



# PHICARIA

**XII ENCUENTROS INTERNACIONALES DEL MEDITERRÁNEO**

PAISAJES DEL AGUA:  
LA INTERACCIÓN DEL HOMBRE  
CON EL MEDIO EN EL  
MEDITERRÁNEO CENTRO - OCCIDENTAL

## PHICARIA

XII Encuentros Internacionales del Mediterráneo.

Paisajes del agua: la interacción del hombre con el medio en el Mediterráneo Centro – Occidental.

© de los textos y las imágenes:

Sus autores.

© de esta edición:

Universidad Popular de Mazarrón.

Concejalía de Cultura.

## COORDINACIÓN EDITORIAL

José María López Ballesta.

## EDICIÓN CIENTÍFICA

Sebastián F. Ramallo Asensio.

Benjamín Cutillas Victoria.

## PORTADA

Muher.

## IMPRIME

Quinta Impresión

ISBN: 978-84-09-87415-6

Depósito Legal: MU-832-2026

DOI: <https://doi.org/10.6018/10201/236401>

Estos Encuentros recogen parte de los resultados obtenidos en los proyectos:

ARQUETOPOS I y II. Carthago Nova: topografía y urbanística de una urbe mediterránea privilegiada (Mineco-HAR2011-29330 y HAR2014-57672)

ARQUETOPOS III. Carthago Nova desde su entorno litoral. Paleotopografía y evolución medioambiental del sector central del sureste ibérico. Dinámica poblacional y productiva (har2017-85726-c2-1-p), del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN)/ Agencia Estatal de Investigación (AEI)/ 10.13039/501100011033/ y fondos FEDER: Una manera de hacer Europa.

AMECOPA. Análisis ambiental del entorno costero del SE Ibérico y su dinámica Poblacional Antigua (PID2021-123549NB-I00), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España.

Impreso en España / Printed in Spain



## ÍNDICE

### MEDIOS LAGUNARES Y HÚMEDOS COSTEROS: PROBLEMÁTICAS TERMINOLÓGICAS, TIPOLÓGICAS Y PERSPECTIVAS ARQUEOLÓGICAS.

Carlotta Lucarini ..... 21

### INVESTIGACIONES ARQUEOLÓGICAS MARÍTIMAS EN LA LAGUNA DE BUTRINTO, ALBANIA.

Stefano Medas

Enrico Giorgi

Federica Carbotti

Giacomo Sigismondo ..... 41

### LA LAGUNA DI VENEZIA IN ETÀ ROMANA. NUOVI DATI SULLO STUDIO DEI PAESAGGI SOMMERSI.

Carlo Beltrame

Paolo Mozzi ..... 75

### LAS ÁREAS LAGUNARES DE LA DESEMBOCADURA DEL RÓDANO Y LA REGIÓN DE NARBONA.

Corinne Rousse

Ferreol Salomon

Joe Juncker

Tiphaine Salel

Corinne Sánchez ..... 93

### PALEOPAISAJE Y POBLAMIENTO EN EL TERRITORIO DE EMPÛRIES (GIRONA).

Pere Castanyer

Ramón Julià

Dirce Marzoli

Marc Bouzas

Marta Santos

Elisa Hernández

Joaquim Tremoleda ..... 113

### LA LLANURA ALUVIAL DE VALENCIA: HISTORIA Y ARQUEOLOGÍA DE LA RADICAL TRANSFORMACIÓN DEL ENTORNO Y DE LA TOPOGRAFÍA DE LA URBE.

Albert Ribera i Lacomba ..... 127

### LA ALBUFERETA DE ALICANTE. EVOLUCIÓN DE UN PARAJE HISTÓRICO.

Antonio Gilabert Mas

José Luis Menéndez Fueyo

Manuel Olcina Doménech

Eva Tendero Porras ..... 151

### PAISAJE, POBLAMIENTO Y GESTIÓN DEL AGUA ENTRE EL *SINUS SUCRONENSIS* Y EL *SINUS ILICITANUS*.

Ignacio Grau Mira

Jaime Molina Vidal

Pere Roselló Sendra

Felipe Poquet Doménech

Daniel Mateo Corredor ..... 189

*IMMENSE PALUS*: ESTUDIO GEOFÍSICO Y ARQUEOLÓGICO DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR Y SU LITORAL MEDITERRÁNEO.

Erwin Heine

Carlotta Lucarini

Benjamín Cutillas Victoria

Sebastián F. Ramallo Asensio ..... 205

BIOMARCADORES LIPÍDICOS Y CONTAMINACIÓN POR METALES EN EL REGISTRO DEL HOLOCENO DE LA BAHÍA DE CARTAGENA (SURESTE DE ESPAÑA): HISTORIA AMBIENTAL, NATURAL Y ANTROPOGÉNICA COMBINADA EN LA ÉPOCA PÚNICA Y ROMANA.

José Eugenio Ortiz

Trinidad Torres

Yolanda Sánchez-Palencia

Milagros Ros Sala

Sebastián F. Ramallo Asensio

Ignacio López-Cilla

Luisa A. Galán

Ignacio Manteca

Tomás Rodríguez-Estrella

Ana Blázquez ..... 221

EL REGISTRO PLEISTOCENO Y HOLOCENO DE LA CUENCA DE MAZARRÓN (SURESTE DE ESPAÑA).

Trinidad Torres

José Eugenio Ortiz

Yolanda Sánchez-Palencia

Milagros Ros Sala

Francisca Navarro Hervás

Ignacio López-Cilla

Luis A. Galán

Sebastián F. Ramallo Asensio

Tomás Rodríguez-Estrella

Ana Blázquez ..... 239

LA COSTA DE ALMERÍA, SAN JUAN DE LOS TERREROS: CUANTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS NATURALES Y ANTRÓPICOS DURANTE EL HOLOCENO.

Santiago Alejandro Romero García

Trinidad Torres

José Eugenio Ortiz

Yolanda Sánchez-Palencia ..... 265

LA VILLA ROMANA DE LOS ALCÁZARES: UN GRAN COMPLEJO ARQUITECTÓNICO EN EL BORDE DEL MAR MENOR.

José Iborra Rodríguez

Sebastián F. Ramallo Asensio

Marcos A. Martínez Segura ..... 285

**BIOMARCADORES LIPÍDICOS Y CONTAMINACIÓN POR METALES  
EN EL REGISTRO DEL HOLOCENO DE LA BAHÍA DE CARTAGENA  
(SURESTE DE ESPAÑA):  
HISTORIA AMBIENTAL NATURAL Y ANTROPOGÉNICA  
COMBINADA EN LA ÉPOCA PÚNICA Y ROMANA**

JOSÉ E. ORTIZ, TRINIDAD TORRES, YOLANDA SÁNCHEZ-PALENCIA, MILAGROS ROS SALA, SEBASTIÁN F. RAMALLO ASENSIO,  
IGNACIO LÓPEZ-CILLA, LUIS A. GALÁN, IGNACIO MANTECA, TOMÁS RODRÍGUEZ-ESTRELLA Y ANA BLÁZQUEZ

---

<https://doi.org/10.6018/10201/236581>

# BIOMARCADORES LIPÍDICOS Y CONTAMINACIÓN POR METALES EN EL REGISTRO DEL HOLOCENO DE LA BAHÍA DE CARTAGENA (SURESTE DE ESPAÑA): HISTORIA AMBIENTAL NATURAL Y ANTROPOGÉNICA COMBINADA EN LA ÉPOCA PÚNICA Y ROMANA

JOSÉ E. ORTIZ, TRINIDAD TORRES, YOLANDA SÁNCHEZ-PALENCIA, MILAGROS ROS SALA, SEBASTIÁN F. RAMALLO ASENSIO,  
IGNACIO LÓPEZ-CILLA, LUIS A. GALÁN, IGNACIO MANTECA, TOMÁS RODRÍGUEZ-ESTRELLA Y ANA BLÁZQUEZ

---

## Resumen

Se han reconstruido las condiciones paleoambientales de la Bahía de Cartagena durante el Holoceno a partir de un estudio multidisciplinar destinado a identificar variaciones naturales y los procesos antrópicos de esta área costera. De los testigos de sondeo disponibles se recogieron 119 muestras para datación por racemización de aminoácidos, 3 para datación por radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) y cuatro conjuntos de 80 muestras para determinación sedimentológica y paleontológica, contenido mineralógico, biomarcadores y cuantificación de elementos traza. Se han identificado dos escenarios naturales a partir de las variaciones de los índices de n-alcános y el contenido paleobiológico. El primer período (6650–5750 años cal BP) estuvo marcado por el desarrollo de condiciones marinas euhalinas con fuertes aportes de macrófitas acuáticas y alta biodiversidad. Después de un hiato, el área sufrió un cambio profundo, convirtiéndose en un ambiente de marisma salobre pauciespecífico con crecientes aportes de plantas terrestres, con posibles episodios de emersión con mayor presencia de gasterópodos terrestres (3600–300 años cal BP). Al combinar la abundancia de elementos traza y la distribución de estanoles, nuestro estudio también proporciona un enfoque novedoso para identificar la influencia predominante de factores antropogénicos en los últimos tres milenios en el registro costero de la Bahía de Cartagena. Los hallazgos confirmaron que la minería y la metalurgia del plomo comenzaron durante la Edad del Bronce, con aportes considerables de este metal pesado a la atmósfera durante las épocas fenicia, púnica y particularmente romana, en comparación con la Edad Media. También se observó contaminación por cobre y zinc durante las épocas púnica y romana, y se documentó por primera vez en la Edad Media. Además, se encontraron estanoles fecales, como el coprostanol, derivado principalmente de humanos, y el 24-etilcoprostanol de herbívoros, lo que indica por primera vez una presencia continua de poblaciones humanas y un aporte significativo de contaminación desde hace 3600 años cal BP, siendo este mayor a finales de la Edad del Bronce y durante las épocas fenicia, púnica y romana que durante la Antigüedad tardía y la Edad Media, cuando en la ciudad se detecta un intenso proceso de regresión urbana.

## Palabras clave

Condiciones paleoambientales, n-alcános, coprostanol, metales, Holoceno, SE Spain.

## Abstract

The paleoenvironmental conditions of Cartagena Bay during the Holocene were reconstructed through a multidisciplinary study with the main goal of identifying natural variations and anthropogenic processes in this coastal area. A total of 119 samples were collected for amino acid racemization dating, 3 for radiocarbon dating, and four sets of 80 samples each for sedimentological and paleontological analysis, mineralogical content, biomarker analysis, and trace element quantification. Two natural scenarios were identified based on variations in n-alkane indices and paleobiological content. The first period (6650–5750 cal yr BP) was characterized by the development of euhaline marine conditions with significant contributions of aquatic macrophytes and high biodiversity. After a hiatus, the area underwent a significant change, becoming a sparsely populated brackish marsh environment with increasing terrestrial plants, and possible periods of emergence with a greater presence of terrestrial gastropods (3600–300 cal yr BP). By combining trace element abundance and stanol distribution, this study also provides a novel approach to identifying the predominant influence of anthropogenic factors over the last three millennia on the coastal record of Cartagena Bay. The findings confirmed that lead mining and metallurgy began during the Bronze Age, with considerable contributions of this metal to the atmosphere during the Phoenician, Punic, and particularly Roman periods, compared to the Middle Ages. Copper and zinc pollution was also observed during the Punic and Roman periods and was first documented in the Middle Ages. In addition, fecal stanols were found, such as coprostanol, derived mainly from humans, and 24-ethylcoprostanol from herbivores, indicating for the first time a continuous presence of human populations and a significant contribution of pollution from 3600 cal yr BP, being greater at the end of the Bronze Age and during the Phoenician, Punic and Roman periods than during Late Antiquity and the Middle Ages, when an intense process of urban regression is detected in the city.

## Keywords

Palaeoenvironmental conditions, n-alkanes, coprostanol, metals, Holocene, SE Spain.

## 1. Introducción

Las zonas marinas costeras son sistemas dinámicos que contienen información valiosa sobre las condiciones paleoambientales a escala regional y global (KRAFT *et al.*, 1977; PAVLOPOULOS *et al.*, 2006; TRIANTAPHYLLOU *et al.*, 2010; TORRES *et al.*, 2014). Además, estas zonas son altamente sensibles a las fuentes directas de contaminación. Por lo tanto, sus sedimentos constituyen registros útiles del cambio paleoambiental y la actividad humana (DELILE *et al.*, 2014; ELMALEH *et al.*, 2012; LE ROUX *et al.*, 2003, 2005; STANLEY *et al.*, 2007; VÉRON *et al.*, 2006, 2013; MANTECA *et al.*, 2017). Los ecosistemas presentes en ambientes costeros se caracterizan por una alta productividad biológica, debido a la presencia de una cantidad significativa de materia orgánica (MO) proveniente de diversas fuentes, influenciada tanto por aportes marinos como continentales (HEDGES y KEIL, 1995; GONZÁLEZ-VILA *et al.*, 2003; BLÁZQUEZ *et al.*, 2018). En este sentido, los biomarcadores sedimentarios, como los hidrocarburos alifáticos (p. ej., n-alcános), son útiles para estudiar las fuentes de MO en ecosistemas acuáticos costeros y pueden contribuir a las reconstrucciones ambientales (VOLKMAN *et al.*, 1980; 2008; PRAHL, CARPENTER, 1984; GONZÁLEZ-VILA *et al.*, 2003; BLÁZQUEZ *et al.*, 2018). Los cambios en la composición lipídica reflejan variaciones ambientales, ya que, en la mayoría de los casos, la materia orgánica (MO) es una mezcla de componentes de múltiples fuentes (algas, macrófitas acuáticas, plantas terrestres) con distintos grados de conservación (MEYERS, 2003). Los n-alcános se encuentran entre los biomarcadores lipídicos más utilizados, dado que son específicos de la fuente y presentan la ventaja de ser menos susceptibles a la degradación microbiana que otros compuestos (PRAHL, CARPENTER, 1984; MEYERS *et al.*, 1995). Además, los compuestos lipídicos 5 $\beta$ -estanoles suelen estar presentes en las heces animales, lo que permite identificar la contaminación fecal (LEEMING *et al.*, 1984, 1996; BETHELL *et al.*, 1994; SHAH *et al.*, 2007) y la influencia antrópica en los registros sedimentarios. Desde tiempos prehistóricos, las actividades humanas han desempeñado un papel cada vez más importante en la evolución de los ecosistemas terrestres y costeros, generando impactos como cambios en el paisaje y las comunidades bióticas, así como contaminación atmosférica e hídrica. Las señales antropogénicas de estas actividades se conservan en archivos naturales, como los registros costeros, en forma de variaciones en la acumulación de elementos y compuestos químicos (MARTÍNEZ CORTIZAS *et al.*, 2005).

La minería y la metalurgia de metales han sido fundamentales en la historia mundial; por ejemplo, el cobre, el plomo y el zinc se han explotado progresivamente,

principalmente desde el Calcolítico (KILLICK, FENN, 2012). En este sentido, diversos estudios demuestran que la principal contaminación atmosférica por metales comenzó en la Edad del Bronce (BRÄNNVALL *et al.*, 2001; MARTÍNEZ CORTIZAS *et al.*, 2002; RENBERG *et al.*, 2002; MONNA *et al.*, 2004; KYLANDER *et al.*, 2005). La Península Ibérica posee una larga tradición minera y metalúrgica. De hecho, fue una de las principales fuentes de metales en la Edad del Bronce (LEBLANC *et al.*, 2001; HUNT-ORTIZ, 2003) y durante el Imperio Romano (NRIAGU, 1983). El sureste de España, concretamente los alrededores de Cartagena (Murcia), se considera una de las zonas donde se inició pronto la minería. En este sentido, esta región cuenta con un rico patrimonio cultural antiguo, como lo demuestran diversos yacimientos arqueológicos que contienen vestigios que ilustran el surgimiento y la decadencia de sociedades avanzadas y densamente pobladas. Para comprender plenamente el contexto ambiental que influyó en la elección de emplazamiento de las ciudades antiguas en el Mediterráneo y para analizar los cambios ambientales y su impacto en las sociedades, diversos estudios han reconstruido el paleoambiente de sus alrededores (KRAFT *et al.*, 1977, 2007; PAVLOPOULOS *et al.*, 2006; VÖTT *et al.*, 2006; GHILARDI *et al.*, 2010; TRIANTAPHYLLOU *et al.*, 2010; GÉBARA, MORHANGE, 2010; HAENSSLER *et al.*, 2013; VÉRON *et al.*, 2013, 2018). Sin embargo, existen escasos registros documentados de los últimos 3000 años para la Península Ibérica. El objetivo principal de este estudio ha sido obtener nueva información para reconstruir la evolución paleoambiental del sureste de la Península Ibérica mediante la interpretación de la sedimentología, mineralogía, contenido paleontológico y biomarcadores (n-alcános) de los sedimentos extraídos de la Bahía de Cartagena. Además, por primera vez, evaluamos la influencia y las características de las actividades antropogénicas utilizando el contenido de estanoles y elementos traza.

Cabe destacar que el sondeo SFT (Santa Florentina) aquí considerado contiene un registro extenso y bien conservado que abarca los últimos 3600 años (7,5 m). Por lo tanto, nuestro estudio, que combina la medición de elementos traza de interés ambiental (Pb, Zn y Cu), la distribución de lípidos y el contenido paleontológico en el registro costero de la Bahía de Cartagena, proporciona un enfoque novedoso y detallado para mejorar el conocimiento de las huellas químicas de los procesos naturales y las actividades que acompañaron el crecimiento de Cartagena, la antigua Carthago Nova, una de las ciudades costeras más importantes del Mediterráneo occidental. De hecho, los mayores yacimientos de plomo-zinc y cobre del Mediterráneo occidental, que se explotan desde la antigüedad, se encuentran cerca de Cartagena.

## 2. Situación geográfica y geológica

La ciudad de Cartagena se ubica en el extremo sureste de la Cordillera Bética, en la denominada Zona Interna. Más precisamente, se sitúa en el límite entre dos grandes unidades geológicas y geomorfológicas: al sur, la Sierra de Cartagena, una sierra costera, y al norte, la llanura neógeno-cuaternaria del Campo de Cartagena, delimitada por la falla Cartagena-La Unión (Fig. 1) (MANTECA MARTÍNEZ, GARCÍA GARCÍA 2004).

Esta región se caracteriza por el predominio de un clima ómbro cálido y semiárido o un clima mediterráneo cálido y árido: una estepa subtropical. La temperatura media anual es de 20 °C y la precipitación anual es de 270 mm (RIVAS-MARTÍNEZ, RIVAS Y SÁENZ, 2017; RODRÍGUEZ ESTRELLA *et al.*, 2011).

Hacia el norte se encuentra El Almarjal, una depresión endorreica pantanosa poco profunda, a 2 m sobre el nivel del mar, que tuvo breves fases de conexión con el mar hacia el sur. También recibía agua y sedimentos de las ramblas de Benipila, El Hondón y Saladillo. Su cuenca hidrográfica abarca 72,5 km<sup>2</sup> (CONESA, GARCÍA-GARCÍA, 2003).

La bahía se abre desde la desembocadura de la rambla de Benipila–Mar de Mandarache–hacia el sur. En su extremo norte, la bahía se asienta sobre las colinas de Cartagena, donde se encuentran los restos de antiguas ciudades cartaginesas y romanas que habrían conformado el litoral durante el Holoceno. El conocido como Mar de Mandarache, en la parte interior del entorno estuarino, era un punto de fondeo para galeras y otras embarcaciones, separado por una pequeña barra de arena de la amplia marisma ubicada al norte, El Almarjal.

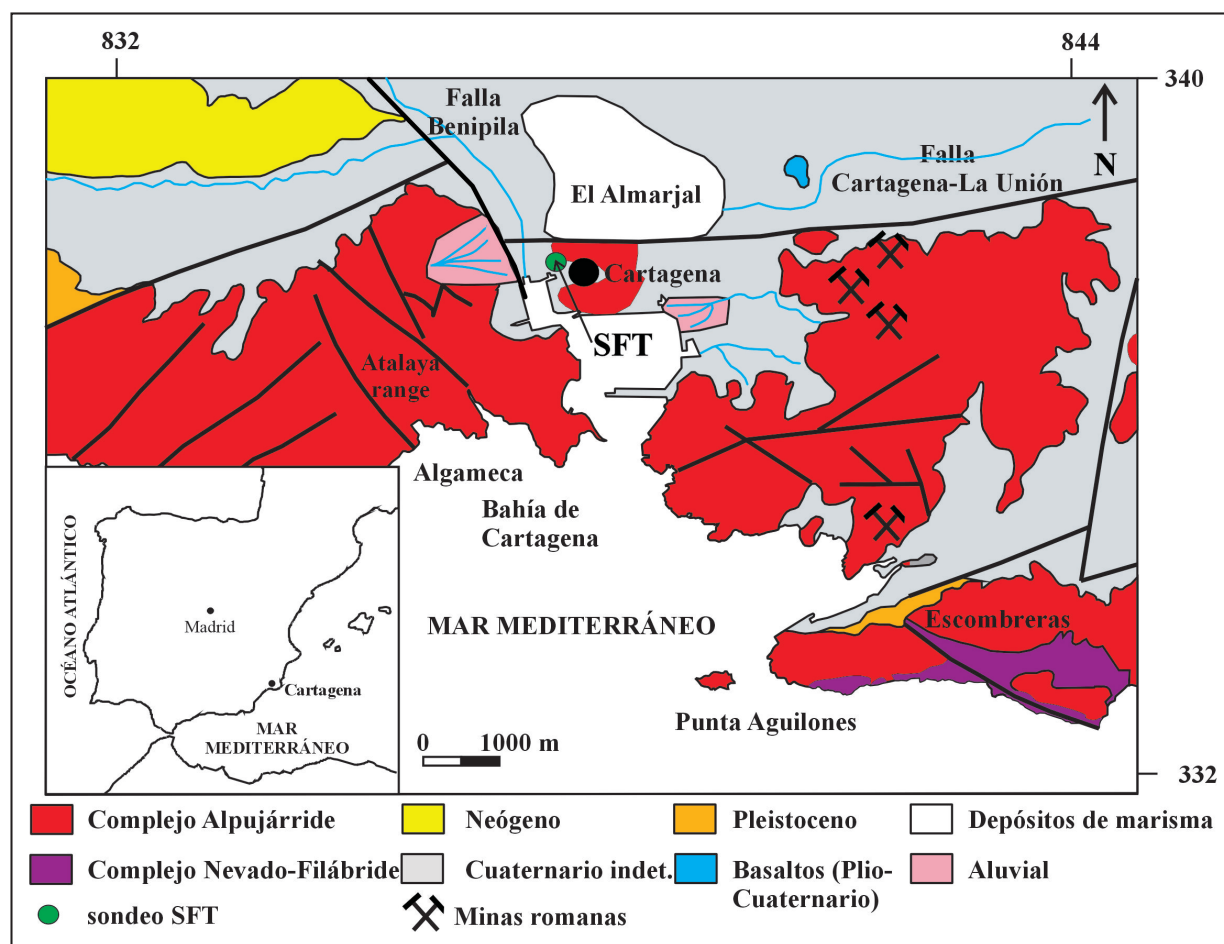


Figura 1. Ubicación de la Cuenca de Cartagena con la posición del sondeo Santa Florentina (modificado de Ortiz *et al.*, 2021).

### 3. Material y métodos

Se perforó un sondeo con recuperación continua de testigos en la Cuenca de Cartagena, obteniéndose un testigo de 15 m de longitud, denominado SFT (Santa Florentina de acuerdo con su localización urbana). (Fig.1) El testigo se estudió visualmente y se registraron la litología, las estructuras sedimentarias, el contenido faunístico y el color.

Se tomaron ochenta muestras a intervalos regulares (aprox. 10 cm) para estudiar la sedimentología y el contenido fósil; tres muestras se utilizaron para datación por  $^{14}\text{C}$  y se analizaron 119 valvas de ostrácodos de 37 estratos para datación por racemización de aminoácidos. Además, se utilizaron tres conjuntos de las mismas ochenta muestras para análisis de biomarcadores, difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.

### 4. Resultados

#### 4.1 Marco cronológico

Las edades obtenidas mediante el método de radiocarbono y AAR se muestran en las Tablas 1 y 2, respectivamente. La edad de cada nivel se calculó como el promedio de las edades numéricas obtenidas para los valores DL de Asx y Glx (muestras a 14,5 m y 14,3 m) o los valores DL de Asx (resto de los niveles) medidos en las muestras. La incertidumbre de la edad se calculó como la desviación estándar de todos los valores obtenidos.

En general, las dataciones numéricas obtenidas fueron consistentes con la profundidad, excepto la edad de  $^{14}\text{C}$  de la muestra a 9,6 m ( $1990 \pm 45$  años cal BP), que resultó ser mucho menor que las edades obtenidas mediante AAR para este estrato y los cercanos (Tabla 2). Además, los datos geoquímicos orgánicos e inorgánicos revelaron marcadas diferencias por debajo y por encima de aproximadamente 9,5 m, evidenciando una clara influencia antrópica a  $< 9,5$  m (secciones 5.2 y 5.3) y sugiriendo una edad mayor para este nivel. Por lo tanto, no consideramos esta datación por  $^{14}\text{C}$  para el modelo cronológico debido a la contaminación y/o las operaciones de perforación.

| Muestra | Prof. (m) | $\delta^{13}\text{C}$ (V-PDB) | Edad convencional (años BP) | Edad calibrada (años cal BP) |
|---------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| CNA5746 | 2.05      | -23.9                         | 235±29                      | 277±85                       |
| CNA5747 | 6.00      | -21.2                         | 2004±30                     | 1940±66                      |
| CNA5748 | 9.60      | -30.4                         | 2045±31                     | 1990±45                      |

**Tabla 1.** Edad de radiocarbono (años BP) de niveles seleccionados del sondeo SFT y edad calibrada (años cal) convertida utilizando el Programa de Calibración de Radiocarbono 8.2 (CALIB 8.2) (Stuiver *et al.*, 2021) con el conjunto de datos de calibración IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020).

| Prof. (m) | Ostrácodo                                                    | D/L Asp     | D/L Glu     | Edad (años cal BP) |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------------|
| 2.05      | <i>Cypris</i> sp. (4)                                        | 0.096±0.013 | 0.026±0.020 | 701±525            |
| 2.45      | <i>Cypris</i> sp. (3)                                        | 0.096±0.017 | 0.054±0.033 | 732±695            |
| 2.70      | <i>Cypris</i> sp. (4)                                        | 0.114±0.014 | 0.029±0.021 | 1474±572           |
| 2.90      | <i>Cypris</i> sp. (3)                                        | 0.107±0.014 | 0.027±0.004 | 1174±583           |
| 3.05      | <i>Cypris</i> sp. (5)                                        | 0.097±0.005 | 0.032±0.022 | 759±196            |
| 3.50      | <i>Cypris</i> sp. (4)                                        | 0.107±0.014 | 0.027±0.004 | 1175±583           |
| 4.10      | <i>Cypris</i> sp. (5)                                        | 0.123±0.015 | 0.036±0.004 | 1852±648           |
| 4.30      | <i>C. torosa</i> (2)                                         | 0.110±0.011 | 0.045±0.030 | 1305±467           |
| 5.20      | <i>C. torosa</i> (4)                                         | 0.117±0.006 | 0.034±0.006 | 1582±267           |
| 5.40      | <i>C. torosa</i> (3)                                         | 0.129±0.010 | 0.039±0.002 | 2079±431           |
| 6.00      | <i>C. torosa</i> (3)                                         | 0.120±0.020 | 0.043±0.007 | 1718±832           |
| 6.20      | <i>C. torosa</i> (2)                                         | 0.123±0.004 | 0.056±0.032 | 1851±184           |
| 6.40      | <i>C. torosa</i> (1)                                         | 0.126       | 0.032       | 1970               |
| 7.40      | <i>C. torosa</i> (4)                                         | 0.137±0.011 | 0.035±0.005 | 2433±457           |
| 7.80      | <i>C. torosa</i> (2)                                         | 0.162±0.006 | 0.048±0.007 | 3490±253           |
| 7.85      | <i>C. torosa</i> (5)                                         | 0.160±0.018 | 0.046±0.011 | 3407±754           |
| 8.20      | <i>C. torosa</i> (1)                                         | 0.145       | 0.030       | 2782               |
| 8.40      | <i>C. torosa</i> (1)                                         | 0.136       | 0.035       | 2390               |
| 8.50      | <i>C. torosa</i> (1)                                         | 0.139       | 0.031       | 2529               |
| 8.70      | <i>C. torosa</i> (2)                                         | 0.146       | 0.038       | 2790               |
| 8.90      | <i>C. torosa</i> (2)                                         | 0.141       | 0.054       | 2610               |
| 9.05      | <i>C. torosa</i> (5)                                         | 0.142±0.010 | 0.038±0.008 | 2635±420           |
| 9.15      | <i>C. torosa</i> (1)                                         | 0.172       | 0.055       | 3910               |
| 9.30      | <i>C. torosa</i> (1)                                         | 0.149       | 0.045       | 2930               |
| 9.65      | <i>C. torosa</i> (5)                                         | 0.228±0.019 | 0.065±0.010 | 6233±776           |
| 9.80      | <i>C. torosa</i> (4)                                         | 0.217±0.008 | 0.052±0.010 | 5799±331           |
| 9.90      | <i>C. torosa</i> (4)                                         | 0.218±0.015 | 0.056±0.009 | 5806±645           |
| 10.00     | <i>C. torosa</i> (3) + <i>Aurila</i> (1)                     | 0.218±0.022 | 0.066±0.007 | 5833±942           |
| 10.90     | <i>C. torosa</i> (3)                                         | 0.234±0.013 | 0.067±0.029 | 6502±548           |
| 11.10     | <i>C. torosa</i> (2) + <i>Aurila</i> (1) + <i>Cypris</i> (1) | 0.215±0.033 | 0.075±0.046 | 5692±1397          |
| 11.40     | <i>C. torosa</i> (2) + <i>Cypris</i> (1)                     | 0.232±0.017 | 0.055±0.007 | 6407±726           |
| 11.90     | <i>C. torosa</i> (1) + <i>Loxococoncha</i> (1)               | 0.224±0.014 | 0.054±0.001 | 6094±568           |
| 12.00     | <i>C. torosa</i> (2) + <i>Aurila</i> (1)                     | 0.219±0.015 | 0.043±0.010 | 5867±638           |
| 12.90     | <i>C. torosa</i> (2)                                         | 0.234±0.003 | 0.069±0.009 | 6488±130           |
| 14.30     | <i>C. torosa</i> (4)                                         | 0.355±0.026 | 0.155±0.039 | 145000±31000       |
| 14.50     | <i>C. torosa</i> (5)                                         | 0.358±0.033 | 0.137±0.041 | 124000±30000       |

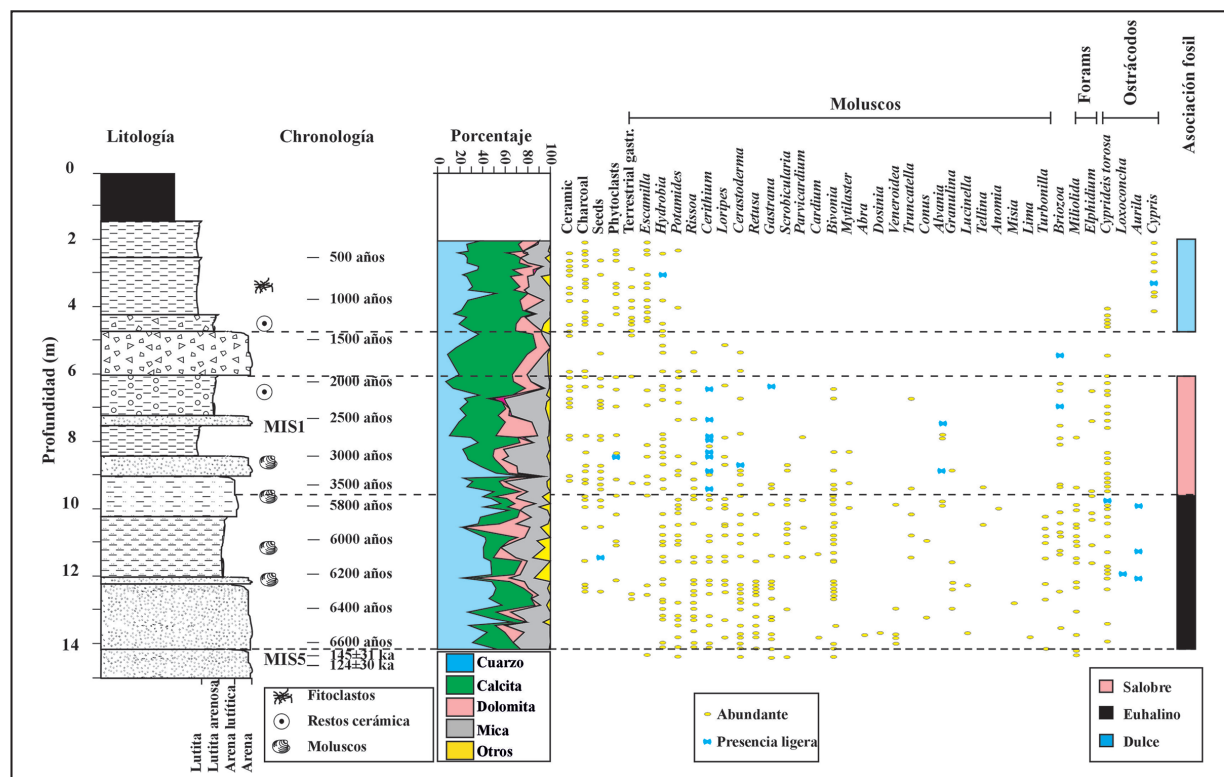
**Tabla 2.** Relaciones de racemización del ácido aspártico y ácido glutámico y edad de las muestras del sondeo SFT.

Los resultados revelaron dos grupos de edades marcadamente diferentes: la parte más profunda del registro (aprox.  $> 14,2$  m) se depositó durante el Pleistoceno Superior, mientras que los 14,2 m superiores pertenecían al Holoceno. De hecho, la parte más baja del registro (15,0–14,2 m) estaba compuesta por arenas amarillas, que también se observaron en otros sondeos de la zona y se dataron en el Pleistoceno Superior (Torres *et al.*, 2018).

Se construyeron dos modelos cronológicos para el registro del Holoceno, ya que se observó un hiato: un modelo para el intervalo entre 14,2 m y 9,5 m (aprox. 6650 a 5750 años cal BP), y otro desde 9,5 m hasta 3,0 m ( $<$  aprox. 3600 años cal BP). Estos modelos se construyeron utilizando el paquete de código R bayesiano “Bacon 2.3.7” (Blaauw, Christen, 2011), ambos tras 10 000 iteraciones de la cadena de Markov Monte Carlo, dado que el modelado bayesiano edad-profundidad se considera más robusto y flexible que otros enfoques.

#### 4.2. Sedimentología y paleontología

El sondeo SFT (Fig. 2) tenía 15 m de profundidad y consistía principalmente en fangos, fangos arenosos y arenas de grano fino, en algunos casos con fragmentos de



**Figura 2.** Sección estratigráfica del registro del Holoceno del testigo SFT con la escala cronológica y el perfil de los componentes minerales predominantes, junto con la presencia, a lo largo del testigo, de fragmentos cerámicos, carbón vegetal, sedimentos, fitoclastos, moluscos, ostrácodos y foraminíferos. Se incluye la interpretación ambiental basada en las asociaciones de moluscos, ostrácodos y foraminíferos.

cerámica, especialmente entre 9,0 y 8,5 m, 7,5 y 6,0 m, y entre 5,0 y 4,5 m, y un botón de plomo a 3,8 m. Entre 6,0 m y 4,8 m, se encontraron brechas formadas por grava calcárea angulosa angular. La parte superior (< 1,6 m) del sondeo consistía en escombros recientes y no se consideró para el estudio. Todos los estratos presentaban colores reducidos (de gris a negro), lo que indica la abundancia de materia orgánica particulada. En algunos casos, abundaban diminutos fragmentos de carbón vegetal, que mostraban su estructura vegetal primaria. También eran frecuentes las semillas de plantas.

Entre 14,2 y 9,5 m, el cuarzo era abundante, representando aproximadamente el 45 % del contenido mineral, seguido de la calcita (20%) y la mica (20%). Los 9,5 m superiores mostraron claras diferencias mineralógicas, ya que el cuarzo disminuyó (aproximadamente un 30%), mientras que la calcita fue predominante (40%) y la dolomita se encontraba en mayor proporción que en los niveles inferiores.

Se identificaron un total de 27 géneros de moluscos (Fig. 2). En general, se observó una alta biodiversidad de moluscos entre los 14,2 y 9,5 m, dominada por *Hydrobia*

sp., *P. conicus*, *Rissoa*, *Loripes*, *Cerastoderma*, *Retusa*, *Gastrana* y *Bivonia*. Por el contrario, en los 9,5 m superiores, se produjo una marcada disminución en la diversidad de géneros de moluscos, especialmente entre los 4,8 y 2,0 m, donde solo se encontró *Hydrobia*, junto con gasterópodos terrestres. Entre los 6,0 y 4,8 m, los fósiles estuvieron prácticamente ausentes, coincidiendo con el nivel de brecha. *Cyprideis torosa* fue el ostrácodo predominante, formando acumulaciones monoespecíficas en la mayoría de los casos (14,2–12,2 m, 9,5–6,0 m, 4,8–4,2 m), mientras que en otros niveles también estuvieron presentes *Loxoconcha elliptica*, *Loxoconcha rhomboidea* y *Aurila* sp. (12,2–9,5 m) y *Cypris* sp. (4,2–2,0 m). Los Miliolida fueron los foraminíferos más comunes.

### 4.3 Biomarcadores

#### 4.3.1 n-Alcanos

En todas las muestras predominaron los compuestos con predominio de números impares de carbono, y una distribución de longitud de cadena que abarca principalmente desde  $C_{17}$  hasta  $C_{33}$ , alcanzando su máximo en  $C_{29}$  o  $C_{31}$ . El

homólogo  $C_{25}$  fue predominante solo en la parte más baja del registro.

Los perfiles de los diversos índices relacionados con el contenido de n-alcenos, a saber, la longitud de cadena predominante de n-alcenos, la longitud de cadena promedio ( $ACL = (C_i \times i + C_{i+1} \times (i+1) + C_{i+2} \times (i+2) \dots + C_n \times n) / (\sum C_{n+1} + C_{n+2} + \dots + C_n)$ , con  $i = 13$ ,  $n = 33$ ; POYNTER, 1989)), la relación terrígenos/acuáticos de hidrocarburos ( $TAR_{HC} = (C_{31} + C_{29} + C_{27}) / (C_{15} + C_{17} + C_{19})$ ; SILLIMAN *et al.*, 1996), el proxy de macrofitos acuáticos ( $Paq = (C_{23} + C_{25}) / (C_{23} + C_{25} + C_{29} + C_{31})$ ; FICKEN *et al.*, 2000), y el índice de preferencia de carbono ( $CPI = \frac{1}{2} [(\sum C_i + C_{i+2} + \dots + C_{i+8}) / (\sum C_{i-1} + C_{i+1} + \dots + C_{i+7}) + (\sum C_i + C_{i+2} + \dots + C_{i+8}) / (\sum C_{i+1} + C_{i+3} + \dots + C_{i+9})]$ , con  $i = 25$  (BRAY y EVANS, 1961), se muestran en la Fig. 3.

El índice ACL variaba entre 25,6 (9,9 m) y 30,0 (6,6 m), con una tendencia ligeramente creciente desde el fondo hasta la parte superior del sondeo. Los valores más bajos de  $TAR_{HC}$  (entre 7,2 y 74,9) se encontraron en el fondo del sondeo ( $> 9,5$  m), con valores máximos ( $> 100$ ) en los 9,5 m superiores. Los valores de Paq variaron entre 0,03 (6,6 m) y 0,42 (10,0 m) y mostraron una tendencia decreciente desde el fondo hasta la parte superior del registro. La relación

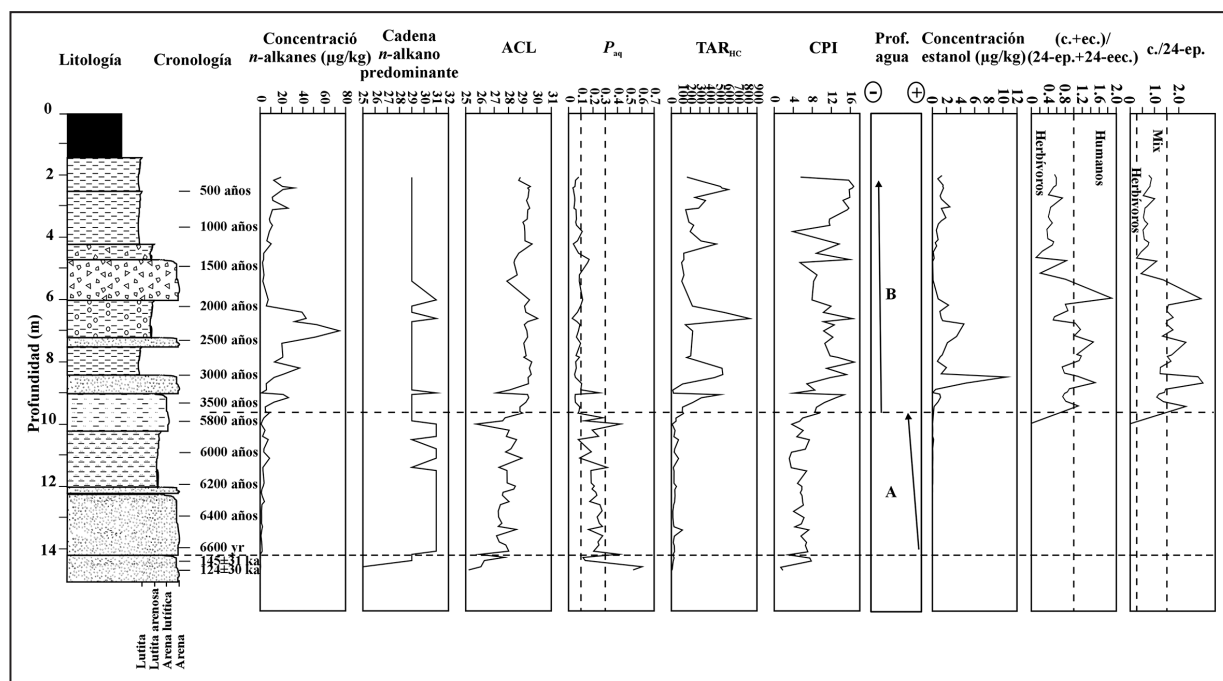
CPI mostró oscilaciones, con valores principalmente  $> 8$  en los 9,5 m superiores del registro, con un máximo en 2,4 m (16,8), mientras que se encontraron valores entre 3,1 y 7,3 en los 9,5 m inferiores.

#### 4.4. Estanoles

Los principales estanoles identificados en el sondeo incluían 24-etil-5 $\beta$ -colestano-3 $\beta$ -ol (24-etilcoprostanol), 5 $\beta$ -colestano-3 $\beta$ -ol (coprostanol), 5 $\alpha$ -colestano-3 $\beta$ -ol (colestanol), 24-etil-5 $\beta$ -colestano-3 $\alpha$ -ol (24-etilepicoprostanol) y 24-etil-5 $\alpha$ -coles-22E-en-3 $\beta$ -ol (5 $\alpha$ -estigmastanol).

Cabe destacar que los 9,5 m superiores del sondeo presentaron la mayor abundancia de estanoles (entre 0,82 y 4,27 mg/kg), con un máximo a 8,5 m (10,48 mg/kg), mientras que su concentración era muy baja por debajo de esta profundidad ( $< 0,05$  mg/kg) (Fig. 3). Asimismo, entre 6,0 y 4,8 m, la concentración de estos compuestos fue baja (0,04-0,82 mg/kg).

Los perfiles de los diversos índices relacionados con el contenido de estanoles, utilizados como indicadores para distinguir entre la deposición fecal humana y la de herbívoros,



**Figura 3.** Concentración de n-alcenos (µg/kg), cadena de n-alcenos predominante, ACL,  $TAR_{HC}$ , índice Paq y CPI en el testigo SFT, con la escala cronológica y la identificación de los episodios paleoambientales. También se representaron los perfiles de contenido de estanoles (mg/kg), la relación coprostanol/24-etilcoprostanol  $[c/24-ec]$  y la relación (coprostanol + epicoprostanol)/(24-etilcoprostanol + 24-etilepicoprostanol)  $[(c+ec)/(24-ec+24-ec)]$ .

se basan en la relación coprostanol/24-etilcoprostanol (BETHELL *et al.*, 1994; EVERSLED, BETHELL, 1996) y la relación coprostanol + epicoprostanol/(24-etilcoprostanol + 24-etilepicoprostanol (BULL *et al.*, 2002), que aparecen en la Fig. 3. Los valores de estas relaciones fueron insignificantes por debajo de 9,5 m, alcanzaron su máximo entre 9,5 y 6,0 m (>1,0 y 1,5, respectivamente) y disminuyeron en los 6,0 m superiores (< 1,0).

#### 4.5 Factores de enriquecimiento

Se estudiaron las variaciones en las abundancias relativas de Pb, Zn y Cu a lo largo del sondeo para determinar la influencia antropogénica. Para ello, la abundancia de cada elemento se normalizó con respecto a un elemento conservativo (litogénico), calculando la relación  $[Me]/[X]$ , donde  $[Me]$  representa la abundancia del elemento y  $[X]$  la del elemento litogénico (un elemento “conservador” como Ti, V u otros).

A continuación, la relación  $[Me]/[X]$  de las muestras se normalizó nuevamente con respecto a la relación  $[Me]/[X]$  de muestras de épocas preantropogénicas (KYLINDER *et al.*, 2005; MIL-HOMENS *et al.*, 2008). En este caso, se normalizaron las abundancias con respecto a Ti, ya que no se analizaron otros elementos típicos utilizados para este fin, como V y Sc, y la abundancia de Zr fue baja en la mayoría de las muestras. Los valores de referencia para  $Me/Ti$  se tomaron de la línea base del registro, que corresponde al promedio de muestras por debajo de 10,5 m, ubicadas claramente en épocas preantropogénicas. Por lo tanto, el factor de enriquecimiento (FE) de un elemento determinado,  $Me$ , se calculó como:

$$MeFE_{Ti} = ([Me]/[Ti])_{muestra} / ([Me]/[Ti])_{referencia}$$

Para distinguir entre aportes antropogénicos y litogénicos de Pb, Zn y Cu, seguimos el método propuesto por Shoty *et al.* (2000), calculando la abundancia de Pb, Zn y Cu litogénicos con la siguiente expresión:

$$[Me]_{litogénico} = [Ti]_{muestra} \times ([Me]/[Ti])_{litogénico}$$

donde  $[Me]_{litogénico}$  es la abundancia de Pb, Zn y Cu. Una vez estimados los componentes litogénicos de Pb, Zn y Cu, la concentración antropogénica se calculó fácilmente:  $[Me]_{antropogénico} = [Me]_{total} - [Me]_{litogénico}$ . La Figura 4 muestra los resultados obtenidos para el EFTi de Pb, Zn y Cu. Para obtener una visión global de la acumulación de estos elementos, esta información se puede complementar con la concentración de Pb, Zn y Cu litogénicos y antropogénicos en el sondeo SFT, calculada utilizando Ti como referencia. Cabe destacar que se encontraron altas abundancias de Pb litogénico (643-260), Zn (864-350) y Cu (158-64) en la parte más profunda del registro (> 9,5 m), las cuales disminuyeron

progresivamente hacia la parte superior del sondeo. Por el contrario, los valores antropogénicos de Pb (45658-4374), Zn (2736-284) y Cu (1203-118) fueron notablemente altos en los 9,5 m superiores, aunque la abundancia de estos metales disminuyó entre 6,0 y 4,8 m, coincidiendo con el nivel de brecha.

## 5 Discusión

### 5.1. Condiciones paleoambientales

Los valores de CPI observados en el sondeo (> 4) indicaron una baja degradación de n-alcanos y, por lo tanto, se interpretaron en términos del origen del aporte de materia orgánica (cf. HEDGES Y PRAHL, 1993; ZHENG *et al.*, 2007). Los resultados indicaron que los coeficientes de correlación entre el CPI y los otros índices (ACL, Paq,  $TAR_{HC}$ ) fueron significativos (Tabla 3). La tendencia observada apunta a una baja degradación microbiana de n-alcanos en estos sedimentos e indica la utilidad de los índices de n-alcanos para interpretar las condiciones paleoambientales en Cartagena. En general, hubo una buena correspondencia entre la relación  $TAR_{HC}$ , la cadena de n-alcanos predominante y los valores ACL, un buen indicador para distinguir entre n-alcanos de bajo y alto peso molecular (PANCOST *et al.*, 2002; ROMMERSKIRSCHEN *et al.*, 2003) en el sondeo, y una correlación inversa con el índice Paq (Tabla 3, Fig. 3). Los valores altos de  $TAR_{HC}$  indicaron un aumento en el aporte de plantas terrestres, mientras que los valores bajos (< 1) se vincularon con un aporte importante de algas (SILLIMAN *et al.*, 1996). Debe considerarse que el  $TAR_{HC}$  puede sobreestimar las contribuciones de fuentes terrestres, ya que las plantas terrestres suelen contener una mayor proporción de n-alcanos que las algas (BOURBONNIERE Y MEYERS, 1996). Además, los n-alcanos de menor peso molecular ( $C_{15}$ ,  $C_{17}$ ,  $C_{19}$ ) que caracterizan a las algas son generalmente más susceptibles a la degradación microbiana que los n-alcanos de las plantas terrestres (MEYERS, ISHIWATARI, 1993). No obstante, esta relación es valiosa para determinar cambios

|          | CPI          | $P_{aq}$      | $TAR_{HC}$    |
|----------|--------------|---------------|---------------|
| ACL      | <b>0.763</b> | <b>-0.896</b> | <b>0.722</b>  |
| CPI      |              | <b>-0.747</b> | <b>0.774</b>  |
| $P_{aq}$ |              |               | <b>-0.616</b> |

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación entre los índices ACL,  $TAR_{HC}$  y  $P_{aq}$  en el sondeo SFT (las correlaciones estadísticamente significativas se señalan en negrita  $p < 0.001$ ).

en las contribuciones relativas de materia orgánica de plantas terrestres y algas (BOURBONNIERE, MEYERS, 1996). En este sentido, el contraste entre los bajos valores de  $TAR_{HC}$  en sedimentos más antiguos y los valores más altos y variables desde hace 3600 años cal BP (Fig. 3) reflejó un cambio en las fuentes de geolípidos. Por lo tanto, las muestras con valores altos de ACL y  $TAR_{HC}$  coincidieron con bajas relaciones Paq. El índice Paq se utilizó originalmente para determinar la contribución relativa de macrófitas acuáticas y plantas terrestres en algunos lagos africanos (FICKEN *et al.*, 2000). Los valores  $< 0,1$  se asocian a una contribución dominante de plantas terrestres, típica en los primeros 9,5 m, mientras que los valores entre 0,1 y 0,4, predominantes por debajo de los 9,5 m, reflejan un aporte significativo de macrófitas emergentes.

Por lo tanto, interpretamos la significativa covariación inversa entre el índice Paq y los valores de  $TAR_{HC}$  (un indicador de la contribución de plantas terrestres;  $r = -0,62$ ) y los valores de ACL ( $r = -0,89$ ) como evidencia de un episodio marcado por una importante contribución de macrófitas acuáticas ( $> 9,5$  m), seguido de un período en el que predominó el aporte de plantas terrestres.

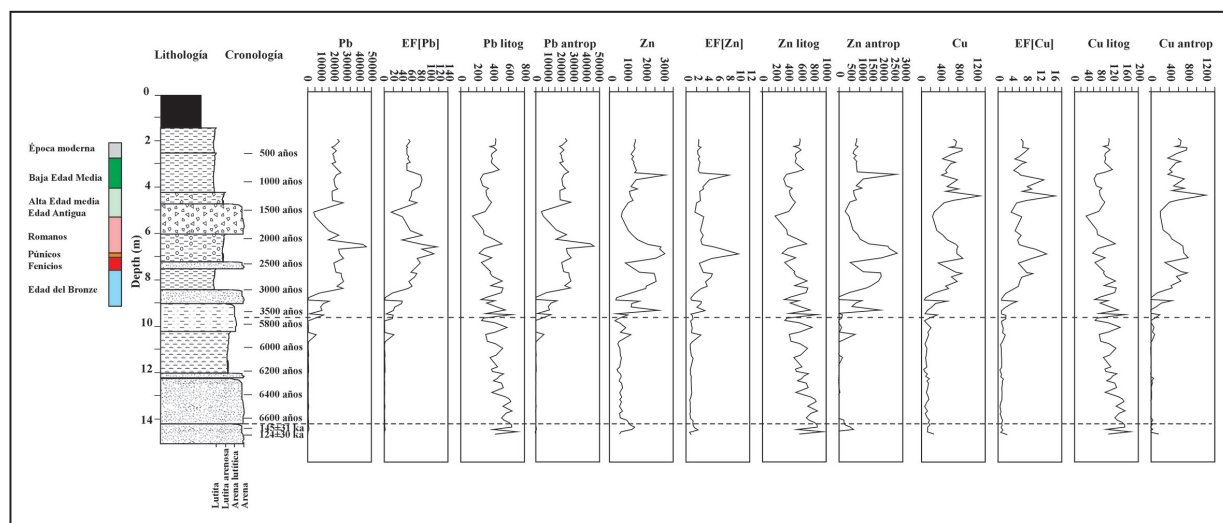
#### 5.2.1. Escenarios paleoambientales

Utilizando la cadena de n-alcanos predominante, el índice ACL, los valores de Paq, la relación  $TAR_{HC}$ , junto con el contenido mineralógico y fósil, definimos dos escenarios paleoambientales en el registro de Cartagena.

Escenario A (14,2–9,5 m; (aprox. 6650–5750 años cal BP); Figs. 2, 3). El n-alcano predominante correspondió a  $C_{29}$ , seguido de  $C_{31}$ , lo que indica un aporte importante de plantas terrestres. Los valores de ACL (promedio aprox. 27,5) y el índice  $TAR_{HC}$  (19-114) corroboraron esta interpretación, aunque los valores de Paq (0,1–0,4) y CPI (aprox. 4) también indicaron un aporte significativo de macrófitas acuáticas (HEDGES, PRAHL, 1993; ZHENG *et al.*, 2007; FICKEN *et al.*, 2000). Estas observaciones, junto con el predominio de fangos arenosos y arenas fangosas, indicaron condiciones de baja energía y el desarrollo de una masa de agua relativamente inundada con cierta influencia marina (ORTIZ *et al.*, 2020). El cuarzo era abundante, representando aproximadamente el 45 % del contenido mineral total, y también se encontró dolomita.

Además, las condiciones de marisma euhalina se interpretaron por la presencia de una rica biodiversidad de ostrácodos (*C. torosa*, *L. elliptica*, *L. rhomboidea*, *Aurila* sp.) y diversas especies de moluscos (RICHARDS, 1985; TORRES *et al.*, 2020) (Fig. 2).

Escenario B: Esta unidad se definió entre 9,5 m y 2,0 m (aprox. 3600–300 años cal BP; Figs. 2, 3) sobre un hiato. Los n-alcanos predominantes fueron  $C_{29}$  y  $C_{31}$ , asociados a plantas terrestres. Los altos valores del índice ACL (principalmente entre 28 y 30) y  $TAR_{HC}$  ( $> 100$ ), junto con el índice Paq marcadamente bajo ( $< 0,1$ ), confirmaron esta interpretación, con una disminución en el aporte de macrófitas acuáticas y algas con respecto a las plantas



**Figura 4.** Gráficos de concentración de Pb, Zn y Cu totales, antropogénicos y litogénicos, con sus factores de enriquecimiento. Las concentraciones antropogénicas y litogénicas se calcularon según Shoty *et al.* (2000) utilizando Ti como elemento conservativo. Los datos se normalizaron con el promedio de las concentraciones elementales de las muestras.

terrestres. Los valores más altos de CPI en esta unidad que en las demás ( $> 8$ ) confirmaron que el aporte de plantas terrestres fue más significativo (HEDGES y PRAHL, 1993; ZHENG *et al.*, 2007).

En consonancia con esta interpretación, se observó un predominio de fangos grises/oscuros y fangos arenosos, lo que indica un menor aporte por escorrentía y condiciones de baja energía.

En este sentido, la presencia notable de calcita ( $> 40\%$ ) y la disminución del cuarzo confirmaron las condiciones de baja energía. Se observó una presencia limitada de restos de moluscos, lo que indica una distribución de especies, salobres y con escasa diversidad, dominada por *Hydrobia* sp., *Cerithium* sp. y *P. conicus* (ROHDE, SANDLAND, 1975; RICHARDS, 1985). Además, los ostrácodos estaban representados por la presencia monoespecífica de *C. torosa*, que en ocasiones se encontraba acompañada por *Cypris* sp. entre los 4,2 y los 2,0 m de profundidad. La presencia de esta asociación de ostrácodos y moluscos revela el desarrollo de una marisma salobre con cierta influencia de agua dulce en la superficie.

Cabe destacar que entre los 6,0 y los 4,8 m de profundidad se encontró un nivel de gravas calcáreas angulosas, que se vincula a un episodio inundación repentina, probablemente asociado a la actividad de la rambla de Benipila, cuya cuenca se asienta sobre calizas mesozoicas. No obstante, este nivel también contenía restos de obras civiles de la antigua ciudad. Este caudal elevado habría diluido la concentración de elementos traza y estanoles (Figs. 3, 4), aunque, en nuestra opinión, la actividad humana (metalurgia, agricultura y residuos) no cambió significativamente.

### 5.2 Contaminación orgánica

Los  $5\beta$ -estanoles se forman comúnmente como productos de reducción del colesterol y sus contrapartes de mayor peso molecular (campesterol, sitosterol y estigmasterol) en el tracto intestinal de la mayoría de los mamíferos (BULL *et al.*, 2002), y pueden acumularse en sedimentos. El colesterol se convierte en  $5\beta$ -coprostanol en el tracto digestivo humano (MURTAUGH, BUNCH, 1967; LEEMING *et al.*, 1984; BETHELL *et al.*, 1994; SHAH *et al.*, 2007). Sin embargo, este compuesto es relativamente menos abundante en las heces de otros animales (LEEMING *et al.*, 1996; MUDGE, MORRISON, 2010). Por el contrario, los herbívoros tienden a producir 24-etilcoprostanol a partir de  $\beta$ -sitosterol (abundante en las plantas). Así, el contenido de estanoles, específicamente el tipo de coprostanol, puede utilizarse para distinguir la contaminación humana de la herbívora (LEEMING, NICHOLS, 1996; LEEMING *et al.*, 1996).

Interpretamos la historia de la contaminación orgánica a partir del contenido de  $5\beta$ -estanoles en el sondeo SFT en el contexto de las ocupaciones humanas de Cartagena. Las concentraciones de estos compuestos fueron notablemente bajas por debajo de los 9,5 m ( $> 5750$  años cal BP), cuando Cartagena aún no había sido fundada. En contraste, observamos una presencia continua de  $5\beta$ -estanoles en los 9,5 m superiores del sondeo, que corresponden a los últimos 3600 años cal BP, lo que corrobora la presencia de humanos y ganado desde un momento avanzado de la Edad del Bronce. Entre estos compuestos, cabe destacar la presencia de 24-etilcoprostanol y coprostanol, considerados biomarcadores de contaminación fecal de herbívoros y humanos, respectivamente. Bethell *et al.* (1994) y Evershed y Bethell (1996) propusieron el uso de la relación coprostanol/24-etilcoprostanol como indicador para diferenciar la contaminación fecal humana de la herbívora, considerando valores  $> 1,5$  como indicativos de contaminación humana y  $< 0,25$  como predominio de heces de herbívoros. Bull *et al.* (2002) propusieron una extensión de este enfoque para estimar la contribución relativa de diferentes fuentes fecales: (coprostanol + epicoprostanol)/(24-etilcoprostanol + 24-etilepicoprostanol) para distinguir entre la contaminación por humanos ( $> 1$ ) y la contaminación por rumiantes ( $< 1$ ). Entre los 9,5 y 6,0 m del sondeo SFT (3600–1700 años cal BP, Fig. 3), los valores de esta relación fueron  $> 1$ , lo que indica una fuente continua de contaminación orgánica derivada principalmente de los humanos y, por lo tanto, apunta a una importante población en la antigua ciudad de Cartagena. En contraste, en los niveles superiores (6,0–2,0 m) del sondeo (últimos 1700 años), la concentración de 24-etilcoprostanol fue notablemente mayor que en el resto del registro (Fig. 3). Este hallazgo se atribuye a las heces del ganado que llegaban al cuerpo de agua a través de la escorrentía superficial, pudiendo vincularse a una disminución de la población.

Se confirma la gran influencia de las heces humanas entre 3600 y 1700 años cal BP en base en los valores de la relación coprostanol/24-etilcoprostanol ( $> 1,5$ ). Sin embargo, podemos constatar que, a edades más tempranas, existía una mezcla de contaminantes orgánicos procedentes de humanos y herbívoros, predominando ligeramente estos últimos.

### 5.3 Contaminación por metales

#### 5.4.1 Pb

En la parte inferior del registro ( $> 9,5$  m,  $> 5750$  años cal BP–Fig. 5), los valores de PbEFTi fueron bajos, lo que indica que no hubo un aporte considerable de Pb a la Bahía de Cartagena y que, en cualquier caso, fue principalmente

de origen litogénico. Sin embargo, en la parte superior del registro, los valores aumentaron significativamente, especialmente entre 9,5 y 6,2 m. Por lo tanto, en los últimos 3600 años cal BP, interpretamos que la evolución del PbEFTi estuvo principalmente ligada a la contaminación atmosférica causada por procesos mineros y metalúrgicos a finales de la Edad del Bronce y durante las épocas fenicia, púnica y romana, la Edad Media y la Edad Moderna, más que a variaciones naturales o características sedimentológicas.

Cabe destacar que el aporte máximo de Pb antropogénico ocurrió durante la época romana. Estos resultados coinciden con los de Manteca *et al.* (2017) y Ortiz *et al.* (2021), quienes observaron que la contaminación atmosférica por Pb comenzó aproximadamente hace *ca.* 4000 años antes del presente observándose altos valores de plomo durante las épocas fenicia, púnica y romana. Este patrón también se ha observado en otras regiones de España (MARTÍNEZ CORTIZAS *et al.*, 1997, 1999, 2002a; FÁBREGAS *et al.*, 2003; GALLEGU *et al.*, 2013, 2019) y de Europa (WEISS *et al.*, 1997; SHOTYK *et al.*, 2001).

De hecho, se estima que el 60 % de la producción antigua de plomo en España tuvo lugar durante la época romana (NRIAGU, 1983). Un enriquecimiento similar de plomo se encontró durante la época romana en Alemania, Noruega, Bélgica, Escocia, Suecia y Suiza (KEMPTER *et al.*, 1997; WEISS *et al.*, 1997; SHOTYK *et al.*, 2001; RENBERG *et al.*, 2002).

El plomo antropogénico disminuyó significativamente tras el fin del Imperio Romano hasta principios de la Antigüedad Tardía, un hallazgo que también se refleja en otros indicadores, coincidiendo con el nivel de grava angulosa (brecha) asociado a un episodio de inundación. Esta disminución podría atribuirse también a los últimos años del Imperio Romano y al declive de la minería y la metalurgia en Cartagena (RAMALLO, CEREZO, 2018). La concentración de plomo aumentó desde aproximadamente 1400 años antes del presente pero nunca recuperó los valores anteriores.

#### 5.4.2 Zn

Los aportes naturales de Zn fueron mayores que los de fuentes antropogénicas, aunque el Zn de estas últimas aumentó en la parte superior del registro (aprox. 3000 años cal BP), alcanzando dos máximos: durante el período fenicio (aprox. 2800 años cal BP) y durante las épocas púnica y romana (2300-2000 años cal BP). Esta observación adelanta la fecha de la presencia de Zn antropogénico en el área de Cartagena, ya que Manteca *et al.* (2017) y Ortiz *et al.* (2021) observaron un aumento en el contenido de Zn solo en la época romana, con un máximo en aprox. 1700 años cal BP. De hecho, basándose en la primera evidencia

de contaminación atmosférica por Zn registrada en el norte de España, Martínez Cortizas *et al.* (1997) propusieron que comenzó alrededor del año 1000 d. C., asociada con la metalurgia de otros minerales metálicos. El Zn antropogénico disminuyó entre 1700 y 1400 años cal BP, coincidiendo con el nivel de gravas angulosas (brecha) y, posteriormente, recuperó los valores previos.

Los perfiles de Zn no mostraron una relación clara con los de Pb. Este hallazgo también se ha reportado en otros registros (MARTÍNEZ-CORTIZAS *et al.*, 1997; GALLEGU *et al.*, 2013, 2019). Cabe destacar que los valores de Zn fueron superiores a los de Pb antes de los 3600 años cal BP. Este comportamiento se explica por el hecho de que el aporte de metales a la cuenca proviene exclusivamente de fuentes naturales, al menos antes de los 3600 años cal BP. De hecho, el contenido de Zn presenta mayor abundancia en la zona de origen que el de Pb (MANTECA, OVEJERO, 1992).

Por el contrario, a partir de esa fecha, el contenido de Pb superó significativamente al de Zn debido al desarrollo de una industria minera y metalúrgica temprana basada en menas de Pb, donde el Zn desempeñó un papel secundario (MANTECA *et al.*, 2017). Sin embargo, alrededor de 900 años cal BP, se observó un pico en la abundancia de Zn, que podría atribuirse a la extracción de algún mineral que contenía plata asociada (Ag). En este sentido, las actividades mineras de Ag (y Pb) cerca de Cartagena fueron significativas durante la Alta Edad Media, con el Zn (esfalerita) generalmente asociado.

#### 5.4.3 Cu

Cabe destacar que las señales de Pb y Cu no coinciden, lo que sugiere que podrían provenir de minas diferentes o que los romanos desviaron su interés del Pb al Cu. Sin embargo, no se puede descartar un cambio tecnológico.

El perfil de Cu mostró un aumento que coincidió con el período fenicio (aprox. 2800 años cal BP) y las épocas púnica y romana (4,5 m, 2300-2000 años cal BP, Fig. 5). Este aumento se relacionó principalmente con fuentes antropogénicas, lo que indica un aporte importante derivado de las actividades mineras en esta área, en consonancia con las observaciones de HONG *et al.* (1996), quienes reportaron un fuerte aumento en la producción mundial de Cu alrededor de 2500 años cal BP. De hecho, durante la época romana, las principales regiones mineras de Cu se encontraban en España, que representaba más de la mitad de la producción mundial de este metal (DARLING, 1990). En este sentido, cartagineses y romanos parecen haber explotado depósitos de Ag, vinculados a los de Cu (DARLING, 1990). De hecho, en el yacimiento fenicio de La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante), cerca de Cartagena, se encontraron materiales

utilizados en la producción de Pb y Ag, así como en la metalurgia del Cu, y probablemente se explotaron menas cuproargentíferas (RENZI *et al.*, 2009). Cabe destacar que estos autores informaron que el aporte antropogénico de Cu alcanzó su punto máximo a principios de la Edad Media. En efecto, se observó un pico de Cu antropogénico alrededor de 1300-1200 años cal BP. Por lo tanto, la abundancia de Cu podría explicarse por la metalurgia de sulfuros de Ag. En este sentido, se han documentado numerosos hornos que estuvieron activos durante la Edad Media en las montañas de Cartagena (GRAÑEDA, 2008). Sin embargo, este aumento en la abundancia de Cu también podría estar asociado con la importante explotación de depósitos de alumbre en el área de Cartagena durante la Edad Media, ya que dichos depósitos están comúnmente vinculados a minerales de sulfato de Cu (PÉREZ MACÍAS, 2019).

## 6 Conclusiones

El uso de la racemización de aminoácidos y la datación por  $^{14}\text{C}$  nos permitió establecer el marco cronológico de la evolución paleoambiental de la Bahía de Cartagena durante el Holoceno y los procesos antrópicos que afectaron esta zona costera.

Un novedoso estudio multidisciplinario que combinó sedimentología, arqueología, paleontología y análisis mineralógico y de biomarcadores nos permitió distinguir dos escenarios paleoambientales principales en el registro del Holoceno: 1) entre aproximadamente 6650 y 5750 años cal BP, el principal aporte de materia orgánica provino de macrófitas acuáticas y algas en una zona costera euhalina con alta biodiversidad; y 2) entre aproximadamente 3600 y 300 años cal BP, el principal aporte provino de plantas terrestres, lo que indica una masa de agua menos profunda (marisma), con condiciones salobres, como lo refleja la fauna pauciespecífica, y condiciones de baja energía, aunque ocurrieron episodios de crecidas repentinas. En la parte superior del registro, pudieron haber ocurrido aportes de agua dulce, junto con algunos episodios de emersión.

Nuestro estudio también reveló que la influencia de los aportes antropogénicos fue considerable en los últimos tres milenios; es decir, los estanoles fecales y los elementos traza se utilizaron conjuntamente por primera vez para reconstruir el surgimiento (3600-1700 años cal BP) y el declive (< 1700 años) de la antigua ciudad de Cartagena, un asentamiento de los más importantes del Mediterráneo sudoccidental al menos desde el I milenio a. C. En este sentido, cabe destacar que existen escasos registros de contaminación antropogénica documentados de los últimos 3000 años para la Península Ibérica. En este caso, la explotación y la metalurgia del plomo se produjeron al menos desde la Edad

del Bronce, con un aumento significativo durante las épocas fenicia, púnica y, sobre todo, romana. Por el contrario, la contaminación por plomo disminuyó durante la Edad Media. Las señales de cobre y zinc procedentes de fuentes antropogénicas también fueron significativas durante las épocas fenicia y púnica, alcanzando valores máximos durante la época romana. Además, se produjo un aporte considerable de estos elementos en la Edad Media, que no se había documentado previamente.

## Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a la financiación del proyecto del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033) a través de los proyectos: Cambios ambientales y ocupación humana en el sector central del sureste ibérico (HAR2017-85726-C2-2-P) y Análisis ambiental del entorno costero del SE Ibérico y su dinámica Poblacional Antigua (PID2021-123549NB-I00). El equipo de escáner de sondeo XRF fue cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del Plan Nacional de Investigación e Innovación Científica y Técnica de España 2013-2016 (IGME13-4E-2576).

## Referencias

- ARDUINO, G., ARDUINO, M., NAPPO, A., NAPPO, S. (2016): *Conchiglie del Mediterraneo*, Available at: <http://www.conchigliedelmediterraneo.it/> (accessed 10 January 2021).
- BETHELL, P.H., GOAD, L.J., EVERSHERD, R.P., OTTAWAY, J. (1994): "The study of molecular markers of human activity: the use of coprostanol in the soil as an indicator of human faecal material", *Journal of Archaeological Science*, 21, pp. 619-632. <https://doi.org/10.1006/jasc.1994.1061>.
- BLAAUW, M., CHRISTEN, J.A. (2011): "Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process", *Bayesian Analysis*, 6, pp. 457-474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618>.
- BLÁZQUEZ, A. M., RODRÍGUEZ-PÉREZ, A., TORRES, T., ORTIZ, J.E. (2017): "Evidence for Holocene sea level and climate change from Almenara marsh (western Mediterranean)", *Quaternary Research*, 88, pp. 206-222. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.47>.
- BODE, M., ROTHENHOEFER, P., HANEL, N., HAUPTMANN, A. (2015): "Lead-silver mines of the Iberian Peninsula and their exploiters: a reconstruction of roman lead production in southeastern Spain", *Abstract book of the 4<sup>th</sup> Archaeometallurgy in Europe International Conference* (Madrid, 1st-3rd June, 2015), 80 pp.

- BOURBONNIERE, R.A., MEYERS, P.A. (1996): "Anthropogenic influences on hydrocarbon contents of sediments deposited in eastern Lake Ontario since 1800", *Environmental Geology*, 28, pp. 22-28. <https://doi.org/10.1007/s002540050074>.
- BRÄNNVALL, M.-L., BINDLER, R., EMTERYD, O., RENBERG, I. (2001): "Vertical distribution of atmospheric pollution lead in Swedish boreal forest soils", *Water Air Soil Pollut*, 1, pp. 357-376. <https://doi.org/10.1023/A:1017513802959>.
- BRAY, E.E., EVANS, E.D. (1961): "Distribution of n-paraffins as a due to recognition of source beds", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22 (1), pp. 2-15. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(61\)90069-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(61)90069-2).
- BRIGHT, J., KAUFMAN, D. S. (2011): "Amino acid racemization in lacustrine ostracodes, part I: effect of oxidizing pre-treatments on amino acid composition" *Quaternary Geochronology*, 6 (2), pp.154-173. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.11.006>.
- BULL, I.D., LOCKHEART, M.J., ELHMMALI, M.M., ROBERTS, D.J., EVERSLED, R.P. (2002): "The origin of faeces by means of biomarker detection", *Environmental International*, 27, pp. 647-654. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00124-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00124-6).
- CARBONEL, P. (1985): "Néogène", en Oertli, H.J. (ed), *Atlas des ostracodes de France*, Bull. Centr. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine 9, pp. 311-335.
- CONESA, C., GARCÍA-GARCÍA, E. (2003): "Las áreas históricas de inundación en Cartagena: problemas de drenaje y actuaciones", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 35, pp. 79-100.
- DARLING, A.S. (1990): "Non ferrous metals", en McNeil, B. (Ed.), *An Encyclopaedia of the History of Technology*, Routledge, London, pp. 47-145.
- DELILE, H., MAZZINI, I., Blichert-Toft, J., GOIRAN, J.P., ARNAUD-GODET, F., SALOMON, F., ALBAREDE, F. (2014): "Geochemical investigation of a sediment core from the Trajan basin at Portus, the harbor of ancient Rome", *Quaternary Science Reviews*, 87, 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.01.002>.
- DOMERGUE, C. (1987). *Catalogue des mines et fonderies antiques de la Péninsule Ibérique*. Publication de la Casa de Velazquez, Serie Archeologie VIII, Madrid.
- DOMERGUE, C. (1990): *Les mines de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine*, Collection de l'École Française de Rome 127, Roma.
- ELMALEH, A., GALY, A., ALLARD, T., DAIRON, R., DAY, J.A., MICHEL, F., MARRINER, N., MORHANGE, C., COUFFIGNAL, F. (2012): "Anthropogenic accumulation of metals and metalloids in carbonate-rich sediments: insights from the ancient harbor setting of Tyre (Lebanon)", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 82, pp. 23-38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.04.032>.
- EVERSLED, R.P., BETHELL, P.H. (1996): "Application of multimolecular biomarker techniques to the identification of fecal material in archaeological soils and sediments", *Archaeological Chemistry*, 625, pp. 157-172. <https://doi.org/10.1021/bk-1996-0625.ch013>.
- FÁBREGAS VALCARCE, R., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., BLANCO CHAO, R., CHESWORTH, W. (2003): "Environmental change and social dynamics in the second-third millennium BC in NW Iberia", *Journal of Archaeological Science* 30, pp. 859-871. [https://doi.org/10.1016/S0305-4403\(02\)00264-9](https://doi.org/10.1016/S0305-4403(02)00264-9).
- FICKEN K.J., LI, B., SWAIN, D. L. EGLINTON G. (2000): "An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes", *Organic Geochemistry*, 31, pp. 745-749. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00081-4).
- GALLEGO, J.L.R., ORTIZ, J.E., SIERRA, C., TORRES, T., LLAMAS, J.F. (2013): "Multivariate study of trace element distribution in the geological record of Roñanzas Peat Bog (Asturias, N. Spain). Paleoenviromental evolution and human activities over the last 8000 cal yr BP", *Science of the Total Environment*, 454-455, pp. 16-29. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.083>.
- GALLEGO, J.L.R., ORTIZ, J.E., SÁNCHEZ-PALENCIA, Y., BARAGANO, D., BORREGO, A., TORRES, T. (2019): "A multivariate examination of the timing and accumulation of potentially toxic elements at Las Conchas bog (NW Spain)", *Environmental Pollution*, 254, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113048>.
- GARDNER MOORE, F. (1970): *Livius, T., The History of Rome in Fourteen Volumes*, vol. VII, Books XXVI-XXVII (English translation), The Loeb Classical Library, London.
- GÉBARA, C., MORHANGE, C. (2010): *Fréjus (Forum Iulii): le port antique/The ancient harbour*, *Journal of Roman Archaeology*, 152 Suppl. Series 77, Portsmouth. <https://doi.org/10.3764/ajonline1154>. Moore.
- GHILARDI, M., GENÇ, A., SYRIDES, G., BLOEMENDAL, J., PSOMIADIS, D., PARASCHOU, T., KUNESCH, S., FOUACHE, E. (2010): "Reconstruction of the landscape history around the remnant arch of the Klidhi Roman Bridge, Thessaloniki Plain, North Central Greece", *Journal of Archaeological Science*, 37, pp. 178-191. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.09.030>.
- GOFAS, S., SALAS, C., MORENO, D. (2011): *Moluscos marinos de Andalucía (vol I)*. Málaga: Servicio de

Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Málaga.

GONZÁLEZ-VILA, F.J., POLVILLO, O., BOSKI, T., MOURA, D., DEANDRÉS, J.R. (2003): "Biomarker patterns in a time-resolved Holocene/terminal Pleistocene sedimentary sequence from the Guadiana river estuarine area (SW Portugal/Spain border)", *Organic Geochemistry*, 34, 1601-1613. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2003.08.006>.

GRAÑEDA, P. (2008): "La explotación andalusí de los metales preciosos: los trabajos a bocamina", *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, 24-25-26, pp. 141-154.

GUILLAUME M.C., PEYPOUQUET, J.P., TETART, J. (1985): "Quaternaire et Actuel", en Oertli, H.J. (Ed.), *Atlas des ostracodes de France*, Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine 9, pp. 337-377.

HAENSSLER, E., NADEAU, M.J., VOTT, A., UNKEL, I. (2013): "Natural and human induced environmental changes preserved in a Holocene sediment sequence from the Etoliko Lagoon, Greece: new evidence from geochemical proxies", *Quaternary International*, 308-309, pp. 89-104. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.06.031>.

HEARTY, P.J., O'LEARY, M.J., KAUFMAN, D.S., PAGE, M., BRIGHT, J. (2004): "Amino acid geochronology of individual foraminifer (*Pulleniatina obliquiloculata*) tests, north Queensland margin, Australia: a new approach to correlating and dating Quaternary tropical marine sediment cores", *Paleoceanography* 19, PA4022. <https://doi.org/10.1029/2004PA001059>.

HEDGES, J.I., KEIL, R.G. (1995): "Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis", *Marine Chemistry*, 49, pp. 81-115. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(95\)00008-F](https://doi.org/10.1016/0304-4203(95)00008-F).

HEDGES, J.I., PRAHL, F.G. (1993): "Early diagenesis: consequences for applications of molecular biomarkers," en Engel, M.H., Macko, S.A. (Eds.), *Organic Geochemistry. Principles and Applications*, Plenum Press, New York. pp. 237-253.

HUNT-ORTIZ, M.A. (2003): *Prehistoric mining and metallurgy in south-west Iberian Peninsula*. BAR International Series 1188. Archaeopress, Oxford.

KEMPTER, H., GÖRRES, M., FRENZEL, B. (1997): "Ti and Pb concentrations in rainwater-fed bogs in Europe as indicators of past anthropogenic activities", *Water Air & Soil Pollut*, 100, pp. 367-377. <https://doi.org/10.1023/A:1018376509985>.

KAUFMAN, D.S. (2000): "Amino acid racemization in ostracodes", en Goodfriend, G.A., Collins, M.J., Fogel, M.L., Macko, S.A., Wehmiller, J.F. (Eds.), *Perspectives in*

*Amino Acids and Protein Geochemistry*, Oxford University Press, New York, pp. 145-160.

KAUFMAN, D.S., MANLEY, W.F. (1998): "A new procedure for determining DL amino acid ratios in fossils using reverse phase liquid chromatography", *Quaternary Geochronology*, 17, pp. 987-1000. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(97\)00086-3](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(97)00086-3).

KILLICK, D., FENN, T. (2012): "Archaeometallurgy: the study of preindustrial mining and metallurgy", *Annual Review of Anthropology*, 41, pp. 559-575. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-092611-145719>.

KRAFT, J. C., BRÜCKNER, H., KAYAN, I., ENGELMANN, H. (2007): "The 1579 geographies of ancient Ephesus and the Artemision in Anatolia", *Geoarchaeology*, 22, pp. 121-149. <https://doi.org/10.1002/gea.20151>.

KRAFT, J.C., ASCHENBRENNER, S.E., RAPP JR., G. (1977): "Palaeogeographic reconstructions of coastal Aegean archaeological sites", *Science* 195, pp. 941-947. <https://doi.org/10.1126/science.195.4282.941>.

KYLANDER, M.E., WEISS, D.J., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., SPIRO, B., GARCÍA-SÁNCHEZ, R., COLES, B.J. (2005): "Refining the pre-industrial atmospheric Pb isotope evolution curve in Europe using an 8000 year old peat core from NW Spain", *Earth and Planetary Science Letters*, 240, pp. 467-485. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.09.024>.

LE ROUX, G., MORHANGE, C., VÉRON, A. (2005) : "Lead pollution in the ancient harbor of Marseilles", *Méditerranée*, 1, pp. 31-35.

LE ROUX, G., VERON, A., MORHANGE, C. (2003) : "Geochemical evidences of early anthropogenic activity in harbour sediments from Sidon", *Archeology & History in Lebanon*, 18, pp. 115-119.

LEEMING, R., BALL, A., ASHBOLD, G.N., JONES, P. NICHOLS, J.P. (1984): "Distinguishing between human and animal sources of fecal pollution", *Australian Journal of Chemistry*, 61, pp. 434-435. <https://doi.org/10.1504/IJW.2009.023080>.

LEEMING, R., BALL, A., ASHBOLT, N., NICHOLS, P. (1996): "Using faecal sterols from humans and animals to distinguish faecal pollution in receiving waters", *Water Research*, 30, 2893-2900. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00011-5).

LEEMING, R., LATHAM, V., RAYNER, M., NICHOLS, P. (1997): "Detecting and distinguishing sources of sewage pollution in Australian inland and coastal waters and sediments", en Eganhouse, R.P. (Ed.), *Application of Molecular Markers in Environmental Geochemistry*, American Chemical Society National Meeting, Orlando, ACS Washington, DC, pp. 306-319.

LEEMING, R., P. NICHOLS. (1996): "Concentrations of coprostanol that correspond to existing bacterial indicator guideline limits", *Water Research*, 30, pp. 2997-3006. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00212-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00212-6).

MANTECA MARTÍNEZ, J.I., GARCÍA GARCÍA, C. (2004): "La falla de Cartagena-La Unión. Aportación a su conocimiento y verificación visual de su existencia gracias a una obra pública", *Actas V Reunión Comisión Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España*, Molina de Segura (Murcia) 15-20 de mayo 2001, pp: 239-246.

MANTECA, J.I., OVEJERO, G. (1992): "Los yacimientos Zn, Pb, Ag-Fe del distrito minero de La Unión-Cartagena, Bética Oriental", en García Guinea, J., Martínez Frías, J. (eds.), *Recursos Minerales de España*, CSIC, Madrid, pp. 1085-1102.

MANTECA, J.I., ROS, M., RAMALLO, S., NAVARRO, F., RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T., CEREZO, F., ORTIZ, J.E., TORRES, T. (2017): "Early metal pollution in Southwestern Europe: the former littoral lagoon of el Almarjal (Cartagena mining district S.E. Spain) A sedimentary archive more than 8000 years old", *Environmental Science Pollution*, 24, pp. 10584-10603. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8682-5>.

MARTÍNEZ CORTIZAS, A., GARCÍA-RODEJA, E., PONTEVEDRA POMBAL, X., NÓVOA MUÑOZ, J.C., WEISS, D., CHEBURKIN, A. (2002): "Atmospheric Pb deposition in Spain during the last 4600 years recorded by two ombrotrophic peat bogs and implications for the use of peat as archive", *Science of the Total Environment*, 292, pp. 33-44. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00031-1).

MARTÍNEZ CORTIZAS, A., MIGHALL, T., PONTEVEDRA POMBAL, X., NOVOA MUÑO, J.C., PEITEADO VARELA, E., PIÑERO REBOLO, R. (2005): "Linking changes in atmospheric dust deposition, vegetation change and human activities in northwest Spain during the last 5300 years", *The Holocene* 15, pp. 698-706. <https://doi.org/10.1191/0959683605hl834rp>.

MARTÍNEZ CORTIZAS, A., PONTEVEDRA POMBAL, X., NÓVOA MUÑOZ, J.C., GARCÍA-RODEJA, E. (1997): "Four thousand years of atmospheric Pb, Cd and Zn deposition recorded by the ombrotrophic peat bog of Penido Vello (northwestern Spain)", *Water Air & Soil Pollution*, 100, pp. 387-403. <https://doi.org/10.1023/A:1018312223189>.

MARTÍNEZ CORTIZAS, A., PONTEVEDRA-POMBAL, X., GARCÍA-RODEJA, E., NÓVOA-MUÑOZ, J.C., SHOTYK, W. (1999): "Mercury in a Spanish Peat Bog: Archive of Climate Change and Atmospheric Metal Deposition", *Science*, 284, pp. 939-942. <https://doi.org/10.1126/science.284.5416.939>.

MARTÍNEZ-GARCÍA, B., PASCUAL, A., RODRÍGUEZ-LÁZARO, J., MARTÍN-RUBIO, M., ROFES, J. (2013): "The Ostracoda

(Crustacea) of the Tina Menor estuary (Cantabria, southern Bay of Biscay): Distribution and ecology", *Journal of Sea Research*, 83, pp. 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.03.014>.

MAZZINI, I., ANADÓN, P., BARBIERI, M., CASTORINA, F., FERRELLI, L., GLIOZZI, E., MOLA, M., VITTORI, E. (1999): "Late Quaternary sea-level changes along the Tyrrhenian coast near Orbetello (Tuscany, central Italy): palaeoenvironmental reconstruction using ostracods", *Marine Micropaleontology*, 37, pp. 289-311. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(99\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(99)00023-7).

MEANA, M.J., PIÑERO, F. (1998): *Strabo, P., Geografía*, volume II: books III-IV (Spanish translation). Editorial Gredos, Madrid.

MEYERS, P.A. (2003): "Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes", *Organic Geochemistry*, 34, pp. 261-289. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00168-7](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00168-7).

MEYERS, P.A., LEENHEER, M.J., EAOIE, B.J., MAULE, S.J. (1984): "Organic geochemistry of suspended and settling particulate matter in Lake Michigan", *Geochimistry and Cosmochimistry Acta* 48, pp. 443-452. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90273-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90273-4)

MEYERS, P.A., LEENHEER, M.J., BOURBONNIERE, R.A. (1995): "Diagenesis of vascular plant organic matter components during burial in lake sediments", *Aquatic Geochemistry*, 1, pp. 35-42. <https://doi.org/10.1007/BF01025230>.

MEYERS, P.A., ISHIWATARI, R. (1993): "Lacustrine organic geochemistry-an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments", *Organic Geochemistry*, 20, pp. 867-900. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(93\)90100-P](https://doi.org/10.1016/0146-6380(93)90100-P).

MIL-HOMENS, M., BRANCO, V., VALE, C., STEVENS, R., BOER, W., LEBREIRO, S., CATO, I., ABRANTES, F. (2008): "Historical trends in Hg, Pb and Zn sedimentation in the central shelf area of Portugal", *Journal of Iberian Geology*, 34, pp. 287-298.

MONNA, F., GALOP, D., CAROZZA, L., TUAL, M., BEYRIE, A., MAREMBERT, F., CHATEAU, C., DOMINIK, J., GROUSSET, F.E. (2004): "Environmental impact of early Basque mining and smelting recorded in a high ash minerogenic peat deposit", *Science of the Total Environment*, 32, pp. 197-214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.01.010>.

MUDGE, S., MORRISON, A.M. (2010): "Tracking sources of sewage in the environment", *Environmental Notes*, 9, pp. 1-4.

MURTAUGH, J.J., BUNCH, R.L. (1967): "Sterols as a measure of fecal pollution", *J. Water Pollution Control Federation*, 39, pp. 404-409. <http://www.jstor.org/stable/25035758>.

NACHITE, D., RODRÍGUEZ-LÁZARO, J., MARTÍN-RUBIO, M., PASCUAL, A., BEKKALI, R. (2010): "Distribution et écologie des associations d'ostracodes récents de l'estuaire de Tahadart (Maroc Nord-Occidental)", *Revue de Micropaléontologie*, 53, pp. 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2008.04.004>.

NRIAGU, J.O. (1983): *Lead and Lead Poisoning in the Antiquity*. Wiley, New York.

ORTIZ, J.E., TORRES, T., JULIÀ, R., DELGADO, A., LLAMAS, F.J., SOLER, V., DELGADO, J. (2004): "Numerical dating algorithms of amino acid racemization ratios from continental ostracodes. Application to Guadix-Baza basin (southern Spain)", *Quaternary Science. Review*, 23, pp. 717-730. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.06.001>.

ORTIZ, J.E., TORRES, T., PÉREZ GONZÁLEZ, A. (2013): "Amino acid racemization in four species of ostracodes: taxonomic, environmental, and microstructural controls", *Quaternary Geochronology*, 16, pp. 129-143. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2012.11.004>.

ORTIZ, J.E., TORRES, T., RAMALLO, S.F., ROS, M. (2015): "Algoritmos de datación por racemización de aminoácidos de ostrácodos del Holoceno y Pleistoceno superior en la Península Ibérica", *Geogaceta* 58, pp. 63-66.

ORTIZ, J.E., TORRES, T., SÁNCHEZ-PALENCIA, Y., ROS, M., NAVARRO, F., LÓPEZ-CILLA, I., GALÁN, L.A., RAMALLO, S., RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T., BLÁZQUEZ, A. (2020): "Biomarkers in coastal marshlands: environmental characteristics of the Mazarrón Basin during the Middle Pleistocene (MIS 7) and Holocene (MIS 1)", *Organic Geochemistry*, 149, pp. 104117. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2020.104117>.

ORTIZ, J.E., TORRES, T., LÓPEZ-CILLA, I., GALÁN, L.A., SÁNCHEZ-PALENCIA, Y., ROS, M., MANTECA, I., RAMALLO, S., NAVARRO, F., RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T., BLÁZQUEZ, A., GÓMEZ-BORRERO, A., RUIZ-ZAPATA, B., GIL, M.J., HEINE, E. (2021): "Keys to discern the Phoenician, Punic and Roman mining in a typical coastal environment through the multivariate study of trace element distribution", *Science of the Total Environment*, 790, pp. 14986. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147986>.

PALAHÍ, T. (2016): *Apianus, Historia de Roma sobre Iberia* (Spanish translation). Luarna Ediciones, Madrid.

PANCOST, R.D., BAAS, M., VAN GEEL, B., SINNINGHE DAMSTÉ, J.S. (2002): "Biomarkers as proxies for plant inputs to peats: an example from a sub-boreal ombrotrophic

bog", *Organic Geochemistry*, 33, pp. 675-690. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00048-7).

PATON, W.R. (1968): *Polybius, The Histories* (English translation), William Heinemann Ltd, London.

PAVLOPOULOS, K., KARKANAS, P., TRIANTAPHYLLOU, M., KARYMBALIS, E., TSOUROU, T., PALLYVOS, K. (2006): "Paleoenvironmental evolution of the coastal plain of Marathon, Greece, during the Late Holocene: depositional environment, climate, and sea level changes", *Journal of Coastal Research*, 22, pp. 424-438. <https://doi.org/10.2112/03-0145.1>.

PÉREZ MACÍAS, J.A. (2019): "La minería metálica en Al-Andalus", en Delgado Pérez, M.C., Pérez-Aguilar, L.G. (eds.), *Economía y trabajo: Las bases materiales de la vida en Al-Andalus*, Ediciones Alfaro, Sevilla, pp. 237-253.

POYNTER, J.G. (1989): *Molecular stratigraphy: The Recognition of Palaeoclimatic Signals in Organic Geochemical Data*, PhD Thesis, University of Bristol.

PRAHL, F.G., CARPENTER, R. (1984): "Hydrocarbons in Washington coastal sediments", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 18, pp. 703-720. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(84\)90040-4](https://doi.org/10.1016/0272-7714(84)90040-4).

RAMALLO ASENSIO, S.F., BERROCAL, M.C. (1994): "Minería púnica y romana en el sureste peninsular: el foco de Carthago Nova", en Vaquerizo, D. (Ed.), *Minería y metalurgia en la España prerromana y romana*, Área de Cultura de la Excelentísima Diputación Provincial de Córdoba, pp. 79-146.

RAMALLO ASENSIO, S. F., CEREZO ANDREO, F. (2018): "Carthago Spartaria, declive y recuperación de una civitas romana en la España bizantina", en Sánchez Ramos, I. y Mateos Cruz, P. (eds.): *Territorio, topografía y arquitectura de poder durante la Antigüedad Tardía*, Mytra: Monografías y Trabajos de Arqueología, nº 1, Mérida: CSIC-Juana de Extremadura, pp. 155-194.

REIMER, P., AUSTIN, W.E.N., BARD, E., BAYLISS, A., BLACKWELL, P.G., BRONK RAMSEY, C., BUTZIN, M., CHENG, H., EDWARDS, R.L., FRIEDRICH, M., GROOTES, P.M., GUILDSON, T.P., HAJDAS, I., HEATON, T.J., HOGG, A.G., HUGHEN, K.A., KROMER, B., MANNING, S.W., MUSCHELER, R., PALMER, J.G., PEARSON, C., VAN DER PLICHT, J., REIMER, R.W., RICHARDS, D.A., SCOTT, E.M., SOUTHON, J.R., TURNER, C.S.M., WACKER, L., ADOLPHI, F., BÜNTGEN, U., CAPANO, M., FAHRNI, S., FOGTMANN-SCHULZ, A., FRIEDRICH, R., KÖHLER, P., KUDSK, S., MIYAKE, F., OLSEN, J., REINIG, F., SAKAMOTO, M., SOOKDEO, A., TALAMO, S. (2020): "The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP)", *Radiocarbon*, 62. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.

- RENBERG, I., BRÄNNVALL, M.L., BINDLER, R., EMTERYD, O. (2002): "Stable lead isotopes and lake sediments-a useful combination for the study of atmospheric lead pollution history", *Science of the Total Environment*, 292, pp. 45-54. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00032-3).
- RENZI, M., MONTERO-RUIZ, I., BODE, M. (2009): "Non-ferrous metallurgy from the Phoenician site of La Fonteta (Alicante, Spain): a study of provenance", *Journal of Archaeological Science*, 36, pp. 2584-2596. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.07.016>.
- RICHARDS, G.W. (1985): "Fossil Mediterranean molluscs as sea-level indicators", *Geological Magazine*, 122, pp. 373-381. <https://doi.org/10.1017/S0016756800031812>.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., RIVAS-SÁENZ, S. (2017): *Worldwide Bioclimatic Classification System*, Available at: <http://www.globalbioclimatics.org/> (accessed 15 January 2017).
- RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T., NAVARRO, F., ROS, M., CARRIÓN, J., ATENZA, J. (2011): "Holocene morphogenesis along a tectonically unstable coastline in the Western Mediterranean (SE Spain)", *Quaternary International*, 243, pp. 231-248. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.07.016>.
- ROHDE, K.A., SANDLAND, R. (1975): "Factors influencing clustering in the intertidal snail *Cerithium moniliferum*", *Marine Biology*, 30, pp. 203-215. <https://doi.org/10.1007/BF00390743>.
- ROMMERSKIRSCHEN, F., EGLINTON, G., DUPONT, L., GÜNTNER, U., WENZEL, C., RULLKÖTTER, J. (2003): "A north to south transect of Holocene southeast Atlantic continental margin sediments: Relationship between aerosol transport and compound-specific  $\delta^{13}\text{C}$  land plant biomarker and pollen records", *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4, pp. 1-29. <https://doi.org/10.1029/2003GC000541>.
- SCHÜTZ, L., RAHN, K.A. (1982): "Trace element concentrations in erodible soils", *Atmospheric Environment*, 16, pp. 171-176. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(82\)90324-9](https://doi.org/10.1016/0004-6981(82)90324-9).
- SAYNOR, M.J., HARFORD, A. (2010): *Pilot study on the separation and physical characterisation of lateritic material from the Ranger project area*, Internal Report 579, October, Supervising Scientist, Darwin.
- SHAH, V.G., DUNSTAN, R.H., GEARY, P.M., COOMBS, P., ROBERTS, T.K., VON NAGY-FELSOBUKI, E. (2007): "Evaluating potential applications of faecal sterols in distinguishing sources of faecal contamination from mixed faecal samples", *Water Research*, 41, pp. 3691-3700. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.006>.
- SHOTYK, W., BLASER, P., GRÜNIG, A., CHEBURKIN, A.K. (2000): "A new approach for quantifying cumulative, anthropogenic, atmospheric lead deposition using peat cores from bogs: Pb in eight Swiss peat bog profiles", *Science of the Total Environment*, 249, pp. 281-295. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00523-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00523-9).
- SHOTYK, W., WEISS, D., KRAMERSM J.D., FREIM R., CHERBUKIN A.K., GLOORM M., REESE S. (2001): "Geochemistry of the peat bog at Etang de la Gruère, Jura Mountains, Switzerland, and its record of atmospheric Pb and lithogenic trace metals (Sc, Ti, Zr, and REE) since 12.370  $^{14}\text{C}$  yr BP", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65, pp. 2337-2360. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(01\)00586-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00586-5).
- SILLIMAN, J.E., MEYERS, P.A., BOURBONNIERE, R.A. (1996): "Record of postglacial organic matter delivery and burial in sediment of Lake Ontario", *Organic Geochemistry*, 24, 463-472. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(96\)00041-1](https://doi.org/10.1016/0146-6380(96)00041-1).
- STANLEY, J.D., CARLSON, R.W., VAN BEEK, G., JORSTAD, T.F., LANDAU, E.A. (2007): "Alexandria, Egypt, before Alexander the Great: a multidisciplinary approach yields rich discoveries", *GSA Today*, 17, pp. 4-10.
- STUIVER, M., REIMER, P.J., REIMER, R.W. (2021): CALIB 8.2 [WWW program] at <http://calib.org> (accessed 27 July 2021).
- SWITZER, A.D. (2013): "Measuring and analyzing particle size in a geomorphic context", en Shroder, J., Switzer, A.D., Kennedy, D.M. (eds.), *Treatise on Geomorphology*, Academic Press, San Diego. Methods in Geomorphology vol. 14, pp. 224-242. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00385-7>.
- TORRES, T., RAMALLO, S., SÁNCHEZ-PALENCIA, Y., ROS, M., ORTIZ, J.E., NAVARRO, F., CEREZO, F., RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T., MANTECA, I. (2018): "Reconstructing human-landscape interactions in the ancient Mediterranean harbour of Cartagena (Spain)", *The Holocene*, 28, pp. 879-894. <https://doi.org/10.1177/0959683617752838>.
- TORRES, T., ORTIZ, J.E., SÁNCHEZ-PALENCIA, Y., ROS, M., NAVARRO, F., LÓPEZ-CILLA, I., GALÁN, L.A., RAMALLO, S., RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T., BLÁZQUEZ, A. (2020): "The Pleistocene and Holocene records of the Mazarrón Basin (SE Spain)", *Quaternary International*, 566-567, pp. 256-270. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.03.019>.
- TRIANTAPHYLLOU, M., KOULI, K., TSOUROU, TH., KOUKOUSIOURA, O., PAVLOPOULOS, K., DERMITZAKIS, M. (2010): "Paleoenvironmental changes since 3000 BC in the coastal marsh of Vravron (Attica, SE Greece)", *Quaternary International*, 216, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.08.019>.

TRINCHERINI, P.R., DOMERGUE, C., MANTECA, I., NESTA, A., QUARATI P. (2009): "The identification of lead ingots from the Roman mines of Cartagena", *Journal of Roman Archaeology*, 22, pp. 123-145. <https://doi.org/10.1017/S1047759400020626>.

UEKI, A., SUTO, T. (1979): "Cellular fatty acid composition of sulfate-reducing bacteria", *Journal of General and Applied Microbiology*, 25, pp. 185-196. <https://doi.org/10.2323/jgam.25.185>.

VÉRON, A., FLAUX, C., MARRINER, N., POIRIER, A., RIGAUD, S., MORHANGE, C., EMPEREUR, J.Y. (2013): "A 6000-year geochemical record of human activities from Alexandria (Egypt)", *Quaternary Science Reviews*, 81, pp. 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.09.029>.

VÉRON, A., GOIRAN, J.P., MORHANGE, C., MARRINER, N., EMPEREUR, J.Y. (2006): "Pollutant lead reveals the pre-Hellenistic occupation and ancient growth of Alexandria, Egypt", *Geophysical Research Letters*, 33(6), pp. L06409, <https://doi.org/10.1029/2006GL025824>.

VÉRON, A., MORHANGE, C., POIRIER, A., ANGELETTI, B., BERTONCELLO, F. (2018): "Geochemical markers of human occupation in the lower Argens valley (Fréjus, France): from protohistory to Roman times", *Journal of Archaeological Science. Reports* 17, pp. 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.09.028>.

VILLAR VIDAL, J.A., 1993. *Livius, T., Historia de Roma desde su fundación*, books XXVI-XXX (English translation and notes), Biblioteca Clásica Gredos, Madrid.

VOLKMAN, J.K., JOHNS, R.B., GILLAN, F.T., PERRY, G.J., BAVOR JR., H.J. (1980): "Microbial lipids of an intertidal sediment. I. Fatty acids and hydrocarbons", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, pp. 1133-1143. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90067-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90067-8).

VOLKMAN, J.K., REVILL, A.T., HOLDSWORTH, D.G., FREDERICKS, D. (2008): "Organic matter sources in an enclosed coastal inlet assessed using lipid biomarkers and stable isotopes", *Organic. Geochemistry*, 39, pp. 689-710. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2008.02.014>.

VÖTT, A., BRÜCKNER, H., HANDL, M., SCHRIEVER, A. (2006): "Holocene palaeogeographies of the Astakos coastal plain (Akarnania, NW Greece)", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239, pp. 126-146. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.01.015>.

WEISS, D., SHOTYK, W., CHEBURKIN, A.K., GLOOR, M., REESE, S. (1997): "Atmospheric lead deposition from 12,400 to ca. 2,000 yrs BP in a peat bog profile, Jura Mountains, Switzerland", *Water, Air & Soil Pollution*, 100, pp. 311-324. <https://doi.org/10.1023/A:1018341029549>.

ZHENG, Y., ZHOU, W., MEYERS, P.A., XIE, S. (2007): "Lipid biomarkers in the Zoige-Hongyuan peat deposit: Indicators of Holocene climate changes in West China", *Organic Geochemistry*, 38, pp. 1927-1940. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.06.012>.

## **LISTADO DE PARTICIPANTES**

## LISTADO DE PARTICIPANTES EN EL VOLUMEN

**Dr. Albert Ribera i Lacomba.** Institut Català d'Arqueologia Clàssica.

**Dra. Ana Blázquez.** Instituto Universitario de Medio Ambiente y Ciencias Marinas, Universidad Católica de Valencia.

**D. Antonio P. Guilabert Mas.** Museo Arqueológico de Alicante (MARQ).

**Dr. Benjamín Cutillas Victoria.** Departamento de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. UCM.

**Dr. Carlo Beltrame.** Dipartimento di Studi Umanistici. Università Ca'Foscari, Venezia,

**Dra. Carlotta Lucarini.** Dipartimento di Studi Umanistici. Università Ca'Foscari, Venezia -

**Dra. Corinne Rousse.** Aix Marseille Université, CNRS, Centre Camille Jullian, Aix-en-Provence, France.

**Dra. Corinne Sanchez.** CNRS, Laboratoire Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, Montpellier, France).

**Dr. Daniel Mateo Corredor.** Instituto de Arqueología y Patrimonio Histórico – (INAPH). Universidad de Alicante.

**Dra. Dirce Marzoli.** Instituto Arqueológico Alemán.

**Dña. Elisa Hernández Pastor.** Museu d'Arqueologia de Catalunya, Empúries.

**Dr. Enrico Giorgi.** Dipartimento di Storia Culture Civiltà. Università di Bologna.

**Dr. Erwin Heine.** BOKU University, Vienna.

**Dña. Eva Tendero Porras.** Museo Arqueológico de Alicante (MARQ).

**Dra. Federica Carbotti.** Dipartimento di Storia Culture Civiltà. Università di Bologna-Università del Salento.

**D. Felipe Poquet Domenech.** Instituto de Arqueología y Patrimonio Histórico. (INAPH). Universidad de Alicante.

**Dr. Ferréol Salomon.** CNRS, Université de Strasbourg, LIVE, Strasbourg, France.

**Dra. Francisca Navarro Hervás.** Departamento de Geografía, Universidad de Murcia

**D. Giacomo Sigismondo.** Dipartimento di Beni Culturali–Università di Bologna-Università del Salento.

**Dr. Ignacio Grau.** Instituto de Arqueología y Patrimonio Histórico (INAPH.). Universidad de Alicante.

**D. Ignacio López-Cilla.** Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios, IGME. Madrid.

**Dr. Jaime Molina Vidal.** Instituto de Arqueología y Patrimonio Histórico (INAPH). Universidad de Alicante.

**Dr. Joaquim Tremoleda i Trilla.** Museu d'Arqueologia de Catalunya, Empúries.

**Dr. Joé Juncker.** CNRS, Université de Strasbourg, LIVE, Strasbourg, France.

**Dr. Jose Eugenio Ortiz Menéndez.** Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular, E.T.S.I. Minas y Energía de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

**D. José Iborra Rodríguez.** Arqueólogo posgrado Col.4437 CDLRM

**Dr. José Luis Menéndez Fueyo.** Museo Arqueológico de Alicante (MARQ).

**D. Luis A. Galán de Frutos.** Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios, IGME. Madrid.

**Dr. Manuel Olcina Domenech.** Museo Arqueológico de Alicante (MARQ).

**Dr. Marc Bouzas Sabater.** Departament Història i Història de L'art . Universitat de Girona.

**Dña. Marta Santos Retolaza.** Museu d'Arqueologia de Catalunya, Empúries.

**Dra. Milagros Ros Sala.** Departamento de Prehistoria, Arqueología, Historia Antigua Historia Medieval y Ciencias y Técnicas Historiográficas, Universidad de Murcia.

**Dr. Paolo Mozzi.** Dipartimento di Geoscienze. Università degli studi di Padova.

**D. Pere Rosello Sendra.** Instituto de Arqueología y Patrimonio Histórico – INAPH. Universidad de Alicante

**Dr. Pere Castanyer i Masoliver.** Museu d'Arqueologia de Catalunya, Empúries.

**Dr. Marcos A. Martínez Segura.** Depto. Geodesia, E. Minas. Universidad Politécnica de Cartagena.

**Dr. Ramon Julià Brugués.** Grup de Recerca SERP. Universitat de Barcelona.

**D. Santiago A. Romero.** Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular, E.T.S.I. Minas y Energía de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

**Dr. Sebastián F. Ramallo Asensio.** Departamento de Prehistoria, Arqueología, Historia Antigua Historia Medieval y Ciencias y Técnicas Historiográficas, Universidad de Murcia.

**Dr. Stefano Medas.** Dipartimento di Beni Culturali .Università di Bologna.

**Dra. Tiphaine Salel.** Université Montpellier Paul-Valéry, Laboratoire Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, Montpellier, France.

**Dr. Tomás Rodríguez-Estrella.** Departamento de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica, Universidad Politécnica de Cartagena.

**Dr. Trinidad Torres Pérez Hidalgo.** Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular, E.T.S.I. Minas y Energía de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

**Dra. Yolanda Sánchez-Palencia.** Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular. E.T.S.I. Minas y Energía de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

**Medios lagunares y húmedos costeros: problemáticas terminológicas, tipológicas y perspectivas arqueológicas.**

Carlotta Lucarini.

**Investigaciones arqueológicas marítimas en la laguna de Butrinto, Albania.**

Stefano Medas, Enrico Giorgi, Federica Carbotti y Giacomo Sigismondo.

**La laguna di Venezia in età romana. Nuovi dati sullo studio dei paesaggi sommersi.**

Carlo Beltrame y Paolo Mozzi.

**Las áreas lagunares de la desembocadura del Ródano y la región de Narbona.**

Corinne Rousse, Ferreol Salomon, Joe Juncker, Tiphaine Salel y Corinne Sánchez.

**Paleopaisaje y poblamiento en el territorio de Empúries (Girona).**

Pere Castanyer, Ramón Juliá, Dirce Marzoli, Marc Bouzas, Marta Santos, Elisa Hernández y Joaquim Tremoleda.

**La llanura aluvial de Valencia: historia y arqueología de la radical transformación del entorno y de la topografía de la urbe.**

Albert Ribera i Lacomba.

**La albufereta de Alicante. Evolución de un paraje histórico.**

Antonio Gilabert Mas, José Luis Menéndez Fueyo, Manuel Olcina Doménech y Eva Tendero Porras.

**Paisaje, poblamiento y gestión del agua entre el *sinus sucronensis* y el *sinus ilicitanus*.**

Ignacio Grau Mira, Jaime Molina Vidal, Pere Rosselló Sendra, Felipe Poquet Doménech y Daniel Mateo Corredor.

**Inmensa Palus: estudio geofísico y arqueológico de la laguna del Mar Menor y su litoral mediterráneo.**

Erwin Heine, Carlotta Lucarini, Benjamín Cutillas Victoria y Sebastián F. Ramallo Asensio.

**Biomarcadores lipídicos y contaminación por metales en el registro del holoceno de la bahía de Cartagena (Sureste de España): historia ambiental, natural y antropogénica combinada en la época púnica y romana.**

José Eugenio Ortiz, Trinidad Torres, Yolanda Sánchez-Palencia, Milagros Ros Sala, Sebastián F. Ramallo Asensio, Ignacio López-Cilla, Luis A. Galán, Ignacio Manteca, Tomás Rodríguez-Estrella y Ana Blázquez.

**El registro pleistoceno y holoceno de la cuenca de Mazarrón (Sureste de España).**

Trinidad Torres, José Eugenio Ortiz, Yolanda Sánchez-Palencia, Milagros Ros Sala, Francisca Navarro Hervás, Ignacio López-Cilla, Luis A. Galán, Sebastián F. Ramallo Asensio, Tomás Rodríguez-Estrella y Ana Blázquez.

**La costa de Almería, San Juan de los Terreros: cuantificación de los procesos naturales y antrópicos durante el holoceno.**

Santiago Alejandro Romero García, Trinidad Torres, José Eugenio Ortiz y Yolanda Sánchez-Palencia.

**La villa romana de Los Alcázares: un gran complejo arquitectónico en el borde del Mar Menor.**

José Iborra Rodríguez, Sebastián F. Ramallo Asensio y Marcos A. Martínez Segura.