

- Palanques, A. y Guillén, J. 1992. Transporte de sedimentos en suspensión en la parte baja del río Ebro (Mediterráneo Occidental). Impacto ambiental de las presas. *Geogaceta* 12: 37–40.
- Salomon, F. 2013. Géographie du delta du Tibre: Evolution géomorphologique holocène et contraintes hydrosédimentaires dans le système Ostie - Portus (Thèse de doctorat en Géographie Physique / Géographie). Université Lyon 2.
- Salomon, F., Goiran, J.P., Bravard, J.P., Arnaud, P., Djerbi, H., Kay, S. y Keay, S. 2014. A harbour–canal at Portus: a geoarchaeological approach to the Canale Romano: Tiber delta, Italy. *Water History* 6:31–49.
- Salomon, F., Goiran, J.P., Pannuzi, S., Djerbi, H. y Rosa, C. 2016b. Long-Term Interactions between the Roman City of Ostia and Its Paleomeander, Tiber Delta, Italy. *Geoarchaeology* 32 (2): 215–229.
- Salomon, F., Keay, S., Carayon, N. y Goiran, J.P. 2016c. The development and characteristics of ancient harbours—Applying the PADM chart to the case studies of Ostia and Portus. *PLoS ONE* 11(9): e0162587.
- Salomon, F., Keay, S., Strutt, K., Goiran, J.P., Millett, M. y Germoni, P. 2016a. Connecting Portus with Ostia: preliminary results of a geoarchaeological study of the navigable canal on the Isola Sacra, en C. Sanchez and M.P. Jézégou (eds) *Les ports dans l'espace Méditerranéen antique. Narbonne et les systèmes portuaires fluvio-lagunaires, Actes du colloque de Montpellier 2014*: 293–304. Narbonne, Revue Archéologique de Narbonnaise, Supplément 44.
- Salomon, F., Lebrun-Nesteroff, L., Goiran, J.P., Boetto, G., Arnoldus-Huyzendveld, A., Germoni, P., Ghelli, A., Mazzini, I., Vittori, C. y Zampini, S. 2020. The Portus to Ostia Canal. A multi-proxy analysis of the evolution of the Portus to Ostia canal, en S. Keay, M. Millett, K. Strutt y P. Germoni, (eds) *The Isola Sacra Survey Ostia, Portus and the port system*: 123–139. McDonald Institute Monographs, University of Cambridge.
- Segre, A.G. 1986. Considerazioni sul Tevere e sull'Aniene nel Quaternario, en S. Quilici Gigli (ed.) *Il Tevere e le altre vie d'acqua del Lazio antico. Archeologia Laziale* 7: 9–17.
- Tabla de mareas, 2021. Tabla de mareas del mundo, visto el 18 de diciembre de 2021 <https://tablademareas.com/mareas/coeficiente-marea>.
- Vacchi, M., Marriner, N., Morhange, C., Spada, G., Fontana, A. y Rovere, A. 2016. Multiproxy assessment of Holocene relative sea-level changes in the western Mediterranean: Sea-level variability and improvements in the definition of the isostatic signal. *Earth-Science Reviews* 155: 172–197.
- Vittori, C., Mazzini, I., Salomon, F., Goiran, J.P., Pannuzi, S., Rosa, C. y Pellegrino, A. 2014. Palaeoenvironmental evolution of the ancient lagoon of Ostia Antica (Tiber delta, Italy). *Journal of Archaeological Science* 54: 374–384.

8.

Nacimiento, desarrollo y ocaso de *Portus*: Datos geoarqueológicos sobre el *Canale di Imbocco*

M. Arroyo¹, G. Gómez¹, F. Ruiz^{1,a,*}, A. Francisco Muñoz², M. L. González-Regalado¹, J. Rodríguez Vidal^{1,a}, F. Muñiz³, L. M. Cáceres¹, P. Gómez¹, M. Abad⁴, T. Izquierdo⁴, V. Romero¹

¹Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva.

²Departamento de Ciencias Integradas, Universidad de Huelva.

³Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola, Universidad de Sevilla.

⁴Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos.

^aCentro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural, Universidad de Huelva.

Resumen

El análisis multidisciplinar (textura, macrofauna, microfauna, restos vegetales) de la parte superior de un testigo obtenido en el Canal di Imbocco, situado en el antiguo puerto romano de *Portus* (Fiumicino, Roma), ha permitido definir la evolución paleoambiental postrera de este sector de tránsito entre el puerto exterior construido por el emperador Claudio y el puerto interior, obra del emperador Trajano. En una primera fase, la colmatación parcial de este canal se debió a la acumulación de *Posidonia oceanica* en su fondo, procedente de las praderas que poblaban la zona litoral adyacente. En una segunda fase, la conexión fluvio-marina del canal continuaba, con el transporte en suspensión de fauna marina hacia las zonas internas del puerto. Finalmente, el abandono del canal quedó expresado en la presencia de sedimentos fluviales, de origen natural y/o antrópico.

Palabras clave

sedimentología; foraminíferos; evolución paleoambiental; canal del Imbocco; *Portus*; Italia Central.

Abstract

The multidisciplinary analysis (texture; macrofauna; microfauna; vegetable remains) of a core obtained in the Canale di Imbocco (old Roman port of *Portus*, Fiumicino, Rome) has allowed us to define the final paleoenvironmental evolution of this channel, located between the external basin of Claudius and the most protected port of Trajan. In a first phase, the accumulation of *Posidonia oceanica* caused the partial infill of this channel, transported from the adjacent littoral meadows. The second phase is characterized by a continuous fluvio-marine interaction, with the transport in suspension of numerous planctonic foraminifera towards the innermost zones of this port. Lastly, the final fluvial or anthropic filling of the canal demonstrates its disconnection from the sea and the end of port activity.

Keywords

sedimentology; benthic foraminifera; paleoenvironmental evolution; Imbocco channel; *Portus*; Central Italy.

Introducción

A lo largo de la historia, los puertos han representado la conexión entre tierra y mar en todos los ámbitos. En la vertiente geológica, su propia ubicación está ligada en numerosas ocasiones a zonas abrigadas (calas, golfos, bahías) en costas acantiladas o a desembocaduras fluviales, para poseer una conexión con puertos interiores, entre otras muchas posibilidades. Su devenir está condicionado por el oleaje y las mareas, los tsunamis y las tormentas, los flujos fluviales oscilantes o la colmatación sedimentaria, además de los propios avatares antrópicos. En consecuencia, su propia existencia está íntimamente ligada: i) a la franja costera sobre la que se construyen y desarrollan; ii) al mar u océano próximo; y iii) al ser humano.

A partir de las ideas anteriormente enumeradas, la geoarqueología estudia los componentes abióticos del paisaje, como base para reconstruir los paisajes y los georrecursos, así como analiza



Figura 1. A. Localización geográfica de Portus; B: mapa de Portus y su entorno (cortesía de Google Earth); C: partes de Portus y situación de los testigos y edificaciones analizados.

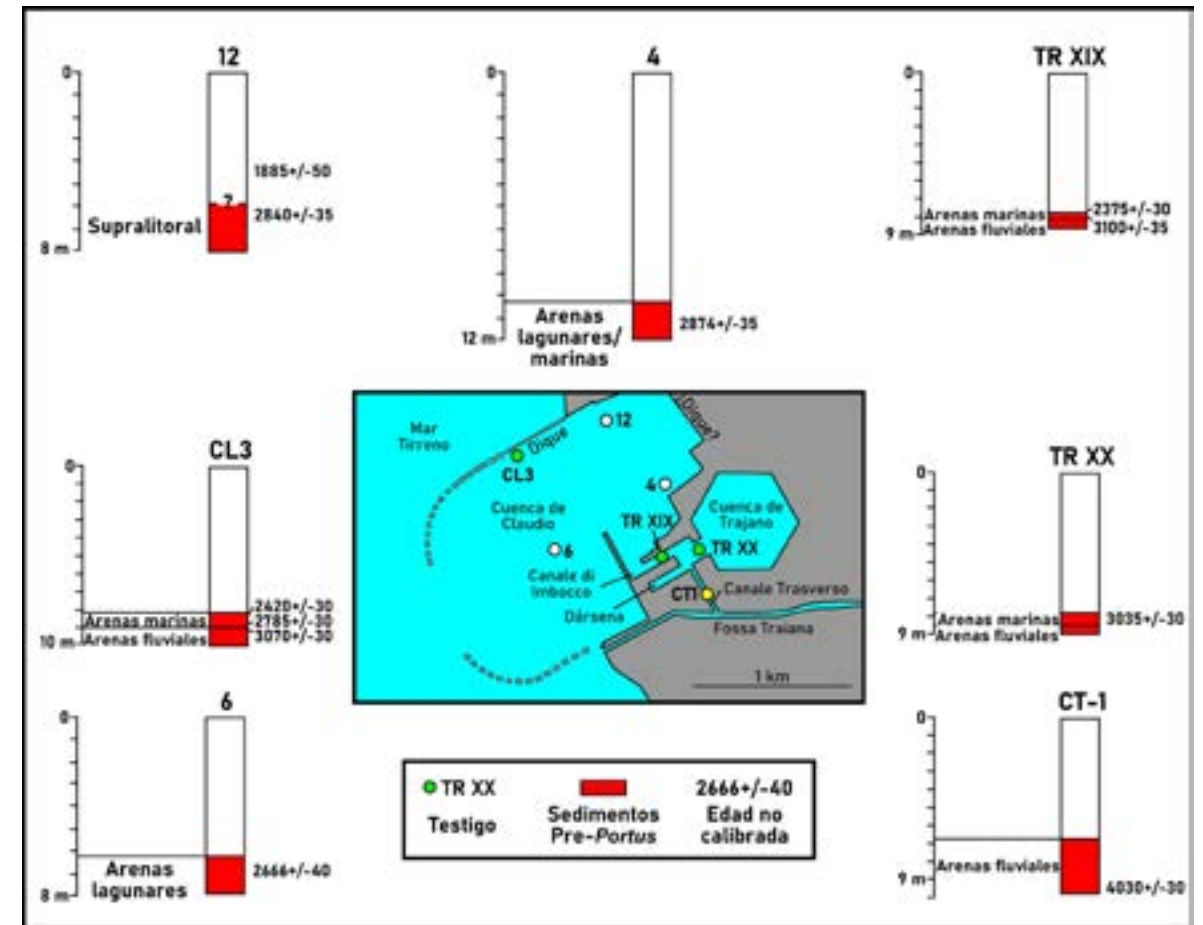


Figura 2. Localización e interpretación paleoambiental de los sedimentos depositados antes de la construcción de Portus

principios del siglo II AD; y ii) la exportación de los productos del valle del Tíber. Sus constantes problemas de colmatación y su destrucción durante las guerras góticas (536-552 AD) ocasionaron su progresivo deterioro y declive final (O'Connell *et al.*, 2019).

Desde el punto de vista geológico, el registro de Portus ha sido profusamente estudiado e interpretado a partir del análisis multidisciplinar (sedimentología, registro fósil, geoquímica, dataciones, etc.) de numerosos testigos continuos extraídos en los tres sectores citados (Figura 2).

¿Dónde se construyó portus?: una aproximación paleoambiental

El registro geológico de Portus y su entorno ha sido profusamente estudiado a través de numerosos testigos (Bellotti *et al.*, 2007; Goiran *et al.*, 2010; Mazzini *et al.*, 2011; Di Bella *et al.*, 2011; Salomon *et al.*, 2012; Pepe *et al.*, 2013; etc.). Los sedimentos previos a la construcción de Portus Augusti suelen encontrarse a 6-10 m de profundidad y tienen unas edades no calibradas que oscila entre los 3100-2700 ± 30-35 años BP (Figura 2), correspondientes a unas edades calibradas comprendidas entre los siglos IX-III BCE en la mayoría de los casos. Este rango depende del intervalo de calibración utilizado (1σ-2σ) y del material empleado (conchas de bivalvos, fragmentos de *Posidonia*, carbón, etc.). Las primeras fases de construcción y dragado de Portus ocasionaron la pérdida de parte de la columna sedimentaria y la presencia de un hiato en las dataciones de unos 500-800 años (Figura 2: TR XIX).

Hacia el norte, se encontraría una zona supralitoral, formada probablemente por cordones dunares, en el sector situado entre el testigo 12 y las zonas septentrionales de la cuenca de Trajana (Figura

los procesos de formación de los yacimientos arqueológicos (Benito-Calvo *et al.*, 2014). Con este fin, utiliza técnicas multidisciplinares procedentes de diversas disciplinas geológicas, como la Estratigrafía, Sedimentología, Petrología Sedimentaria, Geomorfología o Geoquímica, entre otras (Polo, 2007-2008).

En estas investigaciones, es usual el reconocimiento del registro paleontológico asociado (Tapias *et al.*, 2012). En medios costeros, la aplicación de todos estos métodos se suele acompañar con la extracción y revisión de testigos continuos (Pepe *et al.*, 2013). Para poder deducir su evolución paleogeográfica y paleoambiental, es frecuente la determinación de las asociaciones de bivalvos y foraminíferos, así como sus cambios verticales (Kaniewski *et al.*, 2018).

Uno de los principales puertos de la antigüedad fue Portus, situado en la desembocadura del río Tíber, a unos 30 km al sur de Roma. Este puerto fue construido por los emperadores Claudio y Trajano entre los siglos I-II CE y estaba dividido en tres sectores principales (Figura 1, A-B): i) el puerto exterior o cuenca de Claudio (~200 Ha), protegido por dos diques; ii) la Darsena (~1 Ha); y iii) un puerto interior o hexágono de Trajano, comunicado con el puerto exterior a través del Canale di Imbocco. Este conjunto portuario tenía una conexión con el río Tíber a través de la Fossa Traiana, un canal artificial.

Este puerto cumplía dos funciones primordiales: i) la importación de materias primas y alimentos para satisfacer principalmente a Roma, una ciudad de alrededor de un millón de personas a

2). Esta zona emergida transitaría hacia una laguna relativamente protegida en la parte central (Figura 2: testigos 4 y 6).

La periferia de esta antigua laguna (Figura 2: CL3-TR XIX-TR XX) habría asistido a un tránsito desde unas arenas fluviales basales, procedentes de los aportes del río Tíber a su aparato deltaico, a unas arenas marinas, localmente con restos de *Posidonia*. Este tránsito se habría producido entre los siglos X-VIII BCE (Goiran *et al.*, 2010). En las proximidades de la *Fossa Traiana*, los sedimentos pre-Portus solo están representados por arenas fluviales (Figura 2: CT1), que son sustituidas por fangos con conchas y restos de *Posidonia* depositados durante la época de actividad portuaria en el Canale Trasverso (Delile *et al.*, 2012).

Metodología

El testigo PT (10 m) fue extraído por la empresa Geocompany en la parte interna del muelle de la Lanterna y próximo a la parte exterior del Canale di Imbocco (Figura 1, PT). De él se han analizado los 1,5 m superiores. Su análisis se ha dividido en las siguientes fases:

Reconocimiento inicial. Se procedió a una primera diferenciación de las distintas facies sedimentarias, en función de las litologías observadas y los cambios de color, así como de la distribución de restos vegetales y la macrofauna.

Laboratorio. Se seleccionaron 5 muestras representativas de las distintas facies distinguidas (Figura 3, A: PT-1 a PT-4). A continuación, se realizó un levigado de 40 g de sedimento de cada una de ellas por una columna de tamizado con diámetros de malla comprendidos entre 2 mm y 63 μm .

Gabinete. Se separaron otros 40 g de cada muestra para el estudio de los foraminíferos bentónicos, que fueron tamizados a través de un tamiz de 125 μm . Si fue posible, se separaron al menos 300 individuos para su determinación taxonómica y el cálculo de los porcentajes de cada especie en las cinco muestras analizadas. La clasificación atendió a los criterios de Loeblich y Tappan (1988), actualizados en la Word Foraminifera Database (Hayward *et al.*, 2021). También se calculó el porcentaje de foraminíferos planctónicos en relación a la población total de foraminíferos. También se han analizado los principales macrorrestos vegetales hallados en las cinco muestras estudiadas.

Comparación con estudios previos. Se ha efectuado una revisión bibliográfica de los trabajos previos publicados sobre el registro geológico de Portus, para poder comparar los resultados de este trabajo con los aportados por otros autores.

Resultados

Facies sedimentarias

Se han diferenciado cuatro facies sedimentarias, en función de su granulometría y registro paleontológico. La facies 1 (Figura 3, A: F1; 1,5-1,25 m) está constituida por un entramado de fibras de la fanerógama marina *Posidonia oceanica* con una matriz fangosa. Incluye valvas dispersas de bivalvos (*Cerastoderma glaucum* y *Ruditapes* spp.), así como algunos ejemplares de gasterópodos (*Tritia unifasciata*, *Gibbula* sp. y nasáridos). F2 (Figura 3, A: 1,25-0,65 m) está formada por limos arcillosos grises, relativamente compactos, sin macrofauna visible. Una definida discordancia erosiva separa a esta facies de F3 (Figura 3, A: 0,65-0,4 m), caracterizada por gravas finas compuestas principalmente por microconglomerados de cuarzo. Esta tendencia creciente en el tamaño de grano se mantiene en la facies superior (Figura 3, A.; F4: 0,4-0 m), compuesta por gravas medias y gruesas en la base y el suelo en los últimos 10 cm del testigo PT.

Las curvas de distribución granulométrica indican una clasificación muy pobre para todas las facies, así como una asimetría muy acusada para F1 y F2 en comparación con disposición levemente

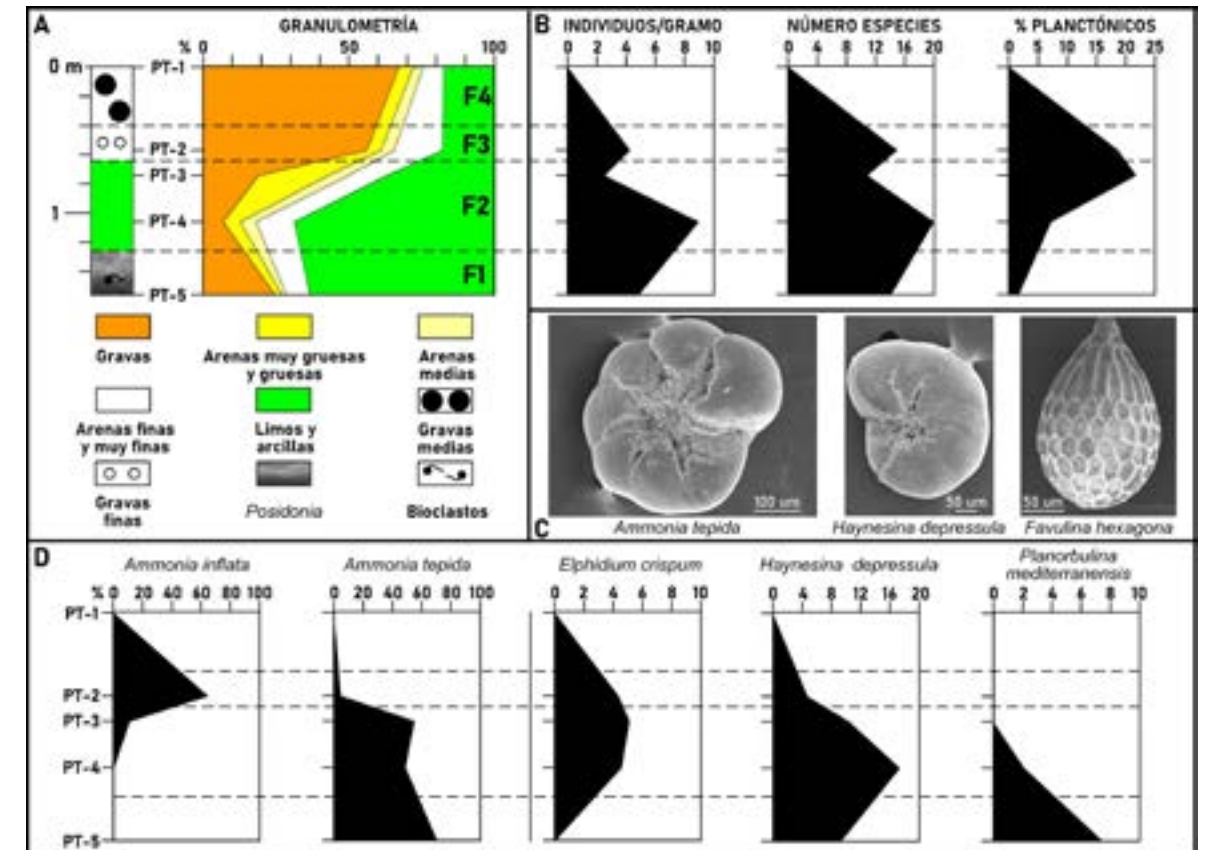


Figura 3. Testigo PT. A. Análisis textural de los 1,5 m superiores del testigo; B: Distribución vertical del número de individuos/gramo, número de especies y porcentaje de foraminíferos planctónicos; C: Fotografías de MEB de algunas de las especies más significativas del testigo PT; D: Distribución vertical (en %) de algunas de las principales especies.

asimétrica de F3 y F4. En relación a la curtosis, todas las muestras son muy platicúrticas, excepto PT-4 (leptocúrtica).

Los foraminíferos bentónicos son relativamente escasos en la parte superior del testigo PT, con una abundancia que no supera los 9 individuos por gramo en ninguna muestra de las tres facies inferiores (Figura 3, B). Se acercan a esta cifra en la parte inferior de F2 e incluso llegan a desaparecer en los sedimentos más groseros de F4. Sus porcentajes son siempre muy superiores (78,2-98,8%) a los de las formas planctónicas.

Se han determinado un total de 844 foraminíferos bentónicos y 85 foraminíferos planctónicos (Tabla 1). Los foraminíferos bentónicos están representados por 27 especies, de las cuáles tres de ellas engloban más del 72% de los ejemplares presentes: *Ammonia tepida* (46,9%), *Ammonia inflata* (13,7%) y *Haynesina depressula* (11,8%). El mayor número de especies se ha hallado en la base de F2 (Figura 3, B: 20 especies). Las especies planctónicas más abundantes son *Globigerina bulloides* y *Trilobatus trilobus*.

Ammonia tepida es la especie dominante en F1 (73,4%) y F2 (47,9-55,7%), disminuyendo notablemente en F3 (3%). *Haynesina depressula* también está bien representada en estas dos facies inferiores (F1: 9,2%; F2: 10,3-17,6%), en las que también se encuentran los únicos ejemplares de otras especies (p.e. *Elphidium advenum*, *Lagena* spp., *Planorbulina mediterraneensis*, *Uvigerina tenuistriata*). El tránsito de F2 a F3 está claramente definido por el reemplazamiento de *Ammonia tepida* por *Ammonia inflata* (F2: <10,4%; F3: 63%). En esta facies, alcanzan sus máximos porcentajes *Ammonia beccarii* (11,5%) y *Heterolepa bellincionii* (4,2%). Finalmente, no se han encontrado especímenes de estos microorganismos en F4.

ESPECIES / MUESTRAS	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5
<i>Ammonia beccarii</i>		11,52		1,70	
<i>Ammonia inflata</i>		63,03	10,31	0,57	
<i>Ammonia tepida</i>		3,03	55,67	47,88	73,36
<i>Bolivina punctata</i>			2,06		
<i>Bolivina spatkulata</i>		0,61	4,12	3,12	
<i>Bulimina aculeata</i>		0,61		0,85	
<i>Bulimina costata</i>					0,44
<i>Bulimina elongata</i>		1,21	2,06	3,12	
<i>Cassidulina carinata</i>		2,42		6,52	0,44
<i>Elphidium advenum</i>				0,28	2,62
<i>Elphidium crispum</i>		4,24	5,15	4,25	
<i>Favulina hexagona</i>				0,28	
<i>Fursenkoina acuta</i>		0,61		0,28	0,44
<i>Globobulimina affinis</i>					0,87
<i>Haynesina depressula</i>		4,24	10,31	17,56	9,17
<i>Haynesina germanica</i>			5,15	0,85	
<i>Heterolepa bellincionii</i>		6,06	2,06	2,83	
<i>Lagena hispida</i>					0,44
<i>Lagena striata</i>			1,03	0,57	
<i>Lobatula lobatula</i>		0,61	2,06	3,68	

Tabla 1. Foraminíferos bentónicos: abundancia (en %) y diversidad

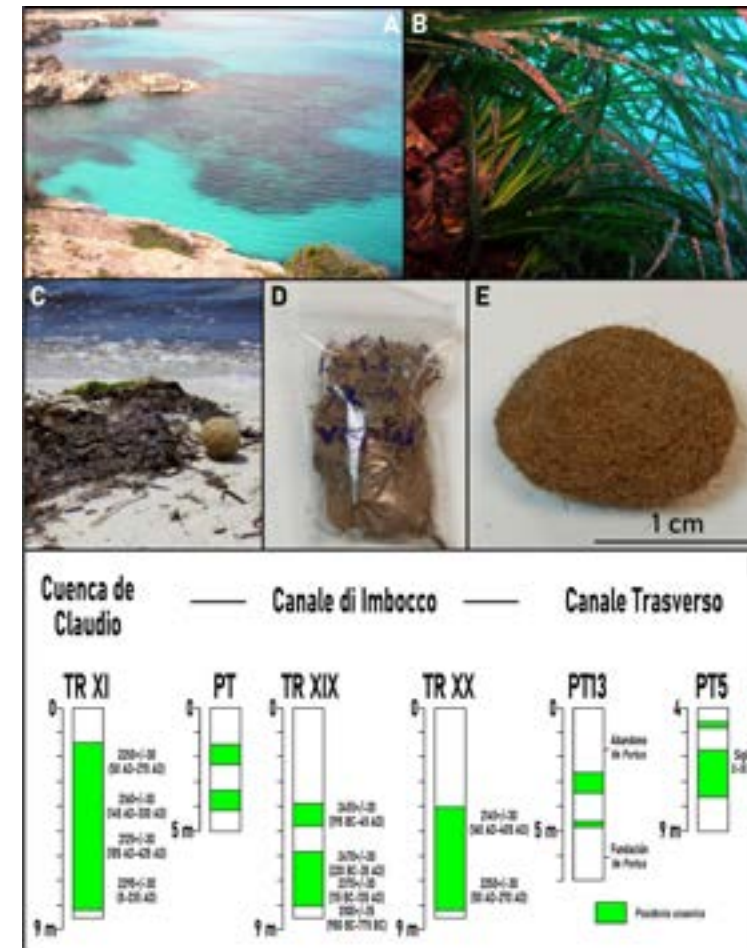


Figura 4. A: Foto aérea de una pradera de *Posidonia*; B: Detalle de una pradera de *Posidonia*; C: Arribazones y “bola de Neptuno” de *Posidonia*; D: fibras de *Posidonia* (testigo PT: 1,5-1,6 m); E: “bola de Neptuno” de *Posidonia* (testigo PT: 2,9-3 m); E: evidencias de *Posidonia* en testigos de *Portus* (ver situación en Figura 2).

Los macrorrestos y el paleoambiente de *Portus*

Conjuntamente con los datos obtenidos por los foraminíferos, se han obtenido diversos macrorrestos del testigo que, aún en fase de análisis, permiten de manera preliminar definir de manera microespacial el funcionamiento que presentó de manera diacrónica este canal de *Portus* en su relación con la margen interna del muelle este-oeste.

Estos macrorrestos están dominados por acumulaciones de fibras de *Posidonia oceanica*. Esta fanerógama, también llamada “hierba de Neptuno”, es una especie marina endémica del mar Mediterráneo, donde constituye praderas hasta los 40 m de profundidad (Figura 4, A-B). La acción del oleaje y las corrientes mareales provoca el transporte hacia la costa de sus restos, que se depositan en acumulaciones masivas de altura incluso métrica denominadas arribazones, así como ocasionan la creación de “bolas de Neptuno”, estructuras semiesféricas formadas a partir de los restos de esta planta acuática (Figura 4, C). En el registro geológico de *Portus*, la influencia marina quedaría reflejada en la presencia de: i) fangos con acumulaciones de fibras de *Posidonia oceanica* (Figura 4, D); y ii) pequeñas “bolas de Neptuno”, de escala centimétrica (Figura 4, E).

Los restos de hojas, fibras, rizomas y “bolas de Neptuno” son muy abundantes en este registro. Las evidencias de esta fanerógama se remontan, al menos, a principios del primer milenio BCE (base del testigo TR XIX: 980 BCE-775 BCE). Ello implica que esta fanerógama está presente en el mar Tirreno desde hace, al menos, 3.000 años.

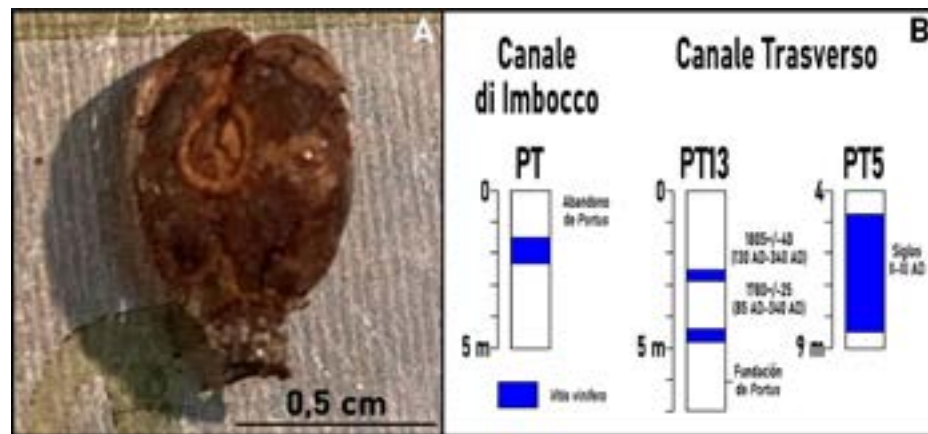
Su registro geológico es más abundante y extenso en las primeras fases de actividad de *Portus* y se reduce hacia el techo de los testigos del *Canale di Imbocco*, indicando una progresiva reducción de la

influencia marina. Esta disminución coincide con la presencia de condiciones lagunares restrictivas y el tránsito a los depósitos fluviales superiores y un relleno antrópico final en esta zona (Figura 4: PT-XIX-XX; Goirán *et al.*, 2010), producto del colapso y derrumbe que sufre de manera más o menos generalizada las estructuras superiores del muelle.

Las acumulaciones más tardías de *Posidonia oceanica* se han hallado en el Canale Trasverso (Figura 4: PT5; siglos X-XI CE; Pepe *et al.*, 2013), probablemente por una extensión temporal de los dragados finales de *Portus* en esta zona. En consecuencia, el registro geológico de esta fanerógama y de la acción asociada de Neptuno se prolongó a lo largo de unos 2.000 años en el entorno de *Portus*. Actualmente, *Portus* se encuentra situada a unos 2,5 km del mar Tirreno, debido a la presencia de diversos cordones litorales depositados en los últimos 500 años (Giraudi, 2004).

Además de los restos de *Posidonia*, se han documentado en el registro semillas de *vitis vinifera*. En el registro geoarqueológico de *Portus*, el consumo de uvas o la inferencia de viñedos próximos puede ser testado en base a: i) la presencia de macrorrestos, como las semillas comúnmente llamadas hollejos, procedentes de desechos de consumo o del prensado de la uva (Figura 5, A; PT: 1,9-2 m); y ii) la detección del polen de la vid cultivada (*Vitis vinifera vinifera* Linnaeus) (Figura 5, B). En algunas investigaciones, aparece dentro del conjunto de especies comestibles (p.e., Giardini *et al.*, 2013).

Los hollejos son raros en el registro geoarqueológico de *Portus*. Se han encontrado hacia el techo del testigo PT (Figura 5, A; PT: 1,9-2 m), muy cerca ya de la fase de abandono de este puerto, así como en el Canale Trasverso (testigo PT13; Pepe *et al.*, 2013; Sadori *et al.*, 2015). Este registro es más amplio en el Palacio Imperial y el edificio 5 anexo (ver situación en Figura 2) y abarca desde el siglo II CE hasta el siglo VI CE, con una mayor abundancia en los dos últimos siglos de este intervalo (O’Connell *et al.*, 2019; Tabla S1: material suplementario).



bentónicos y significativos porcentajes de formas planctónicas. Representaría el último vestigio de conexión marina de Portus y el inicio de un relleno de origen fluvial natural y/o antrópico del Canale di Imbocco. Entre los foraminíferos bentónicos, el cambio más significativo es la sustitución de *Ammonia tepida* por *Ammonia inflata* como especie dominante. Esta última especie es típica de los bordes de canal y canales muy someros (< 2m de profundidad) de los estuarios del suroeste de España (González-Regalado et al., 2001).

Las gravas medias fluviales de F4 evidenciarían el final de la conexión marina de Portus y el relleno definitivo del Canale di Imbocco, con la desaparición de la microfauna. Este relleno también se observa en otros testigos próximos, atribuyéndoles un origen antrópico y/o fluvial (Goiran et al., 2010).

Conclusiones

Portus Augusti fue uno de los más importantes puertos del imperio romano, desde mediados del s. I d.C. hasta su pérdida de protagonismo en los albores del s. VI d.C., supuso la entrada de mercancías y aprovisionamiento de la ciudad de Roma. En su diseño, el Canale di Imbocco comunicaba el puerto exterior o cuenca de Claudio con el puerto interior o cuenca de Trajano. En las últimas fases de actividad portuaria, este canal presentaba problemas de colmatación derivados del transporte de restos de la fanerógama marina *Posidonia oceanica* desde la zona litoral adyacente (facies F1). Las asociaciones de foraminíferos bentónicos revelan la presencia de un medio salobre, sometido a intensas variaciones de salinidad y temperatura, con unos intercambios mareales atestiguados por una abundancia notable de formas planctónicas y especies bentónicas marinas (facies F2). En su fase final de relleno, se sucede el tránsito a un borde de canal o canal muy somero, con una primera aparición de sedimentos fluviales (facies F3) hasta un relleno final de origen fluvial y/o antrópico (facies F4), que testifica el final de la actividad portuaria.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los siguientes proyectos: a) proyecto DGYCIT CTM2006-06722/MAR; b) proyecto DGYCIT CGL2006-01412; c) “Del Atlántico al Tirreno (DEATLANTIR): Investigaciones en las infraestructuras de Portus-Ostia Antica: el muelle de la Lanterna” (Programa de Proyectos de Arqueología en el Exterior, Ministerio de Cultura y Deportes); y d) proyecto FEDER 2014-2020 UHU-1260298. Igualmente, a través de los proyectos “DEATLANTIR, fases I-II (HAR2014-58326-P y HAR2017-89154-P)” Otros fondos proceden de los grupos de investigación HUM-132, RNM-238, RNM-293 y RNM-349 de la Junta de Andalucía. Es una contribución al Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural de la Universidad. El registro paleontológico está depositado en el Laboratorio de Paleontología y Ecología Aplicada de la Universidad de Huelva.

Bibliografía

- Aissaoui, C., Galindo, L. A., Puillandrea, N., Boucheta, P. 2017. “The nassariids from the Gulf of Gabès revisited (Neogastropoda, Nassariidae)”. *Marine Biology Research*, 13, 370-389.
- Benito-Calvo, A., Campaña, I., Karampaglidis, T. 2014. “Conceptos básicos y métodos en geoarqueología: geomorfología, estratigrafía y sedimentología”. *Treballs d’Arqueologia*, 20, 41-54.
- Boyden, R. C., Russel, P. J. C. 1972. “The distribution and hábitat range of the brackish water cockle (*Cardium (Cerastoderma) glaucum*), in the British Isles”. *Journal of Animal Ecology*, 43, 719-734.
- Coccioni, R., Frontalini, F., Marsili, A., Mana, D. 2009. “Benthic foraminifera and trace element distribution: A case-study from the heavily polluted lagoon of Venice (Italy)”. *Marine Pollution Bulletin*, 59, 259-269.
- Di Bella, L., Bellotti, P., Frezza, V., Bergamin, L., Carboni, M. G. 2011. “Benthic foraminiferal assemblages of the imperial harbor of Claudius (Rome): Further paleoenvironmental and geoarchaeological evidences”. *The Holocene*, 21, 1245-1259.
- Goiran, J.-P., Tronchère, H., Salomon, F., Carbonel, P., Djerbi, H., Ognard, C. 2010. “Paleoenvironmental reconstruction of the ancient harbors of Rome: Claudius and Trajan’s marine harbors on the Tiber delta”. *Quaternary International*, 216, 3-13.

El registro polínico de *Vitis vinifera* precisaría de nuevas investigaciones en los numerosos testigos obtenidos en Portus (p.e. Giraudi, 2004) para obtener una visión más detallada de su cultivo en su entorno o del consumo de uva. Evidencias de estas actividades se han encontrado tanto en el Canale di Imbocco como en el Canale Trasverso, en un rango temporal que abarca desde un intervalo algo posterior a su fundación (siglo II CE) hasta más allá de los siglos XI-XII CE.

Discusión

Los fangos con abundantes restos de *Posidonia oceanica* que caracterizan a F1 atestiguan: i) una clara conexión marina previa al abandono de Portus; ii) una estimable aportación a la colmatación de este puerto; iii) una dificultad añadida al intercambio hidrodinámico mareal-fluvial, al reducir la sección de flujo en el Canale del Imbocco; y iv) un importante transporte por tracción de fondo de parte de los restos vegetales. Esta fanerógama marina es una especie endémica del mar Mediterráneo, donde conforma extensas praderas en zonas litorales de hasta 40 m de profundidad y con salinidades marinas normales (36,5-39,5‰; Klein y Roether, 2001). La abundancia de *Ammonia tepida*, una de las especies más abundantes en medios costeros mediterráneos relativamente restringidos y sometidos a importantes variaciones de salinidad, indica que el Canale di Imbocco se comportaría como un canal mareal interno dentro de una laguna costera conformada por los diques del puerto exterior de Claudio. Suele ser una de las especies dominantes en las lagunas costeras italianas actuales (Coccioni et al., 2009; Melis y Covelli, 2013).

Este carácter bipolar, con un registro subfósil mixto procedente de un medio lagunar y de la zona marina adyacente, también queda patente en la malacofauna. El berberecho *Cerastoderma glaucum* también es común en estos ambientes transicionales lagunares con importante estrés ambiental, ya que tolera un amplio rango de salinidades (5-38,5‰) y temperaturas (0-25°C) (Boyden y Russel, 1972). En contraposición, el gasterópodo *Tritia unifasciata* presenta una distribución marina litoral (Aissaoui et al., 2017).

El tránsito a F2 se caracteriza por la desaparición de esta malacofauna, un aumento de la densidad y diversidad de los foraminíferos bentónicos, la disminución de los porcentajes de *Ammonia tepida*, el incremento de *Haynesina depressula* (frecuente en la cuenca de Claudio; Di Bella et al., 2011) y la presencia de numerosas especies de procedencia marina (*Bolivina* spp., *Bulimina* spp., *Cassidulina carinata*) (González-Regalado et al., 2019). La presencia de estas especies resedimentadas corroboraría el mantenimiento de la conexión mareal, que quedaría parcialmente reducida hacia el techo de esta facies, con una menor diversidad y densidad de estos microorganismos, si bien se mantendría el transporte en suspensión de acuerdo con los altos porcentajes de foraminíferos planctónicos (hasta el 21%).

F3 presenta características mixtas entre F2 y F4, con sedimentos mucho más groseros que F2 (gravas finas) y una fracción limo-arenosa que contiene una importante población de foraminíferos

- González-Regalado, M. L., Ruiz, F., Baceta, J. I., González-Regalado, E., Muñoz, J. M. 2001. "Total benthic foraminifera assemblages in the southwestern Spanish estuaries". *Geobios*, 34, 39-51.
- González-Regalado, M. L., Romero, V., Abad, M., Tosquella, J., Izquierdo, T., Gómez, P., Clemente, M. J., Toscano, A., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L. M., Muñoz, J. M., Prudencio, M. I., Dias, M. I., Marques, R., García, E. X. M., Monge, G., Carretero, M. I., Ruiz, F. 2019. "Late Tortonian-Middle Messinian palaeoenvironmental changes in the Western Betic Strait (SW Spain)". *Ameghiniana*, 56, 336-360.
- Hayward, B. W., Le Coze, F., Vachard, D., Gross, O., 2021. *World Foraminifera Database*. Último acceso a <http://www.marinespecies.org/foraminifera> el 24/9/2021.
- Kaniewski, D., Marriner, N., Morhange, C., Vacchi, M., Sarti, G., Rossi, V., Bini, M., Pasquinucci, M., Allinne, C., Otto, T., Luce, F., Van Campo, E. 2018. "Holocene evolution of *Portus Pisanus*, the lost harbour of Pisa". *Scientific Reports*, 8, 11625.
- Keay, S., Millett, M., Paroli, L., Strutt, K. 2005. *Portus: an archaeological survey of the Portus of imperial Rome*. Archaeological Monographs of the British School at Rome, 15, London.
- Klein, B., Roether, W. 2001. "Oceanografía y régimen hídrico". En: Horfriter, R. (Ed.), *El Mar Mediterráneo*. Omega, Barcelona, 258-294.
- Loeblich, A. R., Tappan, H. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Melis, R., Covelli, S. 2013. "Distribution and morphological abnormalities of recent foraminifera in the Marano and Grado Lagoon (North Adriatic Sea, Italy)". *Mediterranean Marine Science*, 14, 432-450.
- O'Connell, T. C., Ballantyne, R. M., Hamilton-Dyer, S., Margaritis, E., Oxford, S., Pantano, W., Millett, M., Keay, S. J. 2019. "Living and dying at the Portus Romae". *Antiquity*, 93, 719-734.
- Pepe, C., Giardini, M., Giraudi, C., Masi, A., Mazzini, I., Sadori, L. 2013. "Plant landscape and environmental changes recorded in marginal marine environments: The ancient Roman harbour of Portus (Rome, Italy)". *Quaternary International*, 303, 73-81.
- Polo, A. (2007-2008). "Geoarqueología y reconstrucción de contextos arqueológicos: contribución y nuevas perspectivas desde el área de Prehistoria de la Universidad del País Vasco". *Veleia*, 24-25, 689-700.
- Tapias, F., López, M., Manzano, I., Alcaraz, M., Morín, J., Sesé, C., Dapena, L., Alarcón, A., Yravedra, J., Arteaga, C. 2012. "Geoarqueología y paleontología de los depósitos del Pleistoceno Superior del antiguo Arroyo Abroñigal (Cuenca del Manzanares, Madrid): el yacimiento del Puende de los Tres Ojos". *Cuaternario y Geomorfología*, 26, 105-132.

9.

Inferencia del tiempo relativo de funcionamiento del sector septentrional del muelle de la linterna de *Portus*

F. Muñoz¹, Z. Belaústegui^{2a}, P. Gómez³, S. Ramírez-Cruzado⁴, J. Rodríguez^{3b}, J. Bermejo^{5b}, J. M. Campos^{5b}, F. Ruiz^{3b}, L. M. Cáceres^{3b}, T. Donaire³, C. Marín³, G. Gómez³, A. Toscano³, M. L. González-Regalado³, M. Abad⁷, T. Izquierdo⁷

¹Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola, Universidad de Sevilla.

²Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Universitat de Barcelona.

^a Institut de Recerca de la Biodiversitat IRBio, Universitat de Barcelona.

³ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva

⁴ Departamento Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla.

⁵Departamento de Historia, Geografía y Antropología, Universidad de Huelva.

⁶Departamento de Ciencias Integradas, Universidad de Huelva.

⁷Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos.

^bCentro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural, Universidad de Huelva.

Resumen

El análisis detallado de las estructuras de bioerosión y organismos cementantes reconocidos en el conjunto artefactual del sector septentrional del muelle de la linterna de *Portus*, ha permitido inferir su tiempo relativo de funcionamiento. Se ha establecido la historia de vida de este conjunto en 5 fases: (1ª) Primera colonización, (2ª) Depósito de los fragmentos de columnas, (3ª) Segunda colonización, (4ª) Bioerosión y (5ª) Depósito del Muro, tercera colonización, desplazamiento vertical y nueva bioerosión. En particular, se establece que los fragmentos de columnas se encuentran en una posición infrayacentes con respecto a los bloques de muro. La presencia de una tasa de bioerosión muy alta (>70%) por la actividad de esponjas clonadas en los fragmentos de columnas de mármol, aporta un tiempo relativo de la actividad de las mismas de unos 20 años. El hallazgo de un ejemplar adulto de *Pholas dactylus* en un bloque de los muros depositados posteriormente a los fragmentos de columnas, permite inferir su actividad a lo largo de un máximo de 12 años. Se establece, por tanto, que el tiempo relativo de funcionamiento del sector estudiado se podría establecer entre los 30-35 años. Las condiciones ambientales en este sector portuario serían inicialmente marinas someras, con salinidad normal a salobre, con influencia mareal, pero de baja energía hidrodinámica, y con sedimento fino y tasa de sedimentación nula. Estas condiciones serían cambiantes hasta la total colmatación, desuso y abandono.

Palabras claves

conjunto artefactual, bioerosión, tiempo relativo de funcionamiento, paleoambiente, muelle de la linterna, *Portus*.

Abstract

The detailed analysis of the bioerosion structures and cementing organisms recognized in the artifactual assemblage of the northern sector of the lantern quay (*Portus*, Italy) has allowed us to infer its relative period of operation. The life history of this assemblage has been established in 5 phases: (1) first colonization; (2) deposition of the column fragments; (3) second colonization; (4) bioerosion; (5) deposition of the Wall, third colonization, vertical displacement and new bioerosion. In particular, it is established that the fragments of columns are underlying with respect to the wall blocks. The presence of a very high bioerosion rate (>70%) due to the activity of clonoid sponges in the fragments of marble columns, provides a relative time of their activity, approximately 20 years. The discovery of an adult specimen of *Pholas dactylus* in a block of the walls deposited after the fragments of columns, allows to infer its activity over a maximum of 12 years. It is established, therefore, that the relative operating time of the studied sector of the quay could be established as between 30-35 years. The environmental conditions in this port sector would initially be shallow marine, normal to brackish salinity, with tidal influence but of low hydrodynamic energy, fine sediment and zero sedimentation rate. These conditions would change until total filling, disuse and abandonment.

Keywords

artifactual assemblage, bioerosion, relative operating time, paleoenvironment, lantern quay, *Portus*.