria) durante el periodo 2012-2020.....	163
J. J. DE SANJOSÉ BLASCO, E. SERRANO CAÑADAS, M. SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, M. GÓMEZLENDE y A. GÓMEZ GUTIÉRREZ	
La evolución de la línea de costa andaluza y cálculo de tasas de erosión en las playas expuestas para el siglo XXI (2001-2019).....	169
A. PRIETO CAMPOS y J. OJEDA ZÚJAR	
Estudio topobatómico de la barra de Las Canteras para el conocimiento de su estructura y evolución geomorfológica.....	175
N. FERRER-VALERO, K. SANTANA, O. BERGASA y L. HERNÁNDEZ-CALVENTO	
ODSAS, aproximación a una herramienta <i>open source</i> para la estimación de las variaciones costeras	181
A. GÓMEZ-PAZO y A. PAYO	
Implementing sedimentary monitoring of Rias Baixas (Galicia) shellfish banks to improve response to changing environmental conditions	187
J. GUITIÁN, A. FONTÁN-BOUZAS y A. M. BERNABÉU	
Evaluation of marine accumulation patterns on the shoreline of the Isle of Sálvora (Galicia) using drone monitoring	193
J. GUITIÁN, I. R. ARÓS, P. MONTERO, S. ALLEN-PERKINS, G. AYENSA y L. NAVARRO	
Image analysis and digitization of GPR data into point clouds: Application to the Pantín dune barrier in NW Spain.....	199
M. SOLLA, A. ELSEICY, E. GONZÁLEZ, J. L. RODRÍGUEZ, R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA y R. BAO	
Combining CoastSnap and CoastSat for shoreline monitoring: Preliminary validation and potential applications	205
J. SORIANO-GONZÁLEZ, E. SÁNCHEZ-GARCÍA, E. ANGELATS & R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA	

Monitoring coastal storms' effects on the Trabucador barrier beach (Ebro Delta) through Sentinel-2 derived shorelines	211
E. ANGELATS, J. SORIANO-GONZÁLEZ, C. PUIG-POLO, J. GUILLÉN, A. FALQUÉS & F. RIBAS	
Shoreline Analysis and Extraction Tool (SAET): una nueva herramienta para monitorizar los cambios en la línea de costa	217
J. PALOMAR-VÁZQUEZ, J. ALMONACID-CABALLER, C. CABEZAS-RABADÁN, A. FERNÁNDEZ-SARRÍA & J. E. PARDO-PASCUAL	
Monitorización tridimensional del impacto del temporal Gloria sobre el frente dunar de las playas de la Devesa del Saler (Valencia)	223
J. E. PARDO-PASCUAL, J. ALMONACID-CABALLER, J. PALOMAR-VÁZQUEZ y C. CABEZAS-RABADÁN	
El uso de plataformas de ciencia ciudadana para valorizar nuestras costas: <i>Centinelas de la Costa</i>	229
R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA, L. DEL RIO, A. FERNÁNDEZ MORA, G. SIMARRO, J. SORIANO-GONZÁLEZ, E. SÁNCHEZ-GARCÍA, I. ALEJO, M. A. NOMBELA, T. A. PLOMARITIS, J. BENAVENTE, F. CRIADO-SUDAU, A. SANCHO-GARCÍA, J. GUILLÉN y R. DURÁN	
Satellite-derived shorelines at mesotidal high-energy beaches: seasonal patterns of recent dynamics in the Aveiro region, Portugal.....	233
Á. FONTÁN-BOUZAS, L. LÓPEZ-OLMEDILLA, J. E. PARDO-PASCUAL, J. PALOMAR-VÁZQUEZ & C. CABEZAS-RABADÁN	
Utilización de datos batimétrico desde un kayak de pesca para uso comunitario	239
S. ALBARRACÍN y A. M. BLÁZQUEZ	
Bathymetric inversion from video imagery: modifications on uBathy.....	245
G. SIMARRO, D. CALVETE & GUILLÉN	

GEOMORFOLOGÍA MARINA, PLATAFORMA LITORAL Y
ANÁLISIS REGIONALES

Definition of the littoral cells of the Maresme coast (Barcelona)	251
N. CARRIÓN & A. CALAFAT	
Morfologías de las unidades deposicionales submarinas asociadas a la tectónica compresiva y diapiros de lodos en el Golfo de Urabá (Colombia) ...	257
J. J. REY, I. CORREA, A. BARRANCO, J. R. DÍAZ DE RADA y D. SÁNCHEZ	
Patrones de flujo acuoso en la llanura mareal de El Manto (Isla Saltés, Huelva)	263
J. A. MORALES y N. CAPELO	
Evidencias de interacción fondo-corriente a partir del análisis de formas de fondo en el umbral NO de la bahía oriental externa de Cádiz (SO España)....	269
J. M. JÓDAR y J. A. MORALES	
Caracterización y distribución de marcas de fondo asociadas a la pesca de arrastre en la plataforma continental interna adyacente a la bahía de Cádiz (SO de Cádiz).....	275
J. M. JÓDAR y J. A. MORALES	
Coast of Mozambique: analysis of the link between geomorphology and meteo-oceanographic processes	281
E. PAVO-FERNÁNDEZ, V. GRACIA, M. GRIFOLL & G. SOLANA	
Morphological evolution of embayed beaches with different characteristics	287
C. MARCO-PERETÓ, R. DURÁN & J. GUILLÉN	
Características morfológicas de las playas encajadas de la Región de Murcia	293
L. LAMBARRI, A. SANCHO-GARCÍA y J. GUILLÉN	
Alongshore variability of the internal architecture of a low-lying coastal barrier driven by local dynamics and recent shoreline evolution	299
S. COSTAS, R. DURÁN, C. MARCO-PERETÓ, A. CALAFAT, L. RIVERO, A. URRUELA & J. GUILLÉN	

Escala temporal, procesos y patrones de erosión en la zona supralitoral de las plataformas carbonatadas micromareales.....	305
L. GÓMEZ-PUJOL y J. J. FORNÓS	

Características geomorfológicas del estuario mesomareal de Tina Mayor (Asturias-Cantabria, NO de España).....	311
G. FLOR-BLANCO, G. FLOR y L. PANDO	

GESTIÓN COSTERA, VULNERABILIDAD Y RIESGOS EN EL ENTORNO LITORAL

Cambios en la geomorfología costera inducidos por grandes eventos de tormenta	319
E. GUIADO-PINTADO y D. W. T. JACKSON	

Propuesta de lugares de interés geológico y georrutas en el litoral del municipio de Gáldar (NO de la isla de Gran Canaria).....	325
A. J. RODRÍGUEZ-RUBIO, J. MANGAS, J. YEPES y S. B. SANTANA-SANTANA	

Geomorfología litoral para todas las personas: propuesta inclusiva de interpretación del patrimonio natural.....	331
S. SANTANA-SANTANA, C. PEÑA-ALONSO y E. PÉREZ-CHACÓN ESPINO	

Geomorphological Characterisation of the Coast along Cádiz Province for Coastal Risk Assessment under Climate Change	337
T. O. MON, L. DEL RÍO, J. BENAVENTE & T. A. PLOMARITIS	

Effects of primary drivers on dune cover and shoreline dynamics: <i>Aeolus versus Poseidon</i>	343
R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA, M. PASTORIZA, A. HERNÁNDEZ, R. CARBALLEIRA, A. SÁEZ & R. BAO	

Cortavientos de piedra sobre nebkhas áridas: anatomía e impactos	349
A. SANROMUALDO-COLLADO, L. GARCÍA-ROMERO, M. VIERA-PÉREZ, I. DELGADO-FERNÁNDEZ y L. HERNÁNDEZ-CALVENTO	

Identificación y análisis de los cambios de usos del suelo, en la zona de transición de la reserva de la Biosfera de Doñana, como variante explicativa de la desecación y desaparición de las lagunas endorreicas de la zona. Primeros resultados	355
M. TEJADA-TEJADA y T. GÓMEZ POZUELO	
Efectos ambientales en playas turísticas de islas oceánicas por tormentas marinas en el actual contexto de aumento del nivel del mar. El caso de Gran Canaria (islas Canarias, España)	361
L. GARCÍA-ROMERO, T. CARREIRA-GALBÁN, J.A. RODRÍGUEZ-BÁEZ, P. MÁYER, L. HERNÁNDEZ-CALVENTO y A. YÁNES-LUQUE	
Integrated geomorphological, socioeconomic, and ecological vulnerability to sea level rise of the Mediterranean (Calpe) and North Atlantic (Carreira) coasts of the Iberian Peninsula	367
M. DEL AMO, N. DIMITROVA, J. ALCÁNTARA-CARRIÓ, A. FONTÁN-BOUZAS, A. JARAMILLO, L. PORTZ & R. P. MANZOLLI	
Cambios en la línea de costa a corto y medio plazo en la Bahía de Santa Marta (Caribe Colombiano): impactos de las estructuras antropogénicas	373
L. PORTZ, R. P. MANZOLLI, D. VILLATE-DAZA, H. J. BOLÍVAR-ANILLO, A. FONTÁN-BOUZAS y J. ALCÁNTARA-CARRIÓ	
Impact of legal framework and scientific research in reservoir lake sediment management on coastal erosion and shoreline management in Spain's South Mediterranean Basins.....	377
J. L. DEL RÍO, G. MALVÁREZ & F. NAVAS	
Resultados de la aplicación de un programa de monitarización morfosedimentaria para la gestión del banco marisquero de la playa de Vilarrube entre 2016 y 2020 (Ría de Cedeira, costa norte de Galicia).....	383
I. ALEJO, M. A. NOMBELA y R. GONZÁLEZ VILLANUEVA	
Geomorphological coastal vulnerability on high-energy sandy beaches (NW Portuguese coast)	389
L. LÓPEZ-OLMEDILLA, P. A. SILVA, A. FONTÁN-BOUZAS y J. ALCÁNTARA-CARRIÓ	

Integración de aspectos geomorfológicos, socioeconómicos y ecológicos en el estudio de la vulnerabilidad costera ante el ascenso del nivel del mar en el suroccidente del Caribe colombiano.....	395
M. GARCÍA, J. ALCÁNTARA-CARRIÓ y A. JARAMILLO	
Aforo de la playa de Las Canteras (Gran Canaria, Islas Canarias) en tiempos del Covid-19	399
E. DEL ROSARIO ROGRÍGUEZ y E. PÉREZ-CHACÓN ESPINO	

PRESENTACIÓN

Alcanzamos en 2022 la XI edición de las Jornadas de Geomorfología Litoral, desde que en el año 2000 se celebraran por primera vez en Cádiz. Desde entonces nos hemos reunido en varias localidades de España, y en esta ocasión, con la demora impuesta por la pandemia, regresan a Galicia celebrándose conjuntamente por las Universidades de Santiago de Compostela y de Vigo. En esta edición se presentan más de 60 comunicaciones procedentes de 29 Universidades y Centros de Investigación de España y otros países (Argentina, Portugal, Colombia, Reino Unido...).

Indudablemente esta reunión sigue mostrando la actualidad de la investigación básica y de las numerosas aplicaciones que la geomorfología litoral tiene ante los retos ambientales costeros. Existen numerosos eventos científicos en las que a menudo coincidimos, pero es innegable que una seña de identidad de estas Jornadas, es que la alta calidad científica es tan importante como la camaradería que une a los asistentes.

Queremos por ello agradecer a todos la participación, esperando poder vernos de nuevo en la próxima edición.

La Organización

FORMAS Y PROCESOS EN
AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Análisis geomorfométrico en planicies de cordones litorales como evidencia de su evolución (Punta Rasa, Argentina)

*Geomorphometric analysis of beach-ridge plains as evidence of their evolution
(Punta Rasa, Argentina)*

M. F. ISLA¹ y E. GUISTADO-PINTADO²

1. CIG (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina. misla@cig.museo.unlp.edu.ar

2. Dpto. Geografía Física y AGR, Facultad de Geografía e Historia. Univ. de Sevilla. eguisado@us.es

Resumen: El sistema de flechas comúnmente conocido como Punta Rasa se localiza en el océano atlántico, en la Bahía de Samborombón al norte de la ciudad de San Clemente del Tuyú (Buenos Aires, Argentina). La elongación holocena de esta flecha ha dejado un complejo sistema de cordones litorales que reflejan diversos períodos de crecimiento y canibalización de la franja costera. En este trabajo se realizó un análisis geomorfométrico de los cordones de la flecha de Punta Rasa a partir del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales con el fin de poder caracterizar el sistema de cordones litorales a diferentes escalas espaciales. Entre los atributos analizados se encuentran el número y área de sets (conjunto de cordones), número de cordones por set, orientación y espaciado de los cordones. Los resultados brindan información sobre ciertos aspectos inherentes a la evolución del sistema.

Palabras clave: espiga, línea de costa, Holoceno, Punta Rasa, geomorfometría.

Abstract: The spit system known as Punta Rasa faces the Atlantic Ocean, nearby the Bahía de Samborombón, north of the city of San Clemente del Tuyú (Buenos Aires, Argentina). The Holocene elongation of the spit has left a complex beach-ridge system, reflecting multiple periods of accretion and cannibalization of the shoreline. The present contribution consisted in the geomorphometric analysis of beach ridges that constitutes the Punta Rasa spit. Satellite images were used for geomorphic analysis and to extract of beach-ridge attributes. Measured attributes included the number and area of sets, number of beach-ridges per set, and the orientation and spacing between ridges. Results bring information that help to understand the evolution of the system.

Keywords: spit, shoreline, Holocene, Punta Rasa, geomorphometry.

1. Introducción y objetivos

La progradación de costas dominadas por el oleaje típicamente resulta en patrones de crestas relictas lineales conocidos como sistemas de flechas litorales o sistema de espigas. Estas flechas se componen de cordones litorales que brindan información sobre cambios climáticos o del nivel relativo del mar. Además, su morfología permite reconstruir la evolución del sistema en términos de dinámica de transporte, aporte de sedimentos y espacio de acomodación. El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis geomorfométrico de los cordones litorales preservados en la flecha de Punta Rasa. Estos cordones se agrupan en sets en base a relaciones de truncación y rotación asociada a eventos de reconfiguración de la línea de costa. La caracterización de atributos geomorfológicos a diferentes escalas permite diferenciar zonas relacionadas con sucesivas etapas de evolución del sistema de flechas durante el Holoceno.

2. Caso de estudio

La flecha litoral de Punta Rasa se localiza en la región noreste de la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires. El saliente que conforma la flecha representa el extremo sur de la Bahía de Samborombón, que a su vez se desarrolla hacia la margen sur del estuario del Río de La Plata. La flecha de Punta Rasa marca el fin de la Barrera Norte, la cual se extiende desde la localidad de Punta Médanos (Codignotto y Aguirre, 1993) hasta San Clemente del Tuyú (Fig. 1). El sistema de cordones litorales representa gran parte del área de estudio (aproximadamente 500 km²).

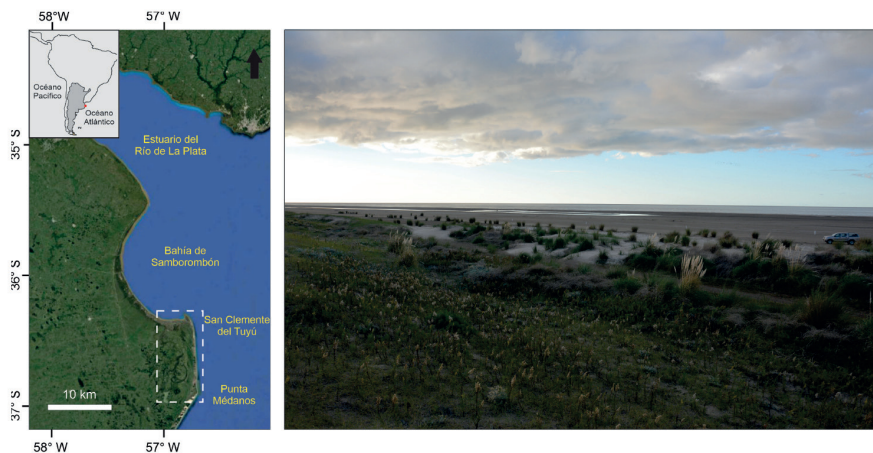


Figura 1. Izq: Área de estudio. Der: Vista panorámica de los cordones litorales de Punta Rasa.

3. Métodos

El presente trabajo se basa en el geo-interpretación de imágenes satelitales existentes (Google Earth© y Landsat) del área de estudio. El análisis se fundamenta en la caracterización en plano ortogonal de los cordones litorales observables, y, cuando visibles, en aquellas crestas parcialmente cubiertas. Los atributos cuantificados se agrupan en tres escalas diferentes: 1) sistema de flechas 2) sets de cordones litorales (agrupación de cordones litorales), y 3) cordones individuales. La primera escala (1) analizada involucra aspectos inherentes a las dimensiones y forma del sistema de flechas que contiene la totalidad de los cordones litorales. Los límites fueron trazados a partir del contacto con depósitos más antiguos (Pleistocenos) o depósitos de playa actual. En cuanto a la escala de sets de cordones litorales (2), los atributos estimados fueron el número y área de los sets, el número de crestas por set y la orientación de las crestas entre los diferentes sets (con respecto a la línea de costa). Finalmente se midió el espaciado horizontal (3) entre los cordones litorales (unidad geomorfológica mínima del sistema).

4. Resultados

4.1. Dimensiones y forma

La espiga de Punta Rasa (flecha litoral) posee una extensión de 65 km y un ancho de 6.9 km en su sector central (Tabla 1), el cual se ensancha tanto hacia el norte (alcanzando 14.3 km como valor máximo en el sector centro-N y hasta 7.37 en el extremo norte) como hacia el sur (9.3 km en la zona sur). Las dimensiones de Punta Rasa emplazan al sistema como uno de los ejemplos a nivel mundial de mayor tamaño para este tipo de flechas.

4.2. Análisis de sets y de cordones litorales

Se mapearon 13 sets numerados de S a N y 175 cordones (Tabla 1). Los sets S5 (14.64%), S10 (13.36%) y S7 (12.57%) representan los de mayor área, mientras que los de menor dimensión son el S11 (4.17%), S12 (1.77%) y S13 (0.37%). Los sets mayores presentan mayor número (máx. S10 con 39) y los más pequeños tienen menor (mín. S13 con 3). En cuanto a la rotación entre sets, los valores varían entre 10° y -10° (máx. 30° del S1-S2) y se observan ciclos de rotación horaria o antihoraria que agrupan 2 a 3 sets. El espaciado entre cordones arrojó un valor promedio para todo el sistema de 114,8 m. La variación temporal muestra una disminución en el espaciado que pasa de valores entre 200 y 800 m para los primeros sets, a valores entre 50 y 200 m para los más recientes (Fig. 2).

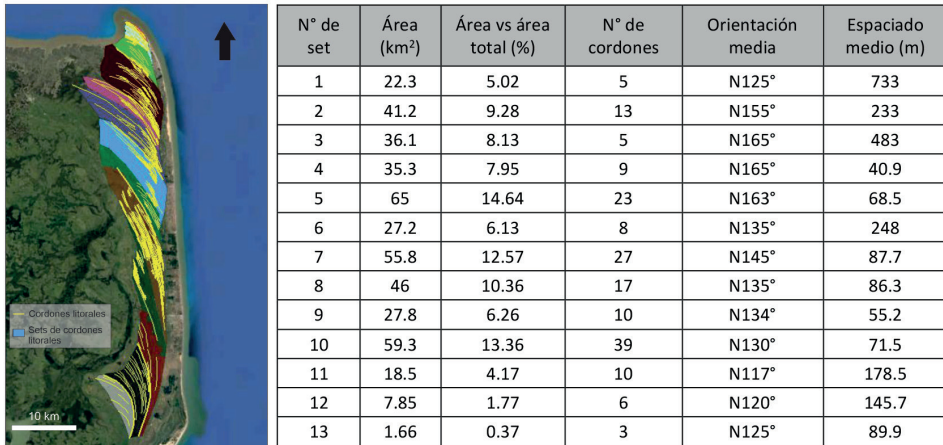


Figura 2. Izquierda: Mapeo de los cordones litorales y los sets, cada set está representado por un color. Derecha: Tabla de atributos medidos.

5. Implicaciones en la evolución de la espiga

La cantidad de sets y sus dimensiones están directamente relacionados con el aporte sedimentario, que en particular para sistemas de flechas se asocia a la tasa de transporte litoral (deriva) y a la frecuencia e intensidad de los procesos de erosión/canibalización durante tormentas. Los cambios en la orientación de las crestas pueden estar íntimamente relacionados a eventos de erosión y reconfiguración de la línea de costa durante tormentas, inversiones en la dirección o magnitud de las corrientes longitudinales o cambios en el ángulo de aproximación de las olas. El espaciado se asocia íntimamente a la tasa de progradación del sistema. Los sets de menor espaciado podrían asociarse a mayores tasas de progradación y viceversa. El análisis morfométrico de Punta Rasa permite separar su evolución en 4 etapas (caracterizadas por agrupar sets con atributos similares): 1) S1-S3 caracterizada por sets pequeños, bajo n° de cordones, rotación moderada y crestas muy espaciadas asociado a una baja tasa de progradación de la flecha incipiente; 2) S4-S5, sets de mayor tamaño, mayor n° de cordones, baja rotación y espaciado indica un incremento en la tasa de progradación; 3) S6-S10 áreas y n° de cordones similares, pero con mayor rotación (8-27°) y espaciado levemente mayor (94 m) lo cual podría sugerir condiciones similares a la etapa anterior pero con mayor rotación debido a fluctuaciones en los regímenes de oleaje; 4) S11-S13 presenta sets muy pequeños,

bajo nº de cordones y elevado espaciamiento, mostrando un nuevo descenso de la tasa de transporte, lo cual también se evidencia por la curvatura de la flecha hacia el interior de la bahía.

Referencias

Codignotto J. O., Aguirre M. L. (1993). Coastal evolution, changes in sea level and molluscan fauna in northeastern Argentina during the Late Quaternary. *Marine Geology*, 110(1-2): 163-175.

La evolución de la barra de arena y la laguna costera de Sotavento (Fuerteventura, islas Canarias) entre 1956 y 2018

*The evolution of the sand bar and the lagoon of the Sotavento coast
(Fuerteventura, Canary Islands) between 1956 and 2018*

N. MARRERO-RODRÍGUEZ, M. J. SÁNCHEZ-GARCÍA, M. CASAMAYOR y I. ALONSO

*Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
nestor.marrero102@alu.ulpgc.es*

Resumen: La costa de Sotavento experimenta importantes procesos de erosión fruto de la reducción de los aportes de arena que alimentan las playas, lo que ha generado un déficit sedimentario en la barra litoral y las dunas de caída. El objetivo de este trabajo es analizar las consecuencias que la gestión del espacio ha tenido sobre las geoformas y ecosistemas de la costa (laguna costera, barra litoral y dunas de caída). A partir de una metodología que combina el trabajo de campo y la digitalización de la línea de costa, se observó que el arranque de la barra de arena es el sector que experimenta mayores pérdidas de superficie con un balance de -580000 m^2 entre 1956-2018. Esto ha provocado que el arranque de la barra se haya desplazado casi 1000 metros hacia el sur y que sea más vulnerable a los temporales de oleaje debido al déficit de sedimento.

Palabras clave: barra litoral; gestión; erosión costera; laguna costera; evolución histórica.

Abstract: *The Sotavento coast experiences important erosion processes as a result of the reduction in the inputs of sand that feed the beaches, which has generated a sedimentary deficit in the littoral bar and the fall dunes. The objective of this work is to analyze the consequences that space management has had on the coastal geoforms and ecosystems (lagoon, littoral bar and fall dunes). Based on a methodology that combines field work and the digitization of the coastline, it has been observed that the starting area of the sand bar is the sector that experiences the greatest surface losses with a balance of -580000 m^2 between 1956-2018. This has caused the start of the bar to have moved almost 1000 meters to the south and the appearance of more than 10 erosive channels that exceed 600 meters in width.*

Keywords: *sand spit; management; coastal erosion; coastal lagoon; historical evolution.*

1. Introducción

Los cambios que experimentan muchas áreas costeras están directamente ligados con las actividades humanas, especialmente en zonas que en las últimas décadas han experimentado un importante proceso de litoralización. En el caso de Costa Calma (Fuerteventura, España) se trata de un litoral en el que los usos históricos (pastoreo, extracción de áridos, uso de la vegetación como combustible, entre otros) y actuales (urbanización y desarrollo de la red viaria) han generado cambios en la dinámica natural del sistema (Alonso *et al.*, 2002; Marrero-Rodríguez *et al.*, 2020). En este sentido, el objetivo del presente trabajo es analizar la evolución histórica entre 1956 y 2018 de las geoformas (dunas de caída, saladar y barra de arena) ubicadas en las playas de Sotavento. Dichas geoformas estarían en riesgo de desaparecer por la reducción del aporte de sedimentos existente en la actualidad.

2. Área de estudio

La costa de Sotavento está situada en el sur de la isla de Fuerteventura, entre los macizos de Jandía y Betancuria (Fig. 1). Las principales geoformas costeras del área de estudio son: la barra litoral, un lagoon costero mareal, un saladar, las playas y dos dunas de caída. La fuente principal de sedimentos transportados es la erosión de los depósitos de eolianitas y costras calcáreas cuaternarias ubicadas en la parte interior del istmo (Alcántara-Carrió *et al.*, 2010). El transporte eólico se realiza en dirección SSE (Alcántara-Carrió y Alonso, 2002).

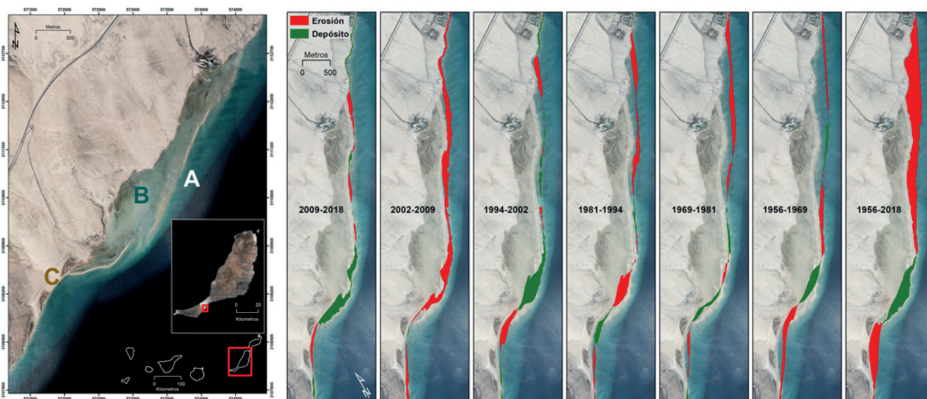


Figura 1. Izquierda: Localización del área de estudio. A: Barra de arena; B: Laguna costera; C: Dunas de caída. Derecha: evolución de la barra litoral entre 1956 y 2018.

3. Metodología

La evolución de la línea de costa y las geoformas analizadas se han estudiado a partir de la digitalización de una serie de fotografías aéreas y ortofotos. Del conjunto total de fotogramas u ortofotos disponibles se han seleccionado aquellas que corresponden a la primera y la última disponible a fin de que la serie fuese lo más larga posible; para el resto de imágenes se ha intentado mantener el mismo intervalo de tiempo entre cada una de ellas, por lo que las imágenes utilizadas corresponden a los siguientes años: 1956, 1969, 1981, 1994, 2002, 2009 y 2018. Las fuentes de información utilizadas provienen del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Cartográfica de Canarias S.A. (GRAFCAN).

4. Resultados y discusión

En el área de estudio se aprecia una serie de fluctuaciones de la línea de costa a lo largo de los años, de modo que hay zonas que en determinados periodos presentan progradación mientras que en otras épocas sufren erosión (Fig. 1). No obstante, en el balance neto 1956-2018 diferenciamos tres grandes sectores: erosión generalizada a lo largo de toda la franja norte y centro del área de estudio, donde el retroceso máximo observado es de 260 m; la zona del ápice de la barra litoral, donde se produce una progradación que alcanza los 190 m; el tramo de costa situado al sur de este punto, donde la erosión vuelve a ser generalizada, registrándose pérdidas de hasta 180 m. Por tanto, se produce una pérdida neta de superficie de playa entre 1956 y 2018 de 784.000 m², lo que representa una tasa de más de 13000 m²/año de superficie perdida.

El desplazamiento de la barra litoral hacia el oeste ha provocado la reducción de la superficie ocupada por el lagoon costero, ya que ambas geoformas están estrechamente relacionadas. Así, la laguna costera en 1957 tenía una superficie de 1640500 m², que se reduce a 1442000 m² en 2018. Además, la barra litoral pierde altura y, en consecuencia, es más fácilmente rebasable por el oleaje y de forma frecuente se abren canales erosivos cuya longitud varía entre 60 y 600 m (Fig. 2).

Así mismo, los cambios en las dimensiones de las dunas de caída se pueden observar en la figura 3. La duna localizada más al norte ha pasado de tener una superficie de 21000 m² en 1957 a 1350 m² en 2018, lo que supone una reducción de 19650 m². La duna sur ha reducido su superficie en 16675 m² pasando de ocupar 22146 m² en 1957 a 5471 m² en 2018. Es destacable además la desaparición de una tercera duna que únicamente se puede observar en las fotografías aéreas anteriores a 1970.

5. Conclusión

La tendencia erosiva de la línea de la costa de Sotavento pone en peligro de desaparecer el único lagoon costero mareal que existe en las islas Canarias. El déficit sedimentario ha producido una reducción de la superficie de la playa y la barra de 13000 m² de superficie al año; así mismo, las dos dunas de caída restantes, tras la desaparición de la tercera, han perdido una superficie de 28230 m² en el caso de la duna norte y 17000 m² en el caso de la sur. En este sentido, la morfología y funcionamiento de la barra se han visto transformados desplazando el arranque de la barra un kilómetro hacia el sur y apareciendo hasta diez canales erosivos en la fotografía aérea de 2009, que superan alguno de ellos los 600 m de longitud.

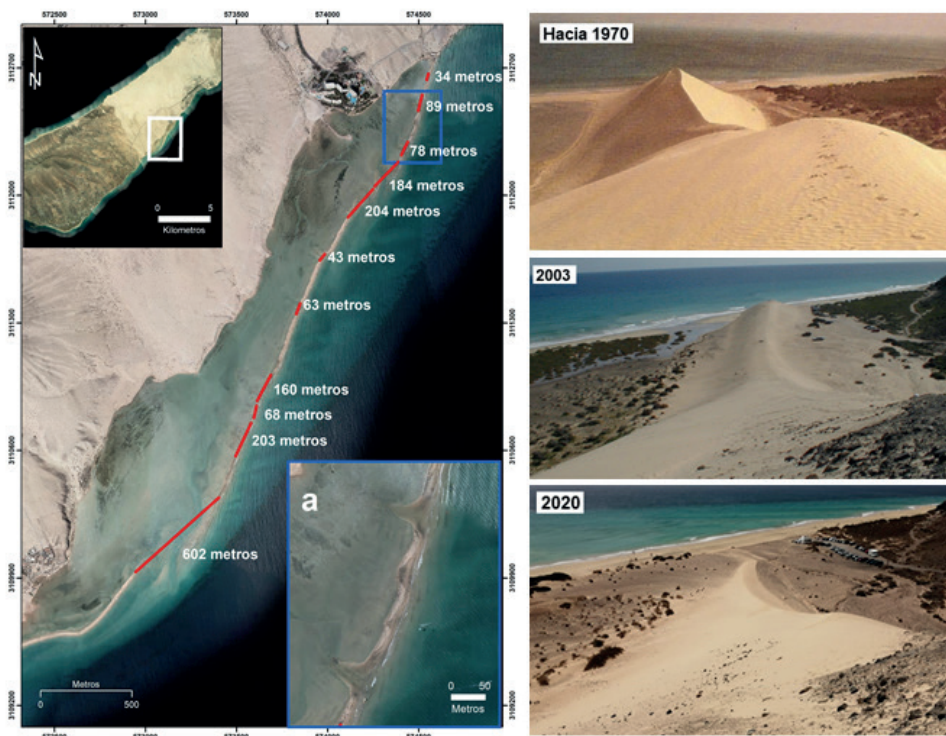


Figura 2. Estado de la barra litoral en la ortofoto de 2009. Las líneas rojas indican las zonas en las que la barra está por debajo del agua. Fotografía repetida de la duna de caída en 1970, 2003 y 2020.

Referencias

- Alcantará-Carrió, J. y Alonso, I. (2002). Measurement and prediction of aeolian sediment transport at Jandía isthmus (Fuerteventura, Canary Islands). *Journal of Coastal Research*, 18(2), 300-315.
- Alcantará-Carrió, J., Fernández-Bastero, S & Alonso, I. (2010). Source area determination of aeolian sediments at Jandia Isthmus (Fuerteventura, Canary Islands). *Journal of Marine Systems*, 80 (3-4), 219-234.
- Alonso, I., Alcántara-Carrió, J. Cabrera, L. (2002). Tourist resorts and their impact on beach erosion at Sotavento Beaches, Fuerteventura, Spain. *Journal of Coastal Research*, Spec. Iss. 36, 1-7.
- Marrero-Rodríguez, N., García-Romero, L., Sánchez-García, M. J., Hernández-Calvento, L., & Espino, E. P. C. (2020). An historical ecological assessment of land-use evolution and observed landscape change in an arid aeolian sedimentary system. *Science of The Total Environment*, 716, 137087.

Caracterización geomorfológica de los campos de arenas eólicas del norte de la isla de La Graciosa

Geomorphological characterization of the aeolian sedimentary systems of the north of the island of La Graciosa

F. CASTRO ÁLAMO, N. FERRER VALERO y L. F. HERNÁNDEZ CALVENTO

*Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).
Parque Científico Tecnológico Marino de Taliarte. Las Palmas
fernando.castro102@alu.ulpgc.es; nicolas.fvg@ulpgc.es; luis.hernandez.calvento@ulpgc.es*

Resumen: Los campos de arenas eólicas son abundantes en las costas de las islas orientales de Canarias, habiendo sido objeto de interés científico en las últimas décadas debido a su alto valor ecológico, social y paisajístico. Esta investigación ofrece una primera caracterización geomorfológica de estas formaciones costeras en el norte de La Graciosa. Para ello se han integrado ortofotos digitales de alta resolución en sistemas de información geográfica (SIG) y se han generado modelos digitales del terreno (MDT) a partir del procesado de nubes de puntos LiDAR. La cartografía geomorfológica y los perfiles topográficos obtenidos indican que los campos de arenas eólicas del norte de La Graciosa se encontrarían mayoritariamente desconectados de su fuente de sedimentos marina. Así lo sugiere la interposición, entre los campos de arenas eólicas y los bancos arenosos submareales, de extensas plataformas intermareales y escarpes rocosos. A partir de estos datos, este trabajo plantea hipótesis acerca de la naturaleza fundamentalmente relictica de estas formaciones, sus posibles mecanismos originarios y su dinámica actual de erosión y transporte.

Palabras clave: geomorfología, sistemas de información geográfica, LiDAR, sistemas eólicos sedimentarios.

Abstract: *Aeolian sand fields are abundant on the coasts of the eastern Canary Islands, having been the subject of scientific interest in recent decades due to their high ecological, social and landscape values. This research offers a first geomorphological characterization of these coastal landforms in the north of La Graciosa. To this end, high-resolution digital orthophotos have been integrated into geographic information systems (GIS) and LiDAR point clouds have been processed in order to generate high-resolution digital terrain models (DTM). The geomorphological cartography and profiles obtained indicate that the aeolian sand fields of the north of La*

Graciosa would be mostly disconnected from their marine sediments source. This is suggested by the interposition of extensive shore platforms and rocky escarpment between aeolian sand fields and subtidal sandy banks. Based on these data, this work proposes hypotheses about the fundamentally relict nature of these formations and their possible original mechanisms.

Keywords: geomorphology, geographic information system, LiDAR, aeolian sedimentary systems.

1. Introducción

El origen volcánico y las condiciones climáticas de las islas Canarias han producido paisajes costeros singulares. La abundancia de campos de arenas eólicas bioclásticas (mantos y dunas), en las islas orientales, se relaciona aparentemente con su antigüedad geológica (Criado *et al.*, 2011). Las formaciones dunares litorales se originan por el transporte eólico, tierra adentro, de partículas de arena desde la playa seca. Las playas a su vez son receptoras de sedimentos submareales depositados por el oleaje y las corrientes en la zona intermareal (Bird, 2011). Sin embargo, algunos campos de arenas eólicas de Canarias carecen de playas intermareales asociadas y parecen estar desconectados de la fuente sedimentos marina. Para caracterizar este fenómeno, este trabajo realiza un análisis general de los campos de arenas eólicas del norte de la isla de La Graciosa. La Graciosa se localiza al norte Lanzarote (Islas Canarias). Su superficie es de 27,05 km² y su clima árido, con temperaturas medias de 19,7°C y régimen de vientos alisios. Su antigüedad es pleistocena, aunque se ha desarrollado sobre una plataforma insular miocena como parte de las fases de reactivación volcánica de Lanzarote.

2. Metodología

La caracterización geomorfológica se ha efectuado recurriendo a la fotointerpretación de ortofotos digitales y al análisis morfométrico de modelos digitales del terreno (MDT). Para la fotointerpretación se han integrado, en un sistema de información geográfica (SIG), ortofotos digitales de 2013 a 2021 con una resolución de 20-25 cm/píxel (GRAFCAN, Gobierno de Canarias). El fuerte contraste entre el color claro de las arenas organógenas y el color oscuro del sustrato basáltico, por un lado, y de la vegetación, por otro, hace muy adecuado este procedimiento en Canarias. El MDT se realizó a partir del procesado de nubes de puntos LiDAR con densidad media de 1 punto/m² (IGN, Gobierno de España), filtrando los rebotes correspondientes al terreno. La interpolación de alturas se efectuó mediante el algoritmo IDW en ArcGIS, obteniéndose un MDT de 2 m de resolución horizontal.

3. Resultados y conclusiones

Los campos de arenas eólicas del norte de La Graciosa se extienden a lo largo de 6 km² y se asientan sobre dos plataformas lávicas basálticas del Pleistoceno Superior (de las montañas Agujas) y Holoceno (de Montaña Bermeja). Cerca del 85% de esta extensión está cubierta por mantos de arenas de bajo espesor, muy estabilizadas por vegetación arbustiva. Únicamente en ciertos enclaves próximos a la costa (El Jablillo, Lambra, Majapolas y Las Conchas) aparecen extensiones de arenas semimóviles con densidades de vegetación significativamente menores. La interacción de las arenas eólicas, tanto estabilizadas como semimóviles, con la vegetación arbustiva, adquiere en el norte de La Graciosa la forma de campos de *nebkhas* (montículos dunares).

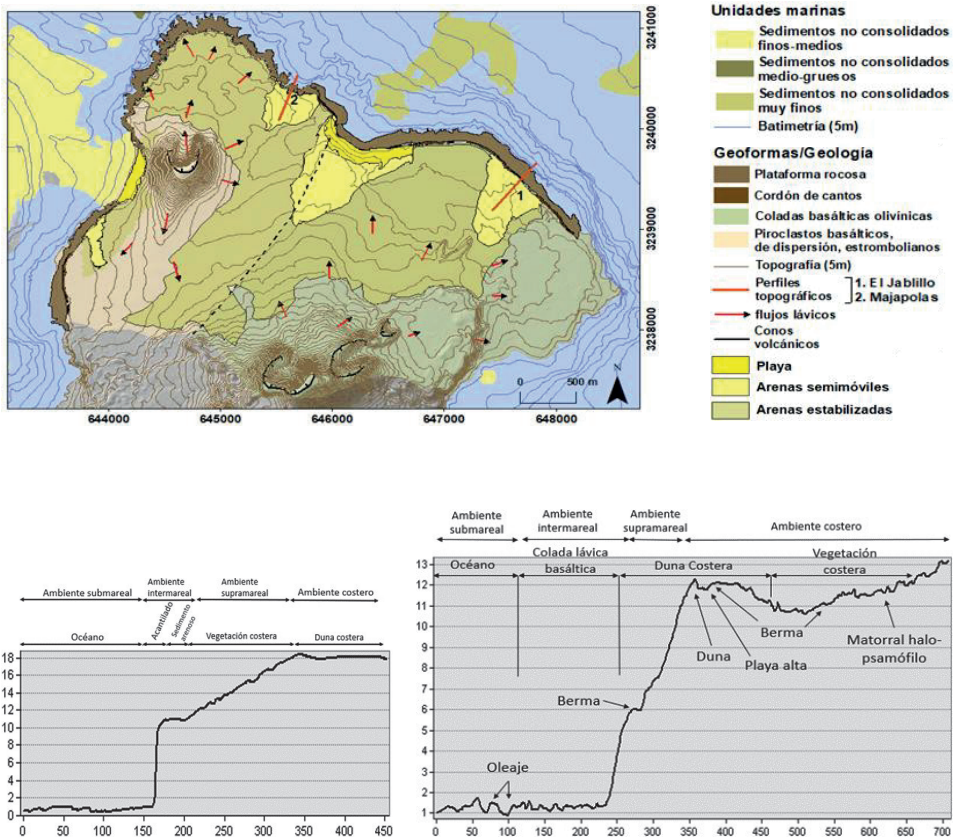


Figura 1. En la parte superior, mapa geológico del norte de La Graciosa. En la parte inferior, a la izquierda perfil topográfico de El Jablillo, a la derecha perfil topográfico de Majapolas.

En los fondos marinos del norte de la isla los bancos arenosos son escasos. Aparecen únicamente en la plataforma noroccidental, donde las arenas submareales alcanzan la línea de costa y alimentan la playa de Las Conchas, y en la costa norte, donde los sedimentos arenosos se mantienen a profundidades de entre 10 y 50 m.

A excepción de la playa de Las Conchas, la transición intermareal entre los campos de *nebkhas* subaéreos y los bancos arenosos submareales se caracteriza por la presencia de una plataforma rocosa de entre 50 y 100 m de anchura en bajamar. Además, en el sector noroccidental se interponen también escarpes rocosos o acantilados de 5 a 10 m de altura. La presencia de plataformas rocosas intermareales y pequeños acantilados sugiere una desconexión permanente entre los sedimentos arenosos submareales y supramareales, y por lo tanto el carácter fundamentalmente relíctico de los campos de arenas eólicas del norte de La Graciosa. El origen de estas formaciones en La Graciosa podría estar en el transporte eólico de mantos arenosos desde la plataforma insular, expuesta durante el último periodo glacial (Meco, 2008). No obstante, oscilaciones eustáticas positivas del Holoceno o eventos catastróficos como tsunamis constituyen otras hipótesis sobre los procesos de formación de los campos de arenas eólicas de La Graciosa.

Referencias

- Barcells Herrera, R. (2004). Mapa geológico de la Hoja nº 1079 (Graciosa). Mapa Geológico de España E. 1:25.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. IGME Bird, E. C. (2011). Coastal geomorphology: an introduction. John Wiley & Sons.
- Cabrera Vega, L. L. (2010). Sedimentología, estratigrafía, dinámica sedimentaria y evolución de El Jable (Lanzarote). Propuesta de gestión (Tesis doctoral).
- Criado Hernández, C. *et al.*, (2011). Origen y formación de los depósitos eólicos en Canarias. En, Sanjaume Saumell, E., Gracia Prieto, F. J. (Eds): *Las dunas en España*, SEG, Madrid, pp. 447-465.
- Meco, J. (2008). *Historia geológica del clima en Canarias*.

Evolución a medio plazo del pie de duna de la playa de Camposoto (San Fernando, suroeste de España)

Mid-term evolution of the dune foot at Camposoto beach (San Fernando, SW Spain)

C. MONTES GARCÍA¹, J. BENAVENTE¹ y T. A. PLOMARITIS²

1. *Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz*
cristina.montesgar@alum.uca.es; javier.benavente@uca.es

2. *Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz.*
haris.plomaritis@uca.es

Resumen: Con el objetivo de cuantificar el retroceso observado en trabajos anteriores en las dunas de la playa de Camposoto (San Fernando, Cádiz), se ha realizado un estudio a corto-medio plazo y alta resolución espacial del pie de duna del sector sur de la playa entre 2008 y 2018, a partir de levantamientos topográficos realizados con sistemas GPS-RTK y UAS. La tasa media de retroceso obtenida (2,47 m/año) implica una aceleración de la erosión que experimentaba el sistema, y que ha resultado ser más intensa en la zona norte debido a la generación y ampliación de abanicos de desbordamiento. Esto puede estar relacionado con la acción de los temporales marítimos, cuyo efecto supera la capacidad de respuesta del sistema playa-duna y que, junto con la falta de aporte sedimentario, podría conducir a la degradación y destrucción del cordón dunar. **Palabras clave:** dunas costeras, erosión, temporales, presión antrópica.

Abstract: In order to quantify the retreat observed in previous works in the dunes of Camposoto beach (San Fernando, Cádiz), a short-medium-term study with high spatial resolution of the dune foot in the southern sector of the beach between 2008 and 2018 has been carried out, based on topographic surveys measured with GPS-RTK and UAS systems. The average rate of retreat obtained (2,47 m/year) implies an acceleration of the erosion trend of the system, and which has turned out to be more intense in the northern zone due to the generation and expansion of wash over fans. This may be related to the action of sea storms, whose effect exceeds the accommodation capacity of the beach-dune system and which, together with the lack of sedimentary input, could lead to the degradation and destruction of the dune ridge.

Keywords: coastal dunes, erosion, sea storms, anthropic pressure.

1. Introducción

Durante los últimos años, los temporales marítimos han provocado el retroceso de las costas a escala global, deteriorando las dunas litorales y con ello los servicios ecosistémicos que estos sistemas ofrecen, entre los que destaca la defensa natural frente a riesgos costeros como la erosión o las inundaciones (Hanley *et al.*, 2014). Por ello el objetivo del presente trabajo es analizar la evolución a medio plazo del pie de duna de la playa de Camposoto y determinar así la tendencia general que muestra el sistema.

2. Zona de estudio

Camposoto es una playa ubicada en la flecha de Sancti Petri (San Fernando, Cádiz) (Figura 1), de sedimento arenoso y perfil dinámico que fluctúa estacionalmente entre intermedio y disipativo. Está respaldada por un cordón dunar que no supera los 3 metros de altura, interrumpido por varios abanicos de desbordamiento, poco vegetado y formado por los vientos del oeste (Talavera, 2019). Los mayores temporales llegan a la playa con dirección O-SO durante el invierno, especialmente cuando la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) es negativa (Plomaritis *et al.*, 2015).

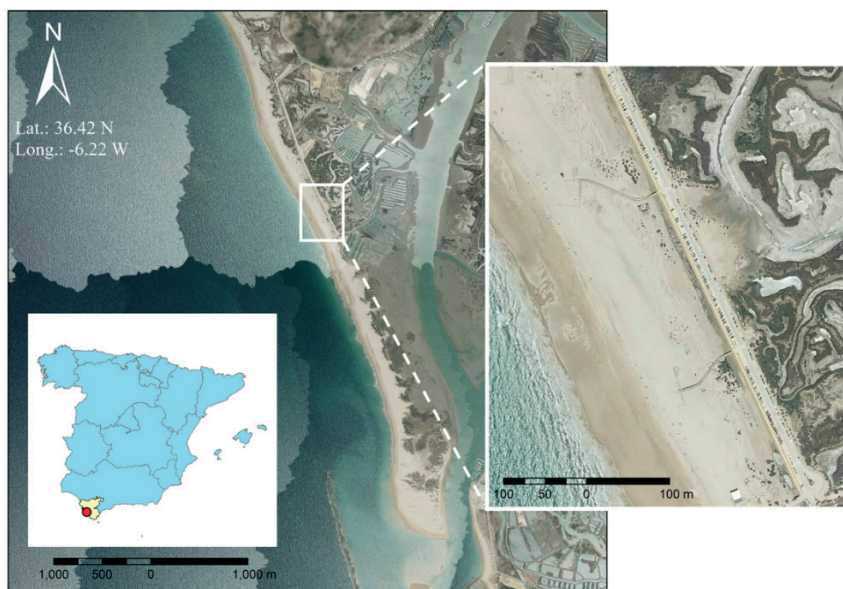


Figura 1. Zona de estudio. Fuente: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, 2019).

3. Metodología

Para estudiar la evolución del sistema playa-duna se utilizó como indicador el pie de duna, tomado a partir de 71 levantamientos topográficos realizados con GPS-RTK (*Real Time Kinematic*) y de imágenes tomadas con vuelos de dron UAS (*Unmanned Aerial System*), cuyo conjunto recoge los cambios que tuvieron lugar en la zona de estudio entre 2008 y 2018. La extracción de los pies de duna se realizó de forma semi automática mediante la utilización de rutinas de MATLAB® y el software ArcGis®, y se aplicó un análisis estadístico basado en el *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) de Himmelstoss *et al.* (2018), a partir del cual se calcularon los parámetros de cambio Shoreline Change Envelope (SCE) y *Linear Regression Rate* (LRR).

4. Resultados y discusión

Los parámetros estadísticos mostraron una tendencia erosiva general para toda la zona de estudio: un retroceso neto medio (NSM) de 16,30 metros, con máximos de hasta 40 metros, una variabilidad media (SCE) de 42,72 metros, y una tasa de erosión media (LRR) de 2,47 m/año, con máximos de más de 4 m/año. Teniendo en cuenta que hasta 2008 se había cuantificado una LRR media de 1,70 m/año para la playa de Camposoto (Puig *et al.*, 2016), los resultados del presente trabajo determinan que durante el periodo estudiado se aceleró el retroceso que experimentaba el pie de duna. Además, los valores más elevados, tanto de erosión como de variabilidad (Figura 2A), se concentran en los 10 perfiles más septentrionales, lo cual implica una diferencia de comportamiento entre esta sección y el resto del área de estudio.

En la parte norte, el pie de duna retrocede progresivamente con el paso del tiempo, mientras que en la zona sur los cambios son más irregulares y la erosión más lenta (Figura 2B). Esto puede relacionarse con el escaso desarrollo del cordón dunar y con la evolución de la cota de su pie de duna entre 2008 y 2018, que se rebajó hasta los 3 metros sobre el cero hidrográfico en las entradas de los abanicos de desbordamiento ya existentes. Esto facilitó su continua reactivación y ampliación durante los temporales marítimos, contribuyendo así al proceso de *rollover* típico de las flechas arenosas litorales (Masselink & Russell, 2013).

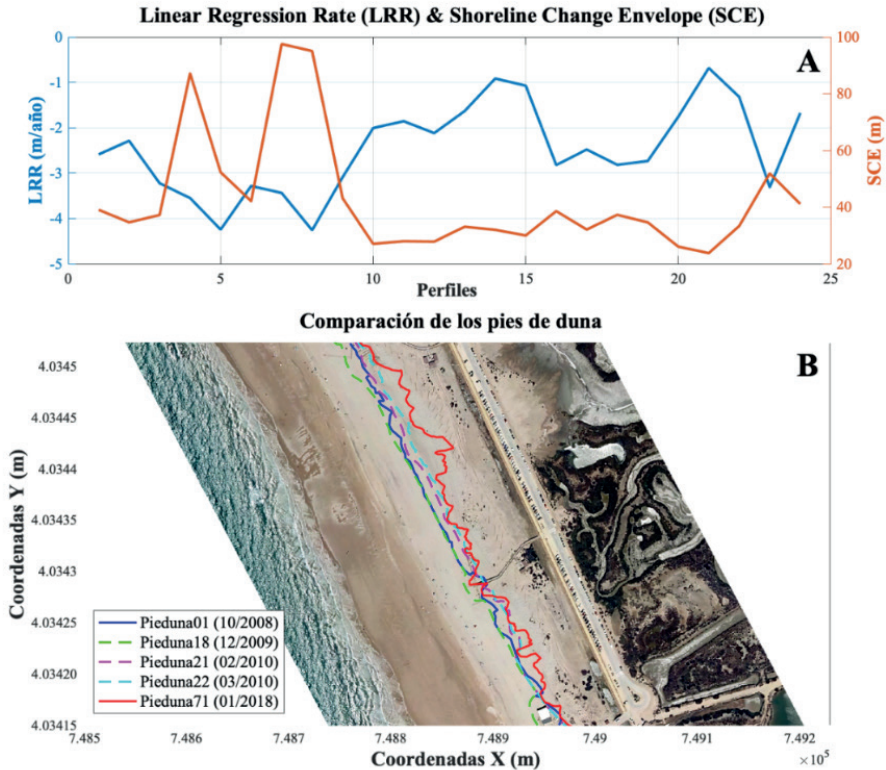


Figura 2. Variaciones (2008-2018) del pie de duna: (A) Variabilidad (SCE) y tasa de regresión lineal (LRR) a lo largo de los 24 perfiles; (B) posición del pie de duna en diferentes fechas.

5. Conclusiones

El análisis realizado sobre el pie de duna durante el periodo 2008-2018 del sector sur de la playa de Camposoto ha mostrado una aceleración del retroceso que se había observado en trabajos previos, con una tasa media erosiva de 2,47 m/año. Este retroceso no fue homogéneo, sino más intenso en la zona norte del área de estudio con valores netos de 40 metros y tasas de más de -4 m/año, mientras que para la zona sur se obtuvieron valores mucho más bajos. Esta diferencia puede atribuirse a la mayor presencia de abanicos de desbordamiento en la zona norte, más susceptibles de reactivarse ante los temporales marítimos debido a la menor cota del pie de duna.

Referencias

- Hanley, M. E., Hoggart, S. P. G., Simmonds, D. J., Bichot, A., Colangelo, M. A., Bozzeda, F., Heurtefeux, H., Ondiviela, B., Ostrowski, R., & Recio, M. (2014). Shifting sands? Coastal protection by sand banks, beaches and dunes. *Coastal Engineering*, 87, 136-146.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2018). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. Version.
- Masselink, G., & Russell, P. (2013). Impacts of climate change on coastal erosion. *MCCIP Science Review*, 71-86.
- Plomaritis, T. A., Benavente, J., Laiz, I., & Del Río, L. (2015). Variability in storm climate along the Gulf of Cadiz: The role of large-scale atmospheric forcing and implications to coastal hazards. *Climate Dynamics*, 45(9), 2499-2514.
- PNOA (2019). *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*. <https://pnoa.ign.es/>
- Puig, M., Del Río, L., Plomaritis, T. A., & Benavente, J. (2016). Contribution of storms to shoreline changes in mesotidal dissipative beaches: Case study in the Gulf of Cádiz (SW Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(12), 2543-2557.
- Talavera, L. (2019). *Uas-based monitoring of sandy coasts in the Bay of Cadiz (SW Spain)* [PhD Thesis]. Universidad de Cádiz.

Washover deposits in the structure of beach-dune systems

Los depósitos de “washover” en la estructura de los sistemas playa-duna

J. SERRANO¹, A. URRULEA², L. RIVERO² y A. CALAFAT¹

1. Dpt. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona
antonicalafat@ub.edu

2. Dpt. Mineralogia, Petrologia i Geologia Ambiental, Facultat de Ciències de la Terra,
Universitat de Barcelona

Resumen: Tras el paso de la borrasca Gloria por la costa de Cataluña se hicieron evidentes los procesos de *overwash* y la generación de depósitos de *washover* en determinadas playas del litoral catalán. El objetivo del presente trabajo consiste en identificar y caracterizar los depósitos de *washover*, sísmica y sedimentológicamente, así como calibrar la importancia de estos depósitos en los procesos de formación y estructura interna de los sistemas playa-duna. La zona de estudio es la playa del Remolar, en el municipio de Viladecans (Barcelona) donde existe un sistema playa-duna bien desarrollado. Se ha realizado un análisis de la estructura interna del sistema playa-duna mediante perfiles de ground penetrating radar y la caracterización de los depósitos de *washover* (granulometría, densidad y susceptibilidad magnética) de diferentes testigos muestreados en el área de estudio. En los radargramas, los *washover* se identifican como reflectores discontinuos que buzan hacia tierra, asociados a superficies erosivas. Los resultados muestran que los depósitos de *washover* proporcionan material nuevo y permiten que se desarrollen las dunas. En los testigos de sedimento, los depósitos de *washover* de la tormenta Gloria se caracterizan por presentar bajas densidades, una base con máximos de susceptibilidad magnética y una granodecrecencia positiva.

Palabras clave: Gloria, overwash, perfiles GPR, granulometría.

Abstract: After the passage of Storm Gloria by the Catalan coast, overwash processes and the generation of washover deposits were evident in certain beaches of the Catalan littoral. The objective of this study consists in identify and characterize washover deposits, seismically and sedimentologically, as well as calibrate the importance of these deposits in the formation processes and internal structure of beach-dune systems. The study area is in the municipality of Viladecans (Barcelona), where we can find a well-developed beach-dune system. A study of

the beach-dune system internal structure has been carried out through ground penetrating radar profiles and the characterization of washover deposits (granulometry, density and magnetic susceptibility) of different cores extracted from the study zone. In radargrams, washovers are identifiable as discontinuous leeward dipping reflectors, related to erosive surfaces. Results show that washovers provide new material and favors the development of dunes. In sediment cores, Storm Gloria's washover deposits are characterized by low densities, a base with maximums of magnetic susceptibility and a positive fining-upward sequence.

Keywords: Gloria, overwash, GPR profiles, granulometry.

1. Introduction

The term overwash is used to describe the process through which a flow of water and sediment surpass the beach berm or the crest of a dune, and it does not return directly to the body of water from which it comes from. For this to happen, wave height must increase, which generally occur during storms. On the other hand, we refer to washover to talk about the sediment deposited in land by overwash. The objective of this study is to identify and characterize washover deposits, seismically and sedimentologically, as well as evaluate the importance of those deposits in the formation processes and internal architecture of beach-dune systems.

2. Study area

Playa del Remolar (E (X): 422104.6 m – N (Y): 4569805.8 m UTM 31N / ETRS S89) is a beach which belongs to the municipality of Viladecans, of the province of Barcelona (Catalonia, Spain). There, we can identify a well-developed beach-dune system, which shows an approximate width of 100 m, being 70-90 m occupied by the dunes and the rest by the beach.

Between the days 19 and 23 of January 2020, the Storm Gloria generated overwash and washover deposits in certain beaches of the Catalan littoral, as in Playa del Remolar, where they could be clearly recognised.

3. Methodology

In order to identify and characterize washover deposits in the dune-beach system internal structure and to evaluate his importance in the processes of evolution of the system, a ground penetrating radar (GPR) survey was carried out. Seven profiles were made, perpendicular to the beach-dune system (NW-SE). Three of them were

obtained in November 2013 and the rest in March 2021, where Gloria's washover deposits could be identified due to the presence of sand lobes which had erode the dune crests. We used a GSSI SIR 3000 system equipped with a 400 MHz transceiver antenna. The data were processed using the ReflexW 8.5.8 commercial software.

With the goal of describe the washovers sedimentologically (granulometry, density and magnetic susceptibility), two cores (65.5 and 83.9 cm depth) were extracted over a washover lobe. The analysis was carried out firstly with Multi-Sensor Core Logger (MSCL-S), to obtain density and magnetic susceptibility values. Then, cores were analysed with COULTER LS230 to acquire granulometry data.

4. Results and discussion

With a view to describe the GPR profiles, we established radar facies related to the different sedimentary processes or deposits that we are able to identify. This procedure concurs with the methodology proposed by other authors (Bristow *et al.*, 2000). We differentiated six radar facies (RF): reworking and/or filling of troughs (RF1), windward sedimentary accretion (RF2), washover deposits (RF3), sedimentary accumulation with vegetation (RF4), beach deposits (RF5) and beach bar (RF6).

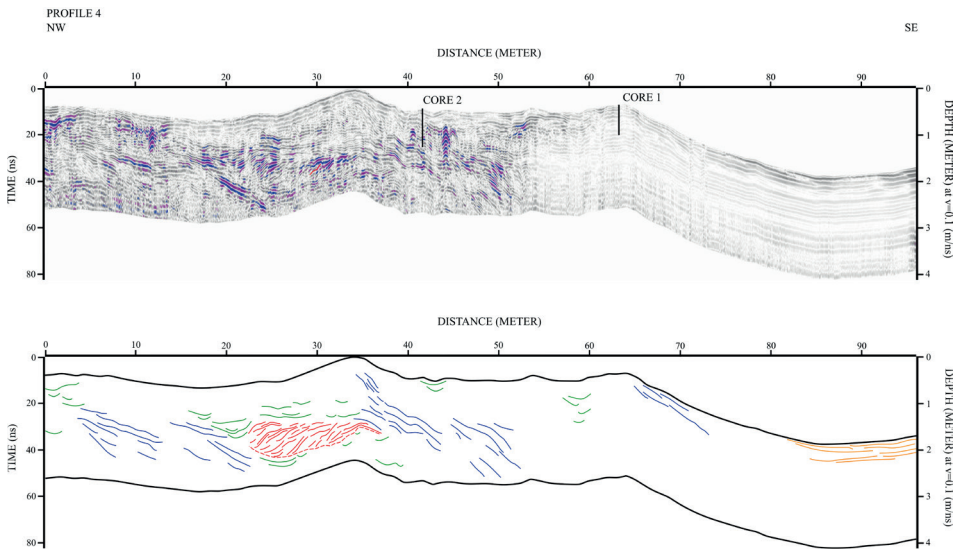


Figure 1. Interpretation of Profile 4. RF1 (green), RF2 (blue), RF3 (red) and RF5 (orange) can be identified.

As an example, we show Profile 4. In this radargram we can observe the dune system extending from 0 to 72 m length. There we can identify the secondary dune (28-38 m length) and the primary dune (60-68 m length). Both dunes show reworking and/or filling of troughs facies (RF1; discontinuous concave reflectors) and windward sedimentary accretion facies (RF2; discontinuous windward reflectors, associated to sediment deposited by the transport of sand from the beach to the dune system). From 22 to 35 m length we can observe washover facies (RF3; discontinuous leeward dipping reflectors, related to erosive surfaces). The beach zone can be seen from 72 to 96 m length, and it is recognized by beach deposits facies (RF5; slightly dipping reflectors to windward and leeward, related to beach progradation).

The progradation processes are appreciable, just as the growth of the dune system due to successive windward sedimentary accretion cycles and the development of the filling of troughs with sand reworking processes by the wind. Dunes interrupt momentarily his expansion when, during storms, generally in winter, overwash processes erode the dune crests and fill interdune deposits with washover deposits. Washover deposits generally show parallel stratification in his proximal zone and cross stratification in his distal part. In this way, overwash processes represent one of the main sediment supplies that arrive to the dune system, benefiting his development.

Our GPR profiles were located over washover lobes generated by Storm Gloria. Nevertheless, they were not identified in radargrams. For that reason, those deposits do not exceed 20 cm of thickness, which is the resolution achieved with our georadar antenna. However, the analysis of cores enables us to work at a smaller scale, allowing to characterize Gloria washover deposits. The thickness of the deposit was 15 cm in the dune and 13 cm in the interdune zone. In each core, the washover is identifiable by low densities (1.3 g/cc) in relation with the rest of the core (1.6 g/cc), a positive fining-upward sequence (from 325 to 450 and 500 μm respectively), and a base with maximums of magnetic susceptibility ($16 \cdot 10^{-6}$ units), due to the increase of heavy minerals, which presence indicate processes of high energy.

5. Conclusions

It has been possible to identify and characterize washover deposits in radargrams as discontinuous leeward dipping reflectors related to erosive surfaces. They fill troughs or interdune deposits, representing one of the main sediment supplies that

arrive at the dune system, benefiting his development. In cores, we were able to describe Gloria's washovers, identifiable by low densities, a positive fining-upward sequence and a base with maximums of magnetic susceptibility due to the increase of heavy minerals, which presence indicate processes of high energy.

References

- Bristow, S. C., Chroston, P. N., Bailey, S. D. (2000). The structure and development of foredunes on a locally prograding coast: insights from ground-penetrating radar surveys, Norfolk, UK. *Sedimentology*, 47: 923-944.

Double spits in channels and interdistributary bays of deltas

Dobles flechas litorales en canales y bahías interdistributarias de deltas

J. ALCÁNTARA-CARRIÓ¹, R.P. MANZOLLI¹, B. PORTAS¹, A. FONTÁN-BOUZAS² & L. PORTZ¹

1. Dept. Geology and Geochemistry. Universidad Autónoma de Madrid
javier.alcantara@uam.es; rogerio.manzolli@uam.es; luana.portz@uam.es
2. Centro de Investigación Mariña, Universidad de Vigo. afontan@uvigo.es

Resumen: Este trabajo presenta la primera identificación y descripción geomorfológica de sistemas de dobles flechas litorales en la entrada de canales costeros y en bahías interdistributarias de deltas. La metodología está basada en el análisis detallado de series históricas de imágenes de satélite a escala global, cartas náuticas y programas de cálculo de mareas. Estos sistemas se localizan principalmente en costas micromareales de altas (costas heladas) y medias latitudes. En la mayoría de los sistemas se observa progradación reciente de las flechas litorales, muchas veces con formas ganchudas, así como procesos de degradación y formación de nuevas flechas litorales, lo cual permite la permanencia de estos sistemas. Sin embargo, un sistema en una bahía interdistributaria y otro en la entrada de un canal muestran intensa progradación de las flechas litorales con fuerte tendencia al cierre, sin degradación de las flechas. Por tanto, cabe esperar que ambos sistemas sean efímeros. En conclusión, dos nuevos modelos geomorfológicos de formación, permanencia o degradación de sistemas de dobles flechas litorales son definidos en este trabajo. **Palabras clave:** Geomorfología, dobles flechas litorales, progradación, degradación.

Abstract: This study shows the first identification and geomorphological description of double spits in both, the mouth of coastal channels and the interdistributary bays of deltas. The methodology is based in detailed worldwide analysis of satellite images, nautical charts, and tide prediction software. They are mainly located in pristine microtidal coasts of high (ice coasts) or medium latitudes. Most of them show recent progradation of the spits, many times with hooked ridges, as well as processes of degradation and formation of new spits, which allow remain of these systems. However, a system developed in an interdistributary bay and another one in a channel show high progradation of the spits, with a clear trend to closing the mouth, without degradation of the spits. Therefore, it is expected that both systems be ephemeral. In summary, two new geomorphological models for the formation and maintenance or degradation of double spits are defined in this study.

Keywords: Geomorphology, baymouth spits, paired spits, progradation, degradation.

1. Introduction and Methodology

Systems of double spits are composed of two independent spits, developed by convergent longshore drift, sometimes with recurved ridges as evidence of their progradation. Several double spits have been described in the mouth of bays and rivers. However, the formation of paired spits in both, the interdistributary bays of deltas and the mouth of coastal channels, have not been previously described in the scientific literature. Therefore, their geomorphological description is the objective of this study.

The detailed analysis of satellite images by Google Earth and Bing Maps has permitted the discovery and analysis of their recent geomorphological evolution. The tidal range has been obtained by WXTIDE software and the bathymetry by Navionics®.

2. Results and Discussion

They have been identified 12 systems of paired spits (Table 1, Fig. 1), with dimensions ranging from about 38 km (Fig. 1I) to about 600 m (Fig. 1F). Most of them are placed in high (ice coasts) or medium latitudes and microtidal coasts, although they have been also found in mesotidal and even macrotidal coasts. Two of them show intervention by human structures (Bay B and Channel L); the rest are in pristine coasts.

Class	Latitude	Longitude	Country	Max. Depth	Tidal Range	Spits evolution			
						PR	H	DG	NF
Bay A	69.68° N	141.34° W	USA	5.2	micro-	Yes	Yes		
Bay B	44.82° N	12.43° E	Italy	2.2	micro-	Yes	Yes	Yes	Yes
Channel C	74.84° N	85.95° E	Russia	N/A	micro-	Yes	Yes		
Channel D	69.70° N	125.36° W	Canada	0.3	micro-	Yes	Yes	Yes	Yes
Channel E	69.51° N	139.11° W	Canada	6.4	macro-	Yes	Yes	Yes	Yes
Channel F	59.38° N	153.52° W	USA	0.3	meso-	Yes			
Channel G	58.68° N	161.23° W	USA	20.1	micro-				
Channel H	45.53° N	61.15° W	Canada	5.2	micro-	Yes	Yes	Yes	Yes
Channel I	41.47° N	70.03° W	USA	37.0	micro-	Yes	Yes	Yes	Yes
Channel J	41.28° N	70.24° W	USA	7.3	micro-	Yes	Yes	Yes	Yes
Channel K	29.97° N	112.18° W	Mexico	13.4	micro-				
Channel L	26.75° N	33.96° E	Egypt	0.5	micro-	Yes		Yes	Yes

Table 1. Location of paired spits in interdistributary bays of deltas and in the mouth of coastal channels, maximum depth in m, micro- meso- or macrotidal range, identification of progradation (PR), hooked spits (H), degradation (DG) and new formation (NF) of spits.

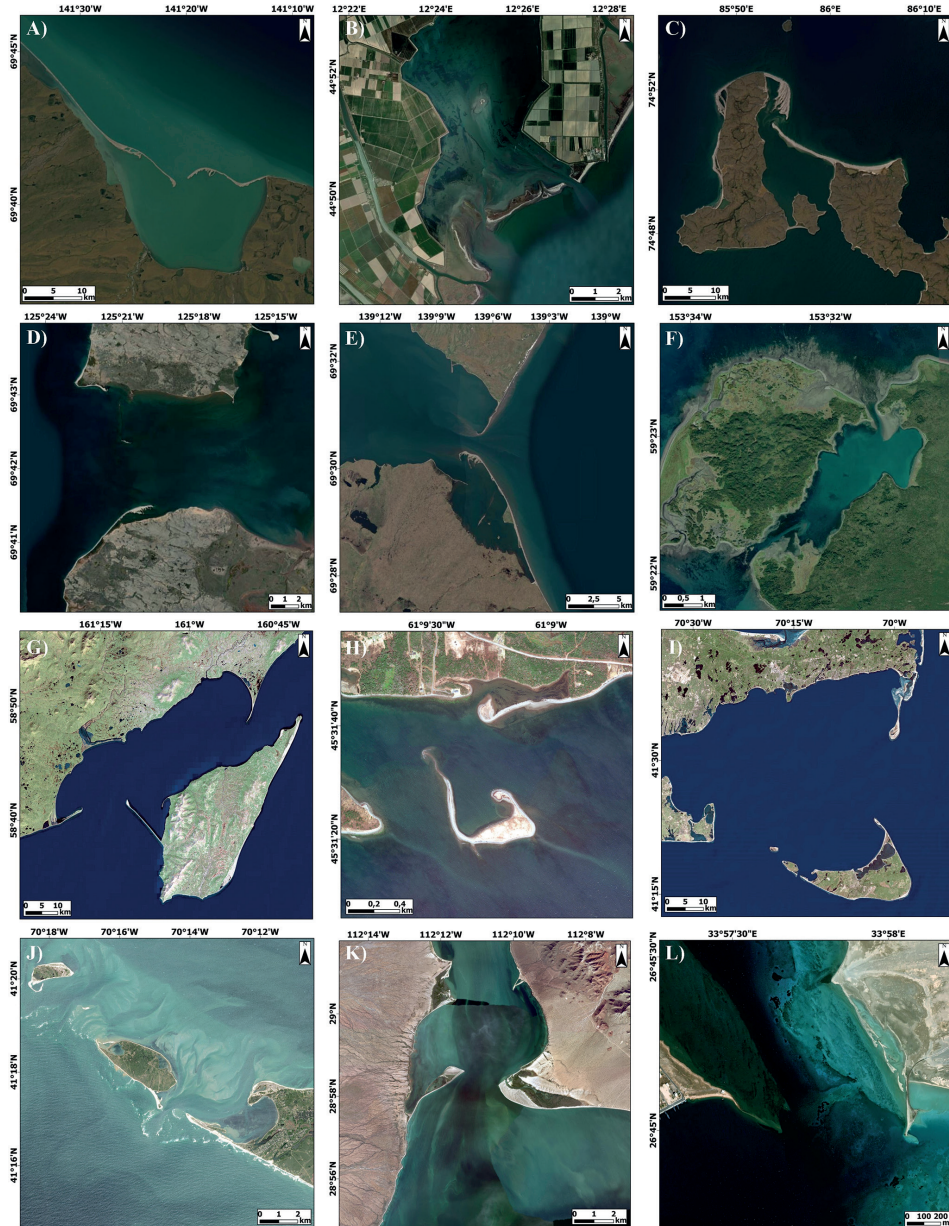


Figure 1. Paired spits in interdistributary bays of deltas (A-B) and in the mouth of coastal channels (C-L). Spits progradation in Bay A and Channel C show high trend to close the mouth.

They show convergent progradation of the spits, hooked ridges, and processes of degradation and formation of new spits in the last decades (Table 1), which allow to remain these systems, similarly to other double spits (Alcántara-Carrió *et al.*, 2018).

Two systems of paired spits have been identified in the mouth of interdistributary bays of deltas. The first one shows high progradation, without degradation of any spit, generating the progressive closure of the mouth (Fig. 1A). Therefore, it is expected the sedimentary filling of the bay and degradation of this ephemeral system in a medium-term scale, similarly to closure of interdistributary bays of Danubio Delta in previous centuries (Panin *et al.*, 1983). An artificial channel in the eastern spit of the second one, in Po River delta (Fig. 1B), has been recently stabilized by seawalls to maintain open the bay, which evidences the natural trend of these systems to close the mouth of the bay.

On the other hand, they have been identified ten systems of double spits in the mouth of channels (Fig. 1C to 1L). Therefore, they are more common than paired spits in interdistributary bays of deltas, but not more frequent than ones in the mouth of bays and rivers. A system of paired spits in the mouth of a channel also shows high convergent progradation, without degradation of any spit, and consequently, a trend to closure the mouth of the channel forming a continuous coastal sand barrier (Fig. 1C).

3. Conclusions

This study presents the first geomorphological description of paired spits in both, interdistributary bays of deltas and the mouth of channels, mainly placed in pristine microtidal coasts of high and medium latitudes. Most of them show progradation, hooked ridges, degradation, and formation of new spits. This self-regulation (degradation / new formation of spits) is essential for continuity of paired spits systems. However, a system of paired spits in a distributary bay and another one in a channel show trend to connect both spits, without degradation of any spit, and therefore they will result ephemeral. In summary, two new geomorphological models for the formation, permanence or degradation of paired spits are described in this study.

References

- Alcántara-Carrió J, Dinkel T. M., Portz L, Mahiques, M. M. (2018). Two new conceptual models for formation and degradation of baymouth spits by longshore drift and fluvial discharge (Iguape, SE Brazil). *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(3): 695-709.
- Panin N. (2003). The Danube Delta. Geomorphology and Holocene Evolution: a Synthesis. *Géomorphologie: relief, processs, environnement*, 9(4), 247-262.

Morphodynamic modelling of an embayed beach: role of the forcing sources

Modelado morfodinámico de una playa encajada: rol de las fuentes para el forzado

N. CARRIÓN¹, A. FALQUÉS¹, F. RIBAS¹, D. CALVETE¹, R. DURÁN², C. MARCO-PERETÓ²,
M. MARCOS³, A. AMORES³, T. TOOMEY³, A. FERNÁNDEZ-MORA⁴ & J. GUILLÉN²

1. *Department of Physics, Universitat Politècnica de Catalunya. nil.carrion@upc.edu; albert.falques@upc.edu;
francesca.ribas@upc.edu; daniel.calvete@upc.edu*

2. *Institut de Ciències del Mar-CSIC. rduran@icm.csic.es; cmarco@icm.csic.es; jorge@icm.csic.es*

3. *Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (UIB-CSIC). angel.amores@uib.es; tim.toomey@uib.es*

4. *Balearic Islands Coastal Observing and Forecasting System (SOCIB). mafernandez@socib.es*

Resumen: Modelizar la respuesta de las playas de arena al aumento del nivel del mar es un importante reto científico y existen para ello varios tipos de modelos. Debido a las largas escalas de tiempo involucradas, se deben combinar diferentes fuentes para el forzamiento del modelo (olas y nivel del mar, p.ej., de boyas o modelos “hindcast”). En este trabajo se aplica el modelo morfodinámico basado en procesos XBeach y el modelo de complejidad reducida Q2Dmorfo a El Castell, una cala situada en la costa catalana (Mar Mediterráneo occidental). Los modelos se calibran primero con datos medidos durante 161 días con un AWAC a 14 m de profundidad frente a la playa. XBeach predice razonablemente bien la evolución batimétrica mientras que Q2Dmorfo sólo reproduce la evolución de la línea de costa. Después, las versiones calibradas de los modelos se aplican utilizando otras posibles fuentes de forzamiento. La fuente para el nivel del mar no afecta los resultados, pero ambos modelos son sensibles a la fuente usada para el oleaje.

Palabras clave: morfología de playas; Modelado morfodinámico; Playas encajadas; Mar Mediterráneo.

Abstract: Modelling the response of sandy beaches to sea level rise is a major scientific challenge and several types of models can be applied. Given the long-time scales involved, different sources for model forcing must be combined (wave and sea-level, e.g., from buoys or hindcast models). We here apply the XBeach process-based morphodynamic model and the Q2Dmorfo reduced-complexity model to El Castell, a Mediterranean embayed beach. The models are first calibrated with data measured during 161 days with an AWAC at 14 m depth in front of the beach. XBeach

predicts reasonably well the bathymetric dynamics while Q2Dmorfo can only reproduce the shoreline evolution. The calibrated versions of the models are then applied using other potential forcing sources. The source for sea level does not affect the results but both models are sensitive to the wave forcing source.

Keywords: beach morphology; Morphodynamic modelling; Embayed beaches; Mediterranean Sea.

1. Introduction

The response of sandy beaches to sea level rise during the XXI century is a major scientific challenge. Process-based 2DH morphodynamic models are useful tools to understand beach response to storms but, besides their high computational cost, they tend to accumulate errors in resolving the many short-term processes they contain. Reduced-complexity models are then an interesting alternative for long-term modelling for being computationally more robust. Applying these models is not a simple task. First, they need to be calibrated and validated on the site of interest. Moreover, given the long-time scales involved, the information from different forcing sources must be combined (wave and sea level from, e.g., instruments or hindcast models).

The aim of this contribution is to quantify the effect of using different sources for the forcing conditions in morphodynamic modelling. We apply the XBeach process-based model and the Q2Dmorfo reduced-complexity model to a Mediterranean embayed beach. We first use data from nearly 6 months to calibrate both models and then we make a comparison of their accuracy using several sources for the forcing.

2. Methods

El Castell is a microtidal embayed sandy beach at the Catalan Costa Brava (Western Mediterranean Sea) about 300 m wide, bounded by rocky headlands of 160 m length and facing roughly to the South. The grain size is $d_{50} \approx 0.23$ mm and dominant waves come from the East and Southeast. Bathymetric surveys were conducted on 28-Jan and 8-Jul-2020 and, during those months, an AWAC was deployed at 14 m depth in front of the beach, measuring mean sea level and wave height, period, and direction.

XBeach is a process-based model (Roelvink *et al.*, 2009) that solves the full 2DH nearshore hydrodynamics and the corresponding bed evolution. Q2Dmorfo is a reduced-complexity model (Arriaga *et al.*, 2017) that computes sediment fluxes

in a parametric way directly from the wave field without resolving the currents. They use different parameterizations and thereby require of a detailed calibration and validation before they can reproduce the physical processes of a particular beach. This is done by running the model from the Jan-2020 bathymetry and tuning the main parameters to optimize the Brier Skill Score (BSS) of the predicted bathymetry (XBeach) or shoreline (Q2Dmorfo) in Jun-2020. Finally, alternative forcing sources are used, including instruments and outputs from a storm surges and wind-waves 72-years hindcast generated with the hydrodynamic-wave coupled SCHISM model (Zhang *et al.*, 2016).

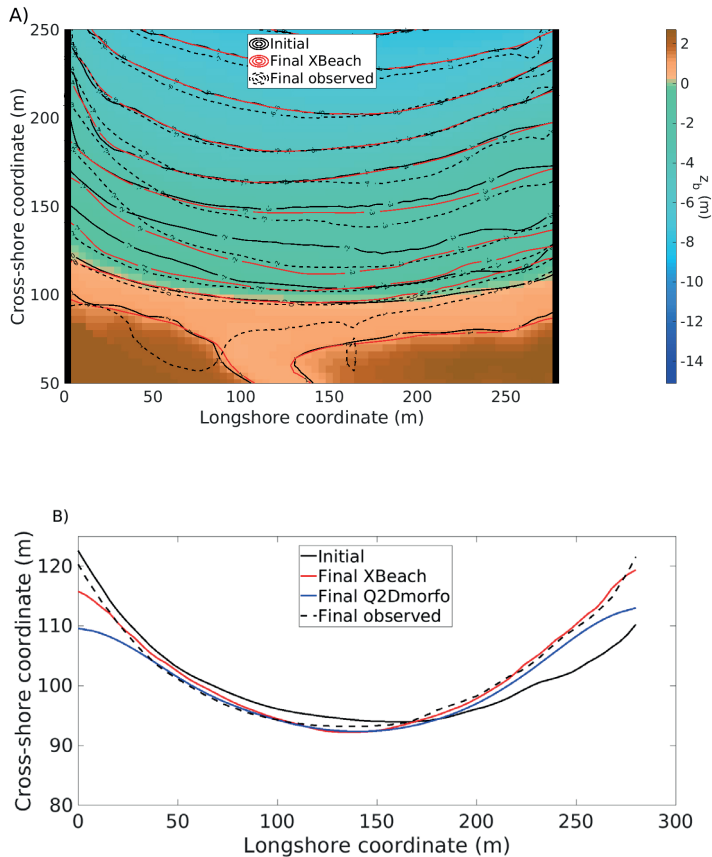


Figure 1. A) Initial bathymetry in Jan-2020 with contour lines in black solid, and measured (black dashed) and XBeach modelled (red) contour lines in Jul-2020. B) Initial (black solid) and final (black dashed) measured shorelines, and final modelled shorelines (red and blue). In both panels, southward direction is to the top and eastward direction is to the left.

3. Results and discussion

The models are first calibrated with the best data source for the forcing: waves and sea levels measured during the period with the AWAC. XBeach predicts reasonably well the surf-zone bathymetry (BSS=0.44, Figure 1A) from which the shoreline can be extracted (Figure 1B). Q2Dmorfo can only reproduce well the shoreline dynamics (BSS=0.64, Figure 1B) because it is not designed to accurately model the bathymetric evolution. Both models capture the observed eastward beach rotation. However, the shoreline modelled with the Q2Dmorfo model near the headlands deviates significantly from the observed one (Figure 1B). The most influential parameters for the calibration in both models are related to the cross-shore sediment transport parameterizations.

To test the sensitivity to the forcing sources, the calibrated versions of the models are applied using four other sea level time series and a second set of wave conditions. The two alternative sources for sea level (for which long-time data is available) are the tidal gauge at Barcelona harbour (BCN2) and the simulated sea level with the hindcast model SCHISM. We have also tested the effect of performing a 5-day running average in the sea level time series (Figure 2c) to test the role of the fast sea level variability, which can contain more local effects. Varying the sea level source and using the waves from the AWAC does not change the results of both models (Table 1). Regarding waves, the second tested source used are those simulated with SCHISM model (Figure 2a,b) and they worsen the Q2Dmorfo skill significantly (Table 1). The reason is that, for southern waves, SCHISM predicts wave angles biased to the west (Figure 2b), so that Q2Dmorfo model under-predict beach rotation to the east. Preliminary results show that this occurs even after Q2Dmorfo recalibration using SCHISM waves. This result gives confidence on the calibration procedure of the model as the parameter choice cannot improve the model skill if wave forcing is not correct. The role of the wave source in XBeach is not yet clear, because the skills show a significant variability so further research is needed. Future work will include improving XBeach simulations and obtaining more reliable long-term data sets of wave conditions.

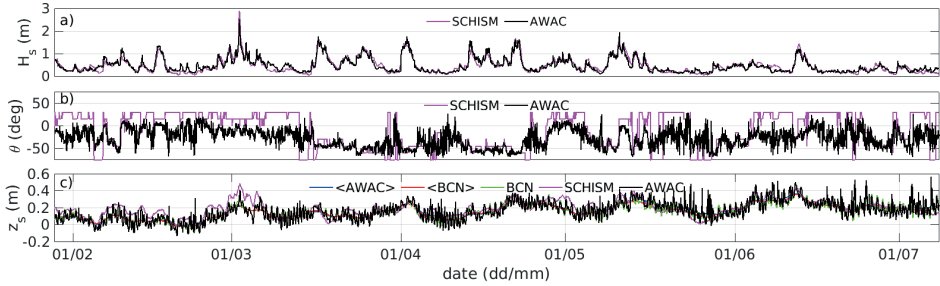


Figure 2. Significant wave height (panel a), wave direction with respect to the shore normal (positive are waves from the west, panel b) and sea level (panel c) obtained from different sources (see the main text for details).

Waves	Sea level	XBeach bathymetry BSS	Q2Dmorfo shoreline BSS
AWAC	AWAC	0.44	0.64
AWAC	<AWAC>	0.42	0.65
AWAC	BCN2	0.52	0.65
AWAC	<BCN2>	0.44	0.65
SCHISM	BCN2	0.31	-0.58
SCHISM	<BCN2>	-0.55	-0.52
SCHISM	SCHISM	0.48	-0.50

Table 1. Brier Skill Score (BSS) for the two models and the different forcing sources (see the main text for details), where <> means a time average with a 5-day running average.

References

- Arriaga, J., Rutten, J., Ribas, F., Falqués, A., y Ruessink, G. (2017). Modeling the long-term diffusion and feeding capability of a mega-nourishment, *Coast. Eng.*, 121: 1-13.
- Roelvink, D., Reniers, A., Van Dongeren, A. P., de Vries, J. V. T., McCall, R., y Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coast. Eng.*, 56 (11-12): 1133-1152.
- Zhang, Y. J., Ye, F., Stanev, E.V., y Grashorn, S. (2016). Seamless cross-scale modelling with SCHISM, *Ocean Model*, 21: 71-96.

Las implicaciones de la erosión costera de la barra arenosa de la Isla Salamanca en la sedimentación en la desembocadura del Río Magdalena – Colombia

Implications of coastal erosion of the sand bar of the Isla Salamanca on sedimentation at the Magdalena River mouth – Colombia

M. CANTILLO-SABALZA¹, R.P. MANZOLLI^{1,2} y L. PORTZ^{1,2}

1. Dept. Civil and Environmental. Universidad de la Costa. Colombia
mcantill2@cuc.edu.co

2. Dept. Geology and Geochemistry. Universidad Autónoma de Madrid
rogerio.manzolli@uam.es; luana.portz@uam.es

Resumen: El presente estudio estimó la variación de la línea de costa a medio y corto plazo, y cuantificó el volumen de sedimentos movilizados en dos sectores de la barrera arenosa de Isla Salamanca - Caribe Colombiano, correlacionado con los cambios morfológicos en la desembocadura del río Magdalena. El análisis de variación de línea de costa y volumen se realizarán en SIG utilizando imágenes satelitales de Google Earth Pro (2004, 2010, 2013, 2015, 2019 y 2021) y orto mosaicos fotogramétricos obtenidos con dron (10/2020-07/2021). A través de la diferencia entre los MDT's fue posible cuantificar el volumen de sedimentos removidos en los dos sectores y extrapolar para toda la extensión de la barrera. Los procesos erosivos a lo largo de la barrera arenosa de Isla Salamanca tienen una tasa media anual de transgresión costera de 5,2 m año⁻¹, con un retroceso media de 41 m de la línea de costa. El gran volumen de sedimentos transportados hacia la desembocadura del río Magdalena generó cambios significativos en la morfología de la orilla oriental, que ocasionalmente generan la necesidad de dragado en la desembocadura del río Magdalena.

Palabras clave: Déficit de sedimentos; Transporte de sedimentos; Deriva costera; Ciénaga Grande de Santa Marta; Parque Isla de Salamanca;

Abstract: *The present study estimated the variation of the shoreline in the medium and short term and quantified the volume of sediment mobilised in two sectors of the sandy barrier of Isla Salamanca - Colombian Caribbean, correlated with the morphological changes in the mouth of the Magdalena River. The analysis of shoreline and volume variation will be carried out in*

GIS using Google Earth Pro satellite images (2004, 2010, 2013, 2015, 2019 y 2021) and photogrammetric orthomosaics taken with a drone (10/2020-07/2021). From the DTM analysis it was possible to quantify the volume of sediment removed in the two sectors and extrapolate for the entirety of the barrier. Erosional processes along the Salamanca Island sandy barrier have an average annual rate of coastal transgression of 5.2 m yr^{-1} , with an average retreat of 41 m from the shoreline. The large volume of sediments transported towards the mouth of the Magdalena River generated significant changes in the morphology of the eastern shore, which occasionally generate the need for dredging at the mouth of the Magdalena River.

Keywords: Sediment deficit; Sediment transport; Coastal drift; Ciénaga Grande de Santa Marta; Isla Salamanca Park.

1. Introducción y metodología

Los procesos erosivos son una de las principales preocupaciones relacionadas con los peligros costeros. El comportamiento multitemporal de la línea costera depende de diferentes variables que intervienen en la dinámica del litoral, tales como: las tormentas, los huracanes, la ciclicidad de la niña y el niño, el ascenso del nivel del mar, suministro de sedimentos y los procesos tectónicos.

El área de estudio está localizada en la barrera costera de la Isla Salamanca - Caribe Colombiano, más específicamente en el km 19 y 29 de la vía Barranquilla-Santa Marta (Fig. 1A). La velocidad media del viento es $< 12 \text{ m/s}$, con vientos más fuertes que soplan del NE en diciembre-marzo y valores más débiles asociados a vientos de aproximación del E, que suelen soplar en septiembre-noviembre. La corriente superficial del mar dominante es la corriente del Caribe que fluye durante casi todo el año de Este a Oeste. El Objetivo de la investigación fue analizar la tendencia evolutiva de la línea costera y cuantificar el volumen de sedimentos removidos del perfil de playa correlacionado con los cambios morfológicos en la desembocadura del río Magdalena.

En este estudio se utilizaron imágenes satelitales, para trazar las líneas costeras (Google Earth Pro - 2004/2021), combinadas con levantamientos topográficos con dron, para calcular el volumen de sedimento desmovilizado (modelo digital del terreno - MDT's - 2020/2021). Para este trabajo se consideró la definición de línea de costa por la posición de la interfaz tierra-mar marcada por el límite durante la marea alta (Crowell *et al.*, 1991). El procesamiento de las imágenes de dron fueron realizado en el software Pix4Dmapper PRO by Pix4D, para la generación de orto mosaicos y MDT's en 2 áreas con 2436 m y 1814 m de largo. La migración de la línea de costa se analizó en ArcMap 10.8.2 utilizando el módulo *Digital Shoreline Analysis System* - DSAS 5.0 (Thieler, 2009). El volumen de sedimento fue calculado con la sustracción entre los MDT's de distintas fechas (software Global

Mapper V21.1). Para cada método se determinaron parámetros estadísticos con un intervalo de confianza de 95%.

2. Resultados y discusiones

El análisis a medio plazo demostró que toda la barrera costera de la Isla Salamanca está en franco proceso de transgresión, con tasas medias anuales de $\approx 5,2 \text{ m.año}^{-1}$, con una transgresión media de 41 m de la línea de costa, entre marzo de 2004 hasta junio de 2021. Las dos áreas específicas de la barrera costera estudiadas presentan una intensa morfodinámica, con retroceso de la línea de costa a tasas variables (Fig. 1 B, C y D). En el km 29 la transgresión media de la línea de costa fue de $-4,7 \text{ m.año}^{-1}$, con un retroceso mínimo de 59,3 m de la línea de costa, para todo el periodo analizado. Mientras que en el km 19 las tasas de migración llegan a un máximo de $-16,4 \text{ m.año}^{-1}$ con una transgresión máxima de la línea de costa de 284 m (Fig. 1C y D). Como medida de mitigación del proceso erosivo, a partir del año de 2014 empezaron a construir un enrocado de protección de la carretera, que ya alcanza 790 m en 2021. En un primer momento la obra protege la carretera, pero acelero los procesos erosivos en la porción occidental del enrocado, donde presentan las mayores tasas de erosión en este sector.

A corto plazo, entre octubre de 2020 y julio de 2021 la línea de costa tuvo un retroceso medio de $-7,8 \text{ m}$ en el Km 29 y de $-8,9 \text{ m}$ en el Km 19, siendo que a través de la diferencia entre los MDT's (error $< 7,5 \text{ cm}$) fue posible calcular el volumen medio de sedimentos desmovilizados. En los 1,814m del km 29 hubo una remoción de $17.465,2 \text{ m}^3$ ($9,6 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}$ lineal de playa) de sedimentos del área de *shoreface*, mientras que en el km 19 hubo una desmovilización de $9.719,2 \text{ m}^3$ ($10,1 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}$ lineal de playa) de sedimentos en los 961 m del sector oriental del enrocado y $26.390,8 \text{ m}^3$ de sedimentos de los 685 m en el tramo adyacente occidental ($41,6 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}$ lineal de playa). Parte de estos sedimentos fueran trasladados por overwash (hachurado naranja Fig. 1 E y F), y depositados en la *backshore*, el restante fue transportado por la deriva litoral en dirección a desembocadura del río Magdalena.

Teniendo como base las dos áreas analizadas y extrapolando una media del volumen de sedimentos desmovilizados a lo largo de los 63 km de la barrera arenosa de Isla Salamanca, en dirección a desembocadura del río Magdalena, se puede estimar un volumen total de $1.288.716 \text{ m}^3$ de sedimentos por año. Grande parte de los sedimentos transportados por la deriva litoral se está depositando en la orilla oriental de la desembocadura del río Magdalena (Fig. 1 G). Este sector demuestra una tasa media de progradación de $21,7 \text{ m.año}^{-1}$, con una ganancia de hasta 450 m en la línea de costa.

El gran volumen de sedimentos transportados hacia la desembocadura del río Magdalena generó cambios significativos en la morfología de la orilla oriental, que ocasionalmente generan la necesidad de dragado en la desembocadura del río Magdalena.

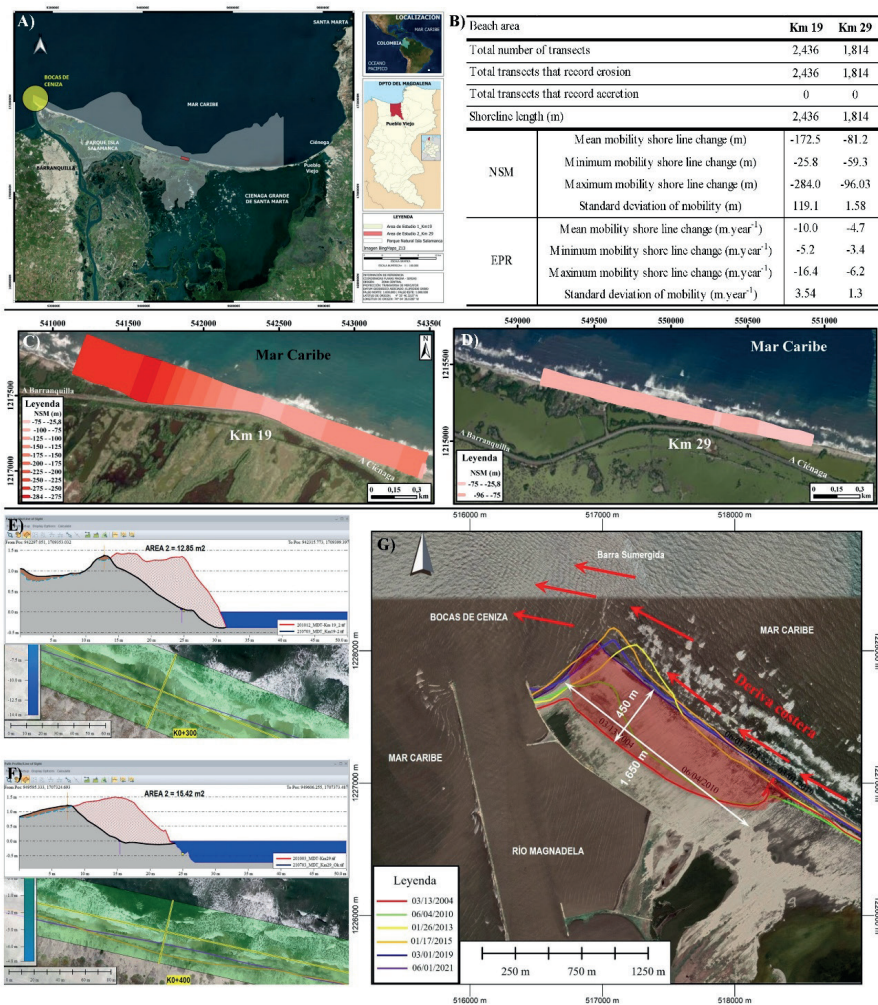


Figura 1. A) Área de estudio. B) Tabla con valores de Net Shoreline Movement y End Point Rate; C) y D) Graficas con el cambio neto de la línea de costa, km 19 y 29, respectivamente; E) y F) Ejemplo de sección transversal para cálculo de volumen de sedimento movilizados, km 19 y 29, respectivamente; F) Variación de la línea de costa en la desembocadura del río Magdalena. (Imágenes base ArcMAP - coordenadas: WGS84 – UTM - Zona 18N).

Referencias

- Crowell, M.; Leatherman, S.P., and Buckley, M.K., (1991). Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3), 839-852.
- Thieler, E. E. (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change. Geological Survey.

Evolución de la barrera dunar de Pantín, NO ibérico

Evolution of Pantín Coastal dune barrier, NW Iberia

A. MAS-LLINÀS DEL TORRENT¹, R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA¹, M. SOLLA², A. SÁEZ³,
A. HERNÁNDEZ⁴, R. CARBALLEIRA⁴ y R. BAO⁴

1. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo. ainamlldt18@gmail.com
2. CINTECX, Grupo de Investigación GeoTECH, Universidade de Vigo. merchisolla@wigo.es
3. Instituto de Investigación UB-Geomodels, Universitat de Barcelona. a.saez@ub.edu
4. Universidade da Coruña, Grupo de Investigación GRICA. armand.hernandez@udc.es

Resumen: Las dunas costeras pueden ser utilizadas como archivos sedimentarios para discernir los cambios paleoambientales ocurridos desde su formación. El presente trabajo analiza la evolución de la barrera dunar de Pantín localizada en la costa Atlántica gallega, NO de la Península Ibérica. Se obtuvieron un total de 11 transectos mediante georradar (GPR) con una antena de 200MHz y 9 sondeos de registros sedimentarios, obtenidos con un sondeador de succión (TESS-1). La señal de los radargramas se procesó con el software RexflexW y la interpretación se llevó a cabo con Kingdom Suite, cruzándola con la información del registro sedimentario disponible. La edad de las unidades estratigráficas identificadas se estableció mediante un total de 10 dataciones por termoluminiscencia óptica (OSL) y 1 datación por radiocarbono (AMS¹⁴C), abarcando un periodo entre 232±16 a 5.050±260 años BP (Holoceno medio y superior). Estos datos estratigráficos preliminares permiten una primera reconstrucción de los procesos y agentes tractoros de la evolución de la barrera dunar de Pantín, así como establecer una correlación con los eventos climáticos mayores y el nivel del mar en el contexto de la transición holocena.

Palabras clave: transición holocena, evolución costera, georradar (GPR), datación OSL, variabilidad climática, cambios paleoambientales.

Abstract: Coastal dunes can be used as sedimentary archives to discern the paleoenvironmental changes since their formation. This paper analyzes the evolution of the Pantín dune barrier located on the Galician Atlantic coast, NW of the Iberian Peninsula. 11 transects were obtained by ground-penetrating radar (GPR) with a 200MHz antenna and 9 sedimentary corers were obtained with a suction logger (TESS-1). The radargram signal was processed with RexflexW software and interpreted with Kingdom Suite, crossing it with the available sedimentary record information. The ages of the stratigraphic units identified were established through a total of

10 optical thermoluminescence (OSL) datings and 1 radiocarbon ($AMS^{14}C$) dating, obtaining age ranges that oscillate between 232 ± 16 to 5.050 ± 260 years BP (middle and upper Holocene). These preliminary stratigraphic data allow us to reconstruct the processes and driving agents in the evolution of the Pantín dune barrier, as well as establish a correlation between climatic events and sea level in the context of the Holocene transition.

Keywords: Holocene transition, coastal evolution, georadar GPR, OSL dating, climate variability, paleoenvironmental changes.

1. Introducción y métodos

En el presente trabajo se analiza la evolución de la barrera arenosa de Pantín, localizada al NO de la Península Ibérica, en la costa Atlántica gallega (Figura 1). El sistema dunar de Pantín se orienta SO-NE encerrando una laguna que en la actualidad se encuentra colmatada de sedimentos y ocupada por un extenso carrizal. La arquitectura sedimentaria muestra los principales procesos paleoambientales que han controlado la evolución del sistema. Para su estudio se realizaron 12 perfiles de georadar (GPR), con una antena no apantallada de 200 MHz, y se obtuvieron 9 registros sedimentarios, con un sondeador de succión (TESS-1). Los perfiles y sondeos se utilizaron para determinar y caracterizar las unidades sedimentarias y superficies de discontinuidad de la barrera. Las edades de las unidades se obtuvieron mediante 10 dataciones de arenas eólicas por termoluminiscencia óptica (OSL) y 1 datación por radiocarbono ($AMS^{14}C$) de un nivel enriquecido en materia orgánica.

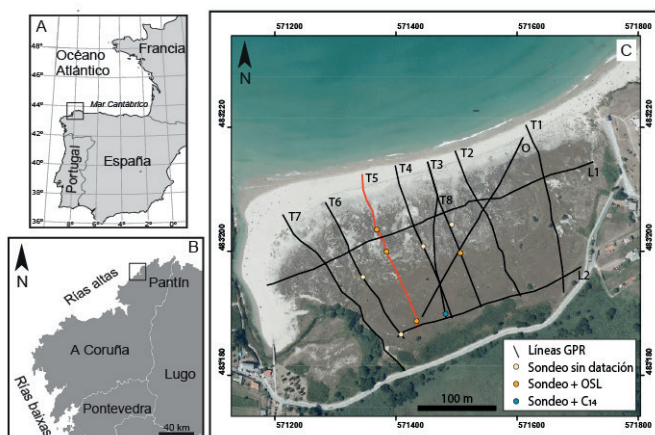


Figura 1. Situación geográfica del sistema dunar de Pantín. Se indica la localización de los perfiles (GPR) en negro y el perfil analizado en rojo, las dataciones realizadas mediante termoluminiscencia óptica (OSL), en naranja, y por radiocarbono ($AMS^{14}C$), en azul.

2. Resultados preliminares y discusión

En este trabajo se presentan los resultados preliminares correspondientes al perfil T5 (Figura 2), y 3 sondeos (T5-OSL1, T5-OSL2 y T5-OSL3), que contienen 7 dataciones OSL (Figura 3). Los sedimentos datados presentan un rango de edades entre 232 ± 16 y 4.020 ± 17 años BP, correspondiéndose al Holoceno superior. En el perfil T5 se han identificado 2 unidades principales (Figura 2): Unidad 1 (U1) y Unidad 2 (U2). U1 se caracteriza, en su base, por reflectores irregulares inclinados hacia tierra y hacia mar, y se interpreta como la fase inicial de anclaje y posterior crecimiento vertical de la barrera, anterior a 4020 ± 17 años BP. El crecimiento vertical de U1 es interrumpido por superficies erosivas, son interpretadas como bases de canal. La erosión de la barrera por canales laterales sugiere un origen continental, interpretados como eventos de apertura de la laguna. Esta etapa dominada por fuertes tormentas y altas descargas fluviales (Bernárdez et al., 2008), con un nivel del mar por debajo del actual (Alonso y Pagés, 2010), favoreció la apertura de canales de desagüe de la laguna, erosionando la barrera. Posteriormente, los canales se rellenaron con sedimentos con edades de 3.100 a 4.020 años BP (Figura 3). El límite entre U1 y U2 es una superficie irregular erosiva, que, con las dataciones disponibles, acotan un hiato sedimentario de aproximadamente 2.700 años.

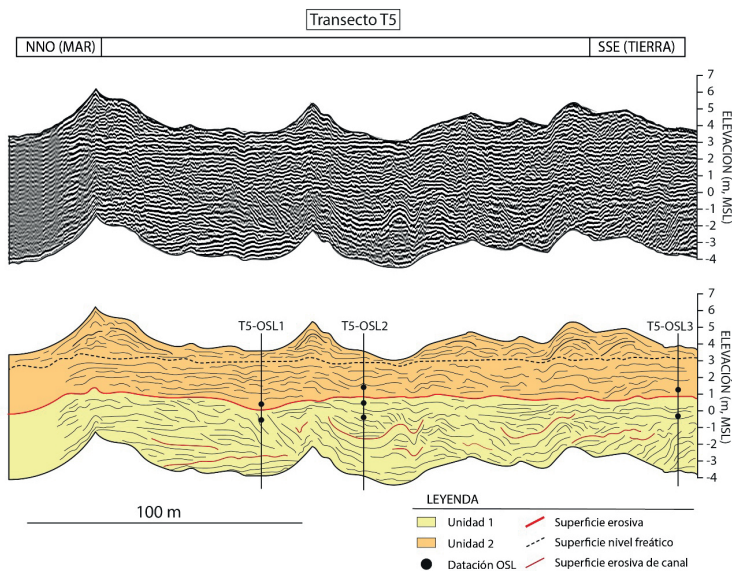


Figura 2. Radagrama correspondiente al perfil GPR T5, con su interpretación y la posición de los sondeos T5-OSL1, T5-OSL2 y T5-OSL3, y las dataciones OSL.

El intervalo que abarca el hiato resulta sincrónico con el periodo de transición Subatlántico/Suboreal marcado por la inestabilidad climática y una serie de eventos de intensas tormentas que afectaron al NO de la Península reactivando los sistemas fluviales hace aproximadamente 3.000 años BP (González-Álvarez *et al.*, 2005). Se interpreta este hiato como uno o varios vaciados bruscos del sistema lagunar de tras-barrera, provocando la erosión de la barrera. La disminución del gradiente topográfico al alcanzar el mar un nivel similar al actual, propició que la barrera estuviese más expuesta a la erosión marina como sucedió en otros sistemas de la costa gallega (González-Villanueva *et al.*, 2015).

La U2 incluye la posición del nivel freático actual (Figura 2) y se caracteriza por reflectores irregulares con diferentes inclinaciones. Se interpreta como acreción vertical de la barrera por formación de diferentes formas dunares condicionadas por el régimen de vientos que afecta a la zona, predominantemente del NO y con un nivel del mar similar al actual.

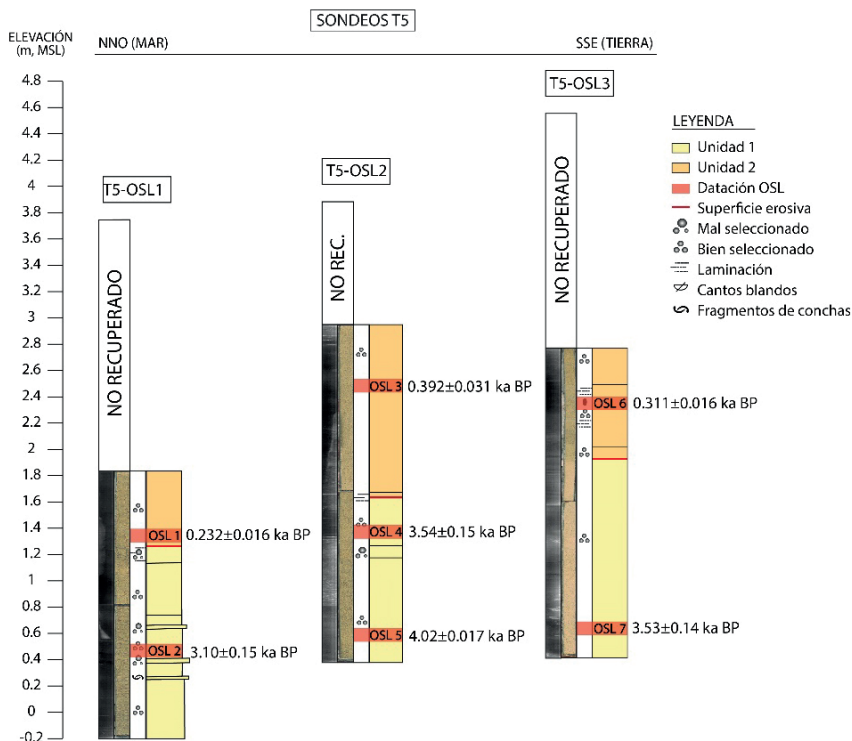


Figura 3. Radiografías, fotografías y columnas estratigráficas de los sondeos T5-OSL1, T5-OSL2 y T5-OSL3, con las dataciones OSL realizadas.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto IMPACOM (PID2019-107424RB-I00) del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Referencias

- Alonso Millán, A., y Pagés Valcarlos, J. L. (2010). Evolución del nivel del mar durante el Holoceno en el noroeste de la Península Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 23 (3-4): 157-167.
- Bernárdez P., González-Álvarez R., Francés G., Prego R., Bárcena M.A., Romero O.E., (2008). Late Holocene history of the rainfall in the NW Iberian peninsula – Evidence from a marine record. *Journal of Marine Systems*, 72: 366-382.
- González-Álvarez R., Bernárdez P., Pena L. D., Francés G., Prego R., Diz. P., Vilas F. (2005). Paleoclimatic evolution of the Galician continental shelf (NW of Spain) during the last 3000 years: from a storm regime to present conditions. *Journal of Marine Systems*, 54: 245-260.
- González-Villanueva R., Pérez-Arlucea M., Costas S., Bao R., Otero X. L., Goble R. (2015). 8000 years of environmental evolution of barrier-lagoon systems emplaced in coastal embayments (NW Iberia). *The Holocene*, 25 (11): 1786-1801.

Sediment exchanges from the shoreline to the lower shoreface inferred from morphological changes (Llobregat Delta, Western Mediterranean)

*Intercambio de sedimentos desde la línea de costa al infralitoral inferidos a partir de
cambios morfológicos (Delta del Llobregat, Mediterráneo Occidental)*

J. GUILLÉN¹, G. SIMARRO¹, R. DURÁN¹, F. RIBAS², R. L. DE SWART² & D. CALVETE²

1. Institut de Ciències del Mar-CSIC. Barcelona

jorge@icm.csic.es; simarro@icm.csic.es; rduran@icm.csic.es

*2. Department of Physics, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona
francesca.ribas@upc.edu; rinse.de.swart@upc.edu; daniel.calvete@upc.edu*

Resumen: Se realizaron 14 campañas topo-batimétricas desde la playa emergida hasta los 15 m de profundidad, a lo largo de 1 km en la playa de Castelldefels (Delta del Llobregat, Barcelona) durante el periodo 2011-2020. Se analizan las variaciones morfológicas que tienen lugar, los cambios volumétricos y sus posibles implicaciones en los intercambios sedimentarios en el perfil litoral. Los principales cambios morfológicos están causados por los desplazamientos transversales de las barras de arena, generalmente hacia tierra durante condiciones de buen tiempo y hacia mayor profundidad durante las tormentas más fuertes. Los cambios volumétricos sugieren que el retroceso de la línea de costa durante la última década aporta sedimento a la parte superior de la playa sumergida, mientras que los eventos más extremos producen una transferencia de sedimento hacia la plataforma continental, que podrían ser parcialmente irreversibles para la dinámica litoral. El balance sedimentario resultante es negativo.

Palabras clave: Perfil litoral, batimetría, dinámica de barras, cambios volumétricos.

Abstract: Fourteen topo-bathymetric surveys that stretch from the emerged beach to 15 m water depth were carried out along 1 km of Castelldefels beach (Llobregat Delta, Barcelona) during the period 2011-2020. Morphological variations on the shoreface are studied, volumetric changes are estimated and implications on sedimentary exchanges in the littoral profile are inferred. The main morphological changes are caused by cross-shore displacements of the nearshore bars, usually onshore during fair-weather conditions and offshore during stronger storms. Volumetric changes suggest that shoreline retreat during the last decade provides sediment to the

upper shoreface, while more extreme events produce a prevailing offshore transfer of sediment from the upper to the lower shoreface, causing this sediment to partially lose its ability to be reincorporated into beach system. The resulting sediment budget is negative.

Keywords: Beach profile, bathymetry, bar dynamics, volumetric changes.

1. Introduction and study area

Forecasting long-term coastal evolution requires an accurate assessment of the sediment budget, including net sediment losses/gains in the littoral profile, which is still largely unknown. While sediment transport can be triggered by a large number of mechanisms, morphological changes along the coast show the net result and their study can be used to infer the dominant transport processes. Topo-bathymetric surveys repeated over decades allow estimating volumetric changes across the profile, understanding the key mechanisms behind their dynamics and improving future coastal adaptation strategies.

In this work, we study the morphological variations that take place at the shoreface of Castelldefels beach (Llobregat Delta, Barcelona, western Mediterranean) during a decade, estimate the volumetric changes and infer the implications for sedimentary exchanges in the littoral profile. It is a microtidal (< 0.2 m) beach, dominated by wave action with a median sand grain size around 0.3 mm in the swash zone. The shoreline is straight, oriented E-W, and show small gradients along the higher shoreface at spatial scales larger than 200 m, allowing the investigation to focus on cross-shore processes. A key component in the morphodynamics of Castelldefels beach is the dynamics of sand bars. These dynamics were analyzed in detail by de Swart *et al.* (2021), showing a rapid offshore migration of the bars during storm conditions and a slower onshore migration during fair weather, post-storms conditions.

2. Methods

The study is based on 14 topo-bathymetric surveys from the emerged beach to 15 m depth, carried out with a single-beam echosounder along 1 km of coastline during the period 2011-2020 (Fig. 1). The profiles perpendicular to the shoreline are equidistant 25 and 50 m in the central and extreme part of the study area, respectively, and overlap with the profiles of the emerged beach and shallow zone made with a Trimble RTK GPS system. The topo-bathymetric data were projected to previously defined original profiles, interpolated (1 m cross-shore), outliers were removed and

the final profile was smoothed. Finally, a vertical correction was applied assuming no changes in the profile deeper than 10 m and comparing each profile to the reference profile (using the June 2017 survey as reference). To contextualize the morphological data, wave data from the Barcelona buoy (Puertos del Estado) were used. It should be noted that the largest storms ever recorded in the area occurred during the study period, in January 2017 and 2020, with maximum deep water significant wave heights exceeding 5 and 7 m respectively.

3. Results and discussion

The evolution of the topo-bathymetric profiles shows a shoreline retreat of about 35 m during the study period (Fig. 1). The coastal profile has a mean slope of 0.012 between the shoreline and 10 m water depth and is characterized by the presence of 2-3 bars. The outer bar is typically located at 150-200 m from the shoreline and moves offshore to 400 and 600 m during the extreme storms occurred in January 2017 and January 2020 respectively. Post-storm conditions favor slow onshore migration of shallower bars and partial replenishment of the trough. Depth changes across the profile measured as standard deviation (SD) show a maximum variability between the shoreline and 3 m depth (associated with increased bar dynamics) and a progressive decrease offshore to 11 m depth, where SD is of the same magnitude as expected instrumental errors (SD= 0.05 m).

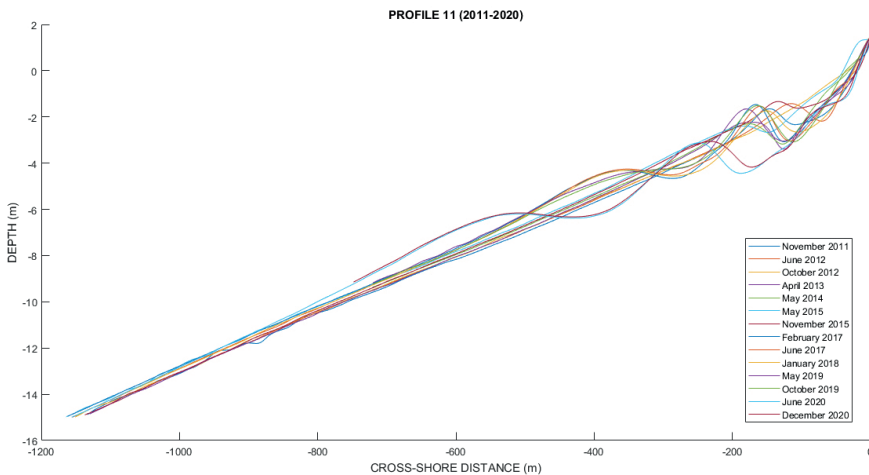


Figure 1. Example of coastal profile evolution.

Net volumetric changes across the profile display a high variability associated with the preferential location of bars and troughs, with a negative balance in the shallowest zone (0-400 m) and positive in the deepest one (Fig. 2). Temporal volumetric changes in the profile show the differential behavior (often opposite) between the proximal and distal sectors of the profile, especially during the two extreme storms (Fig. 2). In both storms, there are volume losses in the proximal sector due to offshore displacement of the bar and gains in the distal sector due to sediment accumulation in the newly developed bar. In January 2017, the volume changes in the entire profile are moderate ($-88 \text{ m}^2 \text{ m}$), while they are significant in January 2020 ($-189 \text{ m}^2 \text{ m}$), suggesting a transfer of sediment towards the lower shoreface (deeper than 10 m). The resulting volume difference during the study period is about $-130 \text{ m}^2 \text{ m}$ (mostly related to the extreme storm of January 2020), with net losses of almost $300 \text{ m}^2 \text{ m}$ in the shallowest zone and net gains of about $170 \text{ m}^2 \text{ m}$ in the deepest profile.

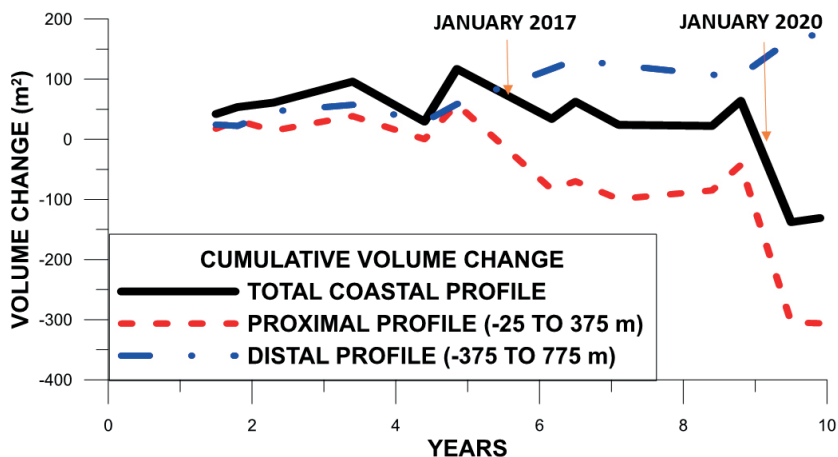


Figure 2. Alongshore averaged cumulative volume change between campaign.

Assuming no significant longshore gradients in the study area, these changes could be explained primarily by cross-shore gradients. Shoreline erosion implies sediment input to the upper shoreface. Although the total volume change on the emerged beach has not been calculated, a reasonable limit for such a flat beach would be less than $35 \text{ m}^2 \text{ m}$ for the observed net shoreline retreat of 35 m. This amount is small compared with the volume of sediment change observed in

the submerged profile: the development of new bars during both extreme storms implies a sediment accumulation of +80 and +128 m² m and sediment losses due to erosion of the former outer bars are about -105 and -140 m² m. Therefore, sediment transferred from the shallow profile to deeper zones and accumulated as sand bars plays a relevant role in the sediment budget. In addition, extreme storms as that in January 2020 transport sediment from the upper to the lower shoreface in such large depths that this sediment might not be reincorporated into the beach dynamics during fair weather conditions. These results also suggest that the depth of closure would be much deeper than usually estimated for these beaches.

Acknowledgements

This work has been carried out in the framework of the MOCCA research project (RTI2018-093941-B-C3) funded by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities – National Research Agency.

References

De Swart, R., Ribas, F., Simarro, G., Guillén, J. and Calvete, D. (2021). The role of bathymetry and directional wave conditions on observed crescentic bar dynamics. *Earth surface processes and landforms*. Vol. 46, Issue15, 46: 3252-3270.

Propiedades sedimentarias en la configuración de un sistema litoral. Islote Areoso (Ría de Arousa, Pontevedra)

*Sedimentary properties in the configuration of a coastal system. Areoso Island
(Ría de Arousa, Pontevedra)*

D. CAJADE-PASCUAL, R. BLANCO-CHAO y M. COSTA-CASAS

*Dpto. Geografía, Universidade de Santiago de Compostela
danielcajade.pascual@usc.es; ramon.blanco@usc.es; manuela.costa@usc.es*

Resumen: El islote Areoso se localiza en la ría de Arousa, formando parte de un conjunto de islotes y bajos. La fuente del sedimento es local, siendo actualmente el material biogénico el único aporte externo. Los resultados han permitido diferenciar tres fuentes de sedimento: biogénico, material continental procedente del desmantelamiento del sustrato granítico y sedimento costero antiguo. Las dataciones obtenidas por C¹⁴ permiten establecer tres fases evolutivas en la secuencia analizada.

Palabras clave: depósito edafo-sedimentario, sedimentología, Holoceno, Areoso, Galicia.

Abstract: The Areoso island is located in the Arousa ria, forming part of a shoal. The source of the sediment is local, being currently the biogenic material the only external input. The results have made it possible to differentiate three sources of sediment: the biogenic, the continental material from the dismantling of the granitic substrate and an ancient coastal sediment. The dates obtained by C14 allow to establish three evolutionary phases in the analyzed sequence.

Keywords: edapho-sedimentary deposit, sedimentology, Holocene, Areoso, Galicia.

1. Introducción

El estudio de los sedimentos de las costas arenosas resulta una herramienta adecuada para comprender la formación y evolución de estos medios altamente dinámicos. Este conocimiento tiene aplicaciones predictivas de cara a entender la evolución del litoral en un contexto de cambio climático y subida del nivel del mar,

donde una cuarta parte de las costas arenosas del mundo están siendo erosionadas a un ritmo superior de 0,5 m/año (Gatt, 2021; Luijendijk *et al.*, 2018).

El islote es un pequeño enclave situado en la parte central de la Ría de Arousa, cuya dinámica erosiva amenaza el patrimonio natural y cultural, sustentado por un medio sedimentario configurado en el Holoceno medio. Estudios existentes en la costa del NW peninsular señalan la fecha ~ 4000-3.500 años BP para ubicar una posición del nivel del mar en cotas similares a las actuales (Bao *et al.*, 2007; Costas *et al.*, 2009; González-Villanueva *et al.*, 2015). El objetivo de este trabajo es caracterizar sedimentológica y cronológicamente (C¹⁴) una secuencia edafo-sedimentaria, a través de su estudio granulométrico, morfométrico, contenido en carbonatos biogénicos y materia orgánica. Caracterización que permitirá una mejor interpretación del origen y evolución del complejo sedimentario que conforma el islote Areoso.

2. Área de Estudio

Areoso se localiza al oeste de la isla de Arousa (Ría Arousa), en la costa atlántica de Galicia. Forma parte de un conjunto de islotes y bajos, separados de la isla de Arousa por una zona con profundidades entre 7 y 10 m, mientras que al norte y al oeste la profundidad aumenta hasta los 20-30 m. La litología se corresponde con granodiorita tardihercínica, por lo que el sedimento dominante es siliciclástico. La fuente del sedimento es local, siendo en la actualidad el material biogénico el único aporte externo. Sobre el sector sur, rocoso, se desarrolla un manto eólico, y en el norte se desarrolla una pequeña flecha arenosa muy dinámica.

3. Métodos

Durante la excavación del 2016-2017 en el entorno del túmulo M4 (ARE-M4-III), se muestreó una secuencia edafo-sedimentaria con una potencia de 225 cm, recogién-dose 34 muestras. Los niveles inferiores, fueron muestreados a intervalos de 5 cm y los superiores cada 10 o 15 cm, dependiendo de su homogeneidad. En cada muestra se realizó una granulometría en una columna de 9 tamices con aberturas comprendidas entre los 2 y 0,063 mm, obteniéndose los parámetros estadísticos mediante el método de Folk y Ward (1957) con la hoja de cálculo Gradistat (Blott y Pye, 2001). El estudio morfométrico se llevó a cabo sobre las fracciones 1, 0,4 y 0,250 mm, seleccionando 100 partículas en cada fracción para su cotejo en la lupa binocular. Se diferenció la naturaleza del material, su forma, color y el brillo. El contenido en

material biogénico se realizó atacando la muestra con ácido clorhídrico al 10 %. Se determinó el contenido en materia orgánica mediante *Loss on Ignition* (LOI). Los resultados de campo y fisicoquímicos sirvieron de guía para seleccionar las muestras para ser datadas por radiocarbono en *Beta Analytics*.

4. Resultados y discusión

El estudio morfométrico (Figura 1) ha permitido diferenciar tres fuentes de sedimento: biogénico, material continental procedente de la erosión del sustrato granítico y sedimento costero antiguo. Las dos primeras aportan un sedimento inmaduro, con formas angulosas en la fracción mineral y más heterogénea con los biogénicos. La tercera fuente es una pequeña población de material redondeado, mayoritariamente de cuarzos, que de forma regular aparecen a lo largo de la secuencia, lo que se puede relacionar con un material antiguo que ha sido incorporado a la secuencia en el contexto de la configuración del propio sistema.

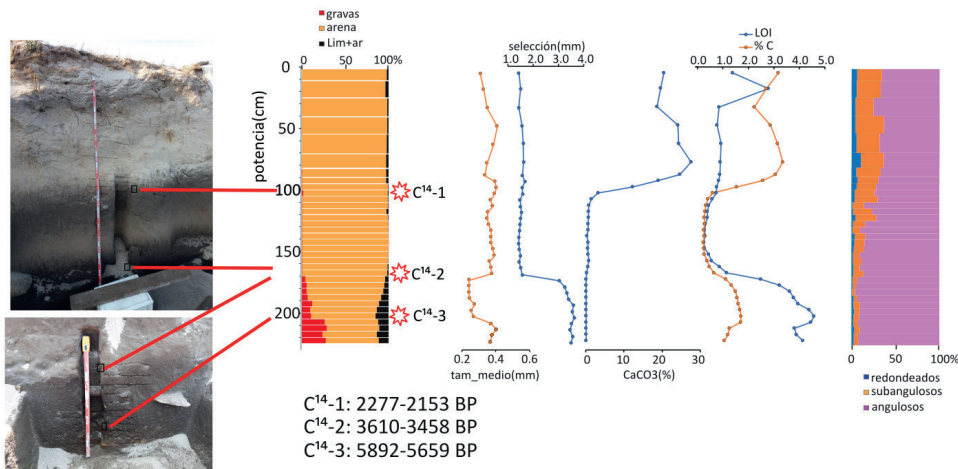


Figura 1. Propiedades fisicoquímicas de la secuencia ARE-M4-III.

En la secuencia edafo-sedimentaria se diferencian tres niveles. El basal, con una potencia de 55 cm, se corresponde con material pobremente clasificado, sin carbonatos, abundantes gravas y valores de LOI entre 2,5 y 4,5 %. La naturaleza del material es mayoritariamente cuarzo (~60-75 %), seguido de feldespatos (~15-25 %)

y una significativa presencia de micas (~10 %), siendo mayoritariamente anguloso (> 85 %). En la fracción 1 mm hay un porcentaje significativo de fragmentos de granito (~15-20 %), en detrimento de las micas. La datación radiocarbónica sitúa la formación de este nivel hace 5892-5659 cal. kyr BP. Se interpreta como un nivel continental, a partir de la alteración del sustrato granítico, en un contexto de nivel del mar situado en cotas inferiores a las actuales. El segundo nivel, con una potencia de 70 cm, compuesto por arenas con bajo grado de edafización y de material biogénico (<1 %), bien clasificado y compuesto principalmente por cuarzos angulosos (~80-90 %). La fecha obtenida, en la base del nivel sitúa su formación hace 3610-3458 cal. kyr BP. Las características del sedimento son coincidentes con un nivel de playa-duna. Cronológicamente es coincidente con la estabilización del nivel del mar en cotas similares a las actuales registradas en otros enclaves litorales de la costa gallega (Bao *et al.*, 2007; Costas *et al.*, 2009; González-Villanueva *et al.*, 2015). El nivel superior, tiene una potencia de 105 cm. Tiene un sedimento con características similares al que fosiliza, pero con presencia de biogénicos. La identificación de fauna dunar (*Theba pisana*; *Cochlicella acuta* y *Cochlicella ventricosa*), ha permitido delimitar el comienzo de una sedimentación claramente eólica en el sector interno de Areoso a partir de 2277-2153 cal. kyr BP.

5. Conclusiones

El estudio de las propiedades físicas de la secuencia edafo-sedimentaria ARE-M4-III (principalmente granulometría, morfometría y contenido en biogénicos) ha permitido realizar una caracterización e interpretación evolutiva minuciosa desde los últimos 6000 años BP de las formaciones sedimentarias situadas en el litoral de Areoso. Estos datos pueden ayudar a mejorar la comprensión sobre la adaptación de estos sistemas a cambios futuros en un contexto de cambio climático global. En el caso de esta secuencia, se han distinguido tres fases evolutivas y tres fuentes de sedimento. Destacar que entre estas ha sido identificado material costero antiguo, que se ha ido incorporando a la secuencia durante la configuración del sistema actual.

Agradecimientos

DGP es beneficiario de las ayudas a la Etapa Predoctoral (ED481A-2019/015) de la Xunta de Galicia.

Referencias

- Bao R., Alonso A., Delgado C. y Pagés, J. L. (2007). Identification of the main driving mechanisms in the evolution of a small coastal wetland (Traba, Galicia, NW Spain) since its origin 5700 cal. yr BP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247, 296-312.
- Blott, S.J. y Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248.
- Costas, S., Sobrino, C.M., Alejo, I. y Pérez-Arlucea, M. (2009). Holocene evolution of a rock bounded barrier lagoon system, Cíes Islands, northwest Iberia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 1575-1586.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Gatt, P. (2021). Embayment morphometrics, granulometry and carbonate mineralogy of sandy beaches in the Maltese Islands. *Marine Geology*, 432, 106394.
- González-Villanueva, R., Pérez-Arlucea, M., Costas, S., Bao, R., Otero, X. L. y Goble, R. (2015). 8000 years of environmental evolution of barrier-lagoon systems emplaced in coastal embayments (NW Iberia). *The Holocene*, 25, 1786-1801.
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G. y Aarninkhof, S. (2018). The state of the world's beaches. *Scientific reports*, 8(1), 1-11.

The role of the Cíes Islands on the wave regime and morphodynamics of the pocket beaches (Vigo Ria, Northwestern Iberian Peninsula)

El papel de las Islas Cíes en el régimen de oleaje y la morfodinámica de las playas encajadas (Ría de Vigo, Noroeste Península Ibérica)

Á. FONTÁN-BOUZAS^{1,2}, C.C. FERREIRA¹, T. ABREU³, A. BERNABÉU¹, P. A. SILVA²,
J. ALCÁNTARA-CARRIO⁴, L. PORTZ⁴ & R. MANZOLLI⁴

*1. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo
afontan@uwigo.es; carolineferreira@ua.pt; bernabeu@uwigo.es*

2. CESAM & Department of Physics, University of Aveiro, Portugal. psilva@ua.pt

3. CESAM & Department of Civil Engineering, Porto, Portugal. taa@isep.ipp.pt

*4. Dept. Geology and Geochemistry. Universidad Autónoma de Madrid
javier.alcantara@uam.es; rogerio.manzolli@uam.es; luana.portz@uam.es*

Abstract: Galician rias face the energetic waves of the North Atlantic Ocean. In some cases, rias' systems are semi-protected by islands at the entrance, as is the case of the Cíes Islands, which divide the mouth of the Vigo Ria into two separated channels. This geological setting may affect the wave propagation and sediment transport processes. This work analyses the influence of the Cíes islands on the wave characteristics at Vigo Ria, and consequently, in the morphodynamics on two semi-sheltered beaches of the ria. The wave conditions were analyzed applying the model SWAN to the northwestern coastal area of the Iberian Peninsula, using the WAVE module of Delft3D model validated with field hydrodynamic measurements. On the other hand, high-resolution topography measurements by RTK-DGPS surveys on Nerga and Patos pocket beaches, respectively located in the northern and southern Vigo Ria entrances, were used to retrieve detailed beach morphologies for the wave modelling scenarios. The wave simulations indicate that the presence of the Cíes Islands causes the wave height to decrease, more significantly in Nerga Beach, and therefore it affects to the beaches' morphodynamics. For offshore NW dominant waves, Patos Beach displays frontal waves and cross-shore sediment transport, while Nerga Beach shows higher wave energy on the eastern side.

Keywords: wave conditions, Delft3D, coastal monitoring, modelling, NW Iberian.

Resumen: Las rías gallegas están expuestas a las energías olas del océano Atlántico Norte. En algunos casos, los sistemas de rías están semiprotectidos por islas en la entrada, como es el caso de las Islas Cíes, que dividen la desembocadura de la Ría de Vigo en dos canales separados. Este entorno geológico puede afectar a los procesos de propagación del oleaje y transporte de sedimentos. En este trabajo se analiza la influencia de las islas Cíes en las características del oleaje en la Ría de Vigo y consecuentemente, en la morfodinámica de las playas de la ría. Las condiciones de oleaje fueron analizadas aplicando el modelo SWAN a la zona costera del noroeste de la Península Ibérica utilizando el módulo WAVE del modelo Delft3D, validado con medidas hidrodinámicas de campo. Por otro lado, se utilizaron mediciones topográficas de alta resolución mediante levantamientos RTK-DGPS en las playas encajadas de Nerga y Patos, situadas respectivamente en las entradas norte y sur de la Ría de Vigo, para obtener las morfologías detalladas de las playas asociadas a los escenarios de modelización del oleaje. Las simulaciones de oleaje indican que la presencia de las Islas Cíes hace que la altura del oleaje disminuya, lo que tiene consecuencias en la morfodinámica de las playas. En el caso de las olas dominantes del NW, la playa de Patos muestra olas frontales y transporte transversal de sedimentos, mientras que la playa de Nerga muestra una mayor energía de las olas en el lado oriental.

Palabras clave: condiciones de oleaje, Delft3D, monitoreo costero, modelización, noroeste ibérico.

1. Introduction

The Galician rias are drowned river valleys located at the northwestern coast of the Iberian Peninsula. They are affected by the seasonal and inter-annual variability of wave regime at the Atlantic Ocean. Their shoreline morphology includes a wide number of pocket beaches, controlled by the incident wave conditions. The main factors controlling the wave regime of the rias are the remotely generated swell, the shelf and inner ria winds, and the geomorphology of the ria (Villacieros-Robineau *et al.*, 2021). The main SW-NE orientation of the ria and the presence of Cíes Islands in the mouth generate a different degree of wave exposure and beach characteristics (Bernabeu *et al.*, 2012). This study focuses on the influence of the Cíes Islands on wave conditions at the ria and consequently, on the morphodynamics of the pocket beaches.

2. Methodology

This study combines wave modelling with field measurements of waves and beach topographies. Numerical wave propagations were computed by the WAVE module of Delft3D model. Multibeam field measurements and public bathymetry datasets (Fig. 1A) were used to obtain four computational grids by the RGFRID module,

from regional to beaches domains. The forcing of the model was done considering offshore spectral wave conditions previously obtained by the WWIII model (Bertin *et al.*, 2013). The validation of wave propagations was performed by comparing simulated data with both, measured data (Silleiro buoy, ADCP and PT field dataset) and numerical simulation data obtained from 8 historical SIMAR points provided by Puertos del Estado (Pilar *et al.*, 2008).

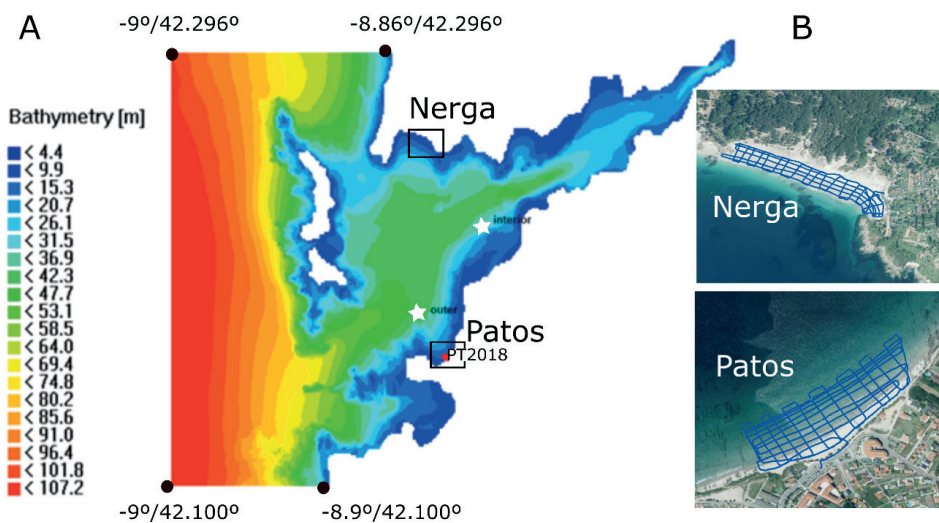


Figure 1. Study Area. A) bathymetry of Ria de Vigo and outer region; location of ADCP (white stars) and PT (red point) for validation of the numerical wave propagations. B) RTK-GPS surveys at Nerga and Patos beaches.

On the other hand, to analyze the morphodynamics of Patos and Nerga beaches over a range of wave conditions, topographic surveys were carried out during winter 2021/22 (Fig. 1B).

3. Results and Discussion

Wave propagation exhibited a varied hydrodynamical response across Vigo ria's entrance and inner areas. Moreover, numerical simulations with and without the presence of Cíes Islands show that these islands generate an average decrease of about 1 m of the significant wave heights in the outer sector of the ria (Fig. 2).

This indicates the influence of the geomorphological setting (i.e. Cies Islands) on the beach morphodynamics. The presence of headlands and rocky outcrops in the shoreface also modify the morphodynamics of the beaches (Rey *et al.*, 2002). The dominant morphological response at Nerga and Patos beaches is mainly characterized by cross-shore transport, in agreement with previous studies (Rey *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2019). They displayed an erosional trend between March and April 2022, due to a storm event occurred on March 11th ($H_s=5.5$ m, $T_p=17.70$ s, and wave approach direction $277^\circ N$). Erosion and accretion processes were observed in both beaches. The sedimentary dynamics was more intense at the oriental sector of Nerga Beach, where the numerical wave propagation showed the highest H_s . In contrast, the erosion was generalized along Patos Beach.

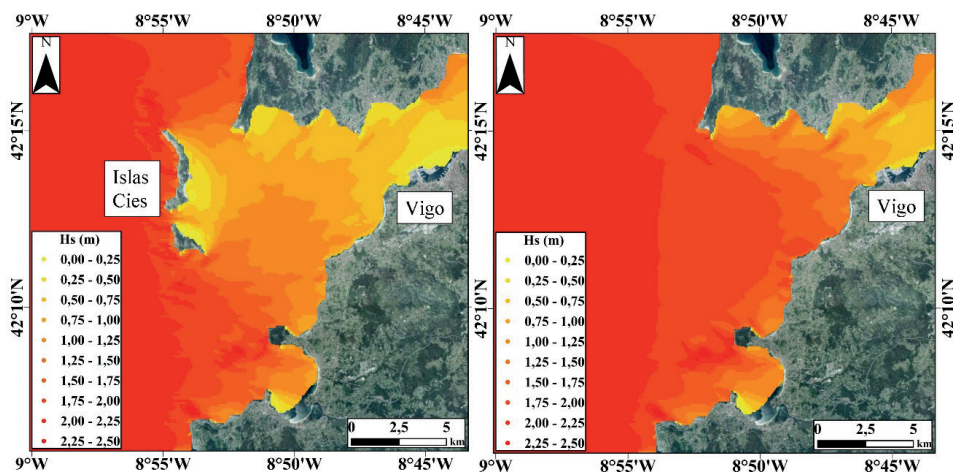


Fig. 2. Numerical wave propagation of storm wave event from WSW ($257^\circ N$) with offshore H_s of 2.5 m and T_p of 8.4 s. a) Reduction of H_s due to the presence of Cies Islands, b) H_s for a hypothetical situation without the presence of Cies Islands.

References

- Bernabeu, A. M., Lersundi-Kanpistegi, A. V., Vilas, F., (2012). Gradation from oceanic to estuarine beaches in a ría environment: A case study in the Ría de Vigo. *Estuar. Coast. Shelf Sci*, 102-103, 60-69.
- Bertin, X., Prouteau, E., Letetrel, C., (2013). A significant increase in wave height in the North Atlantic Ocean over the 20th century. *Glob. Planet. Change* 106, 77-83.

- Ferreira, C.C., Silva, P.A., Bernabeu, A.M., Fernandez-Fernandez, S., Mohamed, K.J., Fontán-Bouzas, A., Domínguez, A. (2019). Fluorescent Sediment Tracer Experiment in Patos Beach (NW Spain). In X Jornadas de Geomorfología Litoral Castelldefels, Barcelona (Spain), 181-184.
- Rey, S.; Alejo, I.; Alcántara-Carrió, J. & Vilas, F. (2002). Influence of boundary conditions on beach morphodynamics and sedimentology: A case study from Patos Beach (Ria of Vigo, NW Spain). In: F. Veloso, F. Taveira, L. das Neves (Eds.). *The Changing Coast. Eurocoast. Porto.* 277-280.
- Rey, S., Alejo, I., Alonso, I., Alcántara-Carrió, J. (2006). Field determination of sediment transport patterns: a case study from Patos Beach (Northwest Spain). *J. Coast. Res.*, SI 39, 607-610.
- Villacieros-Robineau, N., Gilcoto, M., Pardo, P.C., Barton, E.D. (2021). Wave regime and wave-current coupling in an upwelling-driven bay: seasonal and inter-annual variability. *J. Geophys. Res. Ocean*, 126, e2021JC017540.

Hydrodynamic longshore uniformity in embayed beaches: Patos beach case study

*Uniformidad hidrodinámica longilitoral en playas encajadas:
Playa de Patos como caso de estudio*

C. C. FERREIRA^{1,2}, T. ABREU³, Á. FONTÁN-BOUZAS^{1,2}, P. A. SILVA² & A. BERNABEU¹

1. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo. carolineferreira@ua.pt; afontan@uwigo.es;

2. CESAM & Department of Physics, University of Aveiro. psilva@ua.pt

3. CESAM & Department of Civil Engineering, Polytechnic of Porto. taa@isep.ipp.pt

Abstract: The northwest coast of the Iberian Peninsula is exposed to North Atlantic swell, affecting the coastal area. Ria de Vigo is located at the southernmost part of the Galician *Rías Baixas*. Its entrance is protected by the *Cíes Islands*, working as a natural protection towards the several sandy embayed beaches whose local hydrodynamic conditions are influenced by it. Patos beach is one of such cases, also sheltered by *Monteferro Peninsula*, presenting perfect conditions to carry out 'controlled' field experiments, allowing to monitor and explore different sediment transport mechanisms. Therefore, the inshore wave conditions are less energetic than the offshore conditions. The goal of this work is to study longshore variation due to wave attenuation. A field experiment was carried out between 21st and 24th of October 2021 where a set of pressure transducers were deployed at the intertidal zone parallel and perpendicular to the shore, enabling the collecting of hydrodynamic data. The obtained results are used to validate the numerical results of the Delft3D modeling suite. The results confirm the absence of longshore variations in the significant wave height.

Keywords: Delft3, embayed beach, longshore uniformity, pressure sensor, wave conditions.

Resumen: La costa noroeste de la Península Ibérica está sometida a swell del Océano Atlántico, afectando a la zona costera. La Ría de Vigo se encuentra en el extremo sur de las Rías Baixas gallegas. Su entrada está protegida por las Islas Cíes, sirviendo de protección natural hacia las playas de arena encajadas cuyas condiciones hidrodinámicas locales están influenciadas por ellas. La playa de Patos es uno de esos casos, resguardada también por la península de Monteferro, que presenta condiciones perfectas para llevar a cabo experimentos de campo 'controlados', que permiten monitorear y explorar diferentes mecanismos de transporte de sedimentos. Las

condiciones de olas costeras son menos energéticas que las condiciones marinas. El objetivo de este trabajo es estudiar la variación longitudinal debido a la atenuación de las olas. Mediante el análisis de un experimento de campo realizado entre el 21 y 24 de octubre de 2021, se desplegaron un conjunto de transductores de presión en la zona intermareal paralela y transversal a la costa, permitiendo adquirir datos hidrodinámicos. Los resultados obtenidos se utilizan para validar los resultados numéricos con el modelo Delft3D. Los resultados confirman la ausencia de variaciones longitudinales en la altura significativa de las olas.

Palabras clave: Delft3D, playa encajada, uniformidad longitudinal, sensor de presión, condiciones de oleaje.

1. Introduction

Beaches are dynamic systems where sediment transport behavior is primarily due to the variability of the incident wave energy and its characteristics. Field measurements contribute to the understanding on the response of sandy beaches to wave climate change scenarios. Pocket beaches can be dominated by cross-shore transport processes (Ferreira *et al.*, 2019), that are primarily controlled by the incident wave energy (Harley *et al.*, 2011), or alongshore transport that may cause beach rotation (Daly *et al.*, 2014). However, these beaches have significant geological controls due to headlands and rock outcrops, which determine beach boundaries, influencing the incident wave regime. Boundary conditions, at Patos beach, have been identified as the factor that controls beach morphodynamics as well as grain-size distribution and evolution (Rey *et al.*, 2002). Previous work has analyzed the alongshore morphological variation of Patos beach, but field measurements of alongshore hydrodynamic have not been addressed. The current work describes a field survey carried out at October 2021, aiming to investigate the variability of the waves alongshore the pocket Patos beach.

2. Study site

Patos Beach is located in the southern area of Ría de Vigo, NW Spain, (Figure 1). It is 2 km long and 50 m wide and is limited backwards by a promenade. This beach is partially sheltered from high energetic waves of the Atlantic Ocean due to the presence of the *Cíes Islands* and *Monteferro Peninsula* (Bernabeu *et al.*, 2012). Nevertheless, a wide range of exposition to the incident waves dominated by NW-WNW swell reaches the beach, with lower significant wave heights. Thus, it constitutes a natural laboratory for this type of experiments.

3. Field work

The field experiment was carried out between 21 and 24 of October 2021 at Patos beach (Figure 1-B). This consisted in the placement of 5 pressure transducers (PT – Level Troll 500) at 15 cm from the bottom, at 4 locations (Figure 2), 50m apart, in the intertidal area, and one offshore at 4m depth, to measure the significant wave height and period. The data were continuously acquired, with a sampling rate of 1Hz. PT1 to PT4 recorded the first two days of campaign, while the offshore PT recorded the whole period of the field experiment.

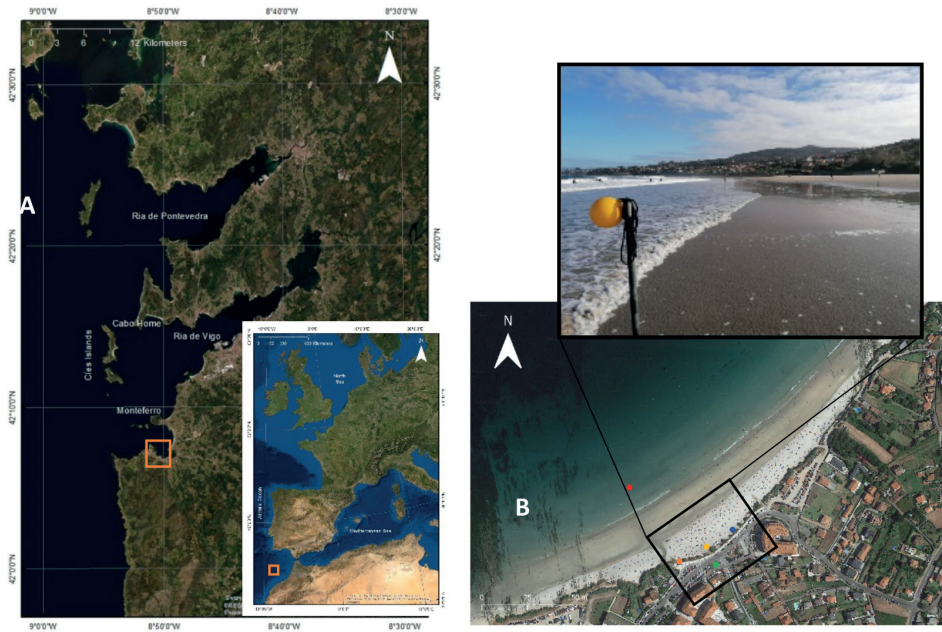


Figure 1. Study area (A- Patos beach represented by the orange square, and by the red line at B; orange, yellow, blue, green and red represent PT1 to PT5 positions, respectively).

4. Results and Discussion

The local hydrodynamic conditions measured with the pressure sensors presented uniformity between PT1, PT2 and PT3 (Figure 2), with less than 0.07 m difference between the profiles, evidencing the longshore uniformity of the waves that arrive at Patos beach, which had a significant wave height of almost 1.0 m and 0.6 m,

respectively, on the 21st and 22nd of October. The peak period of the first day had a mean value of 12.5 s, decreasing to 10.0s in the following day. Results from offshore (PT5) to onshore presents an increase of approximately 0.2 m at high tide. Data collected from the *Puertos del estado* (SIMAR3014004), with a wave direction from WNW, compared with the PT5 presents a decrease of approximately 2m from outer Ria to Patos beach. A modelling component was developed in the scope of this work, based on the Delft3D to simulate the wave propagation. However, this will not be presented in detail here. The experimental results of the field campaign allowed to validate the model close to the beach.

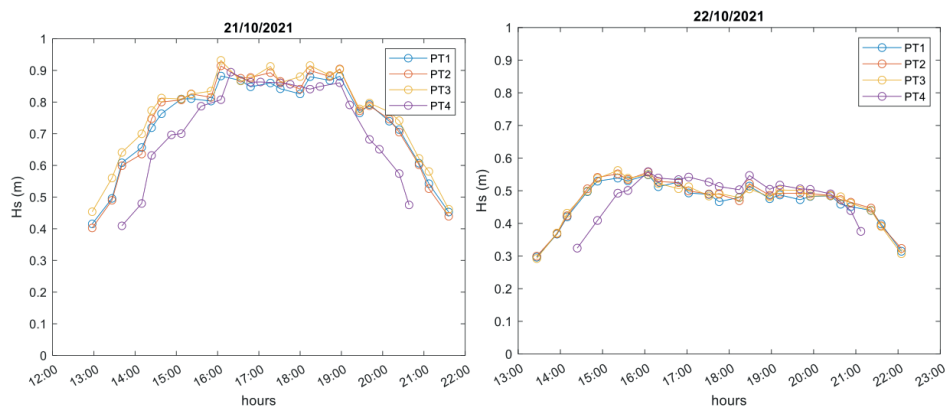


Figure 2. Significant wave height of PT1 to PT4 for October 21 (left) and October 22 (right).

5. Conclusions

The achieved results of the survey acknowledged the influence of geological structures in the central area of pocket Patos beach, allowing uniformity of the alongshore wave conditions. The data recorded on the beach between 21th and 24th of October allowed to confirm longshore uniformity of the waves, being confirmed by modelling results. Further analysis with the validated Delft 3D model is intended to be done to observe the influence of distinct wave regimes (height, period and direction), to study the hydrodynamic uniformity at the longshore direction at Patos beach.

Acknowledgments

AF-B is supported by a Post-Doc Fellowship (ED481D2019/028) awarded by Xunta de Galicia (Spain). We acknowledge financial support to GEOMA-XM2 ED431C2019/27 Xunta de Galicia grant and CESAM by FCT/MCTES (UIDP/50017/2020+UIDB/ 50017/2020+LAP/0094/2020), through national funds.

References

- Bernabeu, A. M., Lersundi-Kanpistegi, A. V. & Vilas, F. (2012). Gradation from oceanic to estuarine beaches in a ría environment: A case study in the Ría de Vigo. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 102-103, 60-69. (DOI: 10.1016/j.ecss.2012.03.001)
- Daly, C. J., Bryan, K. R., Winter, C., 2014. Wave energy distribution and morphological development in and around the shadow zone of an embayed beach. *Coast. Eng.* 93, 40-54.
- Ferreira, C. C., Silva, P. A., Bernabeu, A. M., Fernandez-Fernandez, S., Mohamed, K. J., Fontán-Bouzas, A., Domínguez, A. Fluorescent Sediment Tracer Experiment in Patos Beach (NW Spain) X Jornadas de Geomorfología Litoral Castelldefels, Barcelona (Spain).
- Harley, M. D., Turner, I. L., Short, A. D., Ranasinghe, R., 2011. A reevaluation of coastal embayment rotation: The dominance of cross-shore versus alongshore sediment transport processes, Collaroy-Narrabeen Beach, southeast Australia.
- Rey, S., Alejo, I., Alcántara-Carrió, J., Vilas, F., 2002. Influence of Boundary Conditions on Morphodynamics and Sedimentology of Patos Beach (Ría de Vigo, Nw of Spain). *Litoral 2002, Chang. Coast, EUROCOAST/EUCC 277-280.*

Análisis de la vegetación dunar de la playa de A Frouxeira (Valdoviño)

Dune vegetation analysis in A Frouxeira beach (Valdoviño)

P. MEDÍN, J. FERNÁNDEZ y M. GAYO

*Dpto. Geografía, Facultad de Geografía e Historia, Universidade de Santiago de Compostela
pablo.medin@rai.usc.es; javier.fernandez.vidal@rai.usc.es; marta.gayo@rai.usc.es*

Resumen: Este trabajo trata sobre el análisis e interpretación de la vegetación presente en el complejo dunar e intermareal de A Frouxeira (Valdoviño, Galicia, NO de la Península Ibérica). El objetivo de esta investigación es el de comprobar y evaluar el estado de conservación de este espacio natural protegido (ZEPA Espacio marino de la costa de Ferrolterra-Valdoviño), relacionando las comunidades vegetales con los diferentes ambientes, que se corresponden con la zona dunar, los prados hidrófilos y las formaciones arbóreas. Para ello se realiza un trabajo de campo, inventariando todas las especies presentes. La identificación de la vegetación ayuda a proponer una zonificación del complejo de A Frouxeira basada en la distribución y ocupación de las diferentes especies vegetales. Se establecen los ambientes y comunidades vegetales que componen el sistema, las áreas de transición (los ecotonos) y se definen sus características. A partir de la información de campo, una vez analizada y procesada, se elaboran los perfiles longitudinales de síntesis de la vegetación del complejo, donde se puede apreciar el cambio de la vegetación en relación a la zonificación propuesta.

Palabras clave: biotopo, duna, litoral, marisma, Galicia.

Abstract: *The main topic of this essay is the analysis and interpretation of the current vegetation in the dune and swamp complex of A Frouxeira (Valdoviño, Galicia, NW of the Iberian Peninsula). The aim of this investigation is to check on and evaluate the conservation state of this protected natural area (ZEPA Espaciomarino de la costa de Ferrolterra-Valdoviño), bridging the vegetal communities with their different environments, which would be divided in dune areas, hydrophile meadows and arboreal formations. Forthis, field work was performed, creating an inventory of all the present species. The identification of the vegetation allows to*

propose a sectioning of the A Frouxeira complex based on the distribution and occupation of the different vegetal species. The different environments and communities that make up the system are established, along with the transition areas (ecotones), and their characteristics are defined. Once this field information is analyzed and processed, synthetic vegetation longitudinal profiles are elaborated, allowing to appreciate the variation of the vegetation, relative to the proposed sectioning.

Keywords: biotopes, dune, littoral, marsh, Galicia.

1. Introducción

Las costas gallegas son uno de los ecosistemas más dinámicos y ricos del norte peninsular, pero a su vez uno de los más vulnerables. Como principales características biogeográficas diferenciadoras frente a áreas similares del Cantábrico y Portugal, podemos destacar que la mayoría de los arenales y zonas intermareales gallegas tienen sustratos ligeramente más áridos (favoreciendo el crecimiento de especies más tolerantes a la falta de agua), lo cual se compensa con precipitaciones ligeramente más elevadas, excepto en verano (Pulgar Sañudo, 2010). Estos espacios son sin duda, debido a su gran diversidad geomorfológica y biológica, muy interesantes para su estudio, y el caso de A Frouxeira (Valdoviño) no es una excepción.

En este trabajo se propone valorar el estado de conservación de la vegetación de A Frouxeira, de las zonas limítrofes a las marismas e identificar y clasificar las principales agrupaciones de vegetación (así como los ecotonos entre ellas).

2. Área de estudio y metodología

La laguna y la playa de A Frouxeira forman parte de un complejo dunar e intermareal localizado en la franja norte del municipio de Valdoviño (A Coruña) (Fig. 1).

La zona de estudio se desarrolla a lo largo de un transecto transversal al arenal, con una longitud de 1,2 km, en el que se ejemplifican las variaciones de vegetación de cada ambiente geomorfológico.

El 15 de abril de 2022, se realiza un inventario con 38 especies a lo largo del transecto diseñado. Una vez identificada la vegetación se diseña un perfil longitudinal esquemático para identificar los cambios de las diferentes especies vegetales desde la duna hacia el interior, alejado ya de la influencia marina. La identificación de las especies vegetales es realizada con la ayuda de diferentes guías de vegetación y la aplicación PlantNet.

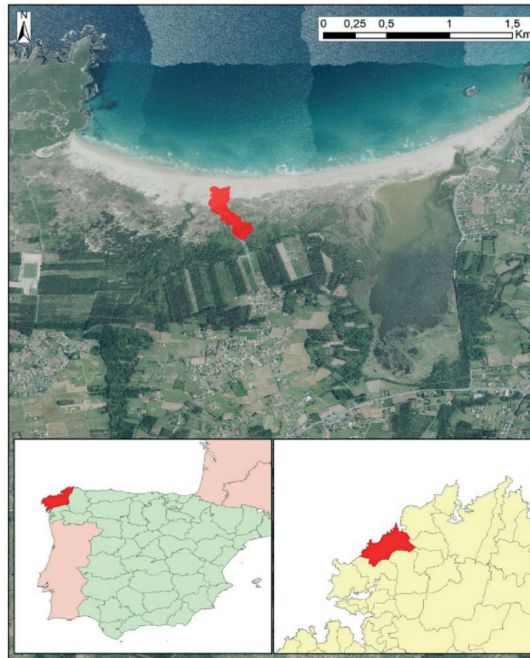


Figura 1. Mapa de localización.

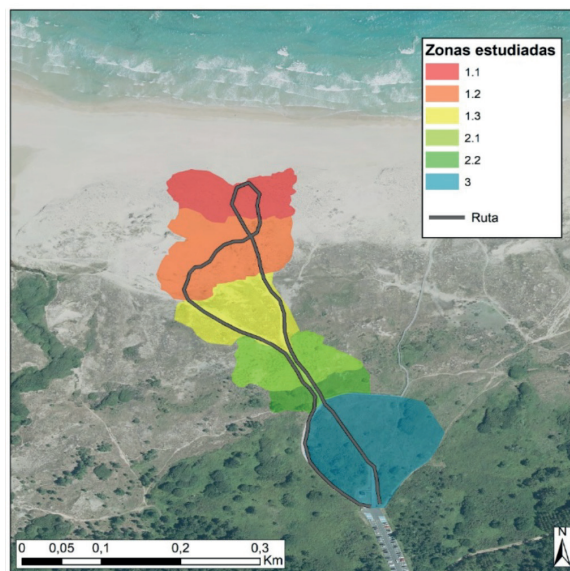


Figura 2. Mapa de zonificación.

3. Resultados

Para caracterizar la vegetación del sector estudiado se opta por una zonificación en tres partes (Fig. 2). La primera comprende la zona dunar, que a su vez se subdivide en tres áreas en función de las comunidades vegetales presentes y el nivel de fitoestabilización dunar, identificando especies adaptadas a la sequía edáfica, a una salinidad alta y a una insolación elevada como el barrón (*Ammophila arenaria*), la cebolla de mar (*Pancratium maritimum*), el alhelí de mar (*Malcolmia littorea*) o la lachetrezna (*Euphorbia paralias*) (Fig. 4). La segunda hace referencia al borde de la laguna, zona intradunar, donde se diferencia una zona de prados higrófilos con suelos húmedos ocupados por juncáceas (*Juncus acutus* y *Scirpoides holoschoenus*), y otra de matorral, mucho menos húmeda, y formada por tojos (*Ulex europaeus*) y silvas (*Rubus fruticosus*) (Fig. 4). El último sector es ocupado por vegetación de mayor porte, con un estrato arbóreo consolidado, con claro predominio del *Pinus pinaster*, y varias comunidades de *Salix atrocinerea* junto a especímenes aislados de *Laurus nobilis* (Fig. 4). Los diferentes sectores son fácilmente identificables, no muestran grandes alteraciones y la mayoría de las especies se corresponden con las recogidas en la zonificación de los documentos de gestión (Figs. 3, 4).

4. Conclusiones

El área de estudio goza de un estado de conservación aceptable en comparación con otras más degradadas (especialmente las más próximas al centro urbano de Valdoviño). Sin embargo, la presión antrópica, causa impactos directos sobre la vegetación de este sistema litoral. Entre estas destacar el uso de maquinaria pesada utilizada para realizar trabajos en las dunas, construcción de equipamientos urbanos como el aparcamiento o la pasarela de acceso a la playa.

La playa de A Frouxeira es un buen ejemplo, a nivel gallego, de vegetación dunar y de marisma. Su pertenencia a Red Natura 2000, ha sido de ayuda para la protección y conservación de la vegetación, favoreciendo la diversidad y variedad de especies y una riqueza de biotopos en un espacio pequeño especialmente si lo comparamos con otros ejemplos del litoral de Galicia, como Corrubedo o Carnota.

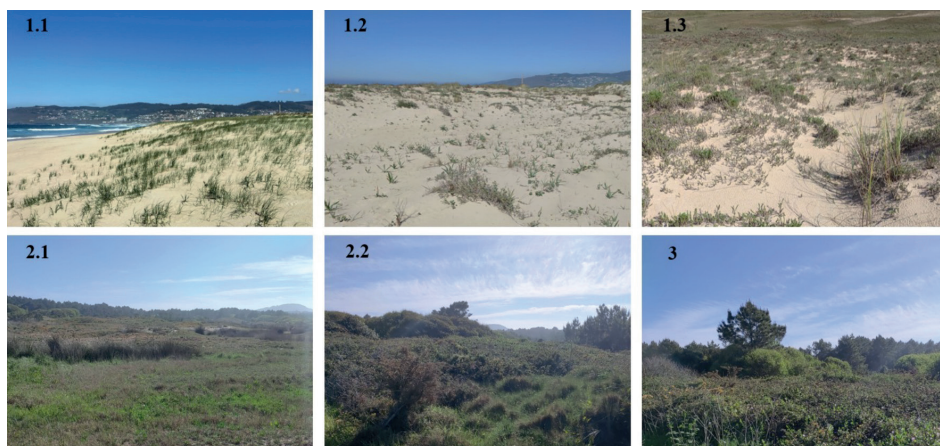


Figura 3. Frente dunar (1.1), Duna en proceso de estabilización (1.2), Duna fitoestabilizada (1.3); Borde de la laguna formado por los prados higrófilos (2.1), Zona de matorral (2.2); Formaciones arbóreas (3).

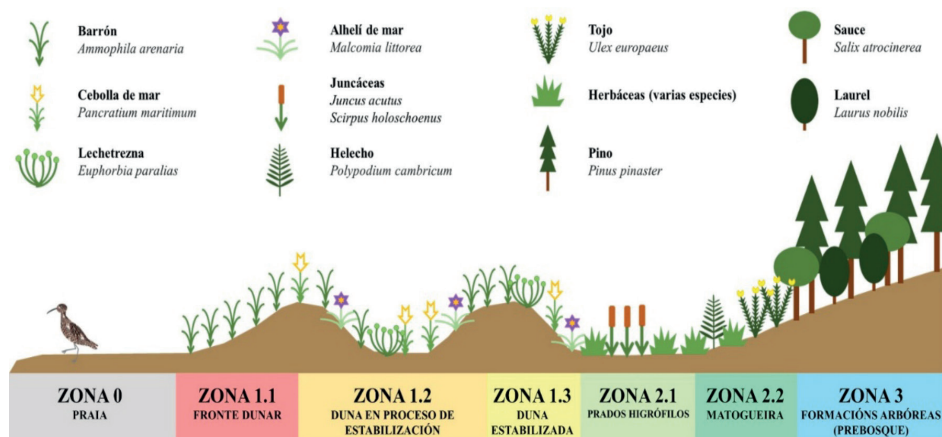


Figura 4. Perfil longitudinal de la vegetación dominante de A Frouxeira.

Referencias

Pulgar Sañudo, I. (2010). Guía da flora do parque natural do complexo dunar de Corrubedo e lagoas de Carregal e Vixán. Xunta de Galicia.

AMBIENTES ROCOSOS Y
EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO

Depósitos costero-marinos del Pleistoceno Superior de Es Ram-Es Estufadors (Formentera, Illes Balears, Mediterráneo occidental): evolución climática y geomorfológica

Marine late Pleistocene coastal deposits of Es Ram-Es Estufadors (Formentera, Balearic archipelago, western Mediterranean): climatic and geomorphological evolution

L. DEL VALLE¹, G. X. PONS² y J. J. FORNÓS¹

1. Grup de Recerca de Ciències de la Terra. Univ. de les Illes Balears. lauradelvalle.geo@gmail.com

2. Departament de Geografia. Universitat de les Illes Balear

Resumen: El Cuaternario se caracteriza por la alternancia de periodos glaciales de clima frío y árido, separados por periodos interglaciares de clima cálido y húmedo. Uno de los efectos más significativos de estas variaciones climáticas fue la evolución geomorfológica de las costas y de los hábitats de muchos seres vivos, llegando a veces a la extinción o desplazamiento de algunas especies, como ocurrió al final del subestadio interglaciar MIS 5e (± 130 ka) con la bajada de las temperaturas generalizada, en donde las especies termófilas senegalenses como, por ejemplo, *Thetystrombus latus* desaparecieron dejando evidencias en forma de tanatocenosis en las playas a lo largo del litoral mediterráneo. Estos y otros depósitos marinos intercalados con depósitos pleistocenos eólicos, coluviales y paleosuelos, están presentes en la costa sureste de la isla de Formentera (Es Ram - Es Estufadors). Este afloramiento sedimentario se caracteriza por una sucesión de alta resolución bien expuesta que representa los principales cambios climáticos y geomorfológicos que se produjeron en esta parte del Mediterráneo occidental durante el Pleistoceno superior. El objetivo principal de este estudio es identificar, reconocer y estudiar en detalle (sedimentológico, composicional y taxonómico) los niveles marinos del afloramiento del Pleistoceno presentes en el sureste de Formentera, con el fin de ubicarlos en un momento climático dentro de las subetapas climáticas reconocidas del MIS 5.

Palabras clave: cuaternario, depósitos pleistocenos, MIS 5e, evolución climática, Formentera.

Abstract: *The Quaternary is characterized by glacial periods of cold and arid climate, separated by interglacial periods of warm and humid climate. One of the most significant effects of these climatic changes was the variations in the sea level on a global scale, affecting very significantly*

*the geomorphological evolution of the coasts and the habitats of many of the living beings, sometimes leading to the extinction or displacement of some species, as occurred at the end of the interglacial substage MIS 5e (± 130 ka) with the general drop in temperatures, where Senegalese thermophilic species, such as *Thetystrombus latus*, disappeared, leaving evidence in the form of thanatocoenosis on the beaches along the Mediterranean coast. These and other marine deposits intercalated with Pleistocene aeolian, colluvial and paleosol deposits are present on the southeast coast of the Island of Formentera (Es Ram - Es Estufadors). This sedimentary succession is characterized by a well-exposed, high-resolution succession that represents the main climatic and geomorphological changes that occurred in this part of the western Mediterranean during the Late Pleistocene. The main objective of this study is to identify, recognize and study in detail (sedimentological, compositional, and taxonomic) the sea levels of the Pleistocene outcrop present in the southeast of Formentera, in order to locate them at a climatic moment within the recognized climatic substages. of the MIS 5.*

Keywords: Quaternary, Pleistocene deposits, MIS 5e, Climatic evolution, Formentera.

1. Localización, entorno geológico y fisiográfico

Formentera es la isla más pequeña de Baleares con 83,2 km². Las sucesiones marinas del Pleistoceno más representativas se localizan en la parte sureste de Formentera, entre Es Copinar, Caló des Mort, Es Ram y Estufadors (Fig. 1B), cubriendo aproximadamente 0,7 km² de costa. Estos depósitos situados sobre una plataforma carbonatada del Mioceno, emergen del nivel del mar por encima de los 20 metros.

2. Metodología

En el campo se realizaron esquemas estratigráficos y se correlacionaron en base a la presencia de discordancias y/o unidades homogéneas o por la presencia de niveles marinos continuos. En cada registro se definieron unidades principales en términos de composición, textura y registro fósil. Para la nomenclatura de las especies marinas se ha utilizado el Registro Mundial de Especies Marinas (WoRMS, 2022).

3. Resultados

De estudios previos (Gässer, 2002; Bardají *et al.*, 2017; del Valle *et al.*, 2021), se sabe que los depósitos situados sobre el Mioceno corresponden a depósitos cuaternarios, formados de base hacia arriba por dos niveles marinos bien diferenciados, seguidos de un coluvial, dunas fósiles superpuestas, paleosuelos, dunas fósiles, coluvial y, finalmente, niveles de interferencia eólico-aluvial. Las facies se agruparon en

tres asociaciones principales que representan ambientes sedimentarios coluviales-aluviales, marinos y eólicos (Fig. 1A). En este estudio nos hemos centrado en los niveles marinos y los que tienen presencia de fauna marina.

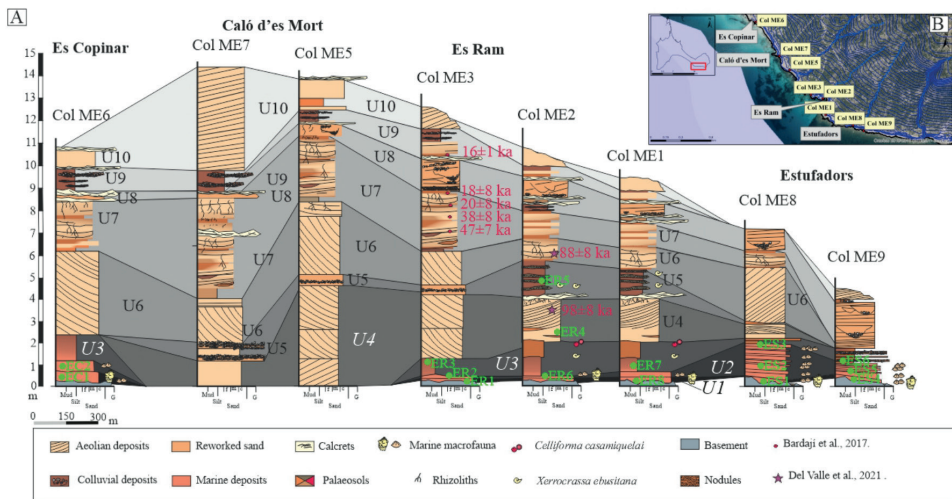


Figura 1. A) Registros estratigráficos de los afloramientos estudiados incluyendo los datos OSL de Bardaji et al. (2017) y del Valle et al. (2021). B) Ubicación de las columnas estratigráficas. Modificado de del Valle et al. (2021). Los círculos verdes corresponden a la ubicación de los registros faunísticos recolectados. CE: Es Copinar; ER: Es Ram; ES: Estufadors.

3.1. Asociación de facies marinas

En términos generales, es posible definir dos niveles de playa, que corresponden a diferentes sectores de la playa. El primer nivel está compuesto por arena bioclástica fina-media, muy cementada y de color marrón muy pálido con abundante fauna marina desorganizada (EC1, ER1, ER8, ES1 y ES4): *Thetystrombus latus*, *Conus ermineus*, *Cymatium cutaceum*. El segundo nivel de 1,2 m de potencia máximo consiste en capas de areniscas bioclásticas de grano fino a grueso bien clasificadas de color blanco a marrón muy pálido, estratificación cruzada y buzamiento hacia el mar. Contiene fósiles marinos mayoritariamente enteros y generalmente se alinean en la base de los lechos en diferentes capas (ER2, ER6, ES2, ES5): *Acanthocardia tuberculata*, *Amonia ephippium*, *Chamelea gallina*, *Glycymeris nummaria*, *Astraea rugosa* y *Pecten jacobaeus*.

3.2. Asociación de facies coluviales

Esta asociación de facies está formada por una brecha de clastos subangulares poco clasificados y soportados en matriz limosa. La parte inferior contiene gran cantidad de fauna marina y tiene una base erosiva (ES6): *Arca noae*, *Chama gryphoides*, *Chamelea gallina*, *Lima lima*, *Spondylus gaerderopus*, *Astraea rugosa*, *Vermetus triqueter* y algas rojas.

4. Discusión y conclusión

A partir de la datación por Luminiscencia Ópticamente Estimulada y la presencia de fauna biocronoestratigráfica (*Thetystrombus latus*; *Linatella caudata*; *Conus ermineus*, en el primer nivel marino, concluimos que su deposición tuvo lugar durante el MIS5e (127 ka), período durante el cual el nivel del mar varió alcanzando los + 3 m snm a lo largo del Mediterráneo.

Durante MIS 5d el clima comenzó a enfriarse y se formaron paleosuelos que muestran poco desarrollo. Además, este enfriamiento generalizado provocó seguramente un enfriamiento de las aguas del Mediterráneo, con la causa directa de la extinción de la fauna senegalesa, especialmente *Thetystrombus latus*.

Durante el MIS 5c hubo una subida del nivel del mar en un período relativamente cálido, que dio como resultado un desarrollo del sistema de playas ricas en macrofauna marina (*Glycymeris nummaria*, *Arca noae*, *Patella rustica*, *Conus ventricosus*, etc.) y costas rocosas bajas.

Durante el enfriamiento de la transición MIS 5c/b (97 ka) el nivel del mar descendió por debajo de -60 m, en la transición de un periodo cálido a uno más árido. Estos cambios en las condiciones ambientales generaron puntuales episodios de intensas lluvias que junto con el cambio en el nivel de base incidieron en importantes procesos de escorrentía en las laderas, erosionando los suelos y parte del segundo nivel de playa, pasando estos a formar parte del coluvial.

Agradecimientos

Agradecemos a la Agencia Estatal de Investigación (AEI), por su apoyo al proyecto <PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033> y *Overtourism in Spanish Coastal Destinations. Tourism Degrowth Strategies (RTI2018-094844-B-C31)*. LdVV es beneficiaria del Programa Postdoctoral Vicenç Mut (CAIB) Gobierno de las Illes Balears.

Referencias

- Bardají, T., Cabrero, A., Roquero, E., Zazo, C., Lario, J., Dabrio, C. J., Goy, J. L., Machado, M. J., Mercier, N., Silva, P.G. y Martínez-Graña, A. (2017). Climatic variability in western Mediterranean during the last glacial cycle (ca. 130 – 14 ky BP): evidences from an island setting (Formentera, Balearic Is., Spain). PAGES OSM 2017 5th Open Science Meeting.
- Del Valle, L., Timar-Gabor, A., Pomar, F., Pons, G. X., Fornós, J. J. (2021). Millennial-scale climatic variability recorded in Late Pleistocene coastal deposits of Formentera Island (Balearic Archipelago, Western Mediterranean). *Quaternary International*, 407, 4-13.
- Gàsser, Z. (2002). Jaciments paleontològics marins del Miocè i Quarternari d'es Ram (Formentera, Illes Pitiüses). *Bolleti de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 45, 87-92.
- WoRMS Editorial Board (2022). World Register of Marine Species. Available from <https://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2022-04-11. doi:10.14284/170.

Estudio preliminar sobre la evolución de los acantilados en el sector de Luarca en relación con los temporales de ola (Asturias-España)

Preliminary study about the evolution of the cliffs in the sector of Luarca in relation to storm surges (Asturias-Spain)

P. ALONSO-ALONSO¹ y G. FLOR-BLANCO²

1. Dpto. Geología, Universidad de Oviedo. uo272309@uniovi.es

2. Dpto. Geología, Universidad de Oviedo. florgerman@uniovi.es

Grupo GEOCANTABRICA. UNESCO IGCP Group 639

Resumen: Este estudio, se centra en 17,2 km de costa desde Luarca a Cabo Busto (NO Asturias), sectorizando 3 zonas según sus características litológicas. La metodología empleada se divide, por un lado, en la recopilación de datos de oleaje desde 1956 a 2021 (Hs, Tp, dirección y estacionalidad de oleajes de tormenta) y, por otro, la caracterización de los fenómenos de inestabilidad de laderas diferenciados en varios puntos de estudio a partir de una fotointerpretación de diferentes fotografías aéreas y ortofotos entre 1970 y 2017, además de medidas realizadas en el campo. También se ha elaborado en un SIG una serie de mapas a partir del Modelo Digital de Terreno (MDT) del IGN. Los resultados obtenidos indican un incremento de los temporales a partir del año 2006, diferenciando dos periodos en los que se producen una gran cantidad de temporales de oleaje, correspondientes con los intervalos que abarcan de 2006 a 2009 y de 2011 a 2014. En cuanto a las zonas de retroceso, se han diferenciado un total de 24 puntos en los que se evidencian cambios en el acantilado.

Palabras clave: retroceso costero, cambio climático, movimientos en masa, oleaje de tormenta, Luarca (Asturias).

Abstract: *This study focuses on 17.2 km of coastline from Luarca to Cabo Busto (NW Asturias), sectoring 3 areas according to their lithological characteristics. The methodology used is divided in the collection of wave data from 1956 to 2021 (Hs, Tp, direction and seasonality of storm surges) and, on the other hand, in the characterization of the phenomena of slope instability differentiated in several points of study from a photointerpretation of different aerial photographs*

and orthophotos between 1970 and 2017, in addition to measurements made in the field. A series of maps have also been produced in a GIS based on the IGN Digital Terrain Model (DTM). The obtained results indicate an increase in storms from 2006 onwards, differentiating two periods in which a large number of storm surges occur, corresponding to the intervals from 2006 to 2009 and from 2011 to 2014. With regard to the areas of retreat, a total of 24 points have been identified where changes in the cliff are evident.

Keywords: coastal retreat, climate change, mass movements, storm surges, Luarca (Asturias).

1. Introducción

La costa asturiana (NO de España), limitada el norte por el Mar Cantábrico está formada por acantilados que culminan con superficies de rasa. Con una longitud de aproximadamente 391,85 km presenta una morfología irregular y su orientación principal es O-E. Actualmente, gran parte está sufriendo retrocesos a partir de procesos de inestabilidad de las laderas favorecidos por la acción del oleaje y las precipitaciones que facilitan la caída de rocas y retribajan los materiales arrancados del acantilado.

Los numerosos problemas derivados de este proceso han supuesto un motivo para poner en marcha el desarrollo de esta investigación, a través del proyecto científico llevado por en la Universidad de Oviedo (COSINES -CGL2017-83909-R) y en el que se ha enmarcado este estudio.

Los objetivos principales planteados fueron: a) determinar los temporales históricos de oleaje desde la segunda mitad del siglo XX hasta 2019 y comparar el retroceso de la línea de costa con los mismos, b) conocer los errores metodológicos con las fotos aéreas, c) identificar zonas de evidente recesión, depósitos de bloques y aportes a las ensenadas y acantilados donde se perciba la eliminación de la vegetación o de la pátina de alteración a causa del golpeo del oleaje, y d) localizar los sectores de mayor susceptibilidad de retroceso costero.

2. Metodología

Se han recopilado los datos de temporales de oleaje, diferenciando las alturas máximas de oleaje (Hs), la dirección, el periodo (Tp) del punto SIMAR 3072038 (a 3,25 km de la costa) y la Boya de Cabo Peñas (a 45,14 km de la costa) y, por otro lado, se han obtenido los datos de mareas de los mareógrafos Gijón 1 y Gijón 2. Con estos datos se han caracterización de los temporales desde 1958, subdividiendo en alturas: < 3 m, 3 y 5 m, de 5 a 7 m y > 7 m.

Posteriormente, se recopilaron distintas fotos aéreas (1970, 1983, 1992 y 2001) procedentes del Principado de Asturias e IGN), ortofotos del plan PNOA del IGN (2006, 2009, 2014 y 2017) además de bases cartográficas y el LiDAR del IGN de 2011.

Después de la subdivisión en tres sectores de la zona de estudio atendiendo a las características geológicas, se han cartografiado la evolución de la línea de acantilado entre 1970 y 2017, el mapa de pendientes con su probabilidad de deslizamiento y las orientaciones, más la cartografía, incorporándose todo ello a una base de datos SIG.

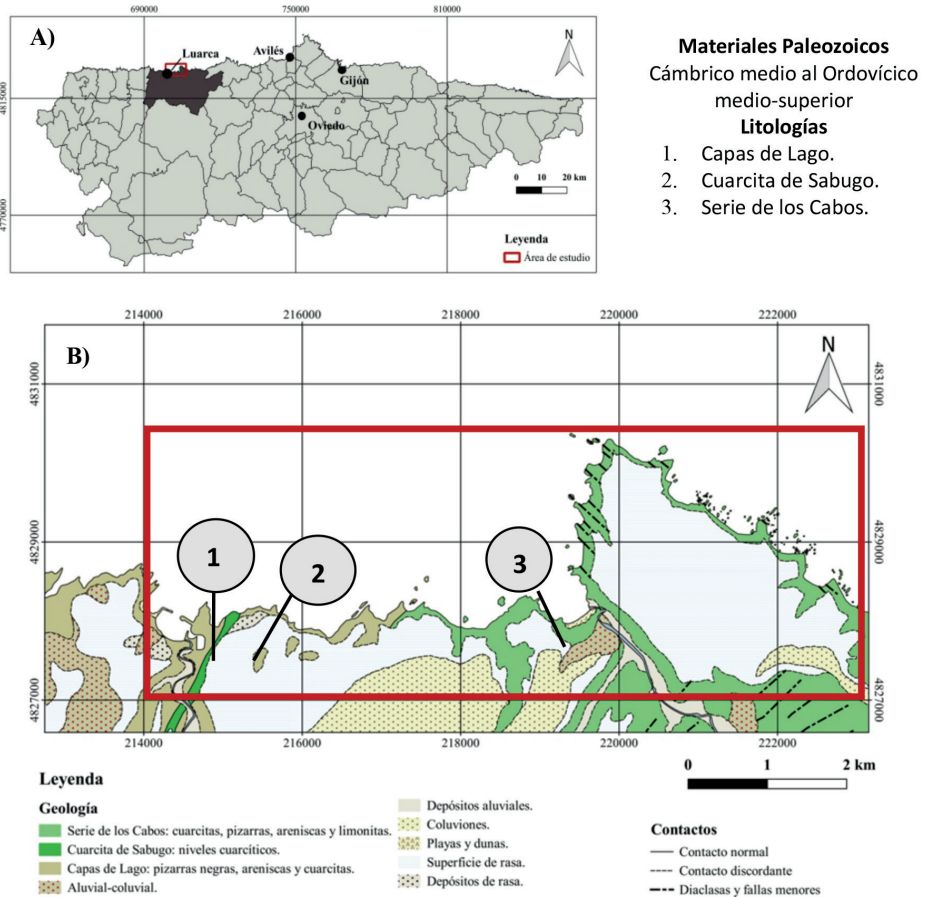


Figura 1. A) Situación geográfica de la zona de estudio dentro de la costa occidental de Asturias y localización del sector. B) Geología de la zona de estudio (GEODE-IGME).

3. Resultados

3.1. Los temporales de ola

Los datos obtenidos en el punto SIMAR en el periodo de 1956 a 1998, a lo largo de 42 años han registrado un total de 296 temporales de oleaje que superan el umbral de riesgo considerado. De éstos, la altura de oleaje más representativa está comprendida entre 3 y 5 m de altura y solo 2 eventos por encima de 7 m. Sin embargo, en el periodo de 1999-2019 el registro total de temporales de oleaje fue de 162, siendo los de 3 a 5 m de altura los más recurrentes porcentualmente y un total de 12 los superiores a 7 m. Las alturas máximas de ola registrada no siempre coinciden con niveles de pleamar por lo que no existe una clara relación entre ambos parámetros, aunque en 2014, éstos fueron especialmente dañinos en toda la costa (Flor-Blanco *et al.*, 2021).

Los cambios observados en los diferentes años permiten relacionar los temporales de oleaje con el retroceso de la línea de acantilado. Se ha detectado una recurrencia de oleajes fuertes de más de 7 m a partir de 2006.

3.2. Análisis del retroceso de la costa

Las tasas de retroceso medidas muestran valores más elevados en el Sector I, cuyas causas principales son la litología y la orientación de las laderas hacia la incidencia predominante del oleaje de tormenta, con un valor máximo de 1,64 m/año. Algo similar ocurre en el Sector II, que presenta una tasa máxima de 1,20 m/año y, en el mismo, se localizan desprendimientos por el oleaje y la disposición litológica de los materiales que lo conforman. Sin embargo, en el Sector III, se han obtenido los valores de retroceso más bajos, diferenciando los depósitos de bloques en las zonas donde el oleaje presenta una mayor incidencia, aunque hay tasas puntuales de 1,87 m/año

Los cambios más significativos observados en las fotografías aéreas corresponden principalmente al intervalo de 2006-2009, así como al de 2011-2014, coincidiendo con los máximos de temporales registrados en los datos de oleaje ($H_s > 7$ m). Corresponden en su mayor parte a acumulaciones de bloques y pérdidas de vegetación hasta 10 m aproximadamente con respecto a la base.

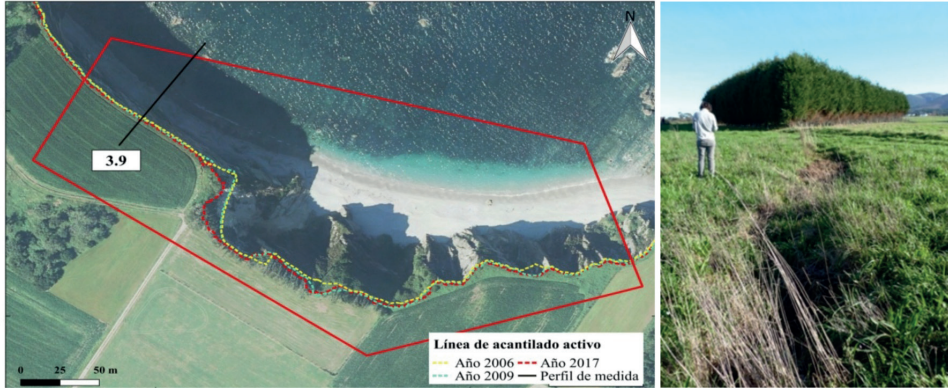


Figura 2. Ejemplo de la cartografía realizada (Sector 3) y nuevas grietas activas encontradas.

Referencias

- Flor-Blanco, G., Alcántara-Carrión, J., Jackson, D. W. T., Flor, G., Flores-Soriano, C. (2021). Coastal erosion in NW Spain: Recent patterns under extreme storm wave events. *Geomorphology*, 387, 107767.
- IGME. GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. Hoja 11 (10-3) Luarca y Hoja 12 (11-3) Busto.

Interpretación de procesos mareales en base a estructuras sedimentarias en el Neoproterozoico africano (Fm. Dindefelo, Senegal)

Interpretation of tidal processes based on sedimentary structures in the African Neoproterozoic (Fm. Dindefelo, Senegal)

E. GARCÍA-VILLALBA¹, C. I. YOUM², M. BASILE³, J. M. DOMINGO-SANTOS³ y J. A. MORALES¹

1. Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva. elenagvi@hotmail.com; jmorales@uhu.es

2. Dpto. Géologie, Université de Cheikh Anta Diop, Sénégal. youmanegeos@gmail.com

3. Dpto. Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva. basilemuriel@gmail.com

Resumen: La Formación Dindefelo es la tercera unidad del relleno de la Cuenca de Madina-Kouta, que se extiende en el cratón del Oeste Africano. Fue depositada durante el Toniense (1000-750 Ma), en el Neoproterozoico. Esta formación se caracteriza por la alternancia de potentes bancos de cuarzoarenitas y finos niveles de lutitas. Estructuras sedimentarias y formas de fondo a diferentes escalas son frecuentes. La velocidad de corriente que formó estas estructuras se calculó usando el diagrama de Harms et al. (1982). Estas oscilan entre los 20 cm/s para ripples de crestas rectas, los 47 cm/s para la formación de los ripples linguoides y alcanzando los 55-130 cm/s para las dunas de cresta sinuosa. Por otra parte, para las antidunas la velocidad asciende a más de 170 cm/s. Las bioturbaciones neoproterozoicas son diversas y abundantes, así como los tapices bacterianos. Son también frecuentes las grietas de desecación. La costa preservada en la formación Dindefelo es, en general, de baja energía al escasear las formas de alto régimen de flujo y abundar las bioturbaciones. La presencia de tidal bundles y herringbones indica dominio mareal, y las grietas de desecación y los tapices bacterianos muestran un medio que queda a veces expuesto. Todos estos detalles concretan el medio de depósito como una llanura mareal.

Palabras clave: formas de fondo, llanura de marea, velocidad de flujo, Neoproterozoico.

Abstract: The Dindefelo Formation is the third unit of the Madina-Kouta Basin fill, which extends throughout the West African Craton. It was deposited during the Tonian period (1000-750 Ma), in the Neoproterozoic. This formation is characterized by the alternation of thick banks of quartz-sandstones and fine levels of shales. Sedimentary structures and bedforms at different

scales characterize this formation. The current velocity that formed these structures has been calculated using Harms *et al.* (1982)'s diagram. These currents oscillate between 20 cm/s for ripples with straight crests, 47 cm/s to form linguoid ripples and reaching 55-130 cm/s for dunes with sinuous crests. On the other hand, for antidunes, the speed amounts to more than 170 cm/s. Neoproterozoic bioturbations are diverse and abundant, as well as bacterial mats. Mud cracks are also frequent. The shoreline preserved in the Dindefelo formation is, in general, of low energy, since high flux regime forms are scarce, and bioturbations are abundant. Tidal bundles and herringbones indicates tidal dominance, and desiccation cracks and bacterial mats are indicative of an environment that is sometimes exposed. All these details concrete the deposit medium as a tidal plain.

Keywords: bedforms; tidal plain; flux velocity; Neoproterozoic.

1. Generalidades de la Formación Dindefelo

La cuenca sedimentaria de Madina-Kouta se extiende unos 30.000 km² en dirección E-O por 4 países: Senegal, Guinea-Bissau, Mali, y Guinea Conakry (Sarr, 2014). Su actividad está comprendida entre el Mesoproterozoico y la glaciación Criogénica-Ediacárica (Claouer y Deynoux, 1987). El basamento sobre el que se depositan los sedimentos de relleno consiste en mármoles y calcoesquistos muy deformados e intruidos por granitos de más de 2300 Ma.

La Reserva Natural Comunitaria de Dindefelo se localiza en el sureste de Senegal, abarca 14.000 hectáreas y es fronteriza con Guinea Conakry (Fig. 1A y B). Los materiales de la cuenca aflorantes en este sector son, principalmente, los correspondientes a la Formación Dindefelo.

Durante el Toniense (1000-750 Ma), tiene lugar el depósito alterno de lutitas moradas y cuarzoarenitas rojas con glauconita de la Formación Dindefelo. El muro de ésta es de dominio lutítico, mientras que en las dos terceras partes de la serie hacia techo las cuarzoarenitas son dominantes (Youm *et al.*, 2018). Conforman parasecuencias somerizantes de estratificaciones cruzadas que culminan con tapices bacterianos o lutitas con grietas de desecación. El tamaño de grano es variable entre arena fina y gruesa ($0,125 < \phi < 1$ mm), observándose localmente niveles microconglomeráticos ($2 \text{ mm} > \phi < 6,3$ mm).

Las formas de fondo, presentes a diferentes escalas, incluyen: ripples simétricos, asimétricos (Fig. 1B), linguoides, trenes de ripples de interferencia, dunas (Fig. 1C) y barras de arena; abundan las estructuras mareales: *herringbones* (Fig. 1D) y *tidal bundles*. Entre las bioturbaciones neoproterozoicas destacan *Gordia sp.*, y tapices bacterianos de distintas clases.

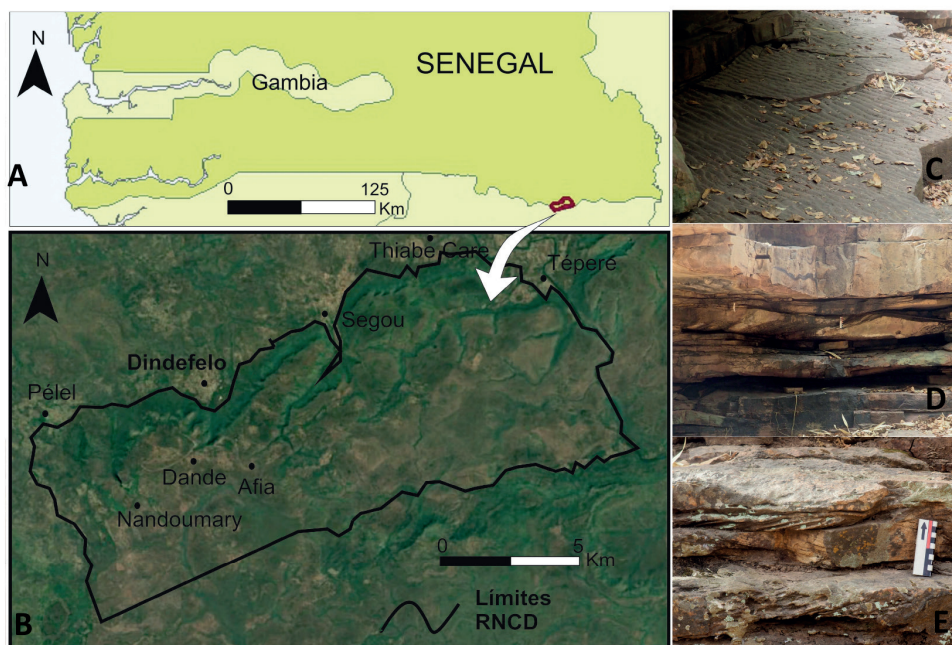


Figura 1. A. Localización geográfica de la zona de estudio. B. Reserva Natural de Dindefelo. C. Ripples simétricos y asimétricos. D. Dunas de arena. E. Estructuras herringbone en las cuarzoarenitas de la Formación Dindefelo.

2. Interpretación de procesos mareales

Estos depósitos corresponden a secuencias mareales de composición terrígena. El relleno de la cuenca con parasecuencias de materiales terrígenos acompañado de momentos de subsidencia justifica la existencia de espesores de más de 200 m sin que se observe una variación aparente de batimetría de materiales costeros depositados.

La presencia de grietas de desecación en las lutitas indica que ha habido periodos emergidos de forma recurrente junto con una exposición a altas temperaturas causantes de la retracción del sedimento al perder el agua de forma rápida. La figura 2A muestra el rango de velocidades de corriente que dan lugar a las estructuras sedimentarias de menor régimen de flujo de la Formación. La velocidad de corriente va de 20 cm/s para ripples de crestas rectas, a 47 cm/s de máxima para la formación de los ripples linguoides, dentro del rango de tamaño de grano de las muestras. De la figura 2B se extrae que las velocidades de corriente para formar estructuras de bajo régimen de flujo superior oscilan entre 37 a 45 cm/s para el fondo

plano, y de 55-130 cm/s para las dunas de cresta sinuosa (dunas 3D). Por otra parte, para las antidunas el flujo supera los 170 cm/s.

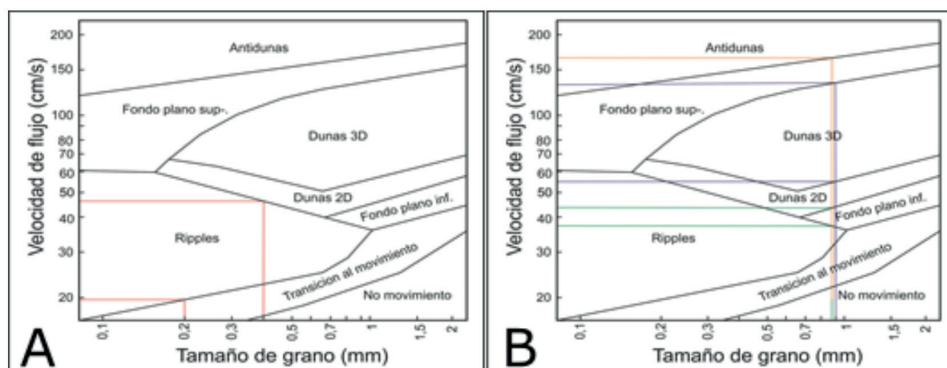


Figura 2. A. Diagrama tamaño medio de grano-velocidad de flujo (Harms et al., 1982). Rango de velocidades de flujo para ripples de cresta recta, ripples de cresta sinuosa, ripples linguoides (de menor a mayor velocidad). B. Diagrama tamaño medio de grano frente a velocidad de flujo (Harms et al., 1982). Rango de velocidades de flujo para fondo plano inferior (verde), dunas 3D de cresta recta o sinuosa (morado), y antidunas (amarillo).

3. Conclusiones

La presencia de bioturbaciones, tapices bacterianos, grietas de desecación, formas de fondo 2D y 3D, estratificaciones cruzadas, *tidal bedding* y *tidal bundles*, es característica de la acción la marea en los diferentes submedios de las llanuras mareales, de acuerdo con los criterios establecidos por Davis et al., (2012). Las formas generadas por corrientes permiten calcular una variación de las velocidades, que oscilan entre los 20 cm/s para los pequeños ripples de cresta sinuosa desarrollados en arenas finas y los más de 170 cm/s para las antidunas desarrolladas en arenas gruesas.

A pesar de esta variación, puede deducirse que la costa preservada en la formación Dindelfo es, en general, de baja energía, al ser minoritarias las formas de alto régimen de flujo y presentar, sin embargo, numerosas muestras de bioturbación. La presencia de *tidal bundles* y *herringbones* indica un claro dominio mareal, aunque con cierta influencia del oleaje, demostrada por la presencia de ripples simétricos. La abundancia de niveles bacterianos y grietas de retracción evidencia los periodos de desecación durante las bajamareas. Todo esto, combinado con las direcciones de corrientes y de la oscilación del oleaje, permite identificar el medio de depósito como una llanura mareal desarrollada en las costas de la cuenca de Madina-Kouta a principios del Neoproterozoico.

Referencias

- Claouer, N. y Deynoux, M. (1987). New information on the probable isotopic age of the Late Proterozoic glaciation in West Africa. En: *Precambrian Research*, 89-94.
- Harms, J. C., Southard, J. B., Spearing, D. R. y Walker, R. G. (1975). Depositional environments from primary sedimentary structures and stratification sequences. Dallas, SEPM Short Course N° 2, 161pp.
- Sarr, R. (2014). Géologie des bassins sédimentaires du Sénégal. En: *Informe inédito*. FST/UCAD. Université Cheikh Anta Diop. Faculté des sciences et techniques. Département de Géologie, 37 p.
- Youm, C., I. Errami, E., y Sow, E. (2018). Neoproterozoic Dindefelo waterfall geosite (DCNR, Bassari country, Eastern Senegal): biodiversity and geodiversity between conservation and valorisation. En: *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, vol. 8 (3), 197-224.

El Tsunami de Lisboa de 1755 en Conil de la Frontera (Cádiz): nuevas aportaciones a partir de un registro sedimentario urbano

*The Lisbon Tsunami of 1755 in Conil de la Frontera (Cádiz): new contributions from an
urban sedimentary record*

C. NARVAEZ¹, V. GÓMEZ², C. ARTEAGA³ y J. ALCÁNTARA-CARRIÓ⁴

1. Dpto. Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Madrid. Campus Cantoblanco,
28049 Madrid. carlosr.narvaez@estudiante.uam.es

2. Arqueóloga de apoyo proyectos de investigación I.N.I.C.E. veronicagomezfdz@gmail.com

3. Dpto. Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Madrid. Campus Cantoblanco,
28049 Madrid. carlos.arteaga@uam.es

4. Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. Campus Cantoblanco,
28049 Madrid. javier.alcantara@uam.es

Resumen: El 1 de noviembre de 1755 la mayor catástrofe natural de Europa tuvo lugar bajo la forma de un violento terremoto, que causó un tsunami afectando buena parte del litoral atlántico de la Península Ibérica. La localidad de Conil de la Frontera, en Cádiz, no estuvo exenta de las consecuencias. Su complejo playa-duna ha sido objeto de varias investigaciones geomorfológicas, a la par que existe abundante información histórica que ayuda a conocer el impacto que tuvo en este municipio. No obstante, los efectos de las olas sobre el casco urbano hasta ahora han quedado marginados. En el transcurso de una prospección arqueológica se obtuvieron sedimentos en el interior de “La Chanca” una de las edificaciones atacadas por la ola del tsunami, que perteneció al Duque de Medina Sidonia y citada en varias fuentes históricas. El análisis sedimentario desvela no sólo su naturaleza de origen marino y de alta energía, sino otras características propias de la ola, tras hallarse todo tipo de restos biogénicos y distintos vestigios que no se habían registrado hasta ahora.

Palabras clave: tsunamis, terremoto de Lisboa 1755, Conil de la Frontera, sedimentología

Abstract: On 1 November 1755, the greatest natural catastrophe in Europe took place in the form of a violent earthquake, which caused a tsunami affecting a large part of the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. The town of Conil de la Frontera, in Cádiz, was not exempt from the consequences. Its beach-dune complex has been the subject of several geomorphological investigations, and there is abundant historical information that helps us to understand the impact it

had on this municipality. However, the effects of the waves on the town center have so far been neglected. In the course of an archaeological survey, sediments were obtained from the interior of “La Chanca”, one of the buildings attacked by the tsunami wave, which belonged to the Duke of Medina Sidonia and is mentioned in several historical sources. The sedimentary analysis reveals not only its nature of marine origin and high energy, but also other characteristics of the wave, after finding all kinds of biogenic remains and different vestiges that had not been found until now.

Keywords: tsunami, Lisbon earthquake of 1755, Conil de la Frontera, sedimentology

1. Localización, introducción y objetivos

La zona de estudio se encuentra en la población de Conil de la Frontera al sureste de Cádiz en Andalucía. Bañada por aguas atlánticas, la línea costera en la que se emplaza la localidad está conformada por dos subzonas, una eminentemente urbana asentada sobre una pequeña elevación, cuyo armazón lo componen biocalcarenitas y margas del Mioceno hacia el occidente, mientras que en el sector oriental se expande el complejo playa-duna de Castilnovo que recoge el nombre de la antigua torre que destaca en el paisaje.

Este trabajo pretende aportar nuevos datos a partir de los sedimentos hallados en el casco urbano de Conil de la Frontera, en el edificio histórico llamado “La Chanca”, en el marco de una actuación arqueológica en el año 2013 por parte del ayuntamiento. Éste, era una pequeña fortaleza del siglo XVI que había adquirido la funcionalidad con el tiempo de industria de salazón para el atún. Cabe decir, que buena parte del suelo estaba cubierto por un sedimento extraño, que sellaba el solar y tapaba las piletas de salazón del siglo XVIII. El sedimento aparentaba ya a visu estar compuesto por una amalgama de materiales de diversa naturaleza, entre las que destacaban sobremanera fragmentos de atún. Teniendo en cuenta que este espacio no se utilizaba ni se accedía desde el Tsunami de Lisboa y era citado en varias fuentes, pero especialmente en el informe que realizó la Real Academia de Historia en 1755 para el Rey Fernando VI (Martínez Solares, 2001) destacando que el edificio recibió el impacto de la ola de forma directa, se obtuvo el sedimento para su preservación y posterior análisis. Así, la finalidad principal de este estudio es ampliar la información relativa al tsunami en cuanto a sus características sedimentarias y su grado de impacto gracias a los restos encontrados. Esto se debe a que prácticamente no existen estudios del tsunami en el casco urbano o se menciona de forma muy secundaria. Sin embargo, datos como los que proporciona Luque *et al.* (2004) en relación con la presencia de dos abanicos de derrame en la llanura de inundación de los arroyos Salado y Conilete sirven para contrastar con los sedimentos hallados

en La Chanca. Además, se quiere confirmar la altura de la ola, ya que casi todas las fuentes coinciden debió tener una altura próxima a los 8-10 metros (Luque *et al.*, 2004; Martínez Solares, 2001; Gutiérrez *et al.*, 2016).

2. Metodología

Para el contexto histórico-arqueológico se revisaron fuentes históricas, principalmente la información recogida por el IGN en Martínez Solares (2001), mientras que el estudio sedimentario se realizó siguiendo los procedimientos de obtención de granulometrías y morfoscopías clásicas, que ya se ha aplicado en otros estudios de tsunamitas: Cailleux y Tricart (1959), índices Trask ó S0 (Tras kan Wu, 1932) o Krumbein (1956) a partir de 17 muestras procedentes de distintos ámbitos para comparar y contrastar: playa y dunas actuales, el abanico del tsunami de 1755, del río Salado y del yacimiento de La Chanca.

3. Resultados y discusión

Del estudio de los sedimentos se han obtenido los siguientes resultados. Su naturaleza es mayoritariamente marina, en el estudio morfoscópico abundan escamas y espinas de atún y muchos fragmentos de bioclastos (entorno al 50%) inidentificables por su estado, fragmentos de coral alterados potencialmente de la especie *Leptogorgia sarmentosa*, que se suelen encontrar en aguas someras a partir de 5 metros de profundidad en fondos rocosos. En menor medida se han identificado foraminíferos de la familia *Cibicididae* sobre todo de la especie *Cibicoides pseudoungerianus*, dientes de peces pequeños y fragmentos de erizo de mar. Señalar dos hechos importantes, el primero es la presencia de foraminíferos bentónicos en los sedimentos de La Chanca confirman el carácter marino de los mismos. El segundo, es que los restos de atún denotan que la fuerza de la ola tuvo un importante impacto, pues se corresponden con especímenes de más de 300 kg y de 14 años de edad.

Del análisis sedimentológico granulométrico, y comparando con las muestras obtenidas, destacar que en el sedimento hallado en el espacio urbano priman arenas procedentes de la playa ya que coinciden totalmente en todas sus características (morfoscopía y granulometría): tamaño medio del grano de 0,32 mm (arenas medias) “leptocúrticas”, S0 de 1,97 (elevado y muy parecido al de otras tsunamitas, Tomassetti *et al.*, 2021), generan una curva granulométrica “semilogarítmica”, el 60% son cuarzos redondeados (11-13% mates). Sin embargo, los sedimentos de duna, río y del abanico se corresponden con arenas de diámetro de 0,19 a 0,26 mm

(arenas finas), un S0 considerablemente más bajo, de 1,20 a 1,30, muy platicúrticas y que generan curvas de acumulación de carácter “sigmoidal”. La morfoscopía que presentan son de un 40% de granos de cuarzo redondeados (20% menos que los sedimentos de la Chanca y la playa).

Conil, a partir de los datos históricos, fue una de las localidades que más sufrió el impacto del tsunami. Perecieron 24 personas, casi 600 cabezas de ganado y destruyó varias edificaciones en el casco histórico y una pequeña población en la playa junto a la Torre de Castilnovo. Si tomamos en cuenta que la ola supero el edificio de La Chanca emplazado a una cota superior a los 5 msnm y que los muros de esta pequeña fortaleza sobrepasaban los 4 m (tenía 2 plantas), y alcanzó edificaciones por encima de los 10 msnm (Torre de Guzmán, Iglesia de Santa Catalina y cárcel) es presumible que en efecto la ola impactara con una altura entre 8-10 msnm. Según los documentos, el terremoto no supuso casi problemas salvo la afección de la torre de la iglesia, pero sí el tsunami.

4. Conclusiones

A partir del estudio, se confirma una altura de ola de casi 10 m, a la par que la presencia de foraminíferos en los sedimentos analizados denotan pertenecer a una tsunamita. Se identifican por primera vez fragmentos de coral. La ola antes de impactar en la población afectó a la playa próxima y vino en sentido W-E pues no se detectan materiales del sector oriental.

Referencias

- Cailleux, A., Tricart, J. (1959). Etudes des Sables et des Galets. *Centre de Documentation Universitaire*, París, 576 pp.
- Gutiérrez-Mas, J., Gómez F, V., García-L., S., Morales J. A. e Ibáñez A., J. (2016). Análisis comparativo de los depósitos dejados por el tsunami que siguió al terremoto de Lisboa (1755 DC), en la playa de Castilnovo y la antigua fábrica de salazón de atún de La Chanca (Conil de la Frontera, SW de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 29 (1).
- Krumbein, W. C., & Sloss, L. L. (1951). Stratigraphy and sedimentation, Vol. 71, No. 5, p. 401. LWW.
- Luque, L., Zazo, C., Lario, J., Goy, J. L., Civis, J., González, F., Silva, P. y Dabrio, C. (2004). El efecto del tsunami de 1755 en el litoral de Conil de la Frontera (Cádiz). En Baquedano, E., y Rubio, S., *Miscelánea en homenaje a Emilio Aguirre*, págs. 72-82.
- Martínez Solares, J., (2001): Los efectos en España del terremoto de Lisboa. (1 de noviembre de 1755). *Monografía N° 19*, Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.

- Tomassetti, J. M., Arteaga, C., Navarro, I., Parra, L., Neogi, S., Taylor, S., Narváez, C., Torres, F. & Alcántara-Carrió, J. (2021). Sedimentological, geoarchaeological and historical evidences of the 881 ad earthquake and tsunami in the western mediterranean sea (Estepona - Málaga). *Science of Tsunami Hazards*, 40(4), pp. 255-285.
- Trask P. D. and Wu, Z (1932): Origin and environment of source sediments of petroleum. *Gulf Publishing Company*.

Evolución holocena del marjal de Magaluf (SW Mallorca)

Holocene evolution of the coastal marsh of Magaluf (SW Mallorca)

J. J. FORNÓS¹, L. GÓMEZ-PUJOL¹, A. J. FAR², G. MATEU-VICENS² y G. SERVERA-VIVES^{3,4}

1. Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears

joan.fornos@uib.cat

2. Grup de Recerca en Ecologia Interdisciplinaria, Dept. de Biologia, Universitat de les Illes Balears

3. Laboratorio di Palinologia e Paleobotanica, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

4. ArqueoUIB, Department of Historical Sciences and Theory of Art. University of the Balearic Islands

Resumen: El marjal de Magaluf es una zona húmeda costera localizada en el SW de la isla de Mallorca. Se presentan los resultados sedimentológicos y paleontológicos de un sondeo de 7,5 m de profundidad localizado en el sector interno de la zona húmeda (30°30'29,1"N 2°31'36,5"E). El registro sedimentario está formado por sedimentos holocenos. Los depósitos inferiores se caracterizan por arenas eólicas y gravas y arenas gruesas bioclásticas que por su contenido paleontológico corresponden con un conjunto de restinga, zona de transición costera-parálica. Sobre ellos se disponen 4 m de depósitos de humedal caracterizados por la alternancia de niveles de limos y arcillas grisáceos, que alternan con pasadas más gruesas, denotando la influencia terrígena de los tributarios que drenan la zona. El registro paleontológico apunta a unas condiciones de laguna hiposalina, con puntuales estadios de aguas salobres. En la parte superior de dicho nivel se cuenta con una datación por C¹⁴ que arroja una edad entre 3700 y 3560 cal BP. Le sigue un nivel de 20 cm de material franco-limoso de color grisáceo cuyo contenido faunístico correspondería a un ambiente de transición costero-parálico, para acabar con unos niveles de escasa potencia de condiciones típicamente marinas que estarían asociados a inundaciones puntuales de la albufera por aguas marinas.

Palabras clave: humedal, restinga, sedimentología, foraminíferos.

Abstract: *The Magaluf marsh is a coastal wetland located in the SW of the island of Mallorca. The sedimentological and paleontological results of a 7.5 m deep borehole located in the internal sector of the humid zone are presented (30°30'29,1"N 2°31'36,5"E). The sedimentary record is made up of Holocene sediments. The lower deposits are characterized by aeolian sands and gravels and coarse bioclastic sands. Their paleontological content, correspond to a transition between a sandbank and a coastal-paralic zone. Above them there are 4 m of marsh deposits*

characterized by alternating levels of grayish silt and clay, which alternate with levels, denoting the terrigenous influence of the tributaries that drain the area. The paleontological record points to hyposaline lagoon conditions, with occasional stages of brackish water. The C14 dating of the upper part of this level shows an age between 3700 and 3560 cal BP. It is followed by a 20 cm level of grayish loamy-silty material whose faunal content would correspond to a coastal-paralic transition environment. The sequence ends with typically marine conditions that would be associated with occasional flooding of the lagoon by marine waters.

Keywords: marsh, sandbank, sedimentology, foraminifera.

1. Introducción

La zona húmeda costera de Magaluf se localiza en el SW de la isla de Mallorca, en el turístico municipio de Calvià, separada del mar por un cordón dunar. La extensión de la zona húmeda a finales de los años 50 del siglo pasado alcanzaba 84 ha y actualmente dicha superficie queda limitada a apenas 13 ha, tras el depósito de escombros asociados al desarrollo turístico y urbanístico de la zona a partir de finales de los años 60. Situada en el margen occidental del sector sur de la Serra de Tramuntana ocupa una pequeña depresión delimitada por los materiales dolomíticos del Retiense y Jurásico inferior al norte y oeste y por los materiales calcareníticos neógenos al sur.

En el marco de estudio de la oscilación del nivel marino y su relación con la evolución del litoral por causas naturales durante el Holoceno que se está llevando a cabo en diversos ambientes del litoral balear, se realizó en la zona húmeda de Magaluf un sondeo de 7,5 m de profundidad, del cual los 2,4 m iniciales correspondían al relleno de materiales procedentes de restos de construcción (Figura 1). En los 5 m siguientes se realizó un muestreo cada 10 cm, resultando un total de 49 muestras, con la intención de obtener los parámetros sedimentológicos básicos. De éstas se seleccionaron 22 muestras que fueron preparadas para el estudio micropaleontológico, centrado en la identificación y cuantificación de foraminíferos y su potencial como indicadores de las características paleoecológicas. Con los datos obtenidos se dedujo la evolución ambiental del área.

2. Registro sedimentario y micropaleontológico

La secuencia observada se inicia sobre una serie de arenas medias bioclásticas de origen eólico parcialmente cementadas en la base con una buena clasificación. Presenta especies tolerantes a concentraciones elevadas de materia orgánica y a cambios de salinidad junto a especies más estenoicas (Figura 1).

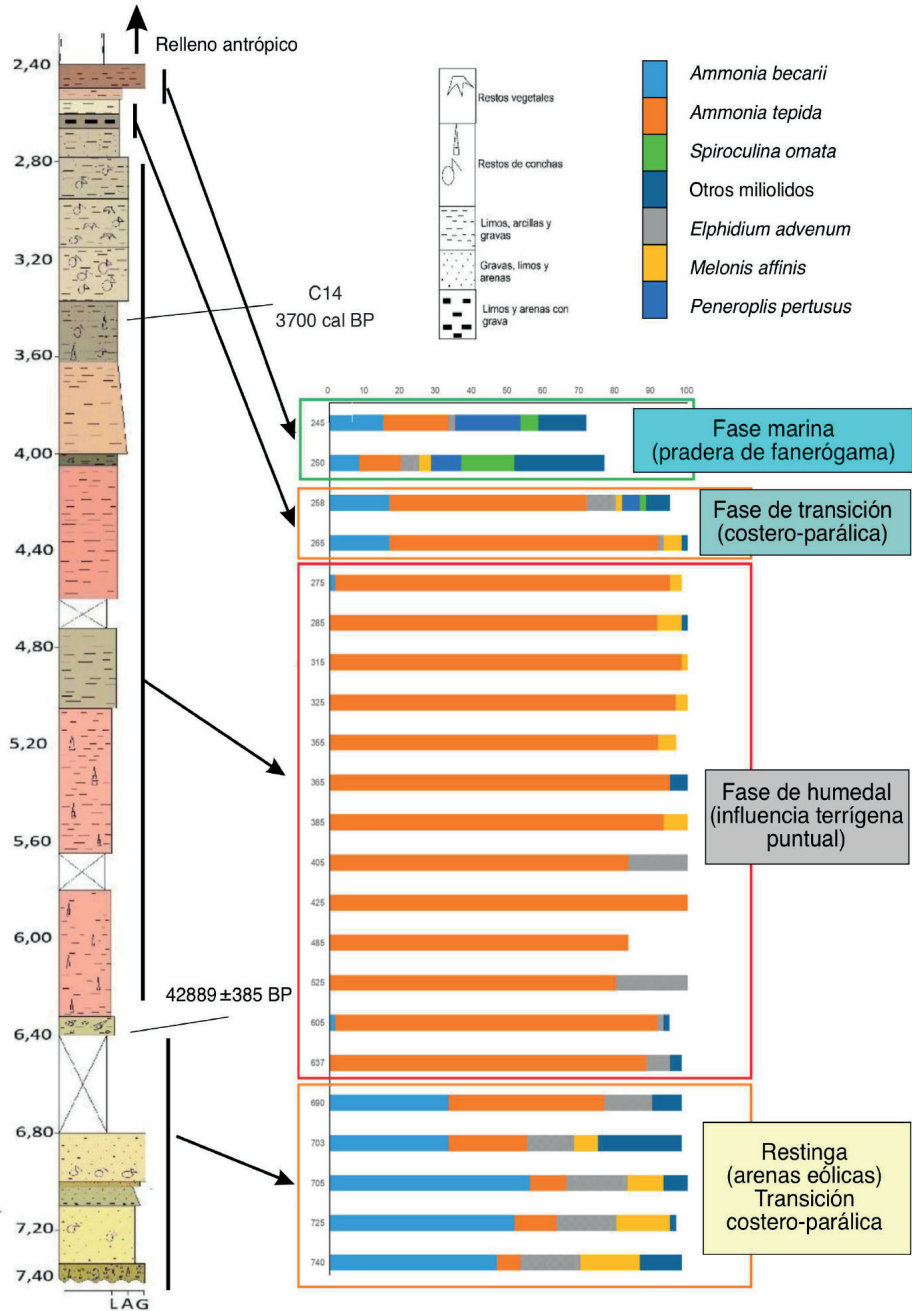


Figura 1. La secuencia holocena del humedal de Magaluf con indicación del registro de foraminíferos.

La presencia de miliólidos heterótrofos, de carácter oportunista (Murray, 2006) y la falta de especies epífitas como *Peneroplis pertusus*, indican que se trata de un episodio de transición entre un ambiente marino y otro de tipo parálico asociado a una tendencia regresiva. Sobre esta unidad, se inicia una secuencia que alterna niveles con pasadas detríticas compuestas por limos y arcillas rojos, especialmente en la base, que evolucionan a niveles fangosos con abundante materia orgánica, que se hacen omnipresentes a techo. La microfauna presente corresponde a una asociación de foraminíferos tolerantes a ambientes disóxicos, con una baja diversidad, ricos en materia orgánica y con salinidades menores a 33‰ (Bernhard y Sen Gupta, 1999). Esta secuencia es característica de un episodio de humedal (marjal) con una fuerte influencia terrígena. Sigue un nivel de arenas fangosas muy mal clasificadas caracterizada por la presencia de especies eurihalinas y otras que prefieren salinidades superiores 33‰ como es *Ammonia beccarii*. Esta combinación indica una nueva fase de transición, esta vez de humedal a un ambiente con mayor influencia marina. Finalmente, la secuencia acaba con un nivel de arenas y bajo contenido en fangos, de color ocre que representa el típico ambiente de salinidad marina, marcado por la presencia de foraminíferos epífitos como *Peneroplis pertusus* característicos de la presencia de fanerógamas marinas y macroalgas (Mateu-Vicens *et al.*, 2014). Este episodio indicaría la entrada de masas de agua marina que implicarían un incremento en la diversidad biológica del área.

3. Conclusiones

El estudio sedimentológico junto con el análisis taxonómico de los foraminíferos bentónicos ha permitido distinguir cuatro facies sedimentarias. Las biofacies asociadas se caracterizan por asociaciones de especies que corresponden a ambientes marinos de poca profundidad cubiertos de vegetación y a medios parálicos, así como las fases de transición entre uno y otro tipo de ecosistemas. En base a la distribución de estas asociaciones a lo largo del sondeo, se puede inferir la alternancia entre episodios regresivos y transgresivos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Agencia Estatal de Investigación (AEI), por su apoyo al proyecto <PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033>.

Referencias

- Bernhard, J. M. y Sen Gupta, B. K. (1999). Foraminifera in Oxygen-Depleted Environments. In: B.K. Sen Gupta (ed.). *Modern Foraminifera*, Kluwer, Dordrecht. Pp. 201-216.
- Mateu-Vicens, G., Khokhlova, A., y Sebastián-Pastor, T. (2014). Epiphytic foraminiferal indices as bioindicators in Mediterranean seagrass meadows. *Journal of Foraminiferal Research*, 44(3), 325-339.
- Murray, J. (2006). *Ecology and applications of benthic foraminifera*. Cambridge Univ. Press. 426 pp.

Depósitos de tormenta en una playa de gravas y cantos encajada en la desembocadura de un cañón cárstico (Torrent de Pareis, Mallorca)

Storm deposits in a gravel and boulder pocket beach at the mouth of a karstic canyon (Torrent de Pareis, Mallorca)

L. GÓMEZ-PUJOL¹, A. FERNÁNDEZ-MORA², P. BALAGUER², J. J. FORNÓS¹ y A. ORFILA³

1. Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. lgomez-pujol@uib.cat
2. Sistema de Observación y Predicción Costero de las Illes Balears (ICTS SOCIB, MICINN-CSIC-CAIB)
3. IMEDEA (CSIC-UIB)

Resumen: El Torrent de Pareis, uno de los principales cañones cársticos de la Serra de Tramuntana (NW de Mallorca, Illes Balears), cuenta con una cuenca de 46,5 km² y cubre un desnivel de 627 m. En su tramo final el fondo del cañón adquiere una morfología llana que permite la formación de varias lagunas someras separadas de la ensenada de Sa Calobra por una restinga de gravas y cantos de 70 m de ancho y altura de 2,35 m s.n.m. La playa, de apenas 20 metros de longitud y flanqueada por paredes verticales de 30 m de altura, se encuentra expuesta a los escasos pero energéticos temporales de Tramontana y de Mistral. Tras la acción de los mismos pueden apreciarse sobre la restinga diversos depósitos a diferentes cotas topográficas, a modo de cordón, que están formados por arenas gruesas y gravas terrígenas y una participación menor de bioclastos; así como depósitos digitados de derrame sobre la parte interna de la restinga. El presente trabajo caracteriza la sedimentología de dichos depósitos y los compara con los sedimentos costeros de la ensenada, así como con los de la zona húmeda y con los fluviales de la parte interna del cañón. **Palabras clave:** playas de cantos, depósitos de tormenta, temporal, cañón cárstico, Mallorca.

Abstract: *The Torrent de Pareis, one of the main karstic canyons of the Serra de Tramuntana (NW of Mallorca), has a basin of 46.5 km² and covers a drop of 627 m. Close to the canyon mouth, it acquires a flat morphology that hosts several shallow lagoons separated from the Sa Calobra cove by a gravels and pebbles barrier 70 m wide that reaches 2.35 m above sea level. The beach, 20 meters long and flanked by vertical walls 30 m in height, is exposed to the scarce but energetic Tramontana and Mistral storms. After storms, characteristic amphitheater-like cor-*

dons, constituted by coarse sand and terrigenous gravel and a smaller participation of bioclasts can be identified on the barrier at different topographical levels; as well as, overwash finger-like deposits on the inner part of the barrier. The present work characterizes the sedimentology of these deposits and compares them with the coastal sediments of the cove, as well as with those of the humid zone and the fluvial ones of the inner part of the canyon.

Keywords: gravel beach, storm deposits, sea storm, karstic canyon, Mallorca.

1. Introducción y aproximación metodológica

El estudio morfodinámico y sedimentológico de las playas encajadas está sesgado en favor de las playas arenosas. Son pocos los estudios a propósito de playas de gravas y bloques en marcos fisiográficos altamente encajados como corresponde a la desembocadura de un cañón cárstico. En este sentido el objetivo del presente trabajo es caracterizar la sedimentología de la playa de gravas y cantos (Platja d'en Vidal), de la desembocadura del Torrent de Pareis (NW Mallorca), con especial atención a los depósitos de tormenta y los depósitos de derrame asociados.

El Torrent de Pareis, uno de los principales cañones cársticos de la Serra de Tramuntana (NW de Mallorca), cuenta con una cuenca de 46,5 km² y drena un importante sector de los relieves septentrionales de la isla. Cubre un desnivel de 627 m y en su tramo final el fondo del cañón adquiere una morfología llana que permite la formación de varias lagunas someras separadas de la ensenada de Sa Calobra por una restinga de gravas y cantos de 70 m de ancho y altura de 2,35 m s.n.m (Figura 1a). La restinga de la Platja d'en Vidal tiene un perfil asimétrico. El sector terrestre presenta un segmento rectilíneo de pendiente acusada (14 %), ligeramente cóncavo en su base; mientras que el sector costero se caracteriza por dos tramos cóncavos, uno desde el nivel del mar hasta 1 m de altura (19 %) donde alcanza un rellano de 8 m de ancho y del que arranca otro segmento cóncavo (24 %) hasta la cresta de la restinga. La restinga está formada por gravas y cantos de calizas jurásicas. La playa, de apenas 20 m de longitud y flanqueada por paredes verticales de 30 m de altura, se encuentra expuesta a los escasos pero energéticos temporales de Tramontana y de Mistral. Tras la acción de los mismos pueden apreciarse sobre la restinga diversos depósitos a diferentes cotas topográficas, a modo de cordón, que están formados por arenas gruesas y gravas terrígenas y una participación menor de bioclastos (Figura 1b).

Como parte de un estudio batimétrico y sedimentológico más amplio de Sa Calobra, entre el 26 y 27 de enero de 2022 se caracterizó el perfil topográfico y los sedimentos costeros de la Platja d'en Vidal. El muestreo se desarrolló tras la acción de cuatro importantes temporales procedentes del segundo cuadrante, que alcan-

zaron 5,77 m de H_s en octubre de 2021, 4,79 m en diciembre de 2021, 4,04 m el 5 de enero de 2022 y 2,91 m el 22 de enero de 2022. De los cuatro temporales citados, los tres primeros fueron más energéticos, no sólo por la altura de ola alcanzada, sino por su duración ya que, al menos, durante 3 días seguidos la H_s alcanzó como mínimo 2 m. Como producto de dichos eventos se identifican sobre el perfil de la restinga 6 cinturones de depósitos de tormenta, a diferentes cotas topográficas, cuya morfología se caracteriza por un cordón que oscila de 12 a 27 cm de ancho en función de la altura, pero que en planta todos tienen una disposición en anfiteatro (Figura 1c). Sobre el sector interno de la restinga se observaron unas acumulaciones digitadas de color y calibre parecido a las de los cordones anteriormente citados (Figura 1d).

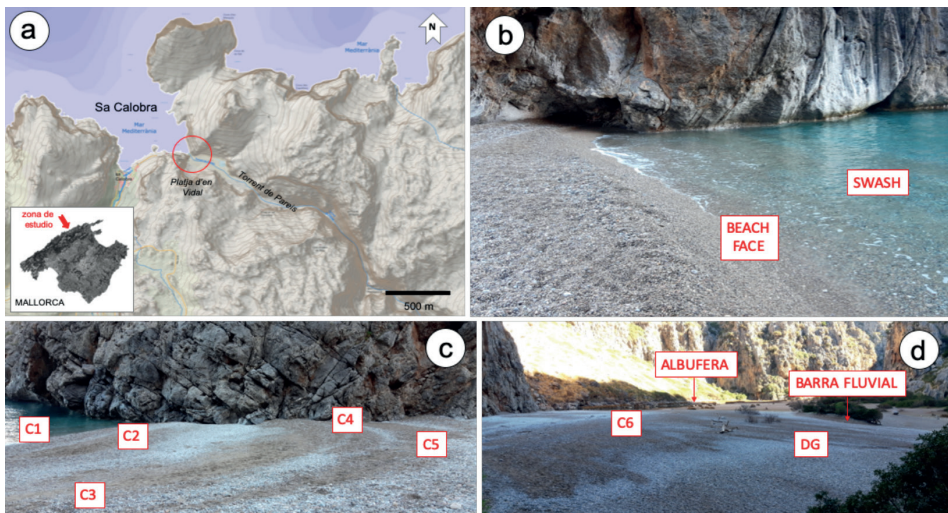


Figura 1. Localización zona de estudio y ubicación de las muestras de sedimento. a) Mapa de situación; b) Frente de playa donde se aprecia en la zona sumergida la presencia de franjas paralelas de material más fino y oscuro, sobre las gravas y cantos más gruesos de color más claro; c) disposición en anfiteatro de los cordones de depósitos de tormenta; d) depósitos digitados de tormenta en la contrapendiente interior de la restinga.

Para la caracterización de los depósitos de tormenta, a lo largo de un perfil perpendicular a la línea de costa, se han tomado un mínimo de 2 kg de muestra para cada uno de los cordones, el depósito digitado, el frente de playa y la zona de rotura. Del mismo modo también se ha muestreado el sedimento de la restinga que

precedía a cada uno de los cordones, así como de las barras y terrazas fluviales más cercanas o de la albufera interna. Se ha procedido a su caracterización granulométrica y cálculo de los parámetros granulométricos mediante el método de Folk y Ward.

2. Resultados y conclusiones

La caracterización granulométrica del sedimento de la Platja d'en Vidal, pone de manifiesto que la restinga está formada principalmente por calibres correspondientes a las gravas medias (-3 a -4 phi), las muestras suelen presentar una buena clasificación (0,32 a 0,77), aunque pueden encontrarse algunos cantos con ejes máximos de 7 a 20 cm. El sector central de la restinga presenta unas gravas más gruesas que las de la línea de costa o las de la cresta de la misma (calibre medio de -3,1 vs -3,48 phi). Todos ellos calcáreos y correspondientes a las calizas jurásicas que afloran a lo largo del curso del cañón cárstico. Los clastos mayoritariamente son isométricos y esféricos, lo que apunta a su origen fluvial. Aunque en menor abundancia, también los hay aplanados, testimoniando el efecto de los agentes costeros. En el frente de playa aparecen gravas finas moderadamente bien clasificadas (-2,94 phi) y en la zona de rotura se pueden apreciar unos *ripples* formados por gravas muy finas arenosas (-0,94 phi), poco clasificadas (Figura 1b), en los que junto con los litoclastos de naturaleza jurásica también hay abundantes bioclastos (fragmentos de bivalvos y gasterópodos). Superpuestos a la morfología y a los sedimentos de la restinga, aparecen seis cordones de gravas finas o muy finas arenosas (-0,91 a -1,86 phi), con una clasificación pobre, cuya composición y forma de granos es muy similar al sedimento de la zona de rotura (Figura 1c). La fracción arena y los bioclastos contribuyen a dar una coloración ocre al sedimento que contrasta sobre el gris de las calizas jurásicas (Figura 2). Todo ello ayuda a interpretar dichos depósitos como depósitos de tormenta, lo que también se ratifica por la presencia de formaciones del mismo tipo de sedimento sobre la contrapendiente interna de la restinga, aunque adoptando una morfología típica de lóbulos de derrame de planta digitada (Figura 1d).

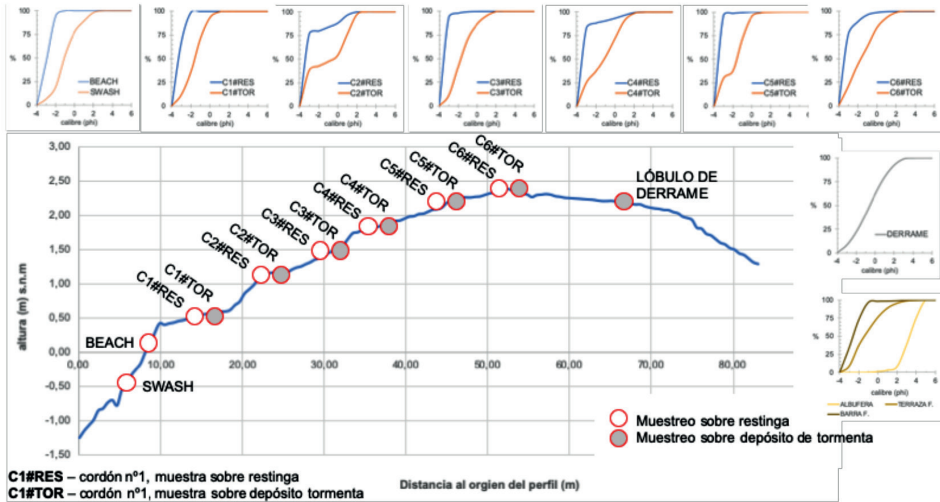


Figura 2. Diferencias entre la textura y propiedades de los depósitos de tormenta, playa y de los ambientes sedimentarios del cañón cárstico a lo largo de un transecto perpendicular a la restinga.

Agradecimientos

El presente trabajo es una contribución a los proyectos financiados por la Agencia Estatal de Investigación (AEI), PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033 y RTI2018-093941-B-C31.

Salinas en costas rocosas: uso y modificación del karren litoral para la producción de sal en Menorca (Illes Balears)

Salinas at rocky coasts: use and modification of coastal karren for traditional salt production at Menorca (Balearic Islands)

F. X. ROIG-MUNAR^{1,2}, V. FORTEZA³ y L. GÓMEZ-PUJOL²

1. *Investigador independiente y Consultor Ambiental. Menorca, Illes Balears*

xiscoroig@gmail.com

2. *Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears*

lgomez-pujol@uib.cat

3. *Parc Natural de ses Salines d'Eivissa i Formentera*

vfortesa@gmail.com

Resumen: En el micromodelado de las costas rocosas bajas y en las crestas de los acantilados medios del sur de Menorca, se encuentran conjuntos de karren litoral que bien directamente, bien modificando algunas morfologías o incluso generando pozas de forma artificial, han sido explotados, como mínimo desde el siglo XVI, para la producción de sal. El presente trabajo identifica los factores de localización y los controles fisiográficos y morfológicos que explican la implantación de las salinas; se abordan las prácticas de fragmentación y regulación de las pozas litorales; así como se revisan diferentes fuentes históricas que dan cuenta de la importancia de esta actividad de explotación de las costas rocosas hasta finales del siglo XIX.

Palabras clave: costas rocosas, karren litoral, salinas etnomorfología, Menorca.

Abstract: Coastal karren assemblages at the low and medium cliffy coast of Southern Menorca, exhibit evidences of historical human modifications for the production of salt, at least since S. XVI. The present work addresses the location factors and the physiographic and morphological controls that explain the implantation of the salinas; the practices of fragmentation and regulation of coastal pools and the process for obtaining salt. Historical sources that account for the importance of this exploitation activity of the rocky coasts are reviewed until the end of the 19th century.

Keywords: rocky coasts, karren litoral, salines, ethnogeomorphology, Menorca.

1. Las salinas en las costas rocosas: distribución y factores de localización

El dominio meridional de la isla de Menorca (Illes Balears, Mediterráneo Occidental) está formado por materiales tabulares postorogénicos, calcarenitas y calcilitas, del Mioceno superior (Fornós y Obrador, 2003). Sobre dichos materiales se recorta una costa, con un marcado control estructural, que en su sector central se caracteriza por acantilados medios (10 a 25 m) y bajos (< 10 m), mientras que en sus sectores septentrional y oriental, éstos son más modestos. Sobre el perfil de dichos acantilados y sus diferentes resaltes se instala un complejo micromodelado exocárstico en el que participan tanto formas de planta circular (cubetas y/o pilancones) como formas lineales (canales, *rillestein*, *microrills*) o elementos ruiformes (pináculos).

Gómez-Pujol y Fornós (2004) caracterizaron la sucesión de dichas formas a lo largo del perfil de costa en función del gradiente hidrodinámico y la zonación biológica. Tras la plataforma litoral y el notch, se presenta una zona de pináculos a la que sigue un sector de cubetas conectadas que tienden a individualizarse, así como el perfil que avanza hacia tierra. En este último sector característico de la zonación del modelado exocárstico costero, se han detectado en 32 localidades de la costa meridional de la isla con evidencias de uso de las morfologías del *karren litoral* a modo de salinas (Figura 1a y b).

Las salinas aparecen principalmente sobre el roquedo miocénico, en acantilados compuestos, siendo los más característicos aquéllos que se definen por un cantil que precede a una rasa (44% de las localidades) o bien de una rasa precedida por un acantilado cóncavo (22%). En la zona central del sur de la isla, coincidiendo con los acantilados de mayor altura, apenas hay salinas, excepto cuando eolianitas cuaternarias se adosan a los acantilados verticales cortados en el roquedo mioceno. El 34% de las salinas aparece en la cresta de acantilados con alturas entre los 2 y los 4 m, seguidos en orden de importancia por un 31% de las localidades tras acantilados entre 4 y 8 m. El aporte de agua marina de forma natural a las pozas corresponde a eventos energéticos, siendo los temporales más habituales en este sector costero de 3 a 4 m de Hs. Los rellanos que siguen al segmento vertical o cóncavo de los acantilados, donde aparecen las cubetas y pozas que serán explotadas a modo de salinas, suelen ser bastante anchos. En el 84,4% de los casos superan los 20 m de amplitud.

2. Modificación del micromodelado exocárstico para la producción de sal

Las cubetas del micromodelado exocárstico constituyen balsas naturales para la obtención de sal marina aprovechando que el volumen de agua procedente de los temporales, especialmente en verano, en que se evapora rápidamente propiciando



Figura 1. A y B) Acantilados verticales de 2 a 8 m de altura, seguidos de un rellano de hasta 20 m de ancho con un micromodelado exocárstico bien desarrollado en las que aparecen las explotaciones salineras. C y D) Algunas cubetas están modificadas para favorecer la circulación del agua, bien derruyendo paredes medianeras o conectando cubetas mediante acequias cuando éstas no comparten paredes. E y F) cubetas de evaporación artificiales en el interior de las cubetas de mayores dimensiones o sobre superficies planas en la zona superior del perfil del acantilado para favorecer la evapotranspiración y la acumulación de salmuera.

la acumulación de salmuera (Figura 1b). Para favorecer el proceso se ha observado que en diferentes localidades se modifican las cubetas ampliando sus límites o regularizando la geometría de las pozas, bien derruyendo paredes medianeras para aumentar la superficie de evaporación (Figura 1c), o conectando mediante acequias diferentes pozas para favorecer la acumulación de agua en las más interiores (Figura 1d). También se ha observado en algunas localidades la existencia de puntos de soporte excavados en la roca, para ubicar trípodes con que sujetar poleas con el objeto de aportar agua marina mediante cubos y rellenar las cubetas. Otra práctica habitual cuando las cubetas tienen unas dimensiones de varios metros, es su compartimentación mediante paredes hechas de cal, arcillas y arenas costeras (Figura 1e); o si el roquedo es más lutítico y por tanto las paredes de las cubetas se degradan rápidamente, la construcción mediante la técnica anteriormente citada de cubetas de evaporación artificiales (Figura 1f). Esta práctica también ha sido documentada en costas rocosas acantiladas de Malta (Gauci *et al.* 2017). Las dimensiones medias de las cubetas utilizadas para la producción de sal son de 0,72 m de largo, 0,53 m de ancho y 0,025 m de profundidad.

La cartografía histórica del siglo XVIII atestigua la importancia algunas de estas explotaciones, ya que aparecen cartografiadas y cuentan con su correspondiente descriptor (p.e. Plan of the Town and Harbour of Mahon, de 1744, por P. de Rapin y N. Tindall) y en historias naturales de finales del siglo XIX (p.e. *Die Balearen in Wort und Bild Geschildert* del archiduque Luis Salvador de Austria-Toscana) donde todavía se describe su uso y explotación. A partir de la primera mitad del S.XX, la actividad salinera en costas rocosas mermaría, quedando unas pocas localidades activas que todavía hoy se explotan de forma artesanal y/o para consumo personal.

Referencias

- Fornós, J. J. y Obrador, A. (2003). Geología de Menorca. En: *Introducción a la geografía física de Menorca*. (V.M. Rosselló, J. J. Fornós y L. Gómez-Pujol, eds.). AGE, Universitat de València y SHNB, Palma, 31-38.
- Gauci, R., Schembri, J. A. y Inkpen, R. (2017). Traditional Use of Shore Platforms: A Study of the Artisanal Management of Salinas on the Maltese Islands (Central Mediterranean). *SAGE Open*, April-June 2017, 1-17.
- Gómez-Pujol, L. y Fornós, J. J. (2004). Forma, procesos y zonación en el lapiaz *-karren-*litoral del sur de Menorca, 1: Aproximación morfométrica. En: *Contribuciones Recientes sobre Geomorfología* (G. Benito y A. Díez Herrero, eds.). SEG y CSIC, Madrid, 347-355.

Control estructural, mega bloques y dinámica costera del sector Oia – A Guarda (Pontevedra)

*Structural control, mega boulders, and coastal dynamics in Oia – A Guarda sector
(Pontevedra)*

A. GÓMEZ-PAZO¹ y A. PÉREZ-ALBERTI²

1. AMBIOSOL. Departamento de Xeografía, Facultade de Xeografía e Historia, Univ. de Santiago de Compostela
a.gomez@usc.es

2. AMBIOSOL. Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola, Universidade de Santiago de Compostela
augusto.perez@usc.es

Resumen: Esta investigación analiza la importancia del control estructural en la dinámica de las costas rocosas a partir de la fotointerpretación y realización de campañas de trabajo de campo en las que se midieron megabloques y posibles sectores fuente. Esto permitió diferenciar dos fases de acumulación, una a unos 3 m sobre el nivel del mar actual, y otra más reciente emplazada en el intermareal. En ambos casos el patrón de fracturación dirigió el avance de la meteorización favoreciendo el arranque de los clastos, que presentan tamaños distintos, siendo mayores los más antiguos, que según las dataciones de los depósitos sedimentarios cercanos se podrían situar en el Eemiense (MIS 5 a MIS 2).

Palabras clave: mega bloques, plataformas costeras, geomorfología estructural, Galicia.

Abstract: This study analyzes the structural control relevance in the rocky coast dynamics from photointerpretation and fieldwork surveys, where mega boulders were measured and possible original sectors. This process allowed us to identify two phases of accumulation, a firstly about 3 m above the currently sea level, and other more recently at intertidal level. In both cases the joint pattern led the alteration promoting the breaking up of the clasts, that these have different sizes, being larger the ancient boulders, that in relation to the dating of nearby sedimentary deposits could be placed in the Eemian period (MIS 5 – MIS 2).

Keywords: mega boulders, shore platform, structural Geomorphology, Galicia.

1. Introducción

El papel de la estructura en el desarrollo de la costa ha tenido un gran seguimiento desde el ámbito de la investigación. Este proyecto se centra en la costa sur gallega, un sector eminentemente granítico caracterizado topográficamente por la sucesión de domos y corredores y la presencia de mega bloques desde el nivel superior de la plataforma antigua, posiblemente Eemiense, hasta el nivel de la marea baja actual. En los dos sectores analizados, Pontecelo y Punta de Bazar (Figura 1), se realizó una caracterización de las fases existentes e interpretación del papel estructural en la evolución costera (Pérez-Alberti *et al.*, 2012).

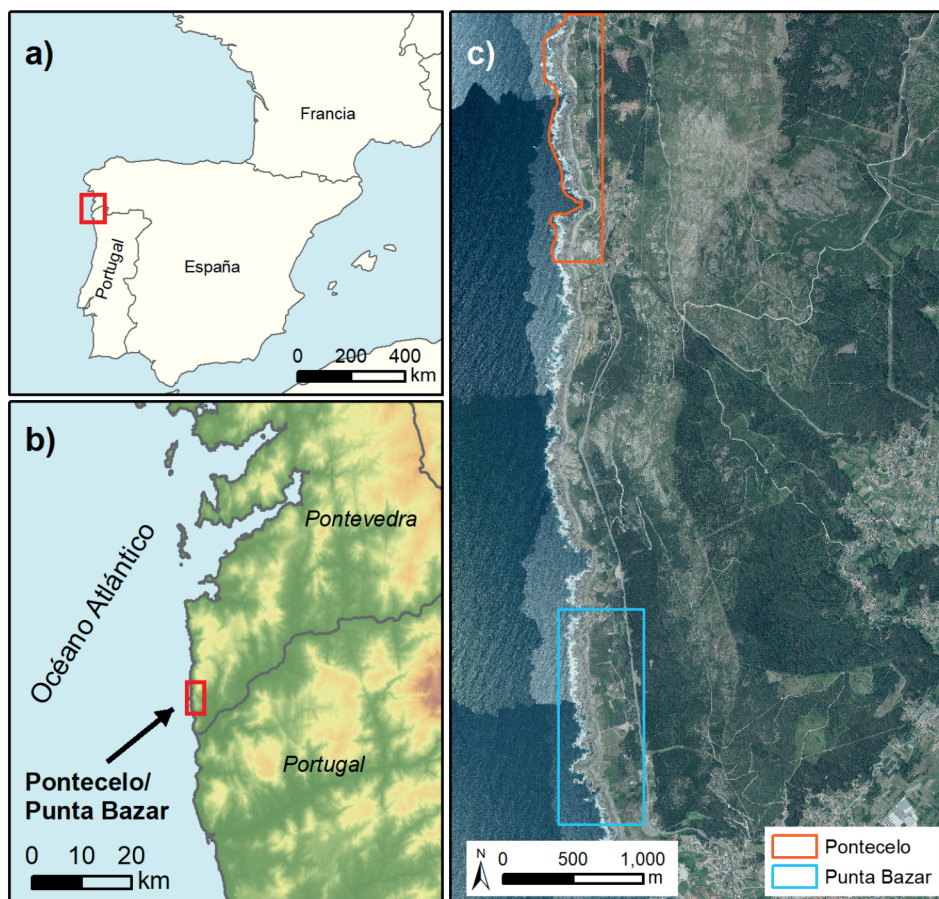


Figura 1. Localización de las zonas de estudio. a) Península Ibérica; b) sur de Galicia; c) detalle de Pontecelo y Punta Bazar. Ortofotografía PNOA, IGN (2022).

2. Metodología

El análisis se llevó a cabo mediante técnicas remotas y de campo. En el primer tipo se realizó la fotointerpretación de la fracturación, así como la caracterización de las geoformas, litologías existentes y microformas singularizadoras: plataformas costeras, acumulación de bloques, diques de pegmatita y canales de meteorización. Por su parte, el trabajo de campo consistió en la medición de 50 bloques, 25 en cada sector, y de la separación entre las fracturas en el caso de Pontecelo, que permiten inducir las áreas fuente de generación de nuevos bloques, así como su tamaño. A partir de esta información se analizó la relación entre las distintas variables, como la posición, el peso o las dimensiones para caracterizar de forma detallada estos sectores.

3. Resultados

Ambos sectores se caracterizan por la ausencia de depósitos sedimentarios de origen fluvio-nival en su parte trasera (este) como puede ser el caso de Oia (Gómez-Pazo *et al.*, 2019), siendo todos los bloques monitorizados consecuencia del desmantelamiento de las rocas del substrato.

Los bloques de Punta Bazar son más grandes y pesados que los de Pontecelo (Tabla 1) con una media de 25,49 t; en este sentido, en la zona de Punta Bazar, su elevación es inferior, con una media de 3,44 m, además de presentar una distribución más semejante (desviación estándar 0,75). El análisis de la correlación entre los distintos elementos medidos muestra una correlación negativa clara entre el eje mayor, y el volumen con respecto a la distancia al mar en el caso de Pontecelo. Esto no se cumple en el caso de Punta de Bazar, donde tan sólo la correlación negativa mantiene valores destacados entre el eje corto y la distancia al mar.

Variable	Pontecelo	Punta Bazar
Masa media (t)	19,18	25,49
Masa mediana (t)	8,67	18,52
Distancia media al mar (m)	34,66	30,76
Elevación media (m)	4,63	3,44
Media Corey Shape Factor (CSF)	0,49	0,45

Tabla 1. Valores de tendencia central de los bloques medidos.

En el análisis realizado a partir de las fracturas actuales y el tamaño de los bloques en Pontecelo se ha observado como las mayores diferencias se encuentran en el eje corto, con una media de 1,06 m en el caso de los bloques, y de 0,62 m para las fracturas. Esto contrasta con lo que pasa en el caso del eje mayor donde los valores son más similares (2,79 m en los bloques medidos y 2,40 m en las fracturas analizadas).

4. Discusión y conclusiones

La evolución de los dos sectores se puede resumir en cuatro pasos, estando los dos primeros marcados por el control estructural, tanto discontinuidades como diques de pegmatitas, lo que favorece (1) la meteorización diferencial de la roca y la (2) individualización del futuro bloque, a posteriori. Por su parte, la llegada de los (3) temporales y su repetición en la zona provoca los (4) arranques de los bloques y su desplazamiento.

Parece clara la presencia de dos fases en la acumulación de bloques, una primera vinculada al período Eemiense (Pérez-Alberti *et al.*, 2018; Gómez-Pazo *et al.*, 2021), que se caracteriza por bloques de mayor tamaño y en posiciones superiores, mientras que los que se mantienen activos en la actualidad aparecen a elevaciones menores y tienen un menor tamaño.

Todo ello nos lleva a considerar la variabilidad de las condiciones climáticas entre ambos momentos y cómo la fuerza de los temporales y el nivel del mar puede afectar a la generación de bloques y su posterior desplazamiento. A su vez, para comprender los desplazamientos de los clastos es preciso tener en cuenta no sólo las condiciones de oleaje, sino también que en el sector se encuentran diversos obstáculos que dificultan el desplazamiento, siendo estos más fáciles en las zonas de menor rugosidad (Pérez-Alberti *et al.*, 2012).

En ambas zonas no se registraron variaciones significativas en la orientación de los bloques de cada fase, lo que indica que, a pesar de las variaciones en la morfología de la zona, la llegada del oleaje movilizador ha sido similar a lo largo de la historia.

Referencias

- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. S., Pires, A., López-Bedoya, J., Chaminé, H. I. y Gomes, A. (2012). The effect of boulders on shore platform development and morphology in Galicia, north west Spain. *Continental Shelf Research*, 48: 122-137. DOI: 10.1016/j.csr.2012.07.014

- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A. y Trenhaile, A. (2019). Recording inter-annual changes on a boulder beach in Galicia, NW Spain using an unmanned aerial vehicle. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(5), 1004-1014. DOI: 10.1002/esp.4549
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., y Trenhaile, A. (2021). High resolution mapping and analysis of shore platform morphology in Galicia, northwestern Spain. *Marine Geology*, 436(March), 106471. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106471>
- Pérez-Alberti, A., Cunha, P. P., y Otero Pérez, X. L. (2018). La terraza costera de Sanxenxo: un registro sedimentario del MIS 5 a MIS 2, en la Ría de Pontevedra (NO de la Península Ibérica). *Atas Do IX Simpósio Da Margem Ibérica Atlântica*, 231-232.

Caracterización de la geomorfología glaciar costera mediante UAV en las bahías Fildes y Almirantazgo (Islas Shetland del Sur)

Characterization of coastal glacial geomorphology using UAV at Fildes Bay and Admiralty Bay (South Shetland Islands)

R. P. MANZOLLI^{1,2}, L. PORTZ^{1,2}, A. FONTÁN-BOUZAS³ y J. ALCÁNTARA-CARRIÓ¹

1. Dept. Geology and Geochemistry. Universidad Autónoma de Madrid
rogerio.manzolli@uam.es; luana.portz@uam.es; javier.alcantara@uam.es
2. Civil and Environmental Department. Universidad de la Costa, Colombia
rportant1@cuc.edu.co; lportz1@cuc.edu.co
3. Centro de Investigación Mariña, Universidad de Vigo. afontan@wigo.es

Resumen: Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) han sido ampliamente documentados como plataformas de vigilancia costera accesibles, de bajo costo y alta resolución. En este trabajo se han cartografiado 13,74 km² de la zona costera de las bahías Fildes y Almirantazgo, mediante 194 vuelos con un Dron Mavic 2 PRO equipado con cámaras RGB. Las fotografías aéreas han sido procesadas en el software PIX4D® para generar los ortomosaicos y los Modelos Digitales del Terreno (MDT). A través del análisis de los ortomosaicos y MDT's fue posible diferenciar áreas con acantilados, abanicos aluvionales, terrazas marinas, playas de cantos y de arena gruesa, áreas con cobertura de musgo, entre otras geoformas. El uso del UAV en el levantamiento de datos de geomorfología glaciar resulta muy útil, llenando el vacío espacial entre los levantamientos terrestres tradicionales y los datos de teledetección aérea. Los UAV presenta un buen rendimiento que reduce el tiempo de adquisición de datos en un entorno extremadamente difícil, donde los periodos de investigación son condicionados por la climatología extrema.

Palabras clave: topografía de playas; Geomorfología costera glaciar; Vehículo aéreo no tripulado; MDT; Morfologías de playas.

Abstract: *Unmanned aerial vehicles (UAVs) have been widely documented as accessible, low-cost, high-resolution coastal monitoring platforms. In this study they have been mapped 13.74 km² of the coastal area of Maxwell and Admiralty bays, by 194 flights with Mavic 2 PRO drone equipped with RGB cameras. The aerial photographs were processed by the software PIX4D® to generate the orthomosaics and the Digital Terrain Models (DTM). Through the analysis of*

the orthomosaics and DTM's it was possible to differentiate areas with cliffs, marine terraces, pebble beaches, coarse sand beaches, areas with moss cover, among other geomorphs. The use of UAV in survey data of glacial geomorphology results really useful, filling the spatial gap between traditional ground surveys and aerial remote sensing data. UAVs perform well in reducing data acquisition time in an extremely difficult environment, where research periods are conditioned by extreme climatology.

Keywords: beach topography; Glacial coastal geomorphology; Unmanned aerial vehicle; DTM's; Beach morphologies.

1. Introducción

La comprensión de los procesos dinámicos en la superficie de la Tierra requiere diversas informaciones espaciales y temporales que ayuden a producir patrones de cambio de forma del terreno. En la última década se ha producido un progreso significativo en las capacidades de mapeo, gracias al desarrollo de los vehículos aéreos no tripulados (UAV), especialmente en la cartografía y monitoreo de áreas de difícil acceso y muy dinámicas. En este sentido, el estudio de la intensa dinámica de los paisajes glaciares y periglaciares requiere el uso de herramientas de monitoreo de alta frecuencia. Los UAVs han sido ampliamente documentados como plataformas de vigilancia costera accesibles, de bajo costo y alta resolución.

En este estudio presentamos una visión general de las aplicaciones y potencialidades en la cartografía geomorfológica de ambientes glaciares costeros utilizando técnicas de fotogrametría con UAV. El área de estudio se encuentra en las bahías Fildes y Almirantazgo de la Isla Rey Jorge, en el Archipiélago de las Shetlands del Sur, al oeste de la región norte de la península antártica (Fig. 1 A y B). Los levantamientos fueron realizados en los veranos australes de los años 2018/2019 y 2019/2020, como parte de las V y VI expediciones del Programa Antártico Colombiano.

2. Metodología

Se cartografiaron 13,74 km² de la zona costera de las bahías Fildes y Almirantazgo (Fig. 1C y 1D) en 194 vuelos con un Dron Mavic 2 PRO equipado con cámara RGB de 24 MP. La altitud de los vuelos fue de 60 m por encima del nivel medio del mar. La cámara fue ajustada a 85° de inclinación en referencia al suelo, con una superposición longitudinal del 80% y lateral del 76%. El plan de vuelo se trazó paralelo a la costa, con el objetivo de inspeccionar el área entre la orilla y las zonas más altas de los acantilados. Las fotografías aéreas fueron procesadas con el software PIX4D®

para generar los ortomosaicos y los Modelos Digitales del Terreno (MDT). El procesado fotogramétrico fue realizado mediante *Structure from Motion - MultiView Stereo* (SfM-MVS). La resolución espacial nominal de la imagen final, expresada en *Ground Sample Distance* (GSD) fue de 0,71 cm-px-1.

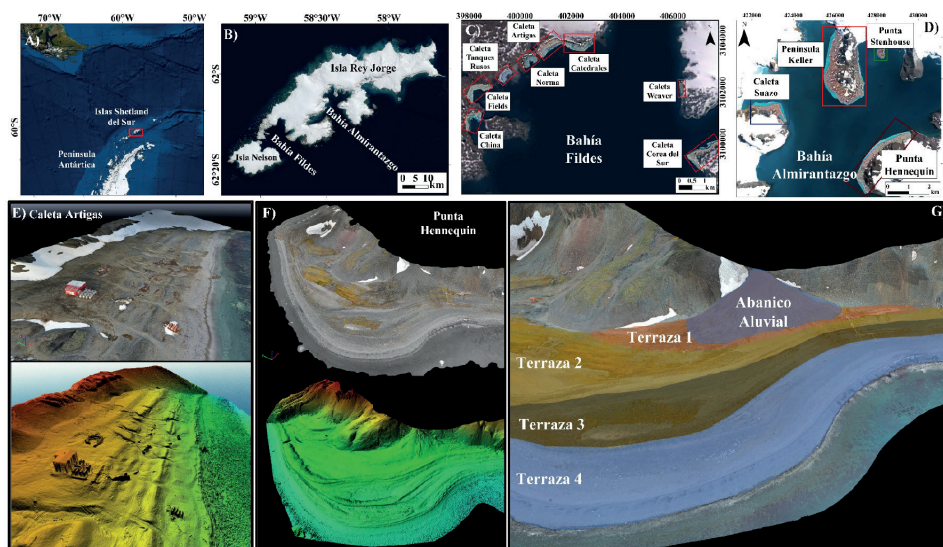


Figura 1. Localización general del área de estudio (A y B) y de las áreas de muestreo en las bahías Fildes (C) y Almirantazgo (D). Imagen en perspectiva de los Modelos digital de Terreno de la Caleta Artigas, Bahía de Fildes (E) y la Punta Hennequin, Bahía Almirantazgo (F) e imagen en perspectiva de la interpretación con las geoformas identificadas en una parte de la Punta Hennequin (G).

3. Resultados y análisis

El análisis de los ortomosaicos y MDT's ha permitido diferenciar áreas con acantilados, abanicos aluviales, terrazas marinas, playas de cantos, playas de arena gruesa y áreas con cobertura de musgo, entre otras geoformas.

En el MDT de la Caleta Artigas se puede observar las líneas de washout y los depósitos de desbordamiento por el deshielo que cortan los niveles de cuatro terrazas marinas (Fig. 1E). Por su parte, en el MDT de la Punta Hennequin destaca la presencia de cuatro terrazas marinas adyacentes a un abanico aluvial (Fig. 1F). Los diferentes niveles de las terrazas marinas son elementos clave del análisis geomor-

fológico, ya que proporcionan información importante sobre las oscilaciones del nivel del mar, los cambios energéticos en los procesos de sedimentación, el balance sedimentario y la geocronología (López-Martínez *et al.*, 2012; Martínez-Martos *et al.*, 2016).

El uso del UAV en el levantamiento de datos de geomorfología glaciar resulta muy útil, llenando el vacío espacial entre los levantamientos terrestres tradicionales y los datos de teledetección aérea. Además, el buen rendimiento de los UAV reduce el tiempo de adquisición de datos en un entorno con condiciones climáticas extremadamente difíciles, donde se reducen los periodos de investigación y el tiempo de trabajo. Los datos generados por el UAV presentan una alta resolución espacial, lo que permite una descripción detallada de las formas geomorfológicas y, por tanto, una mejor comprensión de los procesos geodinámicos. Como posible aplicación futura, cabe indicar que la combinación de datos de UAV con archivos históricos puede permitir una mejor comprensión de los cambios del paisaje en respuesta al cambio climático.

Referencias

- López-Martínez J., Serrano, E., Schmid, T., Mink, S., Linés, C. (2012). Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). *Geomorphology*, 155-156, 62-79.
- Martínez-Martos M., Galindo-Zaldivar, J., Lobo, F. J., Pedrera, A., Ruano, P., López-Chicano, M., Ortega-Sánchez, M. (2016). Buried marine-cut terraces and submerged marine-built terraces: The Carchuna-Calahonda coastal area (southeast Iberian Peninsula). *Geomorphology*, 264, 29-40.

Pendiente, tamaño de sedimento, permeabilidad y herencias en playas de material grueso

Slope, sediment size and permeability and inheritances in coarse grained beaches

R. BLANCO-CHAO, M. COSTA-CASAIS y D. CAJADE-PASCUAL

Dpto. Geografía, Facultad de Geografía e Historia, Universidade de Santiago de Compostela
ramon.blanco@usc.es; manuela.costa@usc.es;
danielcajade.pascual@usc.es

Resumen: En este trabajo se analizan playas de material grueso, con sedimento muy heterométrico con bloques de hasta 102 mm, y una matriz de relleno de gravas y arenas, bajo el que se sitúa un sedimento altamente cohesivo e impermeable, interpretado como continental de origen torrencial. La pendiente de este sedimento coincide con la de las playas, entre 6,5° y 13°, respondiendo, en general, a los modelos propuestos por distintos autores, pese a su escasa permeabilidad. El análisis del sedimento revela la presencia de dos fuentes, y sugiere una dinámica más compleja, dificultando la aplicación de los modelos que relacionan la permeabilidad con la pendiente, así como aquellos que interpretan la pendiente en sedimentos cohesivos como resultado de procesos de abrasión.

Palabras clave: playas de bloques, pendiente de la playa, tamaño de sedimento, Galicia

Abstract: *In this work we analyzed coarse beaches, with very heterometric sediment with clasts up to 102 mm, and a infilling matrix of sand and gravel. These beaches rest above a highly cohesive and impermeable sediment below, interpreted as a continental deposits of torrential origin. The slope of this sediment coincides with that of the beaches, between 6.5° and 13°, generally responding to the models proposed by different authors, despite its low permeability. Sediment analysis reveals the presence of two sources, and suggests a more complex dynamic, making it difficult to apply models that relate sediment permeability to slope, as well as those that interpret slope in cohesive sediments as a result of abrasion processes.*

Keywords: *coarse beaches, beach slope, sediment size, Galicia.*

1. Introducción

La existencia de una correlación positiva entre la pendiente de la playa y el tamaño de sedimento se ha relacionado con el incremento de la conductividad hidráulica y la disimetría entre el flujo de ascenso y descenso de la ola (Masselink y Li, 2001), que se hace efectivo a partir de un tamaño de sedimento entre 1,5 y 2 mm (Bujan *et al.*, 2019). El parámetro de tamaño medio, sin embargo, puede no ser representativo de las propiedades hidráulicas del sedimento, siendo necesario un análisis más detallado de las distintas fracciones, especialmente en playas con distribuciones polimodales (Bujan *et al.*, 2019; Jennings y Shulmeister, 2002).

2. Área de Estudio

El área de estudio es un sector costero orientado hacia el SO en la costa atlántica de Galicia, situado entre el extremo de la margen septentrional de la Ria de Muros y Noia, al sur, y la ensenada de Carnota, al norte. Las playas estudiadas se extienden a lo largo de 1,4 km y se corresponden con las tipologías de Crestas de Bloques (*Boulder Ridges*) y Playas Compuestas (*Composite beaches*) (Carter y Orford, 1993; Jennings y Shulmeister, 2002). El sedimento de arenas, gravas y bloques presenta una potencia de 30-50 cm, bajo el que aflora un sedimento altamente cohesivo, visible en puntos dispersos. Tras la playa se sitúa un depósito tipo torrencial vinculado a un pequeño arroyo.

3. Métodos

Se determinó la posición y elevación de cada punto de muestreo mediante un receptor GNSS RTK. Se elaboró un Modelo Digital de Elevaciones con 0,25 m de píxel a partir de los datos LiDAR del IGN de 2015, del que se obtuvieron las pendientes de las playas, y se calibraron con perfiles obtenidos mediante GNSS. Se midieron los tres ejes de 20 clastos en 7 puntos de muestreo, desde la superficie hasta una profundidad de 25 cm. En cada punto se tomó una muestra de la matriz de gravas y arenas, que se tamizó con una columna de 11 tamices con aperturas entre 0,2 y 16 mm. El contenido en material biogénico se determinó atacando la muestra con HCl al 10%. Se extrajo un testigo de 108 cm de potencia del sedimento cohesivo con una sonda tipo Edelman, que se dividió en 18 secciones de 6 cm. Se describió su estructura, consistencia, poros, contenido en raíces, y color en húmedo y seco utilizando la carta de colores Munsell. El sedimento superior a 0,063 mm se separó

en tres fracciones: gravas (> 2 mm), arenas gruesas (0,25-2 mm) y arenas finas (0,063-0,25 mm), y la fracción inferior se separó en limos gruesos, limos finos y arcillas mediante el método de la pipeta Robinson. Se determinó la permeabilidad del sedimento mediante el método *Water Drop Penetration Time* (WDPT) (Doerr, 1998; Jordán *et al.*, 2009).

4. Resultados

El análisis sedimentario muestra que se trata de playas caracterizadas por material muy grueso en superficie, con tamaños del eje intermedio de los clastos entre 41 y 102 mm, con un relleno o matriz de arenas y gravas con tamaños D50 entre 0,762 y 12,328 mm, y un contenido en tamaños arena entre el 10,8 % y el 79,9 %. Entre el 56 % y el 87 % de las partículas inferiores a 1 mm presentan una morfología redondeada, mientras que todas las de tamaño superior son claramente angulosas. El contenido en biogénicos es muy variable, desde menos del 2 % hasta un máximo de 18.89 %, estando el 98 % de ellos en la fracción inferior a 2,5 mm. La pendiente de las playas se encuentra entre 6,47° y 13,07°, valores coincidentes con lo propuesto por distintos autores de acuerdo al tamaño del sedimento (Bujan *et al.*, 2019) (Figura 1).

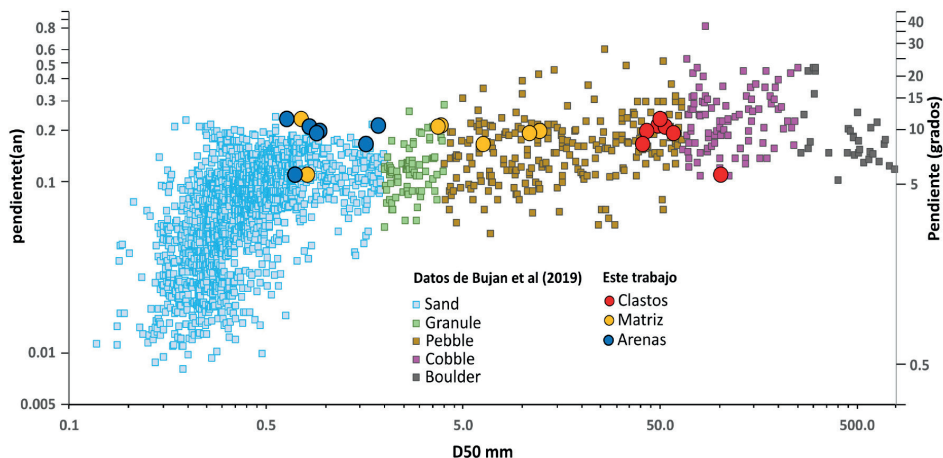


Figura 1. Relación entre pendiente y tamaño del sedimento.

El sedimento situado bajo la playa forma una superficie cohesiva, con un alto contenido en arcillas (22-47 %). La consistencia en húmedo varía entre firme a muy firme, mientras que en seco se observa una transición progresiva de duras a extremadamente duras. Los resultados de WDPT indican que las 8 muestras superiores no son repelentes al agua (WDPT <5), mientras que entre 48-60 cm de profundidad son ligeramente repelentes (WPD 5-60) y severamente repelentes entre 60 y 108 cm (WPD 60-600).

5. Discusión y conclusiones

El efecto de la permeabilidad del sedimento en la pendiente de la playa es efectivo con tamaños de sedimento de más de 1,5 mm, si bien el contenido en arena en las playas de bloques reduce la permeabilidad e igualmente la pendiente de la playa (Carter y Orford, 1984; Jennings y Shulmeister, 2002). Las playas analizadas presentan pendientes ajustadas a lo verificado por numerosos autores, pero es difícil achacarlas a la permeabilidad cuando se trata de una potencia de sedimento escasa y con un elevado contenido en arenas, y cuando además, el sedimento cohesivo y muy impermeable situado bajo ellas presenta la misma pendiente. Mientras las fracciones superiores a 1 mm presentan una morfología angulosa, similar a la del sedimento torrencial, la fracción inferior a 1 mm es un sedimento maduro y bien redondeado, muy diferente al resto de fracciones, lo que junto al elevado contenido en partículas biogénicas, sugiere que se trata de un relleno posterior y procedente de otra fuente de sedimento. Se ha demostrado que las playas de bloques se emplazan sobre un sedimento cohesivo e impermeable. Tanto la playa como el sedimento cohesivo presentan la misma pendiente, un hecho que podría achacarse a la acción abrasiva del sedimento de gravas y arenas. Pero la presencia de dos fuentes de sedimento (continental y litoral) en la matriz de relleno sugieren un primer proceso de modelado de la pendiente en el material cohesivo, y un posterior recubrimiento por la playa de bloques y la formación de un relleno, en el que la fracción arena es claramente de origen litoral.

Referencias

- Bujan, N., Cox, R. y Masselink, G. (2019). From fine sand to boulders: Examining the relationship between beach-face slope and sediment size. *Marine Geology*, 417, 106012.
- Carter, R. W. G. y Orford, J. D. (1984). Coarse clastic barrier beaches: a discussion of the distinctive dynamic and morphosedimentary characteristics. En: *Developments in Sedimentology* (B. Greenwood y R.A. Davis, eds.). Elsevier, Amsterdam, Vol. 39, 377-389.

- Doerr, S.H. (1998). On standardising the “Water Drop Penetration Time” and the “Molarity of an Ethanol Dro-plet” techniques to classify soil water repellency: a case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 663-668.
- Jennings, R. y Shulmeister, J. (2002). A field based classification scheme for gravel beaches. *Marine Geology*, 186 (3-4), 211-228.
- Jordán, A., Zavala, L. M., Nava, A. L. y Alanis, N. (2009). Occurrence and hydrological effects of water repellency in different soil and land use types in Mexican volcanic high-lands. *Catena*, 79, 60-71.
- Masselink, G. y Li, L. (2001). The role of swash infiltration in determining the beachface gradient: a numerical study. *Marine Geology*, 176 (1-4), 139-156.

MÉTODOS Y TÉCNICAS
APLICADAS AL LITORAL

Aplicación del Escáner Láser Terrestre para la evaluación del retroceso del acantilado de la playa de Gerra (Cantabria) durante el periodo 2012-2020

Application of the Terrestrial Laser Scanner for the evaluation of the retreat of the cliff of Gerra beach (Cantabria) during the period 2012-2020

J. J. DE SANJOSÉ BLASCO¹, E. SERRANO CAÑADAS², M. SÁNCHEZ FERNÁNDEZ¹,
M. GÓMEZ LENDE² y A. GÓMEZ GUTIÉRREZ³

1. Instituto de investigación INTERRA. Grupo de investigación NEXUS. Universidad de Extremadura
jjblasco@unex.es; msf@unex.es

2. Grupo de investigación de Patrimonio Natural y Geografía Aplicada PANGEA. Universidad de Valladolid
serrano@fjl.uva.es; manuelglende@hotmail.com

3. Instituto de investigación INTERRA. Grupo Inv. GIGA. Universidad de Extremadura
avgo@unex.es

Resumen: Para analizar el retroceso costero en la playa de Gerra (Cantabria) se ha utilizado la técnica del escáner láser terrestre (TLS). Las mediciones comenzaron en abril del año 2012 y han continuado periódicamente hasta marzo del año 2020, donde se han hecho dos mediciones anuales (otoño y primavera). Con estas dos mediciones anuales es posible determinar las diferencias de volumen de la playa y del frente del talud del acantilado de la playa durante el periodo invernal (octubre-marzo) y el periodo estival (abril-septiembre). También, con el empleo del TLS es posible determinar la evolución de la línea de costa inferior del frente del talud del acantilado de la playa de Gerra, la cual tiene muy poca variación respecto a la línea de costa superior del frente del acantilado. Esto posiblemente sea debido a la particularidad de la línea inferior del acantilado, la cual está compuesta por cantos rodados.

Palabras clave: geomorfología costera, retroceso costero, monitorización, escáner láser terrestre.

Abstract: To analyze the coastal retreat at Gerra beach (Cantabria), the Terrestrial Laser Scanner (TLS) technique has been used. The measurements began in April 2012 and have continued periodically until March 2020, where two annual measurements have been made (autumn and spring). With these two annual measurements it is possible to determine the differences in volume of the beach and the front of the slope of the cliff during the winter period (October-March) and the summer period (April-September). Also, with the use of TLS is possible to determine the

evolution of the lower coastline of the front of the slope of the cliff of the Gerra beach, which has very little variation with respect to the upper coastline of the cliff front. This is possibly due to the particularity of the lower line of the cliff, which is made up of boulders.

Keywords: coastal geomorphology, coastal retreat, monitoring, terrestrial laser scanner.

1. Introducción

Los principales accidentes geográficos de la Costa de Cantabria son los acantilados (77%) con una altura promedio de 20 m a 70 m, que se alternan con playas y pequeños estuarios, ambos con campos de dunas eólicas. El retroceso de la línea de costa y los acantilados en la Costa de Cantabria se producen por los grandes eventos de viento y oleajes (Lorenzo *et al.*, 2007; Flor-Blanco *et al.*, 2015).

Las metodologías más comunes para conocer los cambios en los acantilados y su retroceso han sido el empleo de las fotografías aéreas históricas y los mapas topográficos que abarcan varias épocas. El Escáner Láser Terrestre (TLS) se está aplicando debido al rápido progreso con respecto al rango máximo de escaneo, la resolución espacial y la precisión en los estudios geomáticos. Esta técnica ha permitido evaluar la evolución de los acantilados y playas, e investigar los procesos involucrados (Benumof y Griggs, 1999).



Figura 1. Playa de Gerra y su entorno (Cantabria).

La playa de Gerra ($43^{\circ}24'03''N$; $4^{\circ}21'18''W$) tiene un acantilado que se eleva una altura máxima de 40 m sobre la playa (Figura 1). Los procesos ubicados en el acantilado son pequeñas caídas de rocas y deslizamientos de tierra en pendientes, de manera que el frente inferior del talud del acantilado está compuesto por cantos rodados.

2. Metodología del Escáner Láser Terrestre

Desde la primavera (mayo) del año 2012 hasta la actualidad, se vienen realizando dos mediciones anuales, una observación en primavera (abril-mayo) y otra observación en otoño (octubre-noviembre), lo cual permite obtener información 3D de la playa de Gerra en los periodos anteriores y posteriores a los temporales del invierno en la costa Cantábrica. En cada campaña se realizan seis estaciones de escaneado, donde los puntos medidos en una estación se unen a los puntos tomados desde otra estación con al menos cuatro dianas comunes, obteniéndose más de 250 millones puntos en cada campaña. Con esta cantidad de puntos se generan los Modelos Digitales de Elevaciones (MDEs), para posteriormente calcular la diferencia de los modelos para períodos específicos comparando nubes de puntos sucesivos.

3. Resultados

Una vez realizados los MDEs para el periodo 2012-2020, se genera la representación de nueve perfiles paralelos y separados 25 metros entre ellos y perpendiculares a la línea de costa, y sobre los que se analiza su evolución. Durante el periodo de medición con TLS (2012-2020) se ha comprobado la estabilidad del acantilado, a pesar de la existencia de temporales en la costa Cantábrica. Así, en el invierno del año 2013 hubo cuatro grandes temporales (Flor *et al.*, 2014), y por ello era de esperar que pudiera detectarse grandes cambios entre la medición de noviembre de 2013 y abril de 2014. Pero a pesar de que hubo cambios, no fueron de la magnitud de lo acontecido en otras playas del Cantábrico (de Sanjosé Blasco *et al.*, 2018). Principalmente, la erosión del acantilado es más significativa después del periodo invernal, en las observaciones con TLS de marzo o abril (primavera), y en concreto en los años 2014, 2016 y 2018.

Respecto a la interpretación de la evolución volumétrica invernal y estival de los dieciséis MDEs obtenidos con TLS, se puede indicar que el volumen total acumulado en el área de estudio (playa y acantilado), desde la primavera de 2012 hasta la actualidad (abril de 2020), se aprecia una ganancia de material de 399,66 m³. Es un valor de ganancia muy pequeño, casi despreciable, para un periodo de 8 años. Aunque dependiendo de las campañas puede existir grandes diferencias (ganancias o pérdidas) en la zona de la playa. Así, por ejemplo, entre la primavera de 2016 y otoño de 2016 hubo una ganancia de arena de 3.467,39 m³, y en el caso contrario entre otoño y primavera de 2016 hubo una pérdida de -3.040,04 m³. También se han analizado los valores volumétricos ocurridos por encima de la línea de costa inferior del acantilado, en concreto a 3 metros sobre el Nivel Medio del Mar en

Alicante. A esa altitud se producen pequeños deslizamientos por la influencia del oleaje, sobre todo en épocas de temporales.

La pérdida total de material que se ha producido en la zona del frente del acantilado es de $-3.633,32 \text{ m}^3$ durante el periodo de estudio.

4. Conclusiones

El empleo del TLS ha permitido disponer de datos relevantes y decisivos sobre los ritmos de retroceso y la evolución de la playa y el acantilado de la playa de Gerra para el periodo 2012-2020. Las variaciones de la línea inferior del frente del talud del acantilado de la playa de Gerra son poco significativas con respecto a los retrocesos de otras playas situadas en la costa Cantábrica, posiblemente ello se deba a la existencia de cantos rodados en la zona de la línea inferior del frente del talud del acantilado. Por tanto, la existencia de los cantos rodados resulta ser una solución para contener al retroceso costero de manera natural.

Agradecimientos

La presente publicación ha sido posible gracias a la financiación concedida por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional de la Unión Europea a través de la ayuda de referencia GR21156.

Referencias

- Benumof, B.T. y Griggs, G.B. (1999). The dependence of seacliff erosion rates on cliff material properties and physical processes: San Diego County, California. *Shore and Beach*, 7, 29-41.
- Flor-Blanco, G., Pando, L., Morales, J.A. y Flor, G. (2015). Evolution of beach-dune fields systems following the construction of jetties in estuarine mouths (Cantabrian coast, NW Spain). *Environmental Earth Science*, 73, 1317-1330.
- Flor, G., Flor-Blanco, G. y Flores-Soriano, C. (2014). Cambios ambientales por los temporales de invierno de 2014 en la costa asturiana (NO de España). *Trabajos de Geología*, 34: 97-123. doi.org/10.17811/tdg.34.2014.97-12.
- Lorenzo, F., Alonso, A. y Pagés, J.L. (2007). Erosion and accretion of beach and spit systems in northwest Spain: A response to human activity. *Journal of Coastal Research*, 23, 834-845.

Sanjosé, J. J., Gómez-Lende, M., Sánchez-Fernández, M. y Serrano, E. (2018). Monitoring Retreat of Coastal Sandy Systems Using Geomatics Techniques: Somo Beach (Cantabrian Coast, Spain, 1875–2017). *Remote Sensing*, 10, 1500. doi: 10.3390/rs10091500

La evolución de la línea de costa andaluza y cálculo de tasas de erosión en las playas expuestas para el siglo XXI (2001-2019)

Andalusian shoreline evolution and erosion rates calculation in exposed beaches during the 21st century (2001-2019)

A. PRIETO CAMPOS y J. OJEDA ZÚJAR

*Dpto. de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Sevilla
pcampos@us.es; zujar@us.es*

Resumen: El presente trabajo muestra el comportamiento reciente de las tasas de erosión (2001-2019) para la totalidad de las playas del frente litoral de Andalucía (incluyendo los subperiodos 2001-2011 y 2001-2019). Se han utilizado dos proxies: el límite interno del backshore, de gran utilidad para cálculos de erosión costera a medio-largo plazo; y la marca de agua durante la última pleamar diaria (HWL), para tramos donde la estabilización del frente costero por la presencia de infraestructuras impide la oscilación natural de la línea de costa. Se presentan los resultados preliminares para el primer proxy.

Palabras clave: línea de costa, evolución, tasas de erosión, S.XXI, Andalucía.

Abstract: This paper shows the recent behavior of erosion rates (2001-2019) for the entire Andalusian exposed beaches (including the sub-periods 2001-2011 and 2001-2019). Two proxies have been used: the internal limit of the backshore, which is very useful for mid/long-term coastal erosion calculations; and the water mark of the daily high tide (HWL), for stretches where the stabilization of the coastal front due to the presence of infrastructures prevents the natural oscillation of the coastline. Preliminary results are presented for the first proxy.

Keywords: shoreline, evolution, erosion rates, 21st century, Andalusia.

1. Introducción

El análisis de las tasas de erosión se ha realizado tradicionalmente a través de indicadores de líneas de costa (*proxies*) para el cálculo de tasas de periodos históricos a medio-largo plazo. La elección del *proxy* más adecuado dependerá de las caracte-

rísticas del frente litoral como de la horquilla temporal del análisis planteado (Boak & Turner, 2005; Paris *et al.*, 2013). En los proyectos del Grupo de Investigación de los coautores se han usado dos: el límite interno del *backshore* (ya sea pie de una infraestructura, acantilado, duna o vegetación), usado para la totalidad del área de estudio; y la marca de agua de la última pleamar diaria o *High Water Line*, usado exclusivamente para tramos donde la presencia de infraestructuras impide la libre oscilación de la línea de costa y el uso del primer indicador. Este trabajo muestra los resultados correspondientes al primero de los *proxies*, por su mejor adecuación a los análisis a medio-largo plazo.

2. Metodología

Las fuentes de datos han sido las ortofotografías de 2001-2002 (pancromático), 2010-2011 (color) y 2019 (color), disponibles en IDEAndalucía. Los *proxies* se fotointerpretaron y digitalizaron a escala 1:2.500 mediante el software propietario ArcGis 10. Para el cálculo de las tasas se utilizó la herramienta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). La metodología de obtención, migración a base de datos y explotación ya ha sido publicada por los autores en numerosos artículos y congresos nacionales e internacionales (Fernandez-Nunez *et al.*, 2015; Prieto *et al.*, 2018).

Las tasas se calcularon sobre transectos a una equidistancia de 50 m (15.069 transectos en total), de los cuales el 80 % (12.309 transectos) corresponden a playas expuestas, sumando un total de 250 km de playas en la fachada atlántica y 370 en la mediterránea. Han sido clasificadas como estables aquellas tasas con valores dentro del rango de incertidumbre ($\pm 0,3$ m/año), estimado a partir de los errores acumulados provenientes de la digitalización de las fechas intervinientes en cada período (Prieto Campos, 2017).

3. Resultados

3.1. Globales y por subperíodos

La distribución espacial de los resultados globales tras la aplicación del proxy del *backshore* se muestran en la Figura 1A. La Figura 1B refleja un predominio de los sectores estables (entorno al 75% las playas), aunque este comportamiento suele responder, casi en la mitad de los casos, a causas de origen antrópico ligadas a la “rigidización” del frente costero mediante infraestructuras (muros de contención, paseos marítimos, etc.) que, al impedir la libre oscilación de la línea de costa, aparecen como estables al aplicar el proxy del *backshore*.

En el período global, los sectores erosivos y acumulativos suponen el 15% y el 12% de las playas analizadas, respectivamente. Por subperíodos, hay un ligero incremento de los sectores acumulativos (que pasan del 11% al 13%) y un pequeño decremento de los erosivos, aunque parte de estos (un 1%) pasan a sectores estabilizados por presencia de infraestructuras.

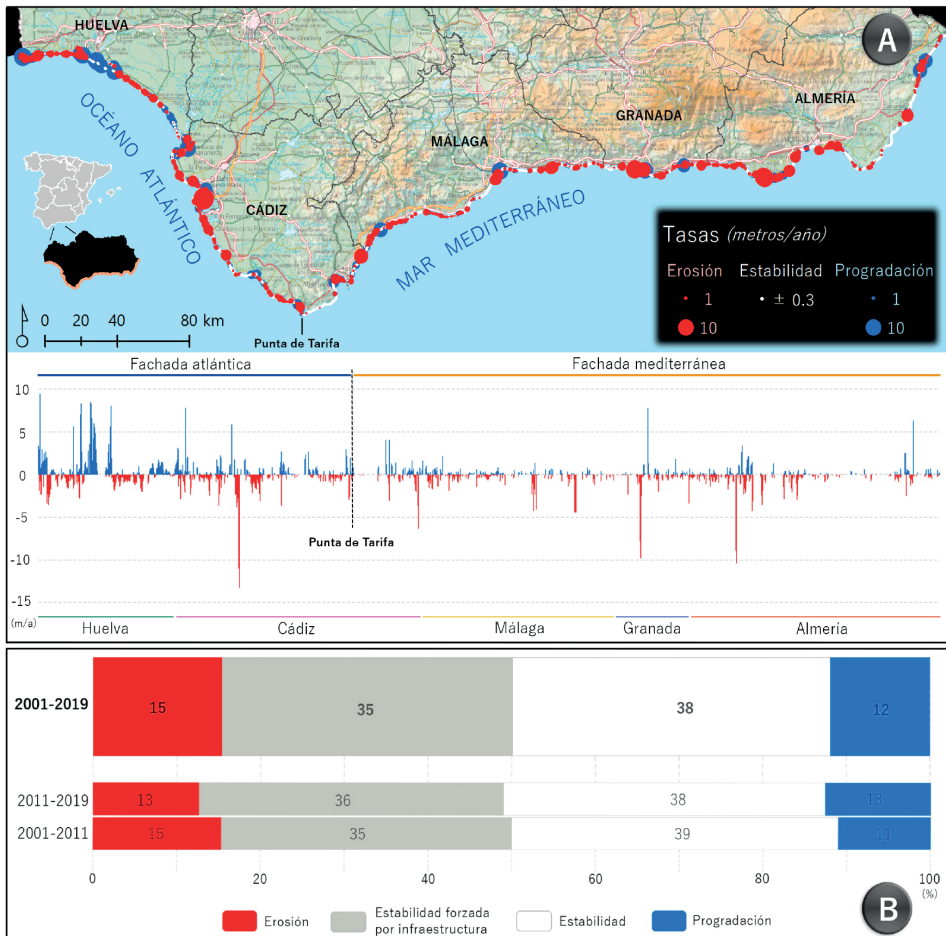


Figura 1. Distribución espacial y porcentual de las tasas de erosión para el período global (2001-2019) y subperíodos (2001-2011 y 2011-2019).

3.2. Por fachada litoral

El análisis por fachadas litorales muestra ciertas diferencias (Figura 2). Se observa un claro predominio de los sectores estables (84%) en la fachada mediterránea, de los cuales el 49% se corresponden con sectores de estabilidad forzada. En la fachada atlántica se observa una disminución de los mismos (un 56%) de los cuales solo el 13% se corresponden con sectores de estabilidad forzada. Por su parte, los sectores erosivos son superiores en ambas fechas a los acumulativos (un 23% la fachada atlántica y un 11% en la mediterránea). Por el contrario, los sectores con tasas positivas suponen un 22% en la atlántica y solo un 6% en la mediterránea. Se constata una mayor intensidad de los procesos acumulativos en la fachada atlántica (1,6 m/año) en relación a la mediterránea (0,9). Por el contrario, la intensidad media de los procesos erosivos muestra un comportamiento contrario (1 m/año para la atlántica y 1,3 para la mediterránea).

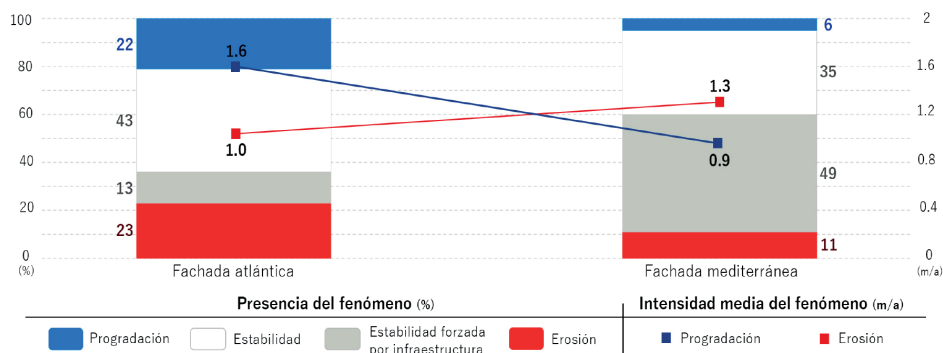


Figura 2. Porcentaje de tendencias para el período global (2001-2019) por fachada litoral.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto “Infraestructuras científicas para la vigilancia y adaptación al cambio global en Andalucía” (INDALO-2), un proyecto del Plan Nacional (PID2019-106834RB-I00) y otro Proyecto Autonómico (P18-FR-2574).

Referencias

- Boak, E. H. & Turner, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research* 21(4): 688-703.
- Fernandez-Nunez, M., Díaz-Cuevas, P., Ojeda, J., Prieto, A., & Sánchez-Carnero, N. (2015). Multipurpose line for mapping coastal information using a data model: the Andalusian coast (Spain). *Journal of coastal conservation*, 19(4): 461-474.
- Paris, P., Starek, M. J., Hardin, E., Kurum, O., Overton, M., & Mitasova, H. (2013). Lines in the sand: Geomorphic and Geospatial characterization and interpretation of sandy shorelines and beaches. *Geography Compass*, 7(5), 315-343.
- Prieto Campos, A. (2017). *Metodología para el cálculo, explotación y difusión de líneas de costa y tasas de erosión a medio plazo (1956-2011) en Andalucía*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, Sevilla, 336 p.
- Prieto-Campos, A., Díaz-Cuevas, P., Fernandez-Nunez, M., & Ojeda-Zújar, J. (2018). Methodology for improving the analysis, interpretation, and geo-visualisation of Erosion Rates in coastal beaches-Andalusia, Southern Spain. *Geosciences* 8(9), 335.

Estudio topobatimétrico de la barra de Las Canteras para el conocimiento de su estructura y evolución geomorfológica

Topobathymetric study of the Las Canteras reef to understand its structure and geomorphological evolution

N. FERRER-VALERO¹, K. SANTANA², O. BERGASA² y L. HERNÁNDEZ-CALVENTO¹

*1. Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
nicolas.fvg@ulpgc.es; luis.hernandez.calvento@ulpgc.es*

*2. Elittoral Estudios de Ingeniería Costera y Oceanográfica SLNE. Las Palmas de Gran Canaria
obergasa@elittoral.es*

Resumen: La ciudad de Las Palmas de Gran Canaria cuenta con una playa natural de arena (Las Canteras) de aproximadamente 3 km de longitud, que está protegida en su mitad norte por un arrecife calcarenítico (conocido como la barra). La playa y la barra de Las Canteras conforman uno de los conjuntos geomorfológicos más valiosos del archipiélago canario, tanto desde el punto de vista ecológico como socioeconómico. La barra ejerce un efecto protector muy eficaz frente al régimen de oleaje del norte, constituyendo una pieza central del equilibrio morfodinámico de este tramo costero. Este trabajo explora la estructura geomorfológica de la barra de Las Canteras mediante un estudio topobatimétrico. Para ello se ha realizado un barrido con ecosonda multi-haz, en el entorno submarino, y con GPS diferencial en la superficie intermareal. Los resultados han permitido, por primera vez, tener una imagen integral de alta resolución de la morfología subaérea y sumergida de la barra de Las Canteras, en base a la cual plantear hipótesis de su configuración original y de los procesos erosivos que la afectan.

Palabras clave: arrecife rocoso, topobatimetría, la barra, playa de Las Canteras, islas Canarias.

Abstract: The city of Las Palmas de Gran Canaria has a natural sandy beach of approximately 3 km (Las Canteras beach) protected in its northern half by a limestone reef ('la barra'). The Las Canteras beach and la barra form one of the most valuable geomorphological ensembles in the Canary archipelago, both from an ecological and socioeconomic point of view. La barra exerts a very effective protective effect against the northerly wave regime, thus being a central piece of the morphodynamic balance of this coastal stretch. This work explores the geomorphological

structure of the barra de Las Canteras thought a high-resolution topobathymetric study. For this purposes a sweep with a multibeam echo sounder, in the underwater environment, and with differential GPS, on the intertidal surface, has been carried out. The results show, for the first time, a comprehensive high-resolution image of the subaerial and submerged morphology of the barra, based on which hypothesize its original configuration and the erosive processes that affect it.

Keywords: rocky reef, topobathymetry, la barra, Las Canteras beach, Canary Islands.

1. Introducción: la barra de Las Canteras

La ciudad de Las Palmas de Gran Canaria cuenta con uno de los conjuntos geomorfológicos más valiosos del archipiélago canario desde el punto de vista social, turístico y ecológico. Está compuesto de una playa arenosa de aproximadamente 3 km de longitud y de un arrecife rocoso natural (la barra), que se extiende en paralelo a la orilla, a unos 200 m de la playa. La barra constituye un banco calcarenítico de tipo beachrock con laminaciones suavemente inclinadas hacia el mar, asociado a un ambiente de sedimentación costero en el estadio isotópico 5e, hace ~110.000 años (Torrado y Mangas, 1994; Alonso, 2005). Se encuentra fraccionada longitudinalmente en 6 tramos. El mayor de ellos recibe el nombre de barra grande. Tiene 800 m de longitud y 80 m de anchura media en bajamar (Figura 1).

Este sector litoral se encuentra sometido a un régimen marítimo de una energía media significativamente elevada (Alonso y Vilas, 1996). En este contexto, la barra ejerce un efecto protector frente al oleaje que es esencial para la regulación del transporte sedimentario y el mantenimiento del equilibrio morfodinámico de la playa de Las Canteras. Este trabajo aborda la realización del primer estudio topobatimétrico de alta resolución de la barra de Las Canteras, con el fin obtener una imagen integral de su estructura sumergida y subaérea que permita evaluar los procesos erosivos históricos y actuales.

2. Levantamiento topobatimétrico

La topografía de la superficie intermareal se realizó con un instrumento GNSS Topcon modelo HiperV con correcciones cinemáticas satelitales en tiempo real (RTK) mediante el servicio de Estaciones Permanentes de GRAFCAN. Del proceso se obtuvieron ~70 mil cotas topográficas a una precisión horizontal de $10\text{mm} \pm 1 \text{ ppm}$ y vertical de $15\text{mm} \pm 1 \text{ ppm}$. Las profundidades submareales se obtuvieron mediante una ecosonda multihaz NORBIT iWBMS a bordo de una embarcación ligera. El

sistema de adquisición lo completan un perfilador Valeport Swift-plus, sensores de movimiento inercial Applanix Wavemaster y un sistema de navegación Applanix de tecnología Trimble®. La sincronización de los datos instrumentales se llevó a cabo mediante un programa HYSWEEP y el procesado mediante el software MBMAX de Hypack®. Del proceso se obtuvieron más de 1 millón de cotas batimétricas, integradas con los puntos topográficos en el software ArcGIS® para generar un modelo digital continuo de elevaciones y profundidades (topobatimétrico) de 50 cm de resolución horizontal.

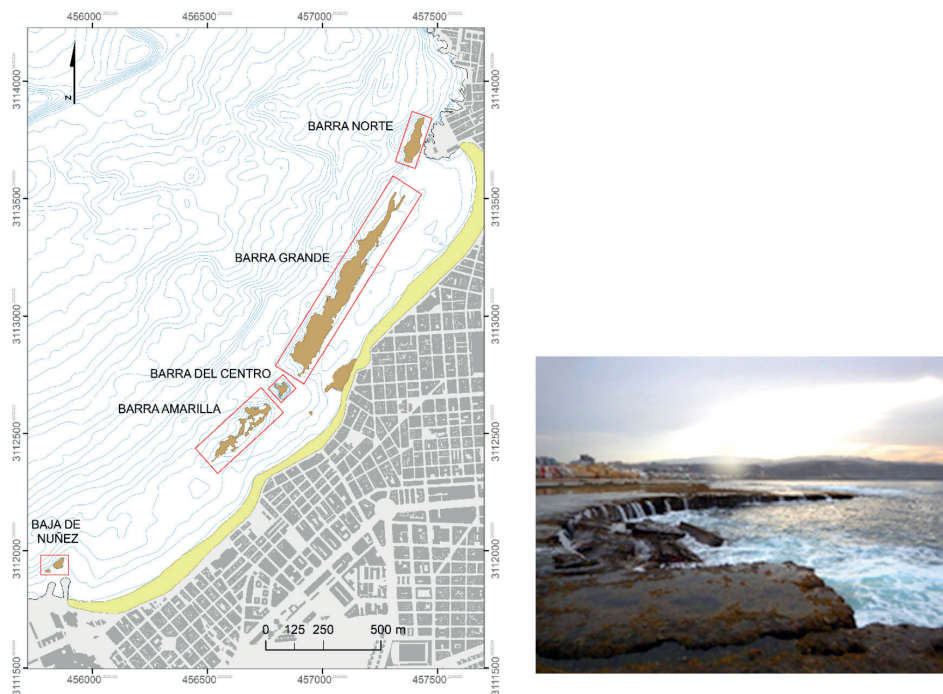


Figura 1. Mapa de la barra de Las Canteras en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (islas Canarias) y fotografías de la barra grande desde la superficie de coronación.

3. Resultados y conclusiones

La topobatimetría obtenida abarca la superficie emergida de la barra grande y su entorno sumergido en un radio de 200 metros (Figura 2). La mayor parte de la superficie intermareal se desarrolla entre las cotas -0,5 y 0 msnm y tiene una incli-

nación de $\sim 1^\circ$ a NO. A 1 metro de profundidad termina abruptamente en un escarpe exterior de hasta 6 m de altura, o desciende gradualmente en rampa de 2° - 3° , hasta una profundidad de 3 m, donde enlaza con el fondo marino exterior mediante un escarpe de 2-3 m. A partir de aquí se desarrolla una plataforma submarina de baja pendiente ($\sim 1^\circ$) a NO con una destacada rugosidad superficial. Esta rugosidad se debe a la existencia de una cubierta de bloques de mediano y gran tamaño diseminados de forma caótica por el fondo. El modelo muestra además cuatro retazos rocosos en la plataforma sumergida, con superficies planas ligeramente inclinadas a NO, y situadas a profundidades coincidentes con la proyección teórica de la rampa exterior de la *barra*. Los campos de bloques y los remanentes erosivos sumergidos encontrados podrían ser marcadores de la extensión original de la *barra*, siendo indicativos de la erosión que ha experimentado la estructura (Figura 2).

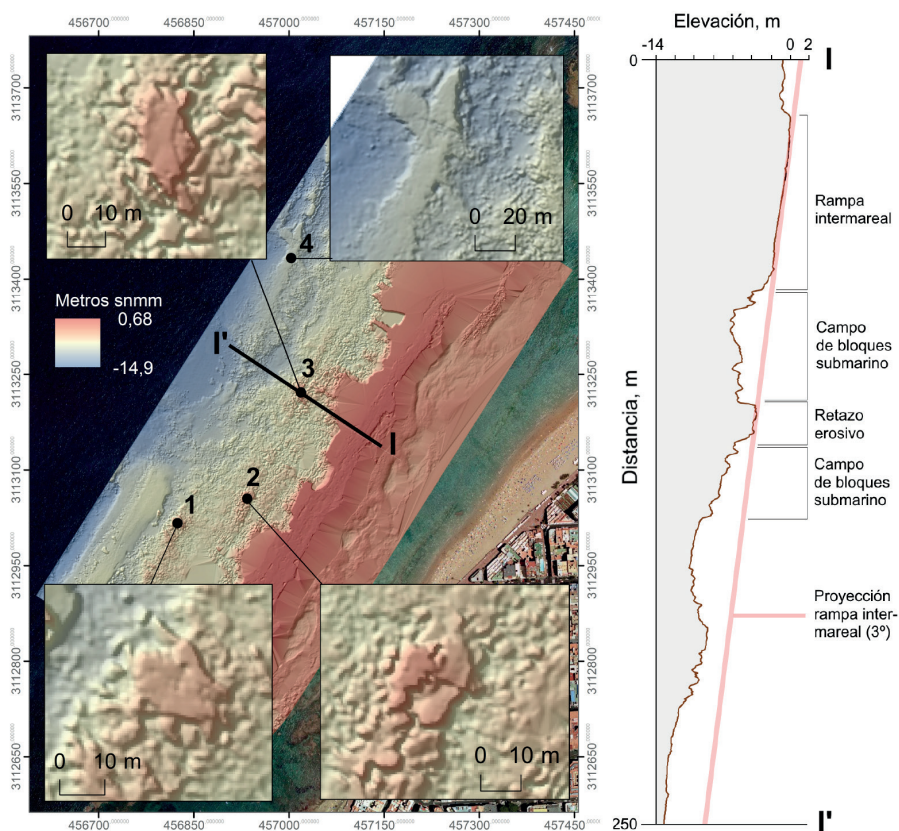


Figura 2. Modelo topobatimétrico de la barra de Las Canteras (Barra Grande y su entorno).

Referencias

- Alonso, I., Vilas, F. (1996). Variabilidad sedimentaria en la playa de Las Canteras (Gran Canaria). *Geogaceta*, 20(2), 428-430.
- Alonso Bilbao, I. (2005). Costa norte: playa de Las Canteras. En, Hernández Calvento, L., Alonso Bilbao, I., Mangas Viñuela, J. y Yanes Luque, A. (Eds.), *Tendencias actuales en Geomorfología Litoral*, pp. 219-238.
- Pérez-Torrado, F. J., y Mangas, J. (1994). Origen y evolución geológica de la barra de Las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria). *Vector Plus*, 1, 4-13.

ODSAS, aproximación a una herramienta *open source* para la estimación de las variaciones costeras

ODSAS, approach to an open-source tool to estimate the coastal variations

A. GÓMEZ-PAZO¹ y A. PAYO²

1. AMBIOSOL. Departamento de Xeografía, Universidade de Santiago de Compostela

a.gomez@usc.es

2. British Geological Survey, Nottingham. agarcia@bgs.ac.uk

Resumen: El estudio de las variaciones costeras ha tenido históricamente una gran importancia en el ámbito de los estudios litorales. Este trabajo analiza la idoneidad del uso de ODSAS (Open Digital Shoreline Analysis System), una herramienta *open source* para la estimación de las variaciones costeras, en relación con el DSAS (Digital Shoreline Analysis System), el software más empleado para este tipo de estudios, el cual necesita de licencias comerciales. En un pequeño sector de la costa norte gallega se analizaron las variaciones entre 2010 y 2020 con ambos métodos para poner en relación los resultados obtenidos y los tiempos de adquisición en cada caso. Siendo los valores de variación semejante con ambos métodos y mostrándose ODSAS más ágil en el procesado, aunque requiere mayores conocimientos previos.

Palabras clave: variaciones costeras, ODSAS, *open source*, R.

Abstract: *Coastal variation analysis had historically a great relevance in the littoral studies. This study analyzes the suitability of the use of ODSAS (Open Digital Shoreline Analysis System), an open-source tool to analyze the coastal variation, in relation to DSAS (Digital Shoreline Analysis System), the most used software in this type of studies, which requires commercial licenses. The variations were analyzed in a small sector of north Galicia coast between 2010 and 2020 using both methodologies to relate the results and the process times. Variation values were similar in both methods, but the ODSAS process was more agile, although it requires an extra previous knowledge.*

Keywords: *coastal variations, ODSAS, open-source, R.*

1. Introducción

Las zonas costeras han mostrado históricamente un gran interés para el establecimiento de ciudades e industrias. Esto ha llevado a que desde el ámbito de la investigación se haya prestado un especial interés a la evolución litoral, tratando de cuantificar las dinámicas y predecir las posibles modificaciones. En este sentido la presente investigación se centra en la metodología ODSAS (Open Digital Shoreline Analysis System) (Gómez-Pazo *et al.*, 2022; Paz-Delgado *et al.*, 2022) como alternativa al uso de DSAS (Digital Shoreline Analysis System) (Himmelstoss *et al.*, 2018). Esta comparativa hace hincapié en las posibilidades del software libre en los estudios costeros, comparando los tiempos y resultados obtenidos con cada herramienta en un pequeño sector de la costa gallega.

El sector de Pantín (A Coruña) abarca 6 km de costa, siendo la zona sedimentaria la dominante (Figura 1). El oleaje llega principalmente desde el NW con una altura media de ola de 2,05 m, concentrándose los eventos más energéticos en el invierno.

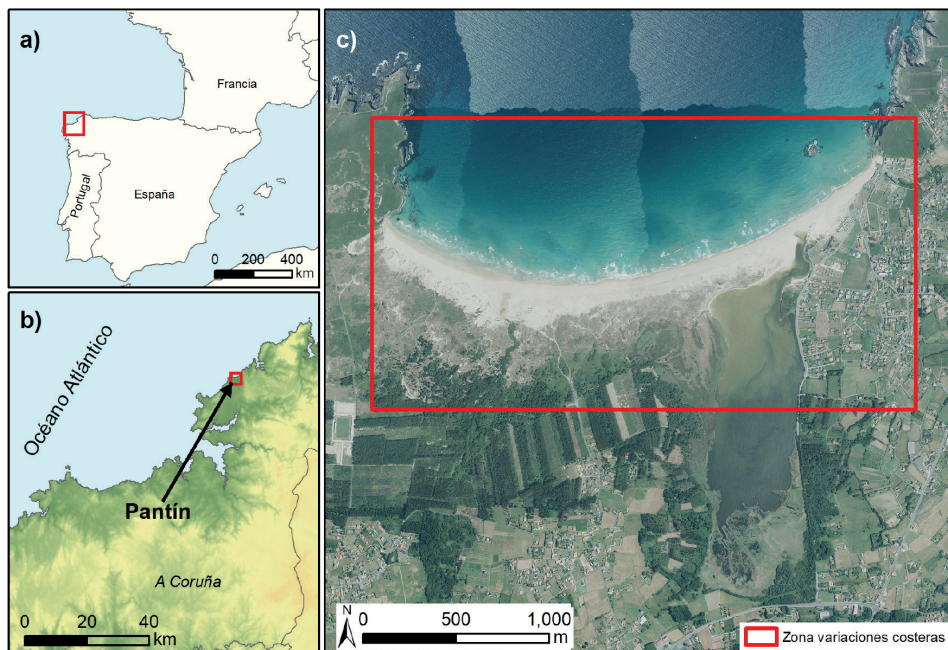


Figura 1. Localización en: a) Península Ibérica; b) A Coruña; y c) zona analizada.

2. Metodología

En el sector analizado se trazaron las líneas de costa de 2010, 2014, 2017 y 2020 a partir de las imágenes del PNOA (IGN) a una escala 1:800 y seleccionando como indicador la vegetación en el sector sedimentario y el *cliff top* en las zonas acantiladas. A su vez, la *baseline* se generó artificialmente siguiendo el trazado de las líneas de costa y se situó en la parte marina. Los parámetros estadísticos analizados han sido los descritos en Gómez-Pazo *et al.* (2022).

En DSAS se siguió el proceso indicado por los autores trazando transectos automáticamente cada 5 m, con un suavizado de 2,5 m. Estas líneas no se modificaron y sólo se eliminaron las que se correspondían con sectores artificiales.

En ODSAS a partir de CliffMetrics y ProfileCrossings (SAGA GIS) se hallaron los puntos de intersección entre las líneas de costa y los transectos con una resolución definida de 5 m. A partir de esta información los puntos se procesaron con CoastCR ejecutando la función *Coastline Variations*.

3. Resultados

El empleo de ODSAS permite al usuario incorporar de forma implícita la resolución del estudio, al emplear un método que combina los vectores con el ráster para la definición del punto de inicio de los transectos y su orientación, a diferencia de otras alternativas como DSAS en los que se emplea sólo información vectorial. Esta diferencia en el proceso gana importancia en los tramos acantilados, donde existe una mayor variación en la orientación entre los transectos de ODSAS y DSAS. En términos generales ambas alternativas mostraron un retroceso claro del sector de Pantín en los últimos 10 años, con una erosión media superior a 0,30 m año⁻¹ (Tabla 1), ascendiendo este valor en la zona sedimentaria hasta los 0,54 m año⁻¹. Precisamente la parte oriental del sector sedimentario es la que presentó las mayores variaciones, con retrocesos de hasta 17 m, se trata del sector donde el oleaje llega de una forma más directa durante los temporales, lo que permite una evolución más acelerada.

Parámetro	NSM (m)	EPR (m año ⁻¹)	WLR (m año ⁻¹)	SCE (m)
DSAS	-3,80	-0,37	-0,42	9,62
ODSAS	-3,70	-0,36	-0,42	8,93
Ratio	0,97	0,97	1,00	0,93

Tabla 1. Tasas de variación y ratio calculado entre el valor de ODSAS y DSAS.

4. Discusión y conclusiones

La aproximación a la creación de los transectos de ODSAS permite al usuario un mayor control sobre la posición de los transectos en los que se realizan las estimaciones. Además, esta alternativa tiene un gran interés en el contexto actual en el que se tiende hacia la generación de herramientas de código abierto, favoreciendo así su empleo y tratar de mejorar el conocimiento. Como se ha mencionado, y se puede observar en la Tabla 1, a nivel general las estimaciones entre ambos métodos son semejantes, con ratios siempre superiores a 0,93. Además, este valor aumenta hasta un mínimo de 0.98 en el análisis del sector sedimentario, por la menor curvatura ya mencionada.

En la Tabla 2 se sintetizan las principales ventajas e inconvenientes de cada aproximación, aunque también se debe mencionar, en el aspecto de los inconvenientes, que no son mediciones continuas por lo que la creación de los transectos tiene un gran peso en los resultados, al igual que la incertidumbre asociada a la cartografía de las líneas de costa.

	DSAS	ODSAS
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Todo el proceso en un software - Permite cortar los transectos por las líneas de costa - Requiere bajos conocimientos previos - Extensa comunidad que facilita la resolución de dudas - Genera los transectos categorizados por el parámetro estadístico seleccionado 	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario define de forma explícita la resolución del estudio - No es necesario disponer de licencias de software - Genera un reporte en .csv con los valores de tendencia central - Menor tiempo de procesado - Al ser una herramienta opensource puede adaptarse a las necesidades del usuario
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario no tiene opción de incorporar la resolución del estudio en el trazado de los transectos - Es necesario trabajar con GDBs - Errores de difícil interpretación relacionados con la configuración del equipo - No genera un reporte automático de los principales estadísticos 	<ul style="list-style-type: none"> - Procesado más complejo al necesitar varios softwares - La versión actual no genera la visualización automática, aunque si genera la información espacial con los parámetros estadísticos

Tabla 2. Resumen de las principales ventajas e inconvenientes del uso de DSAS y ODSAS.

Agradecimientos

El trabajo de AGP estuvo financiado por un contrato FPU (FPU16/03050) y la estancia en el BGS fue financiada por el Ministerio de Educación (EST19/00682).

Referencias

- Gómez-Pazo, A., Payo, A., Paz-Delgado, M. V., y Delgadillo-Calzadilla, M. A. (2022). Open Digital Shoreline Analysis System: ODSAS v1.0. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.3390/jmse10010026>.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., y Farris, A. S. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide.
- Paz-Delgado, M. V., Payo, A., Gómez-Pazo, A., Beck, A.-L., y Savastano, S. (2022). Shoreline Change from Optical and Sar Satellite Imagery at Macro-Tidal Estuarine, Clifed Open-Coast and Gravel Pock-ET-Beach Environments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 561. <https://doi.org/10.3390/jmse10050561>.

Implementing sedimentary monitoring of Rias Baixas (Galicia) shellfish banks to improve response to changing environmental conditions

Puesta en marcha de monitoreo sedimentario de bancos marisqueiros de las Rías Baixas (Galicia) para mejorar la respuesta a cambios en las condiciones ambientales

J. GUITIÁN, A. FONTÁN-BOUZAS y A.M. BERNABEU

*Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo
jose.guitian@wigo.es; afontan@wigo.es; bernabeu@wigo.es*

Abstract: The intertidal sandbanks and beaches of Galicia are the main framework of culture farms and the harvesting of shellfish. Future variations in sedimentological, oceanographic and hydrological conditions associated with climate change will modify the habitats of those organisms to an extent that still needs for evaluation given its importance to multiple regional socioeconomic sectors.

In this work, we present the TransformAr project, focused on the vulnerability analysis and adaptation of those territories, with the aim to provide innovative and transformative solutions to the community, guiding these activities and preventing adverse consequences of climate change.

With this setting, our study case attempts to improve the understanding of sediment dynamics at specific intertidal locations of the Rias Baixas (Galicia, Spain). To obtain up-to-date datasets, we design and apply a set of techniques to monitor the oceanographic and sedimentary characteristics of the shellfish banks, establishing a consistent sediment transport pattern. This is implemented into hydrodynamic models to predict changes in the sedimentary dynamics on the intertidal area and to assess the risk in productivity or mortality within the habitat.

The project will follow the key guidelines of the European strategy for responsible research and innovation (RRI), involving all the stakeholders in each of the phases of the project.

Keywords: shellfish banks, sediment transport, modelling, intertidal, RRI.

Resumen: Los bancos intermareales de arena y las playas de Galicia son el medio principal para el cultivo y marisqueo de moluscos bivalvos. Variaciones futuras en las condiciones sedimentológicas, oceanográficas e hidrográficas asociadas al cambio climático modificarán los hábitats

de estos organismos de una forma que necesita todavía evaluación, dada su importancia en múltiples sectores socioeconómicos regionales.

En este trabajo, presentamos el proyecto TransformAr, centrado en el análisis de la vulnerabilidad y adaptación de dichos territorios, con el objetivo de aportar soluciones innovadoras y transformadoras a la comunidad, guiando estas actividades y adelantándose a posibles consecuencias adversas derivadas del cambio climático.

Nuestro caso de estudio en el marco del proyecto intenta mejorar el conocimiento de la dinámica de sedimentos en localizaciones específicas de las Rías Baixas (Galicia, España). Para obtener una base de datos actualizada, diseñaremos y aplicaremos un conjunto de técnicas que monitoricen las características oceanográficas y sedimentarias de los bancos marisqueros, estableciendo un patrón de transporte de sedimentos. Los datos serán incorporados en un modelo numérico hidrodinámico con el objetivo de predecir cambios en la dinámica de sedimentos de la zona intermareal y evaluar el riesgo en productividad o mortalidad dentro del hábitat.

Palabras clave: marisqueo, transporte de sedimento, modelado, intermareal, RRI.

1. Introduction

The coast of Galicia is characterized by an intricate morphology with various wide and long valleys inlets flooded surrounded by mountains of near to 500 m high known as *Rías* (Von Richthofen, 1886). The four called *Rías Baixas*, located between the border with Portugal and the Finisterre cape, have main river inputs at the east inland frame and three of them with rocky islands facing the ocean waves at west. In this setting, sediment accumulates next to the coast and in the inner brackish water zones wide shallow areas (<5-10 m depth) with low depth profile where infaunal and epifaunal organisms find their highly productive habitats. Galician population have historically exploited this intertidal beaches and sand banks, harvesting and culturing shellfish by foot or boat involving multiple society sectors. Currently up to 3500 people is self-employed harvesting bivalves and polychaetes on foot, 90% of which are women, and more than 600 are working on clam culture farms (Xunta de Galicia, 2012). The ecosystem efficiency is ruled out partially by multiple coastal oceanographic and hydrological variables that control the sedimentary characterization of the banks. The current and future effects of climate change on those factors still need for evaluation.

2. The TransformAr project

Titled *Accelerating and upscaling transformational adaptation in Europe: demonstration of water-related innovation packages*, the TransformAr project (<https://transformar.eu/>) has the goal to scientifically generate and demonstrate innovative

solutions at specific locations allowing to take advantage in the resilience against the present and future effects related to climate change and achieve rapid transformational adaptations. Over the six European demonstrators, the GEOMA group (Uvigo) takes part monitoring the intertidal shellfish banks sediment, improving the knowledge of the environment, and helping to predict the sediment response under changing conditions to help propose solutions.

3. Responsible Research and Innovation (RRI)

Research and solutions will follow key strategical European guidelines for RRI. It will implement an interactive process at each phase of the project with social sectors and all stakeholders, multiple disciplines researchers and innovators, aiming to cooperate building socially acceptable and sustainable plans and actions. RRI implies researchers, citizens, policymakers, business and third sector organizations to work together during the entire project process to better align both the process and its outcomes with the values, needs and expectations of the society.

3. Study case

Our study case is within the *Ría de Arousa* (Figure 1), the *Ría* with highest productivity and direct and indirect related employed people. In the direction of RRI, contact with the implicate agents (i.e., *Cofradías*) had led to focus first steps at the large concession parcels next to the Ulla River estuary, known as *Lombos do Ulla*, area of importance for shellfish harvesting for the entire *Ría* fishermen with regimes of exploitation by boat and on foot, and where a lost in ecosystem productivity has recently been noticed.

4. Implementation of techniques

4.1. Data acquisition

Three campaigns of data acquisition are planned to be carried out at different stages of the project timeline. Following a strategy of sampling points covering the entire area, superficial sediment properties will be defined by sampling on foot, and on boat by dredging equipment. Seabed physical characteristics will be explored by high resolution bathymetric survey using a Geoswath multibeam and digital scan side sonar SBL Klein 3900. To describe the current hydrodynamic

setting of the shellfish sandbanks, oceanographic properties as turbidity, current direction and intensity, temperature and salinity will be acquired and compared to existing temporal data from sea platforms (i.e. Platform of Cortegada, <http://www.intecmar.gal/plataformas>).



Figure 1. Study area: Ría de Arousa. Stars show main fisherman entities. Yellow and orange polygons mark on foot and on boat shellfish sandbanks parcels. Red dash-line square contains initial studied area around "Lombos do Ulla".

4.2. Modelling

The acquired dataset characterizing the shellfish sandbank area can then be implemented into open source Delft3d software (Deltares, 2013) to perform numerical simulations of the tide, wave and sediment transport in different environments.

5. Expected results

A correct computational grid of the area and calibration of the model setup will allow to advance scenarios related to climate change to finally guide future adaptation strategies for the shellfish sector.

Referencias

- Deltares, D. J. D. D., The Netherlands. (2013). Delft3D-FLOW user manual. 330.
- Von Richthofen, F. F. (1886). *Fuhrer fur forschungareisende*: Janecke.
- Xunta de Galicia, X. d. G. (2012). Enquisa sobre a poboación ocupada nos sectores da pesca e da acuicultura mariña en Galicia (OCUPESCA).

Evaluation of marine accumulation patterns on the shoreline of the Isle of Sálvora (Galicia) using drone monitoring

Evaluación de patrones de acumulación marina en la costa de la Isla de Sálvora (Galicia) mediante monitoreo de dron

J. GUITIÁN^{1,2}, I.R. ARÓS², P. MONTERO³, S. ALLEN-PERKINS³, G. AYENSA³ y L. NAVARRO²

1. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo

jose.guitian@wigo.es

2. Departamento de Biología Vegetal y Ciencias del Suelo, Universidade de Vigo

3. INTECMAR, Xunta de Galicia

Abstract: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) or drones, allow to map and inspect terrain in inaccessible locations and avoid the intrusion in protected environmental areas in a short period, implementing a methodology with high reproducibility. Given its effectivity, drone photometry appears as a unique technique to contrast over time sedimentation patterns along the coastline of biological or anthropogenic debris transported by the sea.

Here, we present results obtained from eight flights performed shortly after characteristic oceanic and meteorological events along the entire 360 degrees of coastline orientation of the Isle of Sálvora (National Park of the Atlantic Islands of Galicia). We define the appropriate parameters to fly UAV over long coastline sections; we mount orthomosaics with enough resolution to identify macroscopy objects (>10 cm), and describe a protocol to semi-automatize the image processing and analysis for data generation. Obtained results show how the area where those debris are accumulated differ significantly along the island coastline transects and with important variations over time.

This study demonstrates how a drone survey can be implemented as a non-intrusive methodology for a rapid and reproducible sampling of coastline segments, from which accumulation patterns can be identified and processed to contribute to multiple research questions.

Keywords: drone, UAV, sedimentation, marine litter accumulation.

Resumen: Los vehículos aéreos no tripulados (UAVs) o drones, permiten cartografiar e inspeccionar rápidamente el terreno en localizaciones de difícil acceso o en áreas ambientalmente protegidas, implementando una metodología con alta reproducibilidad. Dada su efectividad, la

fotogrametría de dron se presenta como una técnica única para identificar contrastar patrones de sedimentación a lo largo de la costa de depósitos marinos de origen biológico o antropogénico transportados por el mar.

Aquí, presentamos resultados obtenidos de ocho vuelos realizados poco después de eventos oceanográficos o meteorológicos característicos a lo largo de la totalidad de la costa de la Isla de Sálvora (Parque Nacional Illas Atlánticas de Galicia). Definimos los parámetros apropiados para volar el dron, construimos ortomosaicos con una resolución suficiente para identificar objetos macroscópicos (>10cm), y describimos un protocolo para semiautomatizar el procesado de imágenes y su análisis para la generación de datos. Los resultados muestran cómo el área en el que éstos restos de materiales son acumulados difiere de manera significativa a lo largo de la costa de la isla y presenta importantes cambios temporales.

Este estudio demuestra como las campañas de dron pueden ser ampliamente implementadas como técnica no intrusiva para un rápido y reproducible muestreo en segmentos costeros, a partir de los cuales se pueden identificar y procesar patrones de acumulación para contribuir a multitud de investigaciones.

Palabras clave: dron, UAV, sedimentación, acumulación, basura marina.

1. Introduction

The usage of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) or drones to map and inspect the terrain permits for a rapid sampling of inaccessible locations avoiding the intrusion in protected environmental areas and high reproducibility, as flight routes can be exactly repeated. Drone image acquisition has been widely explored as a remote technique to conduct surveys along the coastline, as for marine litter quantification or geomorphological observations (e.g. Andriolo *et al.*, 2020; Gómez-Pazo *et al.*, 2021), etc. Here, we aim to explore the feasibility of detecting the accumulation of marine debris of biological and anthropogenic origin using drones over the entire coastline of an island. We planned: a) to define the most appropriate parameters to fly UAV over long coastline sections with aiming to obtain useful orthomosaics; b) acquire images that allow to identify marine accumulation; and c) to define a protocol to process images in a rigorous and automatized way.

2. Study area

The Isle of Sálvora is located on the Galician west coast (north-west of the Iberian Peninsula) within the National Park of the Atlantic Islands of Galicia (Figure 1). Entirely composed by granite (Menéndez *et al.*, 2012), is placed 3 km offshore with a perimeter of 10 km and an area of 215ha. The coastline (~90%) is characterized

by rocky outcrops, and only the east and north-east coast have small sandy beaches up to 50 m long. In the southern section, few meter-wide boulder beaches are formed over rock fractures perpendicular to the coast.

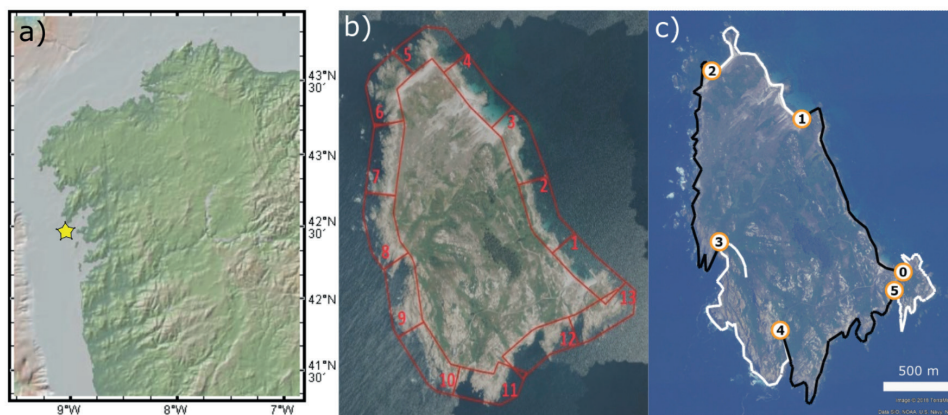


Figure 1. (a) Location of the island of Sálvora; (b) Distribution of each of the 11 transects; (c) Drone batteries optimization resulted in 6 flight routes, which included landing/take-off zones outside the analyzed perimeter when physical conditions did not allow it to be done on the same coastline.

3. Methodology

Aerial images of the island were acquired with a DJI Mavic2 Pro and a 4k camera Hasselblad L1D-20c, obtaining images with a resolution of 72 dpi. Flight mode was set to EVlos, and height flight defined to 40 m, overlap between photos with 75% minimum resulting ~2500 images per day sampled. Eight flight days were configured with Litch for DJI Mavic2 and performed at distinct dates conditioned by oceanographic or meteorological scenarios advised by INTECMAR experts.

Bulk coastline RGB photos were mounted into a complete transect georeferenced orthomosaic with DroneDeploy. Best efficient technique was found by visually inspecting the mosaics and selecting deposits by the automatized tool ‘magic wand’ to later change the color of the selection to red. This facilitates the selection of large amount of pixels containing marine accumulation with similar colour overlying a common background (e.g. algae accumulation through the sand beaches). For the case with variable colour or background (e.g. wood or litter, rocks) the pixels of the deposit were selected by hand. All transects were revised multiple

times. From the coloured image, calculation of the percentage of the coloured pixels out of the total was performed by an in-house script based on Color Threshold tool from ImageJ-Fiji.

3. Results and conclusions

The percentages of pixels with marine derived deposits differ significantly along the coastline transects and over time (Figure 2). Highest accumulation occurs on the dominated beach terrain with north-east orientation, while within the rocky coastline, transects facing south have the largest accumulation patterns. The sampled day with the highest accumulation in total was October 30th 2020 (Sálvora 7) while the lowest percentages of accumulation was found on Sálvora 6 sampled day (March 7th 2020).



Figure 2. Spatial distribution of accumulation percentages for each of the eight days sampled.

To conclude, this study demonstrates the viability of the methodology for mapping marine deposits of biological and anthropogenic origin along the shoreline of an entire island. The method shows high reproducibility using relative low resources and is able to identify accumulations of debris on the coast with high spatial and temporal variability around the Isle of Sálvora.

4. Acknowledgments

This study was founded by the projects CleanAtlantic (EAPA_46/2016) and MarRisk (0262_MARRISK_1_E) from the Interreg Atlantic Area Programme.

References

- Andriolo, U., Gonçalves, G., Bessa, F., Sobral, P.J.S.o.t.T.E., 2020. Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems: A showcase on the Atlantic Coast. 736, 139632.
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A., 2021. Tracking the behavior of rocky coastal cliffs in northwestern Spain. *Environmental Earth Sciences*, 80, 1-18.
- Menéndez, L. G., Fernández, A. C., Gallastegui, G., Fernández, L. R., Rodríguez, A., Toyos, J. J. G., 2012. New Geological Map of the Granitic and Metamorphic basement in the National Park of the Galician Atlantic Islands (NW Spain). 878-881.

Image analysis and digitization of GPR data into point clouds: Application to the Pantín dune barrier in NW Spain

*Análisis de imagen y digitalización de datos GPR en nubes de puntos: Aplicación a la
barrera dunar de Pantín en el noroeste de España*

M. SOLLÁ¹, A. ELSEICY¹, E. GONZÁLEZ¹, J. L. RODRÍGUEZ¹,
R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA² y R. BAO³

1. CINTECX, GeoTECH research group, Universidade de Vigo. merchisolla@wigo.es

2. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo. ritagonzalez@wigo.es

3. Universidade da Coruña, GRICA group, CICA. roberto.bao@udc.es

Resumen: Este trabajo presenta un enfoque novedoso para integrar datos GPR (Georradar) en nubes de puntos LiDAR, lo cual permitirá una mejor comprensión de las reflexiones interpretadas, tanto las correlaciones espaciales entre ellas como su modelado. La metodología se aplicó a la barrera del sistema dunar de Pantín, en el noroeste de España, siguiendo la secuencia de procesado: (i) filtrar los datos brutos para eliminar el ruido no deseado y amplificar las señales recibidas, (ii) aplicar el algoritmo de contorno activo para extraer las reflexiones de interés, como el nivel freático, las estructuras sedimentarias y los canales antiguos, (iii) importar el archivo .csv a un entorno SIG (Sistemas de Información Geográfica) para corregir la topografía del perfil utilizando la trayectoria GPS (Sistema de posicionamiento global) de las líneas GPR adquiridas, (iv) integrar la nube de puntos GPR georreferenciada con la nube de puntos LiDAR. El levantamiento GPR se realizó con un sistema ProEx, utilizando una antena sin apantallar de 200 MHz, y consistió en ocho líneas adquiridas en la dirección perpendicular a lo largo de todo el sistema dunar. Los resultados obtenidos permitieron reconstruir la trayectoria espacial de antiguos canales en el sistema dunar. La metodología desarrollada en este trabajo abre nuevas posibilidades y nuevos desafíos a las innovaciones digitales, como el gemelo digital y el modelado predictivo en la monitorización de sistemas dinámicos dunares.

Palabras clave: algoritmo de contorno activo, interpretación GPR, digitalización de datos, integración GPR-LiDAR, correlación espacial.

Abstract: *This work presents a novel approach to integrating GPR (Georadar) data into LiDAR point clouds, which allows for a better understanding of the interpreted reflections, both spatial correlations, and modeling. The methodology was applied herein to the Pantín dune barrier in*

NW Spain, following the sequence processing: (i) filtering the GPR raw data to remove unwanted noise and amplify the received signals, (ii) applying the active-contour algorithm to extract the interesting reflections, such as the water-table, sedimentary structures, and old channels, (iii) to import the .csv file into a GIS (Geographic Information System) to correct the profile topography using the GPS (Global Positioning System) trajectory of the profile lines acquired, (iv) integrating the georeferenced GPR point cloud within the LiDAR (Light Detection and Ranging) point cloud. The GPR survey was conducted with a ProEx system using an unshielded antenna of 200 MHz and consisted of eight profile lines acquired perpendicular to the whole dune system. The results thus obtained allowed to reconstruct the spatial trajectory of ancient channels in the dune system. The methodology developed in this work opens new possibilities and new challenges to digital innovations, such as digital twin and predictive modeling in monitoring dynamic dune systems.

Keywords: active-contour algorithm, GPR interpretation, data digitization, GPR-LiDAR integration, spatial correlation.

1. Introduction

The interpretation of the GPR is highly dependent on the signal processing methods used and the experience of who interprets it (Lahouar, 2003). Additional development is therefore much needed to implement feasible processing and visualization techniques that minimize subjectivity and maximize the quality and accuracy of the results obtained while making the interpretation process more intuitive for non-experienced users. To overcome this inconvenience, different image processing techniques can provide significant improvements for the characterization of the GPR signals. These techniques are mainly based on signal attributes (amplitude, frequency), which are highly dependent on the dielectric properties of media (Tomecka-Suchón and Marcak, 2015; Solla *et al.*, 2019). Digital innovations are also expected, including data digitization and further integration into Open GIS modeling. This work presents the use of an active contour algorithm to extract prominent and strong reflections in the B-Scans (interfaces with high dielectric contrast like the water-table and old channels). The reflections detected will be then exported to proper data format and integrated into GIS environments for spatial representation of the GPR targets by converting them to a 3D point cloud.

2. Methodology

2.1. GPR data acquisition and processing

The GPR survey was conducted with a ProEx system using an unshielded antenna of 200 MHz. An RTK GPS was also used to record the topographic profile

of the GPR transects collected. The GPR raw data was filtered as shown in Figure 1 to correct the down-shifting of the radar section, remove the initial DC component, amplify the received signal, remove both low- and high-frequency noise, and suppress strong clutter. The processed data were exported to a MALA RD3 format and then imported into the Matlab for further image processing using an internal load.rd3 file routine.

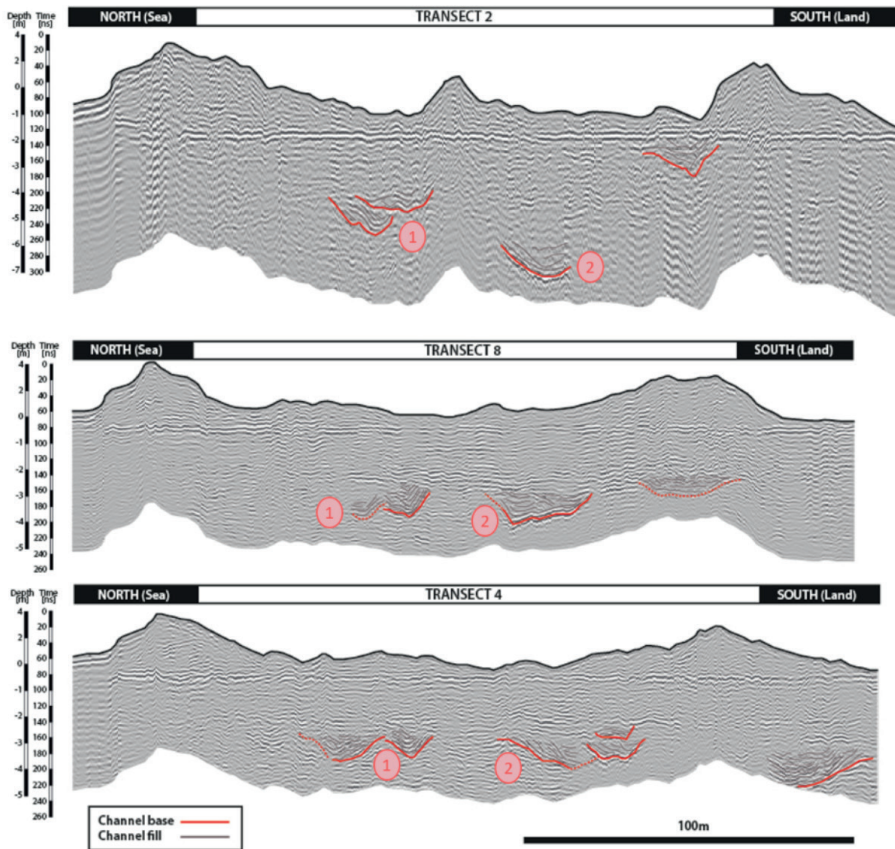


Figure 1. Processed GPR data for three of the transects conducted, showing the interpretation of ancient channels.

2.2. B-Scan (image) processing and data digitization

First, the GPR image was transformed into an image with the amplitude values represented in grayscale. Then, this image was processed using the active

contour without edges to segment the relevant reflections. To process this algorithm, a mask was generated following two steps: (1) the image was filtered by applying a standard deviation for each pixel with a 3x3 neighborhood; (2) the filtered image was then binarized using adaptive thresholding (removing areas in two iterations of 500 and 1000 pixels). Next, the filtered images were topographically corrected using the corresponding GPS trajectories of the profiles. Each pixel in the image was assigned to real-world coordinates. Then, the images were exported into a geo-referenced 3D point cloud.

3. Results and discussion

As an example, Figure 2 presents the conventional B-Scan image (a) and the segmented image (b) produced for Transect 4.

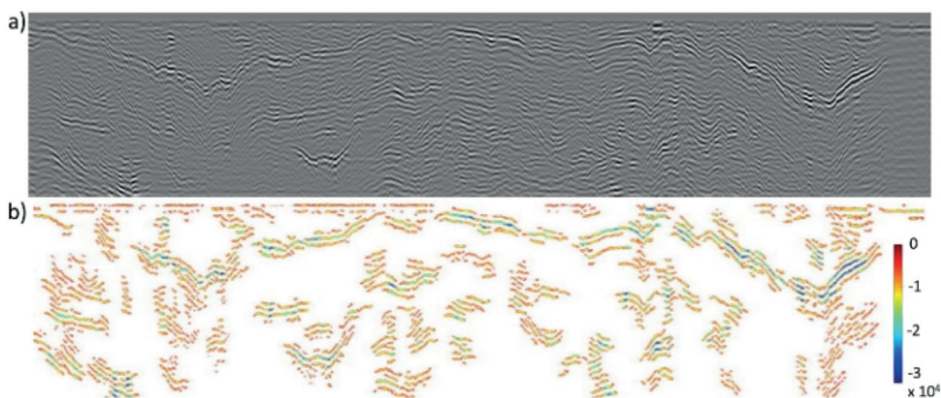


Figure 2. Conventional B-Scan image (Transect 4) in grayscale (a) and segmented image visualized with a color scale based on the amplitude value of the received signals (b).

Then, once exported into a point cloud, the ancient channels were identified based on processed GPR data shown in Figure 1. Finally, an approximate minimum bounding volume was constructed using a 3D Convex Hull to represent the identified channels (channels 1 and 2). The 3D representation of the channels was visualized beside the LIDAR point cloud of the surrounding area of the dune system as shown in Figure 3.

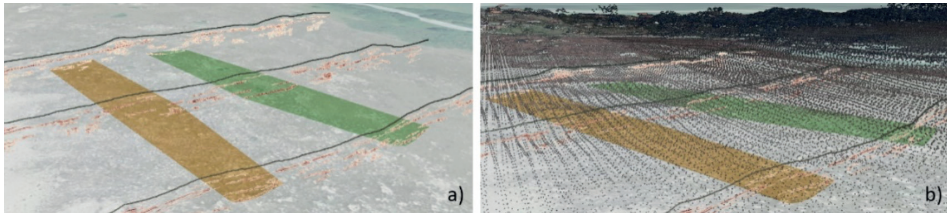


Figure 3. Exported point cloud of GPR data with the reconstructed channels 1 (orange) and 2 (green) (a), and point cloud shown alongside with the LIDAR data of the surrounding area (b).

Acknowledgments

M. Solla acknowledges the grant RYC2019–026604–I funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by “ESF Investing in your future”. This work has received funding from the MCIN through the IMPACOM project (PID2019-107424RB-I00). E. González acknowledges the ENDITí project (ED431F 2021/08) funded by Xunta de Galicia.

References

- Lahouar, S. (2003). Development of data analysis algorithms for interpretation of Ground Penetrating Radar. *PhD Dissertation*. Blacksburg, Virginia.
- Tomecka-Suchón, S., and Marcak, H. (2015). Interpretation of ground penetration radar attributes in identifying the risk of mining subsidence. *Archives of Mining Sciences*, 60(2): 645-656.
- Solla, M., Lagüela, S., Fernández, N., and Garrido, I. (2019). Assessing rebar corrosion through the combination of nondestructive GPR and IRT methodologies. *Remote Sensing*, 11, 1705.

Combining CoastSnap and CoastSat for shoreline monitoring: Preliminary validation and potential applications

Combinación de CoastSnap y CoastSat para monitorizar la línea de costa: Validación preliminar y aplicaciones potenciales

J. SORIANO-GONZÁLEZ¹, E. SÁNCHEZ-GARCÍA², E. ANGELATS³ & R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA¹

1. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo

2. E.T.S.I. Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid

3. Geomatics Research Unit, Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya

Abstract: The detection of the shoreline and its trends is essential for accurate beach monitoring. Among the new tools for shoreline extraction, CoastSat (open science based on satellites) and CoastSnap (citizen science based on smartphone images) suppose a revolution in terms of cost, coverage, and spatial and temporal resolutions, with the integration of both methods providing for highly valuable synergies (e.g., long-term to intraday measurements). In this study, CoastSnap and CoastSat were validated separately, against GPS-RTK measurements (GPS) and among themselves, on a sandy embayed beach of the NW Iberian Peninsula (Spain), resulting in RMSE of 5.61 m (Smartphones - GPS), 10.80 m (Sentinel-2 - GPS) and 10.19 m (Sentinel-2 - Smartphones). These results indicate that CoastSnap shorelines might be used to validate satellite-derived ones, and demonstrate the potential of both methods (singly or combined) for developing operational monitoring of the land-water boundary and its further coastal management applications (e.g., beach width monitoring).

Keywords: open-science, Citizen-science, Remote sensing, Coastline imaging, Coastal management.

Resumen: La detección de la línea de costa y su tendencia es esencial para la monitorización precisa de las playas. De entre las nuevas herramientas para la extracción de la línea de costa, CoastSat (ciencia abierta basada en satélites) y CoastSnap (ciencia ciudadana basada en imágenes de smartphones) suponen una revolución en términos de coste, cobertura, y resolución espacial y temporal, con sinergias de gran valor en la integración de ambos métodos (ej. mediciones a largo plazo hasta intradía). En este estudio, CoastSnap y CoastSat fueron validados independientemente, frente a mediciones GPS-RTK (GPS), y entre sí mismos, a lo largo de una

playa encajada de arena al NO de la Península Ibérica (España), ofreciendo un RMSE de 5,61 m (Smartphones - GPS), 10,80 m (Sentinel-2 - GPS) y 10,19 m (Sentinel-2 - Smartphones). Estos resultados indican que las líneas de costa CoastSnap podrían utilizarse para validar las obtenidas de satélite, y demuestran el potencial de ambos métodos (por separado o combinados) para el desarrollo de una monitorización eficiente del límite tierra-agua y sus posteriores aplicaciones de gestión costera (ej. control de anchura de playas).

Palabras clave: ciencia abierta, Ciencia ciudadana, Sentinel-2, Smartphones, Gestión de la costa.

1. Introduction and Methods

The growing concern about coastal erosion makes essential the analysis of shoreline dynamics for beach monitoring. Among the methods for shoreline detection, those based on citizen science and/or open science, such as CoastSnap (Harley *et al.*, 2019) and CoastSat (Vos *et al.*, 2019), are particularly interesting since they provide low-cost and transparent measurements. CoastSnap (CSnap) is a coastal imaging system based on smartphone images contributed by the community at CSnap bases with known positioning and viewing angles. Image processing algorithms convert the crowd-sourced images to world coordinates (image co-registration and rectification), and edge detection techniques are applied for mapping the shoreline position. CoastSat (CSat) is an open-source software toolkit that generates time series of shoreline positions at any sandy beach worldwide from several optical satellites. CSat pre-processes the images for cloudy-pixel removal and spatial resolution enhancement before applying a combination of image classification and sub-pixel segmentation for mapping the shoreline. This study aims to assess the accuracy of both methods using smartphones and Sentinel-2 (S2) images of Agrelo beach (Fig. 1) and to present their potential applications and synergies.

Agrelo is located in the SE Ría de Pontevedra and has a sandy, reflective mesotidal beach, segmented by two small rivers flowing to the ria (Fig. 1). The CSnap Agrelo base was installed in Jan-2019 and reached ~ 400 images by Jun-2020. During this period, up to 96 S2 CSat-derived shorelines could be obtained.

A dataset of 6 available GPS-RTK (GPS) shorelines was used as ground truth data for validating the shorelines derived with CSnap and CSat. For each date and method, the shoreline was cast from the measured/extracted points, and new points were generated at the intersection of the casted line and the reference transects (Fig. 1). Only dates within a time window of ± 48 hours and a tide difference of ± 1 m were considered. The same criteria were used for defining match-ups between CSnap and CSat shorelines, validating S2-derived shorelines against CSnap. Validation design and metrics are summarized in Fig. 2.

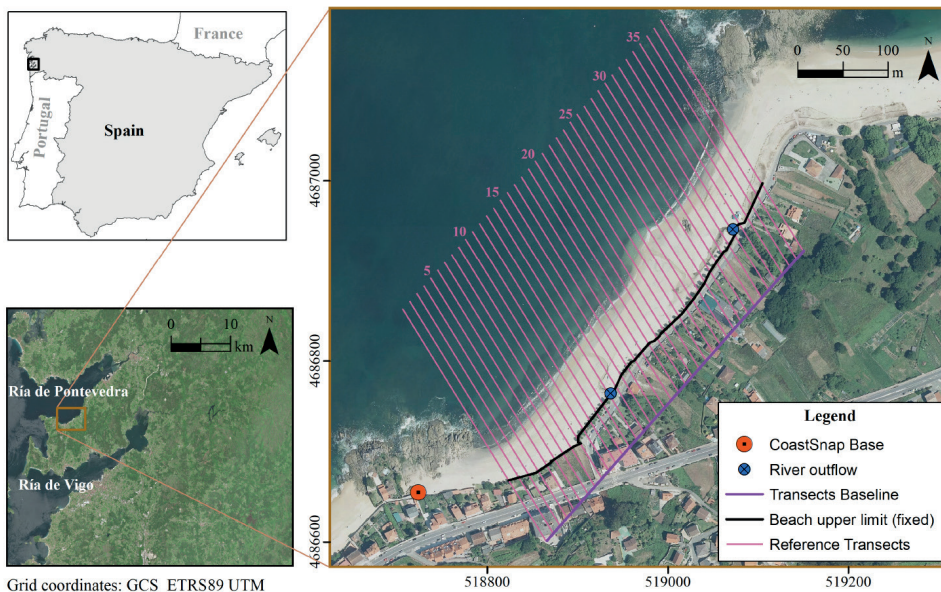


Figure 1. Location of the study area and support information.

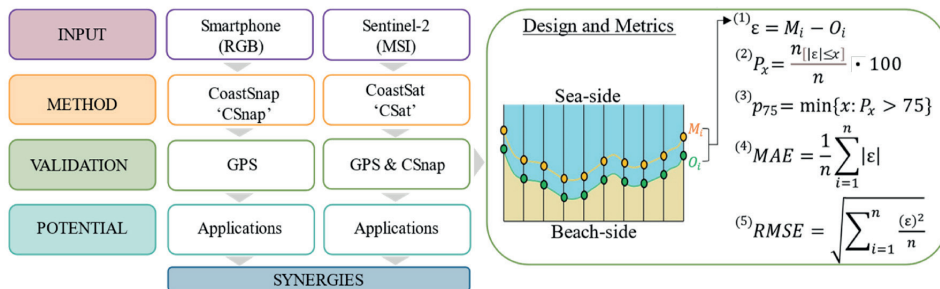


Figure 2. Workflow. In the validation, are the estimated values, the reference values and i is a given in m. MAE: Mean Absolute Error; RMSE: Root Mean Squared Error.

2. Results and Discussion

The total number of valid match-up dates were 5 for GPS-vs-CSnap, 4 for GPS-vs-CSnap, and 34 for CSnap-vs-CSat (Fig. 3), translated into ~8 times more available match-ups for the validation CSnap-vs-CSat than for GPS-vs-CSat. The resulting metrics for these last were similar (Table 1), indicating that CSnap might be an

appropriate source of ground truth data for the further improvement of satellite-based methods. It is explained by the higher accuracy of CSnap (RMSE = 5.61) in relation to CSat (RMSE = 10.80) when compared to GPS (Table 1 and Fig. 4A). Over time, CoastSnap will expand its spatial and temporal coverage significantly, increasing the probability of finding concurrent match-ups with satellite imagery and, at the same time, encouraging community participation in the data collection process.

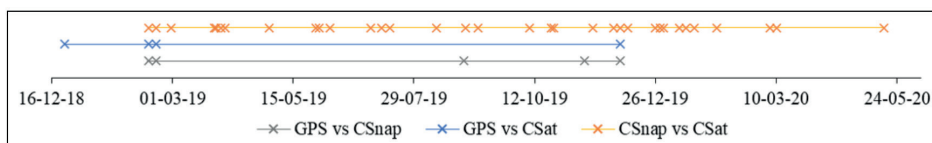


Figure 3. Temporal distribution of valid match-ups.

Despite providing extended time series of shoreline positions, allowing to establish cycles of beach erosion/recovery and long-term trends, the temporal frequency of satellites may not fit the dynamics of several physical processes (e.g., storm surges, tides, river discharges). CoastSnap is, in these cases, a suitable tool, allowing to capture even intraday variations and making it effortless to take ground measurements under any scenario of interest, with several applications of importance for coastal managers, such as the monitoring of beach width (e.g., Fig. 4B) or the assessment of storm effects.

Match-up type	n	MAE (m)	RMSE (m)	p75 (m)	P5 (%)	P10 (%)
GPS vs Csnap	135	4.33	5.61	6.72	63.70	95.56
GPS vs CSat	128	8.85	10.80	11.52	30.47	65.63
CSnap vs CSat	1081	8.36	10.19	12.67	35.71	64.20

Table 1. Global validation of CSnap and Csat. See notation meaning in Figure 2.

Further research will focus on increasing the volume of GPS data, improving the tide predictions/updating data, conducting an in-deep exploration of the sources of error (e.g., river effect) and constraints, and defining the optimum tuning of both methods.

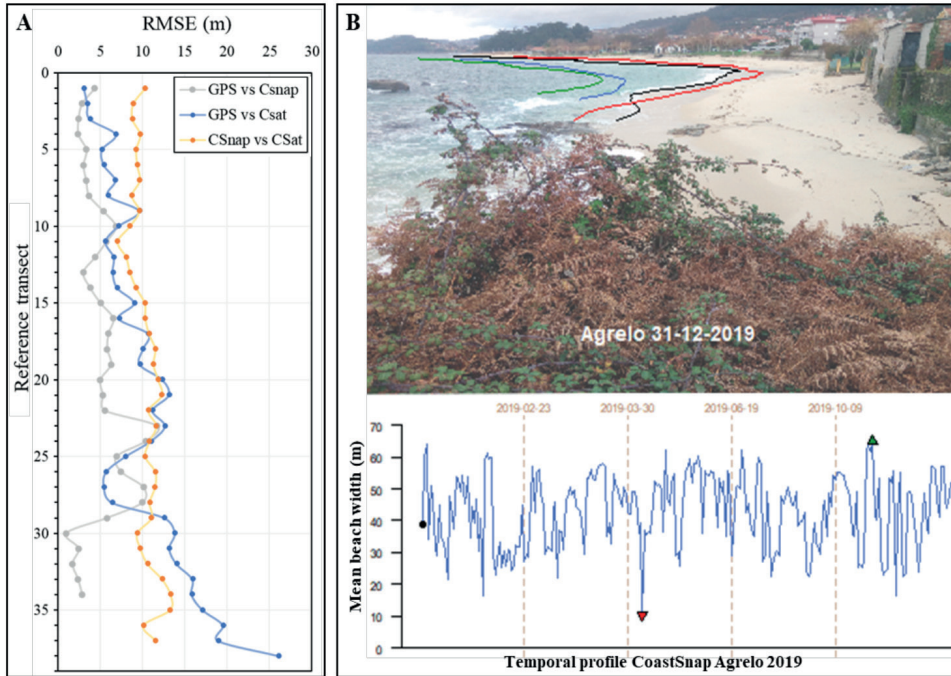


Figure 4. (A) Validation RMSE per transect; (B) Beach width from CSnap Agrelo 2019.

References

- Harley, M., Kinsela, M., Sánchez-García, E., and Vos, K.(2019). Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. *Coastal Engineering*, 150, 175-189.
- Vos, K., Splinter, K., Harley, M., Simmons, J., Turner, I.(2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104528.

Monitoring coastal storms' effects on the Trabucador barrier beach (Ebro Delta) through Sentinel-2 derived shorelines

Monitorización del efecto de los temporales en la playa de la barra del Trabucador (Delta del Ebro) mediante líneas de costa derivadas de Sentinel-2

E. ANGELATS¹, J. SORIANO-GONZÁLEZ², C. PUIG-POLO³, J. GUILLÉN⁴,
A. FALQUÉS⁵ & F. RIBAS⁵

1. Geomatics Research Unit, CTTC/CERCA, Barcelona

2. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo

3. DECA, Universitat Politècnica de Catalunya

4. Marine Geosciences dpt, Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC), Barcelona

5. Physics dpt, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

Resumen: La vulnerable barra del Trabucador ha sufrido recientemente importantes cambios geomorfológicos inducidos por temporales. Este estudio presenta la monitorización de su línea de costa durante tormentas para evaluar sus efectos en la dinámica de la playa. Las líneas de costa se extrajeron a partir de imágenes Sentinel-2 (S2) ajustando el código CoastSat (i.e. umbral óptimo NDWI) y se validaron con líneas de referencia GNSS-RTK (RMSE = 6.8 m). Las líneas extraídas (Dic-2019 a Feb-2021) abarcan 11 tormentas ($H_s > 2\text{m}$; duración $\geq 24\text{h}$), incluyendo Gloria (Ene-2020). Los resultados muestran que las imágenes S2 proporcionan suficiente resolución temporal y espacial para entender los efectos de las tormentas en la zona. Las series temporales de la línea de costa proporcionan información relevante sobre los procesos geomorfológicos que ocurren durante las tormentas (rotura de la barra, erosión, washover), permitiendo la evaluación de sus efectos acumulativos. Estos resultados podrían ser importantes para la gestión de la costa, en un lugar que sufre inundación crónica.

Palabras clave: teledetección, Sentinel-2, Extracción línea costa, Tormentas, Rotura.

Abstract: *The vulnerable Trabucador barrier beach has recently suffered significant storm-induced geomorphological changes. This study presents the monitoring of its shoreline during storm events for assessing their effects on beach dynamics. After fine-tuning the CoastSat tool (i.e., optimal NDWI threshold) for shoreline extraction from Sentinel-2 imagery (S2), results were validated with GNSS-RTK reference shorelines (RMSE = 6.8 m). Shorelines were extracted from*

Dec-2019 to Feb-2021, encompassing 11 storms ($H_s > 2\text{m}$; duration $\geq 24\text{h}$), including Gloria (Jan-2020). Results showed that S2 imagery provides enough temporal and spatial resolution to capture the storm effects on the site. The shoreline timeseries gave relevant information about the geomorphological processes occurring during storm events (barrier breaching, erosion, washover), allowing the assessment of their cumulative effects. These results might be important for coastal management, in a site suffering from chronic flooding.

Keywords: remote sensing, Sentinel-2, Shoreline extraction, Storms, Breaching.

1. Introduction

Most of the Ebro Delta is currently a wave-dominated coast with strong reshaping processes (Jiménez *et al.*, 2012), highly exposed to storms and extreme events, and subjected to massive flooding, beach erosion, and overwash episodes. The Trabucador beach (Figure 1), a sandy barrier 5.5 km long and about 140 m wide (Nov-2019), is one of the most vulnerable areas of the Ebro Delta. Recently, it has suffered significant storm-induced geomorphological changes. The monitoring of shoreline, especially before and after storm events, is important to understanding the geomorphological processes associated with these events.

Recent advances in optical satellite imagery and new and open-source tools for shoreline extraction (i.e., CoastSat; Vos *et al.*, 2019) make satellite-derived shorelines an appealing tool for monitoring these processes, in terms of cost and spatial and temporal resolutions. This study presents the monitoring of the inner and outer shorelines of the Trabucador barrier during pre- and post-storm events (from Dec-2019 to Feb-2021) for assessing their effects on barrier beach dynamics using Sentinel-2 (S2) imagery.

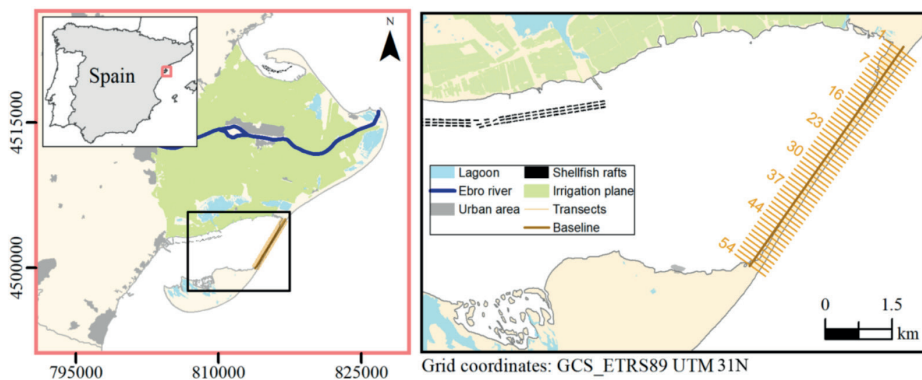


Figure 1. Location of the study area and transects analyzed.

2. Methods, Results and Discussion

Figure 2 depicts the proposed workflow to extract and analyze the S2-based shorelines of the Trabucador barrier beach. The first step included a fine-tuning of the CoastSat tool (Vos *et al.*, 2019) for their use in Mediterranean beaches (i.e., selection of the optimal NDWI threshold). To do so, a set of 8 shorelines were extracted from two beaches (Castelldefels and Trabucador barrier) and validated with 8 GNSS-RTK reference shorelines (max time lag of 2 days, 6527 points). A RMSE of 6.8 m was obtained, thereby achieving sub-pixel shoreline detection. Subsequently, pre-, and post- storm shorelines of the Trabucador barrier beach from Dec-2019 to Feb-2021 were extracted, and the inner and outer shoreline displacements and the beach width (BW) change percentage (Figure 2) were computed for each of the 54 orthogonal predefined transects (every 110 m, shown in Figure 1).

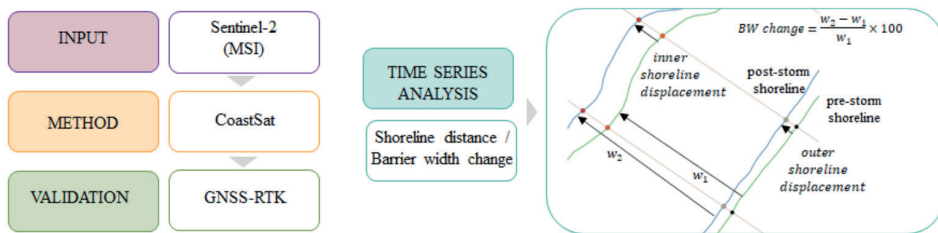


Figure 2. Proposed workflow for shoreline extraction, validation, and time series analysis.

The main characteristics of the storms of the study period are detailed in Table 1. A storm class label was assigned for each storm following the approach proposed by Mendoza *et al.* (2011). The study period included 11 coastal storms ($H_s > 2\text{m}$; duration $\geq 24\text{h}$), with the most extreme storm ever recorded in the area (Gloria, Jan-2020).

The analysis of the shoreline timeseries (Figures 3 and 4) shown that several storms generated large or very large shoreline displacement (30 m or more), barrier retreat (Gloria, End March, Filomena), significant beach width reduction (erosion) and different levels of barrier breaching (Gloria, 1st and 2nd March, Filomena), mainly between transects 25 to 42. The results also highlight the common relation between the geomorphological effects of a storm and the elapsed time from the previous storm. For example, in the case of Gloria, the barrier had already been heavily affected by December-1 storm. The significant impact of Mar-2020 storms is also mainly explained by the previous extremely vulnerable state of the

Trabucador barrier beach rather than the storm magnitudes. Figure 4 also shows some transects where the beach width increased after the storms (December-1, Gloria, End March). This could be linked to overwash episodes and the generation of washover fans. Further research will include the extension of the period of study starting from Jan-2016, to provide new insights for both research and coastal management.

Sea storm	Dates	Hs (m) / Tp (s)	Length(h)	Max sea level(m)	Wave direction range (°)	storm class
December-1	3-6/12/2019	4.69 / 10	54	0.76	60-88	III
December-2	19-21/12/2019	4.28 / 8.66	50	0.57	188-202	II
Gloria	19-23/01/2020	7.49 / 11.63	96	0.66	60-110	V
March-1	2-3/03/2020	2.91 / 8.85	24	0.43	200-280	I
March-2	16-17/03/2020	3.93 / 7.7	24	0.48	70-110	I-II
End March	31/03/- 3/04/2020	3.1 / 9.14	68	0.53	64-76	II
November-1	4-7/11/2020	2.75 / 7.14	80	0.61	40-80	I-II
November-2	27-29/11/2020	3.28 / 10.55	50	0.72	67-83	II
December-1	8-9/12/2020	2.93 / 7.23	32	0.61	297-304	I
December-2	27-28/12/2020	4.34 / 10.55	25	0.54	204-229	II
Filomena	8-11/01/2021	5.74 / 11.1	60	0.66	55-77	III

Table 1. Coastal storms and characteristics during the period from Dec-2019 to Jan-2021. Wave data from the Tarragona buoy located at 688 m depth and sea level data from tidal gauge located at Tarragona harbor (Puertos del Estado).

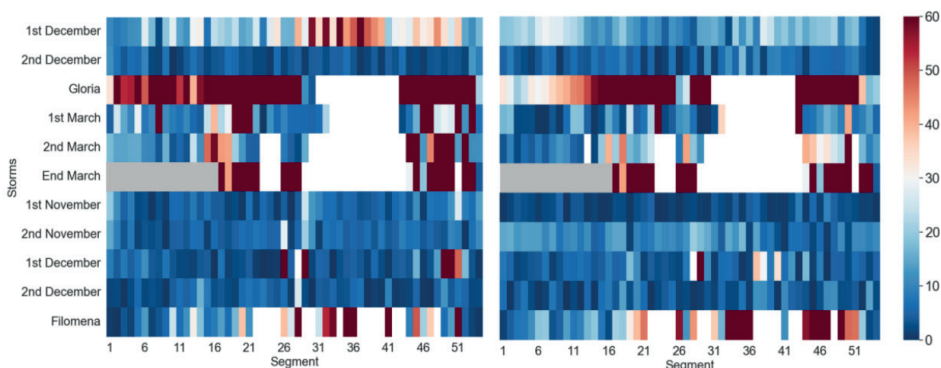


Figure 3. Time series heat-map for Trabucador barrier beach showing shoreline change in meters (left inner shore, right outer shore), where red means landward displacement (with the reddest color being displacements of 60 m or more) and blue means no displacement. White color implies transects without data because there was no shoreline (usually post-storm, i.e., transects 29 to 43) or without shoreline due to clouds presence (i.e., transects 1 to 17 / End March).

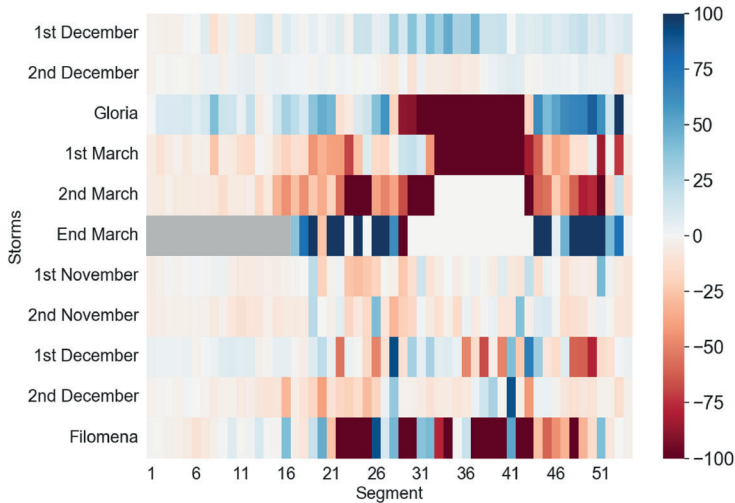


Figure 4. Time series heat-map for Trabucador barrier beach showing width changes (in %, blue being increase and red being decrease). White color implies transects without change due to no pre-storm shoreline. Grey color implies transects without data due to clouds presence.

References

- Jiménez, J. A., Sancho, A., Bosom, E., Valdemoro, H. I., y Guillén, J. (2012). Storm-induced damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) during the period 1958–2008. *Geomorphology*, 143–144, 24–33.
- Mendoza, E.T., Jiménez, J.A., y Mateo, J. (2011). A coastal storms intensity scale for the Catalan Sea (NW Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Vol. 11, pp. 2453–2462.
- Vos, K., Splinter, K., Harley, M., Simmons, J., y Turner, I. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104528.

Shoreline Analysis and Extraction Tool (SAET): una nueva herramienta para monitorizar los cambios en la línea de costa

Shoreline Analysis and Extraction Tool (SAET): a new tool for automatic monitoring of shoreline changes

J. PALOMAR-VÁZQUEZ¹, J. ALMONACID-CABALLER¹, C. CABEZAS-RABADÁN^{1,2},
A. FERNÁNDEZ-SARRÍA¹ & J. E. PARDO-PASCUAL¹

*1. Geo-Environmental Cartography and Remote Sensing Group (CGAT-UPV), Universitat Politècnica de València
jpalomav@upvnet.upv.es; jaialca@upvnet.upv.es; carcara4@upv.es; jepardo@cgf.upv.es*

2. UMR 5805 EPOC, Université de Bordeaux

Resumen: SAET (Shoreline Analysis and Extraction Tool) es una herramienta novedosa de código abierto destinada a la detección automática de los cambios experimentados por la posición de la línea de costa como consecuencia de los temporales costeros. La herramienta utiliza actualmente las imágenes de resolución media de los satélites ópticos Sentinel-2 y Landsat 8 y 9. Para un determinado segmento costero afectado por un temporal, SAET identifica las imágenes de satélite más cercanas en el tiempo que presenten una cobertura de nubes adecuada para el análisis, y posteriormente las descarga y procesa de forma automática. Nacida en el marco del proyecto ECFAS, que busca desarrollar un sistema europeo de alerta ante inundaciones costeras, SAET estará disponible para cualquier usuario a la finalización del proyecto. En este trabajo se presentan las características de esta novedosa herramienta, la cual ha demostrado ser eficiente, precisa y útil para reconocer los cambios de la línea de costa.

Palabras clave: temporales costeros; extracción de la línea de costa; monitorización de la erosión; Sentinel-2; Landsat.

Abstract: SAET (Shoreline Analysis and Extraction Tool) is a novel open-source solution for the automatic detection of changes in shoreline position due to coastal storms. The tool currently uses medium resolution imagery from Sentinel-2 and Landsat 8 and 9 optical satellites. For a given coastal segment affected by a storm, SAET identifies the closest satellite images in time with an adequate cloud coverage level for the analysis, and subsequently automatically downloads and processes them. Born in the framework of the ECFAS project, which aims to develop

a European coastal flood warning system, SAET will be available to any user at the end of the project as an efficient, accurate and useful new tool for recognising shoreline changes.

Keywords: coastal storms; shoreline extraction; erosion monitoring; Sentinel-2; Landsat.

1. Introducción

Las tormentas costeras pueden modificar profundamente la morfología de las playas, contribuyendo a los procesos erosivos. Así, resulta esencial vigilar el impacto de las grandes tormentas costeras. En este contexto, el proyecto *European Coastal Flood Awareness System* (ECFAS), propone una prueba de concepto para implantar un sistema de vigilancia y aviso de inundaciones costeras a escala europea. Para ello se requiere contar con datos actualizados y homogéneos a lo largo de grandes tramos de litoral, con una precisión suficiente para caracterizar la respuesta de las playas frente a los temporales. Las imágenes de satélite de libre disposición como las aportadas por la ESA o el USGS tienen un enorme potencial debido a su cobertura mundial y a su elevado tiempo de revisita (2-5 días para Sentinel-2 y 8 días para Landsat 8 y 9). A partir de la información contenida en estas imágenes, novedosas herramientas como SHOREX (Cabezas-Rabadán *et al.*, 2021) y CoastSat (Vos *et al.*, 2020) permiten extraer la posición de la línea de costa (*Satellite-Derived Shoreline*, SDS) con un grado de automatismo y precisión lo suficientemente elevado para analizar los cambios experimentados por la morfología de las playas a escala regional (Cabezas-Rabadán *et al.*, 2019a). Sin embargo, la extracción de la SDS con estas herramientas depende de plataformas externas (como Google Earth Engine) y requieren demasiada intervención manual, lo cual no se ajusta adecuadamente a los objetivos del proyecto ECFAS, que pretende desarrollar un servicio automático a escala paneuropea integrable en el Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

SAET surge como un software de código abierto diseñado para la extracción automática de la posición de la línea de costa y su respuesta a los eventos de temporal utilizando imágenes de satélite de rango óptico como Sentinel-2 y Landsat 8-9.

2. Funcionamiento de la herramienta

SAET ha sido desarrollado en lenguaje Python por el grupo CGAT-UPV y se divide en cuatro fases principales (Fig. 1): (i) La descarga de las imágenes desde los servidores de la ESA y del USGS; (ii) La combinación de las diferentes bandas para crear índices de agua para obtener una máscara binaria agua-tierra con la que se

determina la posición de la orilla a nivel pixel; (iii) La eliminación de las áreas que no son playas y de las zonas cubiertas por nubes y (iv) La extracción de la línea de costa a nivel de subpíxel.

El proceso funciona de forma automática, si bien permite que el usuario modifique algunos criterios, tales como el índice de agua, el método de segmentación y el nivel de enmascaramiento de nubes. El resultado de SAET es la extracción de líneas de costa con precisión subpíxel.

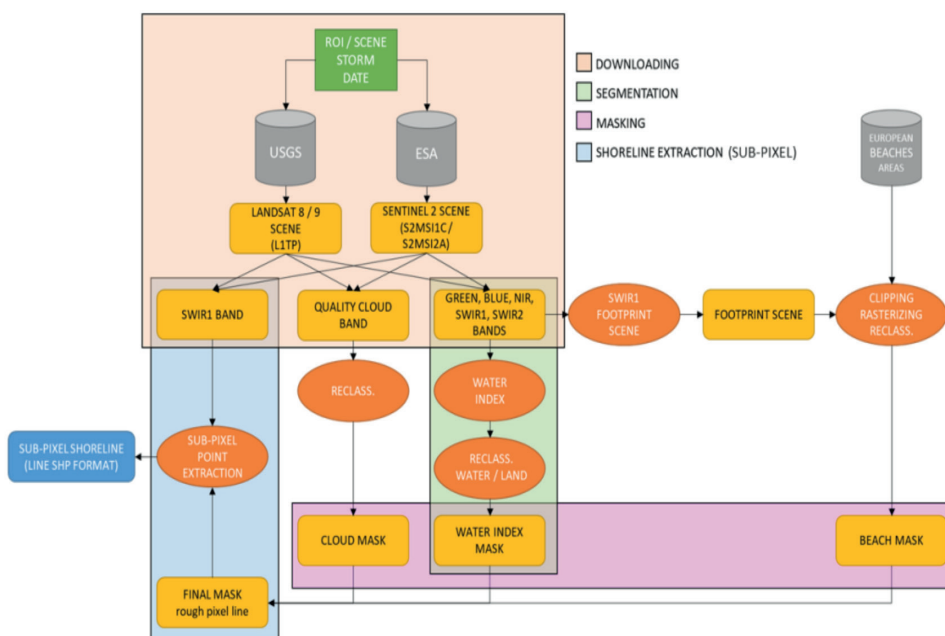


Figura 1. Flujo de trabajo de SAET.

3. Evaluación del funcionamiento de SAET para la detección de cambios en las playas

Como caso de aplicación, se utilizó SAET para evaluar el impacto del temporal Gloria, cuyo punto álgido tuvo lugar el 22/01/2020, sobre los 82 km de playas de todo el delta del Ebro, usando tres imágenes Sentinel-2, una de ellas previa al temporal y las otras dos, posteriores (fig. 2).

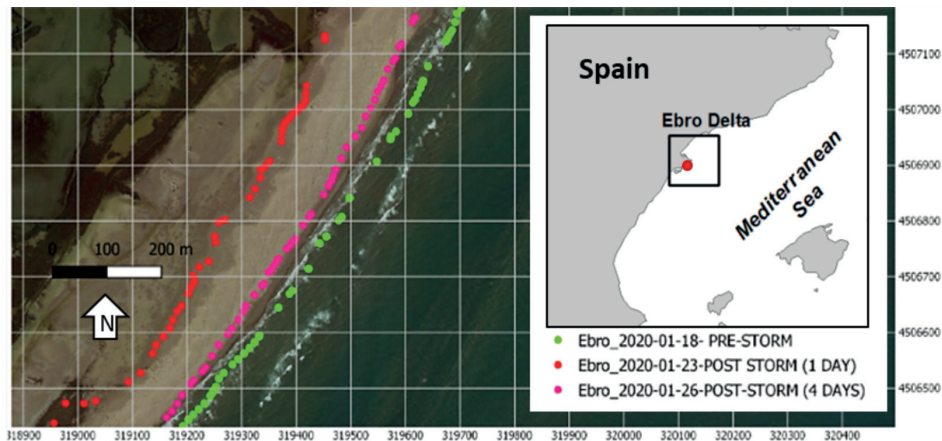


Figura 2. SDS asociadas al temporal Gloria en el delta del Ebro (playa de buda).

Una de las imágenes post-temporal usadas (26/01/2020) se adquirió con 36 minutos de diferencia respecto a la adquirida por el satélite de muy alta resolución Spot 7 (pixel 1,5 m), por lo que fue utilizada como patrón de referencia, permitiendo determinar que la SDS extraída por SAET presentaba un sesgo medio hacia el mar de 5,18 m y una desviación estándar de 9,98 m. Las SDS obtenidas antes, durante y después del temporal a partir de las imágenes Sentinel-2 permiten caracterizar el impacto y el inicio del proceso de recuperación 4 días después del temporal.

4. Conclusiones

Las líneas de costa resultantes tras el procesamiento con SAET presentan una alta precisión ($5,18 \text{ m} \pm 9,98 \text{ m}$). A su vez, los resultados obtenidos son robustos incluso cuando se analizan zonas amplias y playas con una morfología compleja como la del delta del Ebro después de un gran temporal. SAET permite caracterizar los cambios en la línea de costa ocurridos como respuesta a condiciones de oleaje significativas. Así, resulta una herramienta extremadamente útil para la monitorización de las playas a corto y medio plazo, permitiendo la evaluación del impacto y recuperación asociada a eventos de baja frecuencia y gran magnitud como los temporales costeros.

Agradecimientos

Este trabajo se ha beneficiado de la financiación del proyecto MONOBESAT (PID2019-111435RB-100) del Ministerio de Ciencia e Innovación y Universidades, del contrato M. Salas del programa de recualificación del Ministerio de Universidades financiado por la Unión Europea (NextGenerationEU). The ECFAS (European Coastal Flood Awareness System) project (<https://www.ecfas.eu/>) has received funding from the EU H2020 research and innovation programme under grant agreement no. 101004211.

Referencias

- Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J. E., Palomar-Vázquez, J., & Fernández-Sarría, A. (2019). Characterizing beach changes using high-frequency Sentinel-2 derived shorelines on the Valencian coast (Spanish Mediterranean). *Science of the Total Environment*, 691.
- Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J. E., & Palomar-Vázquez, J. (2021). Characterizing the Relationship between the Sediment Grain Size and the Shoreline Variability Defined from Sentinel-2 Derived Shorelines. *Remote Sensing*, 13(14), 2829.
- Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: a Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122.

Monitorización tridimensional del impacto del temporal Gloria sobre el frente dunar de las playas de la Devesa del Saler (Valencia)

Three-dimensional monitoring of Gloria Storm impact on the foredune of la Devesa del Saler beaches

J. E. PARDO-PASCUAL¹, J. ALMONACID-CABALLER¹, J. PALOMAR-VÁZQUEZ¹ y
C. CABEZAS-RABADÁN^{1,2}

*1. CGAT. Dept. Cartographic Eng. Geodesy and Photogrammetry, Univ. Politècnica de València
2. UMR 5805 EPOC, Université de Bordeaux-CNRS, France*

Resumen: Este trabajo analiza el impacto del temporal Gloria sobre un segmento de 9 km de longitud de las playas y dunas de la Devesa del Saler (València), y la forma en que se inició el proceso de recuperación de las mismas. Se han comparado cuatro series de datos tridimensionales adquiridos tanto antes como después del temporal. Tres de ellas proceden de levantamientos LiDAR, mientras que la cuarta procede de una serie de fotografías aéreas tomadas originariamente para generar ortofotografías. Se ha verificado que el nivel de precisión del Modelo Digital de Superficies (MDS) obtenido mediante técnicas fotogramétricas SfM es similar al de los obtenidos con datos LiDAR. Esto demuestra que las fotografías aéreas que se toman para la generación de las series de ortofotografías pueden transformarse en una nueva y potente fuente de datos tridimensionales.

Palabras clave: temporal Gloria, LiDAR, SFM, déficit sedimentario, frente dunar.

Abstract: *This paper analyses the impact of the Storm Gloria along 9 km of beaches and foredunes at la Devesa del Saler (Valencia), as well as the start of the recovery process. For this purpose, four series of three-dimensional data acquired both before and after the storm were compared. Three of them were derived from LiDAR surveys while the fourth was derived from a series of aerial photographs originally acquired to generate orthophotographs. It has been verified that the level of accuracy of the Digital Surface Model (DSM) obtained using SfM photogrammetric techniques is similar to those obtained with LiDAR data. This demonstrates that the aerial photographs originally acquired for the generation of orthophotographies can be transformed into a new and powerful source of three-dimensional data.*

Keywords: *storm Gloria, LiDAR, SFM, sedimentary deficit, foredune.*

1. Introducción

El temporal Gloria afectó a las costas mediterráneas españolas entre el 19 y el 22 de enero de 2020 con alturas significantes de ola que alcanzaron los 8,67 m. Este trabajo pretende cartografiar y cuantificar los cambios morfológicos originados sobre las playas y las dunas costeras a lo largo un tramo de 9 km de longitud en las playas arenosas de la Devesa del Saler (Valencia), así como el proceso de recuperación a lo largo de los diez primeros meses (Fig. 1). Para ello, se han analizado cuatro series de nubes de datos 3D, tres de ellas obtenidas mediante LiDAR y una cuarta obtenida mediante técnicas SfM a partir de las fotografías aéreas.

2. Materiales y métodos

Se ha contado con tres vuelos LiDAR y una nube de puntos derivada de las fotografías aéreas adquiridas por el Institut Cartogràfic Valencià (ICV) para la generación de la ortofotografía de 2020. De ellos se han obtenido cuatro Modelos Digitales del Superficies (MDS) para cuatro fechas distintas. Asimismo, se ha dispuesto de un levantamiento topográfico realizado en 2020 sobre lugares completamente estables que se ha utilizado para comprobar la exactitud de los distintos MDS.

La primera serie de datos LiDAR procede del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), y se adquirió en otoño de 2015 con una densidad aproximada de 0,5 puntos/m². La segunda serie de datos LiDAR se tomó desde un dron el 11 de marzo de 2020, justo tras el temporal Gloria, con una densidad media de unos 90 puntos/m². La tercera serie de datos LiDAR también se adquirió con un dron el 20 de octubre de 2020 con una densidad de 60 puntos/m². Por su parte, del vuelo de mayo de 2020 tomado por parte del ICV para elaborar su ortofotografía anual se han utilizado 29 fotografías. Dichas imágenes se corresponden con parte de ocho pasadas O-E con solape longitudinal del 60% y un solape transversal N-S entre pasadas del 30%. El tamaño de píxel aproximado de las imágenes sobre terreno es de 25 cm/píxel y la densidad puntos derivada ha sido de 16 puntos/m². Dicha nube de puntos se ha generado con el software Agisoft Metashape pudiendo georreferenciar el vuelo gracias a disponer de sus parámetros de orientación externa compensados y al añadido de nuevos puntos de apoyo. Para cada una de las nubes de puntos (LiDAR y fotogrametría) se han filtrado los puntos anómalos y se han obtenido sus respectivos MDS con una resolución espacial de 1 m. Para estimar la precisión de los MDS se ha tomado como referencia un conjunto de puntos definidos mediante técnicas DGNS con precisión centimétrica, permitiendo comparar la cota de cada punto DGNS con la cota correspondiente de cada MDS.

Para analizar y cuantificar los cambios se han comparado las altitudes entre los distintos MDS, pero diferenciando los ambientes de playa, primera alineación dunar y dunas interiores. La diferenciación se ha hecho basándose en el MDS de 2015. Asimismo, se han definido 34 transectos topográficos sobre cada MDS (Fig. 1). La superposición en cada uno de dichos transectos de los 4 perfiles asociados a diferentes instantes previos y posteriores al temporal ha permitido apreciar los sucesivos cambios.

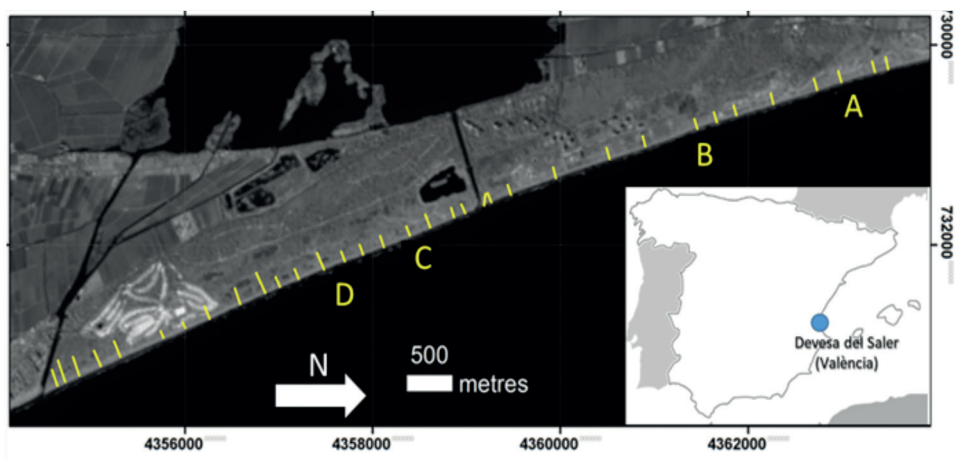


Figura 1. Zona de estudio en la Devesa del Saler (València) y los 34 transectos analizados.

3. Resultados y discusión

Del contraste entre las elevaciones medidas con GNSS diferencial en áreas estables frente a los distintos MDS se deduce que la raíz del error cuadrático medio (RECM) oscilaría entre 7 y 13 cm. Aunque el mayor error se produce con el MDS generado mediante fotogrametría, su magnitud es suficientemente pequeña ($ECM = 0,13m$) como para que el producto pueda utilizarse para el análisis de cambios.

Los puntos deducidos cerca de la orilla son menos fiables ya que el propio movimiento del oleaje impide encontrar puntos homólogos adecuados en imágenes sucesivas. El análisis de los sucesivos perfiles transversales realizados demuestra la elevada coherencia en las mediciones en los diferentes MDS donde no se presupone cambio, lo que demuestra que el resultado es interpretativamente útil y fiable (Fig. 2). En Pardo-Pascual *et al.* (2021) ya se cuantificó el efecto del temporal Gloria que,

entre noviembre de 2015 y marzo de 2020 provocó la pérdida de 427498.9 m³ de arena en el sistema playa-duna. Este profundo cambio se aprecia nítidamente entre los perfiles de 2015 y marzo de 2020 (Fig. 2). Los cambios observados entre marzo y mayo de 2020 son mínimos evidenciando que no se había iniciado la recuperación, probablemente a causa de unas condiciones de energía relativamente elevadas ($H_s > 2$ m) entre ambas fechas. Por el contrario, el proceso de recuperación de la duna se inicia tras el relleno de la parte alta de la playa, tal y como se comienza a reconocer en la medición de octubre de 2020. Para el conjunto de la zona de estudio, el volumen recuperado en octubre respecto a la situación de 2015 era del 27.6%. No obstante, dicha acumulación de arena se ha producido en la parte alta de la playa, pero no así en la duna.

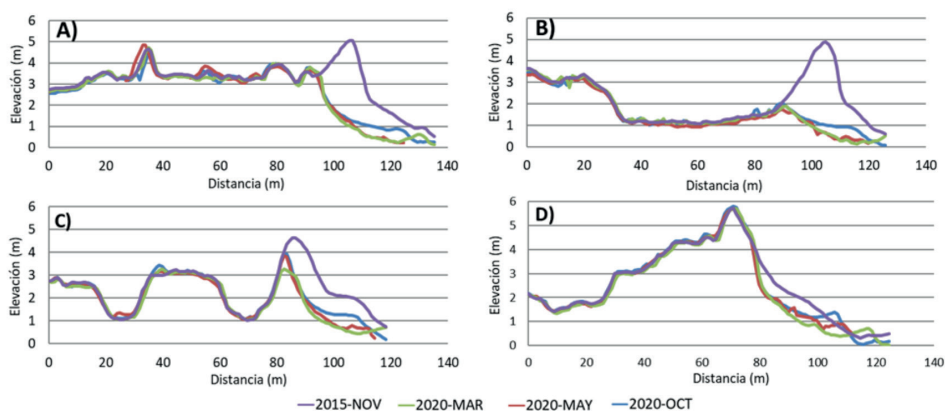


Figura 2. Cambios en la morfología de la primera alineación dunar.

Los resultados prueban que las fotografías aéreas tomadas para usos fotogramétricos convencionales pueden ser empleadas para derivar información tridimensional de precisión comparable al LiDAR aéreo. Esto permite reconocer cambios tridimensionales en entornos morfológicamente dinámicos como las dunas. Los datos evidencian el elevado impacto de este temporal en aquellos tramos que ya tenían un comportamiento erosivo, aunque éste también ha alcanzado con menor virulencia a zonas con comportamientos evolutivos estables. El sistema requiere un periodo suficientemente prolongado para que se desplacen volúmenes significativos de arena desde el perfil sumergido al emergido. Queda la duda de si la recuperación, tras un impacto tan masivo, podrá llegar a darse de forma natural.

Agradecimientos

Este trabajo se ha beneficiado de la financiación del proyecto MONOBESAT (PID2019-111435RB-100) del Ministerio de Ciencia e Innovación y Universidades, del contrato M. Salas de recualificación del Ministerio de Universidades financiado por la Unión Europea (NextGenerationEU), y del Ayuntamiento de Valencia. Agradecemos al ICV la aportación de los fotogramas y parámetros de calibración de los mismos.

Referencias

Pardo-Pascual, J. E., Cabezas-Rabadán, C. y Palomar-Vázquez, J. M. (2021): Anàlisi dels canvis morfològics del cordó dunar i de les platges de la Devesa del Saler com a conseqüència del temporal Glòria. En *A Vicenç M. Rosselló, geògraf, als seus 90 anys* (J.F. Mateu i A. Furió, eds), Publicacions Universitat de València, 393-418.

El uso de plataformas de ciencia ciudadana para valorizar nuestras costas: *Centinelas de la Costa*

The use of citizen science platforms to valorize our coasts: Centinelas de la Costa

R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA¹, L. DEL RIO², A. FERNÁNDEZ MORA³, G. SIMARRO⁴,
J. SORIANO-GONZÁLEZ¹, E. SÁNCHEZ-GARCÍA⁵, I. ALEJO¹, M. A. NOMBELA¹, T. A. PLOMARITIS²,
J. BENAVENTE², F. CRIADO-SUDAU³, A. SANCHO-GARCÍA⁶, J. GUILLÉN⁴ y R. DURÁN⁴

1. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo

2. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz

3. Beach Monitoring Facility ICTS SOCIB, A-07121 Palma de Mallorca

4. Institut de Ciències del Mar-CSIC. Barcelona

5. E.T.S.I. Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid

6. Instituto de Medio Ambiente y Ciencia Marina (IMEDMAR-UCV), Universidad Católica de Valencia

Resumen: Centinelas de la costa pretende, a través de un equipo coordinado de diferentes entidades y expertas/os en investigación costera, fomentar la cultura científica de la ciudadanía en lo que se refiere a los cambios que nuestra costa sufre frente a diferentes procesos naturales o de origen antrópico. El proyecto se articula en dos acciones principales con diferente ámbito espacial. (i) Acción a nivel regional: implementando e impulsando los medios y recursos ya disponibles dentro de la iniciativa internacional de CoastSnap, hacia diferentes sectores de la sociedad. Añadiéndose a las ya existentes, se han desarrollado nuevas funcionalidades y se ha lanzado un concurso para fomentar el uso de la aplicación CoastSnap y generar comunidad. (ii) Acción a nivel local: mediante la creación de un espacio y formato común, la aplicación para móviles *Centinelas de la Costa* que permite a los integrantes del equipo del proyecto dar soluciones acordes a las necesidades específicas de cada localización. Esta acción se complementa con jornadas de formación a voluntarios en la toma de datos en colaboración con agentes locales.

Palabras clave: ciencia ciudadana, CoastSnap, Monitorización de playas, Divulgación científica, Educación ambiental.

Abstract: *Centinelas de la Costa* aims, through a coordinated team of different entities and experts in coastal research, to promote citizens science regarding the changes that our coast undergoes in the face of different natural and anthropic processes. The project comprises two

main actions with different spatial scopes. (i) Action at the regional level that consists of implementing and promoting the tools already available within the CoastSnap international initiative reaching different sectors of society. By the addition of new functionalities and the launch of a contest to promote the use and engagement of the CoastSnap app. (ii) Action at the local level through the creation of shared space and format, the mobile app "Centinelas de la Costa" that allows the project team members to provide solutions according to the specific needs of each location. This action is complemented by training sessions for volunteers in data collection with the support of local agents.

Keywords: citizen-science, CoastSnap, Beach monitoring, Outreach, Environmental education.

1. Introducción

Centinelas de la costa nace como resultado de la implicación de los científicos/as participantes en el proyecto en una iniciativa internacional de ciencia ciudadana para la monitorización comunitaria de playas *CoastSnap* (Harley *et al.*, 2019). *CoastSnap* surge con el objetivo de que la población, independientemente de su edad y formación, pueda formar parte activa en el proceso de toma de datos mientras disfruta de su paseo o día en la playa. Cada tramo de costa presenta un comportamiento diferente; así mientras una playa crece y acumula sedimentos otra los pierde y se erosiona. La erosión puede ser el resultado de procesos cotidianos, como el oleaje que incide sobre la costa, pero también puede ser provocada por eventos puntuales y extremos como las tormentas, o bien, por alguna intervención del ser humano en la franja costera. *CoastSnap* pretende que los ciudadanos participen activamente en el proceso científico y realicen el seguimiento de sectores específicos de costa a los que acuden de forma recurrente o esporádica. A cambio, a través de *Centinelas de la costa*, estas usuarias/os tendrán a su disposición los resultados derivados del análisis de las imágenes aportadas (líneas de costa y aplicaciones de su monitorización), con el fin último de hacerlos conscientes de los cambios acontecidos y cuáles son las causas de estos, acercando la ciencia a la sociedad.

2. Contenido y alcance de la acción

A través de la creación de un espacio y formato común, los diferentes integrantes del equipo del proyecto *Centinelas de la costa* dan soluciones acordes a las necesidades específicas de cada localización (diferentes playas). Se han implementado los medios y recursos ya disponibles dentro de la iniciativa internacional de *CoastSnap*, involucrando a diferentes sectores de la sociedad. Para conseguir los objetivos, los contenidos del proyecto se organizan dentro de dos acciones principales.

2.1. Acción a nivel estatal: CoastSnap

Acción sustentada por la iniciativa internacional de monitorización de playas *CoastSnap*. Dicha iniciativa tiene como núcleo el conjunto de la sociedad, que actuará de forma individual como científico/a ciudadano/a, capturando imágenes mediante sus dispositivos móviles en localizaciones conocidas de la costa y las compartirán utilizando diferentes canales (redes sociales, e-mail o CoastSnap app). Una vez enviadas, a través de aplicaciones de búsqueda y almacenamiento, estas imágenes son integradas en una base de datos para que los científicos o técnicos especialistas puedan acceder a ellas y procesarlas utilizando técnicas específicas de fotogrametría, convirtiéndolas en una fuente de información georreferenciada que ayudará a entender y predecir como cambiará la costa en las próximas décadas. En la Figura 1A se presenta una infografía en la que se muestra el flujo de la información en la que se basa la iniciativa.

Toda esta información es devuelta a la ciudadanía en formatos fácilmente asimilables independientemente del grado de formación o edad del público (Figura 1B). De esta manera, los participantes o interesados van viendo cómo progresa su aprendizaje en este campo. A la vez, se fomenta la educación ambiental y la conservación del medio ambiente.

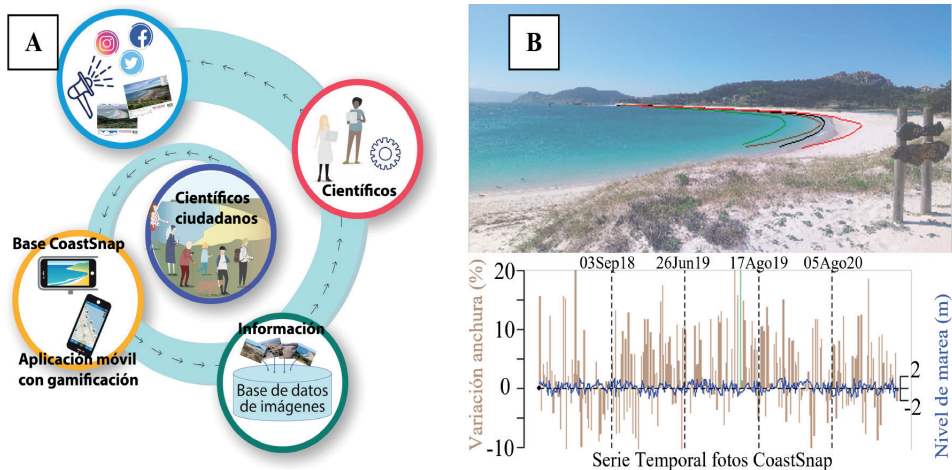


Figura 1. A) Flujo de trabajo de la iniciativa CoastSnap. B) Ejemplo de resultados: base CoastSnapCies.

2.2. Acción a nivel local: Centinelas app

Esta acción nace para solventar necesidades locales. El equipo científico de *Centinelas de la Costa* ha definido las necesidades a incluir en una nueva aplicación para dispositivos móviles que se resumen en: (i) guías identificativas de formas de playa, (ii) instrucciones y recomendaciones de toma de datos, (iii) instrucciones para la gestión y análisis de los datos en la aplicación de la actividad. Habiendo establecidos los contenidos básicos, se ha iniciado el desarrollo de una nueva aplicación, complementaria a *CoastSnap* (Figura 2).

La nueva aplicación será utilizada por grupos reducidos de voluntarios que participarán en talleres formativos desarrollados en las playas de interés, para realizar la actividad piloto de ciencia ciudadana. La formación está orientada a voluntarios/as que, durante un periodo de seis meses tras su formación, colaboren en la toma de datos específicos. Para ello se les realizará una formación teórico-práctica, empezando con unas nociones básicas de geomorfología costera, seguida de una formación específica en la toma de datos con la aplicación diseñada. Para acabar se les dará formación para la gestión de los datos dentro de la aplicación, facilitando a cada grupo de voluntarios las instrucciones necesarias para la toma de datos, así como las indicaciones necesarias para usar las distintas opciones de la aplicación.



Figura 2. Ejemplo de pantalla de la aplicación.

Referencias

Harley, M., Kinsela, M., Sánchez-García, E., and Vos, K. (2019). Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. *Coastal Engineering*, 150, 175-189.

Satellite-derived shorelines at mesotidal high-energy beaches: seasonal patterns of recent dynamics in the Aveiro region, Portugal

*Líneas de costa derivadas de satélite en playas mesomareales de alta energía: patrones
estacionales de la dinámica reciente en la región de Aveiro, Portugal*

Á. FONTÁN-BOUZAS^{1,2}, L. LÓPEZ-OLMEDILLA², J. E. PARDO-PASCUAL³,
J. PALOMAR-VÁZQUEZ³ & C. CABEZAS-RABADÁN^{3,4}

1. Centro de Investigación Mariña (CIM), Universidade de Vigo. afontan@uvigo.es

2. CESAM & Department of Physics, University of Aveiro. lauraolmedilla@ua.pt

3. CGAT Research Group; Universitat Politècnica de València. jepardo@cgf.upv.es;

jpalomav@upvnet.upv.es; carcara4@upv.es

4. UMR 5805 EPOC, Université de Bordeaux, France

Abstract: We present ten years of satellite-derived shorelines at high-energy beaches in the Aveiro region (Portugal) that have simultaneously been accurately monitored in situ. Here we examine the alongshore seasonal dynamics during the last decade. This research applies the SHOREX system for defining the shoreline position from free mid-resolution Landsat-7 (L7), Landsat-8 (L8) and Sentinel-2 (S2) satellite imagery. The shorelines have been adjusted in accordance with the tidal levels and high-resolution topographical beach profiles surveyed along with the coastal sector that enabled the extraction of the beach face slope at different locations and periods. The results showed a seasonal variability that strongly influences shoreline dynamics. The beaches retreated landward during winters, especially under energetic waves and winter storms. The shoreline eroded on average, mainly along Praia da Costa Nova and Praia de Mira, corresponding to sectors that have been identified as an erosion hotspot over the years. Large-scale coastal monitoring programs are challenging to be maintained in time. From a practical perspective, it is essential to develop a methodology for obtaining satellite-derived shoreline positions with high accuracy on mesotidal high-energy beaches, to improve the estimations of the shoreline trend.

Keywords: satellite imagery, coastal monitoring, erosion, sandy beaches, morphological evolution.

Resumen: Presentamos diez años de líneas de costa obtenidas por satélite en playas de alta energía en la región de Aveiro (Portugal) que han sido monitorizadas con precisión in situ. Aquí examinamos la dinámica estacional a lo largo de la costa en la última década. Esta investigación aplica el sistema SHOREX para definir la posición de la línea de costa a partir de imágenes libres de resolución media de los satélites Landsat-7 (L7), Landsat-8 (L8) y Sentinel-2 (S2). Las líneas de costa se han ajustado de acuerdo con los niveles de marea y los perfiles topográficos de playa de alta resolución levantados junto con el sector costero que permitieron la extracción de la pendiente de la cara de la playa en diferentes lugares y períodos. Los resultados mostraron una variabilidad estacional que influye mucho en la dinámica de la línea de costa. Las playas retrocedieron hacia tierra durante los inviernos, especialmente bajo olas energéticas y tormentas invernales. La línea de costa se erosionó en promedio, principalmente a lo largo de la Praia da Costa Nova y la Praia de Mira, que han sido identificados como hotspots de erosión a lo largo de los años. Los programas de vigilancia costera a gran escala tienen el reto de mantenerse en el tiempo. Desde un punto de vista práctico, es esencial desarrollar una metodología para obtener posiciones de la línea de costa con un satélite con gran precisión en playas mesomareales de alta energía, que permita mejorar las estimaciones de la tendencia de la línea de costa.

Palabras clave: imágenes de satélite, monitoreo costero, erosión, playas arenosas, evolución morfológica.

1. Introduction

Sandy beaches respond rapidly to hydrodynamic forcing and anthropogenic influences. Therefore, they generally exhibit shoreline variability through seasonal, interannual and multidecadal scales. Coastal areas are increasingly exposed to erosion hazards, as it is the case in the Aveiro region (López-Olmedilla *et al.*, 2022). At high-energy mesotidal beaches seasonal variations in incident wave energy drive cycles of reflective to narrow dissipative morphodynamic states, with intensive sedimentary dynamics. Accurately monitoring of vulnerable coastal areas exposed to intense storms and sea level rise is a growing concern nowadays. In this work, we integrated observational field monitoring (e.g. Fontán-Bouzas *et al.*, 2022) with large packages of satellite-derived shorelines (SDS) (Pardo-Pascual *et al.*, 2022) covering the period 2011 – 2021, with the purpose to describe the shoreline dynamics from daily to interannual scale.

2. Study area

Aveiro to Cabo Mondego coastal area (northern-central littoral of Portugal) is characterized by extensive open beaches facing the North Atlantic Ocean. The study area covers 50 km long-shore with NNE-SSW orientation belonging to a sandy

barrier eastward limited by the Aveiro lagoon. Waves and extreme storms have impacted beach dune systems showing dramatic morphological changes at seasonal and interannual scales. Long-term erosion rates are more severe in the northwest sector, particularly on the coastal stretches of Costa Nova–Praia de Mira (up to 5.8 m/year), where beach nourishment interventions were performed to mitigate the coastal erosional trend (Fernández-Fernández *et al.*, 2019; Pinto *et al.*, 2020).

3. Field observations and methodology

Detailed morphology and beach slope were extracted from beach profiles collected between 2016 and 2019 using a real-time kinematic global positioning system (RTK GPS) at a frequency of 1 s with vertical errors of 0.02–0.03 m and less than 0.01 m of horizontal errors. Regarding the satellite imagery, the freely-available mid-resolution Landsat-7 (L7), Landsat-8 (L8) and Sentinel-2 (S2) images are employed by the SHOREX system (Cabezas-Rabadán *et al.*, 2021) for defining the shoreline position". Data have been adjusted in accordance with the tidal levels and high-resolution topographical beach profiles surveyed along the coastal sector that enabled the extraction of the beach face slope at different locations and periods.

4. Results and discussion

The results show an alternating pattern of erosion and accretion due to seasonality and interannual variability that strongly influence the shoreline dynamics. The beaches retreated landward during winters (see the red lines in Praia de Mira example in Fig.1), specially under energetic waves and winter storms. On average, the shoreline retreated and eroded dramatically along Praia da Costa Nova and Praia de Mira, corresponding to sectors that suffered more damage in the area in recent years and which have been identified as erosional hotspots.

5. Conclusions

This study shows that shoreline changes exhibit large spatial and temporal variability, with erosion and accretion alternating over time. Overall, the beaches of the entire sector exhibit a generalized shoreline retreat of 7.4 m, despite the nourishment interventions in this sector. This work also highlights how improving the accuracy of satellite-derived data will be critical for enhancing the understanding of the regional-scale impacts on the coasts.

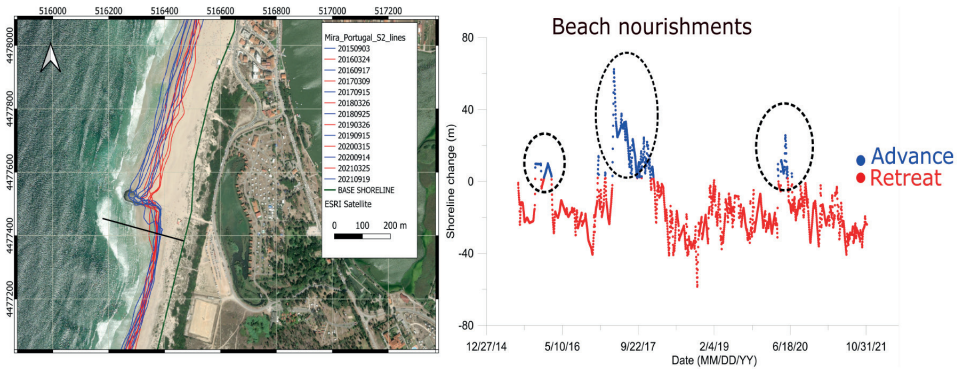


Figure 1. Example of DSAS analysis at Praia de Mira. Shoreline position over time is compared to a reference base shoreline.

Acknowledgements

This research is supported by the projects ENCLAVE (ED481D-2019/028) funded by Xunta de Galicia and MONOBESAT (PID2019-111435RB-I00) funded by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities, the Margarita Salas contract within the Re-qualification programme by the Ministry of Universities financed by the European Union – NextGenerationEU, and a PhD fellowship (SFRH/BD/131429/2017) by the Portuguese Foundation for Science and Technology.

Referencias

- Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J. E., Palomar-Vázquez, J., 2021. Characterizing the Relationship between the Sediment Grain Size and the Shoreline Variability Defined from Sentinel-2 Derived Shorelines. *Remote Sens.* 2021, 13, 2829. <https://doi.org/10.3390/rs13142829>
- Fernández-Fernández, S., Baptista P. Bernardes, C., Silva, P. A., Fontán-Bouzas, Á., López-Olmedilla, L., Ferreira C. C., 2019. Variação da linha de costa em praias arenosas: Aveiro (Portugal). IX Congr. Planeam.G.Z.C. Expressão Portuguesa.
- Fontán-Bouzas, Á., Andriolo, U., Silva, P.A., Baptista, P., 2022. Wave Impact Analysis on a Beach-Dune System to Support Coastal Management and Nourishment Works: The Showcase of Mira, Portugal. *Front. Mar. Sci.* 9, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.861569>
- López-Olmedilla, L., Almeida, L. P., de Figueiredo, S. A., Fontán-Bouzas, Á., Silva, P. A., Alcántara-Carrió, J., 2022. Effect of alongshore sediment supply gradients on projected shoreline position under sea-level rise (northwestern Portuguese coast). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 271, 107876. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2022.107876>

- Pardo-Pascual, J. E., Palomar-Vázquez, J. M., Cabezas-Rabadán, C., 2022. Analysis of the morphological changes of the beaches along the segment València - Cullera (E Spain) from satellite-derived shorelines. *Cuad. Investig. Geográfica*. <https://doi.org/10.18172/cig.5215>
- Pinto, C. A., Silveira, T. M., Teixeira, S. B., 2020. Beach nourishment practice in mainland Portugal (1950–2017): Overview and retrospective. *Ocean Coast. Manag.* 192, 105211. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2020.105211>

Utilización de datos batimétrico desde un kayak de pesca para uso comunitario

Use of bathymetric data from a fishing kayak for the scientific community

S. ALBARRACÍN y A. M. BLÁZQUEZ

*IMEDMAR-UCV. Instituto de Medio Ambiente y Ciencia Marina. Universidad Católica de Valencia
silvia.albarracin@ucv.es*

Resumen: Las comunidades de pescadores recreativos invierten tiempo y dinero en localizar emplazamientos para pescar; estos caladeros coinciden muchas veces con afloramientos rocosos o praderas de fanerógamas marinas. Para ello, instalan ecosondas en los kayaks que les permiten detectar estas irregularidades en el fondo. Por tanto, la colaboración con asociaciones de pescadores recreativos sin ánimo de lucro puede ser beneficiosa para estudiar los fondos marinos costeros, por un lado, porque se pueden optimizar recursos y, por otro, porque puede acceder a zonas donde otras embarcaciones de mayor calado no pueden hacerlo. El objetivo de este trabajo es analizar los datos batimétricos procedente de un sistema de ecosonda/GPS instalado en un kayak y compararlos con la batimetría obtenida desde un barco de investigación oceanográfica. Esto permitiría realizar estudios sedimentarios a bajo coste y obtener información de diversa índole muy cerca de la costa.

Palabras clave: batimetría, Kayak, pesca no profesional, ecosonda.

Abstract: *Non-professional fishing communities spend time and money locating good fishing grounds. These fishing grounds are often found around rocky outcrops or meadows. These fishermen modify their kayaks by installing echo sounders. Collaboration with non-professional fishermen's associations can be beneficial to obtain and optimize resources, as traditional bathymetry cannot reach depth. The problem may be due to lack of precision of the instrument data and the methods used. The aim of this study is to analyze bathymetric data from a kayak with an installed echosounder/GPS system and compare with the bathymetry data from a boat. However, social maps are often interchanged which then produces inaccurate results. Therefore, the results are not favorable for sedimentological use. However, on sandy coasts, such as the Valencian coast, the echosounder in the kayak can give the location of rocky outcrops.*

Keywords: *batimetría, Kayak, no professional fishing, echo sounder.*

1. Introducción

Las asociaciones de pesca recreativa han experimentado en los últimos años un aumento considerable. La inversión que realizan aficionados a la pesca suele ser ambiciosa, tanto desde el punto de vista motriz como instrumental. La ecosonda es un instrumento que utilizan con frecuencia para conocer tanto la localización deportiva como la profundidad de pesca óptima de los caladeros donde van a pescar.

El objetivo es analizar los datos batimétricos desde un kayak con un sistema instalado de ecosonda/GPS y compararlos con la batimetría obtenida desde un barco de uso oceanográfico.

2. Material y métodos

2.1. Campaña

Se tomó como lugar de control una superficie rígida cerca de la bocana del puerto de la Puebla de Farnals (Valencia) (Figura 1). Esta zona ($0,2831^{\circ}\text{O}$; $39,5564^{\circ}\text{N}$) tiene una estructura lineal que corresponde a una tubería de 10 metros de longitud.



Figura 1. Localización del área de control. Puerto de la Poble de Farnals (Valencia).

2.1.1 Kayak

El kayak es una embarcación con propulsión a remo de pequeño tamaño de origen esquimal; en este caso tenía 350 cm de eslora. La instalación del transductor puede estar en el interior del kayak. Es la más extendida entre los usuarios y protege el transductor de golpes, sin embargo, pierden el dato de la temperatura del agua. Para evitar que sufra el transductor también existe un brazo articulado que puede acoplarse al kayak (Figura 2). La ecosonda Lowrance Hook Reveal 7SS se fija en un hueco diseñado para protegerla. La consola tiene una ranura microSD para la carga de chart batimétricos y para descargar los datos. El transductor funciona a doble frecuencia 83/200 KHz, utilizando 200 KHz para aguas someras (Fontán *et al.*, 2010).



Figura 2. Kayak equipado con estabilizadores sin motor

2.1.2. Barco

La embarcación donde se tomaron datos batimétricos es un barco de 6 metros de eslora. La ecosonda es de marca Simrad modelo GO12 XSE, cuenta con un transductor TotalScan™ y tiene ranura para microSD. Se utilizó la frecuencia 200 kHz para aguas someras. Esta ecosonda y al igual que el barco son de uso oceanográfico en el grado en Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valencia.

2.2. Procesado

El procesado de los datos fue en ambos casos realizado a partir de plataforma biobase (www.biobasemaps.com). Descargando desde la microSD al ordenador y subiendo ambos archivos. Posteriormente se descargó el archivo shape y archivos csv en formato point para obtener el valor de Z de la zona rígida.

La cartografía georreferenciada de la imagen se realizó con *ArcMap10.7*. Se ha seleccionado el mapa social *C-Map Genesis* ya que trabajan con las marcas *Simrad*, *Lowrance*, *B&G* y *C-MAP*. Otra opción de mapa social y software online *Garmin Quickdraw™ Contours*, para Garmin.

3. Resultados y Discusión

Los resultados indican que existen diferencias centimétrica en el valor de la profundidad de las dos embarcaciones. El valor Z de la coordenada está supeditada a la isóbata en el caso del mapa social C-Map (Tabla 1). Los mapas sociales de intercambio de acceso abierto no permiten la descarga de datos brutos; existe solo la posibilidad de descargar AT5 Chart para las propias ecosondas.

Tipo de embarcación	Valor Z
Kayak	-3,91 m
Barco	-3,71 m
CMap	Isobata 3,8

Tabla 1. Datos batimétricos brutos en la coordenada Z.

Los primeros resultados del análisis muestran una batimetría plana debido a la cobertura pobre que genera una única pasada de toma de datos, lo cual no permiten una correcta interpolación. Prospecciones posteriores generaron un modelo con mucho mayor detalle gracias al aumento del número de puntos.

La batimetría realizada con un kayak puede ser económica y profesional al mismo tiempo (Hampson *et al.*, 2011). No obstante, de acuerdo con Fontán *et al.* (2010), es necesario una correcta planificación de la campaña si se utiliza una ecosonda monohaz. En el caso de realizar topografía de la playa sumergida y batimetrías del infralitoral, un kayak puede llegar a zonas poco accesibles, pero deben planificarse mallas detalladas para obtener buenos resultados. En este contexto, aprovechar la salida de los pescadores recreativos y su toma de datos en sus recorridos registrados en una web o app, como participación ciudadana activa, sería muy conveniente (Lucrezi, 2021).

4. Conclusiones

Para estudios batimétricos costeros que permitan extraer información sedimentaria de diversa índole, el aprovechamiento de los resultados obtenidos por los pescadores mediante ecosonda es más que recomendable. No obstante, son necesarias campañas de mayor resolución en la toma de datos para alcanzar una correcta interpolación de los mismos. Estas embarcaciones permiten completar información sedimentaria y batimétrica muy cerca de la costa, que no es posible para una embarcación de investigación con mayor calado.

Referencias

- Fontán A; Albarracín S; Alcántara-Carrió, J. 2010. Métodos de teledetección aplicada a la prevención de los riesgos naturales a la línea de costa. Los estudios de la erosión de las costas sedimentarias mediante GPS diferencial y ecosondas monohaz/ multihaz. Servicio de publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 297. ISBN 84-616-5534-6.
- Hampson, R., Macmahon, J., y Kirby, J.T., 2011. A low-cost hydrographic kayak surveying system. *Journal of Coastal Research*, 27(3), 600-603.
- Lucrezi, S., 2021. Remote public engagement in coastal citizen science: A systematic scoping review. *Journal of Coastal Research*, 37(6), 1271-1287.

Bathymetric inversion from video imagery: modifications on uBathy

Inversión batimétrica a partir de videos: modificaciones de uBathy

G. SIMARRO¹, D. CALVETE² & J. GUILLÉN¹

1. Institut de Ciències del Mar-CSIC. Barcelona

jorge@icm.csic.es; simarro@icm.csic.es; rduran@icm.csic.es

*2. Department of Physics, Universitat Politecnica de Catalunya
francesca.ribas@upc.edu; rinse.de.swart@upc.edu; daniel.calvete@upc.edu*

Resumen: La toma de decisiones en la gestión de las zonas costeras requiere un conocimiento de la batimetría. La obtención de batimetrías precisas tiene interés por sí misma, ya que permite, por ejemplo, conocer cómo se propagan las olas hasta la orilla y cómo ha evolucionado la morfología en el tiempo (si se dispone de varias batimetrías) o decidir si es necesario dragar la boca de un puerto. La medición de series temporales batimétricas también permite validar los modelos numéricos morfodinámicos, especialmente si se obtienen con una frecuencia relativamente alta. Los modelos morfodinámicos, a su vez, pueden ser una herramienta útil para predecir cambios futuros y analizar el impacto de posibles acciones humanas. Trabajos recientes han desarrollado métodos para estimar la batimetría a partir de imágenes de vídeo analizando la huella de la batimetría en la propagación del oleaje. En este trabajo presentamos modificaciones recientes para mejorar uno de esos métodos (uBathy). Los resultados se ilustran utilizando datos de la playa de Castelldefels (sur de Barcelona).

Palabras clave: teledetección, video-monitorización, batimetría.

Abstract: *Decision making in coastal zone management requires a knowledge of the bathymetry. Obtaining accurate bathymetries has interest on its own, since it allows, e.g., to know how the waves propagate to the shore and how the morphology has evolved in time (if several bathymetries are available) or to decide if it is necessary to dredge the mouth of a harbour. Measuring bathymetric time-series also allows to validate morphodynamic numerical models, especially if obtained with a relatively high frequency. The morphodynamic models, in turn, can be a helpful tool to predict future changes and to analyze the impact of potential human actions. Recent works have developed methods to estimate the bathymetry from video imagery*

by analyzing the footprint of the bathymetry on the wave propagation. In this work we present recent modifications to improve one of such methods (uBathy). The results are illustrated using data from Castelldefels beach (south of Barcelona).

Keywords: beach profile, remote sensing, video monitoring, bathymetry.

1. Introduction

Obtaining bathymetry of the shallow coastal zone is of enormous interest for both management and scientific purposes, as it allows for better decision making as well as the opportunity to improve knowledge of the complex physical processes involved in morphodynamics (wave propagation, sediment transport, ...).

It has recently been demonstrated that, by analysing wave propagation, coastal video monitoring systems can allow the estimation of bathymetry with errors of tens of centimetres and with an unprecedented temporal resolution (hourly). The two main approaches to obtain bathymetry from videos consider, very briefly, either a Fourier analysis of the signal (Holman *et al.*, 2013) or a spatio-temporal decomposition of the signal (Simarro *et al.*, 2019; Gawehn *et al.*, 2021). In this paper we present results of recent modifications/improvements made on “uBathy” (Simarro *et al.*, 2019). The results are illustrated with data from Castelldefels beach, using bathymetry obtained in field campaigns in the validation process.

2. Methods

Starting from a video that observes the swell at a given point of interest, and once projected onto the horizontal sea level plane, the uBathy algorithm considers the following steps to obtain the bathymetry: 1) spatio-temporal decomposition by Principal Component Analysis (PCA), thus obtaining a series of principal modes (Figure 1); in this step the video is divided into time windows of tens of seconds in order to avoid events that may introduce noise; 2) for each mode, from the temporal part the period of that wave component is recovered and from the spatial part the wave number (variable in the domain) is recovered; 3) using the dispersion equation, the bathymetry is recovered from the results obtained for all the modes of the sub-videos.

The modifications proposed here focus on: 1) use of Dynamic Mode Decomposition (DMD) instead of PCA, which allows a better recovery of the spatial pattern of the modes, 2) improvement of the wavenumber estimation from the spatial pattern of the modes, introducing a flexible neighborhood for the analysis as well as

RANSAC-type filters and 3) improvement of the algorithm's own detection of conditions where depth cannot be established, either because of poor mode quality or because of deep water wave conditions (where the wave does not notice the bottom and therefore depth cannot be estimated).

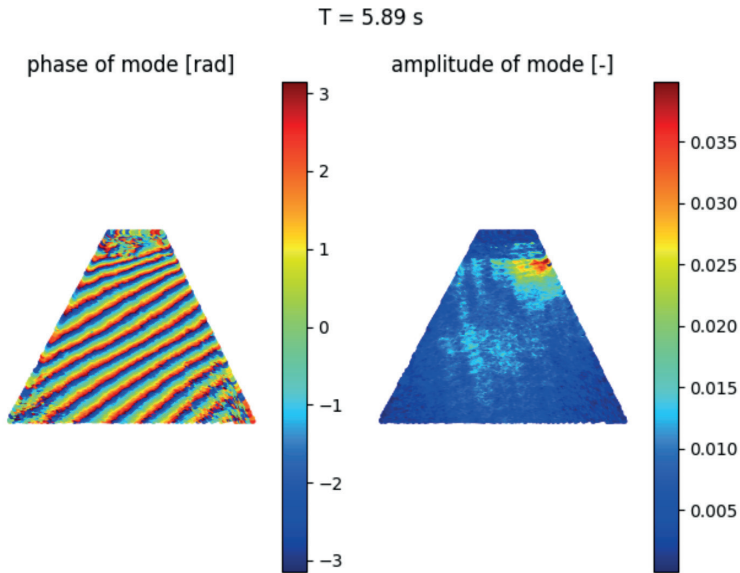


Figure 1. Spatio-temporal decomposition of the signal. Results for a mode with estimated period $T = 5.89$ s.

3. Results

The above modifications have been applied to different locations (Duck, Narrabeen, ...) available online, as well as to our own data obtained at Castelldefels beach, which are presented here. These are videos and field campaigns carried out in July and December 2020. Figure 2 shows results for the July campaign. Notice how the presence of a trough/bar system is well captured.

With respect to signal decomposition, the main result is that DMD decomposition, which assumes periodic (and not orthogonal) behaviour of the signal components, yields many more useful modes/subvideos than PCA (in the order of 5 to 1), although DMD and PCA modes are equivalent when both exist. Applying robust-PCA techniques also improves modulus acquisition.

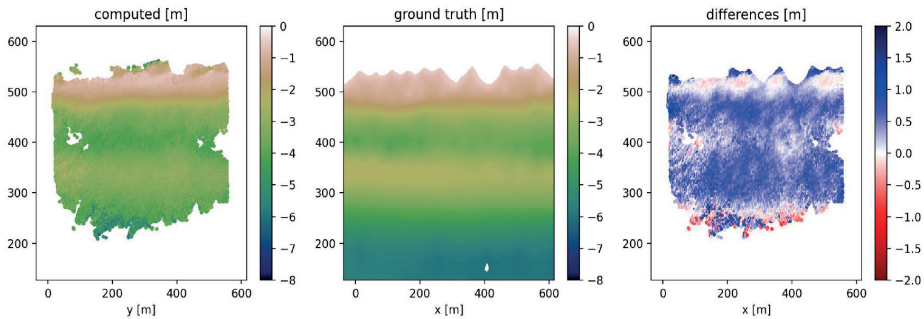


Figure 2. Computed (from vídeo) vs Ground truth (field campaign) for July 2020.

The introduction of a flexible neighborhood for the computation of the wavenumber from the spatial component of the modes shows to be relevant for both allowing to deal, without user orientations, with very variable conditions (shallow to intermediate waters) and, also to automatically detect whether the local water depth can be obtained or not.

The (non-definitive) results for the bathymetries considered in 2020 give values with a bias of ~ 20 cm and root mean square errors RMSE of ~ 40 cm for the analysis of individual videos. These errors are likely to be improved by the usual Kalman filtering of the results of several videos over time.

Acknowledgements

This work has been carried out in the framework of the MOCCA research project (RTI2018-093941-B-C3) funded by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities – National Research Agency.

References

- Holman, R.; Plant, N.; Holland, T. (2013). CBathy: A robust algorithm for estimating near-shore bathymetry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 2595–2609. DOI: 10.1002/jgrc.20199
- Simarro, G., Calvete, D., Luque, P., Orfila, A., Ribas, F. (2019). UBathy: A new approach for bathymetric inversion from video imagery. *Remote Sensing*, 11 (23), art. no. 2722. DOI: 10.3390/rs11232722
- Gawehn, M., De Vries, S., Aarninkhof, S. (2021). A self-adaptive method for mapping coastal bathymetry on-the-fly from wave field video. *Remote Sensing*, 13 (23), art. no. 4742. DOI: 10.3390/rs13234742

GEOMORFOLOGÍA MARINA,
PLATAFORMA LITORAL Y
ANÁLISIS REGIONALES

Definition of the littoral cells of the Maresme coast (Barcelona)

Definición de las celdas litorales de la costa del Maresme (Barcelona)

N. CARRIÓN¹ & A. CALAFAT²

1. Dept. Física. Universitat Politècnica de Catalunya

nil.carrion@upc.edu

2. Dept. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona

antonicalafat@ub.edu

Abstract: The definition and delimitation of the existing littoral cells on the coast of the Maresme region located north of the city of Barcelona is carried out through the temporal morphodynamic study of 13 beaches (1946-2018) and the grain size distribution (March of 2019). The results show zoning, with the northern area erosive (Tordera river delta and Santa Susanna), the central area (between Calella and Mataró N) remains stable or prograding and the southern area (from Mataró S to Badalona) with an irregular behaviour. The granulometric study shows a decrease in grain size in the SW direction, of the preponderant littoral drift, and a decrease rate of $73 \mu\text{m}\cdot\text{km}^{-1}$. From the study, we can conclude that the Maresme coastline would be subdivided into two main cells, with the limit located in the port of Mataró.

Keywords: coastal cell, littoral drift, zonation, grain-size evolution, Maresme.

Resumen: La definición y delimitación de las celdas litorales existentes en el litoral de la comarca del Maresme situada al norte de la ciudad de Barcelona se realiza mediante el estudio morfodinámico temporal de 13 playas (1946-2018) y la granulometría (marzo de 2019). Los resultados muestran una zonificación, con la zona norte erosiva (delta del río Tordera y Santa Susanna), la zona central (entre Calella y Mataró N) se mantiene estable o en progradación y la zona sur (desde Mataró S a Badalona) con un comportamiento irregular. El estudio granulométrico muestra una disminución del tamaño de grano en dirección SW, de la deriva litoral preponderante, y una tasa de disminución de $73 \mu\text{m}\cdot\text{km}^{-1}$. Del estudio podemos concluir que el litoral del Maresme quedaría subdividido en dos celdas sedimentarias principales, con el límite situado en el puerto de Mataró.

Palabras clave: celda litoral, deriva litoral, zonación, evolución granulométrica, Maresme.

1. Introduction

The concept of coastal cell or littoral cell was introduced by Inman and Chamberlain (1960) as “the segmentation of the coast into a series of individual compartments where a complete sedimentation cycle occurs, where there is supply, transport, and sand sedimentation.” The concept facilitated beach management, the study of erosion, accretion, and longitudinal transport processes, and the preparation of sediment balances.

The Maresme was considered a single coastal cell (Serra *et al.*, 1989) that was limited from the river Tordera, the main source of sediment, to the mouth of the river Besós. Subsequent work proposed that the Maresme coastal cell was divided into six segments, bounded by different ports (Generalitat de Catalunya, 2010). Subsequently, in the CEDEX works (2013 and 2014), the Maresme coastal cell was subdivided into three large “physiographic units”: Zone 1: Tordera-river port of Arenys de Mar; Zone 2: port of Arenys de Mar-Puerto de Mataró; and Zone 3: Mataró-Montgat port. This last area was subdivided into three subunits, delimited by certain structures (ports and breakwaters).

The present work focuses on the definition and delimitation, through a morphodynamic vision, of the coastal cells on the coast of the Maresme region. For this, the temporal and spatial evolutions of the beach width and the grain size distribution are used.

2. Methodology and Study Area

The Maresme region, located in the north of Barcelona (Figure 1a), consists of 49 km of coastline of which approximately 30 km are steep slopes, medium and large sand size, and siliceous composition

The evolution of the coast was studied by measuring the width of 13 beaches influenced by anthropic structures (ports, breakwaters) or natural capes. The evolution of the beaches to the N (upstream) and downstream (to the south) of the structure was assessed. The period covered was 72 years (1946-2018). The nine points chosen from north to south are: Tordera delta, Santa Susanna, Calella, Sant Pol de Mar, Arenys de Mar, Port Balís, Mataró, El Masnou and Badalona (Figure 1a). Its evolution was carried out by obtaining the variation rates, using three methods: End Point Rate (EPR), Linear Regression Rate (LR), and Annual Variability Rate (IVA).

The granulometric study was carried out at each measurement point, with sampling in March 2019, from the swash zone, the berm, and the dry beach.

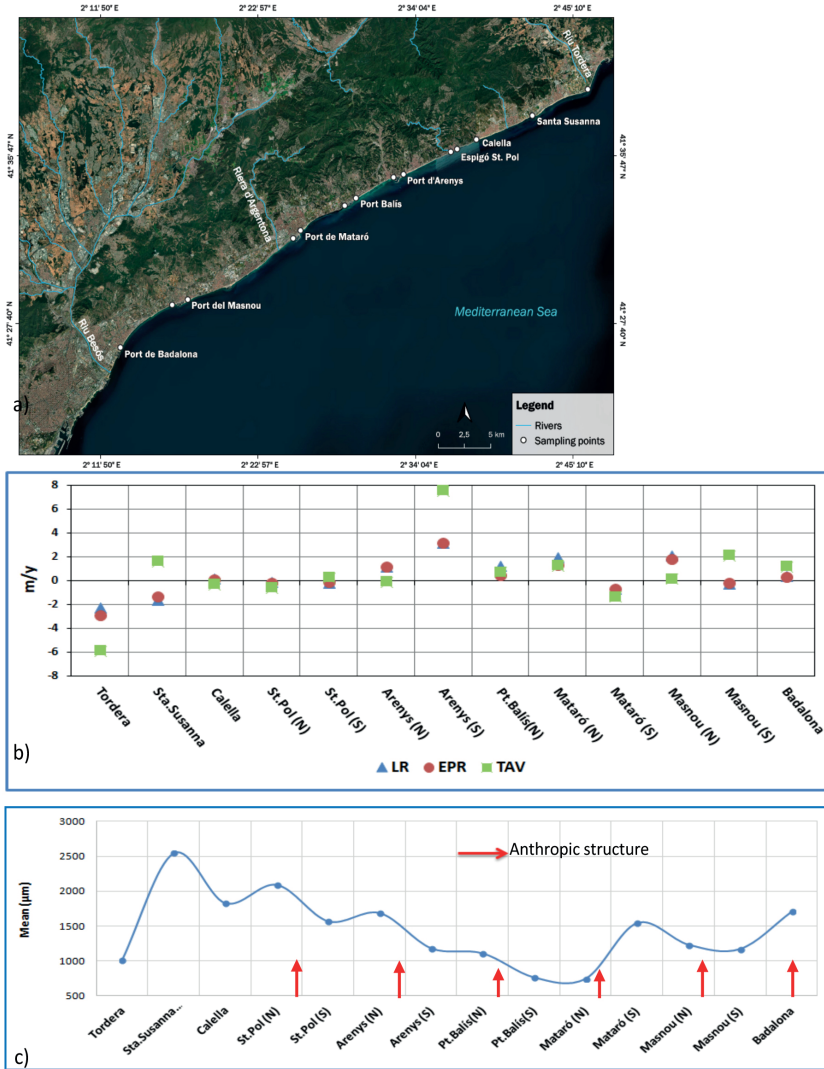


Figura 1. a) Map of the location of the study area. The yellow dots show the location of the stations where the width of the beaches has been measured and the sediment sample. b) Spatial evolution of morphodynamic parameters: EPR (End Point Rate), LR (Linear Regression), and AVT (Annual Variability Rate). Negative values are observed in the points of Tordera and Santa Susanna, a zone of stability between Calella and Sant Pol (S), an area with positive values between Arenys (N) and Mataró (N), and an area with irregular values. between Mataró (S) and Badalona. c) The spatial evolution of the mean grain size distribution shows a clear decrease between Santa Susanna and Mataró (N). The arrows indicate the position of different anthropic structures (ports, jetties).

3. Results and Discussion

The evolution of the width of the beaches shows stability between the years 1946 and 1994. Subsequently, the NE head of the coastal cell became erosive, between the delta of Tordera and Sta. Susanna (Figure 1b), to show a significant increase in the areas of Arenys, Mataró N and Masnou N (Figure 1b).

The quantification of the accretion and erosion rates shows how all the rates used show great coherence (Figure 1b). The coasts of La Tordera and Santa Susanna are erosive, with EPR rates with annual losses of -2.9 and -1.6 m/a, respectively. The granulometric range goes from 2546 μm in Sta. Susanna to 741 μm in Mataró N. The relationship between the mean and the SD indicates that the finer grain sizes are better sorted. In the graph of figure 1c, the effect of coastal drift on the sediment is observed. The sector between Santa Susanna (the point with the coarse grain size of 2546 microns) and Mataró N (the finest grain size with 741), gives us a rate of decrease in grain size of 73 $\mu\text{m}/\text{km}$. This fact is parallel to the higher classification of sediments.

4. Conclusions

Based on the evolution of the rates of changes of shoreline (EPR, LR, and TAV) studied together with the evolution of grain size, we can define that the Maresme coast can be divided into two littoral cells bounded by the port of Mataró, where there is an interruption of coastal drift. The first cell is delimited from the river Tordera to the north of the port of Mataró, while the second cell is delimited from the south of the port of Mataró to the beach located to the north of the port of Badalona. This second cell would be divided into two sub-cells. The main sediment contribution of this second cell would be from the Argentona stream.

References

- CEDEX (2013). Estudio de la dinámica litoral, defensa y propuesta de mejora en las playas con problemas: Estrategia de actuación en el Maresme. Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- CEDEX (2014). Estudios de dinámica litoral, defensa y propuestas de mejora en las playas con problemas erosivos, considerando los efectos del cambio climático: Estrategia de actuación en el Maresme. Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar.
- Generalitat de Catalunya. (2010). Llibre Verd de l'Estat de la Zona Costanera a Catalunya.

Inman, D.L., Chamberlain, T.K., (1960). Littoral sand budget along the southern California coast (abstract). In: Report 21st International Geological Congress, Copenhagen, pp. 245-246.

Serra, J., Calafat, A., Canals, M.(1989). XII Cong. Esp. *Sedimentología*, pp. 239-240.

Morfologías de las unidades deposicionales submarinas asociadas a la tectónica compresiva y diapiros de lodos en el Golfo de Urabá (Colombia)

Morphologies of submarine depositional units associated with compressive tectonics and mud diapirs in the Gulf of Urabá (Colombia)

J. J. REY², I. CORREA¹, A. BARRANCO², J.R. DÍAZ DE RADA² y D. SÁNCHEZ¹

1. Área de Ciencias del Mar, Universidad EAFIT (Colombia). Ivan.correa@gmail.com

2. Esgemar, Málaga. esgemar@esgemar.com

Resumen: Estudios geofísicos marinos realizados en la plataforma interna del sector oriental del Golfo de Urabá (Departamento de Antioquia, Caribe Sur Colombiano), muestran las morfologías internas de los cuerpos sismodeposicionales submarinos, en relación con la tectónica compresiva regional existente, así como, con los fenómenos diapíricos asociados al arrastre de lodos hacia la superficie, provocados por el ascenso de gases.

Palabras clave: morfología, geofísica marina, diapiros de lodo, Golfo de Urabá, Colombia.

Abstract: Marine geophysical studies carried out in the internal platform of the eastern sector of the Gulf of Urabá (Department of Antioquia, Colombian South Caribbean), show the internal morphology of the submarine seismodepositional bodies in relation to the existing regional compressive tectonics, as well as with the diapiric phenomena associated with the injection of muds towards the surface caused by the rise of gases.

Keywords: morphology, marine geophysics, mud diapirs, Gulf of Urabá, Colombia.

1. Introducción

Los ejemplos del vulcanismo de lodos han sido descritos en gran parte del planeta, sin embargo, los fenómenos de vulcanismo submarino activo de lodos han sido expuestos en menor proporción, y en la mayoría de los casos asociados a procesos hidrotermales en las cuencas oceánicas. La actividad diapírica asociada a los lodos

en la costa norte de Colombia ha sido observada y descrita desde hace dos siglos (Ramírez, 1969, Duque-Caro 1984). Los volcanes que se desarrollan en la plataforma Colombiana, se asocian a domos diapíricos provocados por el flujo de lodos hacia la superficie arrastrados por gases desde unidades estratigráficas inferiores. Se trata de chimeneas, conductos ligados a fracturas y discontinuidades por las que ascienden plumas de gases que empujan y arrastran materiales muy finos hacia la superficie. Cuando la chimenea ascendente traspasa la corteza superior del abombamiento diapírico, se abre un cráter por el que se expulsan lodos empujados por los gases hacia la superficie. En tierra, los conos volcánicos por la acumulación de sedimentos finos hidrolizados van discurriendo y apilándose por las laderas y secándose más tarde, formando conos volcánicos. Sin embargo, en el caso de los volcanes de lodo submarinos, la fase diapírica y el abombamiento que produce en el fondo es similar a la que se desarrolla en la costa emergida, pero cuando se desarrolla un cráter submarino y se expulsan los lodos hacia la columna de agua, no se forma un cono volcánico, porque a medida que los lodos van siendo expulsados, son barridos y diluidos por las corrientes marinas.

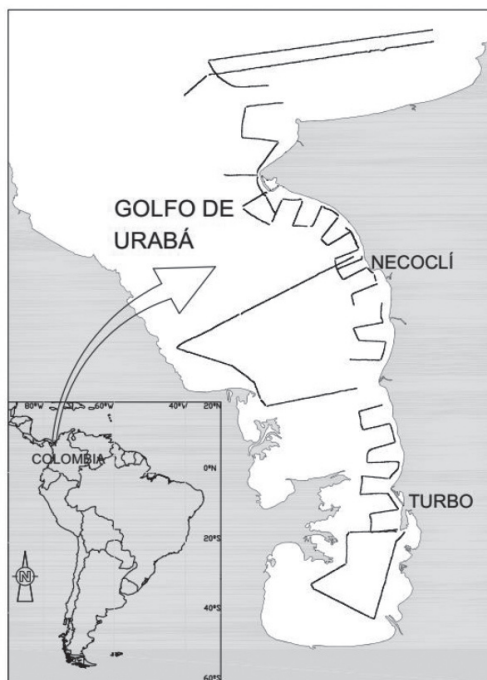


Figura 1. Itinerarios realizados durante la campaña de geofísica marina con perfiladores sísmicos.

Los resultados que se muestran aquí fueron recopilados durante una campaña de geofísica marina realizada en la plataforma costera del margen oriental de Golfo de Urabá (Región de Urabá-Antioquia), con un área de 40,000 ha, y una anchura media de 4 km que se extiende desde la Punta de Sabanilla (Zapata-Damaquiel), hasta la Punta de las vacas (Turbo-Arboletes) (Fig. 1). Para ello se realizó un levantamiento geofísico de alta resolución con un perfilador sísmico (3.5 kHz) y otro levantamiento simultáneo con un SBP de 500 julios junto con una toma de muestras del fondo por buceo para confirmar la existencia de costras recifales.

2. Contexto regional

La plataforma continental colombiana en esta zona está caracterizada por su actividad tectónica y abundante sedimentación. La acción conjunta de estos dos parámetros facilita la producción de un intenso diapirismo arcilloso. El sector estudiado de la plataforma colombiana es la margen nororiental del Golfo de Urabá. Está bordeada por dos cinturones cenozoicos (San Jacinto y Sinú), que representan la terminación más septentrional de la Cordillera de los Andes. La Faja del cinturón Sinú está formada por lutitas y turbiditas marinas del Mioceno y Plioceno intensamente plegadas, gruesas (>5.000 m), estos sedimentos finos son los materiales expulsados y arrastrados hacia la superficie en forma de diapiros de lodos a lo largo del eje de la Faja del Sinú en tierra (Duque Caro, 1984). En zonas de tectónica activa, los materiales finos poco compactados también pueden estar sujetos a tensiones tectónicas; en estos casos el flujo de lodo circulará preferentemente a lo largo de discontinuidades o alineaciones. En la franja costera son comunes estructuras diapíricas, que se evidencian por la existencia de volcanes de lodo, los cuales están bien desarrollados en Arboletes, San Juan, San Pedro, Necoclí y Turbo (Fig. 2).

3. Características morfológicas de los diapiros submarinos

El diapirismo de lodo encontrado, también conocido como volcanismo sedimentario corresponde a un levantamiento local en forma de domo de materiales finos no consolidados que deforma los sedimentos suprayacentes y los va arrastrando y deformando a lo largo de su ascenso. Los volcanes de lodo activos que llegan aflorar en la superficie del fondo corresponden a los cráteres de las chimeneas que perforan las capas más altas de los diapiros expulsando lentamente a través del

cráter lodo fluido mezclado con el gas (Fig. 2). En algunos casos se ha descrito que la expulsión de gases se hace de forma violenta creando una gran burbuja en la superficie del mar con la posibilidad de que se produzca una combustión espontánea. El rango del diámetro de los domos detectados es de 0,5 a 2 km, aunque la mayoría de ellos están en un rango 1 km.

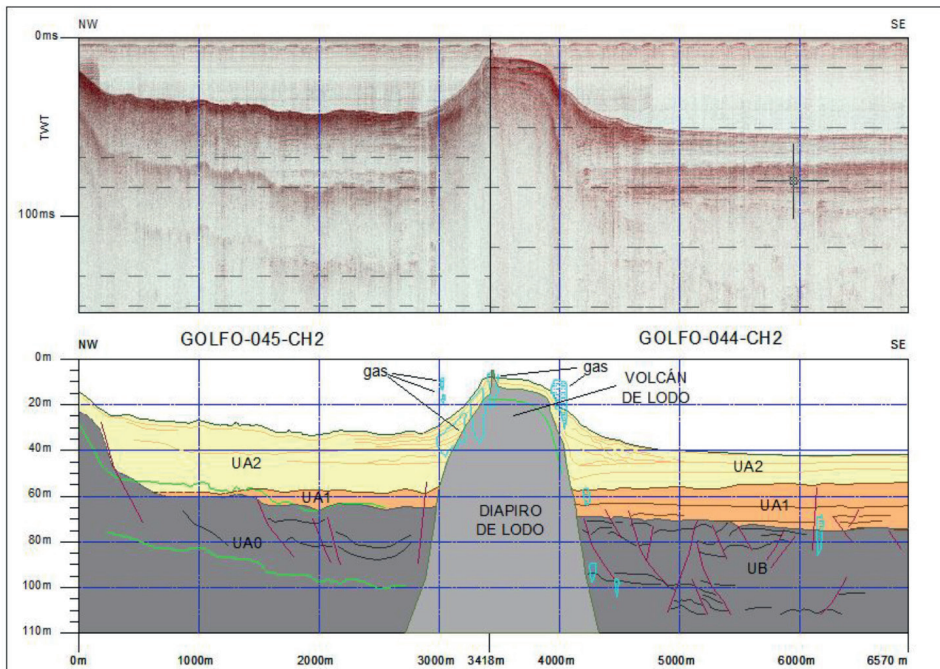


Figura 2. Perfil sísmico SBP-500julios y la interpretación abajo. Obsérvese como el diapiro de lodo deforma los reflectores, así como el escape de gases y lodo que se genera en el cráter.

4. Control diapiórico de los depósitos recifales

Las observaciones hechas por Vernet (1985) indican que las cimas de los diapiros actualmente situadas en profundidades de agua de menos de 40 metros están cubiertas con arrecifes de coral vivos, mientras que los diapiros en la plataforma exterior están cubiertos de arrecifes de coral muertos (Fig. 3).

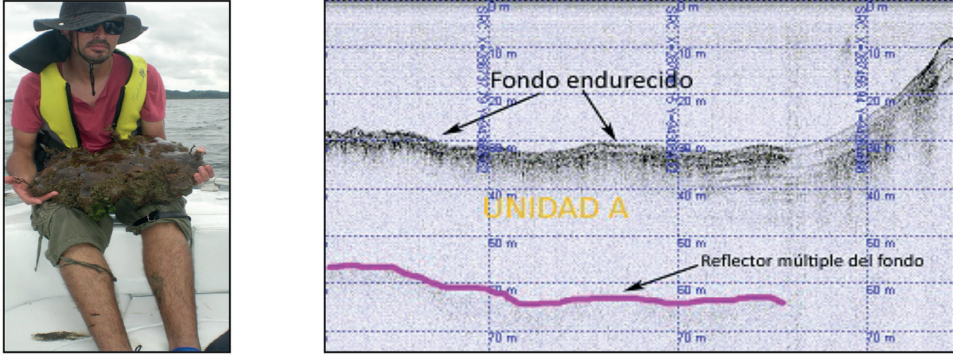


Figura 3. A la izquierda una muestra del arrecife de coral recogida por buceo; a la derecha registro sísmico de un perfilador (3.5 kHz) en el que se muestra un fondo endurecido de alta impedancia acústica creado por un arrecife de coral.

5. Resultados

Definitivamente, parece que la morfología de la plataforma estudiada, la distribución de sedimentos y la variación de facies en esta zona estudiada están directamente controladas por la acción de diapirismo activo vinculado a la tectónica compresiva. Los carbonatos y los edificios recifales se distribuyen a lo largo de las crestas diapíricas formando parches coralígenos sumergidos. Es decir que el control topográfico ejercido por los diapiros en la plataforma determina el patrón de depósito de carbonato y clásticos, mientras que los depósitos clásticos de origen fluvial se acumulan preferentemente en los bajos de la plataforma debido al hundimiento sinsedimentario por pérdida de espacio debido al flujo profundo de lodo.

Referencias

- Ramírez, J. E., 1970. Los diapiros del mar Caribe Colombiano. Actas, I Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, 31-39.
- Duque-Caro, H., (1984). Structural style, diapirism, and accretionary episodes of the Sinu-San Jacinto Torrane, southwestern Caribbean bordeland. Geolog. Society of America, Memoir 162, 303-316.
- Vernette, G., (1985). Le Plateforme Continentale Caruibe de Colombia: Importance du Diapirisme Argileux sur Le Morphologie et la Sédimentation. Thèse Doctorut d'Etut, Univ. Bordeaux 1387 p.

Patrones de flujo acuoso en la llanura mareal de El Manto (Isla Saltés, Huelva)

Water flow patterns in El Manto tidal flat (Saltés Island, Huelva)

J. A. MORALES¹ y N. CAPELO²

1. Dpto. Ciencias de la Tierra, Univ. Huelva. jmorales@uhu.es

2. Capelo, Arte y Cultura. Operador de Dron AESA. Marineros, Huelva. nicocapelo@yahoo.es

Resumen: Desde 1994, el crecimiento de una nueva contraflecha litoral al frente de Isla Saltés cerró completamente la entrada del oleaje a la llanura de marea de El Manto. Desde entonces, el único agente que ha actuado sobre esta llanura ha sido la corriente mareal. Este hecho ha supuesto un drástico cambio en la dinámica sedimentaria. La primera consecuencia es que el sedimento ha pasado de ser arenoso a ser fangoso. Antes del establecimiento de la flecha el oleaje hacía migrar barras arenosas sobre la llanura de marea, pero la posición de estas barras quedó fijada cuando el oleaje dejó de actuar. La acumulación vertical de más de 3 mm/año de limos y arcillas ha hecho agrandar el fondo unos 8 cm. Este depósito fangoso sobre las antiguas barras arenosas ha sido suficiente para crear un relieve que ha condicionado la aparición de una red de drenaje mareal incipiente. Su trazado ha sido estudiado a través del levantamiento de una cartografía sobre imágenes obtenidas con dron. En este caso, la red de drenaje adopta una forma que recuerda al sistema linfático. Este tipo de red ha sido denominada compleja por algunos autores. **Palabras clave:** llanura de marea, red de drenaje, El Manto, marismas del Odiel.

Abstract: Since 1994, the growth of a new coastal counterspit in front of Saltés Island completely closed the entrance of waves to El Manto tidal flat. Since then, the only agent that acts on this plain has been the tidal current. This has meant a drastic change in sedimentary dynamics. The first consequence is a change of nature of the sediment, which passed from being sandy to being muddy. Before the establishment of the spit the waves made sandy bars migrate over the tidal flat, but the position of these bars was frozen when the waves stopped acting. The vertical accumulation of more than 3 mm / year of silt and clays has grow up the bed about 8 cm. This muddy deposit on the old sandy bars has been enough to create a relief that has conditioned the appearance of an incipient tidal drainage network. The layout of this network has been studied through the survey of a image mosaic obtained with drone. In this case, the drainage network

takes on a shape reminiscent of the lymphatic system. This type of network has been called complex by some authors.

Keywords: tidal flat, drainage network, El Manto, Odiel Marshes.

1. Introducción

Isla Saltés forma parte del sistema de cierre del estuario mesomareal de la ría de Huelva en el sector central del golfo de Cádiz. Trabajos anteriores describieron la disposición de las formaciones superficiales arenosas en Isla Saltés como una sucesión de cheniers (Borrego *et al*, 2000; Morales *et al.*, 2014). En la zona frontal de la isla se desarrolla una llanura de marea denominada El Manto (Fig. 1).



Figura 1. Localización de la llanura de marea de El Manto en el frente de Isla Saltés en el estuario de la ría de Huelva.

La dinámica de esta llanura de marea estuvo en su origen muy influenciada por la presencia de un delta de marea situado en la salida del canal de Punta Umbría y que limita Isla Saltés por el suroeste. Este delta mareal desviaba los trenes de olas procedentes del Atlántico, que refractaban al atravesarlo antes de alcanzar la llanura de marea. Durante los años 80 y principio de los 90 del siglo XX las olas refractadas atravesaban la zona somera de la llanura de El Manto haciendo migrar sobre ella barras arenosas hasta alcanzar el frente del chenier más reciente (Fig. 2, 1989). La construcción de un espigón en el margen oeste del canal Punta Umbría modificó completamente la dinámica del sistema. El delta de marea comenzó a desplazarse hacia el norte hasta transformarse en una barra que quedó adosada al frente de El Manto en 1994. Desde entonces las olas ya no pudieron actuar sobre

la llanura de marea, que quedó cerrada por esta nueva barrera y quedó sometida exclusivamente a la acción mareal. Así pues, las barras de arena que el oleaje hacía migrar sobre esta llanura quedaron congeladas. La marea comenzó a depositar fangos sobre estas barras con tasas de sedimentación de 3 mm/año (Morales *et al.* 2003) y en paralelo se desarrolló una red de drenaje mareal (Fig. 2, 2021). La morfología de esta red de drenaje es el objetivo de este trabajo.

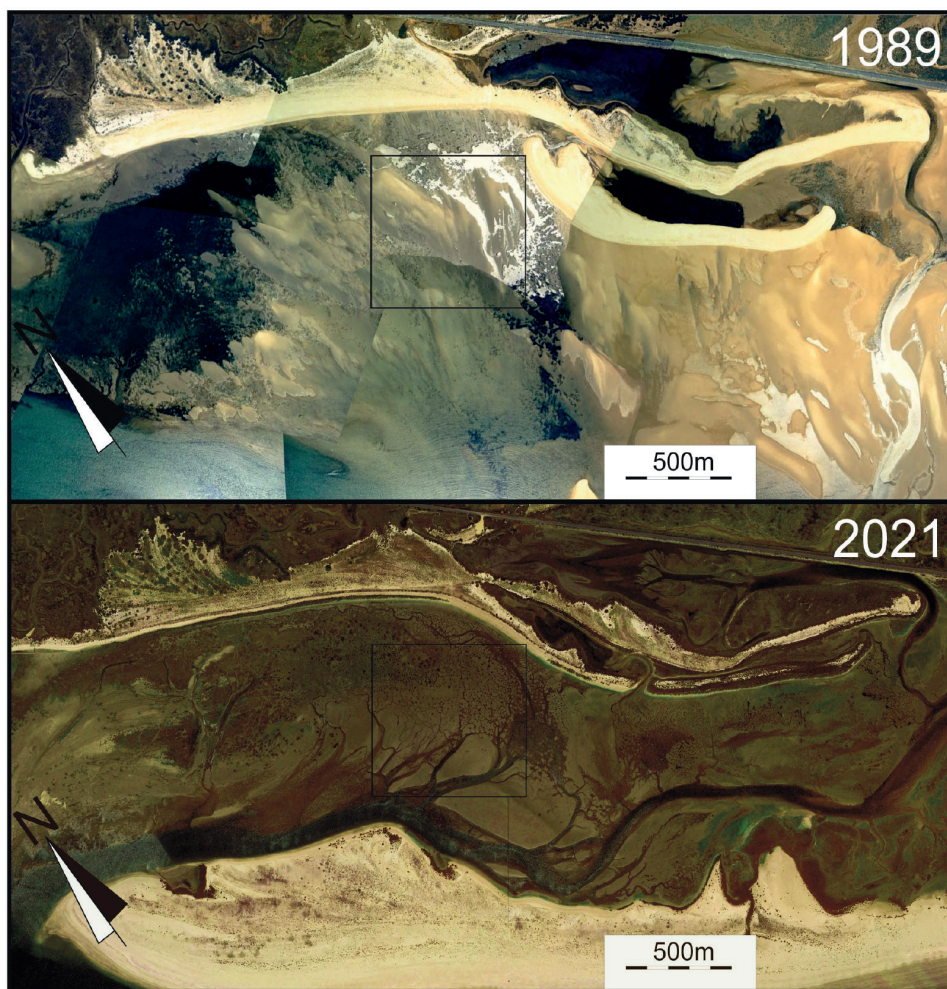


Figura 2. Comparación de la llanura de marea de El Manto entre 1989 y 2021. El recuadro muestra el área cartografiada en la Figura 3.

2. Metodología

El trabajo consiste en la comparación fotogramétrica del ortofotomosaico realizado con las fotografías de la Dirección General de Costas de abril de 1989 y de un vuelo de dron realizado específicamente para este trabajo en diciembre de 2021. Los fotogramas geo-referenciados fueron incorporados a un SIG utilizando el software Mapinfo 7.0.

3. Análisis de la red de drenaje

La red de drenaje mareal generada desde la transformación de la llanura de marea aprovecha los gradientes topográficos creados por las barras arenosas cuya posición quedó fijada cuando el oleaje dejó de entrar en la llanura. La acumulación de fangos a un ritmo rápido hizo que los canales tuvieran en su mayoría un trazado sinuoso, una escasa profundidad y una suave pendiente lateral, sin embargo, muchos de ellos presentan un fondo erosivo. En cuanto al trazado general de la red, se diferencia de otras llanuras donde ésta ha adquirido una morfología dendrítica. En esta llanura las corrientes han excavado unas pozas circulares conectadas por los canales. La red de drenaje adopta así una forma que recuerda al sistema linfático (Fig. 3). Este tipo

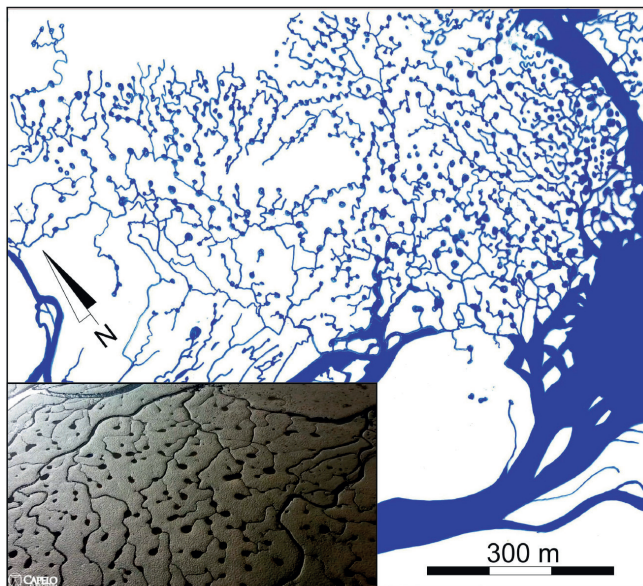


Figura 3. Área cartografiada.

de red ha sido denominada “compleja” por algunos autores en llanuras de marea similares como Tollesbury, en Gran Bretaña (Funnell and Pearson, 1989). El origen de este tipo de red no ha sido analizado en profundidad en trabajos previos, aunque estos autores lo han atribuido a procesos erosivos relacionados con turbulencias del flujo asociadas a los meandros.

Agradecimientos

Agradecemos al Parque Natural Marismas del Odiel la concesión del permiso de vuelo.

Referencias

- Borrego, J., Morales, J. A. y Gil, N. (2000). Evolución reciente de la llanura de cheniers de Isla Saltés. (Huelva, S.O. España). *Revista de la Sociedad Geologica de España*, 13 (3-4).
- Funnell, B. M. and Pearson, I. (1989). Holocene sedimentation on the North Norfolk barrier coast in relation to sea-level change. *Journal of Quaternary Science*, 4: 25-36.
- Morales, J. A., San Miguel, E. G. y Borrego, J. (2003). Tasas de sedimentación reciente en la Ría de Huelva. *Geogaceta*, 33: 15-18.
- Morales, J. A., Borrego, J. y Davis, R. A. (2014). A new mechanism for chenier development and a facies model of the Saltés Island chenier plain (SW Spain). *Geomorphology*, 204: 265-276.

Evidencias de interacción fondo-corriente a partir del análisis de formas de fondo en el umbral NO de la bahía oriental externa de Cádiz (SO España)

Evidence of bottom-current interaction from bedforms analysis at the NW sill of the eastern outer bay of Cadiz (SW Spain)

J. M. JÓDAR¹ y J. A. MORALES²

1. Dpto. Ciencias de la Tierra, Univiversidad de Cádiz. josemanuel.jodar@uca.es

2. Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva. jmorales@uhu.es

Resumen: El umbral NO corresponde al único sector no alterado por la acción del hombre que comunica parte de la bahía oriental con el área occidental de la bahía externa de Cádiz. Esta zona está delimitada por diferentes bajos submarinos y promontorios rocosos que le confieren unas características batimétricas y morfo-fisiográficas singulares. Esta escasez de sedimento disponible induce la convivencia de diferentes tipos de mesoformas longitudinales con otras más efímeras y de menor escala (p.e. sombras y socavones de corriente). Estas formas pueden o no venir acompañadas de formas transversales sobrepuestas más estables (p.e. cintas, colas de sedimento y mantos de recubrimiento). La distribución de estas morfologías ha sido estudiada mediante registros de sonar de barrido lateral. En este umbral se han identificado cambios en la tipología, reflectividad y dimensiones de los campos de formas de lecho según la posición, relieve y orientación de los contornos de los fondos consolidados que sustentan los sedimentos y conforman la base de este sector. La geometría y las dimensiones de las formas activas se interpretan como producto de procesos de interacción entre la corriente y el fondo en áreas concretas.

Palabras clave: bahía de Cádiz, formas de fondo, umbral NO, sonar de barrido lateral, transporte de sedimento.

Abstract: The NW step corresponds to the only sector not altered by the action of man that communicates part of the eastern bay with the western area of the outer bay of Cádiz. This area is delimited by different underwater shoals and rocky promontories that give it rare bathymetric and morpho-physiographic characteristics. This scarcity of available sediment induces the co-existence of different types of longitudinal mesoforms with others more ephemeral and smaller scale (e.g. shadows and current sinkholes). These shapes may or may not be accompanied by

more stable superimposed transverse shapes (e.g. ribbons, sediment tails and coating mantles). The distribution of these morphologies has been studied using side-scan sonar records. At this threshold, have been identified some changes in: type, reflectivity and dimensions of bedform fields, following the position, relief and orientation of the contours of the consolidated beds that support the sediments and constitute the basis of this sector. The geometry and dimensions of active bedforms are interpreted as the product of interaction processes between current and bed in specific areas.

Keywords: bay of Cádiz, bedforms, NW step, sidescan sonar, sediment transport.

1. Introducción y localización del área de estudio

La bahía externa de Cádiz corresponde a una ensenada costera situada en el SO de la Península Ibérica, compuesta por dos entrantes conectados con mar abierto y entre sí (Fig. 1-A). Existen diferentes áreas de acceso que desde el punto de vista náutico comunican estas partes de la bahía entre sí, y específicamente este trabajo se centra en la que se conoce como Canal Norte (IHM, 1966), única zona de acceso al puerto de Cádiz que no se tiene constancia de que haya sido modificada por el hombre (Jódar, 2016). Esta zona presenta una configuración en forma de alto estructural o umbral fisisográfico relacionado con deformaciones de origen tectónico más recientes en esta zona (Llave, 1998; Jódar, 2017). Existe poco conocimiento de esta área, y es por este motivo por lo que se plantea este trabajo como una primera aproximación para conocer este sector sumergido que está siendo afectado por la dinámica sedimentaria marina actual, a partir de la distribución de formas de fondo activas identificadas y cartografiadas.

2. Metodología

Para este trabajo se han utilizado mayoritariamente datos sonográficos de la campaña Nereida I (IEO) obtenidos en 1985, donde se usó un equipo de sonar de barrido lateral Klein 595 (100- 325kHz; Fig. 1-A). De forma complementaria se utilizaron datos de un levantamiento batimétrico realizado con una ecosonda monohaz Atlas Deso 20 de doble frecuencia y resolución submétrica (Geomytsa, 1994), a partir de éste se ha obtenido un MDT con el fin de estimar profundidades y pendientes intermedias en esta área de estudio. La interpretación de los registros sonográficos permitió delimitar los fondos consolidados de los no consolidados, y seguidamente se identificaron y cartografiaron los diferentes campos de formas de fondo que fueron complementados con características acústicas y datos morfométricos.

3. Resultados y discusión

El área de estudio presenta una distribución batimetría entre los 7-12 m de profundidad en el área de la bahía occidental, y entre 9-10 m en la parte más somera de la Canal Norte ocupada por la zona del umbral NO en plena bahía oriental (Fig. 1-A), donde se alcanzan valores de pendiente bajos (0,08°). El nombre de umbral se asocia a la fisiografía con forma de alto o escalón de esta zona de conexión que presenta una morfología curva cóncava abierta hacia la bahía oriental, y localmente éste aparece encajado entre el promontorio costero de la Punta de Sta. Catalina y el bajo de La Galera que los conecta entre sí (Jódar, 2016). En superficie, la presencia de fondos rocosos en esta zona es importante, los cuales presentan diferentes patrones morfo-fisiográficos descritos por Jódar (2017). Estos valores de pendiente tan bajos podrían, en primera instancia, explicar una escasa movilidad de sedimento con respecto a áreas adyacentes.

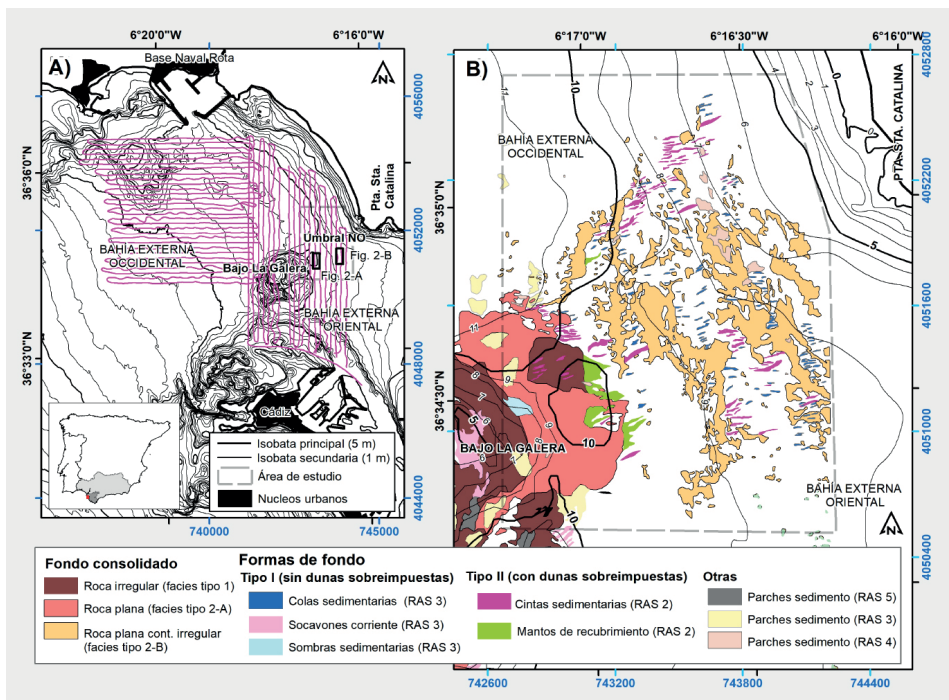


Figura 1. A) Localización geográfica y situación campaña Nereida I (IEO-1985); B) Tipos de fondo consolidado (modificado de Jódar, 2017) y campos de formas de fondo.

La mayor parte de las formas de fondo activas identificadas en esta zona son longitudinales y aparecen en sectores concretos tanto del mismo umbral y en su periferia, donde se han identificado hasta 8 tipos (Fig. 1-A). Estas formas presentan una respuesta acústica superficial (RAS) de intensidad más elevada que el fondo consolidado al que mayoritariamente se asocian, lo que indica que están formados por sedimentos groseros (Fig. 2). Según el régimen hidrodinámico local y el tamaño de grano involucrados, es esperable que estén asociados a transporte en carga de fondo.

Los efectos de la interacción corriente-fondo se reflejan en la ubicación de los campos de mayor tamaño, que aparecen asociados a los diferentes tipos con distinta respuesta acústica, y configuración de la roca en el umbral (Fig. 2). Por un lado, los mantos de recubrimiento y algunos parches sobre roca situados en el flanco SO del umbral aparecen junto a las mayores irregularidades del relieve ubicados en áreas de la bahía oriental (Fig. 2-A). En cambio, los campos de cintas situados en el frente exterior N del umbral se localizan junto a rocas planas subaflorantes, con menor relieve en un área más somera y expuesta de la bahía occidental (Fig. 2-B). Esto confirma que la presencia y localización de estos campos están directamente relacionadas por procesos de interacción corriente-roca, hecho que se interpreta específicamente por la ubicación, grado de soterramiento/afloramiento asociado y cambios de relieve, además de la pendiente del fondo, todas ellas características que están acordes con las diferentes formaciones rocosas que conforman la zona del umbral (Jódar, 2017).

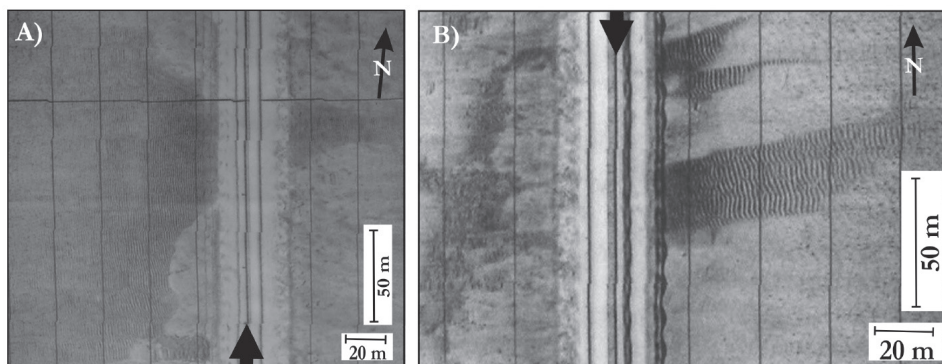


Figura 2. Sonogramas de manto de recubrimiento (A) y cintas sedimentarias apoyadas sobre roca plana subaflorante (B), y en ambos casos se identifican sobreimpuestas pequeñas dunas 3D con las creas onduladas en fase. La flecha negra indica sentido de avance durante la adquisición y su localización en la figura 1.

Con respecto a las formas transversales sobreimpuestas, se ha constatado que aparecen asociadas a los patrones de mayores dimensiones, que oscilan entre megarripleas a pequeñas dunas (Fig. 2). El hecho que sean formas de tan pequeña escala explicaría nuevamente que en esta zona existe una baja disponibilidad de sedimento, común en ambientes con bajos aportes y/o grados de acomodación sedimentaria elevada. Este hecho no hace más que reafirmar la idea que se trata de una zona con un déficit de sedimento importante.

Referencias

- Geomytsa (1994). Estudio geofísico marino en la costa de Ceuta, Melilla y Cádiz entre Castillo de San Sebastián y Broa del Guadalquivir. Ref. 28-25, 5 vols. Madrid; Dirección General de Costas. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- IHM (1966). *Carta náutica del Océano Atlántico Norte, Costa Sudoeste de España de Chippiona a Cabo Roche. Hoja 443-B* (actualizada a 1996). Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.
- Jódar, J. M. (2016). *Caracterización morfo-sedimentaria de los fondos sub-litorales en el frente costero de la bahía de Cádiz*. Tesis doctoral, Universidad de Cádiz, 562 pp.
- Jódar, J. M. (2017). Caracterización morfo-fisiográfica del complejo de bajos rocosos Diamante-Galera en la bahía de Cádiz, SO España. *Geo-Temas*, 17, 323-326.
- Llave, E. (1998). *Estratigrafía sísmica de las unidades sedimentarias cuaternarias en la bahía de Cádiz. Consideraciones paleoceanográficas*. Tesis de licenciatura, Universidad de Cádiz.

Caracterización y distribución de marcas de fondo asociadas a la pesca de arrastre en la plataforma continental interna adyacente a la bahía de Cádiz (SO de Cádiz)

Characterization and distribution of bedmarks associated with trawling in the inner continental shelf adjacent to the Bay of Cadiz (SW Cadiz)

J. M. JÓDAR¹ y J. A. MORALES²

1. Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Cadiz. josemanuel.jodar@uca.es

2. Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva. jmorales@uhu.es

Resumen: Los registros de una campaña sonográfica en un área submarina de casi 140 km² frente a la bahía de Cádiz, han permitido identificar una franja de más de 40 km² ocupada por un gran campo de marcas de fondo de origen antrópico. El análisis de su distribución y configuración constata que corresponden a una extensa superficie donde se concentran los efectos reiterados de la pesca de arrastre de fondo. Se han caracterizado marcas de tipo longitudinal masivo, que aparecen superpuestas entre sí entre los 28 y los 41 m de profundidad. Este campo de marcas se sitúa en un área que conecta fisiográficamente las estribaciones exteriores del ambiente infralitoral profundo de la bahía externa y sectores de la plataforma continental más somera. Los niveles base de las olas dominantes que acceden a esta parte de la costa se sitúan por encima de esta superficie alterada. Esto, junto con otras condiciones dinámicas locales, explica la preservación en el tiempo de parte de estas marcas de fondo.

Palabras clave: marcas de arrastre, pesca de fondo, Antropoceno, plataforma interna, bahía de Cádiz.

Abstract: The records of a sonographic survey on an underwater area of almost 140 km² located in front of the Bay of Cádiz, identified a fringe of over 40 km² occupied by a large field of bedmarks of anthropic origin of over from more. The analysis of their distribution and configuration shows that they correspond to a large area where the repeated effects of bottom trawling are concentrated. Marks of a massive longitudinal type have been characterized, which appear superimposed on each other between 28 and 41 m deep. This field is located on an area that physiographically connects the outer foothills of the deep infralittoral environment of the outer

bay and sectors of the shallower continental shelf. The base levels of the dominant waves that access this part of the coast are located above this altered surface. This, along with other local dynamic conditions, explains the preservation over time of some of these bedmarks.

Keywords: trawl marks, bottom fishing, Anthropocene, Bay of Cadiz, inner shelf.

1. Introducción y metodología

Cada vez con más frecuencia se identifica la presencia de rasgos o morfologías en la superficie del lecho marino de origen antrópico cuando se interpretan registros sonográficos en ambientes marinos. El presente trabajo realiza la caracterización general de un campo de marcas producidas por el hombre en la frontera entre los dominios del infralitoral junto a la bahía occidental externa de Cádiz y la plataforma continental interna adyacente (Fig. 1). Se realizan algunas consideraciones de su origen y conservación.

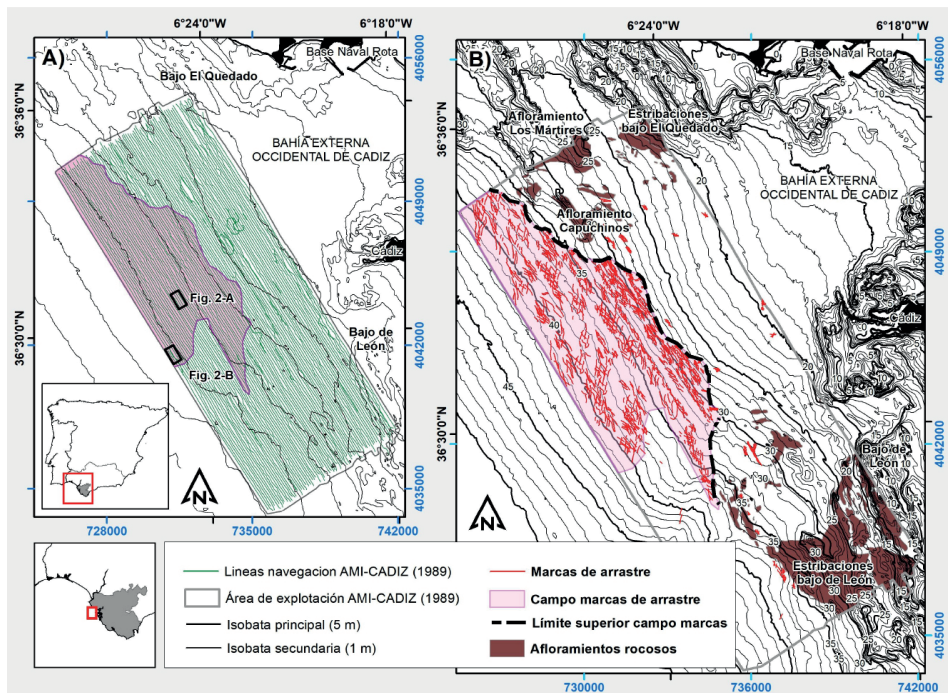


Figura 1. Localización, batimetría y líneas de navegación de la campaña AMI-Cadiz-Spain (A), y distribución de campo de marcas de fondo identificada en este trabajo (B).

Los datos analizados proceden de una campaña de 1989 (AMI-Cádiz-Spain; Fig. 1-A). Se trata de registros de sonar de barrido lateral Klein 595 S-260-C100 de 100 y 500kHz, con el que se levantaron 1482,98 km de lineales de imágenes sonográficas distribuidas en un área de exploración de 151,83 km² de los 21 a los 42 m de profundidad en un sector exterior ubicado frente a la entrada de la bahía occidental de Cádiz (Fig. 1). El sistema de posicionamiento fue georeferenciado por D-GPS y durante la interpretación se realizó un análisis de la respuesta acústica superficial, una clasificación de fondos y un análisis morfológico general (Fig. 1-B).

2. Resultados y discusión

El análisis de la respuesta acústica (Fig. 1-B) mostró la presencia de un entramado de marcas y arañazos en el lecho marino (Fig. 2) formado por facies fangosas, y me menor medida mixtas de fango-arena (Jódar, 2016). Estas marcas aparecen con diferentes grados de densidad espacial, disposición mayoritariamente longitudinal, numerosos cruces entre sí y generalmente dispuestas de forma paralela a las isobatas, donde además se asocian cambios de reflectividad superficial (Fig. 1-B).

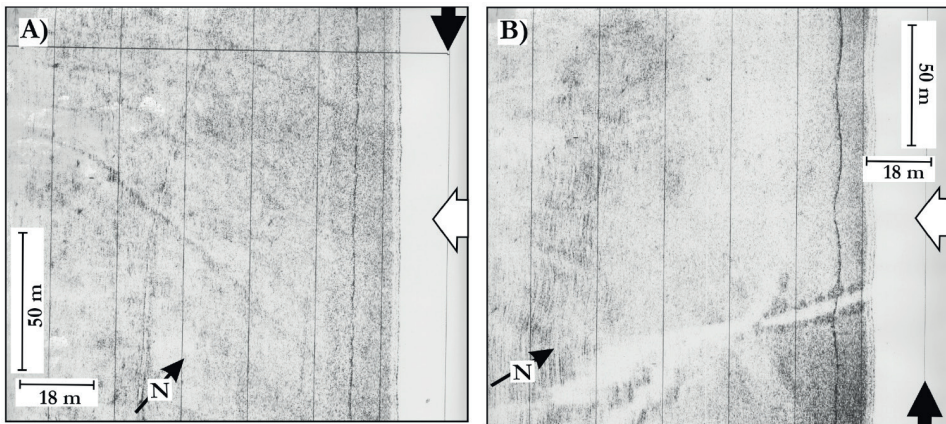


Figura 2. Sonogramas con diferentes marcas de fondo antrópicas, sentido de avance durante la adquisición (flecha negra), sonificación (flecha blanda), y localización en la figura 1.

En la fase de caracterización cuantitativa de estas marcas, se estiman que presentan una anchura entre 0,5 a 10 m y longitudes de 10 a más de 1200 m. Morfológicamente se constata su elevado grado de heterogeneidad que van desde

pequeños arañazos superficiales, surcos o franjas de alteración más o menos incisivos (Fig. 2-A), con y sin variaciones de reflectividad superficial, y cambios de relieve asociados (Fig. 2-B). En el área más somera (entre 20 a 28 metros de profundidad) aparecen marcas de ese tipo mucho más reducidas con un patrón de distribución aislado y disperso. En esta zona las alteraciones aparecen parcialmente enmascaradas y son menos frecuentes al convivir con numerosos campos de formas de fondo activas (Jódar, 2016). Llama la atención cómo a partir de una franja bien definida situada ente los 28-29 m de profundidad, aparecen progresivamente este tipo de marcas con forma dominante y con un entramado más denso. Esta segunda zona que corresponde al campo que se describe en este trabajo, ocupa una superficie de 40,38 km², cuyo límite de contorno presenta una forma regular. Fisiográficamente se ubica en el frente exterior del lóbulo de la bahía occidental externa (Fig. 1-B), varios metros por debajo del nivel plano de éste, que se ha constatado que están en equilibrio con el régimen de oleaje incidente que accede a la bahía externa (Jódar, 2016). Por otro lado, también se observa que lateralmente estas marcas desaparecen a cierta distancia en las proximidades de los fondos consolidados de roca entre los que se encuentra encajado el fondo sedimentario. Este perímetro, libre de marcas (Fig. 1-B), se encuentra mejor definido en el extremo ONO en las proximidades de los afloramientos Los Mártires y Capuchinos (Jódar y Morales, 2019), y en menor medida al SE con las estribaciones el bajo de León (IHM, 1966), lo que se interpreta como una intencionalidad evidente de evitar las zonas de roca por la actividad que las ha generado.

Con todos estos datos se deduce que estas marcas están generadas por una modalidad de pesca de arrastre de fondo. Ésta concentra su actividad extractiva sobre fondos sedimentarios blandos y evita los afloramientos rocosos próximos, y se ha constatado que produce alteraciones físicas, y procesos de diferenciación sedimentaria superficial entre otros (Bradshaw *et al.*, 2021), compatibles con los cambios de relieve y/o apilamientos de sedimento y cambios de reflectividad superficial identificados. Estas morfologías serían de tipo erosivo, y por las características que se han identificado se asociarían a procesos de alteración del relleno sedimentario activo de esta zona.

3. Conclusiones

Estas alteraciones del fondo asociadas a la pesca son cada vez más frecuentes, aunque es difícil encontrar efectos tan evidentes de ésta actividad en ambientes tan cerca de la línea de costa. Específicamente en este campo adquiere relevancia el

concepto y potencial de preservación por la convergencia de varios factores que han permitido la preservación de estas marcas en esta zona. El estudio de estos campos de marcas de arrastre puede ayudar a identificar zonas de alteración directa asociadas a esta modalidad de pesca, tanto en caladeros autorizados como áreas donde este tipo de pesca no está permitida. Por otro lado, podría utilizarse para reconstruir en diferentes escalas de tiempo los grados de afectación que han sufrido y/o están soportando estas áreas que han sido o están siendo actualmente alteradas por esta modalidad de pesca.

Referencias

- Bradshaw, C., Jakobsson, M., Brüchert, V., Bonaglia, S., Mörth, C. M., Muchowski, J., Stranne, C. y Sköld, M. (2021). Physical disturbance by bottom trawling suspends particulate matter and alters biogeochemical processes on and near the seafloor. *Frontiers in Marine Science*, 8, 683331.
- IHM (1966). *Carta náutica del Océano Atlántico Norte, Costa Sudoeste de España de Chipiona a Cabo Roche. Hoja 443-B* (actualizada a 1996). Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.
- Jódar, J. M. (2016). Caracterización morfo-sedimentaria de los fondos sub-litorales en el frente costero de la bahía de Cádiz. Universidad de Cádiz, 562 pp.
- Jódar, J. M. y Morales, J. A. (2019). Fisiografía de un complejo de bajos rocosos recientemente descubierto frente a la costa de Rota (SO España), en Durán, R., Guillén, J., y Simarro, G. (eds.) *X Jornadas de Geomorfología Litoral. Libro de ponencias*. Castelldefels, pp. 217-220.

Coast of Mozambique: analysis of the link between geomorphology and meteo-oceanographic processes

Costa de Mozambique: análisis de la relación geomorfológica y los procesos meteo-oceanográficas

E. PAVO-FERNÁNDEZ¹, V. GRACIA¹, M. GRIFOLL¹ & G. SOLANA^{1,2}

*1. Laboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya
eva.pavo@upc.edu*

2. Engineering and Technologies Faculty, Universidade Save, Mozambique

Abstract: The coast of Mozambique is the result of a complex geologic setting coupled with oceanographic and hydrological processes. Although their relevance in land using planning and risk prevention, its geomorphological characterization linked to the meteo-oceanographic processes has not yet been performed. This is a key analysis to identify present and future conflicts being a fundamental tool for its management. This work pursues a first analysis of the combined description of geomorphological features in Mozambique jointly with a simplified hydrodynamic characterization. The work aims to identify the present littoral cells following the methodology proposed by Bray et al. (1995) and the approach given by the DOORS EU project. The analysis is supported by an extensive literature review, a detailed description of the wave climate taken from the ERA5 data set and the resulting longshore sediment transport. The identified units cover a wide range of coastal archetypes from exposed sandy beaches to barrier systems or coral reefs. This work is an important base for the management and risk assessment of the Mozambican coast, which remains highly unexplored.

Keywords: geomorphological characterization, littoral cells, ERA5, hydrodynamic characterization.

1. Introduction

Mozambique is located at the southeast coast of Africa, right in front of Madagascar Island, between latitude 10° 27' S and 26° 52' S and longitude 30° 12' E and 40° 51' E. Its coast extends for 2770 km (Palalane *et al.*, 2016) and coastal and ocean

resources are the major contributors to the country income (Sete *et al.*, 2002). Previous studies on the Mozambican coast investigate different topics such as local geomorphology (Fierens *et al.*, 2019; among others), coastal erosion (Barradas, 2016; among others); longshore sediment patterns (Viola *et al.*, 2014), estuarine classification (Solana *et al.*, 2020), or climate change (Castán Broto *et al.*, 2013; among others). Despite mentioned contributions, there is a lack of coastal environment characterization, covering the entire coast, including basic hydrodynamic processes. This contribution pursues a first interpretation of the main morphological features of the Mozambican coast along with a simplified hydrodynamic characterization.

2. Methodology

The methodology is based on the logical morphological characterization using satellite images and hydrodynamic characterization using ERA5 products (Figure 1).

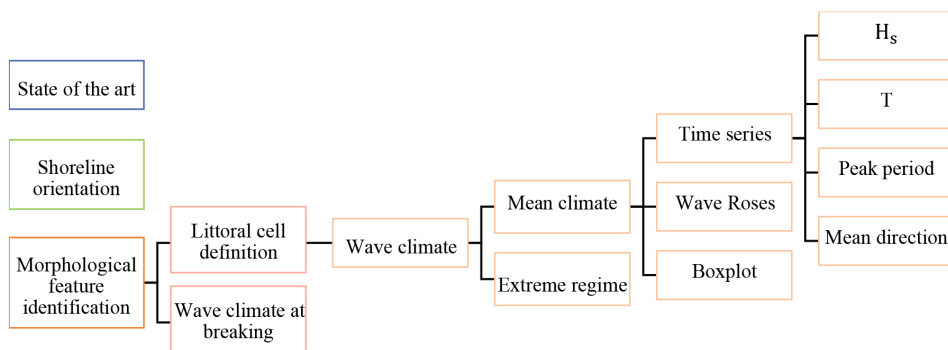


Figure 1. Diagram flux including the hydrodynamic variables used in the analysis.

QGIS was used to identify geomorphological features along the Mozambican coast making use of ESRI Satellite layer. Identified features were compared to the images obtained in other cartographic services, such as Google Maps and Google Earth. The definition of littoral cells was made based on coastal orientation and the presence of any kind of obstacle (cape, estuary, delta...). An independent littoral cell was considered where there was a change in coastal orientation greater than five degrees (5°).

ERA5 data (Copernicus Climate Data Store, 2022) was used to characterize wave climate. This data combines large quantities of historic observations in

global estimations using advanced modelling systems and data assimilation. It is model-hourly data for many atmospheric, land and climate variables. Data was downloaded for a period ranging from 1979 to 2021, and the following variables were selected: significant height of combined wind waves and swell (hereafter), mean wave direction, mean wave period (hereafter T), and peak wave period. Data was processed using MATLAB to generate wave roses and time series for the whole period.

3. Results and Discussion

Different geomorphological features have been identified along the coast of Mozambique (Fig. 2B) distributed in twenty-two littoral cells (Fig. 2A). These include deltas, estuaries, sand dunes, sandy beaches, restingas, corals, rocky shores, macrodeltas and atolls. First four features mentioned can be observed along the whole coast, while restingas and coral can only be seen in the southern area of the coast. Rocky shores, macrodeltas and atolls are present exclusively in the northern region of the coast.

The coast of Mozambique, from an energetic point of view, shows significant changes depending on the region (Fig. 2C). In the northern (11° S 42° E to 10° S 41° E – red spot) and southern (21° S 34° E to 21° S 37° E – yellow spot) areas of Mozambique waves come from the south and southeast, predominantly, while in the central area (20° S 37° E to 11° S 42° E – green spot) of the country waves tend to come from the south. Significant wave height in the southern region shows maximum values greater than values in the central and northern regions, where maximum values are closer to each other. Likewise, mean values appear to be greater in the northern region than in the other coastal areas of the country. Maximum, mean and standard deviation values for the three spots labelled in Fig. 2C are shown in Table 1.

	Maximum (m)	Mean (m)	Standard deviation (m)
South	6,85	2,06	0,64
Central	4,88	1,55	0,58
North	4,05	1,38	0,41

Table 1. Maximum, mean and standard deviation values in meters (m) of three spots represented in Fig 2D.

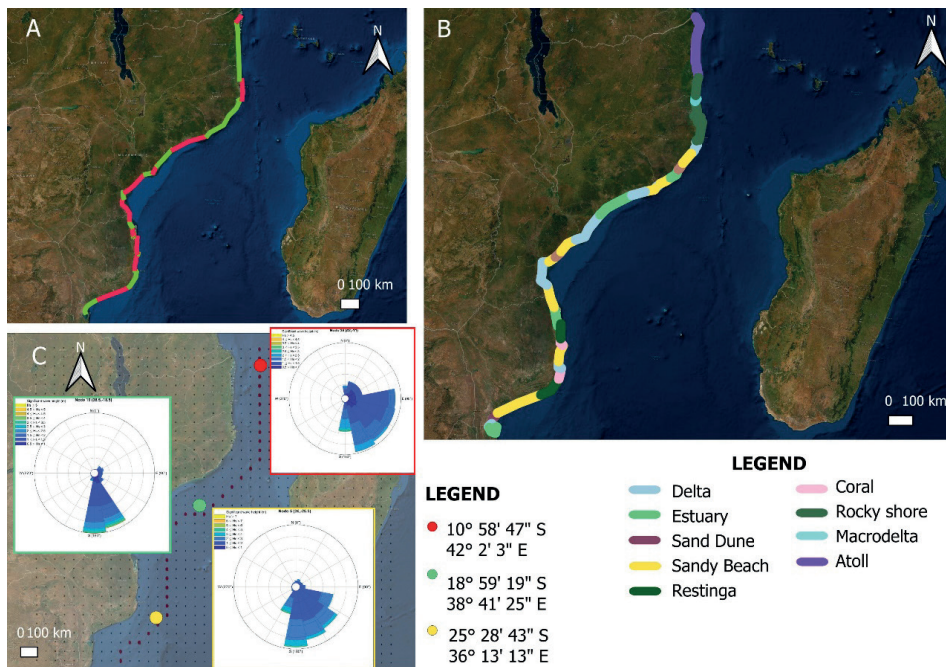


Figure 2. A) Distribution of littoral cells along the coast B) Geomorphological characterization C) Wave Roses of three nodes.

References

- Barradas, P. F. D. (2016). Characterization of Mozambique's Vulnerability to Coastal Erosion, *Dissertação do Mestrado*, (September). Available at: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/281870113703565/TESE_final_Patricia_Domingos.pdf.
- Bray, M. J., Carter, D. J. and Hooke, J. M. (1995). Littoral cell definition and budgets for central southern England, *Journal of Coastal Research*, 11(2), 381-400.
- Castán Broto, V., Oballa, B. and Junior, P. (2013). Governing climate change for a just city: Challenges and lessons from Maputo, Mozambique, *Local Environment*, 18(6), 678-704. doi: 10.1080/13549839.2013.801573.
- Cds.climate.copernicus.eu. 2022. *Copernicus Climate Data Store*. [online] Available at: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>>.
- Fierens, R. et al. (2019). Late Quaternary geomorphology and sedimentary processes in the Zambezi turbidite system (Mozambique Channel), *Geomorphology*. Elsevier B.V., 334, 1–28. doi: 10.1016/j.geomorph.2019.02.033.
- Palalane, J. et al. (2016). Coastal Erosion in Mozambique: Governing Processes and Remedial Measures, *Journal of Coastal Research*, 32(3), 700-718. doi: 10.2112/JCOASTRES-D-14-00020.1

- Sete, C. Ruby J. and Dove, V. (2002). Seasonal Variation Of tides, currents, salinity and temperature along the Coast of Mozambique, *Unesco Odinafrica*, 72.
- Solana, G., Grifoll, M. and Espino, M. (2020). Hydrographic Variability and Estuarine Classification of Inhambane Bay (Mozambique), *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 649–653. doi: 10.2112/SI95-126.1
- Viola, C. N. A. *et al.* (2014). Sea wave propagation from offshore to Maputo's coast. Application to longshore sediment transport assessment, *Water Science and Technology*, 69(12), 2438–2445. doi: 10.2166/wst.2014.162.

Morphological evolution of embayed beaches with different characteristics

Evolución morfológica de playas encajadas con características diferentes

C. MARCO-PERETÓ, R. DURÁN & J. GUILLÉN

*Dpto. Geociencias Marinas, Institut de Ciències del Mar (CSIC), Barcelona
cmarco@icm.csic.es; rduran@icm.csic.es; jorge@icm.csic.es*

Resumen: Se han analizado diez playas encajadas del litoral catalán con diferentes características morfométricas y sedimentarias, con el objetivo de identificar los factores más relevantes en el control de su evolución a escala interanual y decenal. El estudio se basa, principalmente, en datos topográficos LiDAR adquiridos entre 2012 y 2017, y ortofotos entre 1945 y 2021. Los resultados indican una pérdida neta de volumen en todas las playas a escala interanual y un retroceso general de la línea de costa durante las últimas décadas. Solo una de las playas muestra un comportamiento opuesto debido a la llegada de sedimento por transporte longitudinal desde la playa adyacente. Las playas encajadas de menor tamaño y un grado de encajamiento medio-alto mostraron una mayor variabilidad en el volumen de la playa emergida y en la posición de la línea de costa, siendo más sensibles y potencialmente vulnerables a los cambios inducidos por factores locales. **Palabras clave:** grado de encajamiento, evolución línea de costa, volumen de la playa, aporte sedimentario.

Abstract: *Ten embayed beaches along the Catalan coast with different morphometric and sedimentary characteristics were analysed with the aim of identifying the most relevant parameters controlling the morphological evolution of embayed beaches at inter-annual and decadal scale. The study is mostly based on LiDAR topographic data collected from 2012 to 2017, and orthophotos from 1945 to 2021. The results show a net loss of volume on all studied beach at inter-annual scale and a general shoreline retreat during the last decades. Only one beach shows an opposite behaviour due to the bypass of sediment by longshore transport from the adjacent beach. Smaller pocket beaches with medium-high indentation displayed higher variability on volume of the emerged beach and shoreline position, being more sensitive and potential vulnerable to changes induced by local factors.*

Keywords: *beach indentation, shoreline evolution, beach volume, sediment supply.*

1. Introduction

The morphological evolution of embayed beaches on a microtidal coast is commonly related to the degree of exposition to wave conditions, decreasing the mobility with the increase of beach indentation. However, there are other factors which also have an influence on the dynamics of sheltered beaches, such as, the variations in wave climate, the impact of extreme events (Duran *et al.*, 2016), the quantity and the characteristics of sedimentary inputs (Pranzini *et al.*, 2013) or human management (Cipriani *et al.*, 2011).

Here, we present the analysis of ten embayed beaches along the Catalan coast (NW Mediterranean) with different morphometric and sedimentary characteristics (Fig. 1 A-F). The aim is to identify the most relevant parameters controlling the morphological evolution of these beaches at inter-annual and decadal scales to discriminate between common and differential patterns of evolution and their possible causes. The study area is composed of ten beaches: Pals, Sa Riera, Castell, La Fosca and Canyelles in the Northern sector (Fig. 1B) and Calafató, Lo Ribellet, Sant Jordi, Forn and Estany Tort in the Southern sector (Fig. 1C), being the beaches of the latter sector smaller and more indented.

2. Data and methods

Inter-annual volumetric changes in the studied beaches were quantified using high-resolution LiDAR-derived topographic data from surveys carried out annually between 2012-2017. Decadal shoreline evolution was calculated using orthophotos, available from 1945 to 2021, at a yearly rate since 2008. Both, LiDAR data and orthophotos, were provided by the Cartographic and Geological Institute of Catalonia (ICGC). Two limits (landward limit and shoreline) were defined to calculate beach area and volume using ArcGIS 10.5. The beach area and volume data were normalized by the linear meter of coastline to compare the differences between beaches.

3. Results and discussion

All beaches, except Sa Riera (Fig. 1G), have a similar morphological evolution on an inter-annual (2012-2017) and a decadal scale (1945-2017) (Fig. 1 H-I), with a net loss of volume and beach area. These losses are greater on smaller, more indented beaches, which are characterized by finer grain size and lower slope and show greater variability in normalized volume and surface area.

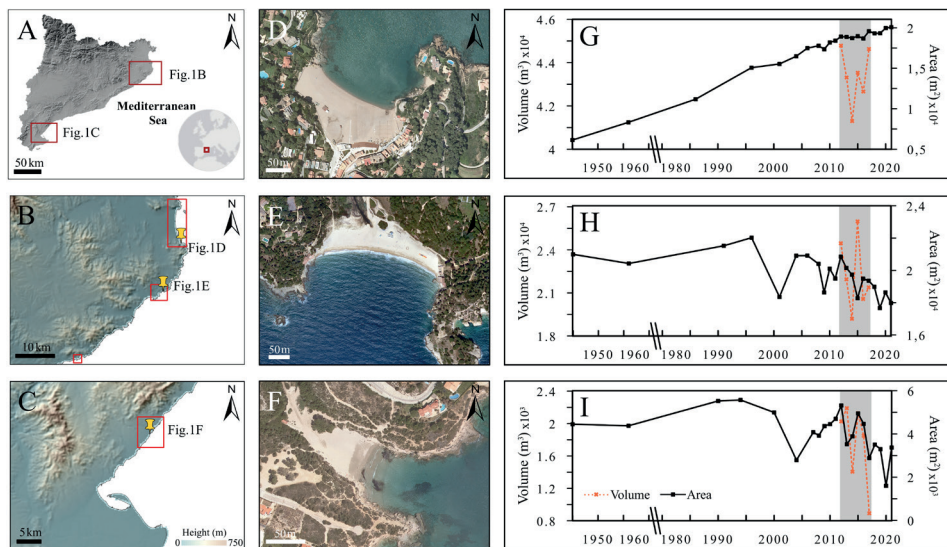


Figure 1. (A) Location map of study sites: (B) Northern and (C) Southern sector. (D-F) Embayed beaches: Sa Riera, Castell and Forn, respectively. (G-I) Morphological evolution at the interannual (emerged beach volume, dotted orange line) and decadal scale (emerged beach area, black line) of Sa Riera, Castell and Forn beach, respectively.

Although a deep indentation provides greater protection from waves and a more stable beach would be expected (Fellowes *et al.*, 2019), we hypothesize that the lower slope (and associated volume in the emerged beach) of these beaches could explain the observed greater shoreline displacements and associated normalized surface and volume changes. Smaller and high-indented beaches also showed higher rates of long-term shoreline retreat, and volume and surface losses during storms, as well as slower beach recovering. The backshores of these beaches are usually poorly developed, and their inland migration is constrained by the funnel shape of the beach (Fig. 1F), increasing their potential vulnerability to sea level rise.

On the Catalan coast, there has been a large change in the coastal landscape since the 1960s due to the urbanization of the coast and drainage basins. The reduction of the non-urbanized drainage basin area probably decreases the amount of sediment delivered by streams to the coast (Cipriani *et al.*, 2011; Pranzini *et al.*, 2013), and consequently could favour the beach erosion. The decrease in the sediment discharged by the creeks onto the beaches could be one of the causes of the reduction of the beach area since the 1990s.

Different from the other beaches, Sa Riera showed a significant shoreline advance and surface area increase, tripling its emerged area between 1945 and 2020 (Fig. 1G). This shoreline advance is interpreted as result of the NE-SW longshore drift, which transport sediment from the southern sector of Pals beach to Sa Riera, behaving Sa Riera as a trap of this sediment. This sediment transfer evidences that Sa Riera does not behave as a closed system, despite its high degree of indentation, but rather, looking their submerged area, it could be considered a cell together with the adjacent northern beach (Pals beach).

4. Concluding remarks

This study shows that in inter-annual and decadal scale the studied embayed beaches in the NW Mediterranean coast showed a net loss of volume and area of the emerged beach. Among the different potential factors responsible for these trends on embayed beaches with different morphometry, this work focuses on the potential reduction of sediment inputs by creeks and the beach behaviour (or not) as independent sedimentary cells. In the extended work, the impact of extreme events, the contribution of the sea level rise, and the impact of other human interventions will also be analysed.

Small pocket beaches had higher variability in emerged beach volume and shoreline position, being more sensitive to changes induced by the impact of extreme storms, reduction on sediments inputs or, probably, sea level rise. These beaches show greater potential vulnerability due to their small size or narrowness and the difficulty in migrating inland.

Acknowledgments

This is a contribution to the research project MOCCA (RTI2018-093941-B-C32). This work acknowledges the 'Severo Ochoa Centre of Excellence' accreditation (CEX2019-000928-S) to ICM-CSIC.

References

- Cipriani, L.E., Pranzini, E., Rosas, V., Wetzel, L. (2011). Landuse changes and erosion of pocket beaches in Elba Island (Tuscany, Italy). *Journal of Coastal Research*, SI 64, 1774-1778.

- Durán, R., Guillén, J., Ruiz, A., Jiménez, J. A., Sagristà, E. (2016). Morphological changes, beach inundation and overwash caused by an extreme storm on a low-lying embayed beach bounded by a dune system (NW Mediterranean). *Geomorphology*, 274, 129-142.
- Fellowes, T. E., Vila-Concejo, A., Gallop, S. L. (2019). Morphometric classification of swell-dominated embayed beaches. *Marine Geology*, 411, 78-87.
- Pranzini, E., Rosas, V., Jackson, N. L., Nordstrom, K. F. (2013). Beach changes from sediment delivered by streams to pocket beaches during a major flood. *Geomorphology*, 199, 36-47.

Características morfológicas de las playas encajadas de la Región de Murcia

Morphological characteristics of embayed beaches in the Region of Murcia

L. LAMBARRI¹, A. SANCHO-GARCÍA¹ y J. GUILLÉN²

1. Instituto de Medio Ambiente y Ciencia Marina, Universidad Católica de Valencia

2. Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC), Barcelona. jorge@icm.csic.es

Resumen: La costa mediterránea española presenta un elevado número de playas encajadas y es de gran interés comprender su morfodinámica para facilitar su adaptación a las condiciones futuras. En este estudio se presenta un análisis de la morfología de las playas encajadas, tanto naturales como artificiales, de la Región de Murcia y su comparativa con los resultados obtenidos por Bowman et al. (2008) para Cataluña. El estudio analiza 79 playas en las que se midieron parámetros morfométricos mediante el programa ArcMap 10.4.1.ink y se calcularon diferentes índices de interés. Se observaron diferencias morfológicas significativas entre playas naturales y artificiales pero, consideradas regionalmente, el rango de los parámetros morfométricos fue muy similar para las playas de Murcia y Cataluña. Se detectó una elevada correlación entre la distancia entre promontorios (R_0) y la longitud de la playa (X_d) y entre el índice Si/R_0 (Spagnolo et al., 2008) y el índice a/R_0 (Hsu et al., 1989) ($R^2=0,8$ en ambos casos), donde Si es longitud total, incluyendo la longitud de los promontorios X_d , y a es la hendidura de la bahía, lo que pone de manifiesto que ambos parámetros cuantifican adecuadamente la hendidura de la bahía.

Palabras clave: playas encajadas, parámetros morfométricos, costa mediterránea.

Abstract: Mediterranean beaches comprise a large range of embayed beaches and understand its morphodynamics is important for their adaptation to future conditions. In this study, an analysis of the morphology of embayed beaches in Murcia Region is presented and the results are compared to Bowman et al. (2008) for Catalonia. The study analyses 79 beaches where morphometric parameters were measured using ArcMap 10.4.1.ink and different indexes of interest were calculated. Significant morphological differences were observed between natural and artificial beaches but, considered at regional level, the range of morphometric parameters was very similar for the beaches of Murcia Region and Catalonia. A strong correlation was found between the width between the headlands (R_0) and alongshore beach length (X_d) and between

the planform indexes used for estimating beach embaymentization $Si/R0$ (Spagnolo *et al.*, 2008) and $(a/R0)$ (Hsu *et al.*, 1989) ($R^2=0.8$ in both cases), where Si is embayment length, and a embayment indentation, which shows that both parameters adequately quantify the embayment indentation.

Keywords: embayed beaches, morphometric parameters, Mediterranean coast.

1. Introducción

Las playas encajadas se caracterizan por estar limitadas lateralmente por barreras físicas como cabos y promontorios y son habituales en costas rocosas. Además, las actuaciones para la preservación de las playas han llevado a la segmentación de la costa y a la creación de playas encajadas artificiales, cuyos límites laterales son obras costeras. Estas barreras tanto naturales como artificiales son muy diversas en cuanto a tamaño y orientación dando lugar a que las playas encajadas presenten gran diversidad en sus características morfométricas y su presencia es frecuente en diferentes localizaciones de la costa mediterránea española. A escala regional se han estudiado las playas encajadas de Cataluña y Baleares, pero no en la Región de Murcia. El objetivo del estudio es la determinación de los parámetros morfométricos de las playas encajadas de Murcia y su comparativa con los resultados obtenidos en otras regiones (Bowman *et al.*, 2009) para determinar su especificidad.



Figura 1. Parámetros morfométricos analizados.

2. Material y métodos

La Región de Murcia está situada en el sureste de la Península Ibérica, en la costa mediterránea española. El río principal que atraviesa esta región es el Segura, que tiene como principales afluentes el Benamor, el Argos y el Mula. La región abarca 275 km de línea de costa (IGN, 2022) y cuenta con 200 playas (Guía de playas, 2021). Utilizando el programa de ArcMap 10.4.1.Ink y las imágenes de fotografía aérea del World Imagery Metadata (proporcionadas por el IGN (2019)) se midieron para cada playa los siguientes parámetros morfométricos (Figura 1): distancia entre promontorios (R_0), longitud de la playa (X_d), hendidura de la bahía (a), longitud total (S_i), y área total de la ensenada incluyendo el área de la playa (A_e). Además, se calcularon para cada playa los siguientes índices morfométricos: índice de relleno sedimentario (X_d/S_i) (Bowman *et al.*, 2009), índice de encajonamiento (S_i/R_0) (Spagnolo *et al.*, 2008) y el índice de la forma en planta (a/R_0) (Hsu *et al.*, 1989). Por último, se obtuvieron las correlaciones entre diferentes parámetros e índices.

3. Resultados y discusión

Se identificaron un total de 79 playas encajadas de las cuales 66 son naturales y 13 artificiales. En el caso de las playas naturales la longitud total de la bahía (S_i) es aproximadamente la mitad de la longitud de la playa (X_d). Las playas artificiales son de mayor longitud pero más estrechas, representando X_d un 70% de la longitud total de la bahía (S_i), lo que explica el reducido tamaño del parámetro a respecto al resto de parámetros morfométricos. En general, los parámetros morfométricos fueron más elevados en playas artificiales que en las naturales (Tabla 1).

Tipo de playa encajada	R_0 (m)	a (m)	X_d (m)	S_i (m)	A_e (m ²)
Naturales	210,58	116,51	276,52	490,91	25150,17
Artificiales	464,47	192,89	610,43	869,06	93269,11
Todas	252,36	129,08	331,47	553,14	36359,61

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros morfométricos de las playas encajadas.

En relación a los índices (Tabla 2), los valores obtenidos presentaron diferencias notables entre las playas estudiadas, en particular en las playas naturales. En cuanto al índice de relleno sedimentario (X_d/S_i) cabe destacar que a nivel general las playas artificiales tienen un relleno sedimentario mayor, pero un menor grado de indentación (índices S_i/R_0 y a/R_0).

Tipología de playa	Xd/Si			Si/R_0			a/R_0		
	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media
Naturales	1,97	0,09	0,58	10,68	0,38	2,72	1,93	0,11	0,70
Artificiales	0,96	0,08	0,66	3,71	1,26	2,18	1,06	0,17	0,53
Todas	1,97	0,08	0,59	10,68	0,38	2,63	1,93	0,11	0,67

Tabla 2. Índices morfométricos.

Tanto los parámetros como los índices calculados para las playas de la Región de Murcia están en el mismo rango que los estimados para las playas encajadas en Cataluña (Figuras 2 y 3). Considerando las playas de ambas regiones, la correlación entre R_0 y Xd fue muy elevada ($R^2=0,8$), moderada entre la hendidura de la bahía (a) y la longitud total (Si) ($R^2 = 0,64$) y baja entre R_0 y Ae ($R^2 = 0,42$). Finalmente, la alta correlación obtenida entre Si/R_0 y a/R_0 ($R^2=0,80$, Figura 3) indica que ambos parámetros pueden ser utilizados en estas zonas como criterio para determinar la hendidura de la bahía.

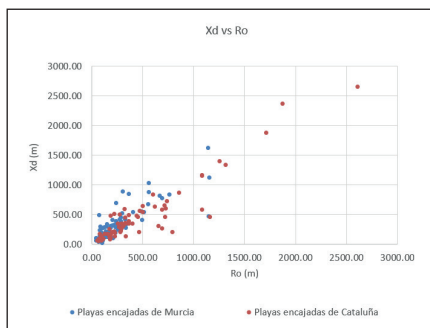


Figura 2. Relación entre Xd y R_0 considerando las playas encajadas de la Región de Murcia (puntos azules) y las de Cataluña (puntos rojos) ($R^2=0.80$) ($n=149$).

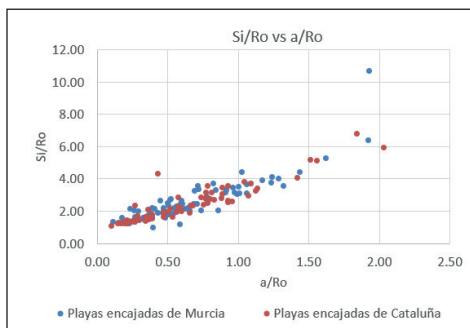


Figura 3. Relación entre Si/R_0 y a/R_0 considerando las playas encajadas de la Región de Murcia (puntos azules) y las de Cataluña (puntos rojos) ($R^2=0.80$) ($n=149$).

4. Conclusiones

Las playas encajadas de la Región de Murcia tienen una gran variedad morfológica siendo las más abundantes las playas con una distancia entre promontorios (R_0) pequeña, una hendidura de la bahía elevada (a) y un elevado grado de indentación. Los

parámetros morfométricos de las playas estudiadas están en el mismo rango que en otras áreas del Mediterráneo español y sus relaciones son similares. Por ejemplo, la longitud de la playa (Xd) y la distancia entre promontorios (R_0) son parámetros dependientes ($R^2=0,80$, Figura 2), a diferencia de lo que ocurre con R_0 con respecto de la hendidura de la bahía (a) y el área de la ensenada Ae que no se correlacionan. Para cuantificar la hendidura de la bahía en las playas analizadas se pueden utilizar los parámetros Si/R_0 y a/R_0 indistintamente ($R^2=0,80$, Figura 3).

Referencias

- Bowman, D., Guillén, J., López, L. y Pellegrino, V. (2009). Planview Geometry and morphological characteristics of pocket beaches on the Catalan coast (Spain). *Geomorphology*, 108: 191-199.
- Instituto Geográfico Nacional. Datos Geográficos y Toponimia. <https://www.ign.es/>
- Hsu J. R. C, Silvester, R. y Xia Y.M. (1989). Generalities on Static Equilibrium Bays. *Coastal Engineering*, 12: 353-369.
- Ministerio para la Transición Ecológica. Guía de Playas. <https://deplayaenplaya.com/murcia.html>
- Spagnolo, M., Arozarena, I., Pappalardo, M. y Roberto, P. (2008). A New Approach for the Study of the Coast Indentation Index. *Journal of Coastal Research*, 24(6): 1459-1468.

Alongshore variability of the internal architecture of a low-lying coastal barrier driven by local dynamics and recent shoreline evolution

Variabilidad longitudinal en la arquitectura interna de una barrera costera baja controlada por la dinámica local y la evolución reciente de la línea de costa

S. COSTAS¹, R. DURÁN², C. MARCO-PERETÓ², A. CALAFAT³, L. RIVERO³,
A. URRUELA³ & J. GUILLÉN²

1. *Centre for Marine and Environmental Research (CIMA), University of Algarve. scotero@ualg.pt*
2. *Institut de Ciències del Mar-CSIC. rduran@icm.csic.es; cmarco@icm.csic.es; jorge@icm.csic.es*
3. *Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona. antonicalafat@ub.edu; lrivero@ub.edu; aritz.urruela@ub.edu*

Resumen: Se exploró la variabilidad longitudinal de la arquitectura interna de la barrera costera de la bahía de Pals utilizando un georadar para identificar patrones de configuración interna y su relación con los principales factores del cambio. Los datos geofísicos se combinaron con ortofotos y datos LiDAR obtenidos en diferentes años. Los resultados documentan distintos patrones a lo largo de la barrera que se asociaron a cambios en la topografía heredada y a factores específicos como el balance de sedimentos, la reubicación/estabilización de canales y la exposición al oleaje, poniendo de manifiesto la importancia de la variabilidad de la costa a la hora de evaluar la adaptación de un tramo costero a los cambios en los factores externos.

Palabras clave: georadar, LiDAR, líneas de costa, progradación, erosión.

Abstract: *The alongshore variability of the internal architecture of the Pals Bay coastal barrier was explored using Ground Penetrating Radar to identify patterns of internal configuration and their link to the main drivers of change. Geophysical data were complemented with orthophotos and LiDAR datasets. The results document distinct patterns alongshore that were associated with changes in the inherited topography and with specific drivers including sediment budget, inlet relocation/stabilisation and wave exposure, highlighting the relevance of the longshore variability when assessing the adaptation of a coastal stretch to changes in forces.*

Keywords: *ground penetrating radar, LiDAR, shorelines, progradation, erosion.*

1. Introduction

Coastal barriers may vary alongshore significantly in terms of shape (e.g. dune height, average beach width) and geomorphological evolution. Unravelling this variability and the drivers is critical to understand the extent to which a coastal barrier can adapt to changing external conditions and protect hinterland areas.

Here, we analyse the recent evolution and internal architecture of a coastal barrier to investigate the relevance of external drivers on determining the alongshore variability of the stratigraphic configuration of the barrier. The study area, Pals Bay, is located at the northern coast of Catalonia (NW Mediterranean). It is a low topographic embayed coast 8.4 km-long within the Baix Empordà littoral plain (Figure 1), which includes marshes, river channels, dunes, and urbanized areas (Durán *et al.*, 2016).

2. Data and methods

A total of 8 cross-shore profiles were surveyed using a ground penetrating radar (GPR), namely GSSI-SIR 3000 system with a 400 MHz antenna coupled to a tachymeter wheel along three (North, Central and South) sectors of Pals Bay coastal barrier (Figure 1). The length of the lines was around 100 m with acquisition windows of 45 ns. The lines were topographically surveyed using RTK GNSS/GPS. Raw data were processed using the program package Reflex-Win by Sandmeier Software.

Orthophotos (1945 to 2020) and LiDAR data (2008 to 2017), provided by the Cartographic and Geological Institute of Catalonia (ICGC), were also examined, framing the temporal evolution of the system.

3. Results and interpretation

The subsurface profiles show a differential stratigraphic pattern in the North, Central and South sectors of the Pals Bay. In the North sector, two main units were identified, separated by an undulating high-amplitude reflector located near the upper beach level in this area (Figure 1). The lower unit (NU1) presents a rather transparent signal that disappears seaward due to the interference caused by the intrusion of seawater. The upper unit (NU2) is characterised by low-amplitude wavy reflections dipping landward in the seaward zone (NU2-1), resembling the upper of the berm or washover deposits, and dipping seaward in the inland zone (NU2-2) interpreted as aeolian deposits. Orthophotos document the partial loss of vegetation

cover simultaneous to a significant shoreline retreat (over 100 m) between 1945 and 1986 (Marco-Peretó *et al.*, submitted). The latter appears to have promoted the inundation through overwash of the former surface, the destruction of the vegetation and the overall retreat of the beach-dune profile through rollover. LiDAR data suggest that NU2 is active and dominated by a mixture of marine (overwash) and aeolian processes, promoting the transference of sediment inland (NU2-1) and the vertical growth of aeolian features (NU2-2). The integration of all data suggests that the surface separating the main units could represent the former surface on top of which the barrier is rolling over.

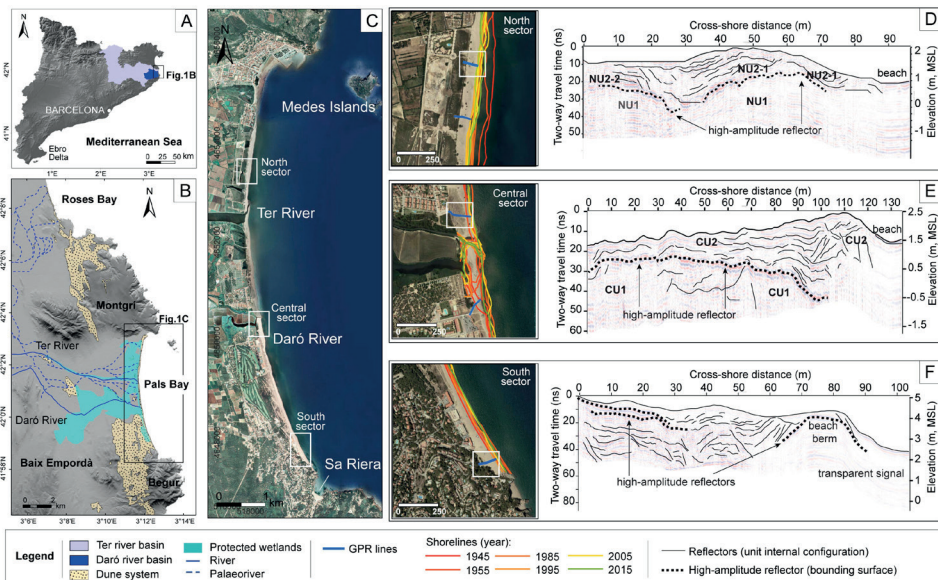


Figure 1. Location of (A) Catalonia and (B, C) Pals Bay. D, E and F show the recent changes in the shoreline and the typical internal architecture delineated from GPR data for each sector.

GPR profiles along the Central sector display two main units separated by a sub-horizontal, high-amplitude reflector, gently dipping seaward (Figure 1). The lower unit (CU1) is characterised by sub-horizontal wavy reflectors cut by sigmoidal shapes dipping seaward. The upper unit (CU2) is characterised by continuous sub-horizontal reflectors gently dipping seaward in the inner portion of the profile, which could represent the seaward advance of the beach. The 30 m adjacent to the present shoreline display shorter sub-horizontal reflectors cut by steep reflectors dipping seaward, resembling the typical configuration of the foreshore on top of

which a foredune develops (Costas *et al.*, 2006). Orthophotos show a coastal barrier with low vegetation density and an active deflation surface inland of the beach in 1945 that was gradually fixed by vegetation over time. Earlier images show a backbarrier zone drained by channels, suggesting the influence of inlet dynamics and backbarrier infilling this area, which might be likely explain the accumulation of CU1. This configuration suggests a rather stable area dominated by aggradation and progradation in the recent past.

GPR profiles along the South sector display a landward portion characterised by relatively high-amplitude sub-horizontal to wavy reflectors, corresponding to outcrops (Figure 1). The central portion of the profile is characterised by low-amplitude sigmoidal, dipping landward reflectors that may represent the inland transference of sand associated with foreshore recovery through swash processes (berm building) while the seaward-most part is transparent, apart from a high amplitude reflector resembling the top of a beach berm. Orthophotos and LiDAR data show a highly dynamic foreshore dominated by short to medium-term temporal scale processes associated with the migration of large-scale shoreline features (e.g. megacusps or shoreline salients).

4. Concluding remarks

The integration of sub-surface images, orthophotos and LiDAR datasets allowed investigating the internal configuration and recent evolution of the Pals Bay. Within the same littoral cell, it is observed a shift in the North sector from progradation to the onset of a retrograding barrier, a sustained progradation and aggradation in the Central sector and a stable South sector showing a highly dynamic foreshore. This longshore variability appears dominated mainly by the artificial fixation and flow management of the river systems but also by the long-term (decadal) shoreline trends. River regulation seems to have controlled not only the area of influence of ebb channels but also the infilling of the backbarrier and eventual changes in the local sediment budget.

Acknowledgments

This is a contribution to the research project MOCCA (RTI2018-093941-B-C32) and the project UID/0350/2020 funded by the Portuguese Foundation of Science and Technology. This work acknowledges the ‘Severo Ochoa Centre of Excellence’ accreditation (CEX2019-000928-S) to ICM-CSIC.

References

- Costas, S., Alejo, I., Rial, F., Lorenzo, H., Nombela, M. A. (2006). Cyclical evolution of a modern transgressive sand barrier in northwestern Spain elucidated by GPR and aerial photos. *Journal of Sedimentary Research*, 76: 1077-1092.
- Durán, R., Guillén, J., Ruiz, A., Jiménez, J. A., Sagristà, E. (2016). Morphological changes, beach inundation and overwash caused by an extreme storm on a low-lying embayed beach bounded by a dune system (NW Mediterranean). *Geomorphology*, 274: 129-142.
- Marco-Peretó, C., Durán, R., Guillén, J. (submitted). Controls on the morphological evolution of embayed beaches: morphometry versus external forcing. *Earth Surface processes and Landforms*.

Escala temporal, procesos y patrones de erosión en la zona supralitoral de las plataformas carbonatadas micromareales

Temporal scale, processes and erosion patterns in limestone supratidal shore platforms at microtidal settings

L. GÓMEZ-PUJOL Y J. J. FORNÓS

*Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears
lgomez-pujol@uib.cat*

Resumen: Se analizan los cambios de microtopografía de una superficie rocosa supramareal sobre roquedo calcáreo en la plataforma litoral de s'Alavern (S de Mallorca) en la que se instaló un dispositivo para monitorización mediante TMEM en 2004 y de la que se han obtenido diferentes microtopografías en 2005, 2008 y 2021 así como un seguimiento horario en 2005. Los resultados apuntan que las tasas de erosión obtenidas durante intervalos temporales inferiores al lustro presentan tasas de erosión más elevadas (0,45 mm/a vs. 0,22 mm/a) y de mayor varianza que las que se obtienen para intervalos de monitorización superiores a la década. Al comparar la variabilidad del valor de la cota de altura relativa en intervalos horarios con el comportamiento que tienen esos mismos puntos a larga escala temporal se aprecia que en el corto plazo aquellos puntos que experimentan desplazamientos negativos acaban arrojando mayores tasas de erosión a largo plazo que aquellos que experimentan desplazamientos positivos a escala horaria. No obstante, este patrón no es estadísticamente significativo, lo que plantea que la magnitud y tendencia del cambio de microtopografía está reflejando el papel de procesos y agentes distintos que operan a escalas temporales diferentes.

Palabras clave: costas rocosas, plataformas litorales, TMEM, escala temporal, tasa de erosión.

Abstract: We address changes in microtopography of a supratidal rocky surface on calcareous rocks in the coastal platform of s'Alavern (S de Mallorca) by means of a TMEM monitoring device. It was installed in 2004 and different microtopographies were obtained in 2005, 2008 and 2021; as well as an hourly monitoring in 2005. The results indicate that the erosion rates obtained during time intervals of less than five years show higher erosion rates (0.45 mm/y vs. 0.22 mm/y) and with greater variance than those obtained for monitoring intervals greater than a decade. When comparing the variability of the value of the relative height level in hourly intervals with the behavior of those same points on a long-time scale, it is evident that, in the short

term, those points that experience negative displacements show higher long-term erosion rates than those that experience positive shifts on an hourly scale. However, this pattern is not statistically significant, which suggests that the magnitude and trend of the microtopography change is reflecting the role of different processes and agents operating at different temporal scales.

Keywords: rock coasts, shore platforms, TMEM, temporal scales, erosion rates.

1. Introducción y diseño experimental

El uso de micro-erosiómetros de dial fijo (MEM) y de dial móvil (TMEM) es una técnica ampliamente consolidada para el estudio de la erosión y evolución morfológica de las plataformas litorales y como éstas responden a factores como la erosión asociada al oleaje o a los procesos de alteración terrestre (Stephenson *et al.*, 2019). La posibilidad de contar con localidades con observaciones de TMEM separadas en el tiempo a escala de años, lustros o décadas, y con observaciones temporales de mayor resolución temporal (p.e. diarias u horarias) abre el debate sobre si los procesos y los cambios que registran los microerosiómetros corresponden a los mismos procesos o a sus diferentes manifestaciones temporales (Yuan *et al.*, 2018 y 2019). En este sentido el presente trabajo a partir de los datos disponibles sobre una superficie rocosa supramareal localizada en una plataforma litoral horizontal tallada sobre calcarenitas del Mioceno superior en la localidad de s'Alavern (S de Mallorca, Illes Balears, Mediterráneo occidental), pretende ahondar en el contraste de las tasas de erosión calculadas en base a observaciones obtenidas a escala anual, de lustros o décadas con las obtenidas a escala horaria. Para ellos se cuenta con los datos de una superficie monitorizada mediante TMEM, de la que se han tomado los datos de altura relativa con resolución de centésimas de milímetro en las mismas 143 coordenadas en 2004, 2005, 2008 y 2021. Adicionalmente en 2005 se procedió a la realización de un seguimiento horario de las 07:00h a las 22:00h (Gómez-Pujol *et al.*, 2007). Se han calculado las tasas de erosión entre los sucesivos levantamientos microtopográficos, así como respecto del primero de ellos. De manera que se han obtenido tasas de erosión para intervalos de 1, 3, 4, 13, 16 y 17 años. Para la comparación de dichas tasas de erosión se ha procedido con una ANOVA univariante de medidas repetidas. Para el contraste entre las tasas de erosión a largo plazo y las de corto plazo, para cada coordenada del TMEM se han comparado las tasas de erosión obtenidas para el período 2004-2021 respecto de la tendencia modal de cada punto durante la monitorización de 24 h (ascenso, estable, descenso) mediante un ANOVA univariante de contraste entre grupos. Los criterios de clasificación de la tipología de comportamiento de la superficie pueden consultarse en Gómez-Pujol *et al.* (2007).

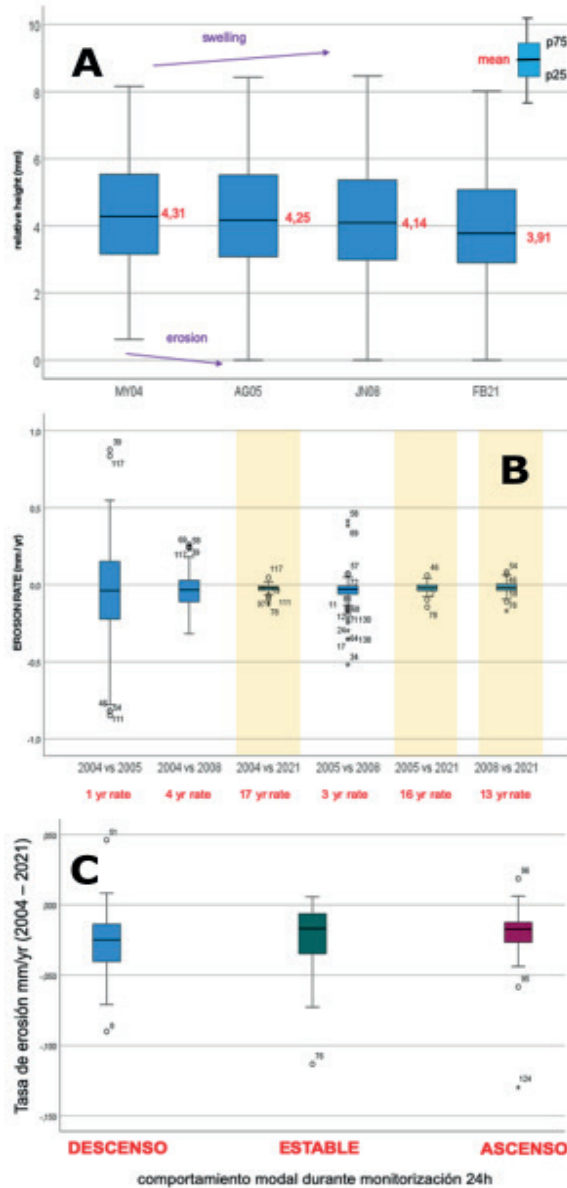


Figura 1. a) Evolución de la microtopografía (2004-2021) de la superficie caracterizada mediante TMEM. b) Comparativa de las tasas de erosión calculadas a partir de los diferentes intervalos temporales. c) Relación entre las tasas de erosión a largo plazo (2004-2021) y el comportamiento de cada uno de los 143 puntos obtenidos mediante el TMEM durante la monitorización horaria en 2005.

2. Cambios de microtopografía y tasas de erosión asociadas

En la Figura 1 se presentan los resultados de la caracterización de la superficie supramareal de la plataforma litoral de s'Alavern. El diagrama de cajas representa la distribución para 2004, 2005, 2008 y 2021 de las 143 coordenadas en las que se ha obtenido una cota de altura relativa de la superficie del roquedo. La altura media de la superficie ha pasado de 4,31 mm en 2004 a 3,91 mm en 2021, experimentándose cambios tanto en las cotas más bajas como en las más altas de la superficie rocosa monitorizada (Figura 1a). Los resultados del ANOVA sobre las tasas de erosión obtenidas entre cada uno de los intervalos de monitorización indican que se produce una erosión significativa ($p < 0,001$) y por tanto un cambio de microtopografía; y que tan sólo el factor temporal, por el mismo, es capaz de explicar el 56% de los cambios de microtopografía. En la representación de las tasas de erosión (Figura 1b), llama la atención que, aunque el orden de magnitud de la tasa media de erosión no cambia entre muestreos, la variabilidad de las tasas de erosión para la misma superficie, en intervalos cortos (1 a 4 años) es mayor que para intervalos de orden de décadas (0,013 vs 0,009 respectivamente). En cualquier caso queda patente que las tasas de erosión obtenidas en períodos temporales cortos (< 10 años) tienden a dar tasas de erosión mayores (ca. -0,45 mm/a) que las calculadas para intervalos como mínimo de 10 años (ca. -0,22 mm/a). Al comparar la variabilidad del valor de altura relativa en intervalos horarios con el comportamiento que tienen esos mismos puntos a larga escala temporal (Figura 1c) se aprecia que aquellos puntos que experimentan desplazamientos negativos en el corto plazo, arrojan mayores tasas de erosión a largo plazo que aquellos que experimentan desplazamientos positivos. No obstante, este patrón no es estadísticamente significativo ($p > 0,005$), lo que plantea que la magnitud y tendencia del cambio de microtopografía está reflejando el papel de procesos y agentes distintos que operan a distintas escalas temporales. Mientras que en el corto plazo el papel del *biofilm* tendría un mayor control en las variaciones de microtopografía, a largo plazo la erosión asociada a los eventos energéticos del oleaje serían los responsables del rebajamiento de la roca y de la homogeneización del comportamiento de la superficie rocosa.

Agradecimientos

El presente trabajo es una contribución al proyecto financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI), PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033.

Referencias

- Gómez-Pujol, L., Stephenson, W. J. y Fornós, J. J. (2007b). Variaciones de microtopografía y escalas temporales en la costa rocosa carbonatada de Mallorca. En: L. Gómez-Pujol y J.J. Fornós (eds.), Investigaciones Recientes (2005-2007) en *Geomorfología Litoral*. UIB, IMEDEA, SHNB, SEG, Palma, 209-215.
- Stephenson, W. J., Kirk, R. M. y Hemmingsen, M. A. (2019). Forty three years of micro-erosion meter monitoring of erosion rates on shore platforms at Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Geomorphology*, 344: 1-9.
- Yuan, R., Kennedy, D. M. y Stephenson, W. J. (2018). Hourly to daily-scale microtopography fluctuation of supratidal sandstone. *Earth. Surf. Proc. Landforms*, 43: 3142-3151.
- Yuan, R., Kennedy, D. M., Stephenson, W. J. y Gómez-Pujol, L. (2019). Experimental investigations into the influence of biofilms and environmental factors on short-term microtopographic fluctuations of supratidal sandstone. *Earth Surf. Proc. Landforms*, 44: 1377-138.

Características geomorfológicas del estuario mesomareal de Tina Mayor (Asturias-Cantabria, NO de España)

*Geomorphological characteristics of the mesotidal estuary of Tina Mayor
(Asturias-Cantabria, NW Spain)*

G. FLOR-BLANCO, G. FLOR y L. PANDO

*Departamento de Geología. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo
florgerman@uniovi.es; gflor@uniovi.es; pandoluis@uniovi.es. Grupo GEOCANTABRICA*

Resumen: El estuario mesomareal confinado de Tina Mayor (Asturias-Cantabria, NO de España) se encaja en el exterior de su valle fluvial excavado, relleno por un gran volumen de cantos, gravas y gravillas de origen fluvial. Se elabora una cartografía geomorfológica, distinguiendo las zonas principales en sentido longitudinal desde la bocana al ámbito fluvial. El *Complejo de desembocadura* contiene dos barreras confinantes, la interna más amplia y estable (espiga/playa), constituida por cantos y gravas. En la *Bahía de gravas y arenas*, alargada N-S, el canal principal se instala en la margen occidental y el secundario en la opuesta, sin intervención del efecto de Coriolis. Playas estuarinas, barras y lóbulos de cantos son las formas mayores, pero también se forman estructuras sedimentarias menores: ondas de arena, y de arenas y gravas, depresiones de erosión, etc. La zona de *Llanuras mareales* comprende el área más amplia, mayoritariamente reclamada. También predominan cantos y gravas en la zona del *Canal superior*, muy sinuoso. El canal principal, presente a lo largo de todo el estuario, desarrolla lechos planos, barras longitudinales y de meandro de cantos y gravas y, en el segmento superior, mantos arenosos de desbordamiento y llanuras fluvio-mareales.

Palabras clave: geomorfología, zonación, estuario, cantos, estructuras.

Abstract: The bounded mesotidal estuary of Tina Mayor (Asturias-Cantabria, NW Spain) fits into the outer excavated valley, whose sedimentary fill contains a high proportion of gravel fractions of fluvial origin. A geomorphological cartography is made, distinguishing the main zones from the mouth to the fluvial area. The Mouth complex contains two confining barriers, the internal one (sand spit) being wider and more stable, consisting mostly of gravel. In the N-S elongated Bay of gravel and sand, the main channel is located on the western bank and the secondary on the opposite side, without the intervention of the Coriolis effect. Estuarine beaches, gravel bars

and lobes are the major forms, but minor bedforms are also originated: sand waves, sand and gravel waves, scours, etc. The Tidal flats zone constitutes the largest area, mostly reclaimed. Gravels also predominate in the zone of the very sinuous Upper channel. The main channel, present along the entire estuary, develops flat beds, longitudinal and meander bars of gravels and upstream, overflow sandy sheets and fluvio-tidal flats.

Keywords: geomorfology, zonation, estuary, gravels, structures.

1. Introducción

El estuario de Tina Mayor (Asturias-Cantabria, NO de España) se encaja en el antiguo valle del río Deva (Fig. 1A), desarrollando un confinamiento rocoso externo, cuyo relleno sedimentario está dominado por cantos y gravas, en respuesta al alto nivel energético del sistema fluvial, y otras fracciones más finas. Las facies siliciclásticas carboníferas (Fig. 1B) en las cabeceras del Deva y su gran afluente el Cares (Meléndez *et al.*, 2019) son el área fuente del voluminoso suministro clástico al sistema fluvial.

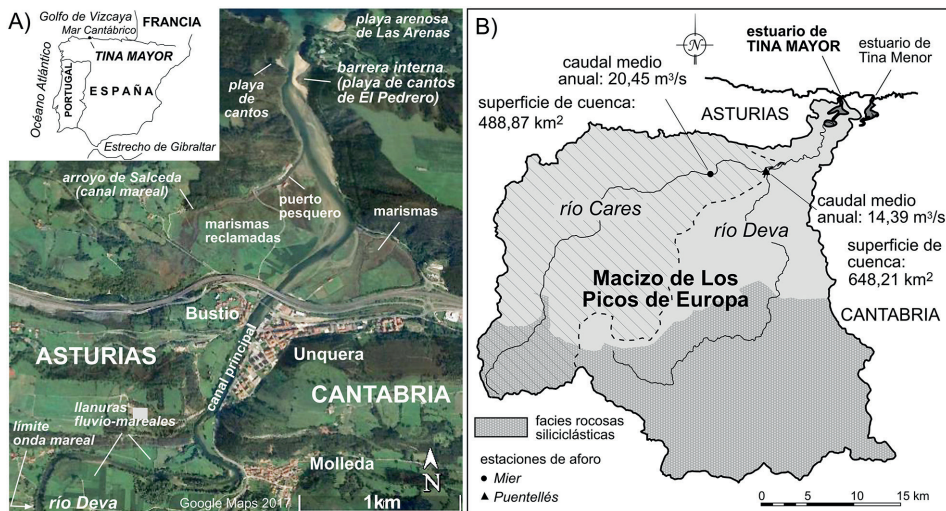


Figura 1. Situación del estuario de Tina Mayor en ortofoto del ámbito estuarino (A) y cuenca hidrográfica del río Deva y su tributario, el Cares (B), mostrando las cabeceras siliciclásticas (tomado de Meléndez *et al.*, 2109) y los caudales medio anuales (CEDEX).

La costa es acantilada abrupta culminada por superficies planas de erosión cuyos desniveles en este sector alcanzan alturas de 230 m (Flor y Flor-Blanco,

2014). Los oleajes dominantes del NO, seguidos de los del NE, se refractan en la bocana, obligando al anclaje de las barreras confinantes en la margen oriental. Este estuario se asigna a los dominados por oleaje (WDE) de Dalrymple *et al.* (1992), cuyos rangos mareales varían entre menos de 1,0 m y 4,75 m, siendo la media de 2,84 m (Flor-Blanco *et al.*, 2015). Tiene una longitud de 5,45 km y anchuras variables con una media de 100 m y profundidades inferiores a los 3,0 m. Las más extensas llanuras mareales y marismas (carrizales y juncales), y las llanuras fluvio-mareales están muy desnaturalizadas.

2. Metodología

Se han cartografiado las unidades morfo-sedimentarias estuarinas, incluyendo las formas de lecho mayores y menores en cada zona. Por otro lado, el régimen de flujo sedimentario dominante se estableció a partir de los registros de mareas, salinidad y corrientes durante un ciclo de mareas en 8 perfiles distribuidos a lo largo del estuario. El estudio sedimentológico fue posible gracias a las 116 muestras analizadas.

3. El componente geomorfológico y su relación con la dinámica y sedimentación

La cartografía geomorfológica (Fig. 2) evidencia la zonación longitudinal desde la bocana hasta la exclusiva influencia fluvial: *Complejo de desembocadura*, *Bahía*, *Llanuras mareales* y *Canal superior*. En cada zona se suceden unidades morfosedimentarias y dinámicas de escalas decamétrica y hectométrica y una gama variada de estructuras sedimentarias de menor escala.

Se forman estructuras de lecho como resultado de la actuación de corrientes direccionales, repartiéndose entre las activadas en condiciones de flujo y de reflujo: barras longitudinales y horquilladas, megaripples, ondas de arena y ondas de grava y arena, etc. Son testimonios morfosedimentarios fácilmente correlacionables con las dinámicas asociadas, de acuerdo con el momento mareal y los niveles energéticos.

Este estuario mesomareal está formado por una mayor proporción de fracciones de grava cuarcítica, lo cual es distintivo en comparación con otros estuarios importantes y cercanos del noroeste de España en la Península Ibérica. Las descargas fluviales permiten que los aportes de la fracción gruesa sean elevados y se distribuyan por todas las zonas geomorfológicas del estuario, especialmente la desembocadura, la bahía y las zonas interiores. Asimismo, el estrechamiento del límite

rocoso afecta a su sector más externo, desarrollando dos barreras de confinamiento formadas, principalmente, de cantos y gravas, siendo la interna siendo mucho más extensa, mientras que las marismas antropizadas ocupan una superficie mayor que las naturales.

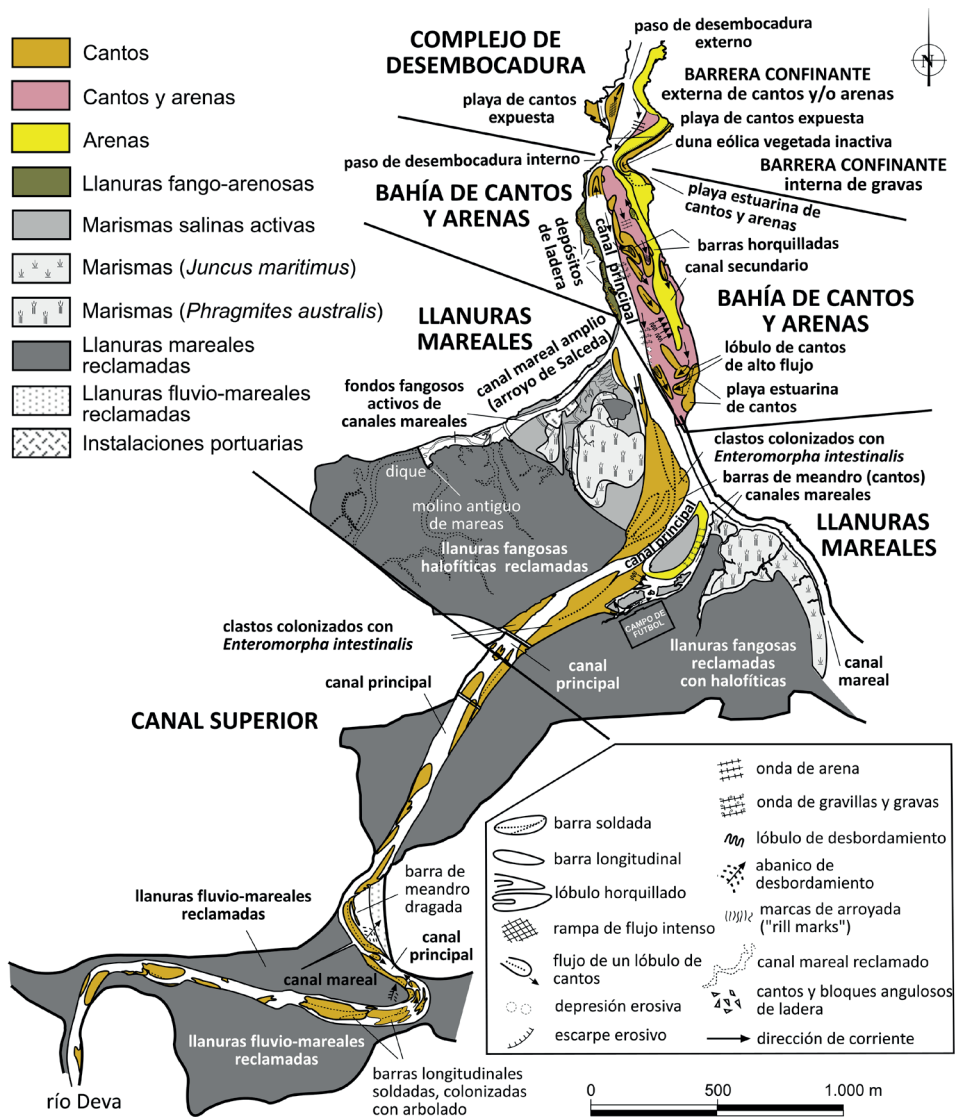


Figura 2. Cartografía geomorfológica: zonación y unidades morfosedimentarias y dinámicas.

Las corrientes de inundación que atraviesan la bahía cambian trayectoria en el límite de la bocana debido al estrechamiento rocoso desde la margen occidental hacia el oriental, con una respuesta inversa al efecto Coriolis (NO-SE), no así en otras zonas del estuario y en distintos momentos mareales. Este estudio integral del estuario propone un modelo conceptual morfosedimentario de mareas y fluviales, una clasificación triangular, las aguas de mezcla (QF) y clasificación, las aguas de mezcla (QF/QT) y la amplitud media de las mareas.

Referencias

- Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. A. y Boyd, R. (1992). Estuarine facies models; conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal Sedimentary Research*, 62 (6): 1130-1146.
- Flor, G. y Flor-Blanco, G. (2014). Raised beaches in the Cantabrian coast. En: *Landscapes and landforms of Spain* (M. Gutiérrez y M. Gutiérrez, eds.). Springer, 239-248.
- Flor-Blanco, G., Flor, G., Morales, J.A. y Pando, L. (2015). Hydrodynamic controls of morpho-sedimentary evolution in a rock-bounded mesotidal estuary. Tina Menor (N Spain). *Journal of Iberian Geology*, 41 (3): 315-332.
- Meléndez, M. Ballesteros, D. y Jiménez-Sánchez, M. (2019). Hidrogeología del Parque Nacional de los Picos de Europa, norte de España. *Boletín Geológico y Minero*, 130 (4): 593-614.

GESTIÓN COSTERA, VULNERABILIDAD
Y RIESGOS EN EL ENTORNO LITORAL

Cambios en la geomorfología costera inducidos por grandes eventos de tormenta

Coastal geomorphological changes induced by high-energy storms

E. GUISTADO-PINTADO^{1,2} y D. W. T. JACKSON²

1. Dpto. Geografía Física y AGR, Universidad de Sevilla. eguisado@us.es

2. School of Environmental Sciences. Ulster University

Resumen: Los eventos costeros de baja frecuencia y gran magnitud, como son las tormentas, pueden alterar significativamente las costas arenosas, cambiando drásticamente la configuración geomorfológica de las mismas. Sin embargo, la respuesta de las playas a estos eventos ha demostrado ser de naturaleza no lineal, variando no solo entre localizaciones sino a lo largo de un mismo sistema costero. En este trabajo, se analiza la respuesta geomorfológica de un sistema duna-playa localizada en la costa oeste de Irlanda (Five Finger Beach) al impacto de dos tormentas de gran magnitud, como fueron la tormenta extra-tropical Ofelia y la tormenta Hector, mediante una combinación de técnicas de medición (láser escáner terrestre, fotografía time-lapse y modelización hidrodinámica con SWAN). Los resultados muestran como determinadas variables (por ejemplo, duración de la tormenta y velocidad de paso, nivel de la marea o la configuración previa de la zona intermareal) y la sincronicidad entre ellas es clave en la respuesta morfológica de la playa.

Palabras clave: Irlanda, tormentas, cámara time-lapse, pie de duna, wave run-up, erosión.

Abstract: Low-frequency, high-magnitude coastal events, such as storms, can significantly alter sandy shorelines, drastically changing their geomorphological configuration. However, the response of beaches to these events has been shown to be non-linear in nature, varying not only between locations but also along the same coastal system. In this work, the geomorphological response of a dune-beach system located on the west coast of Ireland (Five Finger Beach) to the impact of two large storms, such as the extra-tropical storm Ophelia and storm Hector, is analyzed by means of a combination techniques (terrestrial laser scanner, time-lapse photography and hydrodynamic modeling with SWAN). The results show how certain variables (for example, duration of the storm and passing speed, tide level and previous configuration of the intertidal zone) and the synchronicity between them are key in the morphological response of the beach.

Keywords: Ireland, storms, time-lapse camera, dune toe, wave run-up, erosion.

1. Introducción

El impacto de las tormentas en las costas arenosas, así como su recuperación posterior, es altamente variable, y viene dado por varios factores locales tales como el espacio de acomodación (geología), vegetación dunar, pendiente de la playa, altura del pie de duna y de la foredune, presencia de barras en la zona intermareal, etc (Jackson y Cooper, 2009; Splinter *et al.*, 2018), o la coincidencia con marea vivas condicionan la respuesta de la playa y la duna (Costas *et al.*, 2005). La mayoría de las tormentas que impactan en la costa oeste de Irlanda se forman en latitudes medias como tormentas extra-tropicales. El objetivo es realizar un análisis comparativo de la respuesta morfodinámica de Five Finger Strand, en la costa W de Irlanda, a dos episodios de alta energía: la tormenta Ofelia (octubre 2017) y la tormenta Hector (junio 2018).

2. Caso de estudio: Five Finger Strand

Five Finger (Condado de Donegal) es un sistema playa arenosa de 1.7 km de largo y 350 m ancho, respaldada por un sistema dunar vegetado que alcanza en algunas zonas alturas de 25 m (Fig. 1A). Se trata de un sistema mesomareal (3.5m) y con unas condiciones de oleaje modales de H_s : 2,2m, T_m : 9s y con oleaje predominante del

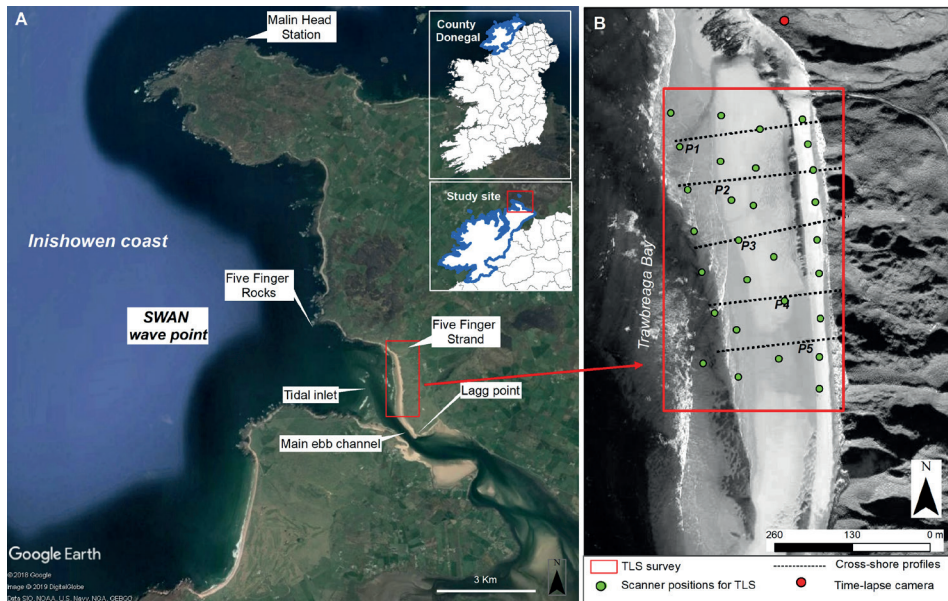


Figura 1. A) Localización de Five Finger Strand en la costa oeste de Irlanda. B) Extensión de la campaña de TLS, ubicación cámara time-lapse. Fuente: Guisado-Pintado y Jackson, 2019.

oeste-suroeste (Guisado- Pintado y Jackson, 2018). La playa presenta un sistema de barras arenosas que muestran una clara variabilidad estacional e interanual (Jackson *et al.*, 2016): en invierno, la zona norte (P1-P3, Fig 1B) muestra ausencia de barras, mientras que en primavera y verano las barras comienzan a formarse. En la zona sur (P4, P5), hay ausencia de barras arenosas en la mayoría de las estaciones.

3. Metodología

La metodología de trabajo se estructura en tres fases: 1) el análisis del clima marino (altura de ola y periodo, dirección y velocidad del viento, marea) (Marine Institute de Irlanda) antes, durante y después de ambos eventos; 2) la modelización de las condiciones de oleaje durante el máximo energético de la tormenta usando el modelo SWAN en un modo anidado; y 3) el análisis de cambios topográficos 3D del área comprendida entre el intermareal y la foredune. Las nubes de puntos se adquirieron utilizando un láser escáner terrestre (TLS, FARO Focus 3D330) durante dos campañas (Fig 1B), previa y posterior a ambos eventos y se procesaron para crear Modelos digitales de superficie (MDS) y así detectar cambios geomórfológicos (verticales) y variaciones volumétricas usando la metodología de *DEM of Difference*, (DoD). Además, se realizó un monitoreo continuo a través de una cámara fija de tipo time-lapse (TLC) que permitió evaluar cualitativamente el impacto de las tormentas sobre la playa emergida y las dunas.

4. Resultados y conclusiones

Durante Ofelia el oleaje no superó los 2m (T:5s) con una dirección oblicua-paralela a la playa (170-220°), coincidiendo con marea baja (aprox. 0.8 m) y con una duración de escasamente 12 h. El máximo run up (Total Water Level-TWL) para el evento fue de 1.38 m, inferior a la altura media del pie de duna (2.5m). Como resultado (Fig. 2), la mayor parte de la movilización de sedimentos se produce en el intermareal, ~8.300m³, mostrando un patrón N-S. Las dunas de la zona S muestran erosión que se manifiesta con cambios en altura de hasta -1.0 m lo que se explicaría por la acción de los vientos. Por su parte, Héctor a su paso por Five Finger registró valores de Hs 4.06, T: 6.6s, con una dirección media de oleaje de 220-270° (onshore) y con una duración 21h. El pico de la tormenta fue sincrónico con marea alta (2.21m), alcanzado un TWL:2.92m, superior a la altura media del pie de duna. El volumen desplazado fue mayor (13.400 m³ en el intermareal) pero con un patrón E-W. La zona N, presencia de barra intermareal, muestra ganancia neta de sedimentos, mientras que en la zona S, la ausencia de barra y las condiciones

de disipación del oleaje, podrían ser la causa de una erosión más acusada. El TWL durante Héctor fue superior a la altura media del pie de duna, tal y como confirman las imágenes TLC, lo cual se manifiesta como una ganancia de sedimentos (Fig. 2; tonos azules) debido al colapso de la duna y la acumulación de dichos sedimentos al pie de ésta. La duración, orientación y velocidad de paso de la tormenta, la altura de ola local y el rango mareal se identifican como agentes tractores importantes. Además, la configuración previa del intermareal (presencia del canal y barras arenosas), y la altura y disposición del frente dunar juegan un papel importante en la respuesta que es espacialmente variable. La sincronicidad de las variables es crucial en el impacto geomorfológico de una tormenta.

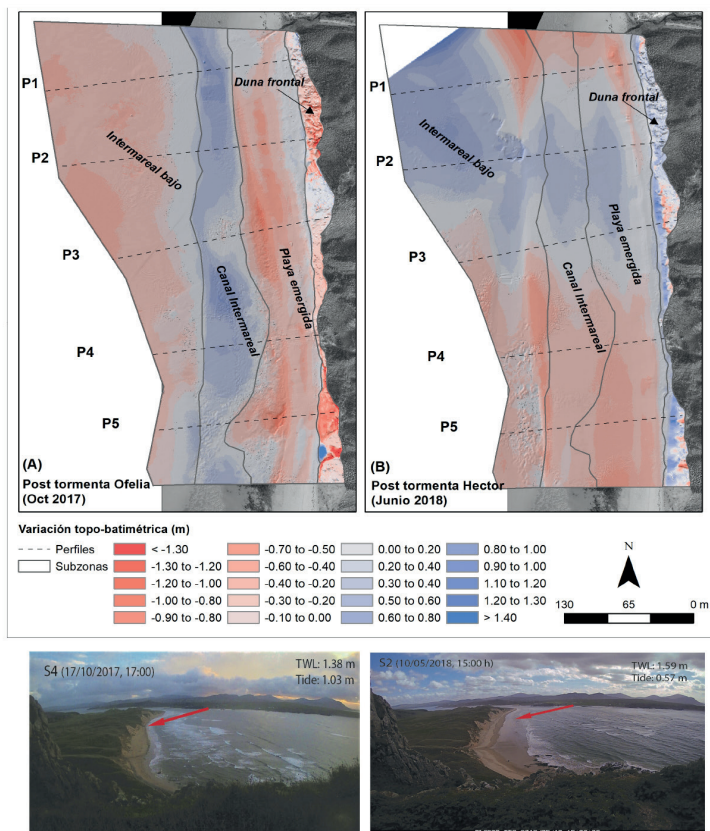


Figura 2. Panel superior: Diferencias topo-batimétricas pre and post tormenta Ofelia (A) Hector (B). Rojo indica erosión y azul deposición. Inferior: izqd. TLC durante el máximo de Ofelia y dcha. durante el máximo pico de Héctor.

Fuente: Adaptado de Guisado-Pintado y Jackson, 2019.

Referencias

- Costas, S., Alejo, I., Vila-Concejo, A., and Nombela, M. A. (2005). Persistence of storm-induced morphology on a modal low-energy beach: a case study from NW-Iberian Peninsula. *Marine Geology*, 224: 43-56.
- Guisado-Pintado, E., and Jackson, D. W. T. (2018). Multi-scale variability of storm Ophelia 2017: the importance of synchronised environmental variables in coastal impact. *Science of the Total Environment* 630: 287-301.
- Guisado-Pintado Emilia, Jackson Derek W. T. (2019). Coastal Impact from High-Energy Events and the Importance of Concurrent Forcing Parameters: The Cases of Storm Ophelia (2017) and Storm Hector (2018) in NW Ireland. *Frontiers in Earth Science*, 7: 190.
- Jackson, D. W. T., and Cooper, J. A. G. (2009). Geological control on beach form: accommodation space and contemporary dynamics. *Journal of Coastal Research*, 56: 69-72.
- Jackson, D. W. T., Cooper, J. A. G., O'Connor, M., Guisado-Pintado, E., Loureiro, C., and Anfuso, G. (2016). Field measurements of intertidal bar evolution on a high-energy beach system. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41: 1107-1114.
- Splinter, K. D., Kearney, E. T., and Turner, I. L. (2018). Drivers of alongshore variable dune erosion during a storm event: observations and modelling. *Coastal Engineering*, 131: 31-41.

Propuesta de lugares de interés geológico y georrutas en el litoral del municipio de Gáldar (NO de la isla de Gran Canaria)

*Proposal of geosites and georoutes in the littoral of Gáldar municipalite
(NW of the Island of Gran Canaria)*

A. J. RODRÍGUEZ-RUBIO, J. MANGAS, J. YEPES y S. B. SANTANA-SANTANA

*Instituto de Oceanografía y Cambio Global (IOCAG), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Alejandro.rodriguez128@alu.ulpgc.es*

Resumen: El municipio de Gáldar se sitúa en el noroeste de la isla de Gran Canaria y su franja litoral tiene una extensión de unos 24 km. Su costa es principalmente rocosa con acantilados, plataformas costeras, islotes y restos erosivos, y pequeñas calas, donde se pueden observar principalmente materiales, geomorfologías y estructuras volcánicas estrombolianas del ciclo magmático plio-cuaternario Post Roque Nublo. En este estudio se proponen cuatro lugares costeros de interés geológico municipal y los hemos nombrado de sur a norte como: 1) Barranco Juncal-Punta Gorda, 2) costa Botija (Playa Lagarto-El Farallón), 3) Bahía de Sardina del Norte-Cumbrerillas del Faro y 4) Caleta de Abajo-La Furnia. Además, se han inventariado una veintena de miradores y lugares con interés geológico. Por otra parte, se propone una georruta de vulcanismo estromboliano a lo largo de toda la costa galdense, puesto que están bien representados distintos apilamientos lávicos, mantos de piroclastos de lapilli, escorias y bombas; una decena de edificios cónicos (uno de ellos freatomagmático), diques, y otras estructuras volcánicas menores. A su vez, se presenta una georruta inclusiva para personas con discapacidad física y visual.

Palabras clave: patrimonio geológico costero, LIG, georrutas, vulcanismo estromboliano, Gáldar

Abstract: The municipality of Gáldar is located in the northwest of the island of Gran Canaria and its coastline is about 24 km long. Its coast is mainly rocky with cliffs, coastal platforms, islets and erosive remains, and small coves, where materials, geomorphologies and strombolian volcanic structures of the Post Roque Nublo plio-quadernary magmatic cycle can be observed. In this study, four coastal geosites of municipal geological importance are proposed and we have named them from south to north as: 1) Barranco Juncal-Punta Gorda, 2) Costa Botija (Playa Lagarto-El Farallón), 3) Bahía de Sardina del Norte- Cumbrerillas del Faro and 4) Caleta de

Abajo-La Furnia. In addition to these, around twenty viewpoints and sites of geological interest have been inventoried. On the other hand, a georoute of strombolian volcanism is proposed along the entire Gáldar coast, since different lava piles, lapilli pyroclastic mantles, scoria and bombs are well represented; a dozen conical buildings (one of them phreatomagmatic), dikes, and other minor volcanic structures. In addition, an inclusive georoute is presented for people with physical and visual disabilities.

Keywords: coastal geological heritage, Geosite, georoute, Strombolian volcanism, Gáldar.

1. Introducción

La isla de Gran Canaria se encuentra dentro del archipiélago Canario, el cual está constituido por ocho islas y varios islotes que se localizan entre las latitudes 27 y 30° N. Esta isla tiene una historia geológica larga puesto que tiene materiales volcánicos y sedimentarios subaéreos, junto con distintas geomorfologías desde los 14,5 millones de años (Mioceno medio) hasta la actualidad (Balcells et al., 1990 a y b). Así, presenta etapas miocenas de construcción en escudo y declive (14,5 a 7,3 Ma), erosiva miocena (7,3 a 5,3 Ma), y reactivación volcánica plio-cuaternaria (5,3 Ma a la actualidad).

El área de estudio está localizada en el litoral del municipio de Gáldar, situado al NO de Gran Canaria (Fig. 1). Este municipio cuenta con 24 km de costa rocosa, con acantilados, plataformas costeras, islotes y restos erosivos constituidos por materiales ultramáficos (basanitas) y máficos (basaltos y tefritas) de la etapa de reactivación volcánica pliocuaternaria insular, denominada también ciclo magmático Post Roque Nublo. Además, aparecen pequeñas calas y playas, asociadas a desembocaduras de barrancos, conteniendo arenas y cantos rodados. Por añadidura, aparecen depósitos puntuales de paleosuelos, paleoplayas y, hasta hace unas décadas, eolianitas pliocenas, utilizadas como áridos de construcción.



Figura 1. Situación geográfica de Gáldar en el NO de Gran Canaria y localización de los cuatro LIG definidos en este estudio: A) Barranco del Juncal-Punta Gorda, B) Costa Botija, C) Bahía de Sardina-Cumbrecillas del Faro y D) Caleta de Abajo-La Furnia).

2. Lugares de Interés Geológico (LIGs) en la costa de Gáldar

A partir del trabajo geológico realizado en la costa y del análisis de varias fuentes de información, se han establecido cuatro LIGs en la zona de estudio. El primero, al sur del término municipal, es el “LIG del Barranco del Juncal-Punta Gorda” (Figs. 1 y 2A) que comprende principalmente los elementos geológicos presentes en ladera norte de la bahía del Juncal. Esta bahía cuenta con acantilados donde se aprecian restos de un cono volcánico estromboliano del Pleistoceno medio, junto con apilamientos lávicos y depósitos de piroclásticos de caída. También, se observan morfologías como, playa de cantos y bloques, plataforma litoral, bufaderos, cuevas y socavones.

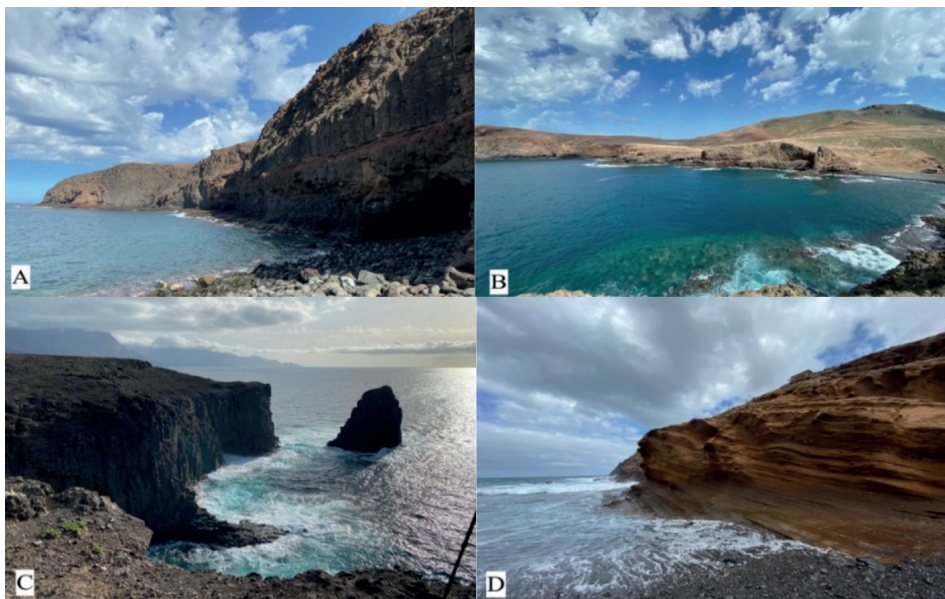


Figura 2. LIGs de la costa de Gáldar: A) Barranco del Juncal-Punta Gorda (acantilados conteniendo apilamientos lávicos y mantos de piroclastos), B) Costa Botija (acantilados con conos estrombolianos adosados y apilamientos lávicos escoriáceos), C) Bahía de Sardina-Cumbrecillas del Faro (Islote desarrollado sobre una colada lávica) y D) Caleta de Abajo-La Furnia (acantilado sobre restos de un cono freatomagmático).

El siguiente LIG, más al norte, es el de “Costa Botija” (Figs. 1 y 2B) que cuenta con la presencia en los acantilados de dos conos estrombolianos, adosados con dirección NO-SE, del Pleistoceno medio, más apilamientos de varias coladas

escoriáceas, con potencias de decenas de metros. A lo largo de la costa existen pequeñas calas de arena y cantos rodados, y en la plataforma lávica litoral se distinguen excelentes ejemplos de marmitas de gigante. En el techo del acantilado, hay un nivel de paleosuelo areno-limoso pleistoceno, de tonos marrones, conteniendo gasterópodos terrestres del género *Helix*. El tercer LIG, el más al norte del municipio, “Bahía de Sardina-Cumbrecillas del Faro” (Figs. 1 y 2C) contiene una alineación NO-SE de tres conos estrombolianos escoriáceos, afectados por fallas y diques del Pleistoceno medio, junto con coladas de decenas de metros. La presencia de minerales del grupo de las ceolitas en los piroclastos de caída es notable. Por otra parte, el retroceso del acantilado en una colada ha formado un singular islote denominado Roque Partido. Por otro lado, aparecen calas de arena y cantos rodados, pasillos erosivos e islotes en la plataforma lávica costera.

El último LIG, al noreste del término municipal, denominado “Caleta de Arriba-La Furnia” (Figs. 1 y 2D), es el que cuenta con mayor geodiversidad ya que tiene el único cono freatomagmático de la zona de estudio con piroclastos laminados alterados y numerosos impactos de bombas, además de varios edificios estrombolianos y lavas escoriáceas del Pleistoceno medio, junto con paleoplayas y paleosuelos. Existen, también, geoformas como acantilados, plataformas litorales, calas, islotes, cuevas, socavones, entre otras.

3. Discusión y conclusiones

Debido a la falta de estudios de patrimonio geológico costero en el municipio de Gáldar, este trabajo resulta novedoso y original, ya que pone en valor 4 lugares de interés geológico representativos de la etapa de reactivación volcánica estromboliana Post Roque Nublo en la isla. Estos 4 LIG propuestos se pueden comunicar a través de una georruta a lo largo de 24 km por todo el litoral galdense, determinando en ella una veintena de miradores y lugares con interés geológico particular. Debido a las infraestructuras existentes en la playa del pueblo de Sardina del Norte (ascensor, aceras adaptadas, aparcamientos, baños públicos, restaurantes) y una variabilidad notable de elementos geológicos y culturales, se ha definido una georruta inclusiva para personas con discapacidad física y visual, aunque habría que completarla con cartelería y material adaptado (planos táctiles, geoguías con códigos QR, trípticos, etc.). Por consiguiente, los elementos patrimoniales propuestos en la costa de Gáldar tienen interés científico para desarrollar más estudios educativos, enfocados a los distintos niveles de enseñanza, así como para el público en general.

Referencias

- Balcells, R., Barrera, J. L. y Gómez, J. A. 1990a. *Mapa geológico de España, escala 1:25.000, 1101-I-II, Agaete*. Instituto Geológico y Minero, Madrid. Memoria 54 pp.
- Balcells, R., Barrera, J. L. y Ruiz-García, M. T. 1990b. *Mapa geológico de España, escala 1:25.000, 1101-III-IV, Arucas*. Instituto Geológico y Minero, Madrid. Memoria, 114 pp.

Geomorfología litoral para todas las personas: propuesta inclusiva de interpretación del patrimonio natural

Coastal geomorphology for all people: inclusive proposal for the interpretation of natural heritage

S. SANTANA-SANTANA, C. PEÑA-ALONSO y E. PÉREZ-CHACÓN ESPINO

*Grupo de Investigación de Geografía Física y Medio Ambiente, Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
sarabeatriz.santana@ulpgc.es*

Resumen: El patrimonio es un bien colectivo donde la accesibilidad representa una cualidad fundamental para su disfrute. Sin embargo, las personas con discapacidad encuentran barreras que dificultan o impiden su acceso al patrimonio natural y cultural, de manera autónoma y segura. Con el objetivo de acercar el patrimonio litoral a personas con discapacidad visual, se ha realizado una experiencia pionera en la Reserva Natural Especial de las dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). La propuesta didáctica elaborada se sustenta en un itinerario accesible, a partir del que se muestran diferentes contenidos relacionados con la geodiversidad y biodiversidad de la zona. La experiencia sensorial en el terreno se complementa con materiales que pueden ser explorados con las manos, y aportan información espacial y temática. Se muestran los resultados, tras la valoración realizada por los usuarios.

Palabras clave: accesibilidad universal, discapacidad visual, interpretación patrimonial, patrimonio natural, sistema playa-duna.

Abstract: Heritage is a collective asset where accessibility represents a fundamental quality for its enjoyment. However, people with disabilities encounter barriers that hinder or prevent their access to natural and cultural heritage, autonomously and safely. With the aim of bringing coastal heritage closer to visually impaired people, a pioneering experience has been carried out in the Maspalomas Dunes Special Nature Reserve (Gran Canaria, Canary Islands). The elaborated didactic proposal is based on an accessible itinerary, from which different contents related to geodiversity and biodiversity of the area. The sensory experience in the field is complemented with materials that can be explored with the hands and provide spatial and thematic information. The results are shown, after the assessment made by the users is indicated.

Keywords: universal accessibility, visual disability, heritage interpretation, natural heritage, beach-dune system.

1. Introducción

El patrimonio es nuestro legado del pasado, se vive en el presente y debe ser transmitido a las generaciones futuras (Ayuso *et al.*, 2009). Los lugares con valor patrimonial son espacios que juegan un importante papel en la lucha contra la exclusión social, pues son herramientas que facilitan el acceso a la información y a la cultura. Por ello, la interpretación del patrimonio es una herramienta para conectar al visitante con los valores inherentes al recurso patrimonial (Larsen, 2007).

Entendiendo la discapacidad como parte de la condición humana, la presente iniciativa pretende acercar el patrimonio natural que alberga la Reserva Natural Especial de las dunas de Maspalomas (Gran Canaria, España), al colectivo de personas con discapacidad y, en especial, a las personas con discapacidad física y con discapacidad visual, favoreciendo así su inclusión social y cultural.

2. Área de estudio

La Reserva Natural Especial de las dunas de Maspalomas se localiza en el extremo meridional de la isla de Gran Canaria (figura 1), y constituye un entorno singular al ser el único campo de dunas móviles activo de Gran Canaria (Hernández-Cordero *et al.*, 2019), además de poseer un alto valor patrimonial en geodiversidad y biodiversidad. Se trata de un sistema playa-duna transgresivo (Hernández-Calvento, 2006), que ocupa una superficie de 3.6 km², y se asienta sobre el abanico detrítico de la desembocadura del barranco de Fataga-Maspalomas. Los materiales vulcanosedimentarios que afloran en los alrededores de Maspalomas son variados en su génesis, su evolución y su naturaleza geológica.

3. Metodología

La metodología desarrollada ha seguido este esquema: 1. Definición del área de estudio, análisis de la viabilidad y de la necesidad de realizar la intervención; 2. Selección de los contenidos, priorizando aquellos con cierto grado de singularidad y potencial para la exploración sensorial; 3. Concreción del discurso didáctico a seguir y del itinerario a recorrer; 4. Diseño y elaboración de los materiales priorizando su fácil comprensión; 5. Ejecución de la propuesta de interpretación del patrimonio y 6. Valoración de la experiencia.

Ante la carencia de materiales inclusivos, destinados a la educación ambiental y a la interpretación del patrimonio, la propuesta se centra en el desarrollo de

recursos adaptados para personas con discapacidad visual, así como en el posterior diseño e implementación de una ruta de interpretación patrimonial (figura 1).



Figura 1. Recorrido y paradas establecidas en el desarrollo de la experiencia.

4. Resultados

El material diseñado tiene un enfoque de diseño universal, utilizando cartografía táctil y láminas, elaboradas tanto en tinta como en alto relieve mediante termoconformado o estampación. También se han realizado maquetas topográficas a partir de impresión 3D, así como elementos en masilla de secado al aire para representar geoformas. Estos elementos táctiles permiten un acercamiento al patrimonio y favorecen su interpretación (Iglesias *et al.*, 2017).



Figura 2. Nivel de satisfacción de las personas participantes en la experiencia práctica.

Durante el recorrido realizado la persona participante ha tenido la oportunidad de conocer la importancia del espacio protegido y sus valores, prestando especial atención al funcionamiento de la dinámica sedimentaria (formación de

dunas). En la experiencia han participado un total de 15 personas con discapacidad visual. Al término de la actividad, los participantes han indicado un alto grado de satisfacción con respecto la propuesta (figura 2).

5. Discusión y conclusión

La intervención elaborada atiende, fundamentalmente, a la necesidad de aportar material táctil para favorecer la interpretación del patrimonio por parte personas con discapacidad visual, lo que puede contribuir a eliminar un eslabón dentro de la cadena de accesibilidad. De esta forma, este material adaptado ha permitido a un colectivo de personas con discapacidad visual, tradicionalmente excluido de los espacios con valor patrimonial al aire libre, despertar su curiosidad e interés por Maspalomas. A través de los materiales se han podido mostrar procesos activos que implican movimiento, como es el caso de la dinámica eólica, así como sobre la dimensión del objeto representado, incorporando en el recurso la referencia a una escala conocida.

La elaboración de productos táctiles y su exploración guiada ha servido como herramienta para acercar el patrimonio a personas con discapacidad y para compartir, desde un prisma divulgativo, el conocimiento científico. Además, el desarrollo de la experiencia piloto ha permitido comprobar que Maspalomas es un entorno practicable por personas con discapacidad.

Agradecimientos

El trabajo se ha realizado en el marco del proyecto “Elaboración de materiales didácticos inclusivos en el ámbito de la Geografía aplicada a la Educación Ambiental en Canarias (INCLEUCAN)” financiado por la Fundación CajaCanarias y la Fundación La Caixa (Ref. 2020EDU16).

Referencias

- Ayuso Álvarez, A. M., Delgado Jiménez, A. y OSE Equipo. (2009). *Patrimonio natural, cultural y paisajístico: claves para la sostenibilidad territorial*. Observatorio de Sostenibilidad de España.
- Hernández-Calvento, L. (2006). *Diagnóstico sobre la evolución del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000)*. Cabildo de Gran Canaria, Casa de Colón.

- Iglesias, N., García-Frank, A., y Fesharaki, O. (2017): Ideas y reflexiones para una divulgación científica efectiva. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Aula, Museos y Colecciones*, 4, 29-41.
- Hernández-Cordero, A. I., Peña-Alonso, C., Hernández-Calvento, L., Ferrer-Valero, N., Santana-Cordero, A., García-Romero, L. and Pérez-Chacón Espino, E. (2019). Aeolian Sedimentary Systems of the Canary Islands. En: *The Spanish Coastal Systems* (Morales (ed.)). Springer Nature, Switzerland, 699-725.
- Larsen, D. (2007). Ser relevante al público o convertirse en una reliquia. *Boletín de Interpretación*, 16: 18-23.

Geomorphological Characterisation of the Coast along Cádiz Province for Coastal Risk Assessment under Climate Change

Caracterización Geomorfológica Litoral de la Provincia de Cádiz para la Evaluación del Riesgo Costero ante el Cambio Climático

T. O. MON^{1,2}, L. DEL RÍO², J. BENAVENTE² & T. A. PLOMARITIS¹

1. Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz

2. Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Univ. de Cádiz

Abstract: Variation in geomorphological features or occupation types present along the coastline can determine most significant coastal hazards related to extreme events both for the present and projected climate change because of their variability in natural adaptation capacity. This study characterises distinct geomorphological and human aspects of the coast along Cadiz province, with an aim to develop appropriate tools for coastal risk assessment due to erosion, flooding and overwash hazards, under current and future scenarios. Distinct units along the coast were categorized according to their geomorphological features using GIS tools. Of 256 kilometres' coastline, 66% are classified as sandy beaches and rocky cliff coast constitutes about 13%. Exposed coastal infrastructures, port areas included, are of 14%, where the remaining are tidal inlets, estuaries and salt marshes.

Keywords: geomorphology, coastal hazard, climate change.

Resumen: La variación en las características geomorfológicas o los tipos de ocupación presentes a lo largo de la línea de costa pueden determinar los peligros más significativos relacionados con eventos extremos, tanto para el cambio climático actual como para el proyectado, debido a la variabilidad en la capacidad de adaptación natural. Este estudio caracteriza la geomorfología y la intervención humana a lo largo de la costa, como primer paso para evaluar el riesgo de erosión, inundación y desbordamiento en los escenarios actuales y futuros. Las distintas unidades a lo largo de la costa de la provincia de Cádiz se clasificaron según sus características geomorfológicas utilizando herramientas GIS. De los 256 kilómetros de costa, el 66% se clasifican como playas de arena, mientras que los acantilados rocosos constituyen alrededor del 13%. Las infraestructuras costeras expuestas, incluidas las zonas portuarias, son el 14%, siendo el resto bocanas, estuarios y marismas.

Palabras clave: geomorfología, peligros costeros, cambio climático.

1. Introduction

Coastal ecosystems and population are likely to be exposed to coastal flooding and erosion of higher frequency and increased intensity from sea level rise, more prominently for sandy coasts and low-lying islands (Oppenheimer *et al.*, 2019). Geomorphological characteristics of the coast are critical in determining the type and nature of possible hazards, as well as their spatial and temporal scales for the present and projected climate change. Such characteristics depend on many variables related to their boundary conditions and adaptation capacity. Many limitations, such as coherent integration of these multivariate data while maintaining their consistency, spatial and temporal quality and heterogeneity, exist in modelling of coastal processes and their impacts (Vafeidis *et al.*, 2008). This study aims to define characteristic features having distinct geomorphology and human intervention along the coast for coastal risk assessment in response to coastal hazards (erosion, flooding and overwash) relevant for all types of environments along the coastline under current and future climate scenarios.

2. Study Area

The study area is the coastline in the Province of Cádiz in Andalucía Region of Spain. Coastal processes are influenced by unique meteorological and ocean conditions due to its position between the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea, connected by the Strait of Gibraltar (Figure 1).

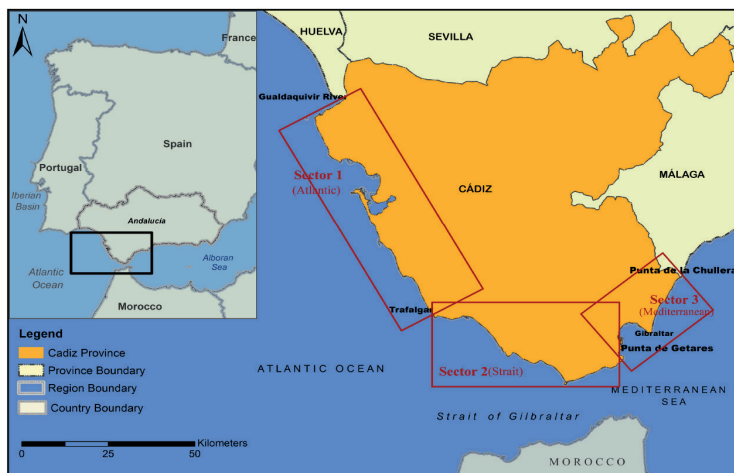


Figure 1. Location map of the study area (Cádiz Province) and 3 main sectors.

Wave and tide conditions vary from meso- to micro-tidal areas (with a mean spring tidal range of ~3 m at Cadiz city and reducing southeastwards) and from oceanic to fetch limited wave conditions. The study area can be divided into 3 sectors with different orientation (exposed to different wave and wind conditions): broadly NW-SE oriented Atlantic Sector, SW-NE oriented Strait Sector and NNE-SSW oriented Mediterranean Sector (Del Río *et al.*, 2019). A range of geomorphological environments from sandy beaches to rocky coasts and economically important port areas are present, with varying land use and occupation density landwards (Del Río & Gracia, 2009; Del Río *et al.*, 2013).

3. Data and Methods

The most recent coastline data from the Andalusia Network of Environmental Information (REDIAM, 2022) was obtained and analysed. The dataset is based on multifunctional coastline analysis, integrating several levels of classification using different concepts of coastline and designed to share the same attributes (Díaz Cuevas *et al.*, 2017). Most suitable and representative categories exhibiting distinct geomorphological features with similar response to different types of coastal hazards were identified and categorized using data processing tools in ArcGIS. This step is critical for larger risk assessment study considering climate change conditions, as a high-resolution analysis combining geomorphological and oceanographic characteristics will be done for each geomorphological type. The classification was cross-checked with local knowledge plus satellite and ortho-photographic images.

4. Results and Discussion

The coastline along the province of Cádiz extends along approximately 256 kilometres, excluding the coastal stretch of Gibraltar (~14 km). The coastline is composed of 13% rocky cliffs, 66% sandy beaches (around 37% with dunes present, 13% backed by infrastructures and 16% backed by soft rocky cliffs).

Exposed coastal infrastructures including coastal defences, sports and commercial ports are 14% of the coastline, where the remaining are tidal inlets or estuaries and salt marshes (Figure 2a).

Beach with dune is the most prominent geomorphology type in Sector 1, followed by similar percentages of beach with cliff, beach with infrastructure and exposed coastal infrastructure. Beach with dune, beach with cliff and rocky cliff coast equally constitute major composition in Sector 2. Beach with dune and with

infrastructure are the majority in Sector 3, followed by port areas of the Algeciras Bay (Figure 2b).

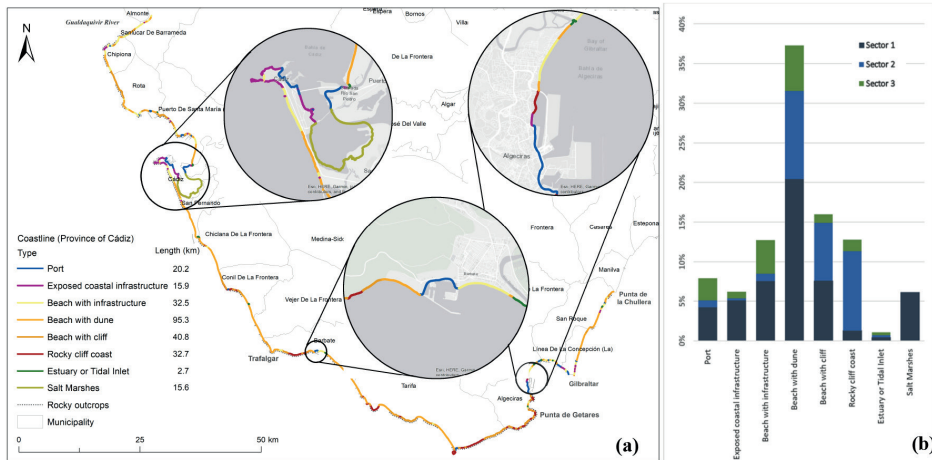


Figure 2. a) Map showing spatial distribution of the morphological features along the coast of Cadiz. b) Bar chart showing composition of all morphological types in each sector.

6. Conclusion

This categorisation summarizes all major types of geomorphologies showing similar response to climate change, present along the coastline and their statistical distribution. It is the first step towards a more detailed risk assessment, where it will be linked to attributes representing physical, socioeconomic and environmental variables significant for hazard, exposure and vulnerability of respective geomorphology to present and climate change conditions.

References

- Del Río, L., Benavente, J., Gracia, F. J., Anfuso, G., Aranda, M., Montes, J. B., Puig, M., Talavera, L., & Plomaritis, T. A. (2019). Beaches of Cadiz. In *The Spanish Coastal Systems* (pp. 311-334). Springer.
- Del Río, L., & Gracia, F. J. (2009). Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112(1-2), 82-95.
- Del Río, L., & Gracia, F. J. (2009). Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112(1-2), 82-95.

- Del Río, L., Gracia, F. J., & Benavente, J. (2013). Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. *Geomorphology*, 196, 252-266.
- Díaz Cuevas, Pilar, M. del, Ojeda Zújar, J., Prieto Campos, A., Álvarez Francoso, J. I., & Pérez Alcántara, J. P. (2017). Actualización y mejora de indicadores de evolución del frente costero en Andalucía en el contexto del cambio climático. Project Report, 50.
- Oppenheimer, M., Glavovic, B. C., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A. K., Abd-Elgawad, A., Cai, R., Cifuentes-Jara, M., DeConto, R. M., Ghosh, T., Hay, J., Isla, F., Marzeion, B., Meyssignac, B., & Sebesvari, Z. (2019). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (pp. 321-445).
- REDIAM. (2022). <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>
- Vafeidis, A. T., Nicholls, R. J., McFadden, L., Tol, R. S. J., Hinkel, J., Spencer, T., Grashoff, P. S., Boot, G., & Klein, R. J. T. (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, 24(4), 917-924.

Effects of primary drivers on dune cover and shoreline dynamics: Aeolus versus Poseidon

*Efectos de los agentes tractoros sobre la cobertura dunar y cambios en la línea de costa:
Aeolus versus Poseidon*

R. GONZÁLEZ-VILLANUEVA¹, M. PASTORIZA¹, A. HERNÁNDEZ², R. CARBALLEIRA²,
A. SÁEZ³ & R. BAO²

1. Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo. ritagonzalez@uwigo.gal

2. Universidade da Coruña, GRICA Group, Centro de Investigacións Científicas Avanzadas (CICA), A Coruña

3. UB-Geomodels Research Institute, Dep. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Universitat de Barcelona

Abstract: Coastal dunes evolve directly in response to primary drivers, such as wind and waves, which can significantly influence the landscape. Here, we present a case study in the Doniños barrier, NW Iberia, in which we analyse the opposite and unbalanced effects of wind stilling and storm surges on foredune evolution dynamics under the current climate change scenario. By studying an aerial image series in the last 70 years, we determined that the vegetated dunes experienced a net seaward shoreline advance at an average rate of 1.28 ± 0.01 m/year and an overall dune vegetation coverage expansion of 50.5%. Available local atmospheric data indicated that wind stilling was the main factor responsible for the trend. However, the shoreline evolution included annual-to-decadal periods dominated by stalled or reversed advance alongside energetic winters when waves could reach the foredune, causing erosion and vegetation cover deterioration.

Keywords: Shoreline change, wind stilling, sea level rise, storminess.

Resumen: La evolución de las dunas costeras es un reflejo directo de agentes tractoros como el viento y las olas, siendo estos responsables de parte de los cambios que se producen en las zonas costeras. En este trabajo se presenta un caso de estudio en el sistema dunar de la barrera de Doniños, al NO de la península Ibérica, en el que se analizan los efectos opuestos y desequilibrados del efecto del régimen de vientos y temporales marítimos en la dinámica evolutiva de las dunas en un escenario de cambio climático. Mediante el análisis de fotografías aéreas de los últimos 70 años, se ha determinado una tasa promedio de 1.28 ± 0.01 m/año de avance hacia mar de las

dunas vegetadas y un crecimiento del 50.5 % de la cobertura vegetal dunar, como consecuencia de una disminución en la velocidad del viento. Esta tendencia no ha sido continúa en el tiempo, presentando periodos de estabilización o retroceso, coincidentes con periodos en los que la energía del oleaje (invierno) ha sido lo suficientemente alta como para llegar a alcanzar la duna frontal, provocando su erosión y el deterioro de la cobertura vegetal.

Palabras clave: cambio línea costa, disminución del viento, ascenso del nivel del mar, tormentosidad.

1. Introduction and Methods

The present work aims to shed light on the landscape evolution of coastal dunes on a climate change scenario and explore the primary drivers that control the short-to-long-term episodic deterioration and recovery of coastal dunes. In this study, we perform a multiapproach analysis of a coastal dune system in the Atlantic NW Iberian coast, Doniños coastal dunes (Figure 1) over the last 70 years under minor human impacts, combining aerial imagery, topographic and meteocean data. From this case study, we sought to examine the coastal dune landscape evolution processes linked to wind (Aeolus) and marine regimes (Poseidon) on a decadal scale.

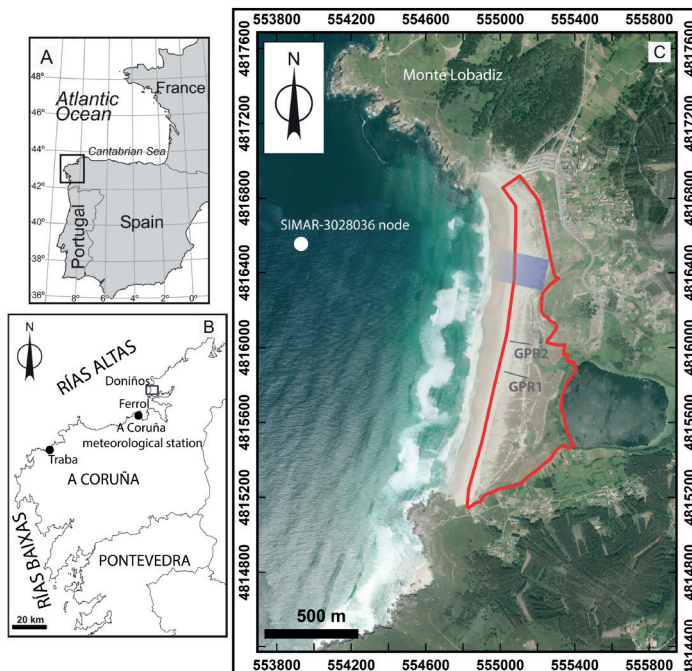


Figure 1. Location of the study site.

2. Results and Discussion

Over the last decades, the evolution of the Doniños dune has been characterized by the expansion of vegetation cover until 2008, when vegetation reached maximum coverage across almost all the backdune and foredune areas (Figure 2A). This vegetation coverage increase resulted in the stabilization of the dune by plants, which could ultimately be attributed to the decline in the aeolian transport capacity in the area throughout the studied period (Figure 3A). These findings mimic the processes previously documented in the nearby Traba coastal dune field (González-Villanueva *et al.* 2013). Both cases also support the observed worldwide greening of coastal dunes (Jackson *et al.* 2019); and are in line with the global wind stilling hypothesis proposed by several authors (Vautard *et al.* 2010; Zhang *et al.* 2019). The resulting net seaward shoreline advance (Figure 2B) and increased vegetation cover were, however, not gradual throughout the analyzed period (1946-2020).

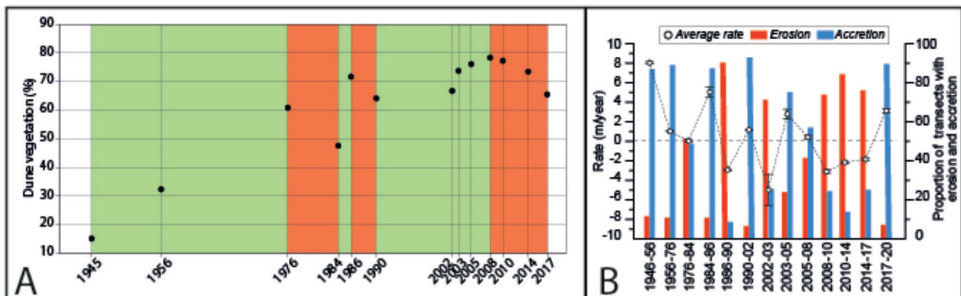


Figure 2. A: Changes in vegetation coverage (%) over the evaluated period. Green shaded areas correspond to periods of increase in vegetation cover and orange shaded areas with decreases. B: Number of transects experiencing shoreline erosion (red) or accretion (blue) based on periods with available data. White dots correspond to the average rate and the sample standard deviation in m/year for each analyzed period.

The changes in the shoreline location and the seaward boundary of the dune were closely interrelated and were ultimately driven by the recurrence of extreme winter events. During this period, increases in extreme- and high-energy winter wave events were observed alongside with strong onshore winds; extreme storm surges reached their maximum in 2013/14 (Figure 3). The impact of this events are evidenced by the marine inundation of the dune and the retreat of the foredune, which suffered maximum erosion between 2010 and 2014, and was manifested as 90% retreat of the shoreline (Figure 2B). This episode was coeval with an ex-

traordinary series of high-energy storms that affected western Europe and caused severe erosion across different sandy systems (Dodet *et al.*, 2019) and rocky coasts (Gómez-Pazo, Pérez-Alberti, and Trenhaile, 2019).

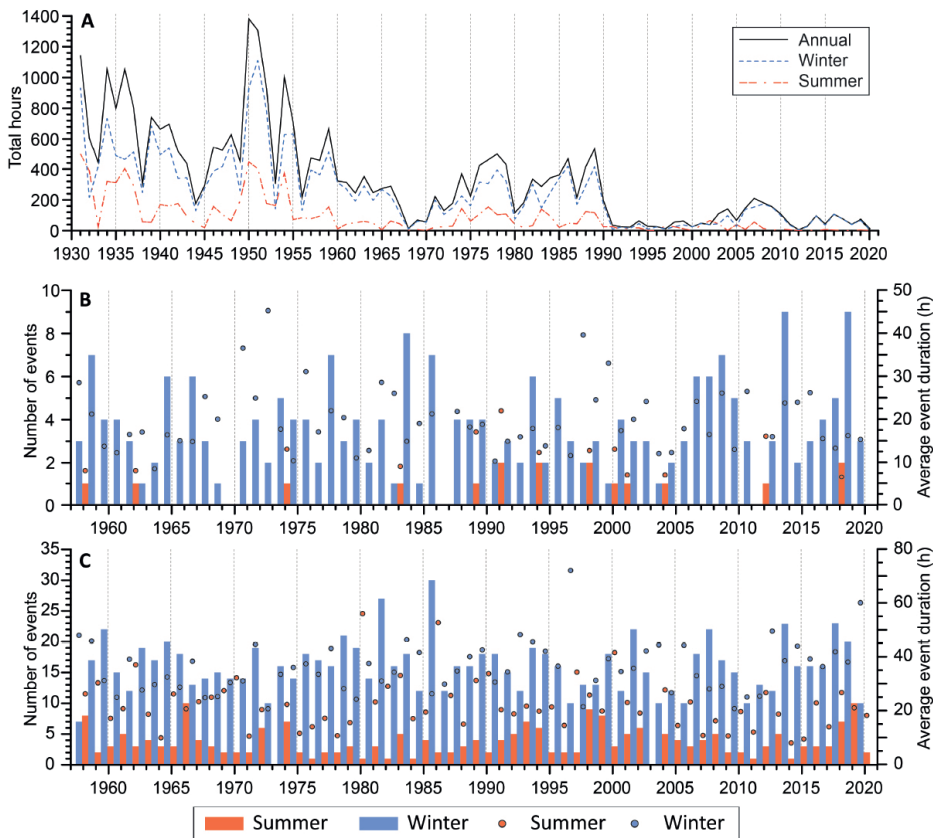


Figure 3. Total hours per year and season of aeolian events exceeding the sand transport threshold (A); The number of extreme- (B) and high- (C) energy wave events (blue bars for winter and orange bars for summer) and their average duration in hours (blue dots for winter and orange dots for summer).

After the winter of 2013/14, the recovery of the eroded foredune was not spatiotemporally constant, likely due to the recurrent impacts of winter storm surges in the successive years (Figure 3) affecting the typical dune recovery process. These findings demonstrate that wave-induced processes have replaced wind impacts as the primary agent forcing vegetation coverage decay, and therefore dunescape evo-

lution, after 2008. The main emergent idea of this work is that a subtle and unbalanced interplay exists between wind stilling and the frequency and/or intensity of storm surges associated with energetic winters; we believe that this interplay can explain the short-term coastal dune landscape changes observed in the Doniños system.

3. Conclusions

- For the last 70 years Doniños coastal dune system has experienced net seaward shoreline advance and vegetation cover expansion; the latter was likely triggered by the wind stilling registered on the NW coast of Spain.
- Vegetation cover expansion makes the system more resistant to marine erosion, allowing net seaward shoreline advance.
- However, energetic winters can cause the stalling or reversal of foredune advance through erosion, thus promoting a relative increase in the area occupied by embryonic dunes.

References

- Dodet, G. *et al.* 2019. "Beach Recovery from Extreme Storm Activity during the 2013–14 Winter along the Atlantic Coast of Europe." *Earth Surface Processes and Landforms* 44(1): 393-401.
- Gómez-Pazo, Alejandro, Augusto Pérez-Alberti, and Alan Trenhaile. 2019. "Recording Inter-Annual Changes on a Boulder Beach in Galicia, NW Spain Using an Unmanned Aerial Vehicle." *Earth Surface Processes and Landforms* 44(5): 1004-14.
- González-Villanueva, R. *et al.* 2013. "Impact of Atmospheric Circulation Patterns on Coastal Dune Dynamics, NW Spain." *Geomorphology* 185(1): 96-109.
- Jackson, Derek W.T., Susana Costas, Rita González-Villanueva, and Andrew Cooper. 2019. "A Global 'Greening' of Coastal Dunes: An Integrated Consequence of Climate Change?" *Global and Planetary Change* 182: 103026.
- Vautard, Robert *et al.* 2010. "Northern Hemisphere Atmospheric Stilling Partly Attributed to an Increase in Surface Roughness." *Nature Geoscience* 3(11): 756-61.
- Zhang, Zhengtai *et al.* 2019. "Increase in Surface Friction Dominates the Observed Surface Wind Speed Decline during 1973–2014 in the Northern Hemisphere Lands %J Journal of Climate." *Journal of Climate* 32(21): 7421-35.

Cortavientos de piedra sobre *nebkhas* áridas: anatomía e impactos

Stone-made wind shelters on arid nebkhas: structure and impacts

A. SANROMUALDO-COLLADO¹, L. GARCÍA-ROMERO^{1,2}, M. VIERA-PÉREZ¹,
I. DELGADO-FERNÁNDEZ³ y L. HERNÁNDEZ-CALVENTO¹

1. Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente, Instituto de Oceanografía y Cambio Global,
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

abel.sanromualdo@ulpgc.es

2. Grupo de Geopatrimonio y Geoturismo en Espacios Volcánicos, Departamento de Geografía e Historia,
Universidad de La Laguna

3. Dpto. de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cadiz

Resumen: La construcción de estructuras de piedra para resguardo del viento y la arena es habitual en sistemas sedimentarios sujetos a fuertes vientos. En Canarias, estas estructuras (localmente llamadas *goros*) suelen construirse sobre la playa o las dunas frontales. La reconstrucción y el mantenimiento de *goros* por los usuarios es constante, dando lugar a grandes apilamientos. Cuando los *goros* están alrededor o sobre las *nebkhas* encargadas de formar la duna costera no solo interfieren en la dinámica eólica y la geomorfología, sino que también afectan al desarrollo de las plantas. Un experimento de campo en la Playa del Inglés (Gran Canaria) permitió conocer en detalle estas estructuras y sus impactos.

Palabras clave: foredune, dunas áridas, Maspalomas, goro, apilamiento de piedras.

Abstract: The construction of stone-made structures to shelter users from wind-blowing sand is common in windy environments. In the Canary Islands, these structures (locally named *goros*) are usually built on the beach and frontal dunes. These *goros* are routinely rebuilt and maintained by users, leading large stone accumulations. When *goros* are built near or over the *nebkha* making up the foredunes they affect aeolian dynamics, geomorphology, and plant growth. This study investigated the environmental impacts of stone-made shelters by a field experiment on the foredune of El Inglés beach (Gran Canaria).

Keywords: foredune, arid dunes, Maspalomas, goro, stone-stacking.

1. Introducción

La presencia de estructuras de piedra construidas por los usuarios para resguardo del viento y de la arena es habitual en sistemas sedimentarios con fuertes vientos. En las islas Canarias estos cortavientos (*goros*), están presentes en la mayoría de los sistemas playa-duna. Los *goros* se suelen construir con rocas fonolíticas extraídas de antiguas paleobarras, y cerca de la vegetación para aprovechar la sombra eólica de esta. Los efectos de la eliminación, el transporte y el apilamiento de piedras en microhábitats y determinada fauna han sido estudiados (Rocha *et al.*, 2020), pero no sobre la biogeomorfología, conservación, y evolución de sistemas sedimentarios eólicos áridos.

La cantidad y distribución de *goros* sobre la playa y la duna costera de Playa del Inglés (Gran Canaria) ha variado desde su aparición en la década de 1960, asociados al desarrollo urbano-turístico de la isla. El mantenimiento de *goros* por parte de los usuarios es constante a medida que éstos son desmantelados por los gestores o enterrados por la arena. El incremento de su número está directamente relacionado con una disminución de la vegetación y del área dunar (Sanromualdo-Collado *et al.*, 2021).

El objetivo de este trabajo es explorar en detalle la estructura de *goros* construidos sobre *nebkhas* (dunas monticuladas asociadas a vegetación arbustiva) en la Playa del Inglés, así como discutir sus impactos sobre la biogeomorfología de sistemas playa-duna áridos. Este trabajo resume los resultados del desmantelamiento progresivo de uno de estos *goros*, y la respuesta de la *nebkha* y *shadow-dune* asociadas.

2. Área de estudio

La Playa del Inglés en Gran Canaria (27°44'26.4"N, 15°34'11.2"W) es la principal fuente de sedimento del sistema de dunas transgresivo de Maspalomas (Figura 1). En la zona alta de la playa se localiza una duna costera típica de regiones áridas, asociada a la presencia de *Traganum moquinii* (Hernández-Cordero *et al.*, 2019). Estos arbustos retienen el sedimento transportado desde la playa por los vientos predominantes (NE, ENE, E), formando las primeras *nebkhas* y *shadow-dunes*.

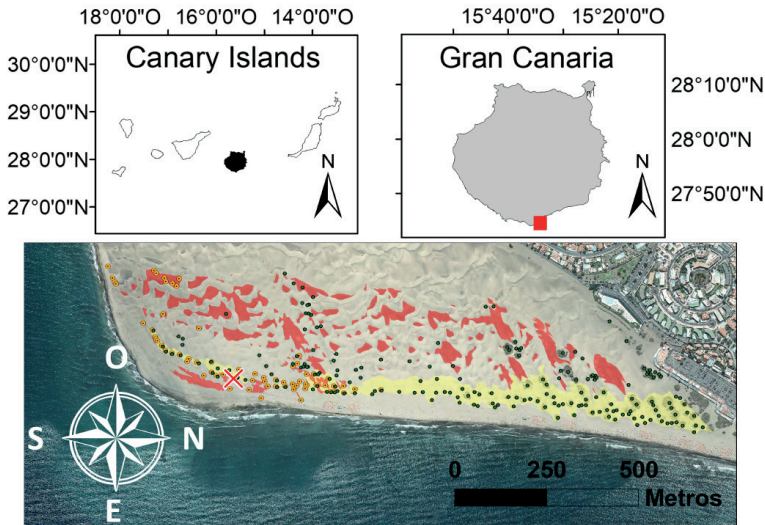


Figura 1. Localización del área de estudio (2018). Puntos naranjas = goros; puntos verdes = *T. moquini*; zonas amarillas = duna costera; zonas rojas = superficies erosivas; aspa roja = goro desmantelado. Adaptado de Sanromualdo-Collado et al., 2021.

3. Metodología

Entre los meses de noviembre de 2020 y mayo de 2021 se desmanteló progresivamente el goro. En cada campaña se retiraron las piedras situadas en una parcela de 20 x 10 m alrededor de la *nebkha*. Con el objetivo de no dañar la planta, se retiraron únicamente las piedras descubiertas por acción del viento entre campañas, sin excavar ni desenterrar piedras. Al principio y al final del experimento se realizaron levantamientos topográficos con estación total (Leica TS06) de dos transectos perpendiculares para estudiar el desarrollo de la *shadow-dune* (Figura 2A).

4. Resultados y discusión

Las piedras situadas alrededor de la *nebkha* impiden el flujo de sedimento a través de la planta (Zhao et al., 2019), y aquellas situadas en los flancos evitan la avalancha natural de arena, y estabilizan artificialmente el interior del goro. Con la retirada paulatina del goro, se reactivó tanto la retención de sedimento en la zona ocupada por la planta (Figura 2B) como el proceso de avalancha en los flancos y el transporte de sedimento hacia la *shadow-dune* (Hesp y Smyth, 2017) (Figura 2C). También

se facilitó el afloramiento de ramas y raíces adventicias, estrategia esencial para el desarrollo de *nebkhas* en ambientes áridos (Luo y Zhao, 2019), y altamente suprimida por las piedras del *goro* y su efecto ‘maceta’.

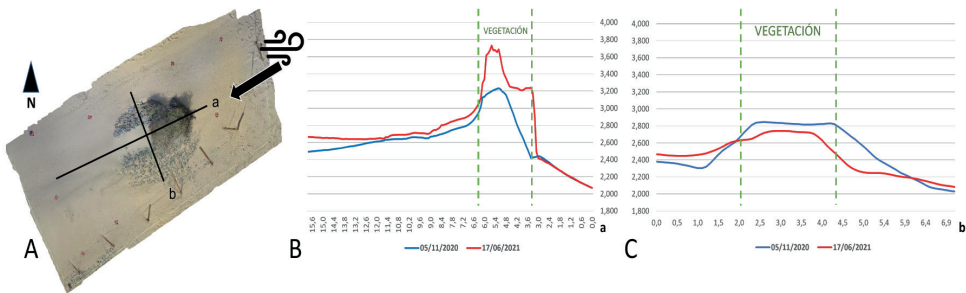


Figura 2. A) Vista cenital del goro y localización de los transectos. B y C) Perfiles topográficos longitudinal (a) y transversal (b) de los estados inicial (azul) y final (rojo) del experimento.

Un año después del inicio del experimento (Figura 3) la morfología de la *nebkha* y *shadow-dune* era similar a la esperada. Es decir, aunque siguen aflorando estratos de piedra que son susceptibles de regenerar impactos, es posible restaurar la *nebkha* de forma pasiva una vez retirados los *goros* (al menos parcialmente).



Figura 3. Estado inicial y final de la *nebkha* un año después del inicio del experimento.

5. Conclusiones

La construcción de *goros* en sistemas playa-duna afecta a la biogeomorfología de *nebkhas* y *shadow-dunes* y limita la formación de *foredunes*, con repercusiones para la dinámica de sistemas de dunas áridas. Los *goros* producen tres impactos principales: i) cambios en la rugosidad de la *nebkha* que limitan la capacidad de retención de sedimento alrededor de la planta; ii) mantenimiento artificial de la

pendiente, confinando volúmenes de arena y evitando las avalanchas en los flancos que alimentan de sedimento la *shadow-dune*; y iii) limitación al desarrollo de raíces adventicias, condicionando la capacidad de crecimiento de la planta.

Agradecimientos

This work is a contribution of project CSO2016-79673-R (National R&D&i Plan, Spain) co-financed with ERDF funds. First author is beneficiary of a PhD contract (BES-2017-082733) of the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness, supported by the European Social Fund (ESF). Leví García Romero is the beneficiary of a Postdoctoral contract of the Canary Islands Agency for Research, Innovation and Information Society (Catalina Ruiz program) supported by the ESF.

Referencias

- Hernández-Cordero, A. I., Peña-Alonso, C., Hernández-Calvento, L., Ferrer-Valero, N., Santana-Cordero, A. M., García-Romero, L., y Pérez-Chacón Espino, E. (2019). Aeolian Sedimentary Systems of the Canary Islands. In J. A. Morales (Ed.), *The Spanish Coastal Systems* (pp. 699-725). Springer International Publishing.
- Hesp, P. A., y Smyth, T. A. G. (2017). Nebkha flow dynamics and shadow dune formation. *Geomorphology*, 282, 27-38.
- Luo, W., y Zhao, W. (2019). Adventitious roots are key to the development of nebkhas in extremely arid regions. *Plant and Soil*, 442(1-2), 471-482.
- Rocha, R., Borges, P., Cardoso, P., Kusrini, M., Martín-Esquivel, J. L., Menezes, D., Mota-Ferreira, M., Nunes, S., Órfão, I., Serra-Gonçalves, C., Sim-Sim, M., Sepúlveda, P., Teixeira, D., y Traveset, A. (2020). Stone-Stacking as a Looming Threat to Rock-Dwelling Biodiversity. *Human-Wildlife Interactions*, 14(1), 17.
- Sanromualdo-Collado, A., García-Romero, L., Peña-Alonso, C., Hernández-Cordero, A. I., Ferrer-Valero, N., y Hernández-Calvento, L. (2021). Spatiotemporal analysis of the impact of artificial beach structures on biogeomorphological processes in an arid beach-dune system. *Journal of Environmental Management*, 282, 111953.
- Zhao, Y., Gao, X., Lei, J., Li, S., Cai, D., y Song, Q. (2019). Effects of Wind Velocity and Nebkha Geometry on Shadow Dune Formation. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(11), 2579-2601.

Identificación y análisis de los cambios de usos del suelo, en la zona de transición de la reserva de la Biosfera de Doñana, como variante explicativa de la desecación y desaparición de las lagunas endorreicas de la zona. Primeros resultados

Identification and analysis of changes in land use, in the transition zone of the Doñana Biosphere Reserve, as an explanatory variant of the drying up and disappearance of the endorheic lagoons in the area. Preliminary results

M. TEJADA-TEJADA y T. GÓMEZ POZUELO

*Depto. de Geografía, Historia y Filosofía, Universidad Pablo de Olavide
mtejtej@upo.es; tgompoz@alu.upo.es*

Resumen: Los arenales del sureste de la provincia de Huelva se mantuvieron “naturales” hasta inicios del s. XX. Las arenas y su potencial hidropónico, han ido transformando paulatinamente un territorio lacustre y biodiverso, en cultivos con grandes necesidades de agua y de gran rentabilidad económica. Gran parte de las lagunas costeras están desecándose, quizás por el incremento del uso de esas aguas subterráneas. Se plantea, si existe una correlación entre la progresiva desecación de las lagunas temporales y el incremento de las superficies agrícolas en regadío. En este estadio inicial se presentan los primeros resultados, centrados en el análisis de distintas fuentes de información espacial que analizadas en un entorno SIG nos proporcionan las primeras conclusiones, identificando y cartografiando los cambios. Resultados que nos permitirán seguir avanzando en la explicación de la desecación de las lagunas endorreicas.

Palabras clave: Doñana, CUS, SIG, agricultura intensiva, lagunas endorreicas.

Abstract: The sandy areas in the southeast of the province of Huelva remained “natural” until the beginning of the 20th century. The sands and their hydroponic potential have gradually transformed a biodiverse lake territory into crops with high water requirements and great economic profitability. Large parts of the coastal lagoons are drying up, perhaps due to the increased use of groundwater. The question arises as to whether there is a correlation between the progressive drying up of the temporary lagoons and the increase in irrigated agricultural land. At this initial stage, the first results are presented, centred on the analysis of different sources

of spatial information, which, analysed in a GIS environment, provide us with the first conclusions, identifying and mapping the changes. These results will allow us to make further progress in explaining the drying up of the endorheic lagoons.

Keywords: Doñana, LUC, GIS, intensive agriculture, endorheic lagoons.

1. Estado de la cuestión

Partimos de una hipótesis, la desecación de las lagunas estacionales es consecuencia de la intensificación de la agricultura en el borde del PN de Doñana (Figura 1), donde arenales improductivos se han transformado en áreas forestales y en campos de alta rentabilidad agrícola. Sin embargo, ¿se puede evidenciar que se han producido cambios?, ¿qué tipo de transformaciones son las que ha sufrido el territorio? ¿pueden cuantificarse las superficies que han incrementado su extensión y del mismo modo cuantificar las pérdidas? La respuesta a estas cuestiones fortalecerá la base de la investigación y permitirá avanzar en el estudio y correlacionar, si fuese el caso, el incremento de superficie agrícola con la desaparición lagunar.

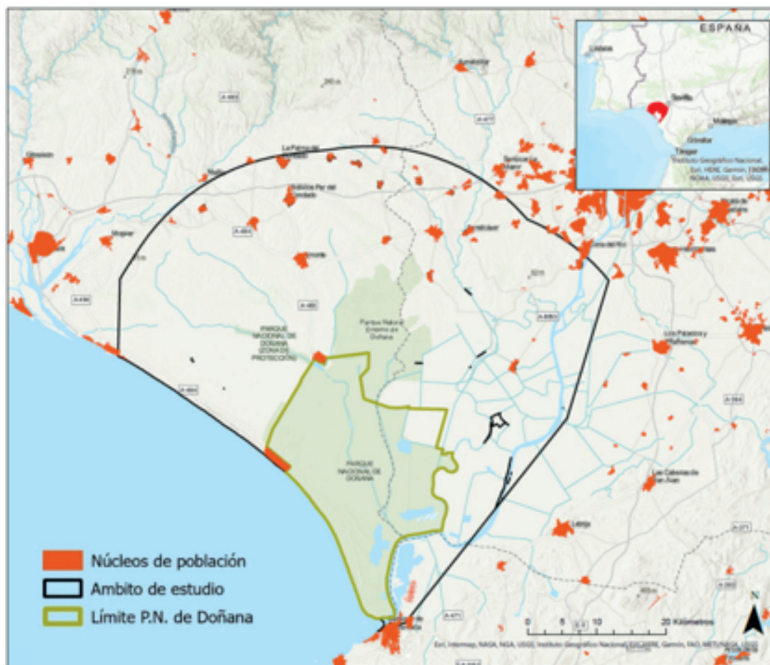


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

2. Metodología

Los datos empleados para este trabajo proceden de las fuentes CORINE LANDCOVER (CLC) y del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía (MUCVA). La preparación de los datos requiere normalizar las clases de ambas fuentes de información y generar una nueva agregación de las categorías. Metodológicamente este análisis parte de los geoprocursos realizados dentro de un Sistema de Información Geográfica, comparando en proceso estocástico las series temporales entre 1957 y 2018, y señalando los comportamientos de los usos del suelo: ganancias, pérdidas, fluctuaciones y permanencias respecto a su uso inicial (Tabla 1), mediante la utilización de una matriz de tabulación cruzada o de transición y el consecuente cálculo de tasas (Pontius, 2004).

	Ganancias					Perdidas					Permanencia				
	10	20	30	40	Global	10	20	30	40	Global	10	20	30	40	Global
1957-1977	1,07	8,83	3,22	0,22	13,34	0,02	3,95	3,57	5,8	13,34	0,86	36,96	34,51	14,28	86,61
1977-1984	0,53	0,91	0,53	0,04	2,01	0,03	0,84	1,08	0,06	2,01	1,91	44,95	36,63	14,44	97,93
1984-1999	1,01	2,86	1,55	0,18	5,60	0,03	1,89	2,85	0,83	5,60	2,43	44,01	34,25	13,66	94,35
1999-2003	0,40	1,21	0,29	0,08	1,98	0,03	0,58	1,34	0,03	1,98	3,42	46,27	33,75	13,81	97,25
2003-2007	0,80	0,79	0,44	0,13	2,16	0,06	1,09	1	0,02	2,17	3,78	46,40	33,75	13,90	97,83
2006-2012	1,47	6,52	1,72	0,45	10,16	0,22	3	4,36	2,58	10,16	3,26	47,85	28,73	9,99	89,83
2012-2018	0,18	0,50	0,78	0,79	2,25	0,35	1,55	0,22	0,13	2,25	4,38	52,81	30,24	10,31	97,74
	5,5	21,6	8,5	1,9	37,5	0,7	12,9	14,4	9,5	37,5					

	Ganancia neta				Fluctuaciones					Tasa de Ganancia Anual		
	10	20	30	40	10	20	30	40	Global	%	años	Tasa anual
1957-1977	1,05	4,88	-0,35	-5,58	1,09	12,78	6,79	6,02	26,68	13,34	21	0,64
1977-1984	0,51	0,07	-0,55	-0,02	0,56	1,75	1,61	0,11	4,03	2,01	7	0,29
1984-1999	0,98	0,97	-1,30	-0,65	1,04	4,75	4,40	1,01	11,20	5,60	15	0,37
1999-2003	0,37	0,63	-1,05	0,05	0,43	1,79	1,63	0,11	3,96	1,98	4	0,50
2003-2007	0,74	-0,30	-0,56	0,11	0,86	1,88	1,44	0,15	4,33	2,16	4	0,54
2006-2012	1,25	3,52	-2,64	-2,13	1,69	9,52	6,08	3,03	20,32	10,16	6	1,69
2012-2018	-0,17	-1,05	0,56	0,66	0,53	2,05	1,00	0,92	4,50	2,25	6	0,38
Global	4,7	8,7	-5,9	-7,6					75,0	37,5	63,0	0,6

Tabla 1. Permanencia de usos; Tasa de Ganancia Neta (Ganancias-Perdidas); Tasa de Fluctuación de usos (Ganancias+Perdidas) y Tasa de Ganancia anual.

3. Resultados y discusión

El análisis de ganancias netas sintetiza el comportamiento de los cambios observados en el ámbito de estudio. Era de esperar que las superficies urbanas fuesen ganando extensión y dependía del estudio comprobar, si la agricultura incrementaba su extensión, como así ha sido. Mientras que los saldos negativos, se enmarcan en la pérdida de superficie sobre lo forestal y las zonas húmedas (Tabla 1).

La tasa de fluctuación recoge todas las transformaciones (ganancias y pérdidas) que se han producido en la zona estudiada a lo largo del tiempo (1957-2018). El resultado arroja que el 75% del territorio se ha visto afectado por algún tipo de modificación, es decir estamos ante un espacio muy cambiante. Así y atendiendo a la Tasa de ganancia media interanual (0,6 puntos), encontramos dos periodos por encima de este valor, 1957-1977 y 2016-2012, siendo fundamentalmente este último, quien acumula el mayor porcentaje de transformaciones.

El periodo 1957-1977 abarca 21 años, momento complicado desde la postguerra hasta el inicio de la democracia, donde las políticas forestales y la desecación de zonas húmedas acompañan el crecimiento de los núcleos urbanos y las transformaciones agrícolas. Los usos y/o coberturas que no sufren cambios supone un 86,6% de la superficie total analizada, la más baja de toda la serie estudiada y por ende el periodo donde se produce la mayor transformación. Dentro de las fluctuaciones entre las clases, es la agricultura quien mayor porcentaje de superficie representa (48%), seguida del forestal (25%), las zonas húmedas (23%) y las infraestructuras/zonas urbanas (4%). Los porcentajes mayores de pérdida neta se centra en las áreas de humedales (-5,58%) coincidentes con la explotación de los arrozales del Guadalquivir (Villa y Andreu, 2018).

El segundo periodo de cambios importantes se centra entre 2006-2012, donde la tasa de ganancia anual, aquella que permite normalizar según años en la serie estudiada, es de un 1,69%, lo que supone 2,7 veces la media de la tendencia. Aquí se ven los resultados de la Reforma del 2003 de la política agraria comunitaria (PAC), incentivando algunos productos agrícolas y favoreciendo el cambio de usos/coberturas (de forestal a agrícola e internamente en la superficie agrícola). Las mayores fluctuaciones se observan en el suelo agrícola y ganadero (47%), seguido del forestal (30%), las áreas húmedas (15%) y las zonas transformadas de infraestructuras y urbano (8%). En el conjunto de estos años, las ganancias netas dejan claro que son las superficies agrícolas y ganaderas las que han encabezado las transformaciones, seguidas de las áreas urbanas, perdiendo superficie los ámbitos forestales y las zonas húmedas.

4. Conclusiones

Efectivamente se han producido cambios a lo largo de los 63 años de estudio, una transformación del 75% de la superficie analizada. Los cambios más frecuentes han estado vinculados con la fluctuación entre las superficies agrícolas y forestales, así como con pérdidas en la superficie de la zona húmeda y con el crecimiento pausado de las zonas urbanas e infraestructuras.

La cuantificación de las pérdidas y ganancias es posible y de hecho se muestra en las tablas resultantes, además el trabajo dentro de un entorno SIG, permite localizar las zonas más vulnerables a los cambios y la cercanía a al Parque Nacional de Doñana.

Queda pendiente estudiar a más detalle la fluctuación dentro de la categoría agrícola y ganadero, de cultivos de secano a cultivos de regadío o intensivos, donde las necesidades de agua son mayores.

Referencias

- Pontius, G; Shusas, E y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 101, Issues 2-3, pages 251-268, ISSN 0167-8809.
- Villa, A. y Andreu, C. (2018). “Los paisajes horizontales de las marismas arroceras del Guadalquivir”, en *Paisajes Patrimoniales de España* (Tomo III). Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid: pp 1166-1181.

Efectos ambientales en playas turísticas de islas oceánicas por tormentas marinas en el actual contexto de aumento del nivel del mar. El caso de Gran Canaria (islas Canarias, España)

Environmental effects on tourist beaches of oceanic islands by marine storms in the current context of rising sea level. The case of Gran Canaria (Canary Islands, Spain)

L. GARCÍA-ROMERO¹, T. CARREIRA-GALBÁN¹, J. A. RODRÍGUEZ-BÁEZ², P. MÁYER¹,
L. HERNÁNDEZ-CALVENTO¹ y A. YÁNES-LUQUE²

1. Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente, IOCG. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

2. Territorial Management and Risks Group (GEORIESGOS). University of La Laguna

Resumen: El ascenso del nivel del mar (ANM), y el incremento de la frecuencia y gravedad de las tormentas marinas tienen importantes impactos socioambientales en las zonas turísticas costeras ubicadas en islas oceánicas, que normalmente dependen del turismo. Este estudio tiene como objetivo mostrar los efectos ambientales presentes y futuros de las tormentas marinas ciclónicas (TMC) sobre playas turísticas insulares ante el previsible ANM. La zona de estudio es el SO de la isla de Gran Canaria (islas Canarias, España), y para ello, se analizan datos de oleaje; se cartografían las cotas de inundación costeras obtenidas mediante modelos bidimensionales en condiciones de eventos de tormentas marinas del SO, proyectándose en un escenario previsto de RCP 8.5. Los resultados muestran un aumento en la frecuencia de episodios de borrascas del SO desde la década de los 90 del siglo XX, detectándose 104 eventos que afectan especialmente a las playas. Se discute la posible pérdida de éstas debido a la erosión marina, y a la imposibilidad de respuesta o recuperación tierra adentro por la ocupación de construcciones.

Palabras clave: temporal marino, cambio climático, erosión de playas, Macaronesia, turismo

Abstract: *The sea level rise (SLR), and the increase of the marine storms frequency and severity have important socio-environmental impacts on coastal tourist areas located in oceanic islands, which normally depend on tourism. This study aims to show the present and future environmental effects of cyclonic marine storms (CMS) on island tourist beaches in the face of the foreseeable ANM. The study area is the SW of the Gran Canaria island (Canary Islands, Spain), and for this, wave data is analyzed; Coastal flood levels obtained by means of two-dimensional models under conditions of SW marine storm events are mapped, projecting them in a predicted*

scenario of RCP 8.5. The results show an increase of SW storm events frequency since the 1990s of the 20th century, detecting 104 events, and that especially affect the beaches. The possible loss of these beaches due to marine erosion is discussed, as well as the impossibility of responding or recovering inland due to the occupation by constructions.

Keywords: storm surge, climate change, beach erosion, Macaronesia, tourism.

1. Introducción

Las tormentas marinas han demostrado la vulnerabilidad de muchas poblaciones costeras, especialmente las de uso turístico. La necesidad de proteger los recursos costeros ante el ANM es fundamental para la economía de muchos países, cuya principal fuente de ingresos es el turismo. Al mismo tiempo, estas regiones, especialmente las insulares, suelen especializarse en las actividades asociadas a este subsector, debido a la disponibilidad de recursos naturales accesibles como las playas, los paisajes o el clima (Becken, 2005). En este sentido, el litoral canario es de gran interés, tanto desde el punto de vista natural, como por sus potenciales implicaciones socioeconómicas (Ferrer-Valero *et al.*, 2017). Por esta razón, los objetivos de este trabajo se centran en (i) analizar las condiciones climáticas actuales y futuras asociadas a los eventos de perturbaciones oceánicas que afectan al área de estudio seleccionada y (ii) determinar los efectos ambientales que estos eventos están teniendo –y tendrán en el futuro–, especialmente sobre las playas turísticas.

2. Área de estudio

El área de estudio se sitúa en el municipio de Mogán, al SO de Gran Canaria (figura 1). Más del 6% de los turistas que llegan a Canarias tienen como destino esta localidad; un 23% en el contexto de la isla. La zona analizada se encuentra protegida a sotavento de los vientos alisios (flechas negras al NE de Gran Canaria, Figura 1A),

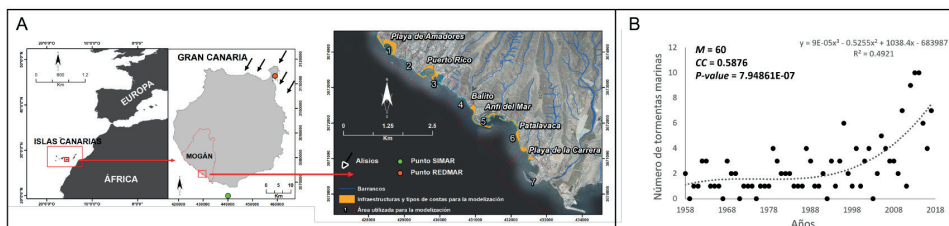


Figura 1. Área de estudio, puntos SIMAR y REDMAR, zonas para la modelización. B. Número de tormentas del SW desde 1958 hasta 2018.

que llegan a las islas a través del anticiclón de las Azores con una dirección N-NE. Sin embargo, está expuesta a los efectos de las tormentas marinas del SO (Yanes-Luque et al., 2021), muy común en la Macaronesia.

3. Metodología

Para el análisis del clima marítimo (tormentas), se utilizaron los datos de viento y oleaje de modelos matemáticos de generación y propagación del oleaje SIMAR-44 (punto 4035005, figura 1) obtenido de la Base de Datos Oceanográfica de Puertos del Estado Español, utilizando el percentil 99 de la altura media diaria de Hs para determinar tormentas marinas (1,7 m para Mogán). También, se trabajaron los datos de condiciones atmosféricas procedentes de los informes meteorológicos de Wetterzentrale (Alemania) y de la Agencia Estatal de Meteorología (España) para determinar la situación sinóptica en el origen y la evolución de las tormentas (Yanes-Luque *et al.*, 2021). El segundo objetivo se abordó con la simulación del oleaje de aguas profundas con la ayuda de modelos numéricos bidimensionales. El nivel del mar de crecida es la suma del nivel de la marea meteorológica y astronómica y el *runup*, cuyo valor, en el caso de proyección para playas, depende de la altura significativa de ola en la línea de costa, el período pico de la ola incidente y la pendiente de esta (Nielsen y Hanslow, 1991), obtenida a través de un modelo digital topobatimétrico de 2,5 m de resolución espacial. También se utilizó el sistema de modelado costero con la herramienta MOPLA (modelo de evolución morfodinámica, corriente y propagación de olas de playa), y la propagación de ondas espectrales con el módulo OLUCA-SP. Finalmente, para cartografiar las cotas de inundación, se realizaron reclasificaciones ráster sobre un modelo digital del terreno con una resolución de 2 m, utilizando el programa ArcGIS.

4. Resultados y discusión

Los resultados muestran que las playas podrían desaparecer (figura 2, rojo), por la combinación del aumento del número de tormentas desde los años 90, junto al ANM (figura 1, B). De hecho, ya están mostrando signos de vulnerabilidad a los procesos erosivos (tabla 1 y figura 2, verde). Hay que señalar que estas playas tienen una deriva litoral prácticamente nula y se comportan como cápsulas situadas en desembocaduras de barrancos, normalmente entre diques, cuyo aporte de sedimentos/arenas por procesos erosivos es terrígeno, a través de una cuenca hidrográfica no fluvial a la que están asociadas. Así, el aporte de sedimentos de

estas playas es limitado, y sólo se asocia a episodios ocasionales de escorrentía de barrancos, que no se producen durante todo el año, como es el caso de la deriva litoral asociada a los ríos.

Finalmente, la combinación de la pérdida de sedimentos de las playas, el ANM y la urbanización que tiene lugar alrededor de estos sistemas (ver figura 2) dificulta el retroceso de las playas hacia el interior, favoreciendo la desaparición de éstas y rompiendo el modelo/regla propuesta por Bruun (1962).

CLIMA ACTUAL (CA) y ESCENARIO RCP 8.5 (RCP8.5)

Caso de estudio en las playas Media marea: mm Marea alta: ma	¹ Hs (CA)	¹ Hs (RCP8.5)	² Pendiente CA/RCP8.5)	¹ Runup Significante (CA)	¹ Runup Significante (RCP8.5)	¹ Medi a marea (CA/ RCP8. 5)	¹ Mar ea alta (CA)	¹ Marea alta (RCP8. 5)	¹ Cota de inundación nivel del mar (CA)	¹ Cota de inundación nivel del mar (RCP8.5)
Zone 1. Amadores mm	1.96	2.03	0.0575	0.87	0.89	0	0	0.74	0.87	1.63
Zone 1. Amadores ma	2.16	2.24	0.0575	0.91	0.93	0	1.53	2.27	2.44	3.2
Zone 3. Puerto Rico mm	2.05	2.76	0.036	0.89	1.03	0	0	0.74	0.89	1.77
Zone 3. Puerto Rico ma	2.84	2.95	0.036	1.05	1.07	0	1.53	2.27	2.58	3.34
Zone 5. Balito mm	2.32	2.87	0.174	1.94	2.16	0	0	0.74	1.94	2.9
Zone 5. Balito ma	3.01	2.93	0.174	2.21	2.18	0	1.53	2.27	3.74	4.45
Zone 5. Anfi del Mar mm	0.98	0.91	0.062	0.62	0.59	0	0	0.74	0.62	1.33
Zone 5. Anfi del Mar ma	1.03	0.92	0.062	0.86	0.6	0	1.53	2.27	2.39	2.87
Zone 6. Patalavaca mm	3.07	3.13	0.034	1.09	1.1	0	0	0.74	1.09	1.84
Zone 6. Patalavaca ma	3.16	3.17	0.034	1.11	1.11	0	1.53	2.27	2.64	3.38
Zone 7. La Carrera mm	2.33	2.36	0.104	1.16	1.17	0	0	0.74	1.16	1.91
Zone 7. La Carrera ma	2.5	2.7	0.104	1.2	1.25	0	1.53	2.27	2.73	3.52

1metros; 2grados

Tabla 1. Variables para el cálculo de la cota de inundación y cotas de inundación en condiciones de tormentas del SW.

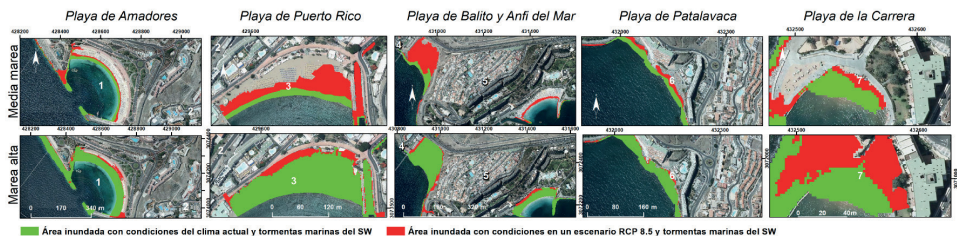


Figura 2. Cartografía de las cotas de inundación obtenidas para las playas analizadas.

5. Conclusiones

El trabajo muestra por primera vez que la combinación entre el ANM y el aumento del número de TMC desde los años 90, podrían afectar a las playas turísticas del SO de Gran Canaria, sin poder emigrar tierra adentro por las construcciones que las bordean.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución del proyecto PLANCLIMAC (MAC/3.5b/244) del programa de cooperación INTERREG-MAC 2014-2020 (Fondos FEDER).

Referencias

- Becken, S. (2005). Harmonising climate change adaptation and mitigation: The case of tourist resorts in Fiji. *Global environmental change*, 15(4): 381-393.
- Bruun, P. (1962). Sea-level rise as a cause of shore erosion. *J. Waterways Harbors Div.* 88 (1): 117-132.
- Ferrer-Valero, N., Hernández-Calvento, L., Hernández-Cordero, A. (2017). Human impacts quantification on the coastal landforms of Gran Canaria Island (Canary Islands). *Geomorphology*, 286:5-67.
- Nielsen, P., & Hanslow, D. J. (1991). Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research*, 1139-1152.
- Yánes-Luque, A., Rodríguez-Báez, J. A., Máyer Suárez, P. *et al.* (2021) Marine storms in coastal tourist areas of the Canary Islands. *Natural Hazards* 109: 1297-1325.

Integrated geomorphological, socioeconomic, and ecological vulnerability to sea level rise of the Mediterranean (Calpe) and North Atlantic (Carreira) coasts of the Iberian Peninsula

Vulnerabilidad geomorfológica, socioeconómica y ecológica integradas ante la subida del nivel del mar de las costas mediterránea (Calpe) y noratlántica (Carreira) de la Península Ibérica

M. DEL AMO¹, N. DIMITROVA¹, J. ALCÁNTARA-CARRIÓ¹, A. FONTÁN-BOUZAS², A. JARAMILLO³,
L. PORTZ¹ & R. P. MANZOLLI¹

*1. Dept. Geology and Geochemistry. Universidad Autónoma de Madrid
miriam.delamo@estudiante.uam.es; neli.dimitrova@estudiante.uam.es;
javier.alcantara@uam.es; luanaportz@uam.es; rogerio.manzolli@uam.es*

2. Centro de Investigación Mariña, Universidad de Vigo. afontan@uvigo.es

*3. Grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros (GISMAC), Universidad de Antioquia, Colombia
alfredo.jaramillov@udea.edu.co*

Abstract: This study analyses the coastal vulnerability to sea level rise by the integration of the geomorphological, socioeconomic, and ecological aspects of vulnerability. The analysis has been carried out in the littoral of Calpe and Carreira Bay, located in the southeast and northwest of the Iberian Peninsula, respectively. The methodology include fieldwork, data base analysis and SIG tools. The Integrated Coastal Vulnerability Index is determined considering 6 geomorphological variables, 6 socioeconomic and 6 ecological ones. The littoral of Calpe, despite it shows a lower trend of sea level rise, presents some sector with higher socioeconomic vulnerability, but the ecological vulnerability is lower. The geomorphological vulnerability is similar for the cliffs in both study areas, and higher for the beaches of Calpe. The integrated coastal vulnerability of Calpe and Carreira is low for the cliffs and medium for the beaches.

Keywords: geological risks, climate change, ecosystem, beach, cliff.

Resumen: Este trabajo analiza la vulnerabilidad costera a la subida del nivel del mar, integrando aspectos geomorfológicos, socioeconómicos y ecológicos de la vulnerabilidad. El análisis ha sido realizado en Calpe y la Bahía de Carreira, en el sureste y noroeste de la Península Ibérica, respectivamente. La metodología incluye trabajo de campo, análisis de bases de datos

y herramientas SIG. El Índice de Vulnerabilidad Costera Integrada es calculado considerando 6 variables geomorfológicas, 6 socioeconómicas y 6 ecológicas. El litoral de Calpe, a pesar de tener menor tendencia de ascenso del nivel del mar, presenta zonas con mayor vulnerabilidad socioeconómica, mientras su vulnerabilidad ecológica es menor. La vulnerabilidad geomorfológica de los acantilados es similar en ambas zonas y para las playas es mayor en Calpe. La vulnerabilidad costera integrada en Calpe y Carreira es baja en las zonas de acantilados y media para las playas.

Palabras clave: riesgos geológicos, cambio climático, ecosistema, playa, acantilado.

1. Introduction

Natural risks analysis is based in the combination of hazards and vulnerability assessments. Initially, vulnerability analysis focused on fragility of human life, infrastructures, and other socioeconomic aspects. Later, value of ecosystems as natural resources allows considering also their vulnerability. Similarly, geological relevance of natural resources allows analysing the geomorphological vulnerability. These three aspects of vulnerability are relevant and therefore, its integrated analysis is necessary. The main goal of this study is the assessment of coastal vulnerability to sea level rise in two sectors of the Iberian Peninsula with different sea level trends, by an integrated analysis of geomorphological, socioeconomic, and ecological aspects of vulnerability.

2. Methodology

Calpe is located in a tectonically active region of the Western Mediterranean. The Ifach headland divides the littoral in two sectors of different shoreline orientation, with pocket beaches, some minor cliffs, and submerged rocky outcrops. It presents high occupation for tourism urbanization; it also contains geoarchaeological rests. In the submerged area is remarkable the presence of *Posidonia oceanica* meadows.

Carreira Bay is placed in the southern limit of the ria of Vigo (northwest of the Iberian Peninsula). The Monteferro headland and some other coastal rocky outcrops determine the presence of two pocket beaches (Patos and Muiños), Human occupation is lower than in Calpe, with some residential areas, tourism and surfing activities.

Both study areas have been divided alongshore into 100-m cells. A set of 18 variables have been valued for each cell from very low (1) to very high (5) vulnerability. The assessment has been carried out for each variable and cell by fieldwork, data base analysis, and SIG tools.

The geomorphological vulnerability has been determined after Ojeda et al. (2009), i.e. considering geomorphology, slope, shoreline migration rate, significant high of waves, rate of sea level rise, and tidal range. The ecological vulnerability considers kind of ecosystem, level of conservation, presence of protected species, biodiversity of the region, anthropic pressure on the ecosystem's environment, and resilience. The socioeconomic vulnerability is obtained from land use, length ratio between built and natural coastline, population density, economic activity, monetary value, and cultural heritage. Finally, the Integrated Coastal Vulnerability Index (ICVI) has been determined based on García Echavarría (2021), but including the eighteen variables cited above.

3. Results and Discussion

The ICVI has been recently defined for the assessment of coastal vulnerability of four coastal sectors of the Colombian Caribbean Sea (García Echavarría, 2021). The index is based in the combination of six, five and three variables related to geomorphological, socioeconomic and ecological aspects, respectively. Therefore, this index ascribes a higher relevance to geomorphological variables, in detriment of socioeconomic and ecological ones. In this study, an equal number of variables for the three aspects of vulnerability is considered, in order to solve this problem.

The littoral of Calpe, despite it shows a lower trend of sea level rise than Carreira Bay (Gomis and Álvarez-Fanjul, 2016), presents higher socioeconomic vulnerability in some sectors of the beaches and cliffs. The ecological vulnerability is lower in Calpe than in Carreira. The geomorphological vulnerability is similar in both study areas for the rocky cliffs, but the beaches it shows, in general, higher geomorphological vulnerability in Calpe than in Carreira Bay. Finally, the integrated coastal vulnerability of both, Calpe and Carreira, is low for the cliffs and medium for the beaches (Fig. 1).

In summary, this study confirms that coastal vulnerability of each study area, and even each sector of a study area, can be more important after socioeconomic, ecological or geomorphological aspects. It also shows that vulnerability to sea level rise is higher for the beaches than for the cliffs, but not only due to socioeconomic criteria.

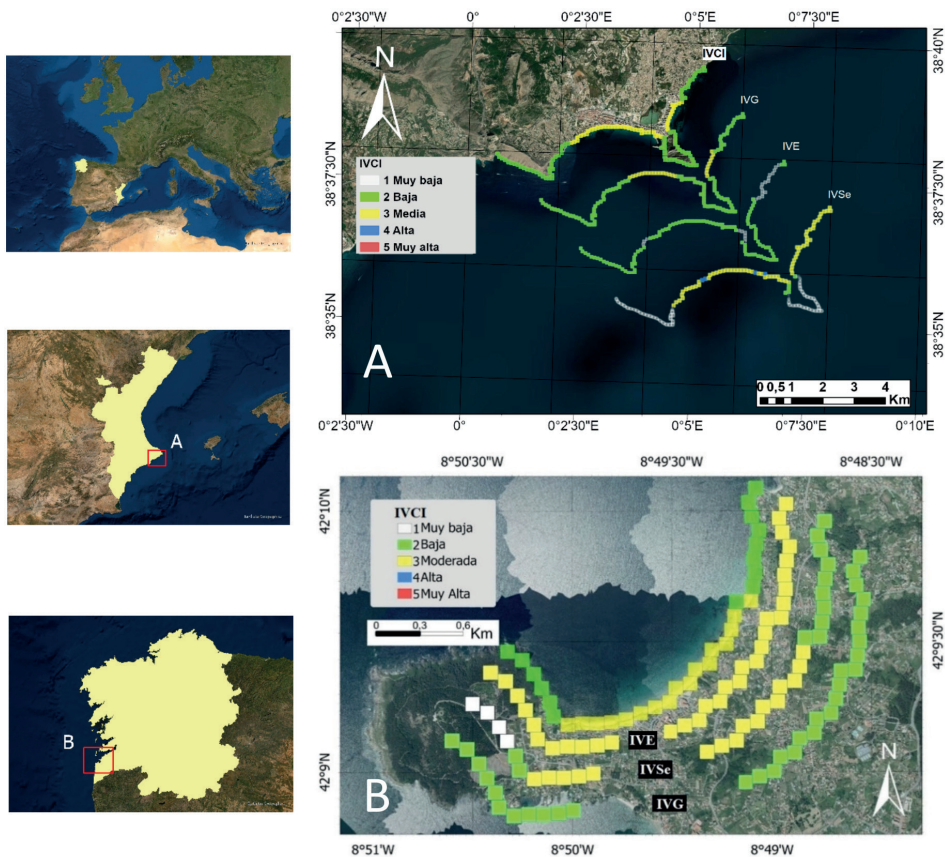


Figure 1. Coastal vulnerability to sea level rise of Calpe (A) and Carreira (B): geomorphological (IVG), socioeconomic (IVSe), ecological (IVE) and integrated (IVCI) vulnerability.

Acknowledgements

This study is a contribution to the research project “Shoreline Monitoring of the Valencian Community” (Ref. NextGenerationEU PRTR-17.II THINKINAZUL 2021/039) funded by the EU.

References

García Echavarría, L. M. (2021). Vulnerabilidad costera en cuatro sitios del suroeste del Caribe colombiano ante el ascenso del nivel del mar. Unpublished M.Sc. Thesis. University of Antioquia. Turbo, Colombia. 143 pp.

- Gomis, D., Álvarez-Fanjul, E. (coord.) (2016). Vulnerabilidad de los puertos españoles ante el cambio climático. Vol 1. Tendencias de variables físicas oceánicas y atmosféricas durante las últimas décadas y proyecciones para el siglo XXI. 281 p.
- Ojeda, J., Álvarez, J. I., Martín, D y Fraile, P. (2009). El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus* 9, 83-100.

Cambios en la línea de costa a corto y medio plazo en la Bahía de Santa Marta (Caribe Colombiano): impactos de las estructuras antropogénicas

*Short- and medium-term Shoreline Changes in Santa Marta Bay (Colombian Caribbean):
Impacts from Anthropogenic Structures*

L. PORTZ^{1,2}, R. P. MANZOLLI^{1,2}, D. VILLATE-DAZA³, H. J. BOLÍVAR-ANILLO⁴,
A. FONTÁN-BOUZAS⁵ y J. ALCÁNTARA-CARRIÓ²

1. *Universidad de la Costa, Civil and Environmental Department. Barranquilla, Colombia*
2. *Dept. Geology and Geochemistry. Universidad Autónoma de Madrid. javier.alcantara@uam.es;
rogerio.manzolli@uam.es; luana.portz@uam.es*
3. *Dirección General Marítima. Colombia. godievi@gmail.com*
4. *The Microbiology Research Laboratory, Universidad Simón Bolívar. Colombia*
5. *Centro de Investigación Mariña, Universidad de Vigo. afontan@uvigo.es*

Resumen: Este estudio analiza el comportamiento a corto y medio plazo del litoral de la Bahía de Santa Marta (Caribe colombiano) y su relación con las estructuras de protección costera (1985-2019). Las variaciones de la línea de costa se analizaron mediante el uso de imágenes satelitales con la herramienta DSAS. La evaluación a corto plazo reveló una intensa erosión entre 1985 y 1991, con un retroceso de $-1,6 \text{ m.a}^{-1}$, que cambió gradualmente desde 2003 con la construcción de estructuras rígidas y alimentación artificial. En consecuencia, se observó una progradación de $0,2 \text{ m.a}^{-1}$. El período 2009-2019, exhibió alto porcentaje de erosión, indicando que las obras de ingeniería, a pesar de presentar resultados positivos (corto plazo), requieren nuevas intervenciones (medio a largo plazo). Finalmente, el estudio concluye que los cambios en la costa están influenciados por las intervenciones antrópicas, que juegan un papel importante en la configuración del paisaje y el mantenimiento de la línea de costa.

Palabras clave: infraestructura Costera; Turismo Náutico; Gestión Costera; Erosión, acreción.

Abstract: *This study analyses the short and medium-term behavior of coastline at Santa Marta Bay (Caribbean - Colombia) and their relationship with coastal protection structures (1985 to 2019). The shoreline variations were analyzed through satellite images using DSAS tools. The short-term assessment revealed that the intense 1985-1991 erosion, with an average retreat spe-*

ed of -1.6 m.y^{-1} , changed gradually since 2003 with the construction of rigid structures and landfills. Consequently, shoreline retreat decreased and a progradation of 0.2 m.y^{-1} was observed. The 2009-2019 period, despite recording a positive average value, exhibited a high percentage of erosion profiles, thus indicating that engineering works, despite presenting positive results in the short term, require new long-term interventions. Finally, the study concludes that coastline changes are influenced by anthropic interventions, which play an important role in landscape configuration and managing coastal hydrodynamics.

Keywords: Coastal Infrastructure; Tourism; Coastal Management; Erosion, Accretion.

1. Introducción y metodología

En la mayoría de las zonas costeras de todo el mundo se implementan estructuras de ingeniería dura (por ejemplo, diques, rompeolas y muelles) para contener la dinámica erosiva que afecta a las playas por el riesgo creciente debido al aumento del nivel del mar (Nordstrom, 2014). En Colombia, la erosión costera en algunas playas es bastante severa y requiere medidas de contención y/o recuperación de emergencia (Rangel-Buitrago *et al.* 2015). La Bahía de Santa Marta (Figura 1a) se caracteriza por importantes actividades turísticas y cuenta con instalaciones portuarias, marinas y otras infraestructuras orientadas a las demandas turísticas. Este estudio evalúa la evolución de la costa y su relación con el desarrollo de infraestructuras costeras y turísticas en la Bahía de Santa Marta, Colombia (Figura 1a).

La evolución costera fue analizada utilizando fotografías aéreas de 1985, 1991 y 2003 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi e imágenes satelitales de Google Earth de 2006, 2009, 2011, 2013, 2015, 2016 y 2019. Para digitalizar las líneas de costas, se consideraron las diferentes coberturas y características de cada imagen. Las tasas de cambio de línea de costa se generaron en ArcMap 10.8.1 utilizando la versión 5.0 del Sistema de Análisis Digital de Costas (DSAS-USGS).

2. Resultados y discusión

Las playas de la Bahía de Santa Marta han sido objeto de una continua intervención antrópica, principalmente orientada a detener procesos erosivos. Las intervenciones realizadas durante este período son (Figura 1b): dragado y relleno de playas (década de 1970); la instalación de geo contenedores/rompeolas textiles (2000); relleno de playas (2000/ 2001); rompeolas rígidos, con relleno de playas adicional (2002); muelle en el sur del río Manzanares; dos espigones y un malecón (2009-

2012) (Figura 1b). Como resultado, la Bahía de Santa Marta evidencia modificaciones irreversibles en la costa, con impactos visuales negativos y la pérdida de acceso público al área de baño, principalmente en el Sector 3 (Figuras 1a y b).

Los resultados de los cambios en la línea de costa de 1985 a 2019 muestran una evolución espacial compleja, donde los períodos de acreción y erosión se intercalan y correlacionan con las diferentes fases de la instalación de estructuras rígidas. En general, la Bahía de Santa Marta experimentó una progradación de la línea de costa de 1985 a 2019 en un rango promedio de 15.1 m de ancho de playa (NSM) y una tasa de progradación promedio de 0.5 m.a^{-1} (Figura 1c).

La evaluación a corto plazo (Figuras 1d y e) indica una intensa erosión de 1985-1991 en el Sector 4 (NSM $-1,6 \text{ m.a}^{-1}$ y EPR medio $-9,8 \text{ m}$). El período 1991-2009 (construcción de estructuras rígidas) muestra una tasa de progradación promedio de $0,3 \text{ m.a}^{-1}$, con variación entre $1,6$ y $-2,6 \text{ m.a}^{-1}$. Estas tasas cambiaron gradualmente tras la finalización de la construcción de estructuras rígidas y rellenos (2003). En consecuencia, el retroceso disminuyó y se observó una progradación de $0,2 \text{ m.a}^{-1}$. En el período 2009-2019 las tasas de progradación aumentaron manteniéndose estables en promedio $0,4 \text{ m.a}^{-1}$, oscilando entre $-5,9$ y $7,8 \text{ m.a}^{-1}$. A pesar del valor promedio ser positivo, un alto porcentaje de perfiles demostraron erosión, lo que indica que las obras de ingeniería presentan resultados positivos en el corto plazo, pero necesitan mantenimiento a medio plazo.

La conclusión de esta investigación reafirma un comportamiento cíclico de erosión y acreción como respuesta a las intervenciones antrópicas. Además, aunque las tasas de progradación más altas son adyacentes a estas estructuras, un porcentaje significativo de transectos reportaron valores negativos durante este período. Teniendo en cuenta las intervenciones realizadas, el estudio determinó un comportamiento costero estable (Sector 1-2) y erosivo (Sector 4) (1985-2019). Además, el estudio proporciona una base sólida que ayudan a aumentar el conocimiento y la comprensión de los problemas de erosión costera observados en toda la Bahía de Santa Marta y su interacción con las estructuras duras.

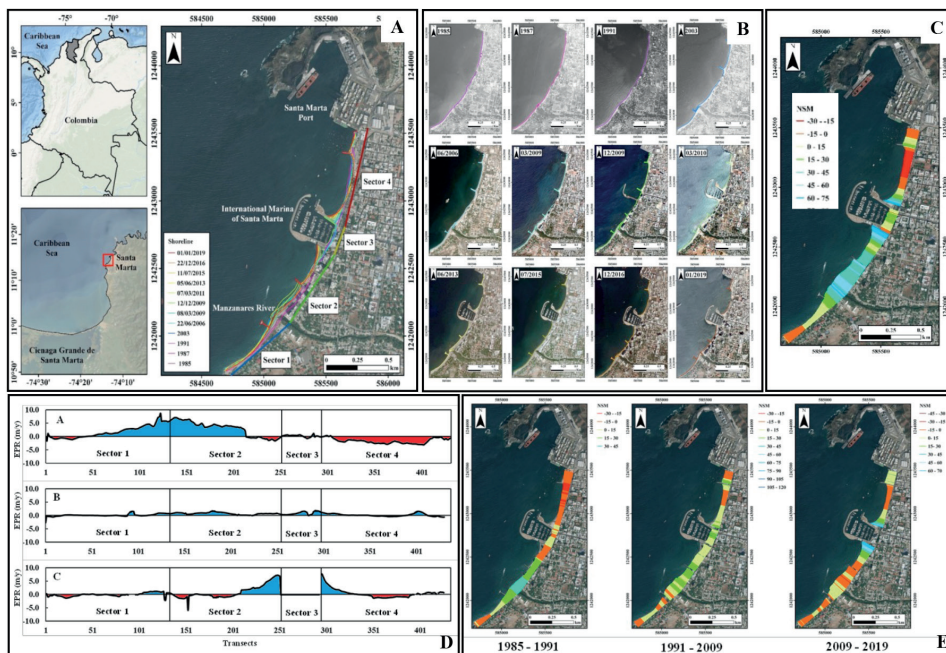


Figura 1. A) Área de estudio - Bahía de Santa Marta, Colombia (imagen® basemap Arcmap). B) Evolución de la rigidización en las playas de la Bahía de Santa Marta desde 1985, cuando era un área desprovista de intervención, hasta 2013, cuando se finalizó la construcción de la Marina Internacional. C) Net Shoreline Movement (NSM) a medio plazo (1985-2019). D) End Point Rate (EPR) a corto plazo (A) 1985–1991, B) 1991–2009, and C) 2009–2019). E) NSM para los períodos de evaluación 1985-1991, 1991-2009 y 2009-2019.

Referencias

- Nordstrom, K. F. (2014). Living with shore protection structures: A review. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 150: 11-23.
- Rangel, N, Giorgio, A, Williams, A. (2015). Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: Magnitudes, causes and management. *Ocean Coast. Manag.*, 144:129-144.

Impact of legal framework and scientific research in reservoir lake sediment management on coastal erosion and shoreline management in Spain's South Mediterranean Basins

Análisis del marco legal y estado de la investigación internacional en materia de gestión de sedimentos terrígenos en las cuencas mediterráneas andaluzas y su impacto en la gestión del retroceso de la línea de costa

J. L. DEL RÍO^{1,2}, G. MALVÁREZ^{1,3} & F. NAVAS¹

1. Coastal Environments Research Group (PAIDI RMN911). jl.delrio@upo.es

2. Ministry of Agriculture, Livestock, Fishery and Sustainable Development. Government of Andalusia

3. Área de Geografía Física, Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

Abstract: Feeding mechanisms for the nearshore, beach and dune systems are significantly linked to fluvial input in the Mediterranean. The erosion of the coast is currently a serious environmental and economic challenge to which the Administration has not only not found an optimal solution beyond costly direct beach fill measures. To investigate what and how management is addressing this issue, the new hydrological planning framework has been analysed. Likewise, an assessment of recent high-impact scientific publications has been modelled. The results obtained reveal that, although a concern is expressed in both Management and Research forums, a marked neglect of implementation measures exist, which suggests that an interesting debate on the viability of this alternative in the medium and long term deserves further attention. After evaluating the level of attention of the Administration and the specialized scientific literature to other alternatives, the reutilization of terrigenous sediments accumulated in the reservoirs are discussed as a sustainable solution for chronic erosion beach systems such as the Ensenada de Marbella, used in this article as a study case of a complex scenario where socio-economic pressures are constantly overloading its natural resilience.

Keywords: coastal erosion, terrigenous sediments, reservoir lakes, Marbella, coastal resilience.

1. Introduction

The Ensenada de Marbella (Figure 1), on the Costa del Sol (Málaga), has traditionally constituted a scenario where politics and economy have been paramount well over concerns for the impact on the physical environment. From the 1969

to the 1988 Coastal Acts, and ancient hydraulic policy (Law of Large Irrigation of 1911), most water management focused on the construction of reservoirs and dams, which marked the second half of the XXth century in Marbella.

In 1971 the La Concepción Reservoir was built and, coincidentally, from the mid-1970s breakwaters and jetties were constructed along the coastline followed by extensive beach fill in the 1990s, both initiatives without long-term success. Currently, shoreline stabilization projects mostly consist of beach fill, with sediment coming from adjoining beaches, river mouths and quarries. The use of sediments retained in reservoirs has never been considered in Spain. The management of terrigenous sediments accumulated in reservoirs has also been neglected in the hydrological planning 2016-2021 of the Hydrographic Demarcation (HD) of the Andalusian Mediterranean Basins (HDAMB; del Río *et al.*, 2020).

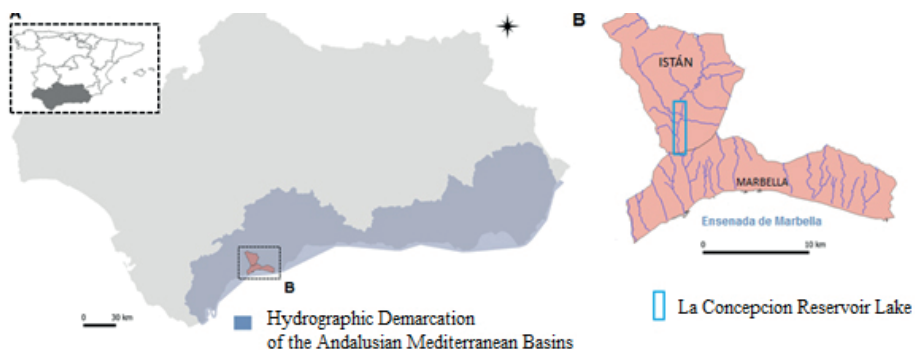


Figure 1. Study area.

This paper presents an analysis of the next hydrological planning framework 2022-2027 to identify if the management of terrigenous sediments at the reservoir scale is addressed. And, given the relevant managerial and scientific interest of the issue, if the scientific community has contributed to the complex debate.

2. Method

In this study, the Scheme of Important Issues (SII) for the new Hydrological Plan 2022-2027 of the HDAMB (available at the Google link: t.ly/hrn) is examined in depth. The SII are *a priori* main environmental and operational problems affecting HD that are identified by the responsible management institution and are subsequently submitted for consultation. The focus is placed on terrigenous sediment

management initiatives at the reservoir scale and findings are then compared with the SII of other relevant water management region such as the Ebro HD, given its extensive experience in the management of sedimentary dynamics in the Ebro Delta. Additionally, Keywords Modelling is implemented to identify specific terms within the body of a text or a title based on the number of times it appears in front of the rest of the terms. The first step is to select a robust database and define the filter criteria. The Scopus database, updated as of October 2021, has been used and the journals have been filtered using two criteria: (i) keywords in the title and (ii) its CiteScore Scopus (CSS) 2020 index, resulting in 8 specialized journals (Table 1).

Journal of Soils Sediments (CSS 5.2)	Hydrology Earth Systems Science (CSS9.3)
Sedimentology (CSS 6.2)	Journal of Hydrology (CSS 7.8)
Lake Reservoir Management (CSS 2.8)	Coastal Engineering (CSS 8.3)
Lakes Reservoir Management (CSS 1.2)	Ocean and Coast Management (CSS 5.2).

Table 1. Journals used in Keyword Modelling.

3. Results

3.1. Review of the 2022-2027 Hydrological Plan project proposal

The proposal for the Hydrological Plan 2022-2027 of the HDAMB reveals 12 Important Issues (IS), of which none addresses the sedimentary issue at the basin or reservoir scale, nor the resilience of the natural system. The water resource clearly concentrates the attention of the Administration for a community made up mainly of local and regional Administrations, irrigation communities and water supply companies, concerned with the lack of availability of water resources and the restrictions on the extraction of surface and underground water. The impact of Climate Change or governance in the management of water resources made SI less relevant to the audience.

3.2. Keywords modeling results

Keyword Modelling yielded the works published between January and April 2022. The title of 652 articles were analysed together and the most frequently addressed terms were highlighted. Outcomes suggest that the issue of reservoir clogging, and terrigenous sediment management is sparsely tackled in the recent literature. Studies conducted at reservoir scale mainly focuses on biological/hydrological processes that occur in water body, but not in terms of quantifying

the sediments impounded in the reservoir bed. Same pattern is observed in those journals specialized in coastal investigations, where the linkage between terrigenous sediment management and coastal erosion and shoreline management is not approached.

4. Discussion and conclusions

Despite the sensitivity and dependence of Mediterranean beach systems to fluvial input given that the natural circulation model connects terrigenous and marine sedimentary systems (Malvárez *et al.*, 2021), few managerial and scientific efforts seem to address the role of sediment flow interruption caused by dams. Coastal dunes are fronted by steep continental shelves and their feeding is not associated with glacial deposits but rather with those of river mouths and/or coastal lagoons (Pye, 1983). Our study's result suggest that the issue is recognised clearly in high level documents of the Water Management Administration, and, in some basins, the connection is established to move into action to reduce coastal erosion and reduced resilience.

The scenario in the HD of the Ebro is completely different. The improvement of the resilience of the Ebro delta and its coast stands out and reservoirs are identified as responsible for the delta's sedimentary imbalance. Investment in R+D+i to identify the influence of the sediments accumulated in the reservoirs on the fluvial sedimentary dynamics, the maintenance of the bottom drains of the dams as a way for the evacuation of sediments or the analysis of the feasibility and complexity of the mobilization of sediments from the reservoirs will feed the protocol for the management of terrigenous sediments in the HD, a roadmap very different from the one proposed in the HDAMB.

The analysis of the contributions from scientific research production is also disappointing although encouraging, as obvious gap in the literature could offer research teams the opportunity to work in an area of great interest and less topical overload that is experienced, for instance, in the experimentation and modelling of coastal erosion on beaches. The lack of profuse results also reflects an opportunity for experimental research, that can focus on technology to measure reservoir lake deposits. Both the administration and researchers struggle to cope with the multiple dimensions of topographic/bathymetric characterisation of sediment bodies in existing lakes as water levels oscillate greatly overtime and so do their reference datums.

References

- Del Río, J. L., Malvárez, G., Navas, F. (2020). Reservoir Lake Effects on Eroded Littoral Systems: The Case of the Bay of Marbella, Southern Spain. *Journal of Coastal Research*, SI 95: 443-447.
- Malvárez, G., Ferreira, O., Navas, F., Cooper, J. A. G.; Gracia-Prieto, F. J., Talavera, L. (2021). Storm impacts on a coupled human-natural coastal system: Resilience of developed coasts. *Science of The Total Environment*, 768: 144987.
- Pye K. (1983). Coastal dunes. *Progress in Physical Geography*, 7(4): 531-557.

Resultados de la aplicación de un programa de monitorización morfosedimentaria para la gestión del banco marisqueero de la playa de Vilarrube entre 2016 y 2020 (Ría de Cedeira, costa norte de Galicia)

Results of the implementation of a morphosedimentary monitoring program for the management of the shellfish bank on Vilarrube beach between 2016 and 2020 (Ría de Cedeira, North Coast of Galicia)

I. ALEJO, M. A. NOMBELA y R. GONZÁLEZ VILLANUEVA

Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo
ialejo@uvigo.es; mnombel@uvigo.es; ritagonzalez@uvigo.es

Resumen: Este estudio analiza la variabilidad morfodinámica y sedimentaria del banco marisqueero de Vilarrube (Ría de Cedeira) que actualmente es el principal banco de explotación del bivalvo *Donax trunculus* (coquina o cadelucha) en Galicia. Este estudio está integrado en un proyecto de investigación multidisciplinar enfocado a determinar las causas de la casi desaparición de esta especie en Galicia y elaborar medidas de gestión. Se realizaron 16 campañas, con carácter estacional (09/2016-10/2020), con una malla de muestreo fija de 43 estaciones. En cada estación se recogió sedimento y registró la altura topográfica. Simultáneamente se realizaron levantamientos topográficos, lo que permitió obtener un MDT de detalle para cada campaña. Los resultados topográficos resaltan el alto grado de dinamismo que caracteriza esta zona, con el desarrollo de un sistema múltiple de barras, canales y formas de fondo menores cuya envergadura y distribución es dependiente de la energía del oleaje incidente, lo que condiciona el grado de compactación, movilidad y encharcamiento del sedimento. El volumen de sedimentos presenta una marcada variabilidad estacional, con una tendencia neta de acumulación y fuerte retroceso del frente dunar. En contraste, los resultados sedimentológicos muestran un patrón espacial y temporal de mínima variabilidad del sedimento: arena fina bien seleccionada (Media, 188-223 μm).

Palabras clave: morfodinámica de playas, sedimentos, banco marisqueero, gestión, Costa gallega.

Abstract: This study analyses the morphodynamic and sedimentary variability of the Vilarrube shellfish bank (Ría de Cedeira) which in Galicia is currently the main exploitation bank of the

Bivalve Donax trunculus (coquina or cadelucha). These works are integrated into a multidisciplinary research project focused on determining the causes of the almost disappearance of this species in Galicia and develop management plans. Sixteen seasonal surveys were carried out (09/2016-10/2020) with a fixed sampling mesh of 43 stations. At each station sediment was collected and the topographic height recorded. Simultaneously, continuous topographic data were achieved, which allowed to obtain a detailed MDT for each survey. The topographic results highlight the high degree of dynamism that characterizes this area, with the development of a multiple system of swash bars, channels and minor bedforms, whose size and distribution is dependent on the energy and pattern of the incident waves. This fact conditions the degree of compaction, mobility and waterlogging of the sediment. Sediment volume shows marked seasonal variability, with a net trend of accumulation and strong dune retreat. In contrast, sedimentological results show a spatial and temporal pattern of minimal sediment variability: well sorted fine sand (mean grain size, 188-223 μm).

Keywords: beach morphodynamic, sediments, shellfish bank, management, Galician Coast.

1. Introducción

Este trabajo está integrado en un proyecto mucho más amplio de carácter interdisciplinar subvencionado por la Consellería do Mar de la Xunta de Galicia, titulado *Estudo dos bancos naturais de coquina: problemática da súa desaparición en Galicia*, en el que se trata de buscar las causas que han producido, desde el año 2000, la práctica desaparición de esta especie en los bancos arenosos intermareales en los que se explotaba. El único banco marisquero que actualmente está en explotación es el de Vilarrube, de ahí que este proyecto se centrara en analizar en detalle las características de este sistema. El conjunto de acciones realizadas incluyó muestreo de poblaciones, estudios genéticos, patología y microbiología de la especie, experimentos en cultivo, influencia de las condiciones hidrológicas y meteorológicas, datos topográficos y análisis del sedimento. Esta contribución sólo contempla estos dos últimos aspectos.

Entre septiembre de 2016 y octubre de 2020 se realizaron, trimestralmente, un total de 16 campañas siguiendo una malla de muestreo predefinida de 43 puntos distribuidos en la zona intermareal (Figura 1), en los que se tomó muestra de sedimento y altura topográfica, lo que supone un total de 960 muestras. Simultáneamente se realizaron levantamientos continuos topográficos, desde el intermareal bajo hasta el frente dunar, mediante DGPS Trimble, R10 (1.400.000 puntos registrados) para obtener el Modelo Digital del Terreno (MDT) de cada campaña.

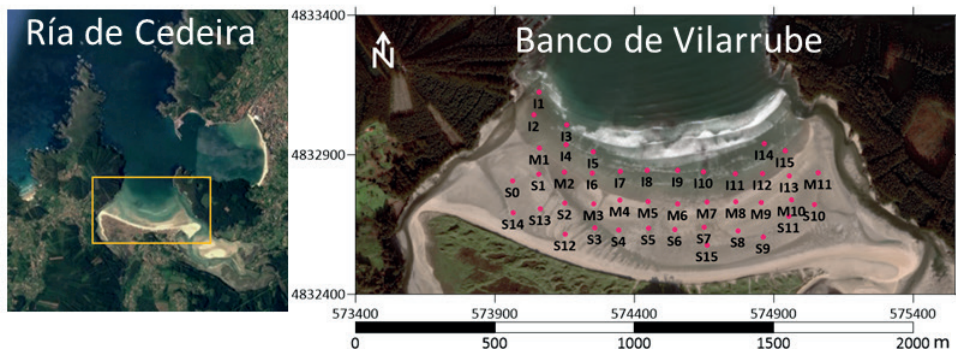


Figura 1. Localización y malla intermareal de muestreo.

2. Resultados del análisis topográfico y morfodinámico

El banco está constituido por un conjunto de barras de *swash* y canales que muestran un gran dinamismo de unas campañas a otras. Su envergadura, disposición y migración tierra/mar depende del grado de exposición al patrón y energía del oleaje incidente. La Figura 2 muestra la disposición de estas barras a lo largo de las 16 campañas realizadas, con variaciones topográficas entre 20 y 180 cm para cada punto.

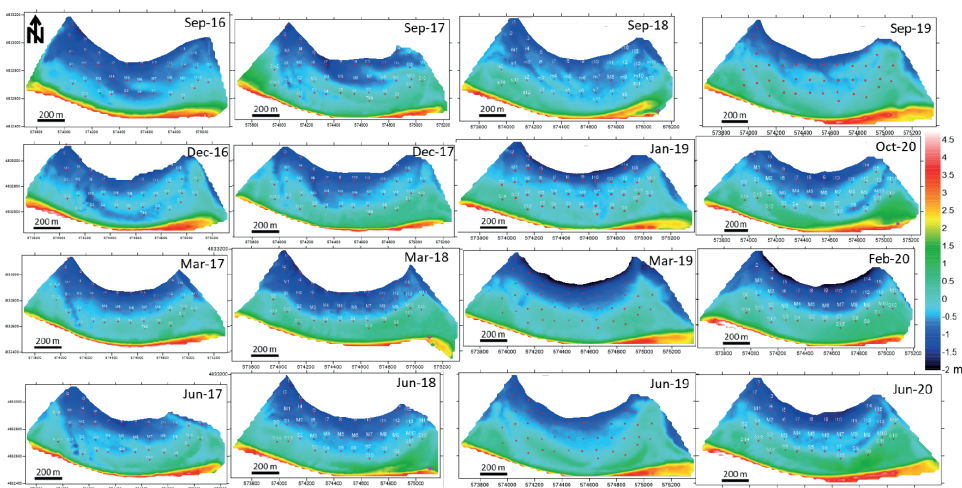


Figura 2. MDT correspondiente a cada campaña de muestreo.

El análisis de la variación de volumen del sedimento muestra un típico comportamiento estacional (Figura 3): aumento de volumen durante bonanza energética y disminución con el incremento de la energía del oleaje.

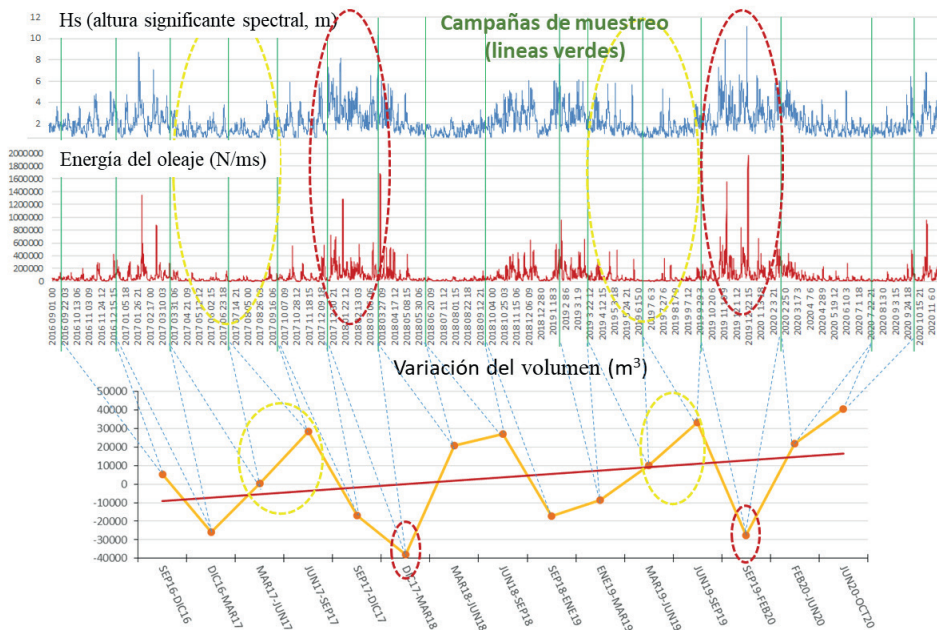


Figura 3. Comparación de la variación del volumen de sedimentos (m^3) con el oleaje incidente: Hs espectral (m) y energía del oleaje (N/ms), punto SIMAR 303304 (www.puertos.es).

La comparación de los distintos MDTs permitió calcular y visualizar espacialmente el balance neto de sedimentos durante el periodo estudiado. Se observa una tendencia neta de acumulación en el intermareal bajo y fuerte erosión en el frente dunar, con un retroceso medio de 27 m.

3. Resultados del análisis granulométrico del sedimento

El tamaño medio del sedimento, a lo largo del periodo de estudio, muestra una ligera variabilidad tanto espacial como temporalmente. En general se trata de arenas medias bien seleccionadas, con una variación de tan sólo $35 \mu m$ ($188-223 \mu m$) en los valores medios para cada una de las campañas. Sin embargo, se observa un

patrón persistente de distribución espacial (Figura 4) a lo largo del tiempo: los tamaños más gruesos hacia el este y los más finos hacia el oeste.

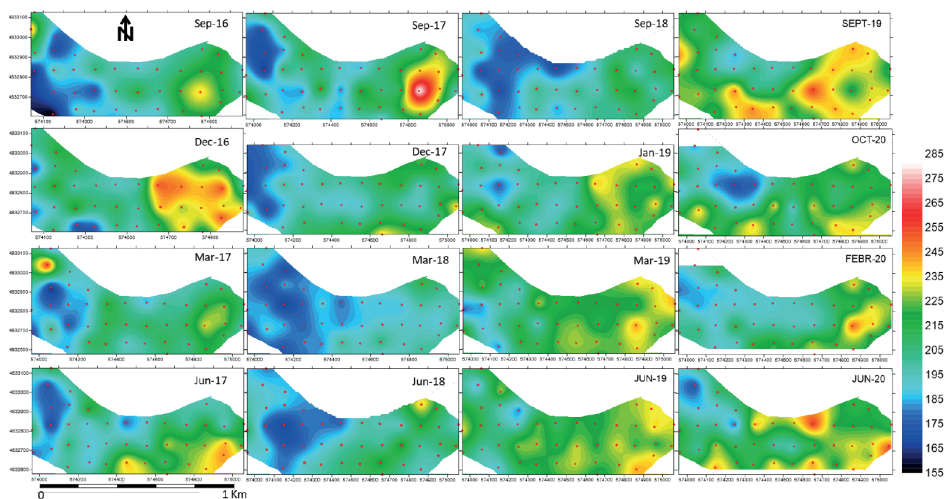


Figura 4. Variación espacial y temporal del tamaño medio del sedimento (μm).

4. Conclusiones

A pesar del alto grado morfodinámico que presenta este banco marisquero, la distribución de sedimentos muestra muy poca variación en su tamaño de grano, tanto a lo largo del tiempo como del espacio. Este hecho nos hace pensar que se trata de material retrabajado de la propia zona, sin entrada ni salida significativa de sedimentos al sistema. Este tipo de sustrato (sedimento y alto dinamismo de las formas de fondo) parece corresponder con el idóneo para el asentamiento de la coquina.

Agradecimientos

Proyecto financiado por la Xunta de Galicia, Proyecto PGIDT-CIMA 13/08.

Geomorphological coastal vulnerability on high-energy sandy beaches (NW Portuguese coast)

*Vulnerabilidade geomorfológica costeira em praias arenosas expostas
(costa noroeste portuguesa)*

L. LÓPEZ-OLMEDILLA¹, P. A. SILVA¹, A. FONTÁN-BOUZAS^{1,2} y J. ALCÁNTARA-CARRIÓ³

1. Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Universidade de Aveiro, Portugal

lauraolmedilla@ua.pt; psilva@ua.pt

2. Centro de Investigación Mariña (CIM), Universidade de Vigo. afontan@uvigo.es

3. Dept. Geology and Geochemistry. Universidad Autónoma de Madrid. javier.alcantara@uam.es

Abstract: The assessment of coastal vulnerability related to coastal erosion is essential in decision making and coastal management. The main goal of the present work is to characterize the 50 km coastal stretch between Aveiro lagoon inlet and the Mondego Cape (NW Portugal) to assess the vulnerability of the beaches. For that purpose, over two years, topographical beach profiles were surveyed along the study site and several indicators, as well as the sedimentary trend were extracted over the study period. Furthermore, the coastal vulnerability index (CVI) based on geomorphological indicators was evaluated. The overall results show that the north and central areas display a high-moderate vulnerability since those sectors are characterized by lower values of beach volume and width, the presence of hard coastal engineering structures, as well as a shoreline and coastline recession trend is found in some beaches of those sectors. In contrast, a moderate-low vulnerability is observed in the south sector, which is typified by the largest volumes and beach widths, there is no presence of hard coastal engineering structures, and it is observed a positive shoreline/coastline tendency.

Keywords: vulnerability, coastal erosion, sandy beaches.

Resumen: El análisis de la vulnerabilidad costera relacionada con la erosión, resulta esencial en la toma de decisiones y gestión costera. El objetivo del presente trabajo es caracterizar 50 km de costa entre la laguna de Aveiro y el Cabo Modengo (NO Portugal) con el fin de evaluar la vulnerabilidad de las playas. Para ello, durante dos años fueron medidos perfiles de playa a lo largo de todo el sector, de los cuales, fueron extraídos diferentes indicadores, así como también

la tendencia sedimentar erosiva y/o acumulativa durante el periodo de estudio. Además, el índice de vulnerabilidad costero basado en indicadores geomorfológicos fue evaluado para cada una de las playas analizadas. Los resultados muestran que la zona norte y centro presentan una vulnerabilidad alta-moderada, ya que estos sectores están caracterizados por presentar los valores más bajos de volumen y largura de playa, por la presencia de estructuras costeras, así como también muestran una tendencia erosiva. En cambio, el sector sur exhibe una vulnerabilidad baja-moderada, puesto que esta caracterizado por los mayores volúmenes y longitudes de playa, ausencia de estructuras costeras y una tendencia de acreción de línea de costa.

Palabras clave: vulnerabilidad, erosión costera, playas arenosas.

1. Introduction

The coastal zone is a very dynamic environment, being coastal erosion one of its major threats. The vulnerability assessments to coastal erosion becomes, therefore, a crucial tool to coastal management. Thus, the main goal of the present work is to characterize the north-western coastal stretch between Aveiro lagoon inlet and the Mondego Cape (NW Portugal) to assess the vulnerability of the beaches (Figure 1). The study has an alongshore extension of 50 Km and it is characterised by exposed sandy beaches, well-developed foredune crests and the shoreline is exposed to NNE-SSW. The sector between P1-P11 (Figure 1) is affected by an erosive trend. To mitigate coastal erosion, several coastal engineering works have been performed in the last 60 years such as eleven groynes and 30 beach nourishments projects. In contrast, the coastal sector from P12 to P15 (Figure 1) is well preserved and does not present any hard coastal engineering structure (Fontán-Bouzas *et al.*, 2022; López-Olmedilla *et al.*, 2022).

2. Methods

From October 2017 to October 2019, twenty-four topographic surveys were conducted around low tide using the RTK-GPS (Real Time Kinematics-Global Position System) in a continuous mode (rate of acquisition at 1 Hz) at fifteen locations (P1-P15, in Figure 1). Cross-shore dune-beach profiles were measured from the back of the dune to the mean sea level. To characterise the coastal site and to apply a vulnerability assessment method, several indicators were defined and extracted from the profiles gathered in the field: the dune crest and dune toe, the shoreline position, the active area, the beach volume and width, the correlative/accumulative sediment budget, the beach slope, the dimensionless fall velocity (Ω), and the total water level elevation (TWL_e). Moreover, the indicators considered to determine the

CVI were beach volume and width, Ω , coastline and shoreline displacement, TWL_e , presence/absence of manmade structures and wave exposure. Once the indicators were chosen the CVI was determined as the arithmetic mean of the value attribute to each indicator, ranging from 0-2.9, 3-6.9 and 7-10, which are related to low, moderate, and high vulnerability (Sousa *et al.*, 2013).

3. Results and discussion

The results show that the beach morphodynamic state (determine through the Ω parameter) is intermediate-dissipative from P1 to P11, and intermediate-reflective from P12 to P15. The beach volume and width vary from 185 m³/m to 389 m³/m, and from 60 m to 125 m, respectively, finding the lowest values in the former beaches. Over the study period, it is observed a shoreline and coastal retreat among the beaches analysed, mainly between profiles P1 and P11. Regarding the CVI, Figure 1 shows the

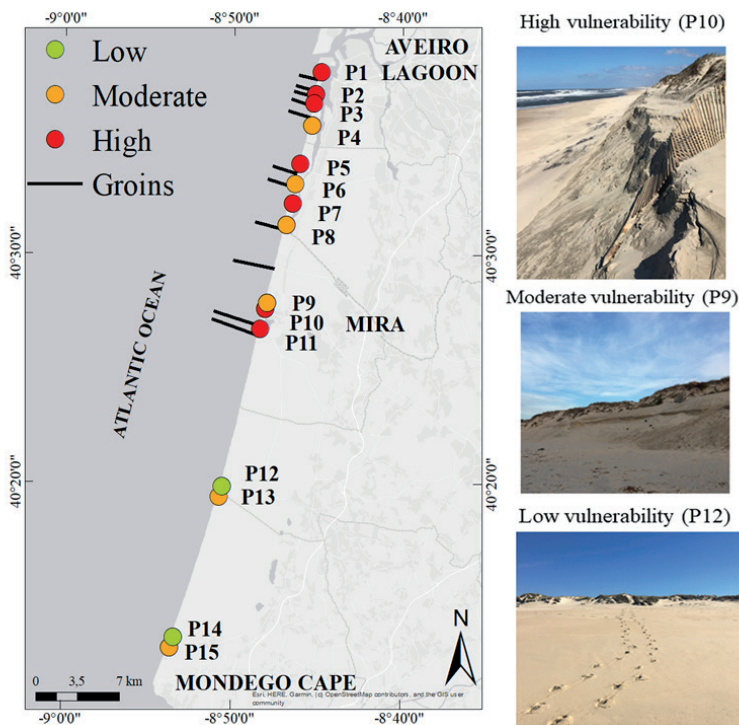


Figure 1. Coastal site showing the CVI of each beach analysed and examples of high, moderate and low vulnerability beaches.

vulnerability to coastal erosion to each beach analysed. The most vulnerable beaches are found from P1 to P11, while a low-moderate vulnerability is observed between P12 and P15. These findings are in accordance with previous studies conducted in the coastal site (Lira et al., 2016; Narra *et al.*, 2019). The authors stated that the northern and central sectors are typified by an erosional trend that has been spreading from profile P1 to P11 (Figure 1) over the last decades.

According to Andrade *et al.* (2019) the vulnerability among the beaches can change due to indicators such as beach width and coastline position, with the longshore sediment drift playing a role in the erosive process. This is in accordance with the findings obtained since it was found different levels of vulnerability within the beaches.

4. Conclusions

The present study addresses the vulnerability of the coastal stretch between the Aveiro lagoon and the Mondego Cape, considering eight indicators that are linked to coastal erosion and based in a medium-term coastal monitoring. The results provide information about the state of this coastal stretch in a medium-term, showing which beaches are the erosional hotspots. The northern and central areas depict a high-moderate vulnerability, while the southern sector shows a moderate-low vulnerability to coastal erosion.

References

- Andrade, T. S., Sousa, P. H. G. de O., & Siegle, E. (2019). Vulnerability to beach erosion based on a coastal processes approach. *Applied Geography*, 102, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.11.003>
- Fontán-Bouzas, Á., Andriolo, U., Silva, P. A., & Baptista, P. (2022). Wave Impact Analysis on a Beach-Dune System to Support Coastal Management and Nourishment Works: The Showcase of Mira, Portugal. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.861569>
- Lira, C., Silva, A. N., Taborda, R., & de Andrade, C. F. (2016). Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: An integrated approach. *Earth System Science Data*, 8(1), 265–278. <https://doi.org/10.5194/essd-8-265-2016>
- López-Olmedilla, L., Almeida, L. P., de Figueiredo, S. A., Fontán-Bouzas, Á., Silva, P. A., & Alcántara-Carrió, J. (2022). Effect of alongshore sediment supply gradients on projected shoreline position under sea-level rise (northwestern Portuguese coast). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 107876. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2022.107876>

- Narra, P., Coelho, C., & Sancho, F. (2019). Multicriteria GIS-based estimation of coastal erosion risk: Implementation to Aveiro sandy coast, Portugal. *Ocean and Coastal Management*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104845>
- Sousa, P. H. G. O., Siegle, E., & Tessler, M. G. (2013). Vulnerability assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil). *Ocean and Coastal Management*, 77, 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.03.003>

Integración de aspectos geomorfológicos, socioeconómicos y ecológicos en el estudio de la vulnerabilidad costera ante el ascenso del nivel del mar en el suroccidente del Caribe colombiano

Integration of geomorphological, socioeconomic and ecological aspects in the study of Coastal Vulnerability to Sea Level Rise in the southwestern Colombian Caribbean

M. GARCÍA¹, J. ALCÁNTARA-CARRIÓ², A. JARAMILLO³ & A. FONTÁN-BOUZAS⁴

1. Grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros (GISMAC), Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquía, Colombia. marleny.garcia@udea.edu.co
2. Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid. javier.alcantara@uam.es
3. Grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros (GISMAC), Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquía, Colombia. alfredo.jaramillov@udea.edu.co
4. Centro de Investigación Mariña, Universidad de Vigo. afontan@uvigo.es

Resumen: El suroeste del Caribe Colombiano es susceptible al ascenso del nivel del mar y el acelerado retroceso de la línea de costa. Ante este escenario, este trabajo propone evaluar la vulnerabilidad ante el ascenso del nivel del mar en cuatro sectores críticos del litoral antioqueño en el Caribe colombiano: Punta Las Vacas, Zapata, Río Hobo y Volcán de Lodo, mediante el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Socioeconómico (IVSe) e Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE) calculados a partir de 14 variables: geomorfología, pendiente costera, tasa de cambio de línea de costa, oleaje significativo medio, tasa de cambio del nivel relativo del mar, rango mareal, cobertura de ecosistemas, nivel de intervención de los ecosistemas, diversidad biológica, uso del suelo, Índice K, densidad de población, actividad turística y patrimonio. La integración de todas las variables permitió conocer la Vulnerabilidad Costera Integrada (IVCI). De manera general, las líneas de costa de Volcán de lodo y Río Hobo muestran vulnerabilidades muy altas y altas en un 90%, mientras Zapata y Punta Las Vacas muestran una vulnerabilidad más diversificada.

Palabras clave: geomorfología, cobertura de ecosistemas, patrimonio.

Abstract: The southwest of the Colombian Caribbean is susceptible to the sea level rise and the accelerated coastline retreat. In this sense, this work proposes a vulnerability evaluation in front of the sea level rise in four critical zones on the Antioquian coast (Colombian Cari-

be): Punta Las Vacas, Zapata, Río Hobo and Volcán de Lodo, the Coastal Vulnerability Index (IVC), Index of Socioeconomic Vulnerability (IVSe) and Index of Ecological Vulnerability (IVE) was calculated using 14 variables: geomorphology, coastal slope, coastline change rate, mean significant waves, relative sea level change rate, tidal range, ecosystem coverage, ecosystem intervention level, biological diversity, land use, K Index, population density, tourist activity and heritage. The integration of all the variables allowed us to know the Integrated Vulnerability Coastal Index (IVCI). In general, the 90% of Volcán de Lodo and Río Hobo coastlines show high and very high vulnerabilities, while Zapata and Punta Las Vacas show a diversified vulnerability.

Keywords: geomorphology, ecosystem coverage, heritage.

1. Introducción

En los 145 km de costa desde Turbo a Arboletes, en el suroeste del Caribe Colombiano, algunos sectores han sido ampliamente modificados antrópicamente (Correa y Vernet, 2004). Punta Las Vacas, situada en la línea costera del municipio de Turbo, comenzó a erosionarse desde la década de los años 40, con retrocesos estimados de 70 m, en los últimos 80 años (Correa *et al.*, 2005). La erosión del corregimiento de Zapata se inició hace más de 40 años, estimándose un retroceso del casco urbano de unos 40 m (Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia *et al.*, 2021). Para el caso particular de Volcán de lodo y Río Hobo en Arboletes, la erosión se aceleró como resultado de la construcción de numerosas obras de defensa costera que interrumpieron el transporte longitudinal de arena hacia el sur (Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia *et al.*, 2021). La vulnerabilidad se suele abordar analizando aspectos socioeconómicos, ecológicos o geomorfológicos. En ese trabajo se evalúa la vulnerabilidad ante el ascenso del nivel del mar en los cuatro sectores críticos antes mencionados del suroeste del Caribe colombiano: Punta Las Vacas, Zapata, Río Hobo y Volcán de Lodo e integrando el análisis de los tres aspectos citados.

2. Materiales y métodos

Se utilizaron cuatro índices a partir de 14 variables (ver Tabla 1), a las cuales se le asignó un valor 1 a 5, siendo 5 el valor con mayor vulnerabilidad y 1 el de menor vulnerabilidad.

<p>Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC): Variables: a) Geomorfología, b) Pendiente de playa, c) Tasa de Cambio de la Línea de Costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango Mareal</p> $IVC = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f}{6}}$	<p>El Índice de Vulnerabilidad Socioeconómico (IVSe): Variables: j) Uso del Suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio Histórico.</p> $IVSe = \sqrt{\frac{j * k * l * m * n}{5}}$
<p>Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE): Variables: g) Cobertura de Ecosistemas y Hábitats, h) Nivel de Intervención de los Ecosistemas, i) Diversidad Biológica.</p> $IVE = \sqrt{\frac{g * h * i}{3}}$	<p>Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI)</p> $IVCI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f * g * h * i * j * k * l * m * n}{14}}$

Tabla 1. Índices utilizados para el cálculo de la Vulnerabilidad Costera.

3. Resultados y discusión

En la aplicación del IVC planteado por Ojeda *et al.* (2009), se obtuvieron vulnerabilidades altas y muy altas en el 85% del litoral, las cuales son atribuidas a lugares con formaciones geológicas de alta erodabilidad, retrocesos altos, ascensos del nivel del mar y rango micromareal, resultados similares a los encontrados en la Manga del Mar Menor, en el sureste de España (Marinas *et al.*, 2020).

Por su parte, el IVE muestra vulnerabilidades altas y muy altas en el 9% del litoral, principalmente en sitios dominados por manglar, que han sido intervenidos. Ninguno de los ecosistemas costeros estudiados está ausente de presiones antropogénicas causadas por los usos del suelo, por lo que su vulnerabilidad sigue siendo muy alta (Yanes *et al.*, 2019). Las zonas con vulnerabilidad socioeconómica (IVSe) alta y muy alta se presentaron en el 50% del litoral, estando relacionadas con áreas de tejido urbano o instalaciones de recreación y turismo; igual que en otras costas, la urbanización, combinada con escenarios actuales de incremento de la población, aumentan la vulnerabilidad (Hidalgo *et al.*, 2020). De manera general, las líneas de costa de Volcán de lodo y Río Hobo muestran vulnerabilidades muy altas y altas en un 90%, mientras Zapata y Punta Las Vacas presentan una vulnerabilidad más diversificada. La vulnerabilidad del sur oeste del Caribe Colombiano ante el incremento del nivel del mar es evidente. Por tanto, en aquellas zonas prioritarias o de alta vulnerabilidad, se sugiere combinar estos estudios con análisis detallados de amenazas y cálculo de riesgo.

4. Conclusión

Los valores del IVCI muestran que las líneas de costa con vulnerabilidades alta y muy alta son en su mayoría sectores costeros que combinan valores altos de mínimo 5 variables. De ellas, las más comunes fueron: tasa de cambio de la línea de costa, nivel relativo del mar, rango mareal, cobertura de ecosistemas, uso del suelo y turismo. Las diferentes combinaciones de variables pueden producir el mismo nivel de vulnerabilidad, por lo que es importante no solo analizar el índice integrado, sino también particularizar los componentes socioeconómicos, ecológicos y geomorfológicos y analizarlos según el contexto local y regional.

Referencias

- Correa, I. D. y Vernet G. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe Colombiana. *Boletín de investigaciones marinas y costeras*, 33: 7-28.
- Correa, I. D. y Alcántara-Carrió, J. (2005). Historical and recent shore erosion along the Colombian Caribbean coast. *Journal of coastal research*, 52-57.
- Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional y Universidad del Norte. (2021). Erosión Costera en el Litoral Antioqueño. Compilación de resultados.
- Hidalgo, R., Martínez, C., Henríquez, C., Arenas, F., Rangel-Buitrago, N., y Contreras-López, M. (2020). La zona costera en Chile: adaptación y planificación para la resiliencia. *Instituto de geografía de la pontificia universidad católica de Chile*, 40 p.
- Marinas, D. I., Pelegrín, G. A. B., Balibrea, J. S., Moreno, P. G., y Serrato, F. B. (2020). Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España). *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 40 (2), 373-392.
- Ojeda, J., Álvarez, J. I., Martín, D y Fraile, P. (2009). El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus*, (9), 83-100.
- Yanes, A., Botero, C. M., Arrizabalaga, M. y Vásquez, J. G. (2019). Methodological proposal for ecological risk assessment of the coastal zone of Antioquia, Colombia. *Ecological Engineering*, 130, 242-251.

Aforo de la playa de Las Canteras (Gran Canaria, Islas Canarias) en tiempos del Covid-19

Capacity of Las Canteras beach (Gran Canaria, Canary Islands) in times of Covid-19

E. DEL ROSARIO RODRÍGUEZ¹ y E. PÉREZ-CHACÓN ESPINO²

1. Geógrafo. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

eloy.rosario101@alu.ulpgc.es

2. Geógrafa. Grupo de Investigación de Geografía Física y Medio Ambiente, Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

emma.perez-chacon@ulpgc.es

Resumen: La playa de Las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria) presenta una alta afluencia de usuarios a lo largo de todo el año. Estimar su aforo resulta especialmente relevante para la gestión, sobre todo cuando se tienen que afrontar efectos derivados de la pandemia del Covid-19. Durante esta crisis, se establecieron diversos criterios legales en las playas españolas, con el fin de garantizar el distanciamiento físico interpersonal que requería la seguridad sanitaria. En este trabajo se realiza un análisis espacial de la playa de Las Canteras aplicando los criterios legales de aforo establecidos, y se proponen otros criterios alternativos para realizar los cálculos. En el modelo de evaluación propuesto no solo se considera un comportamiento estático de los usuarios de la playa, sino también dinámico, pues éstos circulan por todo el ámbito. Tras el análisis espacial realizado, se concluye que calcular el aforo de la playa, a partir de los criterios legales establecidos, no permite mantener la distancia interpersonal de 2 m entre los usuarios de la playa.

Palabras clave: aforo, Covid-19, distancia interpersonal, playa urbana.

Resumen: La playa de Las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria) presenta una alta afluencia de usuarios a lo largo de todo el año. Estimar su aforo resulta especialmente relevante para la gestión, sobre todo cuando se tienen que afrontar efectos derivados de la pandemia del Covid-19. Durante esta crisis, se establecieron diversos criterios legales en las playas españolas, con el fin de garantizar el distanciamiento físico interpersonal que requería la seguridad sanitaria. En este trabajo se realiza un análisis espacial de la playa de Las Canteras aplicando los criterios legales de aforo establecidos, y se proponen otros criterios alternativos para realizar los cálculos. En el

modelo de evaluación propuesto no solo se considera un comportamiento estático de los usuarios de la playa, sino también dinámico, pues éstos circulan por todo el ámbito. Tras el análisis espacial realizado, se concluye que calcular el aforo de la playa, a partir de los criterios legales establecidos, no permite mantener la distancia interpersonal de 2 m. entre los usuarios de la playa. *Palabras clave:* aforo, Covid-19, distancia interpersonal, playa urbana.

1. Introducción

La playa de Las Canteras es una de las playas más populares de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. Tiene una longitud de 4 km y presenta una elevada afluencia de usuarios todo del año. Durante la pandemia provocada por el covid 19 fue necesario estimar el aforo de espacios públicos, por lo que las Administraciones Públicas, tanto a nivel estatal como autonómico (tabla 1), elaboraron diversas normativas. Algunas de ellas señalaban la necesidad de calcular el “aforo” de las playas, estableciendo criterios de ocupación en función de las dimensiones físicas de las playas y de la distancia interpersonal entre los usuarios. El estudio se ha realizado en el marco de un convenio de colaboración suscrito entre la Fundación Canaria Parque Científico Tecnológico (FCPCT) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) y el Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria para el desarrollo de acciones y estudios en el litoral de la bahía del Confital- Las Canteras.

Norma	Contenido
Orden SND/414/2020	<ul style="list-style-type: none"> • Se establecen 2 metros de distancia entre usuarios. Guardando un perímetro de seguridad de 2 metros desde cada toalla.
Orden SND/440/2020	<ul style="list-style-type: none"> • Se implantan 2 metros de distancia entre usuarios. • Se debe garantizar al menos 4 m² por usuario. • Cálculo de la superficie útil de la playa para determinar el aforo máximo: se considera a partir de 6 metros sobre la pleamar (aspecto posteriormente derogado).
Orden SND/445/2020	<ul style="list-style-type: none"> • Se establecen 2 metros de distancia entre usuarios. • Se debe garantizar al menos 4 m² por usuario. <p>A través de esta Orden Ministerial se elimina la exigencia de calcular la superficie útil de la playa contabilizando una distancia de 6 metros a partir de la pleamar.</p>
Resolución de 19 de junio de 2020 del Gobierno de Canarias	<ul style="list-style-type: none"> • Se establece una distancia entre usuarios de 1,5 metros • Para el cálculo de la superficie útil de la playa se tendrá en cuenta la altura de las mareas, la sectorización de actividades y se descontarán los espacios de tránsito y accesos. • La superficie de playa a ocupar por cada usuario será de aproximadamente 4 m²

Tabla 1. Marco normativo.

2. Objetivos, metodología y resultados

El objetivo del trabajo es analizar si la normativa establecida por las administraciones públicas nacionales y regionales permite cumplir las recomendaciones de distanciamiento interpersonal propuestas por las autoridades sanitarias. Para ello se ha realizado un análisis espacial del aforo de la playa de las Canteras mediante sistemas de información geográfica, considerando diferentes supuestos.

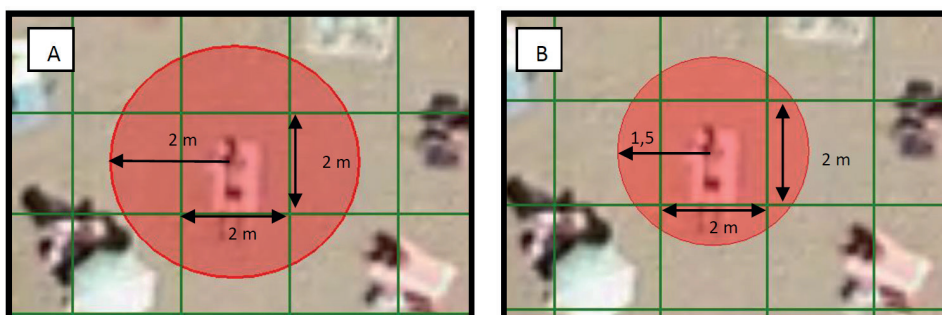


Figura 1. A: Área de influencia de 2 metros y cuadrícula de 4 m^2 . B: Área de influencia de 1,5 m. y cuadrícula de 4 m^2 . Fuente de la ortofoto: Idec Canarias.

Para estimar la capacidad de carga física en playas urbanas, algunos autores (Yepes, 1998; Da Silva, 2002) han establecido un criterio de ocupación de $4\text{ m}^2/\text{usuario}$, considerando que por debajo de estas densidades existirían condiciones de hacinamiento. Sin embargo, para realizar este estudio fue necesario establecer un criterio de ocupación específico, que permitiera estimar la superficie necesaria para mantener la distancia de seguridad indicada por la normativa. Para ello se generaron cuadrículas y áreas de influencia sobre un usuario-tipo en la playa (figura 1).

Se observa que, si se considera un criterio de ocupación de $4\text{ m}^2/\text{usuario}$, no se puede mantener la distancia de seguridad entre personas de 2 metros (figura 1A). Si se quiere guardar esa distancia de seguridad, la superficie del área de influencia debe ser mayor, ya que en el cálculo se debe contemplar no solo la superficie que ocupa un cuerpo humano sobre el espacio, sino también que los usuarios no tienen un comportamiento estático en la playa. La ratio $4\text{ m}^2/\text{usuario}$ sólo sería válida para una distancia interpersonal de 1,5 m. (figura 1B) entre usuarios estáticos.

Considerando que el comportamiento de una persona en la playa es dinámico, el cálculo de la superficie necesaria debería tener en cuenta, como mínimo, un rango de movimiento que oscile entre 1 y 2 metros. Por ello, el criterio de ocu-

pación para poder garantizar una distancia de seguridad entre usuarios debe ser superior a los $4\text{m}^2/\text{usuarios}$ señalados en la normativa. Esto implicaría ampliar el tamaño del área o parcela de seguridad (PS) para cada usuario de la playa.

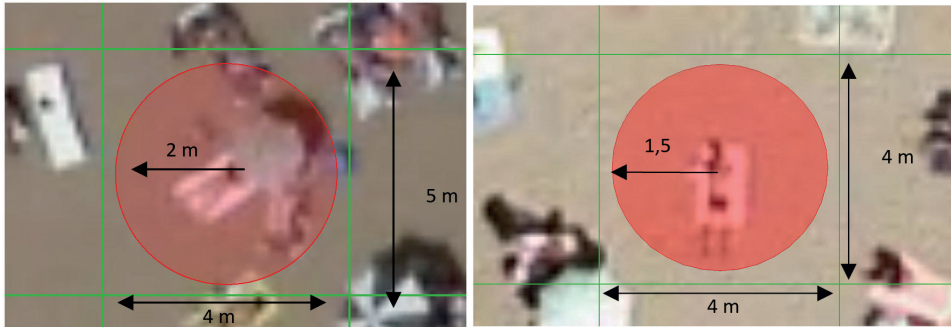


Figura 2. A: Área de influencia de 2 metros y cuadrícula de 20 m^2 . B: Área de influencia de 1,5 m y cuadrícula de 16 m^2 . Ortofoto Idecanarias.

Como se muestra en la figura 2A, la PS necesaria para mantener la distancia interpersonal de 2 metros ha de ser, como mínimo, de $20\text{ m}^2/\text{usuario}$; mientras que para una distancia entre personas de 1,5 m ésta debe ser al menos de $16\text{ m}^2/\text{usuario}$ (figura 2B). Teniendo en cuenta estas consideraciones, se ha calculado el aforo de la playa de Las Canteras (tabla 2), contemplando no solo el marco normativo establecido por las administraciones, sino también el resultado del análisis espacial realizado para determinar el tamaño óptimo de la parcela de seguridad.

Aforo (criterio de ocupación)	Arco Norte	Arco Centro	Arco sur	Total (usuarios)
Aforo $4\text{m}^2/\text{usuarios}$ y 6 m sobre la pleamar	6.654	523	699	7.876
Aforo $4\text{m}^2/\text{usuarios}$	12.402	4.542	9.978	26.922
Aforo $16\text{m}^2/\text{usuarios}$	3.100	1.135	2.494	6.730
Aforo $20\text{m}^2/\text{Usuario}$	2.480	908	1.996	5.384

Tabla 2. Aforo según criterios de ocupación establecidos en la norma y recomendados tras realizar el análisis espacial (en marea media).

3. Discusión y conclusión

Cuantificar el número de personas que podrían acudir a las playas es una tarea de especial interés, sobre todo en situaciones de crisis sanitaria que obliguen a mantener un distanciamiento interpersonal. El análisis espacial realizado permite concluir que la aplicación de los criterios establecidos en la normativa, para calcular el aforo de la playa, no garantiza que se pueda guardar la distancia de seguridad señalada en la propia normativa. Para mantener una distancia interpersonal de 2 metros entre usuarios, el criterio de ocupación mínimo ha de ser de 6 m²/usuario; mientras que para una distancia interpersonal de 1,5 metros se necesitan 4m²/usuario como mínimo. Estas ratios solo serían aplicables si las personas se mantuviesen estáticas durante su visita a la playa. Teniendo en cuenta que esa circunstancia no es real, las “parcelas de seguridad” deberían tener 20 m²/usuario, si se requiere mantener una distancia interpersonal de 2 m, o bien de 16 m²/usuario si ésta fuese de 1,5 m.

4. Referencias

- Gobierno de España. Orden SND/414/2020 (BOE 138), de 16 de mayo, para la flexibilización de determinadas restricciones de ámbito nacional establecidas tras la declaración del estado de alarma en aplicación de la fase 2 del Plan para la transición hacia una nueva normalidad.
- Gobierno de España. Orden SND/440/2020 (BOE 146), de 24 de mayo, por la que se modifican diversas órdenes para una mejor gestión de la crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19 en aplicación del Plan para la transición hacia una nueva normalidad.
- Gobierno de España. Orden SND/445/2020 (BOE 150), de 26 de mayo, por la que se modifica la Orden SND/271/2020, de 19 de marzo, por la que se establecen instrucciones sobre gestión de residuos en la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19 y la Orden SND/414/2020, de 16 de mayo.
- Gobierno de Canarias. Resolución de 19 de junio de 2020 (BOC 123), por la que se dispone la publicación del Acuerdo por el que se establecen medidas de prevención para hacer frente a la crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19.
- Pereira, C. (2002). Beach carrying capacity assessment: How important is it? North Ireland: *Journal of Coastal Research*, 36(sp1).
- Yepes, V. (1998). Planificación y gestión turística de playas. *Actas del Curso sobre gestión Integral de la Costa*.

C U R S O S E C O N G R E S O S
Nº 267