

- 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*.

Introducción

El registro arqueológico está compuesto por vestigios materiales directos e indirectos de sociedades pasadas (García Sanjuán, 2005; Winter *et al.* 2010). Entre estos, los “artefactos” se definen como todo lo que ha sido fruto de una construcción o modificación antrópica (p.ej. Contreras, 1984). Un artefacto puede referirse específicamente a objetos muebles o de carácter portátil (herramientas líticas, vasijas de cerámica, etc.) o genéricamente a objetos inmuebles (edificios, muros, etc.) (García Sanjuán, 2005). De acuerdo con Schiffer (1991) después de un uso inicial en un tipo particular de actividad, los artefactos quedan afectados por los procesos de formación, es decir, por aquellos eventos, actividades y procesos tanto culturales (reutilización, depósito cultural, reclamación y perturbación) como no culturales o naturales (deterioro, alteración y procesos regionales) que conducen a la transformación de los mismos en un registro arqueológico (García Sanjuán, 2005). Del análisis de la naturaleza y efectos producidos por estos procesos culturales y/o naturales que pudieron actuar sobre los conjuntos artefactuales, tanto *a priori* como *a posteriori*, desde su depósito hasta la recolección arqueológica (Borrazo, 2006) se encarga la “tafonomía de artefactos”. Originalmente, el concepto de “tafonomía” fue acuñado por Efremov (1940) para designar la disciplina científica que se ocupa del estudio de la transición de los restos orgánicos desde la biosfera a la litosfera (Fernández-López, 1999).

Los artefactos, con independencia de su tamaño, tienen en el yacimiento una dimensión tanto espacial (distribución horizontal) como temporal (distribución vertical o estratigráfica), representando actividades y funciones (Contreras 1984). A este respecto, una historia tafonómica es la secuencia general de los procesos y agentes tafonómicos que actuaron sobre un conjunto (Lyman, 1994; Borrazo, 2006). Una de sus aportaciones es la posibilidad de establecer una ordenación relativa de la secuencia de eventos o fenómenos ante- y post-deposicionales, es decir, permite inferir si sobrevino un evento en el tiempo antes o después que otro y en ocasiones la duración de los mismos.

En este sentido, en el presente trabajo se expone una perspectiva tafonómica para el conjunto artefactual del denominado “Sondeo I” del sector septentrional del muelle de la Linterna de *Portus* (Bermejo *et al.* 2021, Muñoz *et al.* 2021). En particular, el objetivo de la tafonomía de artefactos en este yacimiento pasa por detallar las historias de vida implícitas en el conjunto de fragmentos de columnas y bloques de muro hallados durante la intervención arqueológica realizada entre 2017-2018, así como sus relaciones, para en definitiva llegar a inferir el tiempo relativo de funcionamiento de este sector del muelle de la Linterna.

Situación geográfica y contexto histórico del área

El antiguo puerto comercial romano de *Portus* se ubica en la localidad de Fiumicino, a unos 30 km al suroeste de Roma (Figura 1A-C). Este puerto supuso uno de los ambientes portuarios más importantes y extensos del mundo antiguo (Bermejo *et al.* 2021). Comenzó a construirse en la orilla derecha del delta del Tíber por los emperadores Claudio (mediados del s. I NE) y Trajano (comienzos del s. II NE), y se construyó para reforzar el suministro de productos a Roma. En un principio, estaba constituido por una gran cuenca portuaria (Cuenca de Claudio) de aproximadamente 200ha (Keay *et al.* 2014) y unos 7m de profundidad, que se adentraba en el mar hacia el oeste al abrigo de dos espigones artificiales y que poseía un faro central (Goirán *et al.*, 2011; Marín *et al.* 2021) y una dársena interna de 1ha y unos 6m de profundidad que serviría como punto de atraque. A pesar de su localización y dimensiones, *Portus* presentó serios problemas de colmatación y una fuerte exposición a las tormentas (Marín *et al.* 2021) y, durante el s. II, se complementó con una segunda cuenca de 32ha y 5m de profundidad, y con morfología hexagonal, la *portus traiani felices* (Figura 1 B y C). Esta se conectaba a la bahía de Claudio mediante un canal de acceso principal situado al suroeste. Otro canal, conocido como *fossa Traiana*, permitía el acceso al Tíber o al mar. Con posterioridad, la creación del *canale trasverso* permitió la conexión de la *fossa traiana* con el canal

de acceso conformándose como la única vía fluvial entre las cuencas del puerto y el río (Keay *et al.* 2005; Bermejo *et al.* 2021). Desde mediados del s. I y hasta inicios de la Alta Edad Media, el complejo de *Portus* fue el puerto principal de Roma (Bermejo *et al.* 2021). El cese del complejo portuario se produce durante la segunda mitad del s. V por la sucesiva progradación de la costa y coincidiendo con la caída del imperio Romano.

El área estudiada se ubica en el sector septentrional de la estructura del muelle intervenido (Bermejo *et al.* 2021), con una superficie de 24m² y dirección NE-SO (Figura 1 D, E).



Figura 1. A. Situación geográfica de *Portus*. B y C Reconstrucciones digitales de *Portus* y de la Linterna interior (tomadas de *Portus Project University of Southampton*). D. Vista en planta de la ubicación del yacimiento estudiado. E. Vista general del yacimiento correspondiente al sector septentrional del muelle de la Linterna.

Material

El material analizado se refiere a los denominados “artefactos y estructuras arquitectónicas” en Muñiz *et al.* (2021, Figura 2: 616), que en el presente trabajo los llamaremos genéricamente como “conjunto artefactual” (fragmentos de columnas y bloques de muro) o “artefactos”. Este material quedó expuesto a lo largo de las campañas de excavación de 2017 y 2018, en el sector ubicado al norte de la cabeza del muelle este-oeste. En particular, el conjunto artefactual objeto de análisis consta de siete fragmentos de columnas de mármol (Figura 2) y tres bloques de muro (Figura 3).



Figura 2. A. Vista en planta del yacimiento con la ubicación de los fragmentos de columnas registrados (FC1 a FC7; escala 1m). B-H detalle de los diferentes fragmentos de columnas (FC) estudiados.

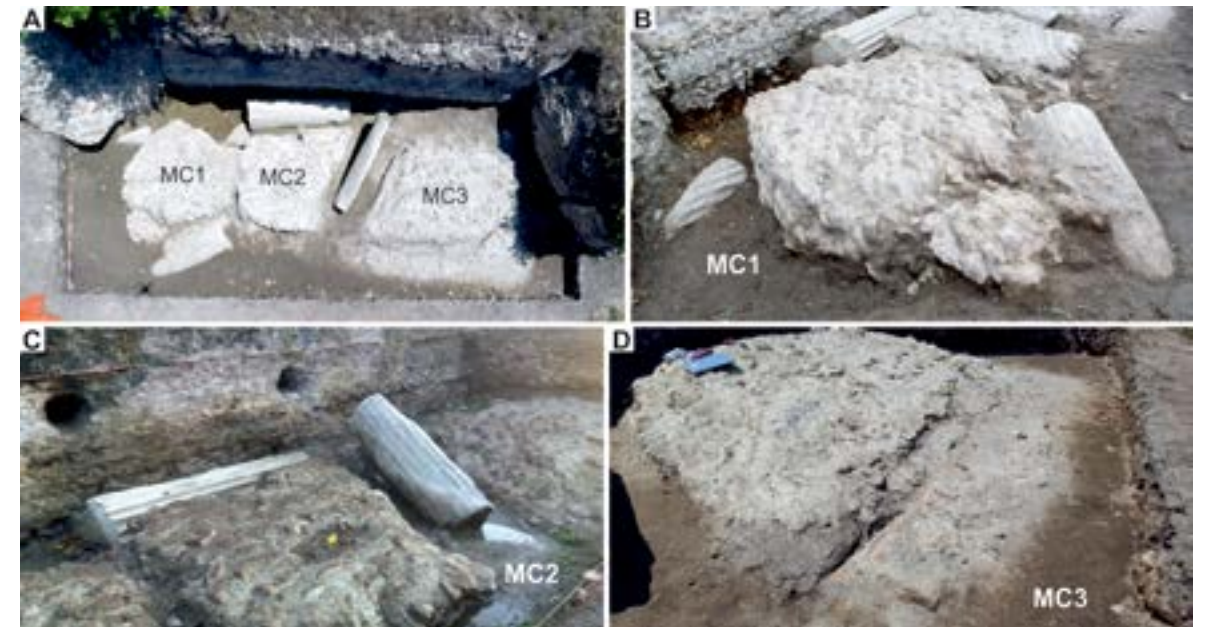


Figura 3. A. Vista en planta del yacimiento con la ubicación de los bloques de muro registrados (MC1 a MC3; escala 1m). B-D detalle de los diferentes bloques de muros (MC) estudiados.

Conjuntos Artefactuales		Tipología	Largo/ Ancho* (en cm)	Orientación	Sentido de la pendiente
Fragmentos de Columnas	FC1	Fuste estriado o acanalado sin rebaje	120/54	N40E	NE
	FC2	Fuste acanalado	60/50	N60E	
	FC3		50/36	N15E	
	FC4		215/67	N70E	**
	FC5		210/62	NS	NE
	FC6	n/o	18/13	s/d	s/d
	FC7	n/o	25/s/d	NS	NE
Bloques de Muro	MC1		235/225	N70E	
	MC2		224/238		
	MC3		295/263		
* Medidas correspondientes a las partes expuestas durante la intervención ** Desplazada de su disposición original s/n sin dato n/o no observado					

Tabla 1: Parámetros obtenidos del conjunto artefactual.

Se tomaron las medidas (largo/ancho) de las partes aflorantes de cada artefacto, así como cada orientación a partir del eje largo y el sentido de la pendiente o buzamiento (Tabla 1).

Todos los fragmentos de columnas son de mármol y los bloques de muro caído fueron fabricados con fragmentos de rocas volcánicas piroclásticas y ladrillos cementados por un mortero. En el bloque MC1 se encontró agregada de manera excepcional una roca sedimentaria calcárea.

Historia de vida del conjunto artefactual

En primera instancia, Muñiz *et al.* (2021) aportan datos sobre la tafonomía del yacimiento a partir del análisis pormenorizado de las estructuras de bioerosión por la actividad de diferentes

comunidades de organismos endolíticos y epilíticos, observados en el conjunto artefactual expuesto. Estos autores diferencian varias zonaciones icnológicas y ecológicas: comunidades endolíticas perforantes (productores como esponjas Clionidae, anélidos poliquetos espionidos y bivalvos litófagos) comunidades epilíticas incrustantes (producida por cirrípedos balanomorfos y foraminíferos) y comunidad epilítica cementante (la única especie reconocida es el bivalvo *Ostrea edulis*). Por otro lado, aportan información sobre las condiciones paleoambientales del sitio durante su actividad: se trataría de un medio de aguas muy someras, ricas en nutrientes, de salinidad normal y baja energía, que evoluciona hacia una colmatación sedimentaria, con una exposición subaérea antes del abandono definitivo, enterramiento y conservación.

Son varios los trabajos donde se exponen propuestas cronológicas de eventos para el área estudiada. En este sentido, Marín *et al.* (2021) establecen tres periodos: (1º) Pre-Linterna; (2º) Desarrollo de La Linterna; y (3º) Amortización y abandono de La Linterna. Por otro lado, Bermejo *et al.* (2021) ordenan en 5 fases cronológicas la evolución de la estructura: Fase I, Monumental. Construcción y articulación del muelle; Fase II, Amortización de la fase monumental: reestructuración espacial y funcional del muelle; Fase III, Segundo gran episodio constructivo en el muelle *della lanterna*; Fase IV, Ampliación de la cabeza del muelle y creación de nuevos ambientes portuarios y Fase V, Niveles de abandono y colmatación. Por último, Muñiz *et al.* (2021) fijan en 5 fases la secuencia de eventos biológicos y deposicionales: (1ª) el hábitat y primera fase de colonización; (2ª) depósito de artefactos; (3ª) segunda fase de colonización; (4ª) bioerosión y (5ª) depósito del muro, tercera fase de colonización y bioerosión de *Pholas dactylus*. La Tabla 2 recoge la correlación entre las secuencias, así como su cronología relativa.

A continuación, se amplían los datos correspondientes a esta ordenación relativa de eventos para la zona de estudio, a partir de la secuencia establecida por Muñiz *et al.* (2021):

La cuenca portuaria

Portus estaba constituido por tres elementos principales (Keay, 2012): la cuenca de Claudio (superficie de 200ha y batimetría: 7m); la dársena a modo de pequeña cuenca rectangular

Cronología relativa (dentro de nuestra era)	“Periodos” (Marín <i>et al.</i> 2021)	“Fases evolución de la estructura” (Bermejo <i>et al.</i> 2021)	“Secuencia de eventos” (Muñiz <i>et al.</i> 2021)
Fines del siglo III- Principios del siglo IV	1º. Pre-muelle de la Linterna		
Siglo IV- Primera mitad del siglo V	2º. Desarrollo de la Linterna	Fase I Monumental. Construcción y articulación del muelle	(1ª) Primera fase de colonización
		Fase II Amortización de la fase monumental: reestructuración espacial y funcional del muelle	
		Fase III Segundo gran episodio constructivo en el muelle <i>della lanterna</i>	
		Fase IV Ampliación de la cabeza del muelle y creación de nuevos ambientes portuarios	(2ª) Depósito de artefactos (3ª) Segunda fase de colonización (4ª) Bioerosión
Segunda mitad del siglo V	3º. Amortización y abandono	Fase V Niveles de abandono y colmatación.	(5ª) Depósito del muro, tercera fase de colonización y bioerosión de <i>Pholas dactylus</i>

Tabla 2. Correlación y cronología relativa de eventos descritos para la zona de estudio.

(superficie de 1ha y batimetría 6m); y la cuenca hexagonal de Trajano (superficie de 32ha y batimetría: 5m). Desde el punto de vista litológico, el sedimento dominante es de fracción fina (limos arenosos-arcillas) (Marín *et al.*, 2021). Estas cuencas portuarias también son consideradas ecosistemas que incluyen una amplia variedad de hábitats y organismos (Johnston *et al.* 2015), cuyo registro (en un contexto arqueológico) se ofrece clave para establecer reconstrucciones ambientales (Goiran *et al.* 2010). En el yacimiento estudiado y con independencia de la fauna endobentónica estudiada por Marín *et al.* (2021), la presencia de fauna fija o sésil (cirrípedos, bivalvos cementantes, gasterópodos verméticos, serpúlidos, etc.) en las estructuras portuarias se ofrecen como excelentes indicadores de las variaciones relativas del nivel del mar y de las condiciones ambientales (ver referencias en Muñiz *et al.* 2021). En este sentido, el sector septentrional del muelle de la Linterna de *Portus*, con apertura a la Cuenca de Claudio, presentaba inicialmente unas condiciones ambientales de aguas muy someras, ricas en nutrientes, con salinidad normal, baja energía y sustrato fino.

1ª Fase: Primera colonización

Bajo las anteriores condiciones ambientales, las paredes verticales del muelle estaban colonizadas por el bivalvo *Ostrea edulis* y el cirrípedo balanomorfo *Amphibalanus amphitrite* (Figura 4A). La zonación de *O. edulis* se localiza entre las cotas absolutas de -0,85 y -0,3m.s.n.m. y la de *A. amphitrite* entre -0,85 y 0,03m.s.n.m. Existe una zonación mixta de ambas especies desde la cota -0,85 hasta aproximadamente -0,36 m.s.n.m. Esta cota superior de la zonación mixta (-0,36m.s.n.m.) hasta la superior de la zona de *A. amphitrite* (-0,03m.s.n.m.) representaría el excepcional registro de las variaciones mareales en *Portus* durante los s.s. IV-V NE que se asemeja a la que presenta actualmente el Mar Tirreno (≈ 0,40-0,45m).

2ª Fase: Depósito de los fragmentos de columnas

Se depositaron siete fragmentos de columnas con tamaños dispares (ver Figura 2, Figura 4B) y que fueron arrojados desde la parte superior de la estructura del muelle. Las mediciones se realizaron a partir de las superficies expuestas siendo la máxima longitud/anchura observada de 215/67cm para FC5 y la mínima de 18/13cm en FC6 (Tabla 1). Todos los fragmentos de columnas están situados de manera infrayacente con respecto a los bloques de muro que fueron depositados en la 5ª fase. Los fragmentos FC2, FC3 y FC6 (ver Figura 2C, D y G, respectivamente) se localizan a una cota inferior a la de los muros caídos; mientras que FC1 y FC5 (Figura 2B y F) se hallaron cubiertos por fragmentos menores procedentes de los bloques de los muros (ver Figura 2B). En definitiva, tanto por cota como por solape, todo indica que los fragmentos de columnas fueron depositados antes que los bloques de muro.

Las orientaciones obtenidas, según el eje largo de cada fragmento, están entre NS y N70E y todos con buzamiento al NE (ver Tabla 1). Este buzamiento (aprox. 10º) sería coincidente con la pendiente natural del sustrato existente en el momento del depósito; lo que estaría avalado tanto por la inclinación que muestra FC5, como por las cotas tomadas en metros sobre el nivel del mar, que varían entre -61 y -85m.s.n.m. según la dirección del muelle en este sector y con sentido SO-NE. Esta pendiente condicionó que los diferentes fragmentos de columnas vertidos quedaran adaptados al fondo a diferentes cotas, y que, a la postre, supeditó la actividad biológica cementante y perforante posterior.

En particular, FC1, FC2 y FC3 quedaron apoyados en el sustrato por las caras planas generadas por la ruptura, y en consecuencia dejando expuestas las partes convexas ornamentadas a las condiciones acuáticas y biológicas. FC4 quedó originalmente dispuesta con su eje largo paralelo a la dirección de la pared del muelle (N70E) (ver Figura 2A y E) aunque *a posteriori* sufrió un desplazamiento por reclamación, hecho que se argumentará más adelante en el desarrollo de la 3ª fase. FC5, el fragmento de columna de mayor tamaño, quedó apoyado por un lateral, adaptado a la pendiente del

fondo, parcialmente hundido y posiblemente con su extremo más elevado expuesto a condiciones subaéreas (ver Figuras 2F y 4B). FC6 y FC7 son fragmentos menores e irregulares que se dispusieron adaptándose a la superficie del sustrato.

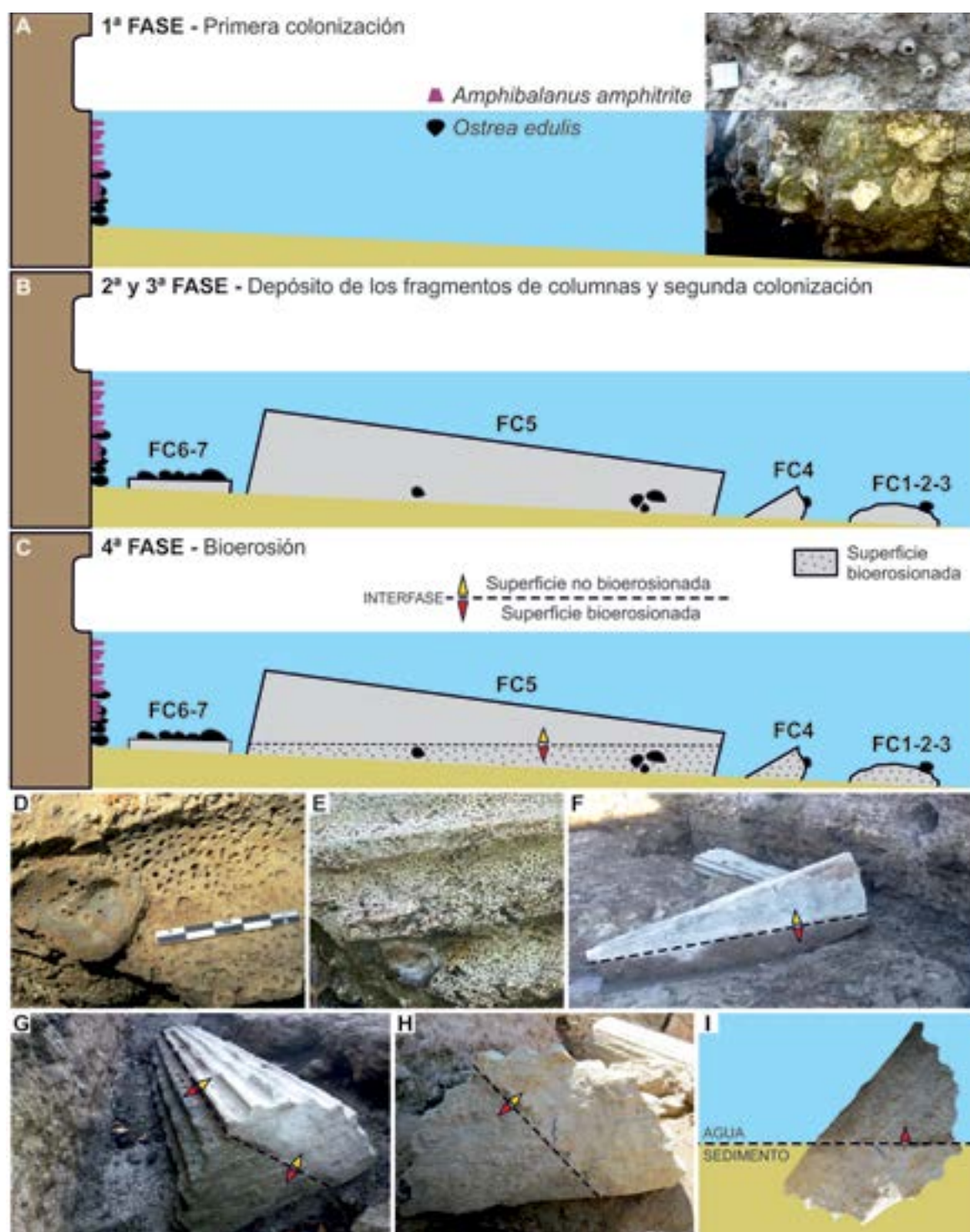


Figura 4. A-C Esquema ilustrativo de las tres primeras fases de la historia de vida del conjunto artefactual. D y E. Detalle de valva izquierda de *Ostrea edulis* y fragmento de columna (FC3) bioerosionado por esponjas clionaidas (estructuras de tipo *Entobia*). F. FC5 dispuesta *in situ* con la interfase de la superficie bioerosionada y la no bioerosionada (interfase B/NB) marcada. G. FC4 dispuesta tras el intento de reclamación y con la interfase B/NB señalada. H. Cara lateral generada por fractura en FC4 donde se observa la disposición de la interfase B/NB. I. Posición original de FC4 deducida a partir de la superficie bioerosionada.

3ª Fase: Segunda colonización

Los fragmentos de columnas vertidos supusieron un nuevo e idóneo sustrato para una nueva fase de colonización (Figura 4B). En concreto, existen cuatro fragmentos de columnas (FC2, 3, 4 y 5) que presentan ejemplares de *O. edulis* cementados. Por otro lado, *A. amphitrite* se encuentra ocupando la cara interna de las valvas izquierdas de *O. edulis* (según se observa en FC7). Esto viene a indicar que la colonización de los balanomorfos fue en otra fase *a posteriori*, una vez los ostreidos ya estaban muertos y sus valvas desarticuladas.

4ª Fase: Bioerosión

La bioerosión es uno de los procesos de alteración más importante que puede sufrir un sustrato tanto en ambientes marinos modernos, como antiguos (Gibert *et al.* 2004; Davidson *et al.* 2018). Esta actividad bioerosiva queda registrada a modo de estructuras que, en concreto, designan el proceso mediante el cual un organismo vertebrado, invertebrado o vegetal esculpe, se incrusta o penetra por destrucción mecánica y/o disolución química un sustrato duro biogénico (conchas, huesos, ámbar, coprolitos y otros esqueletos mineralizados) o no biogénico (rocas de varios orígenes) (Neumann, 1966; Ekdale *et al.* 1984; Bromley, 1990, entre otros). En este contexto, se consideran organismos epilíticos aquellos que bioerosionan un sustrato duro fijándose o incrustándose a su superficie, mientras que para los endolíticos la actividad se desarrolla perforando hacia el interior el sustrato duro. Por lo general, las estructuras de bioerosión son el resultado de las combinaciones de varios parámetros relacionados: condiciones ambientales del medio, tipo de sustrato, productor y comportamiento. En nuestro caso, del análisis y estudio de las estructuras de bioerosión registradas se han extraído conclusiones tafonómicas (p.e. historia bioestratinómica) del conjunto artefactual, así como de las condiciones ambientales bajo las que se produjeron.

Las estructuras de bioerosión registradas por la actividad de invertebrados marinos, son muy comunes en sustratos carbonatados. La presencia de fragmentos de columnas de mármol, las valvas de *O. edulis* y unas condiciones ambientales (salinidad, oxigenación, batimetría, etc.) adecuadas, supusieron un escenario idóneo para la colonización de organismos endolíticos perforantes como son las esponjas clionaidas, los bivalvos litófagos y los anélidos poliquetos marinos. Desde un punto de vista icnotaxonómico, las estructuras reconocidas son de “tipo *Entobia*” (producidas por esponjas clionaidas), “tipo *Gastrochaenolites*” (producidas por bivalvos litófagos) y “tipo *Caulostrepsis* y *Maeandropolydora*” (producidas por anélidos poliquetos).

Las estructuras de bioerosión descritas se habrían producido de manera penecontemporánea (casi simultánea); siendo dominantes, por grado de ocupación, las de tipo *Entobia*. Éstas, dentro del contexto de un ambiente marino muy somero (posiblemente con bajada del nivel de mar con respecto a la fase anterior), evidenciarían un periodo de exposición a las condiciones ambientales, baja energía y mínima o nula tasa de sedimentación, i.e. condiciones ambientales de aguas más “limpias” o con poca turbidez.

En FC1 la bioerosión es principalmente de tipo *Entobia* con un área pequeña ocupada por estructuras de tipo *Gastrochaenolites* y tipo *Caulostrepsis*, pero que en conjunto ocupan toda la superficie expuesta coincidente con la parte externa convexa ornamentada del fragmento de columna (ver Muñoz *et al.* 2021, Figura 4A y B: 619). Las superficies expuestas en FC2 y FC3 (parte externa convexa ornamentada y conchas de ostreidos cementadas de la fase anterior, Figura 4D) están ocupadas en un 100% por estructuras de tipo *Entobia*. Esta disposición de la bioerosión indica que estos fragmentos se localizaron *in situ*, es decir, sin sufrir ningún proceso posterior de remoción y/o desplazamiento natural o de reclamación (proceso por el cual artefactos y/o estructuras son reutilizados por poblaciones humanas, Schiffer, 1987).

En FC4 las estructuras de bioerosión, exclusivamente de tipo *Entobia*, se observan tanto en la cara externa convexa ornamentada como en la cara lateral generada por la fractura. Este fragmento de columna tuvo una disposición inicial distinta a la registrada durante la intervención, hecho que se

interpreta como un intento de reclamación. Esta circunstancia es inferida a partir de la disposición de la superficie bioerosionada y la no bioerosionada, que debe ser paralela a la superficie del sustrato y sin embargo se halló inclinada (Figura 4G-I); además de la presencia de una fosa de expolio asociada (Bermejo *et al.* 2021).

La posición de FC5 es original y está marcada por la colocación horizontal de la interfase superficie bioerosionada/no bioerosionada (Figura 4F). En este fragmento la bioerosión es también y exclusivamente de tipo *Entobia*, y se localiza en la cara externa ornamentada, en la cara producto de la fractura y en las valvas de ostreidos cementadas en esta cara. Por último, FC6 y FC7 no presentan evidencias de bioerosión, lo que podría indicar unas condiciones ambientales adversas para el desarrollo de tal actividad (batimetría, sedimentación, etc.).

5ª Depósito del Muro, tercera colonización, desplazamiento vertical y nueva bioerosión

Durante esta última fase, se depositaron tres grandes bloques de muro (Tabla 1, ver Figura 3) que se dispusieron adaptados al relieve existente, bien por encima de los fragmentos de columnas (Figura 5A) o bien cubriéndose por fragmentos menores producto de la ruptura acaecida durante la caída (ver Figuras 3B y 4B). Se produce una tercera colonización por parte de *O. edulis* y *A. amphitrite*, tanto en la pared vertical del muelle como en las caras laterales de los bloques caídos (Figura 5B) y, excepcionalmente y sólo por *A. amphitrite*, en las superficies inclinadas de estos bloques. En FC4, la reclamación tuvo que ocurrir antes de esta fase, pues su cara externa ornamentada y sin bioerosión (ver Figura 4G) está colonizada por un ejemplar de *A. amphitrite* (Figura 5C); mientras que en esa misma cara y en la cara lateral producto de la fractura (Figura 5D y E) se observan conchas de *O. edulis* no bioerosionadas y dispuestas sobre las estructuras de tipo *Entobia* de la fase anterior. Estas evidencias refuerzan la idea de que todavía quedaba suficiente columna de agua, así como unas condiciones ambientales idóneas para la colonización de estos organismos, pero insuficiente para el desarrollo de la bioerosión. Igualmente apunta a que la reclamación de este fragmento de columna fue antes de la colmatación definitiva y abandono del sitio.

Esta tercera colonización se traslapa con las anteriores fases, pero en niveles superiores conforme la columna de agua decrece por la colmatación de la dársena. Se observa que *A. amphitrite* coloniza la cara interna de las valvas izquierdas de los ostreidos (de fases anteriores, i.e. ya muertos) y, ocasionalmente, también son colonizadas por briozoos incrustantes y gasterópodos verméticos (ver Muñoz *et al.*, 2021, Figura D-F:626).

No hay estructuras de bioerosión ni en las rocas volcánicas cristalinas ni en el mortero que conforman la pared del muelle, pues no son un sustrato idóneo (Rodríguez-Tovar *et al.* 2014). Únicamente se reconoce una estructura de bioerosión relacionada con la actividad del bivalvo litófago *Pholas dactylus* (Figura 5F), realizada en MC1 (ver Figura 3A y B) en el único bloque con una roca sedimentaria calcárea añadida.

En cuanto a las condiciones ambientales, en esta última fase se incrementó la tasa de sedimentación y turbidez del agua lo que afectó al desarrollo y actividad de las esponjas clionaidas, pues son intolerantes a estas condiciones. Se estima que la batimetría fue inferior al metro y que posiblemente, parte del conjunto artefactual quedara expuesto a condiciones subaéreas durante espacios de tiempo cada vez más prolongados. Finalmente, esta cara norte del muelle sufriría su colmatación definitiva, abandono y enterramiento.

Inferencia del tiempo relativo de funcionamiento

Por lo general, la exposición de un sustrato lítico (preferentemente carbonatado) en un medio marino, bajo condiciones ambientales favorables y exposición más o menos constante durante un largo periodo de tiempo es, en potencia, idóneo para la colonización o asentamiento de comunidades

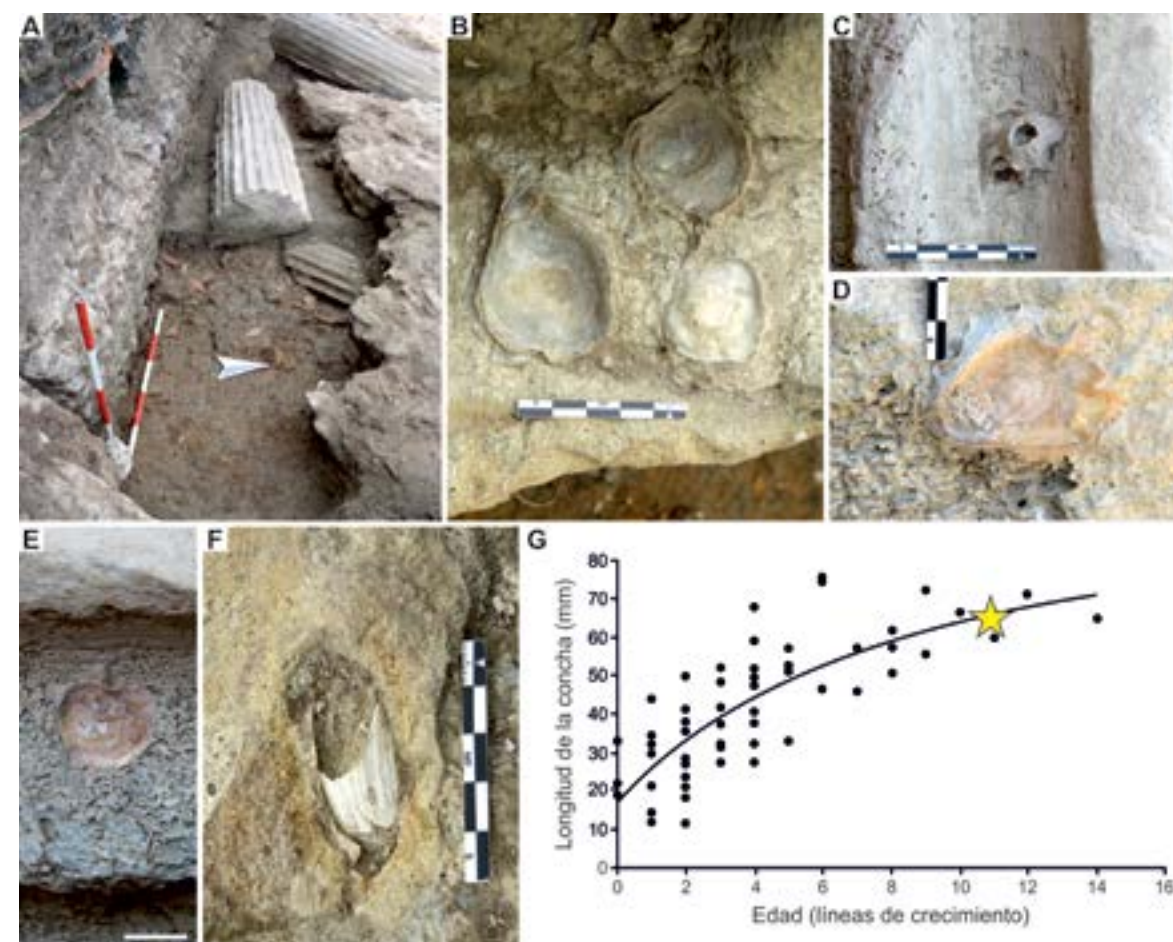


Figura 5. A. Vista de la localización de los fragmentos de columnas con respecto a la cara lateral (a la izquierda) de los bloques de muro. B. *Ostrea edulis* cementadas en uno de los laterales del bloque caído MC2. C. Ejemplar de *Amphibalanus amphitrite* adherido en la superficie no bioerosionada por esponjas de FC4. D-E. *O. edulis* traslapando a la bioerosión de tipo *Entobia* en la cara lateral de ruptura (D) y cara externa ornamentada € de FC4. F. Detalle de *Pholas dactylus* en su perforación del tipo *Gastrochaenolites*. G. Gráfico de la relación longitud/edad para *P. dactylus* (modificado de Pinn *et al.* 2005) con la localización del ejemplar estudiado.

ecológicas epilíticas y/o endolíticas. Son organismos epilíticos aquellos que bioerosionan fijándose o incrustándose a la superficie de un sustrato duro, mientras que los endolíticos son perforantes, es decir, desarrollan su actividad en el interior del sustrato duro (Golubic *et al.* 1975; Bromley, 1990; Schönberg, 2008). En particular, los sustratos duros carbonatados (rocas y esqueletos) son los más susceptibles a la bioerosión, debido a su fácil solubilidad química y baja dureza (Bromley *et al.* 1990).

La colonización en estos sustratos líticos carbonatados suele ocurrir durante las fases larvarias de los organismos, que varían en cada especie, así como en el tiempo de asentamiento. En este sentido, las esponjas perforadoras (p.ej. Familia Clionaidae) se encuentran entre los organismos bioerosivos más importantes y que causan daños relevantes en los sustratos carbonatados en ambientes marinos (Bromley, 1990; Fäber *et al.* 2016; Calcina *et al.* 2019, entre otros). Para este proceso estas esponjas emplean una metaloenzima, la enzima anhidrasa carbónica (también llamada carbonato deshidratasa), para la biocorrosión en combinación con la ruptura mecánica y la separación de partículas del tamaño de una célula (Pomponi, 1980; Schönberg, 2008).

Existen trabajos experimentales sobre bioerosión en mármoles que fueron sumergidos en diferentes puntos de la costa del mar Mediterráneo. Por lo general, de éstos se deduce que, bajo condiciones favorables, las comunidades de microorganismos perforantes (cianobacterias, hongos, algas, etc.) pueden llegar a estabilizarse dentro del primer año de exposición, mientras que la colonización por

comunidades de macroperforadores (p.ej. esponjas, anélidos, bivalvos litófagos, cirrípedos, etc.) puede tardar varios años en alcanzar la madurez (Fäber *et al.* 2016). Por ejemplo, Bromley *et al.* (1990) investigaron entre 1982-1989 los efectos de la bioerosión sobre bloques de mármol y caliza de diferentes tamaños < 1m y peso 1-30kg, que hundieron en aguas marinas poco profundas (3-17m de profundidad) de la costa de Rodas (Grecia). Los autores reconocieron los primeros indicios de esponjas clonadas al primer año, no fueron apenas visibles hasta el segundo año y después de seis años los bloques estaban ampliamente bioerosionados por estas. También señalan que la tasa de crecimiento de estas esponjas es exponencial, es decir, se acelera con la edad. Posteriormente, Fäber *et al.* (2016) muestran los resultados de esta misma investigación, pero con datos hasta 1996, donde exponen el ritmo al que la bioerosión externa e interna afecta a los bloques estudiados y aplican la microtomografía computarizada para la cuantificación de las estructuras endolíticas. Estos autores concluyen: (1) que los bloques fueron colonizados casi exclusivamente por esponjas perforadoras clonadas, (2) que durante los primeros 5 años de exposición (donde las primeras esponjas se asientan) producen bajas tasas de bioerosión, (3) que las esponjas maduran y aumentan esta tasa durante los años 6-7, (4) después de 14 años, el 30% del volumen de los bloques estaban ocupados por esponjas perforadoras y, por último, (5) que el asentamiento exitoso de las esponjas perforadoras depende en gran medida de la disponibilidad de espacio y de la competencia con otros bioerosionadores.

Los fragmentos de columnas estudiados (excepto FC6 y FC7, ver Figura 2) presentan una tasa de bioerosión por esponjas clonadas muy alta (>70% de la superficie expuesta) que redundará en una considerable y observable pérdida de masa mineral (ver Figuras 4E-G y 5E). Por otro lado, el tamaño de las cámaras (máximo observado de 5-6 mm, ver Figura 4D) resultante de la actividad perforadora sugiere que estas esponjas alcanzaron estadios ontogenéticos adultos con implicaciones de temporalidad. Teniendo en cuenta estos datos y la información de los experimentos actuales descritos anteriormente, nos permite inferir, tentativamente, un tiempo relativo de algo menos de 20 años entre el depósito de los fragmentos de columnas (2ª Fase) y la colmatación y abandono (5ª Fase) de este sector del muelle de la Linterna.

Otro registro que aporta una notable información sobre este tiempo relativo de funcionamiento del sector estudiado, es el del bivalvo perforador *Pholas dactylus* (Figura 5F) (Orden Myida, Familia Pholadidae) en el bloque de muro caído MC1 (ver Figura 3B). *P. dactylus* es un bivalvo perforador con desarrollo larvario planctotrófico que habita desde el intermareal hasta el sublitoral somero (aprox. 10m) en rocas poco litificadas como yeso, lava, caliza, marga, arcilla, arenisca, esquisto, turba e incluso en madera (Arias y Richter, 2012). Esta especie coloniza el sustrato en estadios larvarios tempranos y es de crecimiento lento, pudiendo alcanzar las conchas de las hembras hasta los 20cm de longitud (Hill, 2006). Pinn *et al.* (2005) hicieron un estudio actualístico entre 1999 y 2000 de la morfología de la perforación, biometría, edad y crecimiento de varias especies de bivalvos de la Fam. Pholadidae (*Pholas dactylus*, *Barnea candida* y *B. parva*) en sustratos calcáreos y arcillosos a lo largo de la costa sur de Inglaterra. Estos autores usaron el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy (relación edad/talla) para detallar la curva de crecimiento para *P. dactylus* (Figura 5G) concluyendo que tienen un ciclo vital de aproximadamente 12 años, donde alcanzan una longitud de las valvas de unos 7,5cm y una profundidad máxima de la galería de 8,1cm. En este sentido, el ejemplar de *P. dactylus* reconocido tiene una longitud de 6cm, su perforación (del tipo *Gastrochaenolites*) 7,5cm de longitud y un ángulo de penetración de unos 30°. A partir de estos datos, se puede extrapolar, también de forma tentativa, que el tiempo relativo de funcionamiento entre el depósito de los bloques de muro (5ª Fase), asentamiento larvario de *P. dactylus*, su desarrollo ontogenético (alto) y perforador hasta alcanzar las dimensiones observadas, podría estar entre los 10 y 12 años.

Por otra parte, hay que tener en cuenta, que la distribución y abundancia de las especies de esponjas perforantes, así como sus tasas de bioerosión, dependen directamente de parámetros ambientales como el flujo de agua, los nutrientes, la salinidad, la temperatura y la luz (ver Schönberg, 2008: 184). En general, el sector del muelle estudiado se encuadra en un contexto ambiental de puerto

artificial donde se sabe había influencia de mareas (ver Muñiz *et al.* 2021) y de aguas tranquilas como evidencia el tipo de sedimento (limo arenoso-arcillas). En particular, la presencia de la bioerosión producida por organismos epilíticos y endolíticos, de organismos cementantes y de fauna epi- y endobentónica de invertebrados (ver Marín *et al.* 2021) establecen que las condiciones ambientales en el sector serían marinas, muy someras, con salinidad normal a salobre, baja energía, mínima o nula tasa de sedimentación y poca turbidez, que a la postre se terciaron idóneas sobre todo para el desarrollo espacial, temporal y ontogenético de las esponjas clonadas sobre los fragmentos de las columnas.

Conclusiones

El análisis 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 desde la fase post-construcción hasta la de abandono. En primer lugar, se establece la relación de la posición relativa entre los fragmentos de columnas y los bloques de muro que comprenden este conjunto artefactual; siendo los fragmentos de columnas los que quedan en una posición infrayacente con respecto a los bloques de muro. En segundo lugar, la presencia de fragmentos de columnas de mármol (depositados en la 2ª fase) con una tasa de bioerosión muy alta (entre el 70% y el 100%) producida por esponjas clonadas, aporta tentativamente un tiempo relativo de unos 20 años para la secuencia: depósito fragmentos columnas-asentamiento larvas de esponjas- desarrollo ontogenético-fin de la actividad. Y, por otro lado, el hallazgo de un ejemplar adulto del bivalvo perforador *Pholas dactylus* en los bloques de muros depositados posteriormente a los fragmentos de columnas, permite inferir que su actividad-desarrollo ontogenético fue a lo largo de un periodo máximo de 12 años. En definitiva, el tiempo relativo de funcionamiento del sector estudiado se podría establecer entre los 30-35 años antes de su abandono. Las condiciones ambientales iniciales en este sector portuario serían, *grosso modo*, marinas someras, con salinidad normal a salobre, con influencia mareal, pero de baja energía hidrodinámica, sedimento fino y tasa de sedimentación de nula. Estas condiciones serían cambiantes hasta la total colmatación, desuso y abandono.

Agradecimientos

Este trabajo se adscribe a los siguientes proyectos: a) “Del Atlántico al Tirreno, los puertos hispanos y su relación comercial con *Ostia Antica*. DEATLANTIR IIª Fase (HAR2017-89154-P), Plan Nacional de I+D+I; b) “Análisis geoarqueológico y paleoambiental en puertos y distritos marítimos atlántico-mediterráneos: El arco atlántico del suroeste hispano (*Onoba*, Huelva) y la desembocadura del Tíber (*Portus*, Roma) (UHU-1260298), Programa Operativo FEDER 2014-2020; c) *Del atlántico al Tirreno (DEATLANTIR)*: “Investigaciones en las infraestructuras de *Portus-Ostia Antica*, el muelle de la Lanterna”, Proyectos Arqueológicos en el Exterior (Ref: 37-T002018N0000042780). Al Grupo de Investigación RNM 293 “Geomorfología Ambiental y Recursos Hídricos” de la Universidad de Huelva.

Bibliografía

- Arias, A., Richter, A. 2012. Assessing the status of the endangered species *Pholas dactylus* (Bivalvia: Pholadidae) in the coast of Asturias. *Revista de Investigación Marina* 19: 627-628.
- Bermejo, J., Campos, J.M., Sebastiani, R., Fernández, L., Bermejo, A., Marfil, F., D’Amassa, C., Baena, E., Domínguez, E., Rodríguez, N., Sánchez, L.J. 2021. Los puertos imperiales de Roma: investigaciones geoarqueológicas en el muelle este-oeste de *Portus*, in J.M. Campos y J. Bermejo (eds.) *Del Atlántico al Tirreno. Puertos hispanos e itálicos*: 583-609. L’Erma di Bretschneider, Roma.
- Borrazzo, K.B. 2006. Tafonomía lítica en dunas: una propuesta para el análisis de los artefactos líticos. *Intersecciones en Antropología* 7: 247-261.
- Bromley, R.G. 1990. *Trace fossils: biology and taphonomy*. Unwin Hyman, London.
- Bromley, R.G., Hanken, N.M., Asgaard, U. 1990. Shallow marine bioerosion: preliminary results of an experimental study. *Bulletin of Geologic Society of Denmark* 38: 85-99.

- Buatois, L.A., Mángano, M.G. 2011. *Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time*. Cambridge University Press, New York.
- Calcinai, B., Sacco, C., Davidde, B., Ricci, S. 2019. Endolithic and epilithic sponges of archaeological marble statues recovered in the Blue Grotto, Capri (Italy) and in the Antikythera shipwreck (Greece). *Facies* 65(21): 1-18.
- Contreras F. 1984. Clasificación y tipología en Arqueología. El camino hacia la cuantificación. *Cuadernos de prehistoria y arqueología de la Universidad de Granada* 9: 327-385.
- Davidson, T.M., Altieri, A.H., Ruiz, G.M., Torchin, M.E. 2018. Bioerosion in a changing world: a conceptual framework. *Ecology letters* 21(3): 422-438.
- Efremov, I.A. 1940. Taphonomy: a new branch of paleontology. *Pan American Geologist* 74: 81-93.
- Ekdale, A.A., Bromley, R.G., Pemberton, S.G. 1984. *Ichnology: Trace fossils in sedimentology and stratigraphy*, SEPM, Short Course 15, 317 pp.
- Färber, C., Titschack, J., Schönberg, C.H.L., Ehrig, K., Boos, K., Baum, D., Illerhaus, B., Asgaard, U., Bromley, R., Freiwald, A., Wisshak, M. 2016. Long-term macrobioerosion in the Mediterranean Sea assessed by micro-computed tomography. *Biogeosciences*, 13(11): 3461-3474.
- Fernandez-lopez, S.R. 1999. Tafonomía y fosilización, in Tratado de Paleontología, tomo I B. Méndez (ed.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 51-107.
- García Sanjuan, L. 2005. *Introducción al reconocimiento y análisis arqueológico del territorio*. Ariel Prehistoria. Barcelona.
- Gibert, J.M. de, Domènech, R., Martinell, J. 2004. An ethological framework for animal bioerosion trace fossils upon mineral substrates with proposal of a new class, fixichnia. *Lethaia* 37(4): 429-437.
- Goiran, J.P., Tronchère, H., Salomon, F., Carbonel, P., Djerbi, H., Ognard, C. 2010. Palaeoenvironmental reconstruction of the ancient harbors of Rome: Claudius and Trajan's marine harbors on the Tiber delta. *Quaternary International* 216(1-2): 3-13.
- Golubic, S., Perkins, R.D., Lukas, K.J. (1975). Boring microorganisms and microborings in carbonate substrates, in R.W. Frey (ed.) *The study of trace fossils: 229-259*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hill, J.M. 2006. *Pholas dactylus* Common piddock, in H. Tyler-Walters and K. Hiscock (eds) *Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews*, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom.
- Johnston, E.L., Hedge, L.H., Mayer-Pinto, M. 2015. The urgent global need to understand port and harbour ecosystems. *Marine and Freshwater Research* 66(12): i-ii.
- Keay, S. 2012. The port system of Imperial Rome in S. Keay (ed.) *Rome, Portus and the Mediterranean, Archaeological Monographs of the British School at Rome*, 33-67.
- 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: British School at Rome.
- Keay, S.J., Parcak, S.H., Strutt, K.D. 2014. High resolution space and ground-based remote sensing and implications for landscape archaeology: the case from Portus, Italy. *Journal of Archaeological Science* 52: 277-292.
- Lyman, R.L. 1994. *Vertebrate taphonomy*. Cambridge Manuals in Archaeology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marín, C., Gómez, G., Ruiz, F., Rodríguez, J., Gómez, P., Campos, J.M., Sebastiani, R., Bermejo, J., Muñoz, F., González-Regalado, M.L., Abad, M., Izquierdo, T. 2021. Paleobiología del muelle de la Linterna (Portus, Roma), in J.M. Campos y J. Bermejo (eds.) *Del Atlántico al Tirreno. Puertos hispanos e itálicos: 635-679*. L'Erma di Bretschneider, Roma.
- Muñiz, F., Belaústegui, Z., Gómez, P., Rodríguez, J., Bermejo, J., Campos, J.M., Ruiz, F., Cáceres, L., Marín, C., Gómez, G., Toscano, A., González-Regalado, M.L., Abad, M., Izquierdo, T. 2021. El rol de la zonación icnológica-ecológica en el muelle de la Linterna de Portus in J.M. Campos y J. Bermejo (eds.) *Del Atlántico al Tirreno. Puertos hispanos e itálicos: 611-633*. L'Erma di Bretschneider, Roma.
- Neumann, A.C. 1966. Observation on coastal erosion in Bermuda and measurements of the boring rate of the sponge, *Clionua lampa*. *Limnology and Oceanography* 11: 92-108.
- Pinn, E.H., Richardson, C.A., Thompson, R.C., Hawkins, S.J. 2005. Burrow morphology, biometry, age and growth of piddocks (Mollusca: Bivalvia: Pholadidae) on the south coast of England. *Marine Biology* 147(4): 943-953.
- Pomponi, S.A. 1980. Cytological mechanisms of calcium carbonate excavation by boring sponges. *International Review of Cytology* 65: 301-319.
- Rodríguez-Tovar, F.J., Uchman, A., Puga-Bernabeu, A. 2015. Borings in gneiss boulders in the Miocene (Upper Tortonian) of the Sorbas Basin, SE Spain. *Geological Magazine* 152(2): 287-297.
- Schiffer, M.B. 1991. Los procesos de formación del registro arqueológico. *Boletín de Antropología Americana* 23: 39-45.
- Schönberg, C., 2008. A history of sponge erosion: from past myths and hypotheses to recent approaches, in M. Wisshak and L. Tapanila (eds.), *Current Developments in Bioerosion: 165-202*, Berlin, Springer.
- Winter, C. P., Fagundes, M., Rodrigues, S. C. 2011. Una aproximación tafonómica al análisis arqueológico del material cerámico. Caso experimental sitio são lourenço 1, municipio de ituiutaba (mg). *Revista Geociências-U*.