

Dinámica sedimentaria de playa sobre un afloramiento patrimonial del Pleistoceno: la superficie de pisadas de El Pichilín (Almonte, Huelva)

Beach sedimentary dynamics on a Pleistocene heritage outcrop: the footprint surface of El Pichilín (Almonte, Huelva).

J.A. Morales^a, A. Rodríguez-Ramírez^a, E. Mayoral^a, R. Díaz-Delgado^b, A. Santos^c, J. Duveau^d, I. Díaz-Martínez^e y A. Gómez Olivencia^f

^aDepartamento de Ciencias de la Tierra, CCTH-Centro de Investigación Científico Tecnológico, Campus de El Carmen, Universidad de Huelva, 21071 Huelva, España. jmorales@uhu.es ^bLAST (Remote Sensing & GIS Lab), Estación Biológica de Doñana-CSIC, 41092 Sevilla, España. ^cDepartamento de Geología, Universidad de Oviedo, 33005, Oviedo, España. ^dUMR 7194 Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, CNRS, Muséum National d'Histoire Naturelle, Université Perpignan Via Domitia, Paris, Francia. ^eDepartamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Facultad de Ciencias, Universidad de Cantabria, 39005 Santander, Cantabria, España. ^fDept. Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV, Barrio Sarriena s/n, 48940 Leioa, España.

How to cite: Morales, J.A.; Rodríguez Ramírez, A.; Mayoral, E.; Díaz-Delgado, R.; Santos, A.; Duveau, J.; Díaz-Martínez, I. y Gómez Olivencia, A. 2024. Dinámica sedimentaria de playa sobre un afloramiento patrimonial del Pleistoceno: la superficie de pisadas de El Pichilín (Almonte, Huelva). En libro de actas: *XII Jornadas de Geomorfología Litoral*. Valencia, 25 – 27 de septiembre de 2024. <https://doi.org/10.4995/GEOLIT24.2024.18330>

Abstract

Recent papers described a tracked surface at the northwest of Matalascañas beach (Almonte, Huelva). There, dozens of human footprints and hundreds of other vertebrate footprints were discovered. The outcrop, which has a Pleistocene age, is affected by coastal dynamics. The beach is developed on the wave-cut platform of a sandy bluff. The discovery occurred after storms coinciding with neap tides. Under these conditions storm waves eroded the beach and removed the sand to deeper shoreface areas. However, subsequent storms coinciding with high spring waters attacked the base of the cliff, providing a high volume of sand, reburying the footprints and contributed to their preservation. This work studies the sand dynamics under different energy situations, establishing those that contribute to a better preservation of the outcrop.

Keywords: Pleistocene, paleoichnology, geological heritage, coastal dynamics, preservation.

Resumen

Trabajos recientes han descrito una superficie con abundantes icnitas al noroeste de la playa de Matalascañas (Almonte, Huelva). En ella se descubrieron decenas de huellas humanas y cientos de huellas de otros vertebrados. El afloramiento, que tiene una edad Pleistoceno, se ve afectado por la dinámica costera. La playa se desarrolla sobre la plataforma de abrasión de un acantilado arenoso. El descubrimiento se produjo tras un período de tormentas coincidentes con mareas muertas. En estas condiciones, las olas de la tormenta erosionaron la playa y arrastraron la arena a zonas más profundas. Sin embargo, tormentas posteriores coincidentes con mareas altas vivas atacaron la base del acantilado, proporcionando un gran volumen de arena que volvió a enterrar las huellas y contribuyó a su conservación. Este trabajo estudia la dinámica de la arena bajo diferentes situaciones energéticas, estableciendo aquellas que contribuyen a una mejor preservación del afloramiento patrimonial.

Palabras clave: Pleistoceno, paleoicnología, geopatrimonio, dinámica costera, preservación.

1. Introducción

A principios de junio de 2020 la erosión ocurrida en Matalascañas (Huelva, SO de España) durante sucesivos temporales invernales dejaron al descubierto una extensa superficie de algo más de 6000 m². En una inspección visual llevada a cabo el 3 de junio de 2020 por dos biólogas del Parque Nacional de Doñana (M^a Dolores Cobo García y Ana Mateos Morillo) se informó sobre la presencia de numerosas huellas de animales. Los autores de este trabajo acudieron a la llamada de las autoridades del espacio natural para estudiarlas. Otro equipo de investigadores se centró en principio en las numerosas huellas de animales, que eran muy abundantes y evidentes y publicaron en pocos meses los primeros trabajos sobre las mismas (Neto de Carvalho et al., 2021). Los autores del presente trabajo se centraron en un descubrimiento menos evidente y que el otro equipo pasó por alto: la presencia de huellas de homínidos (Mayoral et al., 2021). Los trabajos se han ido sucediendo en los últimos tres años (Mayoral et al., 2022). Sin embargo, el estudio de esta superficie presenta una enorme dificultad, ya que al encontrarse el afloramiento dentro de la zona intermareal, se ve diariamente cubierto por la marea y además suelen quedar enterradas bajo los sedimentos arenosos de la playa, que de un día para otro pueden ocultar totalmente la superficie expuesta impidiendo así su estudio. El presente trabajo estudia la dinámica de la arena bajo diferentes situaciones de mareas y oleaje, estableciendo las condiciones dinámicas que contribuyen a una mejor preservación de este importante afloramiento patrimonial.

2. Zona de estudio

El afloramiento de El Pichilín está situado en la Playa de Castilla (37° 0' 58" N; 6° 35' 3" W) a unos 45 km al SE de la localidad de Huelva (España) y unos 2 km al NO de la urbanización de Matalascañas (Fig. 1). Se encuentra normalmente bajo las arenas de una playa holocena y sometido a la dinámica litoral. Esta playa arenosa se desarrolla sobre la plataforma de abrasión de un sistema acantilado activo tallado sobre formaciones pleistocenas denominado acantilado de El Asperillo. Este sistema acantilado se extiende en dirección NW-SE a lo largo de unos 30 km de longitud y posee una altura media de unos 20 m. El perfil del acantilado hace aflorar la secuencia sedimentaria depositada durante el Pleistoceno Medio y Superior. Esta secuencia está conformada por cinco unidades eólicas que fueron definidas por Zazo et al. (2005) y sobre las cuales se ubican los sistemas dunares del Holoceno. Estas unidades están separadas por paleosuelos ferruginosos y niveles arcillosos ricos en materia orgánica. En uno de estos niveles de paleosuelo se encuentra el afloramiento con las huellas.



Fig. 1 Localización del área de estudio y panorámica del afloramiento.

La dinámica costera se caracteriza por un régimen de oleaje de baja energía, con olas de altura significativa media de 0,5 m. Con este régimen se consideran olas de tormentas aquellas con alturas superiores a 1,5 m. En estos temporales invernales se alcanzan frecuentemente los 4 m y han llegado a medirse olas de hasta 7 metros (Rodríguez Ramírez et al., 2003). Es una costa de tipo meso-mareal, con un rango medio de 2 m, que oscila entre

los 1,25 m de las mareas muertas y los 3,8 m de las mareas vivas. Se trata, pues de una costa de energía mixta cuyas características geomorfológicas están controladas por la conjunción entre olas y mareas.

En verano, durante oleaje de buen tiempo, esta playa es de características disipativas desarrollando sistemas de barras que remontan desde el shoreface para adosarse al foreshore en el frente del acantilado (Rodríguez Ramírez et al., 2003). En invierno, cuando coinciden las mareas meteorológicas con pleamares vivas el nivel del mar alcanza la base de los acantilados y permite al oleaje de tormenta atacar y erosionar sus formaciones arenosas. En estas condiciones, el afloramiento rocoso puede encontrarse expuesto y ser erosionado en algunas condiciones dinámicas, mientras que en otras permanece bajo espesores significativos de arena. Determinar cuáles son las condiciones que hacen que se produzcan una u otra situación es el objetivo de este trabajo.

3. Metodología

Se realizaron dos vuelos programados a baja altitud utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV) el 9 y el 18 de junio de 2020, ambos durante condiciones de marea baja. Un multirrotor DJI PHANTOM 4+ con una cámara CMOS RGB 4k de 20 Mpix, volando a una altura media de 7 m sobre el suelo, recogió en cada ocasión más de 350 fotografías sobre el área de estudio. Se produjeron sendos ortomosaicos fotogramétricos utilizando el software PIX4DMAPPE y AGISOFT METASHAPE PROFESSIONAL. Este procedimiento permitió el estudio de las huellas, pero además documentó los cambios en la posición de las barras de arena que migran sobre el afloramiento.

Con esta información se realizó un levantamiento tridimensional utilizando el MODELO DE SUPERFICIE DIGITAL (DSM). DSM es un archivo ráster (cuadrícula con tamaño de píxel = 0,6 m) del área de estudio donde los valores de los píxeles corresponden a la altura topográfica sobre un nivel de referencia.

En paralelo, se realizaron perfiles topográficos sobre el terreno en días sucesivos a partir del segundo vuelo de dron (entre el 19 y el 21 de junio de 2020) y en meses posteriores, después de cada tormenta (22 de septiembre, 4 y 7 de octubre de 2020). Los perfiles de playa se obtuvieron mediante el uso de una estación total Nikon DTM 332 y se refirieron al cero de mareas (nivel de referencia de las cartas náuticas y de los mareógrafos de Puertos del Estado).

Los datos de altura del oleaje se obtuvieron de la base de datos de Puertos del Estado para el punto SIMAR 5035021, mientras que las medidas de rango mareal se obtuvieron de la estación más próxima al área de estudio, situada en el puerto deportivo de Mazagón.

4. Resultados

Los datos de alturas de olas y rangos de marea de los días previos al descubrimiento de las huellas (Fig. 2) permiten observar cómo desde el 9 al 15 de mayo actuaron sobre la playa olas superiores a 1 m, registrándose un fuerte temporal con olas superiores a 2,5 metros entre las 4:00 horas del día 14 y las 6:00 horas del día 15 de mayo. Estas condiciones de temporal, procedente del SO, se mantuvieron durante dos pleamares y una bajamar, en una situación de marea muerta, con un rango máximo de 0,77 m. En estas condiciones la cota máxima del nivel del mar no alcanzó la base del acantilado, rompiendo el oleaje en todo momento sobre la superficie de la playa. Esta fue la situación que provocó la erosión de la playa y la retirada de los sedimentos hacia zonas más profundas del *shoreface*, haciendo aflorar la plataforma de abrasión situada bajo la arena y con ello la superficie donde se encontraban las huellas. Las condiciones de olas y mareas de todo el mes posterior a este evento fueron favorables a la migración sedimentaria hacia cotas superiores, aunque sin llegar a cubrir el afloramiento en el momento en el que fue descubierto el 3 de junio de 2020.

El perfil realizado el 9 de junio a partir del vuelo de dron (Fig. 3A y C) muestra un afloramiento prácticamente descubierto, no observándose acumulación de sedimentos, sino en los niveles topográficos más bajos. El vuelo del 18 de junio (Fig. 3B) muestra ya la presencia de una primera barra, situada en un sector más alto y una segunda barra situada en una zona topográficamente más baja. Ambas cubren casi la totalidad del afloramiento.

El perfil del día 18 muestra que estas barras alcanzan un espesor máximo de 0,36 m con una longitud de en torno a los 40 m (Fig. 3D). Los perfiles realizados entre los días 18 y 21 de junio muestran una rápida migración transversal de la segunda barra de más de 30 m hacia la parte superior de la playa cubriendo totalmente el afloramiento. El día 21 de junio la acumulación de sedimentos llega a alcanzar un espesor máximo de 0,62 m sobre el afloramiento.

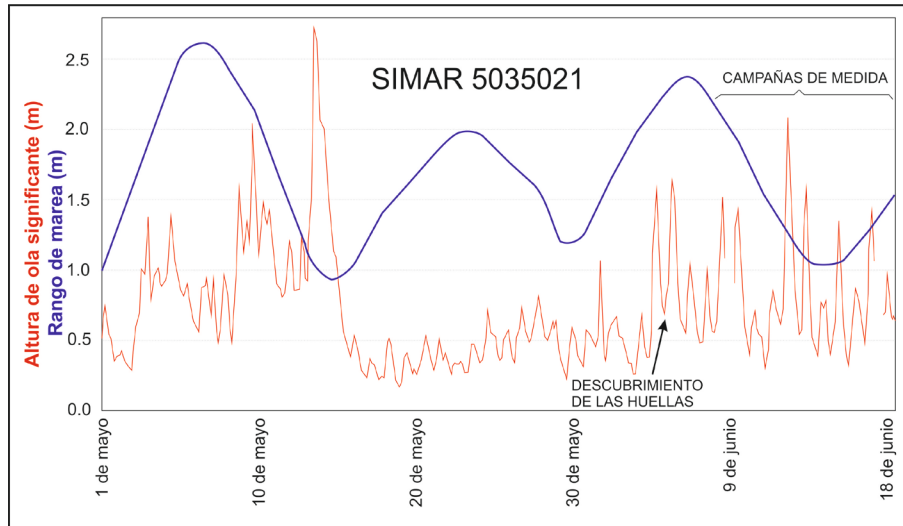


Fig. 2 Altura de ola significativa y rango de marea en el mes anterior al descubrimiento de las huellas.

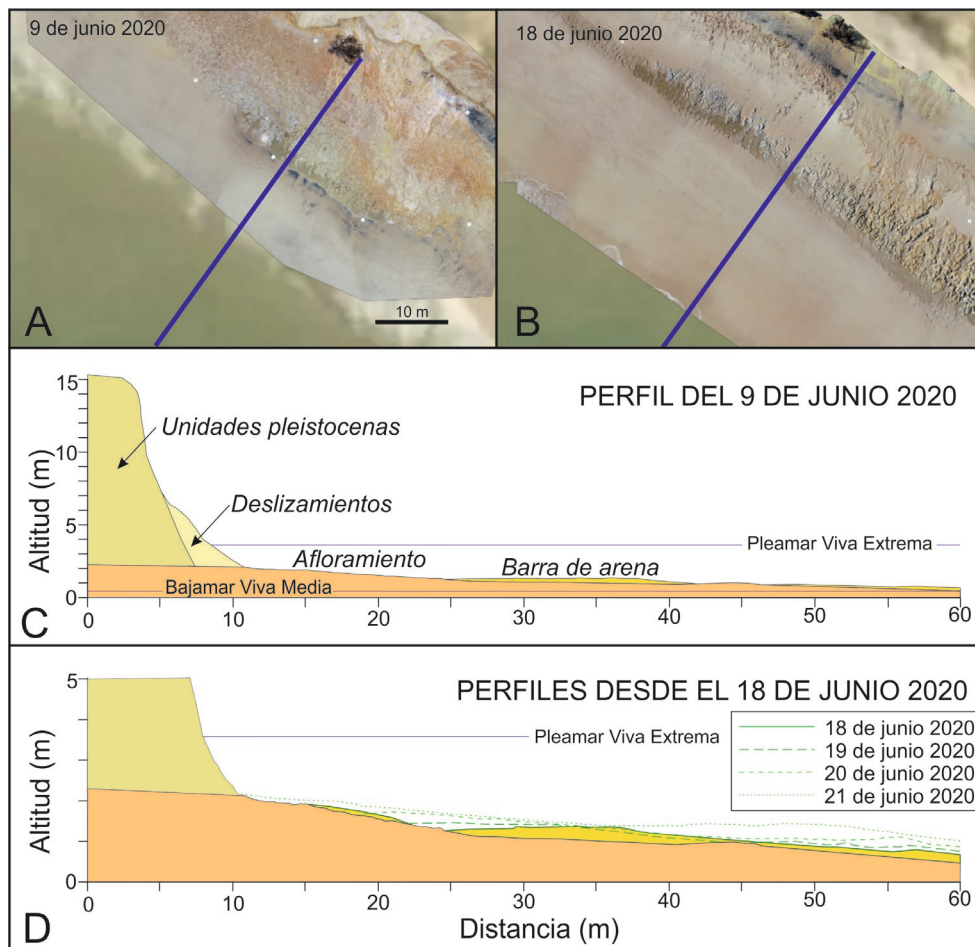


Fig. 3 Situación de los perfiles topográficos en los respectivos vuelos de dron (A y B) y perfiles levantados en junio de 2020 (C y D).

Durante todo el verano se mantuvieron condiciones de oleaje de buen tiempo con olas de altura inferior a los 0,5 m. La llegada de nuevos frente atlánticos dio lugar a condiciones energéticas el día 18 de septiembre. El oleaje de tormenta llegó desde el SO, con olas cuya altura alcanzó los 2,69 m. Esta vez estas olas coincidieron con una pleamar viva (Fig. 4), llegando a cotas que permitieron la llegada del nivel del mar a la base del acantilado. Estas condiciones energéticas se saldaron con un retroceso del acantilado de casi 2 m, ya que el oleaje desestabilizó su base y provocó numerosos deslizamientos gravitacionales que pusieron a disposición del oleaje un importante volumen de arena. El perfil medido tras este temporal (Fig. 5A) muestra una plataforma de abrasión cubierta con un espesor de arena que supera los 0,9 m en algunos puntos.

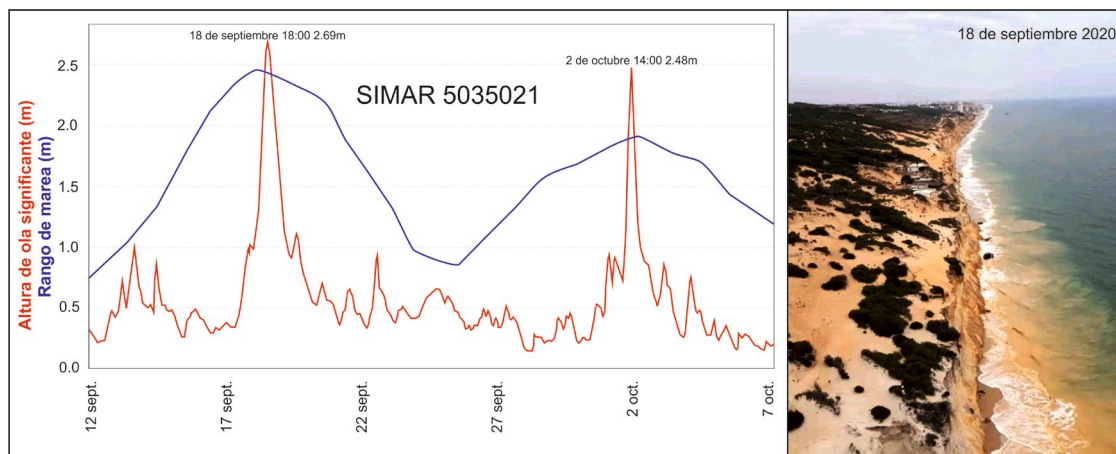


Fig. 4 Altura de ola significativa y rango de marea durante los primeros temporales ocurridos tras el verano.

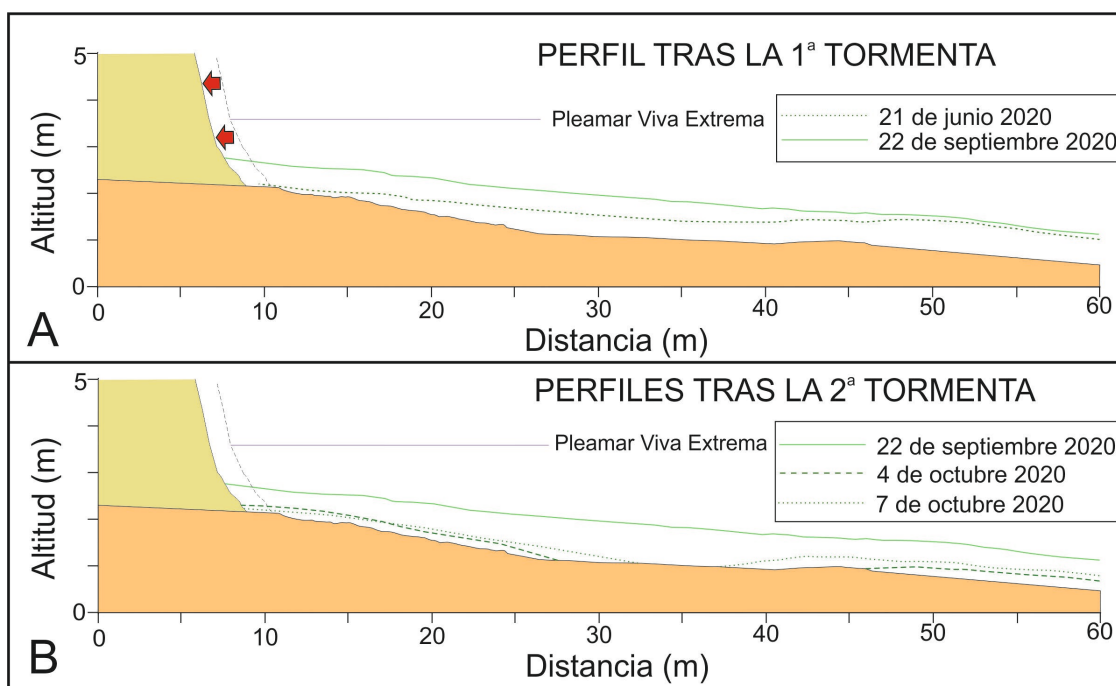


Fig. 5 Perfiles levantados tras las primeras tormentas de 2020.

Un segundo temporal ocurrió el 2 de octubre, dos semanas después, con olas significantes máximas de 2,48 m y también en condiciones de pleamar viva. Este temporal atacó de nuevo la plataforma de abrasión causando una erosión de la misma y un nuevo desplazamiento hacia la zona profunda de casi la totalidad de la arena acumulada en la playa por el retroceso del acantilado en el temporal anterior, dejando nuevamente expuesto el afloramiento. En los días posteriores al temporal, olas con alturas inferiores a 0,5 m ya habían formado una nueva barra, que el día 7 de octubre migraba hacia las zonas más altas de la playa cubriendo el afloramiento.

5. Discusión y conclusiones

El yacimiento de huellas de El Pichilín se encuentra sometido a la actuación de una morfodinámica ligada principalmente a los procesos de batida del oleaje descritos en detalle por Kroon y Masselink (2002). Los perfiles realizados en esta zona muestran una clara dinámica transversal de las barras bajo el control de los procesos ligados a la batida de las olas. La existencia de barras arenosas y su migración hacia las zonas altas de la playa dependen del tiempo de residencia de estos procesos de batida y resaca sobre la playa durante los ciclos de marea (Anthony et al. 2004). A pesar de que en estas barras se ha observado un modo de funcionamiento vertical, no puede descartarse una migración longitudinal de la arena, ya que el oleaje incide sobre esta costa de un modo oblicuo, generando una deriva litoral en sentido SE (Sedrati & Morales, 2017).

Toda esta dinámica de barras puede verse interrumpida por eventos erosivos bajo condiciones de fuerte agitación. Sin embargo, las condiciones de mayor erosión observadas no se producen como en el resto de las playas al coincidir las olas máximas con las pleamares vivas. En este caso, la máxima pérdida de arena se observa cuando las olas de temporal coinciden con mareas muertas y la batida tiene lugar sobre la arena que cubre el afloramiento. Por el contrario, cuando coinciden olas de temporal con mareas vivas, la batida ataca el frente acantilado y lo hace retroceder desestabilizando su base. En estas condiciones se produce una recarga sedimentaria de la playa y el afloramiento se ve cubierto con importantes volúmenes de arena. A pesar de que estas condiciones dificultan el estudio de las huellas, la presencia de una cobertura sedimentaria y la dinámica de las barras representa las condiciones de máxima preservación de las huellas, puesto que la arena impide la acción directa del oleaje sobre las mismas y su destrucción por procesos erosivos.

6. Agradecimientos

Este trabajo es resultado del proyecto de Investigación 2993/2023, "Caracterización, seguimiento y control del yacimiento de icnitas humanas en el Espacio Natural de Doñana: un reto ante el Cambio Global", concedido por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

7. Referencias

- Anthony, E.J., Levoy, F. & Monfort, O. (2004). Morphodynamics of intertidal bars on a megatidal beach, Merlimont, Northern France. *Marine Geology*, 208, 73-100.
- Kroon, A. & Masselink, G. (2002). Morphodynamics of intertidal bar morphology on a macrotidal beach under low-energy wave conditions, North Lincolnshire, England. *Marine Geology*, 190, 591-608.
- Mayoral, E., Díaz-Martínez, I., Duveau, J. et al. (2021) Tracking late Pleistocene Neandertals on the Iberian coast. *Scientific Reports*, 11: 4103.
- Mayoral, E., Duveau, J., Santos, A., et al. (2022). New dating of the Matalascañas footprints provides new evidence of the Middle Pleistocene (MIS 9-8) hominin paleoecology in southern Europe. *Scientific Reports*, 12: 17505.
- Neto Carvalho, C., Belaústegui, Z., Toscano, A., et al. (2020). First vertebrate tracks and palaeoenvironment in a MIS-5 context in Doñana National Park (Huelva, SW Spain). *Quat. Sci. Rev.*, 243: 106508.
- Rodríguez-Ramírez, A., Ruiz, F., Cáceres, L.M., Rodríguez-Vidal, J., Pino, R., Muñoz, J.M. (2003). Analysis of the recent storm record in the south-western Spain coast: implications for littoral management. *The Science of the Total Environment* 303, 189-201.
- Sedrati, M. & Morales, J.A. (2017). Efecto de los espigones transversales en la dinámica de las playas disipativas con barras: Ejemplo de Matalascañas, Huelva. *Geo-Temas*, 17: 239-242.
- Zazo, C. et al. (2005). Landscape evolution and geodynamic controls in the Gulf of Cadiz (Huelva coast, SW Spain) during the Late Quaternary. *Geomorphology*, 68: 269-290.