

El contraste micropaleontológico de la Historia: el *Lacus Ligustinus* romano

The micropaleontological contrast of the History: the Roman Lacus Ligustinus

Liliana Guerra¹, Cristina Veiga-Pires¹, María Luz González-Regalado^{2,8}, Manuel Abad³, Antonio Toscano^{2,8}, Juan Manuel Muñoz⁴, Francisco Ruiz^{2,8,*}, Joaquín Rodríguez Vidal^{2,8}, Luis Miguel Cáceres^{2,8}, Tatiana Izquierdo⁵, María Isabel Carretero⁶, Manuel Pozo⁷, Guadalupe Monge⁶, Josep Tosquella^{2,8}, Paula Gómez^{2,8}, Verónica Romero^{2,8}, Marta Arroyo^{2,8}, Gabriel Gómez^{2,8}

¹Facultad de Ciências do Mar e do Ambiente (FCMA), Centro de Investigaçao Marinha e Ambiental (CIMA), Campus de Gambelas, Universidad do Algarve, 8005-139-Faro, Portugal. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6274-6607>; <https://orcid.org/0000-0002-9323-0723>.

²Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva, 21071-Huelva, España. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2626-9142>; <https://orcid.org/0000-0003-2144-5714>; <https://orcid.org/0000-0002-7110-3133>; <https://orcid.org/0000-0002-9475-3307>; <https://orcid.org/0000-0002-1381-2476>; <https://orcid.org/0000-0001-7951-0561>; <https://orcid.org/0000-0003-4216-5869>; <https://orcid.org/0000-0002-6879-0243>; <http://orcid.org/0000-0002-6693-598X>; <https://orcid.org/0000-0002-1641-0966>.

³Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, 28933-Móstoles, España. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1930-2650>.

⁴Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Sevilla, 41012-Sevilla, España. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8841-1987>.

⁵Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Atacama, IDICTEC-UDA. Avda. Copayapu, 485. Copiapó, Chile. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3805-2020>.

⁶Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla, 41012-Sevilla, España. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7277-0851>; <https://orcid.org/0000-0002-3171-3439>.

⁷Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28049-Madrid, España. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6706-440X>.

⁸Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural (CIPHNCN), Universidad de Huelva, 21071-Huelva, España.

*Corresponding autor: ruizmu@uhu.es

RESUMEN

Durante el periodo romano (siglo III a.C.-siglo V d.C.), las zonas próximas a la actual desembocadura del río Guadalquivir estaban ocupadas por una laguna interior con conexión marina, a partir de la interpretación paleoambiental de las asociaciones de foraminíferos bentónicos obtenidos en un sondeo situado en el Parque Nacional de Doñana. Sus zonas internas estaban ocupadas por llanuras mareales arcillosas, que sufrieron los efectos de una tormenta hacia finales del siglo I d.C. La comparación con los ostrácodos del mismo sondeo confirma esta reconstrucción y los datos paleogeográficos aportados por diversos cronistas, si bien estos microcrustáceos detectan de manera más precisa los cambios paleoambientales en estos medios litorales.

Palabras clave: Foraminíferos bentónicos; reconstrucción paleoambiental; Holoceno superior; estuario río Guadalquivir; S.O. España.

Recibido el 19 de enero de 2020; Aceptado el 31 de marzo de 2020; Publicado online el 25 de septiembre de 2020

Citation / Cómo citar este artículo: Guerra, L. et al. (2020). El contraste micropaleontológico de la Historia: el *Lacus Ligustinus* romano. *Estudios Geológicos* 76(2): e131. <https://doi.org/10.3989/egeol.43851.585>

Copyright: © 2020 CSIC. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial (by-nc) Spain 4.0 License.

ABSTRACT

During the Roman period (3rd century BC-5th century AD), the areas located near the present-day mouth of the Guadalquivir River were occupied by a lagoon with marine connection, according to the paleoenvironmental interpretation of benthic foraminiferal assemblages obtained in a core extracted in the Doñana National Park. The inner zones of this lagoon were occupied by clayey tidal flats, which suffered the effects of a storm towards the end of the 1st century A.D. The comparison with the ostracod assemblages of the same core confirms this reconstruction and the paleogeographic data provided by various chronoclers, although these microcrustaceans better record the paleoenvironmental changes in these coastal sectors.

Keywords: Benthic foraminifera; palaeoenvironmental reconstruction; Late Holocene; Guadalquivir estuary; S.W. Spain.

Introducción

Numerosos trabajos recientes han intentado contrastar los datos paleogeográficos, paleoecológicos o paleoclimáticos de medios costeros deducidos a partir del estudio de textos históricos o investigaciones arqueológicas de áreas litorales, mediante el análisis multidisciplinar de sondeos continuos o secciones estratigráficas situadas en zonas costeras. Los resultados han permitido corroborar las primeras presencias de asentamientos humanos y su influencia posterior en el entorno (Newnham *et al.*, 2018), inferir posibles causas de migraciones humanas (Allison & Niemi, 2010), cuantificar el impacto medioambiental de actividades mineras (Lupo *et al.*, 2015) o reconstruir antiguas instalaciones portuarias y sus canales internos (Morhange *et al.*, 2000), entre otras aplicaciones.

En España, diversos estudios han relacionado el contenido paleontológico (moluscos, polen, foraminíferos, ostrácodos, diatomeas) de un amplio número de sondeos y secciones con diversas actuaciones antrópicas pretéritas, como deforestaciones, desarrollo de la minería, drenaje de humedales, actividades agropecuarias, presencia/abandono de asentamientos y construcciones, incendios o eventos de alta energía, entre otros (p.e., Sánchez-Goñi, 1996; Borja *et al.*, 1999; García Antón *et al.*, 2006; Méndez *et al.*, 2011; Ejarque *et al.*, 2016; Marco-Barba *et al.*, 2019). Durante el periodo romano (finales del siglo III a.C.-principios del siglo V d.C.), estas investigaciones han permitido conocer la ubicación y fines de factorías pesqueras y concheros, detectar niveles sedimentarios contaminados por procesos mineros y metalúrgicos o constatar el impacto de tsunamis en flechas costeras (p.e., Luque *et al.*, 2001; Ruiz *et al.*, 2008, 2020; Fernández *et al.*, 2015).

En este trabajo, se estudian los foraminíferos bentónicos de un sondeo extraído en el sector meridional del estuario del río Guadalquivir (S.O. España). Las condiciones paleoambientales inferidas son comparadas con las obtenidas por Ruiz *et al.* (2004) en base al estudio de la malacofauna y los ostrácodos del mismo testigo, así como con otras investigaciones desarrolladas en áreas próximas, con los objetivos principales de: a) efectuar una reconstrucción paleoambiental de este área en base a las asociaciones de foraminíferos bentónicos; b) realizar una comparativa entre foraminíferos y ostrácodos como trazadores ambientales; y c) contrastar los resultados obtenidos con el registro histórico sobre su paleogeografía durante el periodo de dominación romana.

El estuario del río Guadalquivir: evolución holocena e historia romana

El río Guadalquivir (657 km de longitud) conforma un amplio estuario en su desembocadura en el océano Atlántico. En la actualidad, este estuario presenta un avanzado estado de colmatación, con *levees* fluviales alargados que delimitan extensas marismas prácticamente llanas y surcadas por numerosos canales distributarios y finalizadores localmente llamados “caños” y “esteros” (Fig. 1, A). Localmente se observa la presencia de *cheniers* (Fig. 1, A: p.e., Las Nuevas) y crestas arenosas (Fig. 1, A: p.e. Vetallengua) que se elevan entre 1 y 2 m sobre las marismas circundantes. Este complejo entramado geomorfológico está parcialmente protegido por la flecha de Doñana, compuesta por sistemas dunares desarrollados progresivamente durante distintas fases de progradación costera a lo largo del Holoceno medio y superior (Fig. 1, A; H₂: 4400-2700 a cal. BP; H₃: 2400-700 a cal. BP; H₄:

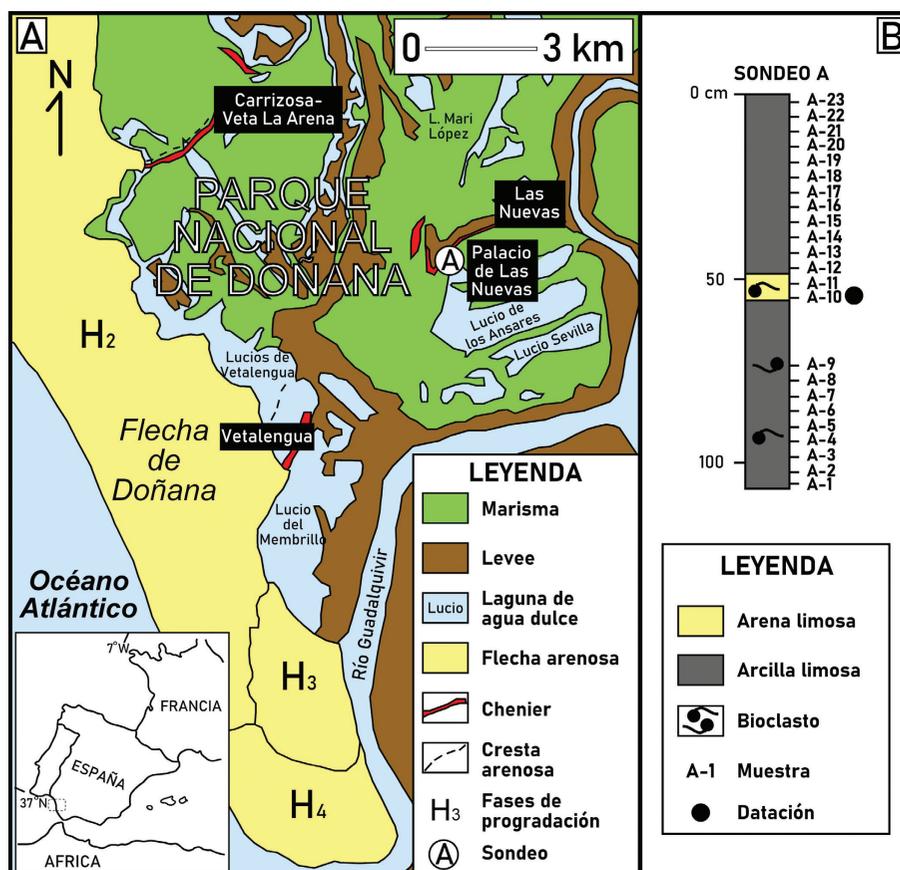


Figura 1.— A. Mapa geomorfológico sintético del sector meridional del Parque Nacional de Doñana, con la situación del sondeo estudiado. B. Sondeo A: litoestratigrafía y situación de las muestras analizadas.

500 a cal. BP; Zazo *et al.*, 1994; Borja Barrera *et al.*, 1999). Numerosas depresiones de estos sistemas y de las marismas están ocupadas por lagunas de aguas dulces, denominadas localmente “lucios” (Fig. 1, A: p.e., lucio Sevilla). El sector marino de este estuario incluye al Parque Nacional de Doñana, una Reserva de la Biosfera con más de 50.000 ha de superficie.

Los principales procesos hidrológicos y geodinámicos de este estuario están controlados principalmente por los aportes del río Guadalquivir y sus afluentes, así como por las mareas. Este río tiene un régimen muy irregular, con un caudal medio de $185 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y máximos que pueden superar los $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Vanney, 1970; Menanteau, 1979), si bien estos flujos están parcialmente controlados por varias presas situadas aguas arriba. El régimen es mesomareal y semidiurno, con un rango mareal medio de 3,6 m (Borrego *et al.*, 1993).

Hace unos 6.500 años, este estuario fue invadido por el mar durante el máximo transgresivo flandriense, conformando una amplia bahía que llegaba hasta Sevilla (Borja Barrera *et al.*, 2018). Entre los 6.500 y 2.300 años BP, se produjo un importante proceso de colmatación debida en gran medida a los aportes fluviales, con la creación de nuevas marismas drenadas por numerosos canales mareales y parcialmente protegidas por una flecha de Doñana en continuo crecimiento hacia el sureste (Fig. 1, A; fase de progradación H₂; Zazo *et al.*, 1994).

Durante el periodo de dominación romana (218 a.C.-siglo V d.C.) y los siglos previos, los cronistas Avieno, Estrabón y Mela confirman sucesivamente la presencia de una laguna en el sector meridional del estuario, próximo a la actual desembocadura del río Guadalquivir. El primero de ellos la

cita como *Lacus Ligustinus* en su obra *Ora Maritima* (ver revisión en Arteaga *et al.*, 1995).

Metodología

Trabajo de campo

El sondeo A (Fig. 1, A-B; longitud: 36°56'22''N; latitud: 6°19'16''W) se extrajo mediante un testificador manual de 20 mm de diámetro en las marismas fluvio-mareales situadas al sur del chenier de Las Nuevas, dentro del Parque Nacional de Doñana. Su litología y color (escala Munsell) fueron revisados directamente sobre el terreno (Ruiz *et al.*, 2004). No se han tomado muestras de los últimos 47 cm del testigo estudiado por estos autores.

Análisis faunístico

Se obtuvieron un total de 23 muestras de sedimento (15 g) para su análisis faunístico. Las muestras fueron levigadas a través de un tamiz de 63 µm de diámetro de malla, con un tratamiento previo mediante adición de pirofosfato sódico. El residuo fue secado a una temperatura constante de 60°C.

Para el estudio de los foraminíferos bentónicos, se ha utilizado un microsplitter para dividir el residuo resultante en partes iguales. Cuando fue posible, al menos 300 individuos fueron extraídos de cada muestra e identificados de acuerdo con los criterios de Loeblich & Tappan (1987), Martins & Gomes (2004), Milker & Schmiedl (2012) y diversos trabajos referenciados en ellos, así como con el *World Register of Marine Species*. Las especies más abundantes (Fig. 2) fueron fotografiadas con un microscopio electrónico de barrido en el Departamento de Microscopía Electrónica y Rayos X de la Universidad de Huelva.

En cada muestra, se calcularon el número de especies y el número de individuos por gramo de arena. Además, se han obtenido diversos índices de diversidad (Shannon -H-, equitability -J-, α -Fisher), así como la relación entre formas planctónicas y bentónicas (P/B, en %).

Análisis estadístico

Este análisis constó de los siguientes pasos: a) cálculo de los porcentajes de las especies halladas, aproximados al entero más cercano en el texto;

b) determinación de los coeficientes de correlación entre las nueve especies más abundantes, que representan a más del 99% de todos los especímenes, para poder determinar las principales asociaciones de estas especies; y c) aplicación de un análisis clúster en modo Q (método de unión completa) para obtener agrupaciones de muestras según la distribución de las nueve especies citadas. En este análisis, los grupos se han diferenciado a partir de una distancia euclídea transformada de 10 unidades. Métodos semejantes y distancias similares o levemente superiores (10-20 unidades) son seleccionados usualmente para la identificación de grupos de muestras en estudios de foraminíferos bentónicos (p.e. Polovodova *et al.*, 2009; Al-Dubai *et al.*, 2017).

Dataciones

Se ha incluido una datación de Ruiz *et al.* (2004) obtenida en el nivel arenoso bioclástico del sondeo A (muestra A-10), así como otras dataciones de edad similar realizadas en niveles bioclásticos depositados por eventos de alta energía en los estuarios de los ríos Guadalquivir y Tinto-Odiel (Ruiz *et al.*, 2004; González-Regalado *et al.*, 2019a). Los resultados se presentan como edades calibradas (2σ), con la aplicación del efecto reservorio (-108 ± 31 ^{14}C yr) calculado por Martins & Soares (2013) para este área. De forma indirecta, la edad de los tramos arcillosos inferior y superior de este testigo puede ser calculada aproximadamente si se extrapola la tasa media de sedimentación similar ($\sim 1,5$ mm/año), obtenida para el Holoceno medio y superior en este sector por Lario *et al.* (2002) en dos testigos situados en las proximidades del lucio de Mari López y por Pozo *et al.* (2010) en un testigo situado en el sector suroccidental del chenier de Las Nuevas (Fig. 1, A).

Resultados

Litología y Macropaleontología

El tramo basal del sondeo A (Fig. 1, B) está compuesto por unos 50 cm de arcillas limosas gris-azuladas (10YR 5/3) con un escaso contenido arenoso y frecuentes restos vegetales. Contiene un abundante registro de bivalvos, representados principalmente por valvas desarticuladas de *Ruditapes decussatus* (Linnaeus) en los primeros 35 cm del sondeo y esta

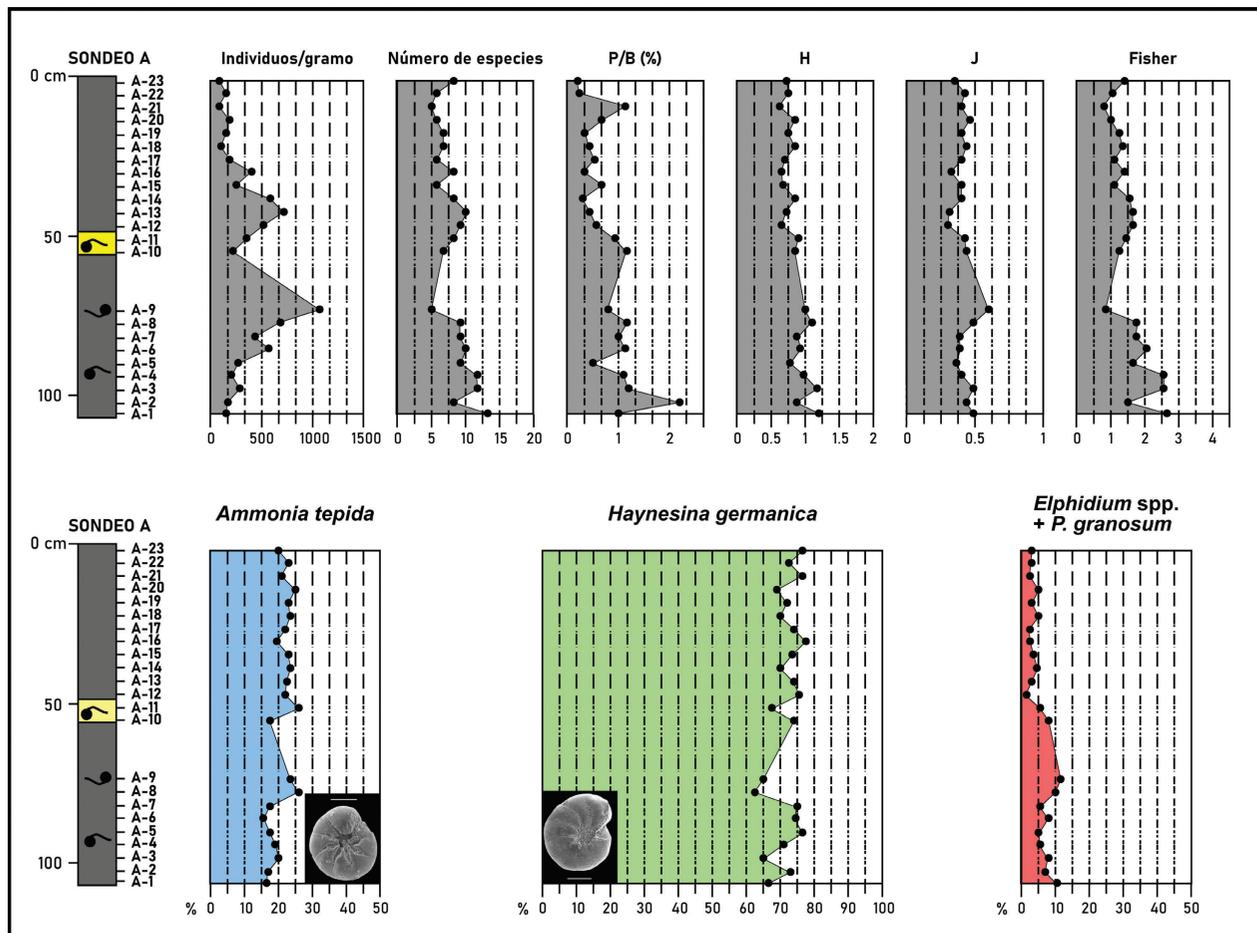


Figura 2.— Evolución vertical del número de especies, número de individuos/gramo, relación planctónicos/bentónicos, índices de diversidad y porcentajes de las principales especies. Escala de las fotografías de las especies: 100 μ m.

especie y *Cerastoderma edule* (Linnaeus) en los 15 cm superiores del tramo basal.

A techo de estos sedimentos finos se sitúa un nivel fino de arenas limosas bioclásticas (8 cm; 10Y 7/10). En su base erosiva, aparecen frecuentes valvas desarticuladas de bivalvos, con *Magallana angulata* (Lamarck) y *Ruditapes decussatus* (Linnaeus) como especies más representativas. En sus 4 cm superiores, la densidad de los bivalvos disminuye, con menor representación de estas dos especies y una presencia esporádica de *Acanthocardia tuberculata* (Linnaeus).

Los 49 cm superiores del sondeo A están constituidos por arcillas limosas verdosas (5Y 4/2), masivas o con una leve laminación paralela. La malacofauna (*C. edule*, *M. angulata*) solo está presente en los

primeros 20 cm, en tanto que esporádicos caparzones del gasterópodo *Rissoa* sp. aparecen en los 24 cm finales del sondeo.

Foraminíferos bentónicos

Abundancia, diversidad y tafonomía

Se han estudiado un total de 7.927 individuos pertenecientes a 31 taxones, de los cuales 23 fueron determinados a nivel específico y 8 a nivel genérico (Tab. 1). En la mayoría de las muestras no se superan los 500 individuos/gramo, con máximos superiores a 1.000 individuos/gramo en la muestra A-9 y mínimos inferiores a 140 individuos/gramo en las muestras arcillosas basales y las seis muestras superiores

Tabla 1.—Porcentajes de las especies de foraminíferos bentónicos.

ESPECIES / MUESTRAS	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	A-12	A-13	A-14	A-15	A-16	A-17	A-18	A-19	A-20	A-21	A-22	A-23	
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	16.57	17.11	19.86	18.96	17.49	15.73	17.47	25.99	23.53	17.3	26.11	21.89	22.25	23.78	22.89	19.48	22.22	23.68	23.38	25.2	21.17	23.4	19.58	19.58
<i>Asiginata mamilla</i> (Williamson)	0	0	0	0	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26	0	0.44	0	0	0	0	0	0
<i>Bolivina ordinaria</i> (Phleger & Parker)	2.81	1.34	1.05	0.74	0.22	1.12	1.37	0.99	0	0.31	0.3	0	0	0.35	0.4	0	1.04	0.44	0.31	0.54	0	0.61	0.78	0.78
<i>Bolivina striatula</i> Cushman	0	0	0	0	0	0	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brizalina</i> sp.	0.28	0	1.05	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0.62	0	0	0	0	0.52
<i>Bulimina elongata</i> d'Orbigny	0	0	0	0.37	0	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0.31	0	0	0	0	0
<i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Buliminella</i> <i>elegantissima</i> d'Orbigny	0.28	0	0.35	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26
<i>Cornuloculina</i> sp.	0	0	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cornuspira involvens</i>	0	0	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elphidium</i> <i>complanatum</i> (d'Orbigny)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31	0	0
<i>Elphidium cuvillieri</i> Lévy	2.25	0.34	2.44	0.37	0.45	0.75	1.03	2.96	3.07	1.57	1.48	0.2	0.72	1.75	0.8	0.52	0.69	1.75	0.92	1.34	0.61	0	1.57	1.57
<i>Elphidium</i> <i>oceanense</i> (d'Orbigny)	0	3.36	1.74	2.23	1.12	2.62	1.03	4.61	2.81	0	0.59	0.4	0.58	2.45	1.21	1.04	0	3.51	2.46	1.88	1.53	1.52	1.04	1.04
<i>Elphidium</i> sp.	3.65	1.34	0	0	0	0	0	0.99	0	3.77	2.37	0.4	0	0	0	0.78	0	0	0	0	0	1.22	0	0
<i>Fissurina</i> sp.	0	0	1.74	2.6	1.35	3.75	2.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fursenkoina</i> <i>complanata</i> (Egger)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Continuación

Tabla 1.—Continuación

ESPECIES / MUESTRAS	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	A-12	A-13	A-14	A-15	A-16	A-17	A-18	A-19	A-20	A-21	A-22	A-23	
<i>Haynesina germanica</i> (Ehrenberg)	66.29	73.83	64.81	71.38	76.68	74.16	75	62.5	64.96	73.9	67.66	75.5	73.84	70.28	73.49	77.4	73.96	69.74	72	69.17	76.38	72.34	75.98	
<i>Lagena sulcata</i> (Walker & Jacob)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Miliolina schlumbergeri</i> Heron-Allen & Earland	2.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nonionella stella</i> Cushman & Moyer	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planorbulina mediterranensis</i> d'Orbigny	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.2	0	0	0	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Porosonion granosum</i> (d'Orbigny)	4.49	2.01	2.44	0.37	2.02	0.75	1.37	1.32	5.63	2.83	1.19	0.8	1.88	0.7	1.21	0	1.74	0	0	1.88	0	0.91	0.26	
<i>Quinqueloculina laevigata</i> d'Orbigny	0	0	0	1.86	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina</i> sp.	0	0	3.83	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rosalina bradyi</i> (Cushman)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spirillina vivipara</i> Ehrenberg	0.28	0.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spirillina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stilostomella</i> sp.	0	0	0	0	0.45	0.37	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Textularia</i> sp.	0.28	0	0	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0	0.14	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tritoculina trigonula</i> (Lamarck)	0	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

del sondeo A (Fig. 2). El número de especies (< 13) es reducido en todas las muestras, con máximos en la base y mínimos hacia el techo.

Las formas plantónicas son muy escasas, no superando el 2,3% del total de foraminíferos en ninguna de ellas. Solo se alcanza el 1% en la mayoría de las muestras basales, en la base del nivel bioclástico intermedio y en una muestra del nivel arcilloso superior, con una tendencia general descendente hacia el techo, donde esta relación no supera el 0,3% (Fig. 2).

Esta tendencia también se observa en H, con valores bajos en general ($H < 1,2$) pero inferiores en las muestras superiores ($H < 0,8$), así como en el índice α de Fisher, que oscila entre 1,5 y 2,7 en las muestras basales y desciende hasta valores próximos a 1 en las muestras superiores. Los valores de J se mantienen relativamente constantes entre 0,4 y 0,5, con máximos levemente superiores a 0,8 (muestra A-9) y mínimos algo superiores a 0,4 (muestra A-12).

En general, los foraminíferos bentónicos muestran un buen grado de conservación. Solo se han apreciado roturas de la última cámara en algunos ejemplares de miliólidos.

Distribución vertical de las principales especies

A nivel general, la especie más abundante es *Haynesina germanica* (Ehrenberg) (72% del total), con porcentajes comprendidos entre el 62% y el 77% (Fig. 2). Se observa un ligero incremento medio desde las muestras infrayacentes al nivel bioclástico (media -M-: 70%) hasta las muestras suprayacentes a él (M: 73%). En este nivel, disminuye desde la base (74%) hacia el techo (68%). Esta especie es siempre dominante sobre *Ammonia tepida* (Cushman) (21%

del total), que presenta un rango de porcentajes superior al 15% (Fig. 2: 16%-26%). Estos porcentajes son algo inferiores en los 50 cm basales (M: 19%) en relación con el tramo arcilloso superior (M: 22%). En conjunto, la suma de estas dos especies se incrementa levemente en estas arcillas superiores (muestras A-12 a A-23; M: 96%) en relación al tramo basal también arcilloso (muestras A-1 a A-9; M: 89%).

Las especies del género *Elphidium* constituyen el grupo de especies secundarias más significativo, si bien con valores muy bajos en la mayoría de las muestras (1%-9%; M: 3%), representados por *Elphidium complanatum* (d'Orbigny), *Elphidium cuvillieri* Lévy, *Elphidium oceanense* (d'Orbigny in Fornasini) y *Elphidium* sp. Sus porcentajes conjuntos suelen ser algo superiores en el tramo arcilloso basal (2%-9%; M: 4%).

Una distribución similar se observa en *Porosonion granosum* (d'Orbigny), algo más abundante en las muestras arcillosas inferiores (M: 2%) que en las superiores (M: 1%), donde llega incluso a desaparecer en cuatro muestras. *Bolivina ordinaria* Phleger & Parker sigue un patrón parecido, con porcentajes nunca superiores al 3%, en tanto que la aparición de *Fissurina* sp. está restringida a cinco muestras del tramo arcilloso inferior. *Brizalina* sp. muestra una distribución más aleatoria, superando el 1% solo en la muestra A-3 y estando ausente en la mayoría de las muestras (17).

Análisis estadístico

Matriz de correlación. Las correlaciones positivas significativas son escasas entre las nueve especies más abundantes (Tab. 2). De forma genérica,

Tabla 2.—Matriz de correlación de las especies más abundantes. *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	AT	BO	BS	EC	EO	ES	FS	HG	PG
<i>Ammonia tepida</i> (AT)	1								
<i>Bolivina ordinaria</i> (BO)	0.45*	1							
<i>Brizalina</i> sp. (BS)	0.01-	0.24	1						
<i>Elphidium cuvillieri</i> (EC)	0.26	0.23	0.42*	1					
<i>Elphidium oceanense</i> (EO)	0.27	0.03-	0.09	0.32	1				
<i>Elphidium</i> sp. (ES)	0.22-	0.39	0.07-	0.19	0.34-	1			
<i>Fissurina</i> sp. (FS)	0.55**	0.25	0.06	0.15-	0.12	0.27-	1		
<i>Haynesina germanica</i> (HG)	0.44*	0.3	0.38-	0.82**	0.43*	0.43*	0.09	1	
<i>Porosonion granosum</i> (PG)	0.15-	0.33	0.04	0.54**	0.15-	0.39	0.1-	0.49*	1

pueden distinguirse dos asociaciones, ligadas a las dos especies más abundantes: a) asociación de *A. tepida*, que incluiría a *E. cuvillieri* y *E. oceanense*, con coeficientes superiores a 0,25 entre ellas y con correlaciones a veces significativas con *Brizalina* sp.; y b) asociación de *H. germanica*, que incluiría a *B. ordinaria*.

Análisis clúster modo Q. Este análisis diferencia tres grupos de muestras (Fig. 3). El grupo 1 es el más numeroso (15 muestras) y se caracteriza por los máximos porcentajes de *H. germanica* (M: 74%), valores medios de *A. tepida* (M: 20%) y una escasa representación de las especies minoritarias mencionadas. Este grupo se distribuye a lo largo de todo el sondeo A. El grupo 2 está representado exclusivamente por la muestra basal de este sondeo, caracterizada por una mayor diversidad (12 especies), porcentajes algo inferiores de *H. germanica* (66%) y muy bajos de *A. tepida* (17%), así como por los porcentajes máximos de *P. granosum* (~5%). El grupo 3 (7 muestras) se diferencia por sus porcentajes más elevados de *A. tepida* (20%-26%; M: 24%)

Edades

La edad calibrada de la muestra A-10 abarca desde 105 a.C. hasta 290 d.C., con una máxima probabilidad hacia finales del siglo I d.C. Si se toma esta muestra como referencia y se aplica la tasa de sedimentación ya indicada (1,5 mm/año), el tramo inferior arcilloso (50 cm) habría comenzado a depositarse entre 440 a.C. y 40 a.C., con una edad más probable hacia el 265 a.C. Con esta misma referencia, la edad más probable del tramo arcilloso superior (49 cm) se situaría entre principios del siglo II

d.C. (muestra A-12) y principios del siglo V d.C. (muestra A-23). En consecuencia, las muestras estudiadas se depositaron aproximadamente durante el periodo romano.

Discusión

Reconstrucción paleoambiental del sondeo A

El sondeo A muestra una relativa homogeneidad en los porcentajes de sus principales especies. *H. germanica* y *A. tepida*, las dos especies dominantes (Tab. 1: 92,9% del total entre ambas) son especies eurihalinas que soportan grandes variaciones de salinidad (<32‰) y condiciones de estrés ambiental (ver revisión en Murray, 2006). Coexisten en medios litorales y parálidos, con especial abundancia en lagos y lagunas costeras, marismas, estuarios, bahías, etc. En estos ambientes, *H. germanica* es más resistente a cambios ambientales y prefiere en general zonas más restringidas, de sustrato limo-arcilloso y con una mayor elevación topográfica, como las zonas intermareales. *A. tepida* es más abundante en áreas más abiertas, más profundas y con mayor renovación mareal, como los canales mareales, áreas más próximas a la bocana de estas lagunas o incluso zonas infralitorales someras (Jorissen, 1988; Debenay & Guillou, 2002; Blázquez, 2005; Frontalini *et al.*, 2011, 2013).

El notable predominio de *H. germanica*, los bajos índices de diversidad observados, la escasa presencia y progresiva desaparición de formas planctónicas, así como la paulatina disminución del número de individuos, apuntan a la presencia de un medio lagunar intermareal situado en el sector marino de un

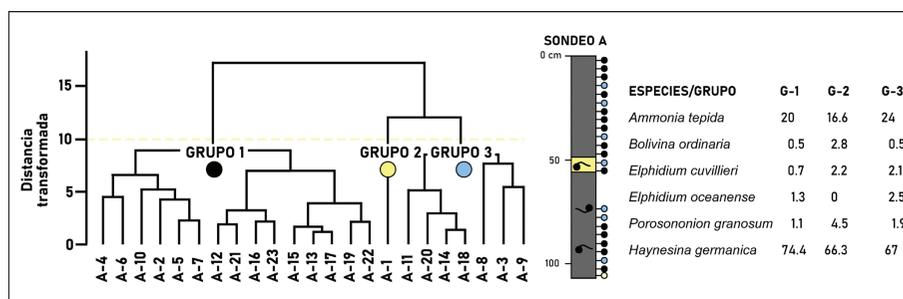


Figura 3.— Análisis clúster modo Q de las muestras, con situación de los grupos determinados y porcentajes medios de las principales especies en ellos.

estuario (Cearreta, 1998; Murray, 2006). Estos datos, unidos a los importantes porcentajes de *A. tepida*, así como a la ausencia de especies típicas de las marismas actuales de los estuarios suratlánticos de España (González-Regalado *et al.*, 2001, 2019; Ruiz *et al.*, 2005), como *Trochammina inflata* (Montagu) o *Entzia macrescens* (Brady), o de sus zonas más externas, como *Ammonia beccarii* (Linnaeus), situarían al sondeo A en una llanura mareal interna o en una zona poco profunda de una laguna sometida a un importante estrés medioambiental (p.e., variaciones de salinidad, periodos prolongados de emersión) durante el periodo romano. Esta reconstrucción paleogeográfica del sector meridional del estuario se ha observado en lagunas atlánticas y mediterráneas actuales (p.e. Ruiz *et al.*, 2006; Cearreta *et al.*, 2007; Coccioni *et al.*, 2009; Calvo-Marcilese & Langer, 2010; Alday *et al.*, 2013). Esta reconstrucción paleogeográfica coincide con los textos históricos y con la inferida en otros estudios pluridisciplinares (Ruiz *et al.*, 2010; Borja Barrera, 2013; Borja Barrera *et al.*, 2018).

La presencia del resto de especies minoritarias también está en concordancia con esta interpretación paleogeográfica. Las especies más abundantes del género *Elphidium* (*E. cuvillieri* -como *Criboelphidium cuvillieri*-, *E. oceanense* -como *E. oceanensis*-), *B. ordinaria* y *P. granosum* (como *Elphidium granosum* o *Criboelphidium granosum*) son comunes en lagunas costeras restringidas, pero con un aún apreciable intercambio mareal (Cearreta *et al.*, 2002; Frontalini *et al.*, 2011; Alves *et al.*, 2015). Estas especies también pueden estar presentes en ambientes marinos someros (Mendes, 2010).

Los elevados porcentajes de *H. germanica* y *A. tepida* proporcionan datos paleoambientales adicionales, en conjunción con la presencia de numerosos restos vegetales. *H. germanica* se asocia a una moderada disponibilidad de microfítobentos (p.e. diatomeas) en el medio, del que extrae los cloroplastos que permanecen funcionales durante al menos dos semanas mediante el fenómeno conocido como cleptoplastia (Jauffrais *et al.*, 2016; Wukovits *et al.*, 2018). Las preferencias alimenticias de *A. tepida* son más amplias, ya que esta especie se alimenta de detritos, cianobacterias o materia orgánica refractaria (Goldstein & Corliss, 1994; Moodley *et al.*, 2000;

De Nooijer, 2007). En consecuencia, *H. germanica* prefiere sedimentos más oxigenados, con alto Eh, en tanto que *A. tepida* es más tolerante a cierto nivel de hipoxia, derivado del enriquecimiento en materia orgánica (Bouchet *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2015).

En este escenario general relativamente permanente, el nivel bioclástico arenoso representa un aumento puntual de la energía del medio, cuyas consecuencias más relevantes son: a) una erosión de las arcillas infrayacentes; b) un incremento del tamaño de grano; c) la presencia de una abundante malacofauna (*M. angulata*, *R. decussatus*) típica de medios marinos (Ferreira & Vale, 1998; Chicharro *et al.*, 2001; Gómez, 2017) con evidencias tafonómicas de transporte (fracturas, desarticulación), una de las características de depósitos holocenos de tormentas (Ruiz *et al.*, 2007); d) una disminución del número de foraminíferos bentónicos, observada también en registros pliocénicos de tormentas (González-Regalado *et al.*, 2009); e) un leve incremento relativo de formas planctónicas; f) una asociación dominante similar a las arcillas inferiores, aunque con un leve incremento de *H. germanica* (~65% a ~74%) y una disminución de *A. tepida* (23,5% a 17,3%); y g) una ausencia casi total de foraminíferos bentónicos marinos someros. Todo ello apunta a la acción de una tormenta que erosionó los sedimentos de fondo de las zonas más externas de la laguna y los depositó en los sectores más internos ya descritos. La edad más probable de este evento (finales del siglo I d.C.) coincide con un periodo de tormentas en este sector atlántico, así como en la zona mediterránea adyacente (Sabatier *et al.*, 2012; Orme *et al.*, 2017), que ocasionaron el depósito de abanicos de derrame (*washover fans*) sobre *cheniers* previos en la cercana Isla de Saltés (Fig. 1-Tab. 3; González-Regalado *et al.*, 2019).

Foraminíferos vs ostrácodos

Los ostrácodos del sondeo A fueron estudiados dentro de un análisis multidisciplinar de varios sondeos situados en el sector meridional del Parque Nacional de Doñana (sondeo C de Ruiz *et al.*, 2004). Entre las muestras A-1 y A-20, sus asociaciones están dominadas por *Cyprideis torosa* (Jones), *Loxoconcha elliptica* (Brady) y *Leptocythere castanea* (Sars), especies típicas de zonas internas muy someras de

Tabla 3.—Dataciones calibradas del testigo A y de otros depósitos próximos coetáneos con la muestra A-10.

Localización	Muestra	Material	Código de laboratorio	Edad 14C	Error	Edad calibrada	Edad media más probable	Referencia
Chenier de Las Nuevas (Doñana)	A-10	Concha	B-145203	2140	70	105 a.C.- 290 d.C.	97 d.C.	Ruiz et al. (2004)
Vetalengua (Doñana)		Concha	R-2283	2171	36	70 a.C.- 190 d.C.	60 d.C.	Ruiz et al. (2004)
Isla Saltés (Estuario Tinto-Odiel)		Concha	CNA-2825	2170	32	60 a.C. - 185 d.C.	61 d.C.	González-Regalado et al. (2019a)
Isla Saltés (Estuario Tinto-Odiel)		Concha	CNA-2824	2150	33	30 a.C. - 210 d.C.	85 d.C.	González-Regalado et al. (2019a)
Isla Saltés (Estuario Tinto-Odiel)		Concha	CNA-2823	2172	32	60 a.C. - 180 d.C.	59 d.C.	González-Regalado et al. (2019a)

lagunas salobres (salinidad inferior a 25‰ en su mayoría) con conexión marina (Marocco *et al.*, 1996; Montenegro & Pugliese, 1996; Ruiz *et al.*, 2000). Además, la progresiva reducción de la influencia marina también queda reflejada en los ostrácodos, con una disminución del número de individuos hacia techo acompañada de una desaparición paulatina de especies marinas, que aparecen puntualmente en el tramo arcilloso inferior del sondeo (*Carinocythereis whitei* (Baird), *Palmoconcha* spp., *Semicytherura* sp.). También desaparecen las abundantes espinas de equinodermos observadas en la parte basal y media del sondeo A. En ostrácodos, el nivel bioclástico también queda diferenciado por una disminución en el número de individuos y un aumento en el número de adultos en relación con el tramo arcilloso inferior. En consecuencia, la reconstrucción paleoambiental general del sondeo A es similar en función de las asociaciones de foraminíferos y ostrácodos.

La principal diferencia entre ambos análisis se sitúa en las muestras A-21 a A-23. No se observan cambios sustanciales en las asociaciones de foraminíferos (Fig. 2 y Tab. 1) ni su análisis estadístico separa a estas muestras (Fig. 3), si bien disminuye su número de individuos. Por el contrario, la asociación de ostrácodos cambia paulatinamente hasta consolidarse un dominio de formas dulceacuícolas. En este tramo superior, es muy abundante *Cyprinotus salinus* (Brady) y también aparecen de forma puntual *Cypridopsis vidua* (Müller), *Cypris bispinosa* Lucas, *Herpetocypris chevreuxi* (Sars) e *Ilyocypris gibba* (Ramdohr), una asociación límnico-oligohalina típica de aguas estancadas, lagunas, lagos, marismas o incluso zonas muy internas de estuarios (Margalef,

1983; Bronsthein, 1988; Fernandes *et al.*, 2010). Esta asociación está actualmente presente en las lagunas temporales interiores, lucios y caños del Parque Nacional de Doñana (Armengol, 1976; Ruiz *et al.*, 1996; Alcorlo *et al.*, 2014). De acuerdo con las tasas de sedimentación indicadas, esta transición hacia medios dulceacuícolas se produjo durante los siglos IV-V d.C.

En consecuencia, los ostrácodos detectan con mayor precisión los cambios paleoambientales en esta área, y especialmente las oscilaciones de la salinidad. Esta conclusión también ha sido obtenida en otros estudios comparativos entre ostrácodos y foraminíferos como indicadores (paleo-) ambientales de actuales y antiguas lagunas costeras (p.e. Ruiz *et al.*, 2012; Barbieri & Vaiani, 2018).

Conclusiones

El estudio de las asociaciones de foraminíferos bentónicos presentes en un sondeo extraído cerca de la desembocadura del río Guadalquivir ha permitido reconstruir las condiciones paleoambientales de este sector durante el periodo romano (finales del siglo III a.C.-siglo V d.C.). Las zonas próximas a la desembocadura estaban ocupadas por una laguna con conexión marina cada vez más limitada, en cuyas llanuras mareales arcillosas internas abundaban *Haynesina germanica* y, en menor medida, *Ammonia tepida*. Este medio fue alterado puntualmente por los efectos de una tormenta hacia finales del siglo I d.C., con el depósito de un nivel arenoso bioclástico. Este escenario coincide con las descripciones paleogeográficas de diversos cronistas durante este periodo.

Además, las asociaciones de ostrácodos analizadas en un estudio previo del mismo testigo recrean similares condiciones, pero además permiten deducir el paso a un medio dulceacuícola, como los llamados actualmente lucios, durante los siglos IV-V d.C., un cambio no detectado tan claramente por los foraminíferos bentónicos. En consecuencia, se considera que estos microcrustáceos son mejores trazadores medioambientales en estos medios de transición, como también han considerado otras investigaciones previas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los Grupos de Investigación RNM-238 (Paleontología y Ecología Aplicadas), RNM-293 (Geomorfología Ambiental y Recursos Hídricos) y RNM-349 (Mineralogía y Geoquímica Ambiental y de la Salud) de la Junta de Andalucía, así como por el Plan Propio de Investigación de la Universidad de Huelva (proyecto UHU-1260298). Es una contribución al Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural (CIPHCN) de la Universidad de Huelva.

Referencias

- Alcorlo, P.; Jiménez, S.; Baltanás, A. & Rico, E. (2014). Assessing the patterns of the invertebrate community in the marshes of Doñana National Park (SW Spain) in relation to environmental factors. *Limnetica*, 33: 189-204. <http://doi.org/10.23818/limn.33.15>
- Alday, M.; Cearreta, A.; Freitas, C. & Andrade, C. (2013). Modern and late Holocene foraminiferal record of restricted environmental conditions in the Albufeira Lagoon, SW Portugal. *Geologica Acta*, 11, 75-84.
- Al-Dubai, T.A.; Abu-Zied, R.H. & Basaham, A.S. (2017). Diversity and distribution of benthic foraminifera in the Al-Kharrar Lagoon, eastern Red Sea coast, Saudi Arabia. *Micropaleontology*, 63: 275-303.
- Allison, A.J. & Niemi, T.M. (2010). Paleoenvironmental reconstruction of Holocene coastal sediments adjacent to archaeological ruins in Aqaba, Jorda. *Geoarchaeology*, 25, 602-625. <https://doi.org/10.1002/gea.20322>
- Alves, M.V.; Zaaboub, N.; Aleya, L.; Frontalini, F.; Pereira, E.; Miranda, P.; Mane, M.; Rocha, F.; Laut, L. & El Bour, M. (2015). Environmental Quality Assessment of Bizerte Lagoon (Tunisia) Using Living Foraminifera Assemblages and a Multiproxy Approach. *PLoS ONE*, 10: e0137250. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137250>
- Armengol, J. (1976). Crustáceos acuáticos del Coto de Doñana. *Oecologica aquatica*, 2: 93-97.
- Arteaga, O.; Schulz, H.D. & Roos, A.-M. (1995). El problema del 'Lacus Ligustinus'. *Investigaciones geoarqueológicas en torno a las marismas del Bajo Guadalquivir*. In: Tartessos: 25 años: 1968-1993. Actas del Congreso Commemorativo del V Symposium Internacional de Prehistoria Peninsular (Ayuntamiento de Jerez de la Frontera, Ed.), Jerez de la Frontera, 99-135.
- Barbieri, G. & Vaiani, C. (2018). Benthic foraminifera or Ostracoda?. Comparing the accuracy of palaeoenvironmental indicators from a Pleistocene lagoon of the Romagna coastal plain (Italy). *Journal of Micropalaeontology*, 37: 203-230. <https://doi.org/10.5194/jm-37-203-2018>
- Blázquez, A.M., 2005. Evolución Cuaternaria de l'Albufera d'Elx: Paleoambientes y Foraminíferos Fósiles. *Memorias del Museo Paleontológico de Elche*. Alicante, Universidad de Alicante y MUPE, 1, 314 pp.
- Borja Barrera, F. (2013). La desembocadura del Guadalquivir en la segunda mitad del Holoceno. Síntesis paleogeográfica. In: El asentamiento histórico de Valencina de la Concepción (Sevilla) (García, L.; Vargas, J.M.; Hurtado, V.; Ruiz, T. & Cruz-Auñón, R., Eds.). Servicio Publicaciones Universidad de Sevilla, 93-112.
- Borja Barrera, F.; Zazo, C.; Dabrio, C.J.; Díaz del Olmo, F.; Goy, J.L. & Lario, J. (1999). Holocene aeolian phases and human settlements along the Atlantic coast of southern Spain. *The Holocene*, 9: 333-339. <https://doi.org/10.1191/095968399668924476>
- Borja Barrera, F.; Borja, C.; Jiménez, A. & García, A. (2018). Evolución de la llanura aluvial del bajo Guadalquivir durante el Holoceno medio-superior. *Geoarqueología y reconstrucción paleogeográfica de la vega de Itálica* (Sevilla, España). *Boletín Geológico y Minero*, 129: 371-420. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.129.1.015>
- Borrego, J.; Morales, J.A. & Pendón, J.G. (1993). Elementos morfodinámicos responsables de la evolución reciente del estuario bajo del río Guadiana (Huelva). *Geogaceta*, 11: 86-89.
- Bouchet, V.M.P.; Debenay, J.-P.; Sauriau, P.-G.; Radford-Knoery, J. & Soletchnik, P. (2007). Effects of short-term environmental disturbances on living benthic foraminifera during the Pacific oyster summer mortality in the Marennes-Oléron Bay (France). *Marine Environmental Research*, 64: 358-383. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2007.02.007>
- Bronshstein, Z.S. (1988). Freshwater Ostracoda. *Fauna of the USSR Crustaceans*, vol. 2, n° 2. Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi. 433 pp.
- Calvo-Marcilese, L. & Langer, M.R. (2010). Breaching biogeographical barriers: the invasion of *Haynesina germanica* (Foraminifera, Protista) in the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Biological Invasions*, 12: 3299-3306. <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9723-x>
- Cearreta, A. (1998). Distribution and ecology of benthic foraminifera in the Santoña estuary, Spain. *Revista Española de Paleontología*, 3: 23-38.

- Cearreta, A.; Alday, M.; Freitas, M.C.; Andrade, C. & Cruces, A. (2002). Modern foraminiferal record of alternating open and restricted environmental conditions in the Santo André lagoon, SW Portugal. *Hydrobiologia*, 5/476: 21-27. <https://doi.org/10.1023/A:1020384302366>
- Cearreta, A.; Alday, M.; Freitas, M. & Andrade, C. (2007). Postglacial foraminifera and paleoenvironments of the Melides lagoon (SW Portugal): towards a regional model of coastal evolution. *Journal of Foraminiferal Research*, 37: 125-135. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.37.2.125>
- Chicharro, L.; Teodosio, M.A.; Alves, F.; Amaral, A.P.; Pereira, A.T. & Regala, J. (2001). Diel variation of the RNA/DNA ratios in *Crassostrea angulata* (Lamarck) and *Ruditapes decussatus* (Linnaeus 1758) (Mollusca: Bivalvia). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 259: 121-129. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(01\)00229-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00229-5)
- 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: 257-267. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.08.009>
- Debenay, J.P. & Guillou, J.J. (2002). Ecological transitions indicated by foraminiferal assemblages in paralic environments. *Estuaries*, 25: 1107-1120. <https://doi.org/10.1007/BF02692208>
- De Nooijer, L.J. (2007). Shallow-water benthic foraminifera as proxy for natural versus human-induced environmental change. Ph.D. Thesis, University of Utrecht, The Netherlands. 152 pp.
- Ejarque, A.; Julià, R.; Reed, J.M.; Mesquita-Joanes, F.; Marco-Barba, J. & Riera, S. (2016) Coastal Evolution in a Mediterranean Microtidal Zone: Mid to Late Holocene Natural Dynamics and Human Management of the Castelló Lagoon, NE Spain. *PLoS ONE* 11: e0155446. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155446>
- Fernandes, M.J.; Namiotko, T.; Cabral, M.C.; Fatela, F. & Boavida, M.J. (2010). Contribution to the knowledge of the freshwater Ostracoda in continental Portugal, with an updated checklist of Recent and Quaternary species. *Journal of Limnology*, 69: 160-173. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2010.160>
- Fernández, C.; Bejega, V.; González, E.; Ramil, E. & Fuertes, N. (2015). Los Concheros de Eiris (A Coruña): primeros resultados de una acumulación singular de mejillones (*Mytilus* sp.) de época romana. In: *La investigación arqueomalacológica en la Península Ibérica: Nuevas aportaciones* (Gutiérrez Zugasti, I.; Cuenca Solana, D. & González-Morales, M.R., Eds.), Nadir Ediciones, Santander, 173-186.
- Ferreira, A.M. & Vale, C. (1998). PCB accumulation and alterations of lipids in two length classes of the oyster *Crassostrea angulata* and of the clam *Ruditapes decussatus*. *Marine Environmental Research*, 45: 259-268. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(97\)00130-X](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(97)00130-X)
- Frontalini, F.; Armynot du Châtelet, E.; Debenay, J.P.E.; Coccioni, R. & Bancalà, G. (2011). Benthic foraminifera in coastal lagoons: distributional patterns and biomonitoring implications. In: *Lagoons: Biology, Management and Environmental Impact*, (Friedman, A.G., Ed.). Nova Science Publishers Inc., New York, 39-72.
- Frontalini, F.; Margaritelli, G.; Francescangeli, F.; Rettori, R.; Armynot du Châtelet, E. & Coccioni, R. (2013). Benthic Foraminiferal Assemblages and Biotopes in a Coastal Lake: The Case Study of Lake Varano (Southern Italy). *Acta Protozoologica*, 52: 147-160.
- García Antón, M.; Gil-Romera, G.; Pagés, J.L. & Alonso, A. (2006). The Holocene pollen record in the Villaviciosa Estuary (Asturias, North Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 237: 280-292. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.12.004>
- Goldstein, S.T. & Corliss, B.H. (1994). Deposit feeding in selected deep-sea and shallow-water benthic foraminifera. *Deep-Sea Research*, 41: 229-241. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0967-0637(94)90001-9)
- Gómez, G. (2017). Guía de los moluscos marinos de Huelva y del Golfo de Cádiz. Diputación Provincial de Huelva. 300 pp.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(01\)80042-5](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(01)80042-5)
- González-Regalado, M.L.; Ruiz, F.; Abad, M.; Civis, J.; González Delgado, J. A.; Muñoz, J.M.; Pendón, J.G. & Toscano, A. (2009). Impact of storms on Pliocene benthic foraminiferal assemblages of southwestern Spain. *Ameghiniana*, 46: 345-360.
- González-Regalado, M.L.; Gómez, P.; Ruiz, F.; Cáceres, L.M.; Clemente, M.J.; Rodríguez Vidal, J.; Toscano, A.; Monge, G.; Abad, M.; Izquierdo, T.; Campos, J.M.; Bermejo, J.; Martínez-Aguirre, A.; Prudencio, M.I.; Dias, M.I.; Marques, R. & Muñoz, J.M. (2019). Facies analysis, foraminiferal record and chronostratigraphy of Holocene sequences from Saltes Island (Tinto-Odiel estuary, SW Spain): the origin of high-energy deposits. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218: 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.005>
- Jaufrays, T.; Jesus, B.; Metzger, E.; Mouget, J.-L.; Jorissen, F. & Geslin, E. (2016). Effect of light on photosynthetic efficiency of sequestered chloroplasts in intertidal benthic foraminifera (*Haynesina germanica* and *Ammonia tepida*). *Biogeosciences*, 13: 2715-2726. <https://doi.org/10.5194/bg-13-2715-2016>
- Jorissen F.J. (1988). Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of phenotypic variation. *Utrecht Micropaleontological Bulletin*, 37: 1-174.

- Lario, J.; Zazo, C.; Goy, J.L.; Dabrio, C.J.; Botja, F.; Silva, P.G.; Sierro, F.J.; González, A.; Soler, V. & Yll, E. (2002). Changes in sedimentation trends in SW Iberia Holocene estuaries. *Quaternary International* 93-94: 171-176. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00015-0)
- Loeblich, A.R. & Tappan, H. (1987). *Foraminiferal Genera and Their Classification*. Van Nostrand Reinhold Co., New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5760-3>
- Lupo, K.D.; Schmitt, D.N.; Kiahtipes, C.A.; Ndanga, J.P.; Young, D.C. & Simiti, B. (2015). *PLoS ONE*, 10: e0132632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132632>
- Luque, L., Lario, J., Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J. & Silva, P.G. (2001). Tsunami deposits as palaeoseismic indicators: examples from the Spanish coast. *Acta Geologica Hispanica*, 3-4: 197-211.
- Marco-Barba, J.; Burjachs, F.; Reed, J.M.; Santisteban, C.; Usera, J.M.; Alberola, C.; Expósito, I.; Guillem, J.; Patchett, F.; Vicente, E.; Mesquita-Joanes, F. & Miracle, M.R. (2019). Mid-Holocene and historical palaeoecology of the Albufera de València coastal lagoon. *Limnetica*, 38: 353-389. <http://doi.org/10.23818/limn.38.22>
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Omega, Barcelona. 1010 pp.
- Marocco, R.; Melis, R.; Montenegro, M.E.; Pugliese, N.; Vio, E. & Lenardon, G. (1996). Holocene evolution of the Caorle barrier-lagoon (northern Adriatic Sea, Italy). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 102, 385-396.
- Martins, V. & Gomes, V. (2004). *Foraminíferos da Margem Continental NW Ibérica: Sistemática, Ecologia*. Gomes, C. (Ed.), Aveiro (en portugués). 377 pp.
- Martins, J.M.M. & Soares, A.M.M (2013). Marine radiocarbon reservoir effect in Southern Atlantic Iberian coast. *Radiocarbon*, 55: 1123-1134. <https://doi.org/10.1017/S0033822200048037>
- Martins, M.V.A.; Silva, F.; Laut, L.L.M.; Frontalini, F.; Clemente, I.M.M.M.; Miranda, P.; Figueira, R.; Sousa, S.H.M. & Alveirinho, J. (2015). Response of Benthic Foraminifera to Organic Matter Quantity and Quality and Bioavailable Concentrations of Metals in Aveiro Lagoon (Portugal). *PLoS ONE*, 10: e0118077. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118077>
- Menanteau, L. (1979). *Les Marismas du Guadalquivir. Exemple de transformation d'un paysage alluvial au cours du Quaternaire récent. Thèse 3er cycle, Université Paris-Sorbonne, Paris*. 252 pp.
- Mendes, I. (2010). *Benthic foraminifera as palaeoenvironmental indicators in the Northern Gulf of Cádiz*. Ph.D. Thesis, Universidad do Algarve, Portugal. 242 pp.
- Méndez, G.; Pérez-Arlucea, M.; González-Villanueva, R. & Ovejero Campos, A. (2011). Anthropogenic influence on the Holocene sedimentation process along the Atlantic coast of Galicia (NW Iberian Peninsula). *Journal of Coastal Research*, SI 64: 1788-1792.
- Milker, Y. & Schmiedl, G. (2012). A taxonomic guide to modern benthic shelf foraminifera of the western Mediterranean Sea. *Palaeontologia Electronica*, 15: 16A. <https://doi.org/10.26879/271>
- Montenegro, M.E. & Pugliese, N. (1996). Autoecological remarks on the ostracod distribution in the Marano and Grado Lagoons (Northern Adriatic Sea, Italy). *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, 3: 123-132.
- Moodley, L.; Boschker, H.T.S., Middelburg, J.J.; Pel, R.; Herman, P.M.J.; de Deckere, E. & Heip, C.H.R. (2000). Ecological significance of benthic foraminifera: 13C Labelling experiments. *Marine Ecology Progress Series*, 202: 289-295. <https://doi.org/10.3354/meps202289>
- Morhange, C.; Goiran, J.-P.; Bourcier, M.; Carbone, P.; LeCampion, J.; Rouchy, J.-M. & Yon, M. (2000). Recent Holocene paleo-environmental evolution and coastline changes of Kition, Larnaca, Cyprus, Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, 170: 205-239. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00075-X](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00075-X)
- Murray, J.W. (2006). *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, New York, 426 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535529>
- Newnham, R.; Lowe, D.J.; Gehrels, M. & Augustinus, P. (2018). Two-step human-environmental impact history for northern New Zealand linkid to late-Holocene climate change. *The Holocene*, 28: 1093-1106. <https://doi.org/10.1177/0959683618761545>
- Orme, L.C.; Charman, D.J.; Reinhard, L.; Jones, R.T.; Mitchell, F.J.G.; Stefanini, B.S.; Barkwith, A.; Ellis, M.A. & Grosvenor, M. (2017). Past changes in the North Atlantic storm track driven by insolation and sea-ice forcing. *Geology*, 45: G38521.1. <https://doi.org/10.1130/G38521.1>
- Polovodova, I.; Nikulina, A.; Shönfeld, J. & Dullo, W. (2009). Recent benthic foraminifera in the Flensburg Fjord (Western Baltic Sea). *Journal of Micropaleontology*, 28: 131-142. <https://doi.org/10.1144/jm.28.2.131>
- Pozo, M.; Ruiz, F.; Carretero, M.I.; Rodríguez Vidal, J.; Cáceres, L.M.; Abad, M. & González-Regalado, M.L. (2010). Mineralogical assemblages, geochemistry and fossil associations of Pleistocene-Holocene complex siliciclastic deposits from the Southwestern Donana National Park (SW Spain): A palaeoenvironmental approach. *Sedimentary Geology*, 225: 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.01.002>
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Serrano, L. & Toja, J. (1996). Ostrácodos de las lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana. *Aestuarina*, 4: 125-140.
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Baceta, J.I.; Menegazzo-Vitturi, L.; Pistolato, M.; Rampazzo, G.

- & Molinaroli, E. (2000). Los ostrácodos de la laguna de Venecia (NE de Italia). *Geobios*, 33, 447-454. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(00\)80078-9](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(00)80078-9)
- Ruiz, F.; Rodríguez Ramírez, A.; Cáceres, L.M.; Rodríguez Vidal, J.; Carretero, M.I.; Clemente, L.; Muñoz, J.M.; Yañez, C. & Abad, M. (2004). Late Holocene evolution of the southwestern Doñana Nacional Park (Guadalquivir Estuary, SW Spain): a multivariate approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 204: 47-64. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00721-1](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00721-1)
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Pendón, J.G.; Abad, M.; Olías, M. & Muñoz, J.M. (2005). Correlation between foraminifera and sedimentary environments in recent estuaries of southwestern Spain: Applications to Holocene reconstructions. *Quaternary International*, 140-141: 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.05.002>
- Ruiz, F.; Abad, M.; Galán, E.; González, I.; Aguilá, I.; Olías, M.; Gómez Ariza, J.L. & Cantano M. (2006). The present environmental scenario of El Melah Lagoon (NE Tunisia) and its evolution to a future sabkha: *Journal of African Earth Sciences*, 44: 289-302. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.11.023>
- Ruiz, F.; Borrego, J.; López-González, N.; Abad, M.; González-Regalado, M.L.; Carro, B. & Pendón, J.G. (2007). The geological record of a Mid-Holocene marine storm in southwestern Spain. *Geobios*, 40: 689-699. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2006.12.003>
- Ruiz, F.; Borrego, J.; González-Regalado, M.L.; Carro, B. & Abad, M. (2008). Impact of millennial mining activities on sediments and microfauna of the Tinto River estuary (SW Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 56: 1258-1264. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.04.036>
- Ruiz, F.; Pozo, M.; Carretero, M.I.; Abad, M.; González-Regalado, M.L.; Muñoz Pichardo, J.; Rodríguez Vidal, J.; Cáceres Puro, L.M.; Pendón, J.G.; Prudêncio, M.I. & Dias, M.I. (2010). Birth, Evolution and Death of a Lagoon: Late Pleistocene to Holocene Palaeoenvironmental Reconstruction of the Doñana National Park (SW Spain). In: *Lagoons: Biology, Management and Environmental Impact* (Friedman, A.G., Ed.). Nova Science Publishers, New York, 371-396.
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Galán, E.; González, M.I.; Prudencio, M.I.; Dias, M.I.; Abad, M.; Toscano, A.; Prenda, J. & García, E. X. (2012). Benthic foraminifera as bioindicators of anthropogenic impacts in two north African lagoons: a comparison with ostracod assemblages. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29: 527-533.
- Ruiz, F.; Gómez, G.; González-Regalado, M.L.; Rodríguez Vidal, J.; Cáceres, L.M.; Gómez, P.; Clemente, M.J.; Bermejo, J.; Campos, J.M.; Toscano, A.; Abad, M.; Izquierdo, T.; Muñoz, J.M.; Prudencio, M.I.; Dias, M.I.; Marques, R.; Tosquella, J.; Romero, V. & Monge, G. (2020). A multidisciplinary analysis of shell deposits from Saltés Island (SW Spain): The origin of a new Roman shell midden. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, 538: 109416. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109416>
- Sabatier, P.; Dezileau, L.; Colin, C.; Briquet, L.; Bouchette, F.; Martínez, P.; Siani, G.; Raynal, O. & Grafenstein, U. (2012). 7000 years of paleostorm in the Nw Mediterranean Sea in response to Holocene climate events. *Quaternary Research*, 77: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2011.09.002>
- Sánchez-Goñi, M.F. (1996). Vegetation and sea level changes during the Holocene in the estuary of the Bidasoa (Southern part of the bay of Biscay). *Quaternaire*, 7: 207-219. <https://doi.org/10.3406/quate.1996.2073>
- Vaney, J.R. (1970). *L'hydrologie du Bas Guadalquivir*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España. Páginas.
- World Register of Marine Species. <http://www.marinespecies.org>. Accessed on 27/2/2020.
- Wukovits, J.; Oberrauch, M.; Enge, A.J. & Heinz, P. (2018). The distinct roles of two intertidal foraminiferal species in phytodetrital carbon and nitrogen fluxes -results from laboratory feeding experiments. *Biogeosciences*, 15: 6185-6198. <https://doi.org/10.5194/bg-15-6185-2018>
- Zazo, C.; Goy, J.L.; Somoza, L.; Dabrio, C.J.; Belluomini, G.; Improta, G.; Lario, J.; Bardají, T. & Silva, P.G. (1994). Holocene sequence of sea-level fluctuations in relation to climatic trends in the Atlantic-Mediterranean linkage coast. *Journal of Coastal Research*, 10: 935-944.