



Actas de las Jornadas de Historia sobre el Descubrimiento de América

Tomo IV: Jornadas XI, XII, XIII y XIV
2015, 2016, 2017 y 2018
«Casa Martín Alonso Pinzón»
Palos de la Frontera

Actas de las Jornadas de Historia sobre el Descubrimiento de América.

Tomo IV: Jornadas XI, XII, XIII y XIV, 2015, 2016, 2017 y 2018. Eduardo García Cruzado (Coordinación).

Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía, 2019. ISBN 978-84-7993-346-3. Enlace: <http://hdl.handle.net/10334/3954>

El registro geológico holoceno de la ensenada de Palos de la Frontera y la evolución del paisaje de su puerto histórico: estado de la cuestión

Joaquín Rodríguez Vidal, Paula Gómez Gutiérrez, Luis M. Cáceres Puro y Marta Arroyo Serrano
Universidad de Huelva

Introducción

Durante el Holoceno medio y superior la costa del golfo de Cádiz, y especialmente la de Huelva, ha sufrido los mayores cambios y modificaciones naturales de todas las costas peninsulares españolas. Las variaciones en el nivel marino y los cambios ambientales han quedado almacenados en los registros morfosedimentarios de los medios litorales. Estos medios están compuestos por sedimentos generados en marismas estuarinas, lagoones, playas, barreras litorales, dunas y terrazas fluviales o aluviales, que pueden conservarse en el registro como elementos geomorfológicos aflorantes o enterrados bajo distintas capas sedimentarias, sobre todo en los estuarios. Las principales transformaciones morfológicas se han producido en las barreras litorales de las bocanas de los estuarios y en los «esteros» o arroyos afluentes de los cursos fluviales principales, como ha sido el caso del estero de la Fontanilla, en Palos de la Frontera.

Aunque el relleno del estuario de los ríos Tinto-Odiel tiene una historia geológica muy reciente, el Puerto Colombino de Palos de la Frontera presenta una historia de colmatación aún mucho más reciente, ya que la acción antrópica influyó decisivamente en la desaparición de dicho estero. Así, su estudio en profundidad sólo puede realizarse mediante sondeos, bien sean de tipo geofísico, o bien de tipo mecánico.

Es por esto que los objetivos de este trabajo se centran en el estudio de la dinámica y evolución del estero de la Fontanilla y la ensenada del Puerto Colombino de Palos de la Frontera desde el periodo medieval hasta la actualidad,

los tipos de medios naturales identificados y la evolución natural del yacimiento. Sin embargo, los sondeos que hemos realizados en la ensenada han puesto en evidencia una historia geológica más detallada, que posiblemente se inicia a mediados del Holoceno, hace algo más de 6.000 años, resultado del último ascenso postglaciar del nivel marino.

Antecedentes

El estudio de la Ensenada del Puerto Colombino de Palos de la Frontera comienza en los años noventa del siglo pasado, coincidiendo con el V centenario del Descubrimiento de América. El ayuntamiento de Palos de la Frontera, permitió entonces que se iniciaran una serie de proyectos urbanísticos que se enfocaron en dar alto valor patrimonial a los Lugares Colombinos. En ese contexto, el Ayuntamiento de Palos y la Liga Naval Española inician el proyecto realizando una «Prospección Geofísica para la ubicación del antiguo embarcadero o puerto de Palos de la Frontera», con el que se hallaron estructuras antrópicas enterradas al pie del cabezo, donde se sitúa el castillo de Palos, las cuales facilitaron el comienzo de las excavaciones que se realizaron en los años siguientes.

Así se inició, con posterioridad, el estudio denominado «Proyecto de investigación geoarqueológico del estero de La Fontanilla: El puerto histórico de Palos de la Frontera (Huelva)» (Pozo *et al.*, 1996), ejecutado por la Universidad de Huelva y coordinado por el Ayuntamiento de Palos de la Frontera y la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. De los sondeos realizados, destaca el denominado PR-2, ubicado en el margen izquierdo de la ensenada y de 15 m de profundidad, que contiene el registro de las tres fases evolutivas del relleno reciente de la ensenada y que nos proporcionó las verdaderas dimensiones e importancia del sedimento holoceno allí acumulado.

Los sondeos geotécnicos y su registro sedimentario

En julio del 2016 comenzó un estudio científico, financiado por el Ayuntamiento de Palos de la Frontera, bajo el subproyecto «Investigaciones geoarqueológicas en la ensenada de Palos», con la finalidad de determinar las caracte-

terísticas de la ensenada en la que se encuentra localizado el puerto histórico de Palos de la Frontera (Huelva). La campaña de campo consistió en 7 sondeos de rotación con recuperación continua de testigos en distintos puntos de la ensenada (Figs. 1 y 2), cuyo objetivo era obtener información sobre la disposición espacial de los materiales de relleno y poder definir el paleopaisaje, la morfología general y las dimensiones del entrante mareal que daba acceso al puerto.



Figura 1. Campaña de sondeos y material utilizado (izquierda). Almacenamiento de los testigos de sondeos en cajas protectoras de 60 cm de longitud (derecha).

Se seleccionaron tres de estos sondeos en puntos estratégicos, para obtener una primera aproximación a la geología de la ensenada (Fig. 2). Estos son HUPP-16-2 (sondeo 2), situado frente a la alota del antiguo puerto de Palos, que aporta datos sobre el calado en el propio puerto, HUPP-16-5 (sondeo 5) y HUPP-16-4 (sondeo 4) situados en la zona más alejada de la zona industrial/portuaria y hacia el exterior de la ensenada, que nos deben informar sobre las condiciones paleoambientales regionales, aportadas por el río Tinto. El techo de todos los sondeos tiene una cota absoluta de unos 3 metros sobre el nivel medio del mar.

Los tres sondeos seleccionados (Fig. 3) han sido muestreados atendiendo a los cambios litológicos, recogándose un total de 96 muestras brutas de unos 120 g cada una. De estas, se tomaron 10 g para análisis granulométricos. La fracción gruesa ha sido tratada en el laboratorio de Geología de la Facultad de Ciencias Experimentales y la fracción fina ha sido analizada con el contador de



Figura 2. Situación de los siete sondeos de rotación HUPP-16 realizados en la ensenada de Palos de la Frontera, durante el verano de 2016, y las profundidades alcanzadas en metros (imagen aérea extraída de Google Earth). Los círculos rojos son los sondeos hasta ahora analizados, los triángulos amarillos son los sondeos en fase de muestreo y análisis.

partículas (Mastersizer-2000) en el CIDERTA, perteneciente a los Servicios Centrales de la Universidad de Huelva. Con los resultados se están realizando gráficas granulométricas de distribución textural.

Para el estudio palinológico, se ha realizado un muestreo complementario, más representativo y de mayor detalle. Este análisis, realizado en el sondeo HUPP-16-2, ha proporcionado 61 muestras que han sido enviadas al laboratorio de palinología de la Universidad de Alcalá de Henares y están siendo tratadas por el equipo de la Dra. Blanca Ruiz Zapata.

También se han realizado diversos análisis de las muestras de los niveles con sedimentos más finos (limos y arcillas), ya que debido a su baja permeabilidad actúan como una trampa que permite la acumulación de elementos químicos. Igualmente, se han llevado a cabo análisis geoquímicos de 60 muestras, de las que ya se han obtenido algunos resultados y están siendo estudiadas por el Dr. Manuel Olías, del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Huelva. Otros trabajos en curso se relacionan con la Mineralogía de Arcillas,

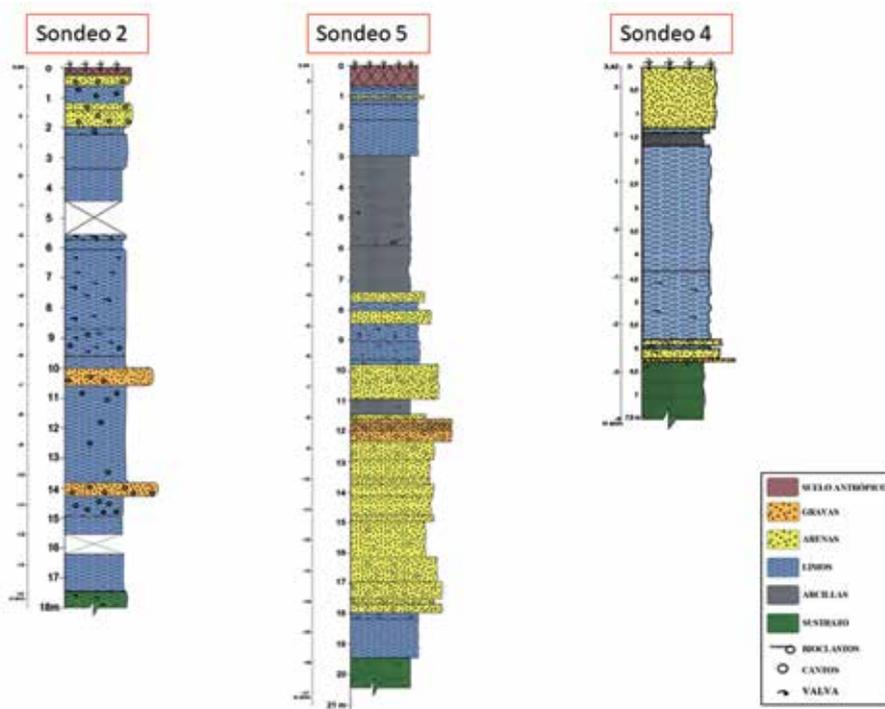


Figura 3. Características texturales de los tres sondeos hasta ahora estudiados, con la cota sobre el nivel medio marino y la profundidad alcanzada por cada sondeo. Para su localización, ver la figura 2.

mediante análisis de la mineralogía total por difracción de rayos X; actualmente se encuentra en la fase de preparación de muestras.

Se ha realizado en estos tres sondeos un estudio micropaleontológico preliminar, en el que han sido seleccionadas 60 muestras. En este momento se están estudiando las asociaciones faunísticas mediante lupa binocular. Los responsables de este trabajo son los Drs. M.^a Luz González-Regalado y Francisco Ruiz Muñoz, de la Universidad de Huelva.

Por último, se han realizado dataciones isotópicas por análisis de radiocarbono-AMS en muestras de carbón, madera, y conchas de gasterópodos y bivalvos marinos. Los primeros resultados se están calibrando y estableciendo las primeras correlaciones cronoestratigráficas.

Análisis granulométrico de los sondeos

Los sondeos que se han seleccionado para la realización del estudio textural son el HUPP-16-5, que cuenta con una longitud de 20,5 metros de profundidad y que se encuentra en el entrante del estero; y el HUPP-16-2 que se encuentra en el interior del canal y junto a la ensenada del puerto (Figs. 2 y 3). La elección de dichos sondeos ha sido realizada para, de una forma simple, iniciar las correlaciones estratigráficas entre el interior del canal y su antigua bocana; más adelante, con todos los sondeos descritos, se podrá establecer una correlación espacio-temporal de todos los sedimentos que rellenan la ensenada.

Un análisis granulométrico consiste en un proceso de clasificación de material sedimentario detrítico, con el fin de conocer la proporción de muestra existente en relación al tamaño de grano. Este estudio ha realizado, para ambos sondeos, un total de 78 muestras/análisis.

Para la realización de la granulometría se ha utilizado una columna de tamices con diferente diámetro de malla (2 mm, 1 mm, 500 micras, 250 micras y 125 micras) y un recipiente, al final de la columna, para recoger el material fino. Esta granulometría ha sido realizada en húmedo, debido a que el sedimento estaba compactado en alguno de los casos y era necesaria su disgregación para el almacenamiento de los materiales más finos que iban a ser analizados mediante difracción de rayos X.

Tras haberse realizado una descripción textural de los sondeos en las que solo se tiene en cuenta lo que, de forma visual e *in situ* se puede observar, se va a poner en relación con los resultados granulométricos que se han analizado en el laboratorio. Esto servirá para, además de corregir posibles fallos iniciales, realizar con mayor exactitud las correlaciones entre ambos sondeos y poder acometer la reconstrucción paleoambiental del estero de la Fontanilla y su relación con el antiguo Puerto de Palos.

El sondeo 5 (HUPP-16-5) cuenta con dos etapas diferencias, que se ven reflejadas en los resultados granulométricos. Este sondeo ha sido analizado en base a la toma de 50 muestras a lo largo de toda la columna (Fig. 4). El contenido en gravas es solo remarcable en algunos casos, ya que durante todo el sondeo se mantiene por debajo del 10% sobre el total, siendo inexistente en un gran número de muestras. Sin embargo las muestras PP-5-23/31/42 sobrepasan ese 10%, alcanzando casi el 30% del total. En el caso de las muestras PP-

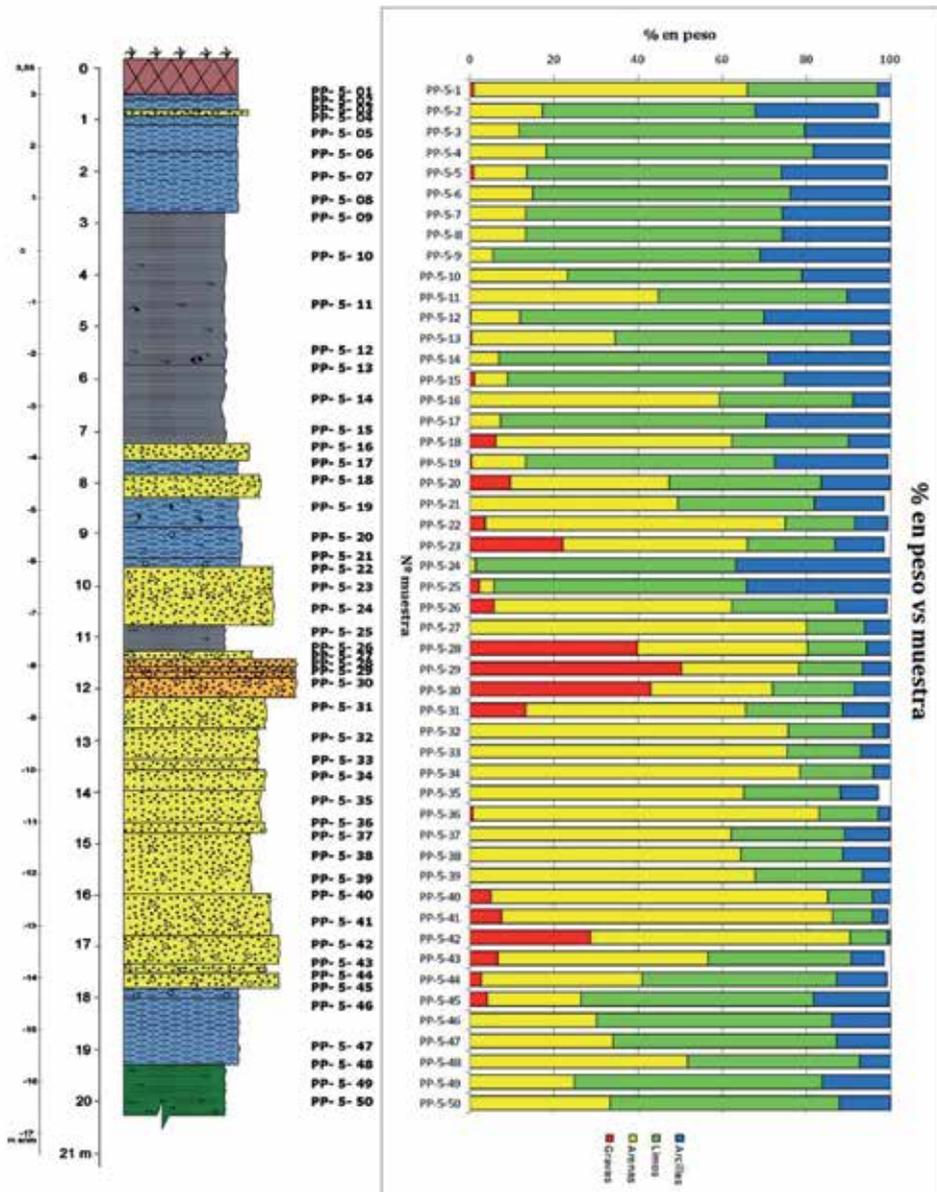


Figura 4. Sondeo HUPP-16-5 junto con la situación de las muestras analizadas y el gráfico resultante de los análisis granulométricos.

5-28/29/30, estas superan ese 30% del total, habiendo en la muestra PP-5-29 más de un 50% de gravas.

El contenido en arenas se hace más evidente en la primera etapa del sondeo, que reposa sobre un sustrato mio-plioceno con un contenido en limos de más del 50%.

El sondeo HUPP-16-2 (Fig. 5), a diferencia del anterior, es más monótono. Al encontrarse en el interior del estero la influencia marina es menor, el prisma mareal no implica un gran aporte sedimentario, otorgando a la influencia continental, en este punto, todo el protagonismo.

A lo largo del sondeo se observa, principalmente, el elevado contenido en limos arenosos de colores pardos oscuros. En la columna se pueden distinguir dos tramos de un tamaño de grano mayor, que rompen la serie de limos-arenosos. El primero de ellos se encuentra a los catorce metros, y está en relación directa con el tramo inferior, ya que éste cuenta a techo con una acumulación de cantos gruesos que da lugar a un primer nivel de gravas, cuya matriz sigue siendo la misma. Por encima, los cantos gruesos se dispersan a lo largo de los tres metros de potencia con los que cuenta la capa, que se sitúa entre ambos niveles de gravas. Entre los diez y once metros, aparece el segundo nivel intercalado de gravas que, al igual que el primero, está formado por cantos centimétricos en una matriz limo-arenosa.

A partir de este segundo nivel de gravas, aparece un tramo de ocho metros de potencia de limos-arenosos de color pardo. Entre los diez y seis metros el registro orgánico se hace evidente. Además de cantos gruesos, estos metros cuentan con presencia de restos bioclásticos y valvas de conchas fragmentadas. A los nueve metros se encontraron restos de raíces típicas de marisma, lo que otorga información interesante para poder realizar la correlación de facies, dataciones, etc. Algo característico es la presencia de restos de carbón en todo el tramo. El tamaño general de estos restos es milimétrico, haciendo una tarea imposible el reconocimiento de cualquier patrón.

En resumen, se puede decir que este sondeo 2 (HUPP-16-2) representa el relleno interno de un pequeño valle fluvio-mareal, areno-limoso, de influencia continental y semiprotectido por los promontorios acantilados de la bocana del estero. Si se visualiza el estado actual del estuario del Tinto, el estero de la Fontanilla sería un medio natural muy similar al estero Domingo Rubio. Las facies del sondeo HUPP-16-5 son algo más complejas, al reflejar la zona de mezcla

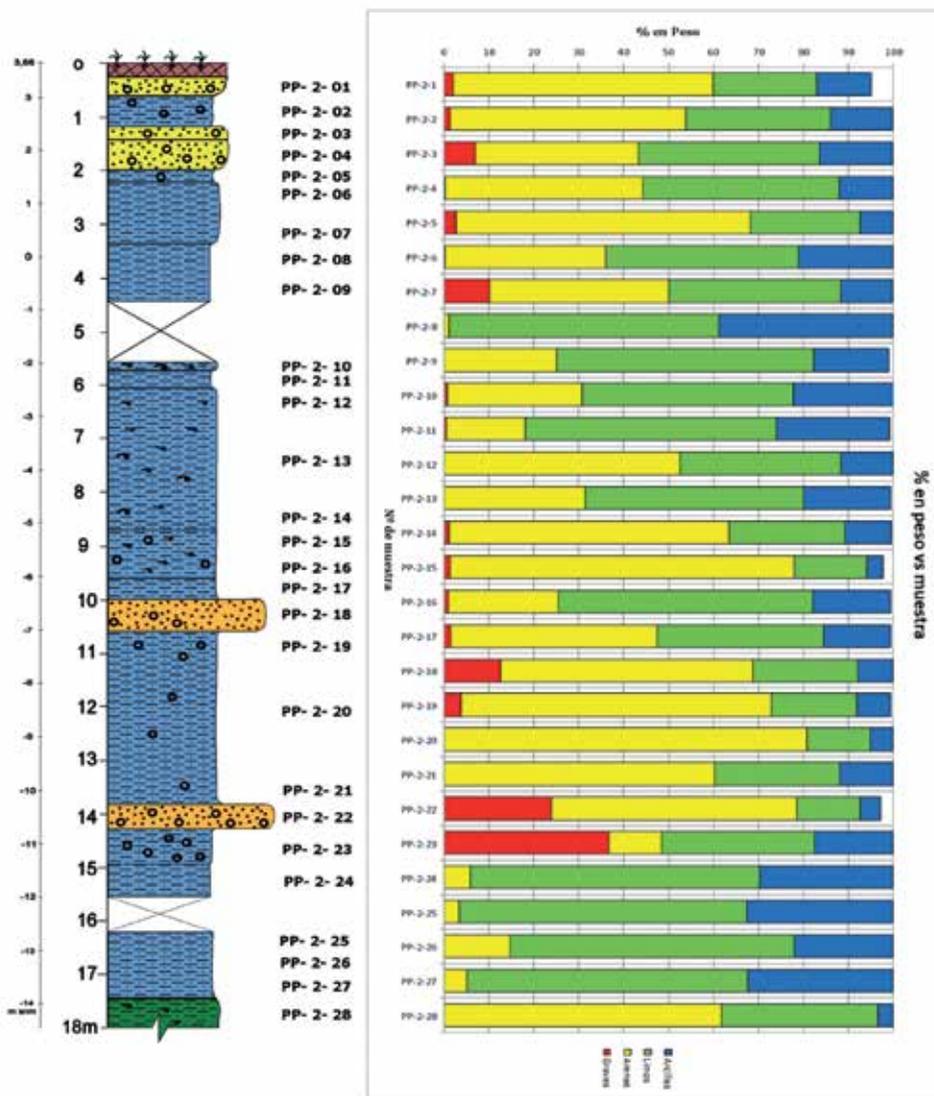


Figura 5. Sondeo HUPP-16-2 junto con la situación de las muestras analizadas y el gráfico resultante de los análisis granulométricos.

en la bocana, entre los aportes de arroyada fluvial y la influencia marina de las mareas que entraban por el río Tinto.

Metodología de dataciones radiocarbónicas

La datación radiométrica es un procedimiento empleado para determinar la edad absoluta de rocas, minerales y restos orgánicos. Un caso particular es la datación por carbono radiactivo (basada en la desintegración del isótopo carbono 14), que comúnmente se utiliza para la datación de restos orgánicos de hasta 50.000 años de antigüedad. Todos los organismos tienen una concentración equilibrada de ^{14}C , debido al constante intercambio de CO_2 no radiactivo de la atmósfera durante sus períodos de vida. Cuando muere el organismo, el intercambio cesa y la concentración de ^{14}C decae con una vida media de 5.570 años. La edad después de la muerte puede determinarse reduciendo la materia por procesos químicos a carbono, que se analiza a continuación; o bien usando un acelerador de espectrometría de masas.

Con las muestras de conchas marinas deben, además, de realizarse otros ajustes en relación con variaciones oceanográficas regionales, resultado del ascenso de aguas profundas deficientes en ^{14}C . Así, se utiliza el parámetro ΔR para intentar corregir el efecto de estas variaciones y obtener una datación más acorde con la realidad.

Soares (2005) fue el primero en determinar el efecto reservorio marino (ΔR) en las costas del golfo de Cádiz. Varios trabajos se publicaron con posterioridad para un cálculo más preciso del ΔR regional, así como para precisar variaciones espaciales y temporales. Para el presente trabajo (Tabla 1), se ha utilizado la publicación más reciente, donde Martins y Soares (2013) calculan un valor ΔR de -108 ± 31 años ^{14}C para las costas andaluzas del golfo de Cádiz, durante los últimos 3.000 años.

Los análisis de nuestras dataciones radiométricas se han realizado en el laboratorio CNA del CSIC-Universidad de Sevilla y su calibrado lo realizó el Dr. Antonio Monge Soares, del Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares de la Universidad de Lisboa.

La profundidad alcanzada por los sondeos y la variedad textural de su registro estratigráfico nos hizo sospechar que los sedimentos extraídos de la ensenada no debían ser sólo el resultado de un relleno reciente, de los últimos siglos, sino que se remontarían a varios miles de años; tal vez en relación con los momentos finales de la conocida como «transgresión Flandriense» o última elevación marina postglaciar.

Lugar y clave de la muestra	Clave del laboratorio	Tipo de muestra	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	Edad de ^{14}C (años BP)	Edad cal. años BP IntCal/Marine13 (2 σ)
Sondeo 2					
PP2-10-C	CNA-4262	MO	-29.4	-198 \pm 28	0
PP2-10-S	CNA-4263	CM	-3.6	7744 \pm 37	8320-8126
PP2-12-C	CNA-4264	MO	-24.5	5831 \pm 33	4785-4604
PP2-12-S	CNA-4284	CM	1.3	6291 \pm 33	6846-6652
PP2-14-C	CNA-4265	MO	-29.0	6323 \pm 31	5365-5221
PP2-16-C	CNA-4266	MO	-28.8	7263 \pm 33	6218-6060
PP2-16/17-C	CNA-4267	MO	-22.2	7504 \pm 33	6440-6257
PP2-17-S	CNA-4268	CM	-4.6	7996 \pm 36	8534-8376
PP2-28-S	CNA-4270	CM	-1.3	54711 \pm 4793	>50000
Sondeo 4					
PP4-10-S	CNA-4271	CM	1.6	6081 \pm 33	6608-6409
PP4-11-C	CNA-4272	MO	-22.6	6467 \pm 32	5483-5368
PP4-12-S	CNA-4273	CM	1.2	7104 \pm 35	7654-7505
PP4-13-S	CNA-4274	CM	-1.3	5428 \pm 33	5892-5711
Sondeo 5					
PP5-4-C	CNA-4275	MO	-24.4	6385 \pm 33	5468-5311
PP5-12-S	CNA-4276	CM	-0.9	7500 \pm 35	8040-7866
PP5-16-C	CNA-4277	MO	-26.7	6407 \pm 32	5469-5325
PP5-18-C	CNA-4278	MO	-26.2	6993 \pm 33	5982-5785
PP5-19-S	CNA-4279	CM	-0.4	5690 \pm 30	6187-5990
PP5-20-C	CNA-4280	MO	-28.0	7437 \pm 33	6392-6236
PP5-20-S	CNA-4281	CM	-2.5	7664 \pm 36	8212-8006
PP5-50-S	CNA-4283	CM	-1.2	45682 \pm 1568	>50000-45862

Tabla 1. Edades convencionales y calibradas de las muestras seleccionadas en los sondeos del estero de la Fontanilla, Palos de la Frontera. Laboratorio CNA: Centro Nacional de Aceleradores, Sevilla. MO es materia orgánica, CM es concha marina.

Para esta analítica se seleccionaron en los tres sondeos (Tabla 1) 21 muestras de distinta naturaleza, fragmentos de carbón de origen terrestre y conchas de procedencia marina. La selección de dichas muestras dependió de la calidad y cantidad de cada una de ellas, de su génesis y del nivel estratigráfico en el que aparecían; por tanto, las muestras no se encuentran a profundidades preestablecidas, ni igual número de muestras en cada uno de los sondeos. A esto deben añadirse problemas de contaminación natural, en un sedimento permanentemente sumergido, que sobre todo ha afectado a las conchas marinas. Algunas edades en muestras de carbón también han debido de rechazarse por tener resultados incongruentes con la secuencia cronológica.

Interpretación de facies sedimentarias: El sondeo 4

El sondeo 4 (HUPP-16-4, en la Fig. 1) se localiza en la margen derecha de la bocana del estero de la Fontanilla, a 3,42 m s.n.m. (sobre el nivel medio del mar actual), y alcanzó la profundidad de 7,5 m, hasta penetrar en el sustrato de «Margas Azules». Este sondeo ha sido utilizado por la graduada en Geología Dña. Marta Arroyo Serrano para realizar en 2018 su Trabajo Fin de Grado (TFG) bajo la dirección de los Drs. María Luz González-Regalado y Joaquín Rodríguez Vidal y se tituló «Análisis micropaleontológico de un testigo de sondeo en la ensenada colombina de Palos de la Frontera (Huelva)».

De este sondeo se han tomado 18 muestras (Fig. 6) para su análisis granulométrico y micropaleontológico, aportando una gran información sobre la interpretación paleoambiental de este pequeño estuario. En su composición, de muro a techo, se diferencian cuatro tramos principales:

- 2,5 m de arenas limosas con niveles de limos arenosos y arcillosos e intercalaciones de gravas y arenas con gravas. En dichos niveles se observan restos de vegetales, así como carbón, además presentan fauna de moluscos y abundantes bioclastos.
- 3,5 m de limos arcillosos con abundantes restos de carbón y restos vegetales.
- 0,25 m de arenas limosas.
- 1,25 m de arenas y arenas limosas con presencia escasa de restos vegetales.

El análisis de la microfauna (ostrácodos y foraminíferos) se ha basado en 15 de las 18 muestras tomadas, 10 de ellas presentan microfósiles, y estas serían: PP-4-5, PP-4-6, PP-4-7, PP-4-10, PP-4-11, PP-4-12, PP-4-13, PP-4-14, PP-4-15 y PP-4-16 (Fig. 6). Se han determinado un total de 1841 individuos y 40 especies. La mayoría de las muestras presentan restos de moluscos (bivalvos y gasterópodos), espículas de equinoideos, fragmentos de vegetales y de carbón y restos de óxidos. Es destacable la presencia de moluscos en las muestras PP-4-10 y PP-4-11, en las que abundan frecuentemente ejemplares completos y fragmentos de bivalvos, gasterópodos y escafópodos.

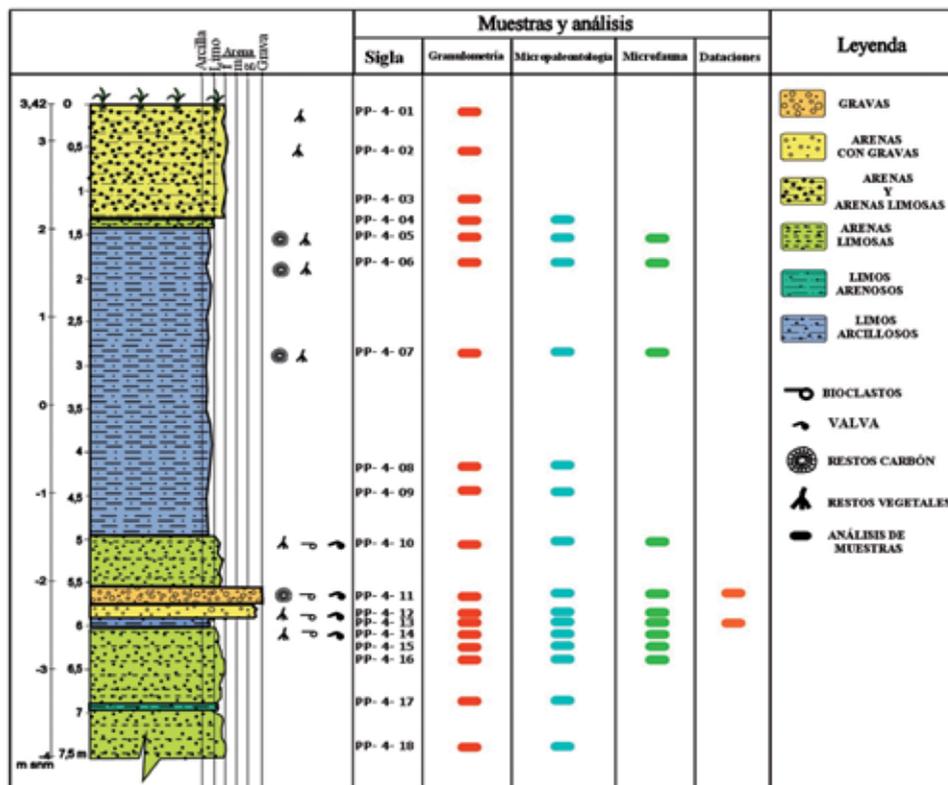


Figura 6. Columna estratigráfica del sondeo HUPP-16-4 con el correspondiente muestreo y análisis realizados.

Los foraminíferos alóctonos se concentran en un tramo específico de la columna, desde la muestra PP-4-15 hasta la muestra PP-4-10. Los foraminíferos autóctonos (indicadores del medio local) varían de muro a techo en la columna estratigráfica, tanto en número de individuos como en especies. Los limos arcillosos muestran menor número de individuos y especies, en cambio se incrementan con el aumento del tamaño de grano, hacia las arenas limosas y arenas con gravas, siendo máximos en el nivel de gravas a 5,6 m de profundidad.

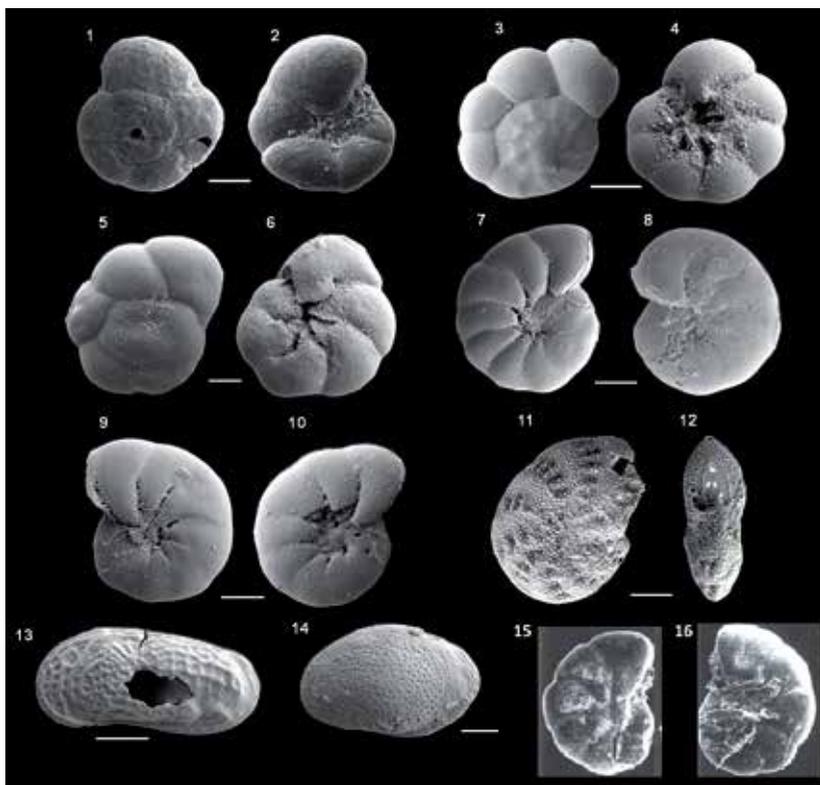


Figura 7. Foraminíferos y ostrácodos más representativos del sondeo HUPP-4-16. FORAMINÍFEROS: 1. *Trochammina inflata* v. dorsal (PP-4-7). 2. *Trochammina inflata* v. ventral (PP-4-7). 3. *Ammonia beccarii* v. dorsal (PP-4-10). 4. *Ammonia beccarii* v. ventral (PP-4-11). 5. *Ammonia tepida* v. dorsal (PP-4-11). 6. *Ammonia tepida* v. ventral (PP-4-10). 7. *Haynesina depressula* v. dorsal (PP-4-11). 8. *Haynesina depressula* v. umbilical (PP-4-10). 9. *Haynesina germanica* v. dorsal (PP-4-10). 10. *Haynesina germanica* v. ventral (PP-4-11). 11. *Elphidium advenum* v. general (PP-4-11). 12. *Elphidium advenum* v. lateral (PP-4-11). 15. *Jadammina macrescens* v. dorsal (PP-4-5). 16. *Jadammina macrescens* v. umbilical. (PP-4-5) imágenes tomadas de González-Regalado et al. (1998). OSTRÁCODOS: 13. *Leptocythere fabaeformis* v. izda. (PP-4-11). 14. *Loxococoncha rhomboidea* v. izda. (PP-4-11). Escala = 100 μ m.

El estudio de las facies sedimentarias, descritas en el sondeo, ha permitido diferenciar 6 episodios principales:

Fase 1: incluye las muestras PP-4-18 y PP-4-17, entre 4 y 3,5 m b.n.m. (bajo el nivel medio del mar actual), constituidas por arenas limosas que no contienen foraminíferos ni ostrácodos. Las observaciones de campo parecían indicar que estos sedimentos se debían corresponder con la unidad mio-pliocena «Formación Arcillas de Gibraleón», lo que indicaría que inicialmente la zona estaba emergida, con un nivel del mar más bajo que el actual, conformando el lecho o ladera de un antiguo arroyo. (Murray, 1973).

Fase 2: se correspondería con las muestras PP-4-16 a PP-4-13, entre 3,5 y 2,5 m b.n.m. Están formadas por arenas limosas y limos arcillosos con restos de moluscos, espículas de equinoideos y escasa microfauna. Esta fase se caracteriza por la presencia en algunas muestras de *Ammonia tepida*. Podría deberse a un aumento progresivo de la influencia marina (González-Regalado *et al.*, 2001) que daría lugar a un pequeño canal mareal de escasa profundidad, indicador del final del ascenso marino Flandriense.

Fase 3: se corresponde con las muestras PP-4-12 a PP-4-10 situadas entre 2,5 y 1,5 m b.n.m. Comprenden arenas con gravas, gravas y arenas limosas en las que se incrementa significadamente el contenido en foraminíferos bentónicos. Por otra parte, se observa la aparición de foraminíferos planctónicos y ostrácodos, además de la presencia de restos y ejemplares completos de macrofauna. La asociación de especies de foraminíferos presentes en esta fase está formada por *Ammonia tepida*, *Ammonia beccarii*, *Haynesina germanica*, *Elphidium advenum* y *Haynesina depressula*. La asociación de ostrácodos la conforman las especies *Loxococoncha rhomboidea* y *Leptocythere fabaeformis*. Por otro lado destaca la presencia de especies del género *Textularia*, que corresponden a condiciones marinas. Se trata de asociaciones propias de medios de marisma baja (Ruiz Muñoz *et al.*, 1996), que indicarían un claro aumento de la influencia marina producida por una subida relativa del nivel del mar (máximo transgresivo). Esta situación daría lugar a la formación de un canal mareal de cierta profundidad. Además se han identificado ejemplares procedentes de formaciones geológicas más antiguas (Fm. Arenas de Huelva) que hacen pensar en procesos de erosión por arroyada de estos materiales, lo que apoya esta hipótesis.

Fase 4: incluye las muestras PP-4-9 y PP-4-8 que se encuentran entre 1,5 y 0,5 m b.n.m. La forman limos arcillosos que no contienen microfauna. Podría

indicar la emersión de la zona, por colmatación sedimentaria, o una bajada relativa del nivel del mar.

Fase 5: representada por las muestras PP-4-7 a PP-4-5, que se encuentran entre 0,5 m b.n.m. y 2 m s.n.m. Están constituidas por limos arcillosos con presencia de *Trochammima inflata* (PP-4-7 y PP-4-6) y *Jadammina macrescens* (PP-4-5). En todas ellas es abundante la materia orgánica. Estas especies son frecuentes en medios de marisma alta de zonas estuarinas (Ruiz Muñoz *et al.*, 1996), lo que indicaría la formación de una marisma, y el paso de la misma desde una marisma baja a una marisma alta.

Fase 6: comprende el tramo de las muestras PP-4-4 a PP-4-1, desde 2 a 3,4 m s.n.m. La forman arenas y arenas con gravas, cuya presencia en el techo del sondeo podría atribuirse a una fase de emersión por relleno antrópico. No se encuentran fósiles en estos materiales.

Correlaciones cronoestratigráficas y paleoambientales

Los estuarios constituyen una de las zonas más complejas para el estudio de microorganismos (Murray, 1973). Los estuarios del suroeste de España presentan una fuerte correlación entre el medio sedimentario y las asociaciones de foraminíferos, principalmente en aéreas intermareales. El grado de acción mareal permite diferenciar entre los medios expuestos externos y las zonas protegidas internas. La determinación de las asociaciones de especies resulta de gran utilidad en el análisis de medios fósiles para determinar las condiciones de transporte, cambios físico-químicos periódicos en las aguas y la distribución de los distintos submedios (González-Regalado, 1986). Atendiendo a las condiciones paleogeográficas y a la interpretación de las facies sedimentarias presentes, se ha procedido a la reconstrucción de las condiciones paleoecológicas y paleoambientales de la zona estudiada (Fig. 8). Siempre teniendo en cuenta que hasta ahora las biofacies sólo se han realizado en el sondeo HUPP-16-4 y las correlaciones con los otros sondeos HUPP-16-2 y HUPP-16-5 se han hecho en función de las características texturales y de algunas fechas de radiocarbono, principalmente localizadas en el tercio inferior de cada uno de los tres sondeos.

Con los datos que nos proporcionan los tres sondeos, hasta ahora analizados, podemos establecer una evolución temporal del relleno sedimentario del

valle-ensenada de La Fontanilla (Fig. 8). Este registro lo utilizamos para interpretar la evolución paleoambiental de, probablemente, casi todo el Holoceno y, con seguridad, del último ascenso marino durante la fase final de la transgresión Flandriense.

El sustrato del fondo de la ensenada y parte de las laderas del valle están constituidas por la formación «Arcillas de Gibraleón», de edad Mioceno final a Plioceno inferior, familiarmente conocida como «margas azules». En las zonas altas de las laderas de ambos flancos del valle, sobre todo aguas arriba, afloran arenas finas y limos de la formación «Arenas de Huelva» y las arenas gruesas y gravas de la formación «Arenas de Bonares» que, por fenómenos de arroyada, han contribuido al relleno basal del registro holoceno.

La secuencia basal de los sondeos (Fig. 8) parece representar el relleno terrestre del fondo de la ensenada, con aportes por arroyada de limos, arenas y gravas de las laderas de los cerros marginales, junto con aluviones en el lecho fluvial.

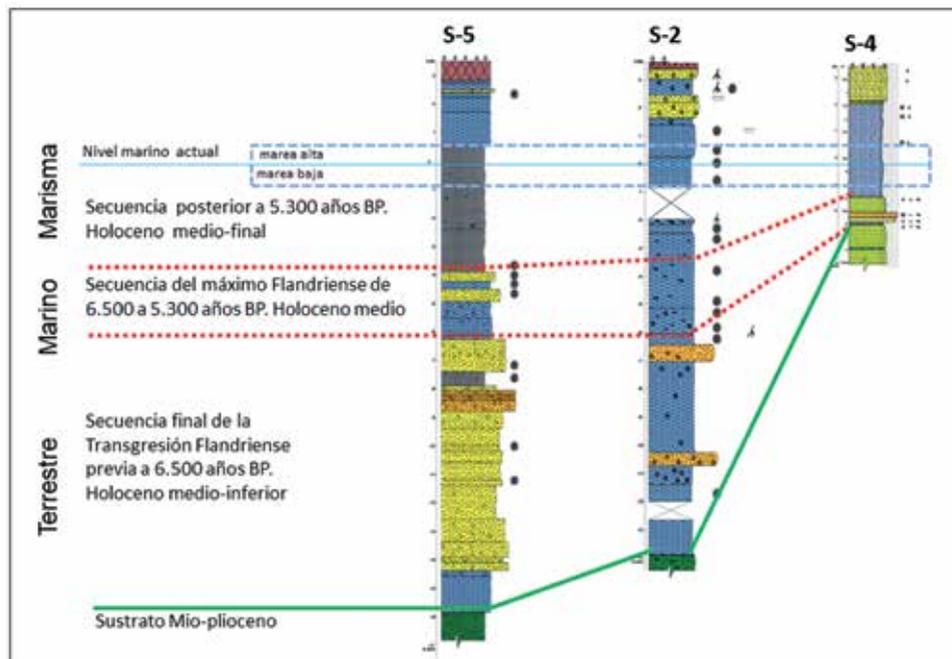


Figura 8. Correlación cronológica y bioestratigráfica de los tres sondeos estudiados en la ensenada de Palos de la Frontera y su interpretación paleoambiental.

Todo este conjunto alcanza espesores de casi 10 m en el sondeo-5 (HUPP-16-5), 7 m en el sondeo-2 (HUPP-16-2) y no aparece en el sondeo-4 (HUPP-16-4). Aunque carecemos de dataciones isotópicas, la edad de esta secuencia es del Holoceno inferior-medio, previa a las primeras dataciones marinas suprayacentes, de hace unos 6.500 años.

La secuencia intermedia (Fig. 8) ya sí que está representada en los tres sondeos y, en todos ellos, aparece abundante fauna marina que ha sido muy bien datada por radiocarbono-AMS, además de algunas muestras de materia orgánica. Las edades calibradas BP (antes del presente, año 1950 de nuestra Era) están comprendidas entre hace 6.500 y 5.300 años, que correspondería al registro final del ascenso eustático Flandriense, al penetrar el mar en el primitivo arroyo de La Fontanilla y convertirlo en un pequeño estuario marginal del río Tinto (Fig. 9). Los espesores de la secuencia están entre 2,5 (HUPP-16-5) y 3 m (HUPP-16-2) en la zona más profunda del centro del canal, y 2 m (HUPP-16-4) en la margen derecha de la bocana. Las interpretaciones de los paleoambientes y sus asociaciones faunísticas, junto con las edades de radiocarbono,



Figura 9. Reconstrucción paleogeográfica de la ensenada de Palos hace unos 5.300 años, cuando suponemos que se produjo el máximo alto marino flandriense, que invadió el antiguo arroyo afluente del río Tinto (imagen basal de Google Earth). Los metros indican los calados en marea alta media.

nos demuestran que hace 6.500 años el mar aún no había alcanzado su cota actual y se encontraría unos 6 m por debajo. El presente nivel marino se alcanzó hace unos 5.300 años BP, durante la época del Neolítico final (Fig. 9), con abundantes asentamientos humanos en la costa del golfo de Cádiz (Ramos *et al.*, 2013). Este registro marino es la primera evidencia fehaciente de cómo se alcanzó el máximo Flandriense en la costa del golfo de Cádiz y el momento en que se produjo, hace unos 5.300 años.

La ensenada colombina según los registros de sondeos

Los sondeos que hasta ahora hemos analizado no han aportado aun una información reveladora sobre las variables físicas y ambientales que existieron durante la época colombina. No sucede lo mismo con las evidencias de las excavaciones arqueológicas, que se realizaron en las campañas de los años 2009 y 2013. Durante esta última se abordaron tres objetivos principales: localizar las estructuras del puerto y analizar sus características; reconstruir el paisaje de for-



Figura 10. Reconstrucción paleogeográfica de la ensenada de Palos durante los siglos XIV y XV, durante la época Colombina (imagen basal de Google Earth). Los metros indican los calados en marea alta media.

ma evolutiva, centrándose de forma específica en época colombina; y, por último, estudiar las posibilidades de navegación del estero (Fig.10).

El primero de los objetivos se inició con una amplia prospección geofísica de georradar, siguiendo los descubrimientos previos. Se buscaron zonas susceptibles para la existencia de restos enterrados, a lo que prosiguieron campañas de excavación sobre la ensenada en los años posteriores y que han llegado hasta el día de hoy. El resultado de las investigaciones ha desembocado en la localización de restos que afirmaban la existencia del puerto de Palos en la ensenada del valle del estero. Estos consisten básicamente en dos elementos de gran relevancia, que la documentación histórica recogía, el Horno y la Alota que suponían un imponente complejo industrial-portuario de comienzo de los siglos XV-XVI, quedando evidente el papel tan destacado que jugó este enclave marítimo-fluvial en el devenir histórico de los puertos del Tinto.

Los primeros elementos descubiertos fueron los hornos. Un importante complejo alfarero sometido a una alta reglamentación en las Ordenanzas (Pozo *et al.*, 1996). Se excavaron 10 hornos destinados a la producción de material cerámico, material de construcción y cocción de alimentos. El complejo presenta además la sala del torno, las balsas de decantación de arcillas y el corral para el secado de los materiales; lo que lo convierte en un ejemplo de producción complejo, excepcional en Europa.

Sin embargo, el descubrimiento de la Alota es el más relevante de todos. Esta estructura, además de albergar la aduana, sirvió de posada y mesón para los marineros, así como lugar de almacén de los diferentes productos provenientes de las actividades marítimas que se comerciaron con otros puertos atlánticos. Es decir, el motor del puerto donde se realizaban todas las transacciones comerciales.

Durante los siglos XIV y XV el estero es utilizado por los habitantes de la villa de Palos para actividades marítimas (Fig. 10) como: la pesca, el comercio, el corso y la piratería. Durante estos siglos, el puerto de Palos toma gran relevancia a nivel peninsular, siendo uno de los puertos de mayor importancia para los Reyes Católicos. Tanto es así que el 3 de agosto de 1492 desde el Puerto colombino de Palos parten los navíos que descubrirán el Nuevo Mundo a manos de Cristóbal Colón.

Estratigráficamente, aun carecemos de los datos isotópicos o cronológicos suficientes como para delimitar el tramo que esta época colombina ocupa en los sondeos geológicos estudiados, aunque podemos aproximarnos a su inter-

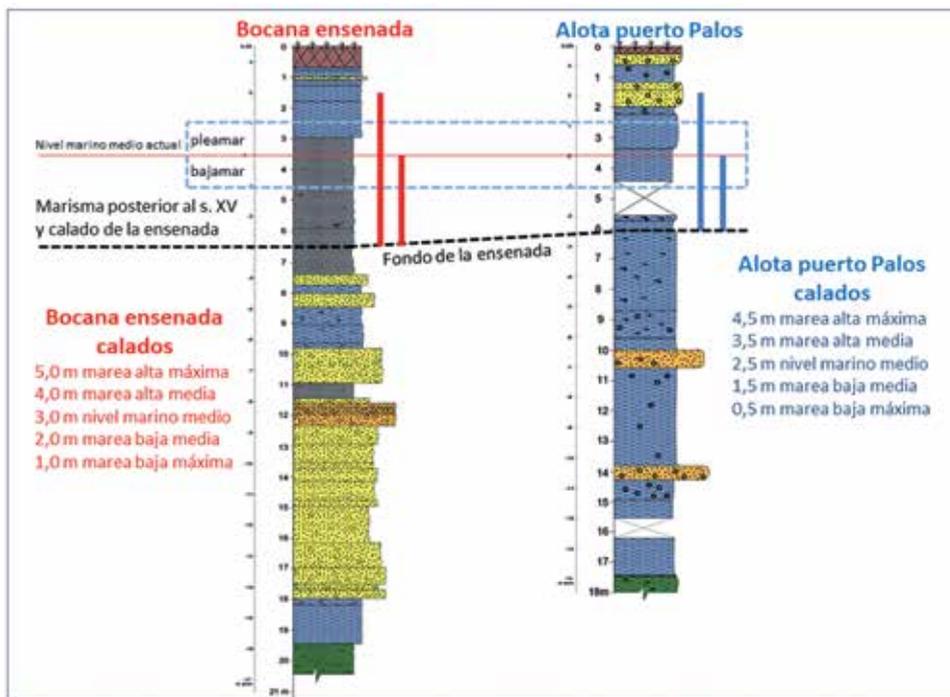


Figura 11. Sondeos en la bocana de la ensenada de Palos y frente a la alota del puerto, donde se representan los calados según rangos de mareas, durante la época Colombina.

pretación paleoecológica y ambiental. Presenta una asociación de foraminíferos bentónicos dominada por *Ammonia tepida*, *Haynesina germanica* y *Haynesina depressula*, más abundantes en la base de este tramo, donde también aparecen frecuentes restos de carbón, moluscos y espículas de equinodermos. En la parte final, las espículas desaparecen y estas especies están acompañadas de frecuentes valvas adultas y juveniles de ostrácodos (*Cyprideis torosa*, *Loxoconcha elliptica*, *Leptocythere castanea*), aumentando la presencia de restos carbonosos.

La asociación de *A. tepida* (como *A. inflata*)-*Haynesina* spp. es característica de canales someros y bordes de canal próximos a las desembocaduras fluviales de los estuarios del SW de España (González-Regalado *et al.*, 2001). En la parte superior de este tramo, la asociación de ostrácodos presente se ha encontrado en canales finalizadores muy someros (<1 m de profundidad) con salinidad media (2-25 por mil) de otros estuarios del SW de España, con baja renovación

y escaso gradiente hidrodinámico. Esta asociación también es característica de medios lagunares holocenos de esta área.

Según estos datos, en época Colombina la ensenada de Palos tendría una zona de marisma externa en la confluencia con el río Tinto, y sería un canal navegable en marea media y alta, teniendo alguna dificultad de atraque, de barcos en plena carga, en el sector del puerto durante la marea baja. La diferencia de calado entre esta zona y la bocana sería de aproximadamente 0,5 m. Los valores de calado en ambas zonas, con los distintos rangos medios de marea, se representan en la figura 11. Estos valores deberán en el futuro ser revisados y corregidos, cuando dispongamos de dataciones más precisas de los sedimentos inmediatamente anteriores al siglo XIV.

Resultados presentes y trabajos futuros

La campaña de sondeos realizada en el verano de 2016 (Fig. 2), y financiada por el Ayuntamiento de Palos de la Frontera, nos ha permitido recopilar una importante información paleoambiental de, posiblemente, casi todo el período Holoceno. Los tres sondeos analizados hasta ahora nos han proporcionado los rasgos generales de los procesos naturales y antrópicos que han condicionado el relleno sedimentario de la antigua ensenada de Palos. Se han realizado análisis granulométricos, micropaleontológicos, faunísticos, polínicos y de dataciones de radiocarbono. En la actualidad se están efectuando los análisis mineralógicos y geoquímicos, que nos hablarán de la historia de la contaminación en el estuario del río Tinto.

Los otros cuatro sondeos están en la fase de los análisis fundamentales (texturales y paleontológicos), ejecutándose los restantes en un futuro inmediato, en función de las necesidades del proyecto y de la disponibilidad presupuestaria.

Todos los estudios se han realizado en el marco de los grupos de investigación del PAIDI de la Junta de Andalucía, radicados en la Universidad de Huelva: RNM-293, RNM-238 y HUM-132, además de las ayudas de otros equipos y colegas de las Universidades de Alcalá de Henares, Sevilla y Lisboa. Hay que tener en cuenta la inestimable ayuda de alumnos colaboradores que, en el marco de este proyecto, han realizado y realizarán Trabajos de Fin de Grado (TFG), Trabajos de Fin de Master (TFM) y Tesis Doctorales.

Bibliografía

- González-Regalado, M. L., (1986). *Las asociaciones de foraminíferos bentónicos en las arenas fosilíferas del Plioceno de Huelva*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla. 314 p.
- González-Regalado, M. L., Ruiz, F., Baceta, J. I., González-Regalado, E. y Muñoz, J. M. (2001). Total benthic foraminifera assemblages in the southwestern Spanish estuaries. *Geobios*, 34 (1), pp. 39-51.
- Martins, J. M. M. y Soares, A. M. M. (2013). Marine radiocarbon reservoir effect in Southern Atlantic Iberian coast. *Radiocarbon*, 55 (2-3), pp. 1123-1134.
- Murray, J. W. (1973). *Distribution and ecology of living benthic Foraminiferids*. Heineman. 274 p. London.
- Pozo, F., Campo, J. M. y Borja, F. (1996). *Puerto histórico y castillo de Palos de la Frontera*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Huelva.
- Ramos, J., Vijande, E., Cantillo, J. J., Pérez Rodríguez, M., Domínguez-Bella, S. y Gutiérrez López, J. M. (2013). Las sociedades tribales neolíticas en la zona litoral e interior de Cádiz. Continuidad poblacional y proceso histórico. *Menga*, 4, pp. 79-101.
- Ruiz Muñoz, F., González-Regalado, M. L. y Morales, J. A. (1996). Distribución y ecología de los foraminíferos y ostrácodos actuales del estuario mesomareal del río Guadiana (S. W. España). *Geobios*, 29 (5), pp. 513-528.
- Soares, A. M. M. (2005). *Variabilidade do «Upwelling» Costeiro durante o Holocénico nas Margens Atlânticas Ocidental e Meridional da Península Ibérica*. Unpublished PhD dissertation. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve.
- Stuiver, M. y Braziunas, T. F. (1993). Modeling atmospheric ^{14}C influences and ^{14}C ages of marine samples to 10000 BC. *Radiocarbon* 35, pp. 137-189.