

Universidad de Huelva

Departamento de Ciencias de la Tierra



**Moluscos como *proxies* de evolución paleoambiental,
usos antrópicos y tendencias bromatológicas en
contextos históricos: el estuario de los ríos Tinto y Odiel
(Huelva, España) y el puerto de Portus (Fiumicino, Italia)**

**Memoria para optar al grado de doctor
presentada por:**

Gabriel Gómez Álvarez

Fecha de lectura: 23 de febrero de 2024

Bajo la dirección de los doctores:

Francisco Ruiz Muñoz

Javier Bermejo Meléndez

Huelva, 2024





TESIS DOCTORAL

MOLUSCOS COMO *PROXIES* DE EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL, USOS ANTRÓPICOS Y TENDENCIAS BROMATOLÓGICAS EN CONTEXTOS HISTÓRICOS: EL ESTUARIO DE LOS RÍOS TINTO Y ODIEL (HUELVA, ESPAÑA) Y EL PUERTO DE PORTUS (FIUMICINO, ITALIA)

Doctorando:

Gabriel Gómez Álvarez

Directores:

Francisco Ruiz Muñoz

Javier Bermejo Meléndez

2023

Con los géneros de conchas jugó la naturaleza con extraña variedad haciendo tantas diferencias de colores y figuras... También con distinción variada, crespas, con canales, con púas, con peine, ondulada, enredada, prolongada, con senos, unidas con un pequeño nudo o asidas por todo el lado. Algunas son a manera de bóveda, abiertas para el aplauso o cóncavas para bocinar.

Plinio el Viejo. Historia natural. Libro noveno.

Las conchas representan momentos pretéritos, únicos e irrepetibles de la humanidad, y nos hablan de las personas y sus costumbres en un pasado lejano.

Anónimo.

AGRADECIMIENTOS

A mi mujer, a mi madre y a mi padre.

A mis directores de Tesis, los Dres. Francisco Ruiz Muñoz y Javier Bermejo, por sus incontables horas de dedicación a mis innumerables preguntas y peticiones. Muchas gracias, Paco y Javier, por haberme guiado en este fascinante viaje de la Arqueomalacología.

Al Dr. Juan Manuel Campos Carrasco, catedrático de Arqueología de la Universidad de Huelva, por permitirme acceder al estudio de los restos arqueomalacológicos de Isla Saltés, de los sondeos de la ensenada de La Fontanilla y del sondeo analizado del puerto de *Portus*, así como a las dataciones realizadas en ellos. Al equipo del grupo Urbanitas de la Universidad de Huelva que el Dr. Campos dirige, por sus atenciones y disposición para poder acceder a los sondeos de La Fontanilla y *Portus*.

A D^a Livia Fernández, por su inestimable ayuda y apoyo en el estudio de los ejemplares obtenidos en el conchero de Cañada Honda. A los Dres. María Luz González-Regalado, Manuel Abad de los Santos, Antonio Toscano Grande y Paula Gómez Gutiérrez, por su ayuda en las labores de análisis y muestreo de la Isla Saltés, así como por sus aportaciones al conocimiento geológico de los sondeos incluidos en esta Tesis.

Al Dr. Juan Manuel Muñoz, catedrático de Estadística e Investigación Operativa de la Universidad de Sevilla, por el análisis estadístico de los resultados obtenidos en los concheros de Cañada Honda y la Isla Saltés.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: SÍNTESIS	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. El Phylum Mollusca.....	9
1.2. Moluscos como indicadores indirectos o <i>proxies</i> paleoambientales en medios costeros	15
1.3. Moluscos como indicadores indirectos o <i>proxies</i> aplicados a la Arqueología	19
1.3.1. Zooarqueología y Arqueomalacología	19
1.3.2. El estudio de los concheros.	21
2. OBJETIVOS.....	25
2.1. Objetivo general	25
2.2. Objetivos específicos.....	25
3. ÁREAS DE ESTUDIO.....	26
3.1. Estuario de los ríos Tinto y Odiel.....	26
3.1.1. Aspectos generales	26
3.1.2. Evolución holocena	28
3.1.3. Estero de La Fontanilla (Palos de la Frontera)	30
3.1.3.1. Contexto histórico	30
3.1.4. Conchero de Cañada Honda (Aljaraque).....	32
3.1.4.1. Contexto histórico	33
3.1.5. Isla Saltés.....	34
3.1.5.1. Contexto histórico	35
3.2. El puerto de <i>Portus</i>	36
3.2.1. Contexto histórico	36
3.2.2. Complejo portuario de <i>Portus</i>	37
4. METODOLOGÍA	38
4.1. El estero de La Fontanilla (Palos de la Frontera, Huelva).....	38
4.1.1. Trabajo de campo	39
4.1.2. Trabajo de laboratorio y gabinete.....	39
4.1.3. Datación	40
4.2. El conchero de Cañada Honda (Aljaraque, Huelva)	40
4.2.1. Trabajo de campo	41
4.2.2. Trabajo de laboratorio y gabinete.....	41
4.2.3. Análisis estadístico	43

4.3. El conchero romano de Isla Saltés (Punta Umbría, Huelva)	43
4.3.1. Trabajo de campo	43
4.3.2. Trabajo de laboratorio y gabinete: Macrofauna	44
4.3.3. Análisis estadístico	46
4.3.4. Datación	46
4.5. El <i>Canale di Imbocco</i> (<i>Portus</i> , Fiumicino).	47
4.4.1. Trabajo de campo.	47
4.4.2. Trabajo de gabinete: Análisis sedimentológico.....	48
4.4.3. Trabajo de gabinete: Análisis faunístico	49
4.4.4. Datación	49
5. SÍNTESIS DE LAS PRINCIPALES APORTACIONES	50
5.1. Evolución paleoambiental del estero de La Fontanilla (Palos de la Frontera, Huelva) 50	
5.2. Análisis arqueomalacológico del conchero de Cañada Honda (Aljaraque, Huelva)....	53
5.3. Análisis multidisciplinar y multivariante del conchero romano de Isla Saltés (Punta Umbría, Huelva).....	57
5.4. Evolución paleoambiental del <i>Canale di Imbocco</i> (<i>Portus</i> , Fiumicino)	64
6. BIBLIOGRAFÍA.....	67
 CAPÍTULO 2. CAMBIOS AMBIENTALES DEL MIOCENO-CUATERNARIO SUPERIOR Y MOLUSCOS COMO INDICADORES DE LA TRANSGRESIÓN DEL MIS-1 EN EL ESTUARIO DEL TINTO Y EL ODIEL, SW DE ESPAÑA	 82
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS ARQUEOMALACOLÓGICO DEL CONCHERO DE CAÑADA HONDA (ESTUARIO MEDIO DEL RÍO ODIEL, S.O. DE ESPAÑA).	83
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS MULTIDISCIPLINAR Y MULTIVARIANTE DEL CONCHERO ROMANO DE LA ISLA SALTÉS (ESTUARINO MARINO DE LOS RÍOS TINTO Y ODIEL, S.O. DE ESPAÑA).....	108
CAPÍTULO 5. EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL <i>CANALE DI IMBOCCO</i> (<i>PORTUS</i> , ITALIA CENTRAL).	128
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la concha de un gasterópodo: ejemplo <i>Hexaplex trunculus</i>	11
Figura 2. Morfología de la concha de un bivalvo. De izquierda a derecha: vista exterior de una valva del género <i>Acanthocardia</i> e interior de una valva de <i>Callista chione</i>	12
Figura 3. Tipos de charnelas: 1) taxodonta; 2) heterodonta; 3) desmodonta; 4) disodonta; y 5) isodonta. 13	
Figura 4. Reconstrucción paleoambiental del Cenomaniense del centro de Portugal basada en moluscos (tomada de Callapez <i>et al.</i> , 2014).	16
Figura 5. Acumulación natural de conchas del tipo de asociación para-autóctona. Fotografía de la desembocadura del río Piedras (El Rompido, Huelva).....	18
Figura 6. Excavación de la <i>cetaria</i> romana de El Eucaliptal, en Punta Umbría (Huelva): A; Vista parcial del yacimiento; B-C: Restos de bivalvos.....	20
Figura 7. Mapa de concheros de origen haliéutico, en los que se observa la presencia de diferentes especies según la zona biogeográfica y la edad del yacimiento (modificada de Ruiz <i>et al.</i> , 2020).	22
Figura 8. Grupo de investigadores cribando los materiales procedentes de excavaciones en la Cueva de Altamira, en 1925 (tomada de Álvarez-Fernández, 2009).	24
Figura 9. Localización del estuario de los ríos Tinto y Odiel, y ubicación de los principales concheros en el tramo medio y marino del estuario. En azul, los casos de estudio incluidos en esta Tesis Doctoral.	27
Figura 10. Representación de los cambios paleogeográficos más significativos del estuario de los ríos Tinto y Odiel durante el Holoceno (modificada de Dabrio <i>et al.</i> , 1998).	29
Figura 11. A-B: ubicación y geomorfología del estuario de los ríos Tinto y Odiel; C: situación de los testigos estudiados dentro de la ensenada de La Fontanilla; D: registros de los testigos, con la distribución de facies, muestras y las dataciones obtenidas (puntos rojos)	31
Figura 12. Mapa de situación del conchero de Cañada Honda, con la localización de los perfiles y las muestras estudiadas.	33
Figura 13. A-B: ubicación de la Isla Saltés (cortesía: Google maps); C: mapa geomorfológico de la Isla Saltés y áreas adyacentes del estuario del Tinto y el Odiel; D: área de estudio con situación de las tres secciones del conchero.	35
Figura 14. Localización y estructura de <i>Portus</i>	38
Figura 15. Metodología de estudio de la ensenada de La Fontanilla. A: fase de testificación; B: fotografía de un testigo; C: separación de las distintas fracciones de una muestra para su estudio malacológico.	40
Figura 16. Trabajo de campo en el Conchero de Cañada Honda. A-B: selección de perfiles. Trabajo de laboratorio. C: levigado; D: limpieza de las conchas; E: etiquetado, pesaje y conservación de los restos de moluscos.	42
Figura 17. A-B: La Cascajera. Trabajos de campo para la toma de muestras del conchero. C-D-E: Pesaje de la fracción malacológica y separación de especímenes durante los trabajos de gabinete.	45
Figura 18. A-B: Ubicación del puerto imperial de <i>Portus</i> (cortesía: Google Earth) y la situación actual de sus estructuras principales; C: fotografía del muelle de Lanterna, originalmente ubicado en el <i>Canale di Imbocco</i> entre la cuenca de Claudio y el hexágono de Trajano; D: plano aéreo del muelle de Lanterna, con la ubicación del testigo PT; E: fotografía del testigo PT y localización de las muestras estudiadas	48
Figura 19. Facies sedimentarias y fases de evolución paleoambiental de la ensenada de La Fontanilla, con la distribución vertical de <i>Bittium reticulatum</i> y <i>Peringia ulvae</i>	51
Figura 20. Representación de la transgresión holocena con ambientes análogos actuales: A) mesolitoral, con abundancia del gasterópodo <i>P. ulvae</i> ; y B) pradera de la fanerógama <i>Zostera noltii</i> , con presencia de la especie característica <i>B. reticulatum</i> . Escala a 0,5 mm.	52
Figura 21. Bivalvos más abundantes en el conchero de Cañada Honda. 1-2: <i>Acanthocardia tuberculata</i> ; 3-6: <i>Cerastoderma edule</i> ; 7-10: <i>Ostrea stentina</i> ; 11-14: <i>Lutraria</i> sp.; 15-16: <i>Ostrea edulis</i> ; 17-22: <i>Ruditapes decussatus</i> ; 23-26: <i>Solen marginatus</i>	54

Figura 22. Gasterópodos marinos y terrestres (t) del conchero de Cañada Honda. 1–3: <i>Candidula gigaxii</i> (t); 4–5: <i>Cecilioides acicula</i> (t); 6–7: <i>Bittium reticulatum</i> ; 8–9, <i>Cerithium vulgatum</i> ; 10–11: <i>Hexaplex trunculus</i> ; 12–15, <i>Peringia ulvae</i> ; 16–17, <i>Rissoa guerinii</i> ; 18–21: <i>Rumina decollata</i> (t).....	55
Figura 23. Cañada Honda. A: Análisis de conglomerados; B: análisis de componentes principales: PC1 vs PC2 y distribución vertical de los grupos de muestra.....	56
Figura 24. La Cascajera. Registro sedimentario de las tres secciones estudiadas, incluyendo la posición de las 41 muestras seleccionadas y detalles de las diferentes facies.	58
Figura 25. La Cascajera. Bivalvia: principales géneros y especies. A, B: <i>Acanthocardia</i> sp.; C: <i>Acanthocardia tuberculata</i> ; D: <i>Anomia ephippium</i> ; E: <i>Cerastoderma glaucum</i> ; F: <i>Cerastoderma edule</i> ; G: <i>Chamelea gallina</i> ; H: <i>Clausinella fasciata</i> ; I: <i>Donacilla cornea</i> ; J: <i>Donax trunculus</i> ; K: <i>Donax venustus</i> ; L: <i>Glycymeris glycymeris</i> ; M: <i>Glycymeris nummaria</i> ; N: <i>Limaria tuberculata</i> ; O: Familia <i>Ostreidae</i> ; P: <i>Panopea glycymeris</i> ; Q: <i>Pecten maximus</i> ; R: <i>Ruditapes decussatus</i> ; S: <i>Spisula solida</i> ; T: Familia <i>Cardidae</i> ; U: Familia <i>Carditidae</i> ; V: <i>Corbula gibba</i> ; W: <i>Dosinia lupinus</i> ; X: <i>Loripes lucinalis</i> ; Y: <i>Striarca lactea</i> ; y Z: <i>Tellina</i> sp.....	59
Figura 26. La Cascajera. Gastropoda: principales géneros y especies. A: <i>Bela</i> sp.; B: <i>Bittium reticulatum</i> ; C: <i>Calliostoma</i> sp.; D: <i>Calliostoma zizyphinum</i> ; E: <i>Calyptrea chinensis</i> ; F: <i>Gibbula umbilicalis</i> ; G: <i>Gibbula varia</i> ; H: <i>Jujubinus striatus</i> ; I: <i>Mangelia</i> sp.; J: Familia <i>Nassaridae</i> ; K: <i>Nassarius nitidus</i> ; L: <i>Ocenebra erinaceus</i> ; M: <i>Peringia ulvae</i> ; N: <i>Rissoa</i> sp.; O: <i>Tritia incrassata</i> ; P: <i>Tritia pfeifferi</i> ; Q: <i>Tritia pygmaea</i> ; Scaphopoda. R: Familia <i>Dentaliidae</i>	59
Figura 27. La Cascajera. A: grupos y subgrupos definidos a partir de análisis de conglomerados aplicado a las dieciocho especies principales; B: distribución de grupos y subgrupos en los perfiles y unidades estratigráficas; C: porcentajes medios de las principales especies en los diferentes grupos y subgrupos obtenidos.	63
Figura 28. <i>Portus</i> . A) Estudio sedimentológico con la posición de las facies identificadas; B) restos de <i>P. oceanica</i> tipo “bola de Neptuno”; C) <i>C. glaucum</i> ; D) <i>P.rhomboides</i> ; F) <i>Ammonia tepida</i> ; E) <i>Cyprideis torosa</i>	64

CAPÍTULO 1: SÍNTESIS

1. INTRODUCCIÓN

Tras la muerte de los organismos, una parte de éstos pasa de la Biosfera a la Litosfera y conforma un archivo de gran relevancia para la Paleontología y la Arqueología. La autoecología de las especies permite inferir la evolución ambiental del área de estudio y, a través de ellas, se establecen tendencias en la dieta de las poblaciones humanas. Por otro lado, el estudio tafonómico de las conchas aporta información sobre el uso que se hacía de éstas (bromatológico, ornamental, ritual, como herramientas, etc.) y la formación de sus depósitos.

Los moluscos constituyen uno de los registros paleontológicos y arqueológicos más frecuentes debido a su gran abundancia y diversidad, que les ha permitido adaptarse a una amplia variedad de ecosistemas. Además, la presencia de una cubierta biomineralizada, más o menos dura (concha), asegura la permanencia *post mortem* en el medio durante un periodo considerable de tiempo. En consecuencia, han sido un grupo frecuentemente utilizado desde hace más de un siglo en estudios paleoambientales, tanto en medios continentales como marinos. Más recientemente, han adquirido un importante protagonismo en investigaciones arqueológicas, dando lugar a una nueva disciplina en continuo desarrollo dentro de la Zooarqueología: la Arqueomalacología.

En esta Tesis Doctoral, se estudia la malacofauna presente en cuatro contextos históricos muy relevantes del suroeste de España y centro de Italia. Las tres primeras investigaciones se han desarrollado en el estuario de los ríos Tinto y Odiel (S.O. de España), donde se aborda una reconstrucción paleoambiental holocena de la ensenada de La Fontanilla (Palos de la Frontera), de la que partió la expedición colombina en 1492, el estudio arqueomalacológico del conchero de Cañada Honda (Aljaraque) y el análisis multidisciplinar de los restos de una *cetaria* con actividad durante la época

imperial romana (siglos I CE a V CE) en la Isla Saltés. El cuarto estudio se ha centrado en el antiguo puerto romano de *Portus*, situado en el centro de Italia, y que fue uno de los más importantes del Mediterráneo durante el periodo imperial. Los restos de moluscos hallados en este antiguo puerto, han jugado un importante papel en la reconstrucción paleoambiental del proceso de colmatación del canal que unía dos ensenadas portuarias, una exterior y otra interior.

1.1. El Phylum Mollusca

El Phylum *Mollusca* es un grupo monofilético, cuya única característica común es la presencia de un cuerpo blando (del latín *mollis* -blando-), aunque son varias las clases (gasterópodos, bivalvos, escafópodos y cefalópodos) que presentan una concha mineral de calcita y aragonito (Gómez, 2017). Su naturaleza pétrea confiere a la concha gran durabilidad y, en función de que sea más o menos robusta, puede llegar a ser altamente resistente a procesos tafonómicos como la abrasión, la fragmentación o la maceración (Fernández-López, 1999). La elevada capacidad de permanencia en el medio que tienen las conchas ofrece un gran interés sedimentológico, paleontológico y arqueológico en los registros fósiles y subfósiles (Gordillo y Boretto, 2020), ya que permite identificar especies, cuya distribución ecológica puede ser utilizado en series estratigráficas para afrontar la reconstrucción paleoambiental del área de estudio, deducir cambios en la dieta humana o identificar la zona de extracción. Las conchas actúan, por lo tanto, como *proxies* o indicadores indirectos de hábitats pretéritos e incluso de cambios climáticos.

Existen ocho clases actuales de moluscos (Solenogastres, Caudofoveata, Polyplacophora, Monoplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Cephalopoda, y Scaphopoda) y dos más exclusivamente fósiles (Rostroconchia y Helcionelloida). La concha puede

estar formada por una pieza (monoplacóforos, gasterópodos, cefalópodos y escafópodos), dos piezas o valvas (bivalvos) y por varias piezas o placas (poliplacóforos). Entre las más conocidas por sus aplicaciones en estudios de Paleontología y Arqueología, y por su interés bromatológico, se encuentran la clase Gastropoda (gasterópodos) y la clase Bivalvia (bivalvos).

La concha de los gasterópodos (Figura 1) es univalva, dorsal, generalmente cónica y suele estar enrollada en un número variable de vueltas (excepto los pateliformes). En contraposición a la primera vuelta o ápice está la última o abertura y se denomina espira al conjunto de vueltas, exceptuando la última. La línea de contacto entre vueltas contiguas es la sutura. La porción apical o protoconcha, apenas visible a simple vista, presenta las vueltas embrionarias que dan paso a las vueltas de crecimiento post-embrionarias o teleoconcha. La concha puede ser lisa o presentar líneas de crecimiento más o menos visibles en el sentido de las agujas del reloj o contrario a éstas (concha dextrógira o levógira respectivamente). Otra escultura visible es la ornamentación a base de cordones espirales, costillas longitudinales, nódulos, tubérculos, espinas y lamelas.

Cuando las vueltas contactan en el interior de la concha se genera un cilindro sólido o columela que acaba en el borde columelar y es visible en la abertura. Si las vueltas no contactan en el interior, el cilindro es hueco y presenta un orificio llamado ombligo en la base de la concha. La abertura o estoma consta de un labio exterior y otro interior (labio columelar), y ser continuo o interrumpido (conchas holóstomas y sifonostomadas, respectivamente). En las sifonostomadas, la interrupción del estoma puede prolongarse por un canal, más o menos largo, llamado canal sifonal. Los labios exterior e interior pueden ser lisos o presentar dientes y pliegues. Además, puede aparecer una escotadura o canal de exhalación en la parte superior del labio exterior.

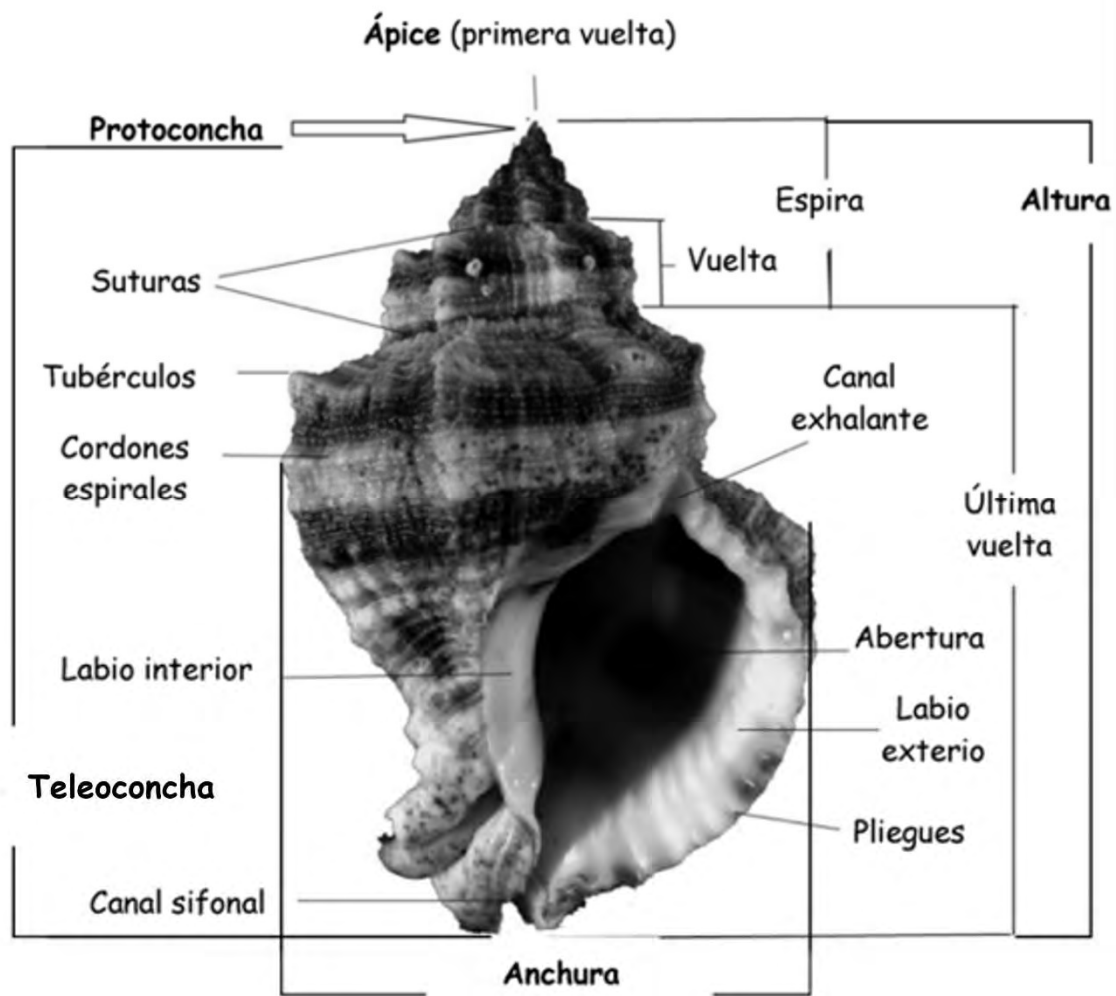


Figura 1. Morfología de la concha de un gasterópodo: ejemplo *Hexaplex trunculus*.

En los bivalvos (Figura 2), la concha está compuesta de dos piezas (valva derecha y valva izquierda), aunque algunas especies pueden presentar placas accesorias. Cuando la valva derecha e izquierda son iguales la concha es equivalva y si son distintas es inequivalva. El umbo indica la posición dorsal y según esté centrado o desplazado, respecto al eje vertical que pasa por el medio de la valva, va a definir dos mitades iguales o desiguales (valva equilátera e inequilátera, respectivamente). Otros rasgos morfológicos, como la forma de los extremos, también pueden establecer diferencias entre la mitad anterior y la posterior de las valvas inequiláteras.

La superficie puede ser lisa, pero el crecimiento de la concha suele marcar líneas concéntricas desde el umbo. Otro tipo de escultura que puede aparecer es la ornamentación a base de estrías, costillas, cordones, lamelas, escamas, protuberancias y espinas. En algunas especies, cuando las valvas están cerradas, se observa una zona lanceolada o cordiforme delante del umbo que se denomina lúnula. En la parte posterior del umbo y en torno al ligamento puede haber otra parte bien definida que se denomina escutelo.

Las valvas se unen en la región dorsal por un ligamento que puede ser simple o presentar una porción interior denominada *resilium*. El cierre de la concha se produce por la acción de dos músculos aductores (anterior y posterior) y, en menor medida, se observan valvas con un solo músculo en posición central. Estas últimas se denominan conchas monomiarias frente a las dimiarias de doble musculatura. Las inserciones de los músculos anterior y posterior pueden ser iguales (conchas isomiarias) o diferentes en forma y/o tamaño (conchas anisomiarias). Respecto a la marca de inserción del manto o paleo, ésta puede ser continua (integripaleadas) o presentar un seno paleal (senopaleadas).

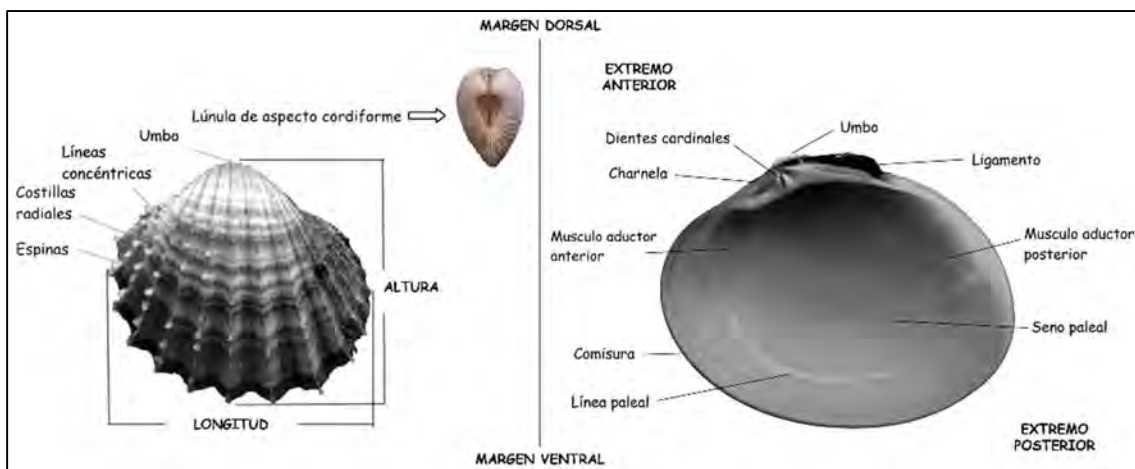


Figura 2. Morfología de la concha de un bivalvo. De izquierda a derecha: vista exterior de una valva del género *Acanthocardia* e interior de una valva de *Callista chione*.

En la región dorsal está el sistema de cierre o charnela, formado generalmente por dientes y fosetas que encajan ambas valvas para evitar su desplazamiento. En menor medida la charnela carece de estas estructuras y presenta otras como tubérculos o un resilifer. Este último es una estructura que soporta el *resilium* y puede formar una proyección en forma de cuchara llamada condróforo. Cuando la charnela no tiene dientes o están reducidos, el *resilium* se calcifica y forma un litodesma, en el que la porción calcificada se une al condróforo para reforzar el cierre de las valvas. Según la dentición hay varios tipos de charnela (Figura 3): 1) taxodonta, que presenta numerosos dientes rectos o en “V”; 2) heterodonta, con dientes cardinales y dientes laterales alargados; 3) desmodonta, con dientes reducidos o ausentes y con resilifer; 4) disodonta, que tiene dientes muy pequeños y poco eficaces bajo los umbos; y 5) isodonta, que presenta *resilium* central con dientes grandes e iguales a cada lado de éste.

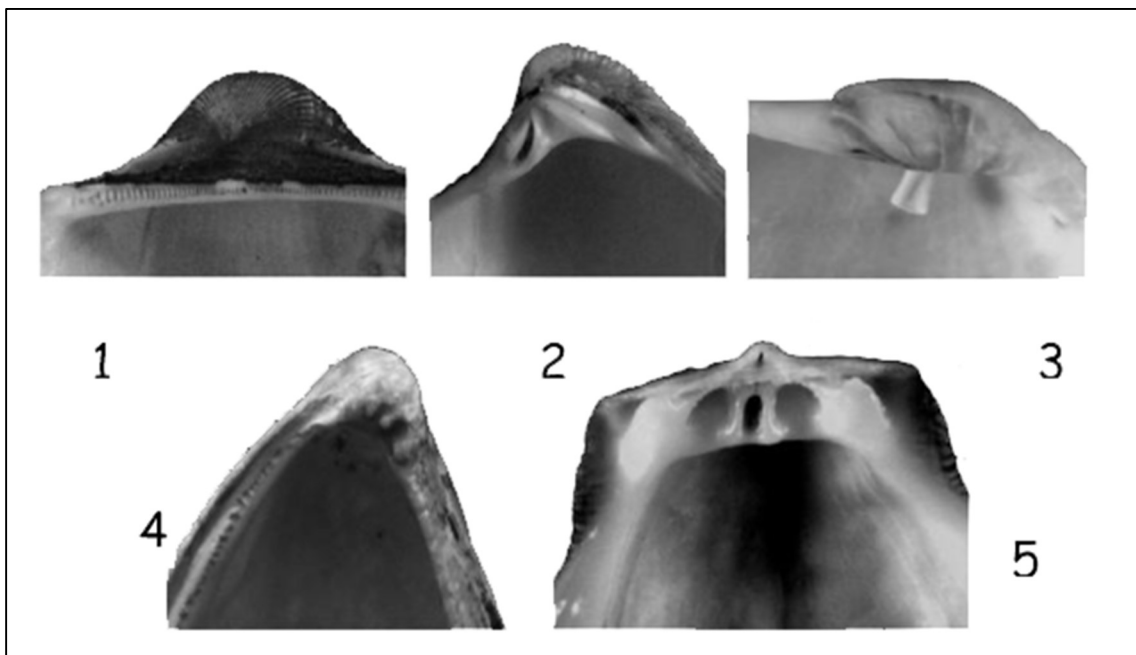


Figura 3. Tipos de charnelas: 1) taxodonta; 2) heterodonta; 3) desmodonta; 4) disodonta; y 5) isodonta.

La biometría de las conchas depende de la clase de molusco. Para hallar las medidas de los gasterópodos se referencia la altura desde el ápice a la base y el ancho se

toma de la vuelta más grande. En el caso de los bivalvos también se emplean dos medidas por valva: la altura (distancia entre dos planos paralelos y tangentes a los márgenes dorsal y ventral) y la longitud (distancia entre dos planos paralelos y tangentes a los extremos anterior y posterior).

Para diferenciar el extremo anterior del posterior que, a su vez, nos permite diferenciar la valva derecha de la izquierda, se siguen una serie de criterios:

1. En conchas anisomiarias, la impresión muscular mayor suele ser la posterior y en las conchas monomiarias la impresión muscular está algo desplazada hacia la parte posterior.
2. Cuando el ligamento externo se extiende a ambos lados del umbo, la porción mayor coincide con la parte posterior.
3. El seno paleal se abre hacia la parte posterior.
4. En conchas inequiláteras, la porción de mayor tamaño suele ser la mitad posterior.

Una vez se ha determinado cual es la porción anterior y posterior de la valva, se sostiene con la parte exterior pegada a la palma de la mano, el umbo hacia arriba y su porción anterior hacia adelante. La valva así dispuesta en la mano derecha corresponde a la valva derecha y la sostenida en la mano izquierda será la valva izquierda.

Respecto a la determinación de los moluscos, las continuas revisiones de la sistemática obligan a actualizar la taxonomía. Para ello se ha de recurrir a bases de datos como World Register of Marine Species (WoRMS: En línea). Esta base de datos surgió del Registro Europeo de Especies Marinas (ERMS) y su elaboración y actualización está coordinada desde el Instituto Marino de Flandes. Desde WoRMS se unifican varios

registros con el objetivo de establecer una lista autorizada y completa en la que se pueden consultar los nombres y la organización sistemática de organismos marinos como los moluscos. Se trata de una base de datos ampliamente utilizada en malacología y, por lo tanto, en trabajos de Paleomalacología y Arqueomalacología (Moreno, 1994; Gutiérrez, 2009; Bejega, 2009).

1.2. Moluscos como indicadores indirectos o *proxies* paleoambientales en medios costeros

La actual línea de costa es el resultado transitorio de la interacción entre numerosos factores, tales como la acción fluvial, la dirección e intensidad del oleaje, las corrientes de deriva litoral o las actuaciones antrópicas. Su evolución durante el Holoceno se ha reconstruido, generalmente, a partir del análisis multidisciplinar de las facies sedimentarias que constituyen su registro geológico. Éstas están expuestas en secciones superficiales y en testigos continuos de sedimento. Su estudio multidisciplinar comprende la caracterización textural, el análisis de la fauna y la flora, la distribución de los componentes minerales, la evolución geoquímica vertical y las dataciones radiométricas (Zanor *et al.*, 2013; González-Regalado *et al.*, 2020).

El phylum *Mollusca* es uno de los más abundantes del reino animal, con más de 100.000 especies actuales y fósiles descritas (Zhi-Qiang, 2011). Los primeros moluscos aparecieron en el Cámbrico, hace más de 500 millones de años. Tuvieron una amplia diversificación durante el Ordovícico, pero sufrieron las grandes extinciones de finales del Pérmico y el Cretácico, entre otras (Tracey *et al.*, 1993; Ponder *et al.*, 2020).

En las últimas décadas, numerosas investigaciones se han centrado en el registro malacológico de testigos continuos formados por sedimentos depositados en áreas

costeras desde el último máximo glacial, hace unos 20.000 años (Siddall *et al.*, 2003).

Las principales aplicaciones de estas investigaciones son:

1. Reconstrucción de paleoambientes sedimentarios (Figura 4). Los moluscos suelen utilizarse como herramienta básica en investigaciones para la reconstrucción paleoambiental de zonas costeras durante el Pleistoceno superior y Holoceno. Son muy importantes para la determinación de fases evolutivas en función de la asociación de taxones, así como para obtener dataciones mediante ^{14}C (Alberti *et al.*, 2013; Marco-Barba *et al.*, 2019; Noti *et al.*, 2022).

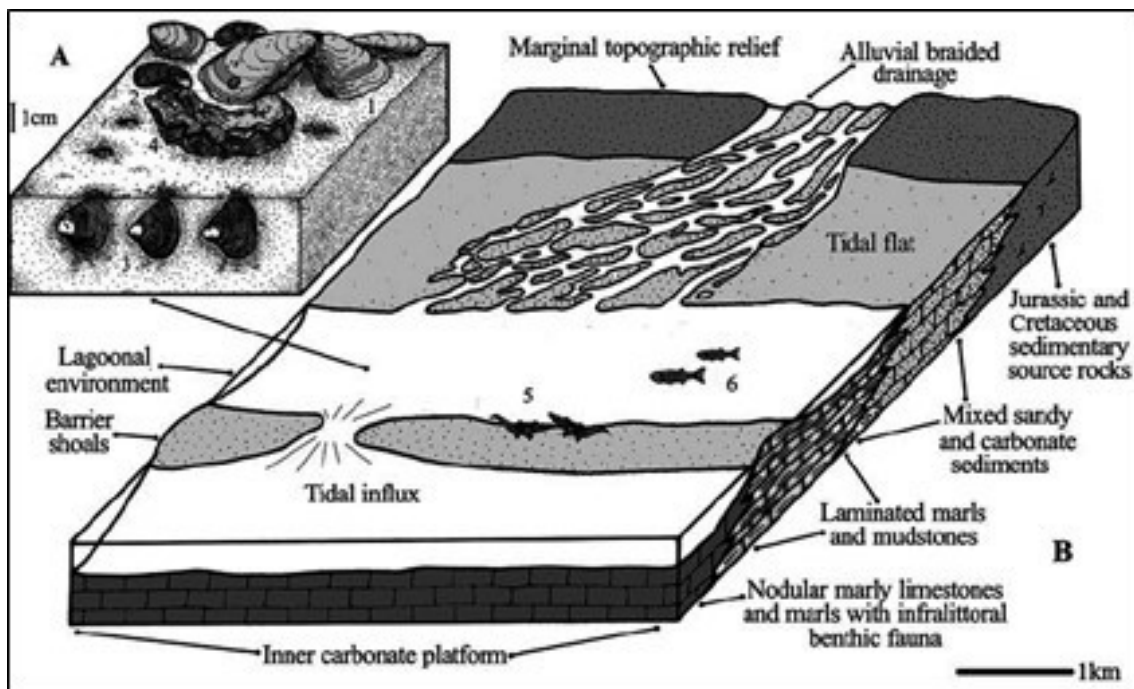


Figura 4. Reconstrucción paleoambiental del Cenomaniense del centro de Portugal basada en moluscos (tomada de Callapez *et al.*, 2014).

2. Identificación de cambios del nivel del mar. La malacofauna es un buen indicador de las variaciones eustáticas o transgresiones marinas en zonas costeras. Su distribución en testigos verticales permite reconocer cambios en el nivel del mar y en el ámbito local o regional (Aguirre, 1993; Espinosa *et al.*, 2003; Fanget *et al.*, 2016; Klishko *et al.*, 2020; Rao *et al.*, 2020).

3. Aspectos tafonómicos. La Tafonomía estudia los procesos de fosilización y la formación de yacimientos, es decir, la historia de las modificaciones ocurridas antes, durante y después del enterramiento de un organismo (Fernández, 2001). El estudio tafonómico de los moluscos permite distinguir dos tipos básicos de asociaciones: i) asociaciones autóctonas, definidas por el predominio de conchas articuladas de bivalvos en posición natural o algo desplazadas topológicamente, pero con las valvas aún cerradas, así como por gasterópodos bien conservados; y ii) asociaciones para-autóctonas (sensu Kidwell *et al.*, 1986) (Figura 5) que proceden, por lo general, de medios marinos adyacentes y están formadas por acumulaciones de conchas desarticuladas, rotas, desgastadas, de disposición caóticas o con cierta orientación preferencial (Martínez *et al.*, 2006; Sergio, 2011).
4. Identificación de alteraciones en el clima. Los procesos de aridificación o un incremento en los aportes fluviales a las zonas costeras, como consecuencia de periodos extremadamente lluviosos, pueden afectar a las poblaciones de moluscos y llegar a producir el colapso de algunos ecosistemas (Dekker y Beukema, 2020).
5. Detección de eventos de alta energía. Las tormentas, tsunamis o ciclones suelen dejar su impronta en el registro sedimentario de medios costeros. Una de las evidencias más claras es la presencia de niveles bioclásticos de escaso espesor (< 30 cm en la mayoría de los casos), con una mezcla de moluscos marinos, salobres e incluso dulceacuícolas, especialmente bivalvos y gasterópodos. Estos niveles son comunes en el litoral suratlántico español (Pozo *et al.*, 2010; Ruiz *et al.*, 2010; González-Regalado *et al.*, 2020).



Figura 5. Acumulación natural de conchas del tipo de asociación para-autóctona. Fotografía de la desembocadura del río Piedras (El Rompido, Huelva).

6. Identificar impactos de origen antropogénico. Durante los últimos milenios, la antropización exhaustiva de zonas costeras ha ocasionado importantes cambios en la estructura de las comunidades de moluscos, con el declive, reemplazamiento e incluso la desaparición de especies. Las principales causas de tales efectos se han atribuido a la contaminación de los sedimentos, el enriquecimiento en materia orgánica, el aumento de los episodios de anoxia o la intensificación de la pesca de arrastre de fondo, entre otros factores (Gallmetzer *et al.*, 2017; Schnedl *et al.*, 2018). Igualmente, el cese de los impactos también se refleja en la malacofauna mediante un incremento de la abundancia, el regreso a las condiciones naturales o cambios en las pautas de alimentación (p.e. Cartes *et al.*, 2022).

1.3. Moluscos como indicadores indirectos o *proxies* aplicados a la Arqueología

1.3.1. Zooarqueología y Arqueomalacología

A pesar de que los restos de moluscos son abundantes en excavaciones de asentamientos humanos (Figura 6), la Arqueología ha dado la espalda a esta información durante mucho tiempo. Recientemente, este potencial se ha puesto en valor gracias a la aparición de la Arqueomalacología, que ha ganado protagonismo dentro de la Zooarqueología. Esta última es la ciencia dedicada al estudio de restos de organismos y sus procesos tafonómicos en el contexto de yacimientos arqueológicos (Reitz y Wing, 1999) y la Arqueomalacología surge como una subdisciplina para el estudio de las conchas de moluscos recuperadas en estas excavaciones. El estudio de las conchas ha tomado fuerza y ha adquirido entidad propia dentro de la Zooarqueología, con la creciente demanda de una metodología específica (Hammond y Zubimendi, 2015). Se trata de una disciplina joven en continua transformación a la que siguen llegando nuevas aportaciones metodológicas.

El estudio arqueomalacológico es especialmente interesante en yacimientos relevantes por su importancia histórica, tales como ciudades o puertos, cuyo desarrollo ha estado condicionado por la erosión costera o procesos de sedimentación, por episodios puntuales de colmatación o, incluso, por eventos de alta energía como tormentas o tsunamis (Kaniewski *et al.*, 2018; Giaime *et al.*, 2019). En este contexto, el análisis geoarqueológico y, concretamente, el registro arqueomalacológico es de especial interés para inferir las condiciones paleoambientales en cada fase de desarrollo, así como los escenarios paleogeográficos que se sucedieron en el pasado (Salomon *et al.*, 2012; Amato *et al.*, 2020). Los restos de moluscos obtenidos en excavaciones arqueológicas nos aportan una valiosa información sobre aspectos de la actividad

humana, tales como: las zonas de pesca y recolección preferentes, el tipo de alimentación y cambios acontecidos en la dieta, los usos que se hacían con sus conchas y sus costumbres, etc.



Figura 6. Excavación de la *cetaria* romana de El Eucaliptal, en Punta Umbría (Huelva): A; Vista parcial del yacimiento; B-C: Restos de bivalvos.

1.3.2. El estudio de los concheros

Las evidencias del consumo de moluscos son muy abundantes desde el inicio del Paleolítico Inferior, hace unos 300.000 años (Colonese *et al.*, 2011), como muestran los basureros costeros, caracterizados por concentraciones masivas de conchas junto a huesos, restos de carbón vegetal y ceniza. Estos restos denotan recolección, caza y procesamiento de alimentos (p.e., Álvarez *et al.*, 2011; Thompson *et al.*, 2016), y ponen de manifiesto el uso de los moluscos como recurso de las antiguas sociedades humanas. Estos registros incluyen especies marinas, salobres e incluso terrestres, como los gasterópodos del tipo pateliformes, estrómbidos, murícidos o helícidos (Schapiera *et al.*, 2006; Douka *et al.*, 2014; Magee *et al.*, 2017). Entre los bivalvos, algunos de los grupos más comunes son las ostras (Lulewicz *et al.*, 2017), los mejillones (Jerardino *et al.*, 2008; Erlandson *et al.*, 2009a, b), las almejas (Bailey, 1977; Hallmann *et al.*, 2009) o los berberechos (Dupont *et al.*, 2007; López-Dórigal *et al.*, 2019). La diversidad varía en el tiempo y entre los diferentes yacimientos (Figura 7), ya que la distribución paleobiogeográfica de los taxones se define para un área determinada y durante un período de tiempo concreto. Además, otros factores como la sobreexplotación de recursos, los cambios climáticos, la oscilación del nivel del mar y los cambios geomorfológicos también producen variaciones en la biodiversidad de los concheros (Branch *et al.*, 2014; García-Escárzaga *et al.*, 2017).

En la primera mitad del siglo XIX se empieza a relacionar la presencia de grandes acumulaciones de conchas con la actividad humana, como observan algunos científicos de la talla de Charles Darwin (1839), que diferenció entre acumulaciones naturales *post mortem* (tanatocenosis) y otros depósitos de conchas recolectadas por el hombre. Pero no se puede hablar de Arqueomalacología hasta 1848, cuando la Royal Society danesa nombró una comisión para el estudio de “restos de cocina”. La comisión

estaba orientada al estudio de concentraciones prehistóricas de moluscos con origen antrópico (Bejega *et al.*, 2010). Según este autor, y dado que el uso de las conchas no era únicamente bromatológico, Hugo Obermaier sustituyó en 1927 el concepto danés de basurero por el de “conchero” (del inglés *shell midden*).

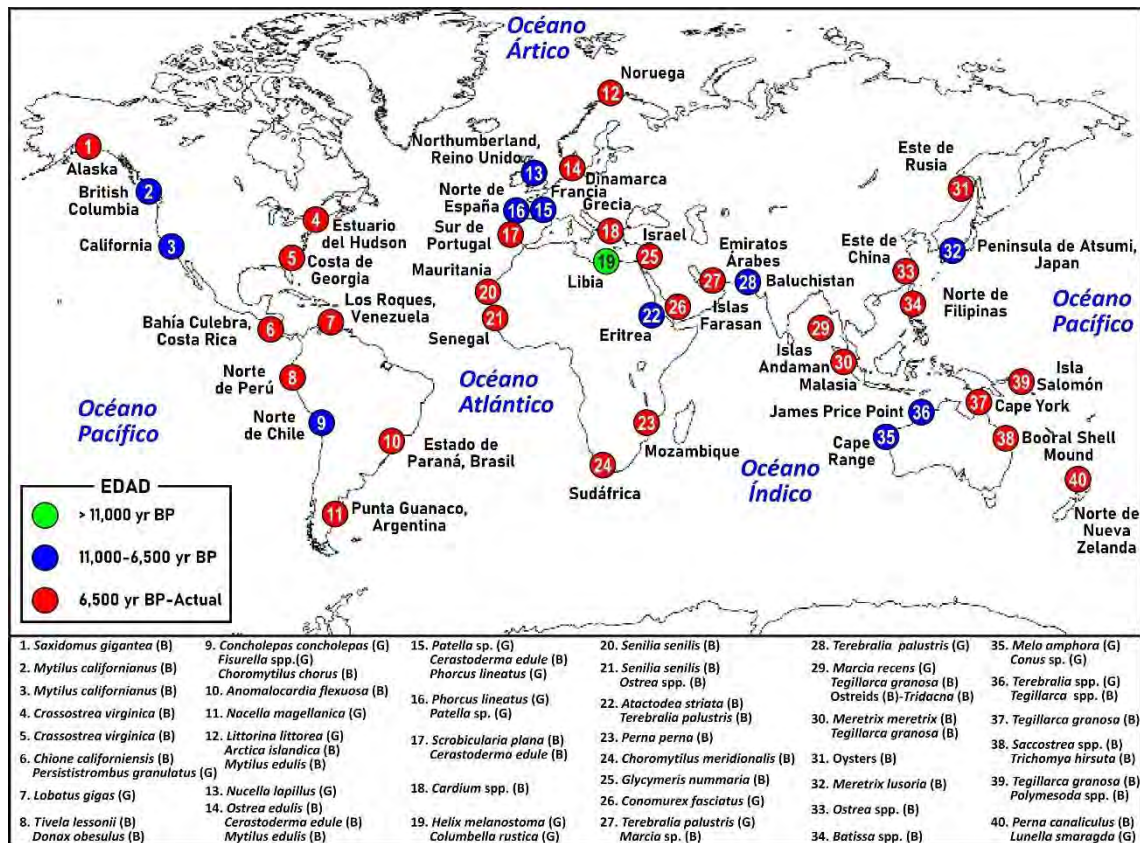


Figura 7. Mapa de concheros de origen haliéutico, en los que se observa la presencia de diferentes especies según la zona biogeográfica y la edad del yacimiento (modificada de Ruiz *et al.*, 2020).

La Real Academia de la Lengua Española define conchero como un *depósito prehistórico de conchas y otros restos de moluscos y peces que servían de alimento a los humanos, y que generalmente se hallan a orillas del mar o de los ríos y cerca de las cuevas o cavernas*. Esta definición resulta imprecisa y demasiado simple, ya que excluye periodos históricos y otros usos. Para evitar errores de interpretación, los diferentes autores se han visto obligados a buscar su propia definición. Así pues, Arias (1996) define un conchero como un depósitos de origen antrópico en los que las

conchas constituyen el residuo más abundante. De la definición de Arias se deduce que un conchero no se limita únicamente a la presencia de conchas, sino que está formado por una variedad importante de materiales como huesos, restos de cerámica, carbones, etc. Llegados a este punto es necesario cuantificar la proporción de conchas que define un conchero y para ello se establece un valor mínimo del 50% (Bowdler, 2006). Para no dejar fuera del ámbito de estudio otras acumulaciones con menor proporción, este autor incluye el concepto de *depósito rico en moluscos*, entendido como aquellas concentraciones de conchas que no llegan al nivel de conchero propiamente dicho.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX comienzan a desarrollarse diversas investigaciones asociadas a los descubrimientos de grandes acumulaciones de conchas en yacimientos prehistóricos (Figura 8). En un principio, estos trabajos presentan una metodología dispar y la información que aportan es muy heterogénea en cuanto a su calidad y enfoques. Como explica Moreno (1995), esta variedad de resultados se debe a que han confluído investigadores de diversas disciplinas como arqueólogos, médicos, biólogos, paleontólogos y veterinarios. Esta autora sitúa los primeros trabajos para España en la Cornisa Cantábrica, seguida de Galicia y País Vasco, y la aparición de los primeros especialistas en Arqueomalacología (Jesús Altuna y Benito Madariaga de la Campa) a partir de la década de los años 60. Moreno cita, además, el inicio de la Arqueomalacología en el Sur de la Península Ibérica al final de esa década, fecha que coincide con la creación del Instituto de Paleoanatomía, Estudios de la Domesticación e Historia de la Medicina Veterinaria de la Universidad de Munich. Será en este Instituto donde surgen los primeros grupos de expertos y donde se inicia la formación en Arqueozoología. Pero en España, no será hasta los años 80 cuando aparecen las primeras investigaciones multidisciplinarias, fruto de la creación de grupos de investigación asociados a las Universidades.



Figura 8. Grupo de investigadores cribando los materiales procedentes de excavaciones en la Cueva de Altamira, en 1925 (tomada de Álvarez-Fernández, 2009).

Se produce un gran avance metodológico en 1994 cuando Moreno establece una metodología aplicada a la Arqueomalacología en su Tesis Doctoral “*Análisis arqueomalacológico en la Península Ibérica. Contribución metodológica y biocultural.*”. El trabajo de Moreno ha sido continuado y ampliado por Gutiérrez (2009) y Bejega (2009) en la búsqueda de una metodología única que facilite la comparación de los resultados y la comunicación entre diferentes investigaciones. Gutiérrez completó la metodología de Moreno introduciendo algunas matizaciones y mejoras en su Tesis Doctoral “*La explotación de moluscos y otros recursos litorales en la región cantábrica durante el Pleistoceno final y el Holoceno inicial*”.

Con los avances mencionados se establece un punto de partida para unificar metodologías que permitan el estudio de los concheros, ya que aportan un consenso importante y necesario. No obstante, la metodología utilizada por diferentes autores sigue presentando variaciones según la naturaleza del yacimiento y las preguntas de la investigación. Bejega advierte que un campo tan novedoso como éste motiva la aparición de continuas modificaciones metodológicas y que no existe un cuerpo único de procedimiento. En la misma línea, Gutiérrez afirma que los fines de la investigación deben condicionar el método de trabajo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Análisis taxonómico y tafonómico de la malacofauna como herramienta para la reconstrucción paleoambiental de enclaves históricos en España e Italia, y la identificación de sus usos durante el Holoceno en el estuario de los ríos Tinto y Odiel.

2.2. Objetivos específicos

- Establecer la evolución paleoambiental de la ensenada de La Fontanilla (Palos de la Frontera, S.O. España) según la paleomalacofauna obtenida de testigos continuos de sedimento.
- Estudio del conchero de Cañada Honda (Aljaraque, S.O. de España) y las tendencias en el consumo de moluscos.
- Análisis estadístico multivariante del conchero romano de Isla Saltés (S.O. España), para la diferenciación entre concentraciones naturales y antrópicas de moluscos.

- Inferir la evolución paleoambiental del puerto romano de *Portus* (Italia Central), según la arqueomalacofauna obtenida de testigos continuos de sedimento.

3. ÁREAS DE ESTUDIO

3.1. Estuario de los ríos Tinto y Odiel

3.1.1. Aspectos generales

Los ríos Tinto y Odiel son cursos fluviales de longitud limitada (<100 km) que discurren por el suroeste de España. Se caracterizan por una importante irregularidad interanual, una acusada variación estacional y un caudal escaso, con máximos de 100 hm³/mes de media entre diciembre y febrero, y unos aportes medios mucho menores de 5 hm³/mes durante el periodo de estiaje (Borrego, 1992). Ambos ríos tienen una desembocadura común y forman un estuario de unos 25 km, con un régimen mesomareal (amplitud media de 2,15 m) y semidiurno. Borrego (1992) diferencia tres sectores del estuario (Figura 9):

1. Un primer tramo fluvial formado por un sistema de canales trenzados.
2. Un segundo tramo medio con un canal principal al que vierten numerosos canales mareales desde pequeñas islas y marismas adyacentes limitadas por formaciones neógenas. El conchero de Cañada Honda se ubica en el estuario medio del río Odiel, en tanto que el estero de La Fontanilla se encuentra en el estuario medio del río Tinto.
3. El tramo marino comprende Isla Saltés, una isla-barrera central ubicada entre el canal del Padre Santo y el canal de Punta Umbría y protegida por las flechas arenosas de Punta Umbría y Punta Arenillas. En esta isla se localizó una *cetaria* romana en 2015 (Bermejo *et al.*, 2019).

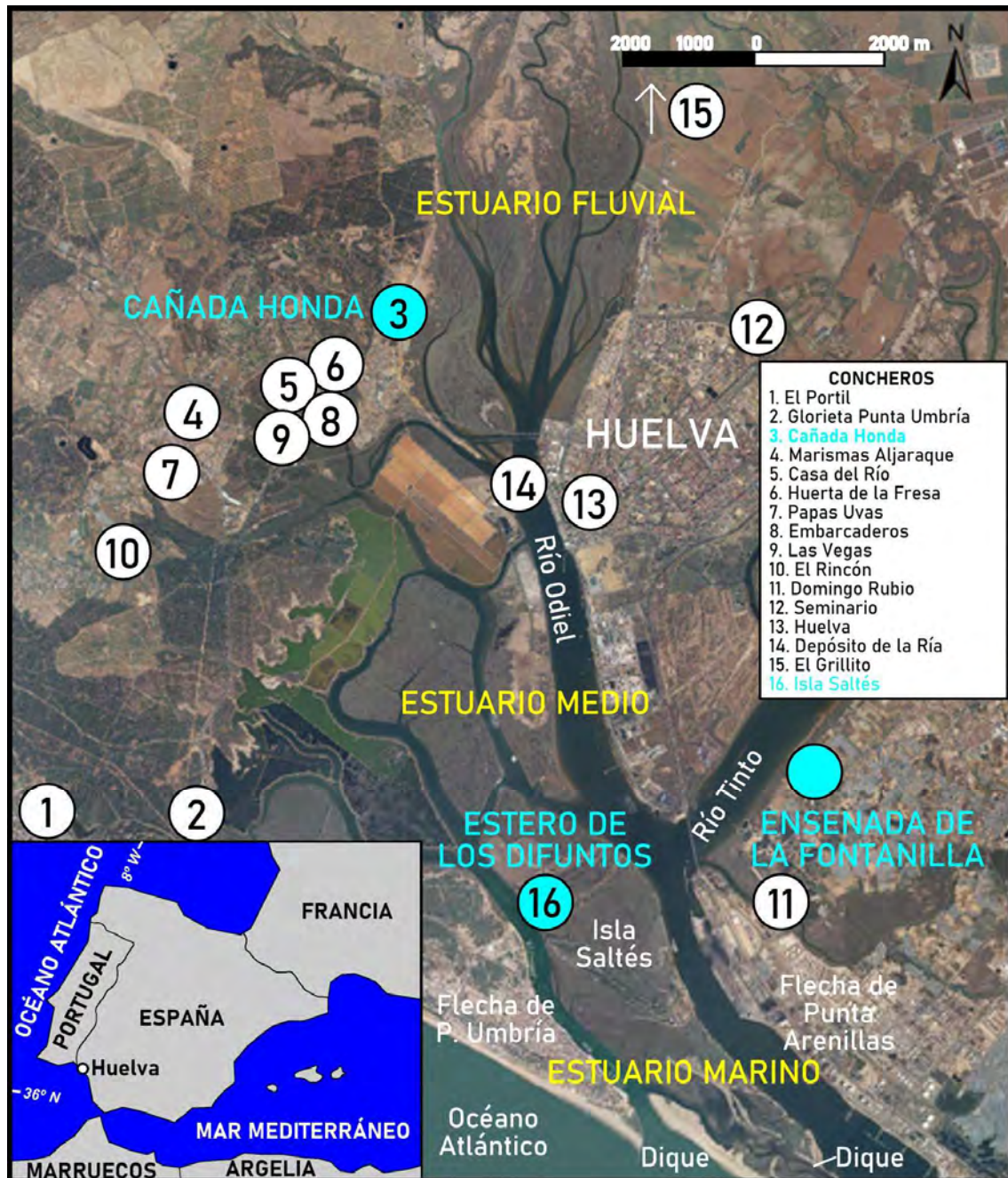


Figura 9. Localización del estuario de los ríos Tinto y Odiel, y ubicación de los principales concheros en el tramo medio y tramo marino del estuario. En azul, los casos de estudio incluidos en esta Tesis Doctoral.

3.1.2. Evolución holocena

El estuario está enclavado sobre materiales neógenos y pleistocenos, compuestos de calcarenitas tortonienses (Formación Calcarenita de Niebla o Formación Niebla; Civis *et al.*, 1987; Baceta y Pendón, 1999), margas y limos arcillosos tortonienses y messinienses (Formación Arcillas de Gibralfaró; Civis *et al.*, 1987), arenas limosas pliocenas (Formación Arenas de Huelva; Civis *et al.*, 1987), gravas y arenas gruesas plio-pleistocenas (Formación Arenas de Bonares; Mayoral y Pendón, 1986-1987) o terrazas fluviales pleistocenas (Alto Nivel Aluvial; Pendón y Rodríguez Vidal, 1986-1987).

Su evolución holocena ha sido deducida en base al análisis pluridisciplinar de testigos continuos obtenidos en distintos sectores del estuario, pudiendo distinguirse las siguientes fases (Figura 10; Dabrio *et al.*, 1998):

Fase 1 (10-11 kyr BP). Este estuario estaba emergido y dominado por la dinámica fluvial, con una erosión intensa de los valles fluviales (Figura 10; Dabrio *et al.*, 1998). En este periodo, el nivel del mar estaba situado a -30/-35 m por debajo del nivel actual (Hernández Molina *et al.*, 1994). No se han encontrado aún restos malacológicos en los depósitos fluviales asociados a esta fase.

Fase 2 (10-8 kyr BP). La transgresión holocena ocasionó la progresiva inundación de los valles fluviales, con la presencia de una sedimentación mareal en la parte central del estuario (Dabrio *et al.*, 1998; Borrego *et al.*, 1999). Durante este periodo, algunos testigos muestran un registro malacológico compuesto principalmente por los bivalvos *Acanthocardia aculeata* (Linnaeus, 1758), *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758), *Donax* spp. y *Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) (Ruiz *et al.*, 2005).

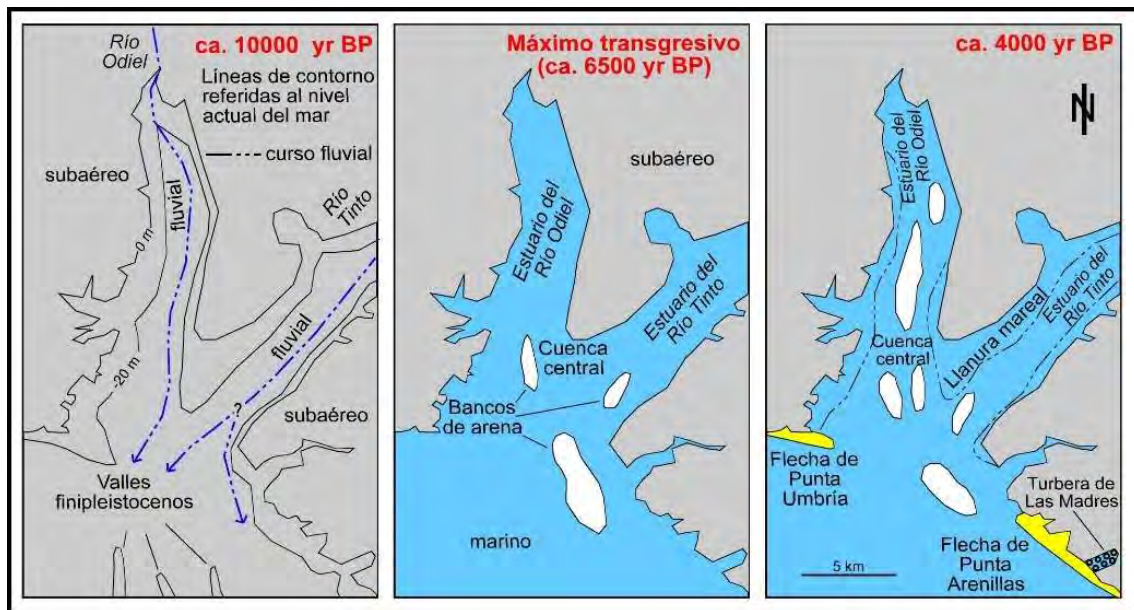


Figura 10. Representación de los cambios paleogeográficos más significativos del estuario de los ríos Tinto y Odiel durante el Holoceno (modificada de Dabrio *et al.*, 1998).

Fase 3 (8-5 kyr BP). Esta fase incluye la inundación completa del estuario durante el máximo de la transgresión holocena, con la presencia de acantilados y cantiles alrededor del estuario (Dabrio *et al.*, 1998). En uno de ellos se sitúa el conchero de Cañada Honda, cuya cronología coincide con la aparición en el entorno de sociedades humanas más sedentarias (Bermejo *et al.*, 2016). La ensenada de La Fontanilla quedó totalmente inundada durante este periodo (Arroyo *et al.*, 2021).

Fase 4 (5-3 kyr BP). Se caracteriza por el crecimiento de las flechas litorales de Punta Umbría y Punta Arenillas, la expansión de las llanuras mareales y la emersión de algunos sectores del estuario (Dabrio *et al.*, 1998). La aparición de concheros es frecuente durante esta fase (Figura 9; Seminario, El Grillito, Papas Uvas, Casa del Río) (Borja *et al.*, 1994; Garrido y Vera, 2015; Nocete *et al.*, 2004-2005).

Fase 5 (3 kyr BP-Presente). El crecimiento de las flechas y la progresiva colmatación del estuario favorecen la aparición de islas formadas por marismas, canales mareales y/o *cheniers*, como Isla Saltés (Cáceres *et al.*, 2018). Durante el periodo romano (200 BCE-500 CE), se construyen numerosas *cetarias* alrededor del hinterland de *Onoba*, como la estudiada en el apartado 3.1.4 de esta Tesis Doctoral.

3.1.3. Estero de La Fontanilla (Palos de la Frontera)

El actual estero de La Fontanilla ocupa la antigua ensenada de Palos de la Frontera, ubicada en la ribera oriental del estuario medio del río Tinto, al norte de esta localidad (Figura 11). El estero está encajado en un sistema de laderas y vaguadas tanto al norte como al sur, en tanto que su extremo oriental se sitúa en la carretera Palos-Moguer y su sector occidental limita con las marismas colindantes al canal principal del río Tinto.

3.1.3.1. Contexto histórico

En esta ensenada se ubicaba el puerto de Palos a finales del siglo XV CE, desde donde partió la expedición colombina el 3 de agosto de 1492 y al que retornó el 15 de marzo de 1493. La ubicación de las principales instalaciones asociadas al puerto (almacenes, hornos de cerámica y ladrillo, taberna, etc.), descubiertas en los últimos años, y los datos históricos disponibles apuntan a la presencia de una ensenada desde la que partieron los barcos que cruzaron el océano Atlántico (Campos *et al.*, 2015; Campos, 2018 y 2020). Con posterioridad, la dinámica geológica llevó a la colmatación de las marismas, la desaparición de la ensenada y la pérdida del puerto hasta el relleno antrópico actual.

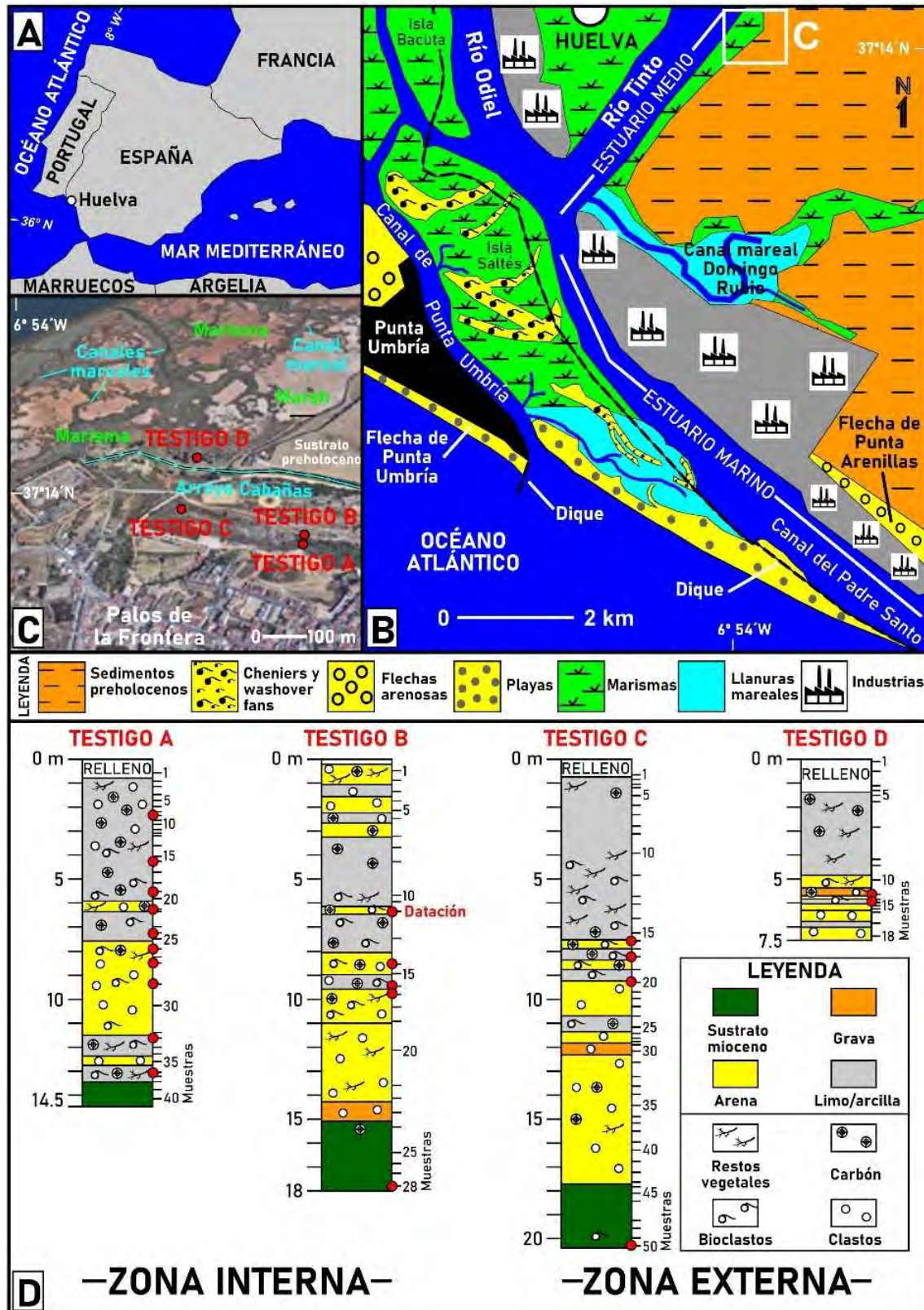


Figura 11. A-B: ubicación y geomorfología del estuario de los ríos Tinto y Odiel; C: situación de los testigos estudiados dentro de la ensenada de La Fontanilla; D: registros de los testigos, con la distribución de facies, muestras y las dataciones obtenidas (puntos rojos).

3.1.4. Conchero de Cañada Honda (Aljaraque)

Este conchero está situado en una pequeña colina, de 4 a 6 m de altura, en la ribera occidental del río Odiel (Figura 12). Limita al norte con un canal mareal, al este con las vías de un antiguo ferrocarril minero y al suroeste con una cantera que destruyó más de la mitad de su superficie. Este conchero se encuentra enclavado sobre terrazas fluviales del Pleistoceno superior y Holoceno inferior, compuestas principalmente por conglomerados y gravas (Cáceres, 1992; Martín y Campos, 1995). Su espesor varía entre 0,5 y 1,5 m y su estructura interna está fuertemente compactada por el aporte de carbonatos procedente de la disolución de las conchas.

Borja *et al.* (1994) distinguen dos niveles arqueológicos en este conchero:

i) Nivel basal, con una industria lítica compuesta por lascas y núcleos. Reis *et al.* (2020) realizaron la datación de una valva de “almeja” (*Ruditapes decussatus*) en este nivel (7250 ± 60 yr BP; cal. 7827-7.465 yr BP; 2 sigma).

ii) Nivel superior, con restos cerámicos y acumulaciones de huesos. Una comparación de estos materiales con otros restos arqueológicos extraídos de diferentes yacimientos del estuario permitió adscribir este nivel al tercer milenio BCE (5.000-4.000 años BP; Borja *et al.*, 1994).

En consecuencia, y según la cronología deducida para ambos niveles, este conchero refleja actividad, al menos, durante 2.500 años.

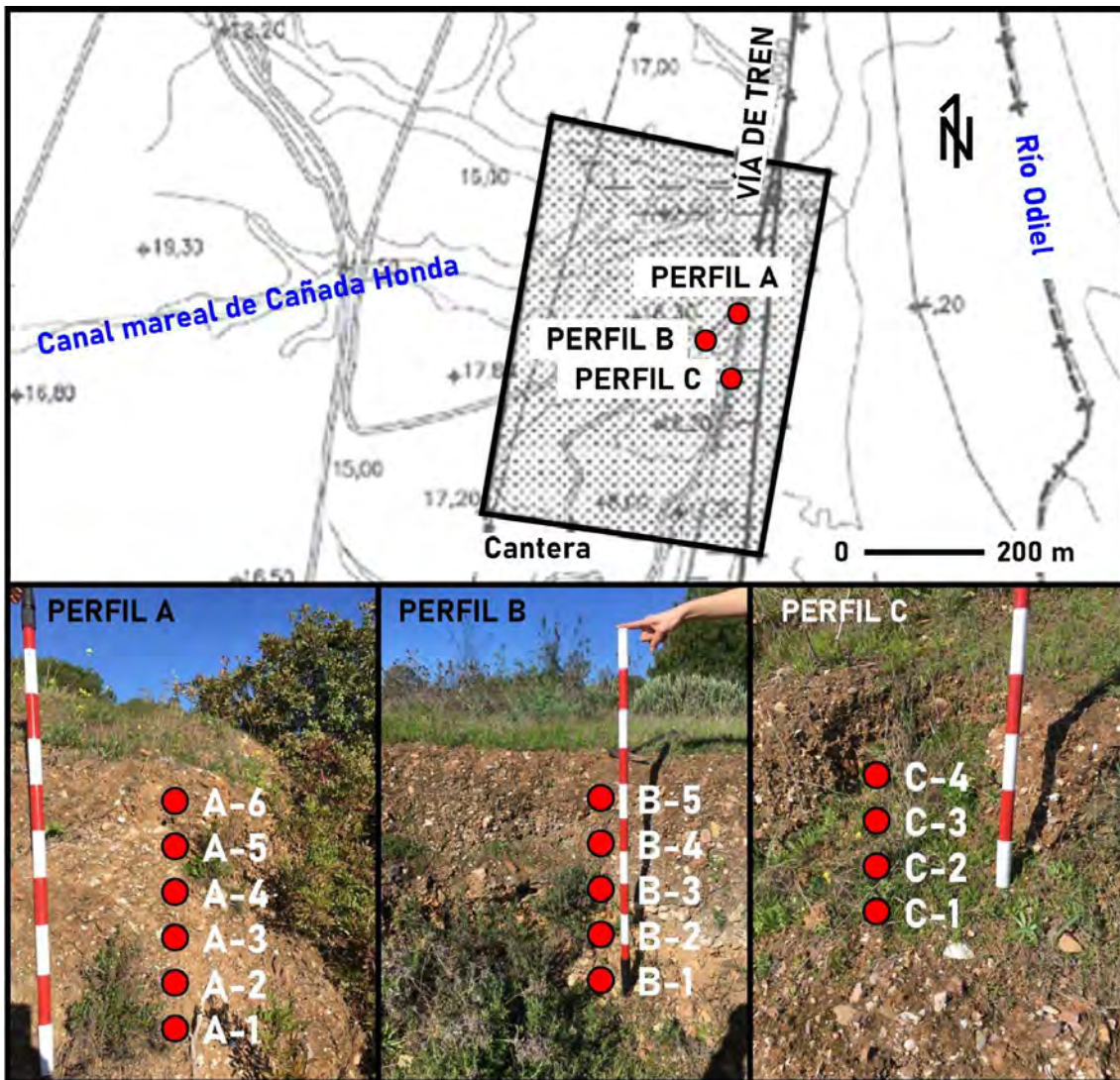


Figura 12. Mapa de situación del conchero de Cañada Honda, con la localización de los perfiles y las muestras estudiadas.

3.1.4.1. Contexto histórico

La formación del conchero de Cañada Honda está ligada al final de la transgresión holocena y se trata de un modelo de asentamientos al aire libre, propio del Mesolítico. Dentro de este periodo, el conchero se atribuye al proceso de tránsito de las sociedades cazadoras-recolectoras hacia la sedentarización con desarrollo de estrategias productoras. En la zona de estudio, estos grupos humanos tenían como actividad económica principal la recolección y el consumo de moluscos (Reis *et al.*, 2020).

3.1.5. Isla Saltés

Isla Saltés (37°8'-37°13'N; 6°51'-6°58'E) presenta una morfología alargada en sentido NO-SE y está compuesta por un conjunto de crestas bioclásticas arenosas o *cheniers* (Figura 13, A-B-C). Estas crestas (El Almendral, El Acebuchal y La Cascajera) se disponen sobre una llanura mareal y están separadas por extensas marismas y canales mareales (Figura 13, D; estero de Los Difuntos). Su formación se debe a la acción de las grandes mareas equinocciales de primavera y otoño, que han ido implementando su crecimiento hacia el norte (Cáceres *et al.*, 2018). Al suroeste de la isla hay una segunda y amplia llanura mareal, y un conjunto meridional de playas adosadas al dique Juan Carlos I. Este dique fue construido en 1977 y ha modificado sustancialmente la dinámica litoral de la zona.

La erosión mareal del Estero de los Difuntos sobre el *chenier* de La Cascajera (Figura 13, D), la principal cresta bioclástica de Isla Saltés, ha dejado al descubierto un perfil con abundantes restos de moluscos marinos dispuestos en varias capas. Estos depósitos de conchas se sitúan en las inmediaciones de una *cetaria* romana, descubierta en 2015, cuya actividad se desarrolló principalmente entre los siglos IV CE a V CE (Campos *et al.*, 2015). El apartado 5.3 de esta Tesis Doctoral se centra en el estudio arqueomalacológico de las formaciones geológicas de La Cascajera y del conchero asociado a esta *cetaria*.

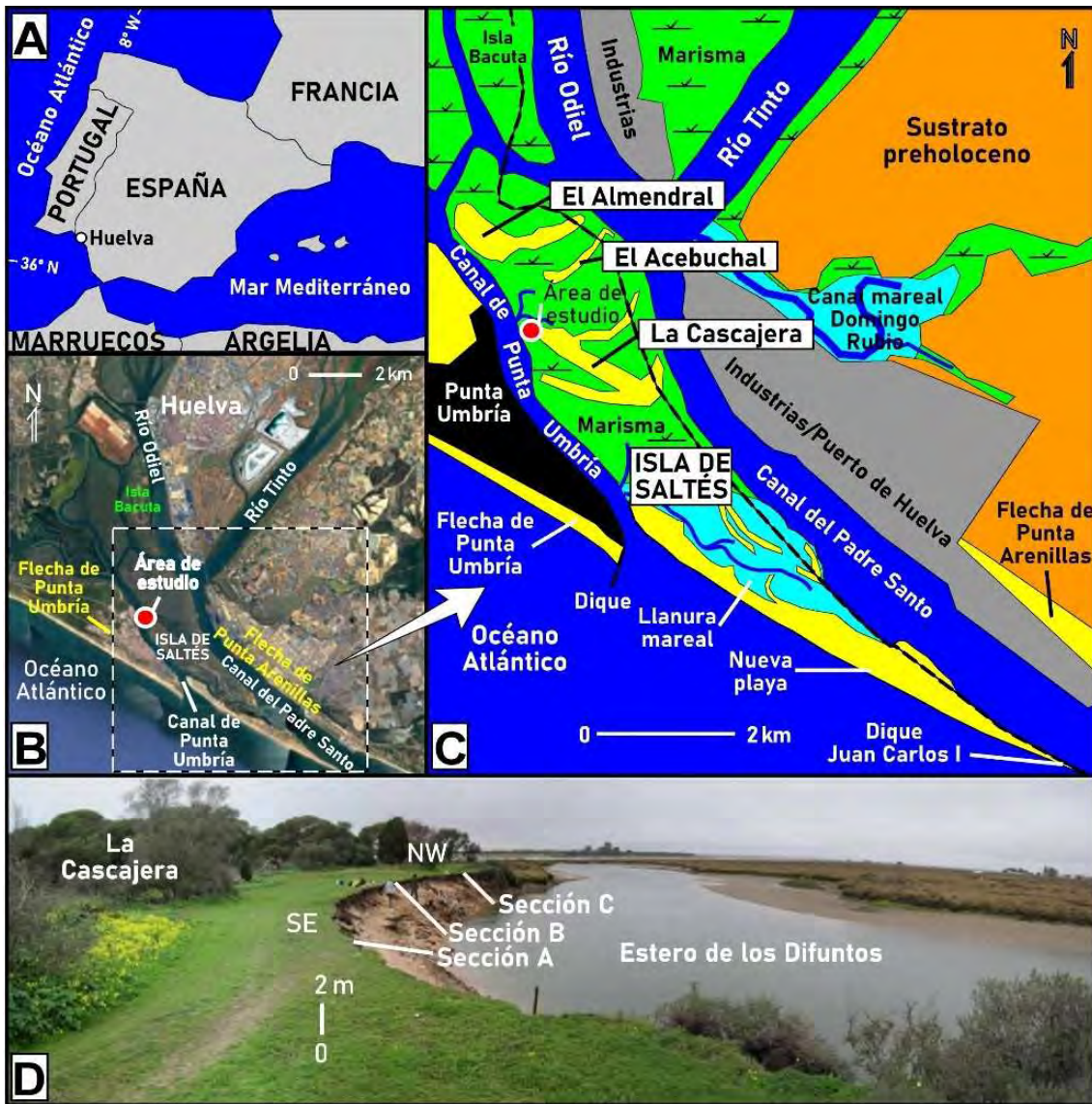


Figura 13. A-B: ubicación de Isla Saltes (cortesía: Google Maps); C: mapa geomorfológico de Isla Saltes y áreas adyacentes del estuario del Tinto y el Odiel; D: área de estudio con situación de las tres secciones del conchero.

3.1.5.1. Contexto histórico

La colonización de Isla Saltes ha estado condicionada por su evolución geológica tras su génesis, hace 3200 años (Suarez, 1971). Ocupada desde la prehistoria, diversos pueblos como los romanos y los árabes han dejado vestigios de su paso por Saltes. Entre los restos arqueológicos están las fábricas romanas de salazones (*cetariae*). En ellas se producían salsas y otros productos y llegaron a constituir una importante industria, hasta el punto de formar entramados regionales con organización entre las distintas cetarias (Villada *et al.*, 2005). Se trata de una actividad plenamente

desarrollada a lo largo de la costa atlántica de la Península Ibérica y en Isla Saltés aparece en El Almendral, el primer *chenier* en formarse y que fue ocupado en el Siglo II BEC. (Ponsich, 1988). Otras fábricas surgieron con el crecimiento de Saltés, como la que se sitúa en el extremo norte de La Cascajera, muy cerca del área de estudio (Campos *et al.*, 2015). La primera evidencia de ocupación aparece durante el siglo IV CE y duró hasta finales del siglo V CE o principios del siglo VI CE. En consecuencia, esta ocupación se produjo entre dos y tres siglos después de la aparición de La Cascajera.

3.2. El puerto de *Portus*

3.2.1. Contexto histórico

Durante el periodo republicano, la ciudad de Ostia fue el principal puerto de Roma para el comercio con el mar Mediterráneo (Bellotti *et al.*, 2011). Pero la progresiva colmatación, producto de los depósitos de las crecidas del Tíber, arruinaron la actividad portuaria en el siglo I CE. Este fue el motivo fundamental que llevó a la construcción de un nuevo puerto al norte de Ostia en época imperial (27 BCE-476 CE), cuando Roma contaba con un millón de habitantes y las necesidades de abastecimiento y comunicaciones seguían creciendo. En el año 42 CE, el emperador Claudio mandó construir el nuevo puerto que fue ampliado posteriormente por el emperador Trajano, a principios del siglo II CE, mediante un hexágono interior que se unía por un canal artificial o *Canale di Imbocco* con el puerto exterior de Claudio. El resultado final de la obra de ambos emperadores fue una de las grandes construcciones de la ingeniería romana que incluía dos grandes dársenas, varios muelles de carga y descarga de

mercancías y pasajeros, almacenes de mercancías, termas y una importante red de canales navegables (Keay y Millet. 2005; Keay *et al.*, 2005; Keay, 2012).

En los cuatro siglos siguientes, *Portus* fue el principal puerto del Imperio romano en el Mediterráneo Occidental. El abandono de la actividad portuaria llegó con el declive del Imperio, pero estuvo acentuada por la destrucción parcial del puerto durante las Guerras Góticas (siglo VI CE) y su progresiva colmatación. La acumulación de sedimentos y la colmatación asociada afectó principalmente a la dársena exterior y al canal de comunicación con la dársena interior, de forma que la actividad portuaria quedó restringida al hexágono de Trajano a partir del siglo VII CE hasta su abandono definitivo hacia el siglo X CE (Di Bella *et al.*, 2011; O'Connell *et al.*, 2019)

El *Canale di Imbocco* fue navegable entre finales del siglo II CE y principios del siglo V CE, periodo en que terminó de colmatarse por completo. En consecuencia, los canales artificiales, como el *Canal Trasverso*, suponían la única comunicación de *Portus* con el río Tíber y con el mar (Goiran *et al.*, 2010). En el siglo VI CE, la dársena exterior de Claudio se había colmatado significativamente de lodos fluviales y su capacidad como puerto se redujo considerablemente.

3.2.2. Complejo portuario de *Portus*

Portus está situado a unos 25 km al suroeste de Roma (Figura 14) y en la actualidad se encuentra a unos 3 km tierra adentro, en las inmediaciones del aeropuerto Leonardo da Vinci. El puerto estaba formado por dos cuencas que sumaban una extensión de más de 200 Ha. Además del acceso por mar, *Portus* estaba conectado con el río Tíber a través de canales artificiales, de los cuáles el principal era el *Canale Traverso*, que permitía el transporte de mercancías remontando el río hasta Roma. Este puerto podía diferenciarse en las siguientes partes:

1. Puerto exterior. Presentaba dos grandes muelles laterales hacia el mar Tirreno que delimitaban una gran extensión de agua semicerrada. En el centro de la bocana, entre ambos muelles, había una isla con un faro exterior que indicaba el acceso a los barcos.

2. Puerto interior. Se trata de una estructura hexagonal (Cuenca de Trajano) unida con el puerto exterior mediante un canal de navegación (*Canale di Imbocco*).



Figura 14. Localización y estructura de *Portus*.

4. METODOLOGÍA

4.1. El estero de La Fontanilla (Palos de la Frontera, Huelva)

Este trabajo se ha llevado a cabo a través de los siguientes proyectos: (a) proyecto DGYCIT CTM2006-06722/MAR; (b) Proyecto DGYCIT CGL2006-01412; (c) 'Ciudades romanas de la Bética CORPVS VRBIVM BAETICARVM (I) (CUB)' (Junta de Andalucía); (d) Del Atlántico al Tirreno. Los puertos hispanos y sus relaciones comerciales con Ostia Antica. DEATLANTIR II-HAR2017-89154-P- (Plan Nacional de I+D+i); y (e) Proyecto FEDER 2014-2020 UHU-1260298. Otros fondos proveienen de la Junta de Andalucía (grupos HUM-132, RNM-238, RNM-293 y RNM-

349) y del Ayuntamiento de Palos de la Frontera. Es una aportación al Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural (CIPHNCN) de la Universidad de Huelva.

4.1.1. Trabajo de campo

Se estudiaron cuatro testigos continuos de sedimento en el estero de La Fontanilla, cerca de la localidad de Palos de la Frontera. Dos de ellos se extrajeron de la parte interna del estero (testigos A y B) y los dos restantes (testigos C y D) de la zona más externa, cerca del cauce del río Tinto (Figura 11, C). Estos testigos fueron obtenidos mediante técnicas usuales de rotación, con una recuperación casi completa de sedimento y un diámetro de perforación de 11,6 cm (Figura 15, A-B).

4.1.2. Trabajo de laboratorio y gabinete

Se seleccionaron un total de 136 muestras (volumen: 211,4 cm³; radio: 5,8 cm; altura: 2 cm) para el análisis malacológico (Figura 15, C). La selección de estas muestras se basó en los siguientes criterios: a) límites y características visuales de las diferentes facies sedimentarias en los testigos; y b) la distribución visual de los bioclastos en las distintas facies sedimentarias.

Las muestras fueron levigadas a través de un tamiz con 125 µm de luz de malla y el residuo obtenido se secó en estufa a una temperatura constante de 40°C durante un periodo no inferior a un día. Para el estudio taxonómico de la malacofauna se emplearon guías especializadas en la zona (p.e., Gómez, 2017) y la taxonomía fue actualizada de acuerdo con la base de datos World Register of Marine Species (WoRMS). En cada muestra se calculó el porcentaje de las especies identificadas.



Figura 15. Metodología de estudio de la ensenada de La Fontanilla. A: fase de testificación; B: fotografía de un testigo; C: separación de las distintas fracciones de una muestra para su estudio malacológico.

4.1.3. Datación

Se obtuvieron 20 dataciones en el Centro Nacional de Aceleradores (Sevilla). Estas dataciones fueron calibradas con el programa CALIB 7.1, con el efecto reservorio determinado por Martins y Soares (2013) para esta área. Los resultados finales corresponden a edades calibradas con un intervalo de 20, que fueron utilizadas para determinar la evolución paleoambiental del entorno.

4.2. El conchero de Cañada Honda (Aljaraque, Huelva)

Este trabajo se ha llevado a cabo a través de los siguientes proyectos: a) Proyecto DGYCIT CTM 2006-06722/MAR; b) Proyecto DGYCIT CGL 2006-01412; y c) Proyecto FEDER 2014-2020 UHU-1260298. Otros fondos proceden de la Junta de Andalucía (grupos HUM-132, RNM-238 y RNM-293). Es una aportación al Centro de

Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural (CIPHNCN) de la Universidad de Huelva.

4.2.1. Trabajo de campo

Se seleccionaron tres perfiles del conchero y se realizó una limpieza inicial de su superficie para evitar la mezcla de conchas procedentes de niveles superiores durante la toma de las muestras (Figura 16, A-B). Se extrajeron quince muestras de 2 kg cada una, tomadas cada 10 cm en la vertical.

4.2.2. Trabajo de laboratorio y gabinete.

Para el estudio arqueomalacológico, se extrajeron 200 g de cada muestra, que fueron mezcladas con agua, pirofosfato cálcico y peróxido de hidrógeno para su disolución y la eliminación de la materia orgánica. La solución resultante fue separada en dos fracciones mediante levigado a través de dos tamices (2 mm y 0,125 mm de diámetro de malla) y la malacofauna obtenida se limpió cuidadosamente con un cepillo para eliminar los restos de sedimentos. Las dos fracciones resultantes fueron trasvasadas a cápsulas cerámicas de porcelana y secadas en estufa eléctrica a 60°C durante un mínimo de 36 horas. Una vez secos, los residuos fueron pesados y etiquetados en bolsas de plástico (Figura 16, C-DE).

Se seleccionaron 100 especímenes de cada fracción o la totalidad de la malacofauna cuando el número de restos era menor. La determinación taxonómica se efectuó de acuerdo con Gómez (2017) y utilizando una colección privada de referencia, propiedad del autor. La taxonomía fue actualizada según la base de datos World Register of Marine Species (WoRMS). Además, se realizó un estudio tafonómico del estado de conservación de los especímenes (concha completa o fragmentada), el tipo de

valva (izquierda o derecha) y de los procesos observables (pigmentación, perforaciones, etc.). Los especímenes mejor conservados fueron fotografiados.



Figura 16. Trabajo de campo en el Conchero de Cañada Honda. A-B: selección de perfiles. Trabajo de laboratorio. C: levigado; D: limpieza de las conchas; E: etiquetado, pesaje y conservación de los restos de moluscos.

4.2.3. Análisis estadístico

Este análisis está basado en las doce especies más abundantes según los porcentajes obtenidos en las muestras. Incluye tres pasos: i) correlación lineal, para determinar las asociaciones entre especies; ii) análisis clúster en modo Q, con la diferenciación de los grupos de muestras; y iii) análisis de componentes principales. Debido al elevado grado de fragmentación de las muestras no se considera fiable el uso del Número Mínimo de Individuos (NMI) y se ha usado el Número de Especímenes Identificables (NISP) como índice de abundancia. Con un alto grado de fragmentación, el NMI es un descriptor poco fiable para calcular la abundancia de los taxones y es más aconsejable la utilización del NISP (Marshall y Pilgram, 1993).

4.3. El conchero romano de Isla Saltés (Punta Umbría, Huelva)

Este trabajo se ha llevado a cabo a través del Proyecto desde el Atlántico al Tirreno. Los puertos hispanos y sus relaciones comerciales con Ostia Antica. DEATLANTIR II - HAR2017-89154-P - (Plan Nacional de I+D+i). Otros fondos han venido de la Junta de Andalucía (grupos HUM-132, RNM-238, RNM-293 y RNM-329) y el Centro de Ciencias y Tecnologías Nucleares (Universidad de Lisboa, Portugal). Es una aportación al Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural (CIPHNCN) de la Universidad de Huelva.

4.3.1. Trabajo de campo

La erosión del canal mareal del Estero de los Difuntos sobre el sector noroccidental del *chenier* de La Casajera dio lugar a la exposición de diferentes perfiles estratigráficos (Figura 17, A-B). Se seleccionó uno de ellos para el muestreo, ya que presentaba todas las facies definidas por Cáceres *et al.* (2018), y se muestrearon tres secciones de unos 3,5 m de altura (Figura 12, D). Previamente al muestreo, se hizo una

limpieza superficial del perfil con objeto de evitar una posible contaminación por derrumbe de las capas superiores. Se extrajeron 41 muestras con una espátula, que fueron separadas y etiquetadas en bolsas de plástico.

4.3.2. Trabajo de laboratorio y gabinete: Macrofauna

Se separaron 200 gr de cada muestra para el análisis arqueomalacológico, que fueron levigados a través de un tamiz de 2 mm de luz de malla. El residuo fue secado en estufa a una temperatura constante de 40°C por un periodo no inferior a 24 horas y una vez seca se pesó la fracción tamizada. Posteriormente, se contabilizó y pesó la fracción malacológica para obtener el porcentaje en peso de la malacofauna. Dado que en el 85% de las muestras no se superaban los 160 ejemplares, se calculó un tamaño muestral de 50 especímenes para un nivel de confianza del 95%. En las muestras con menos de 50 especímenes se realizó el análisis de toda la malacofauna (Figura 17, C-D-E). Esta metodología ha sido aplicada en otros estudios malacológicos o arqueomalacológicos (p.e., Paolucci, 2010).

El estudio taxonómico de la malacofauna se realizó de acuerdo con Gómez (2017) y se emplearon dos colecciones de referencia: una privada, propiedad de Gómez, y la colección malacológica del Centro Superior de Investigaciones Científicas depositada en el Museo de Ciencias Naturales de Madrid. La taxonomía fue actualizada según la base de datos World Register of Marine Species (WoRMS). Una vez realizada la determinación taxonómicamente se efectuaron los siguientes cálculos: i) los porcentajes totales de cada taxón; ii) la abundancia y riqueza en cada muestra; iii) los porcentajes de los taxones en cada muestra; y v) los porcentajes mínimos, medios y máximos de los principales taxones en cada facies y en el perfil edáfico.

Por su especial relevancia, se ha efectuado el análisis morfométrico del género *Glycymeris*, representado por las especies *G. glycymeris* y *G. nummaria*, midiendo la longitud de las valvas (eje antero-posterior). Con esta medida se establecieron cuatro intervalos de tamaño de igual amplitud entre 12,1 mm y 52,8 mm (mínima y máxima longitud de los especímenes medidos, respectivamente). A continuación, se hallaron los porcentajes de cada intervalo en 15 muestras representativas de las distintas facies sedimentarias y del suelo, así como las longitudes mínima, máxima y la media en cada una de ellas.

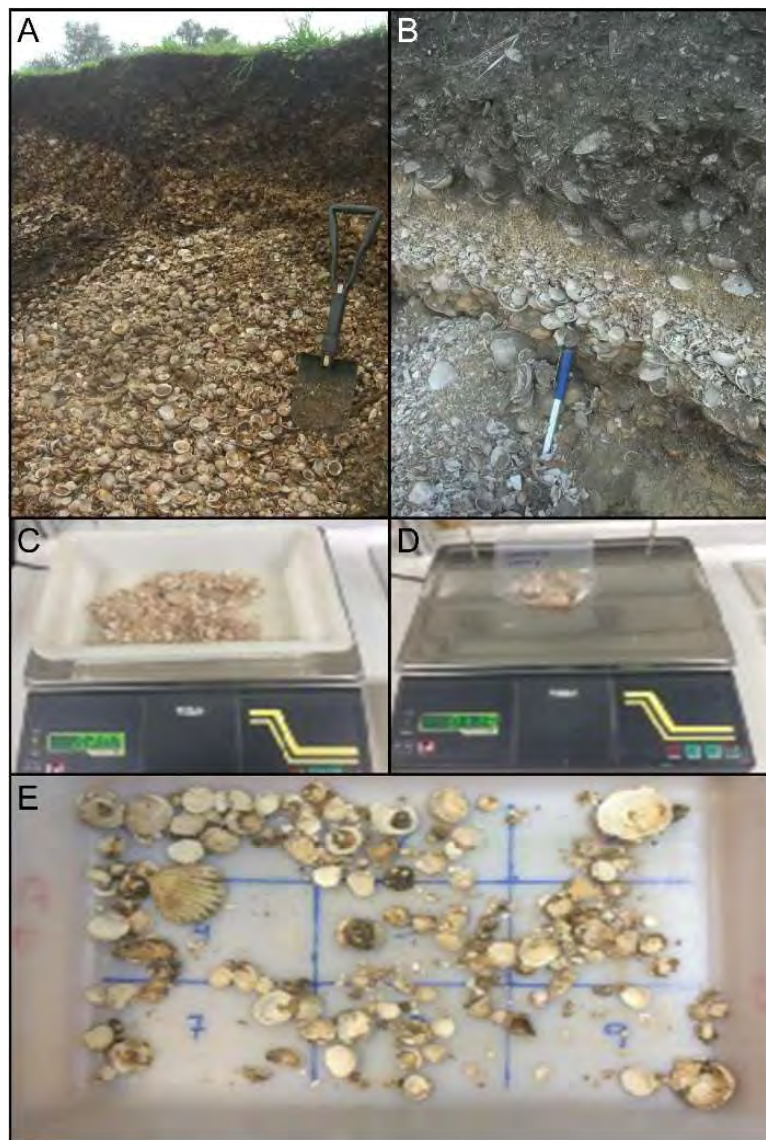


Figura 17. A-B: La Cascajera. Trabajos de campo para la toma de muestras del conchero. C-D-E: Pesaje de la fracción malacológica y separación de especímenes durante los trabajos de gabinete.

Para definir el estado de conservación de los principales taxones, se han diferenciado cuatro categorías: i) en perfecto estado; ii) con pequeñas erosiones; iii) con perforaciones y/o ruptura del umbo; y iv) fragmentadas. Posteriormente, se calcularon los porcentajes de cada categoría en cada muestra, así como el porcentaje máximo, mínimo y medio en cada facies sedimentaria y en el nivel edáfico superior.

Por último, se han calculado los porcentajes de especies comestibles en cada muestra, así como el porcentaje máximo, mínimo y medio en cada facies sedimentaria y en el nivel edáfico superior. Estas especies son exclusivamente bivalvos y pueden tener un interés culinario bajo (*Glycymeris* spp.) o apreciable, como los géneros *Acanthocardia*, *Cerastoderma*, *Donax*, *Ruditapes*, *Spisula* y la familia Ostreidae.

4.3.3. Análisis estadístico

Se ha aplicado un análisis clúster en modo Q a: i) los porcentajes de las 18 especies más abundantes; y ii) los porcentajes de las especies comestibles en cada muestra.

4.3.4. Datación

La edad de las diferentes facies fue extraída de Cáceres *et al.* (2018) y González-Regalado *et al.* (2020), con la aplicación del efecto reservorio (-108 ± 31 años) calculado por Martins y Soares (2013) para esta área. Los resultados se presentan como edades calibradas con un intervalo de 20.

4.5. El *Canale di Imbocco* (*Portus*, Fiumicino)

Este estudio forma parte de los proyectos DEATLANTIR-I y DEATLANTIR-2 desarrollados por la Universidad de Huelva en el muelle de Lanterna y zonas adyacentes de *Portus*.

4.4.1. Trabajo de campo.

En 2020 se extrajo el testigo PT por la compañía Geocompany usando técnicas usuales de rotación en el *Canale di Imbocco*, en las proximidades del muelle de Lanterna (Figura 18, A-B-C-D). En una fase inicial, se efectuó una diferenciación visual de las facies sedimentarias presentes, en función de su litología, color, contacto entre ellas, su contenido macrofaunístico y los restos vegetales visibles.

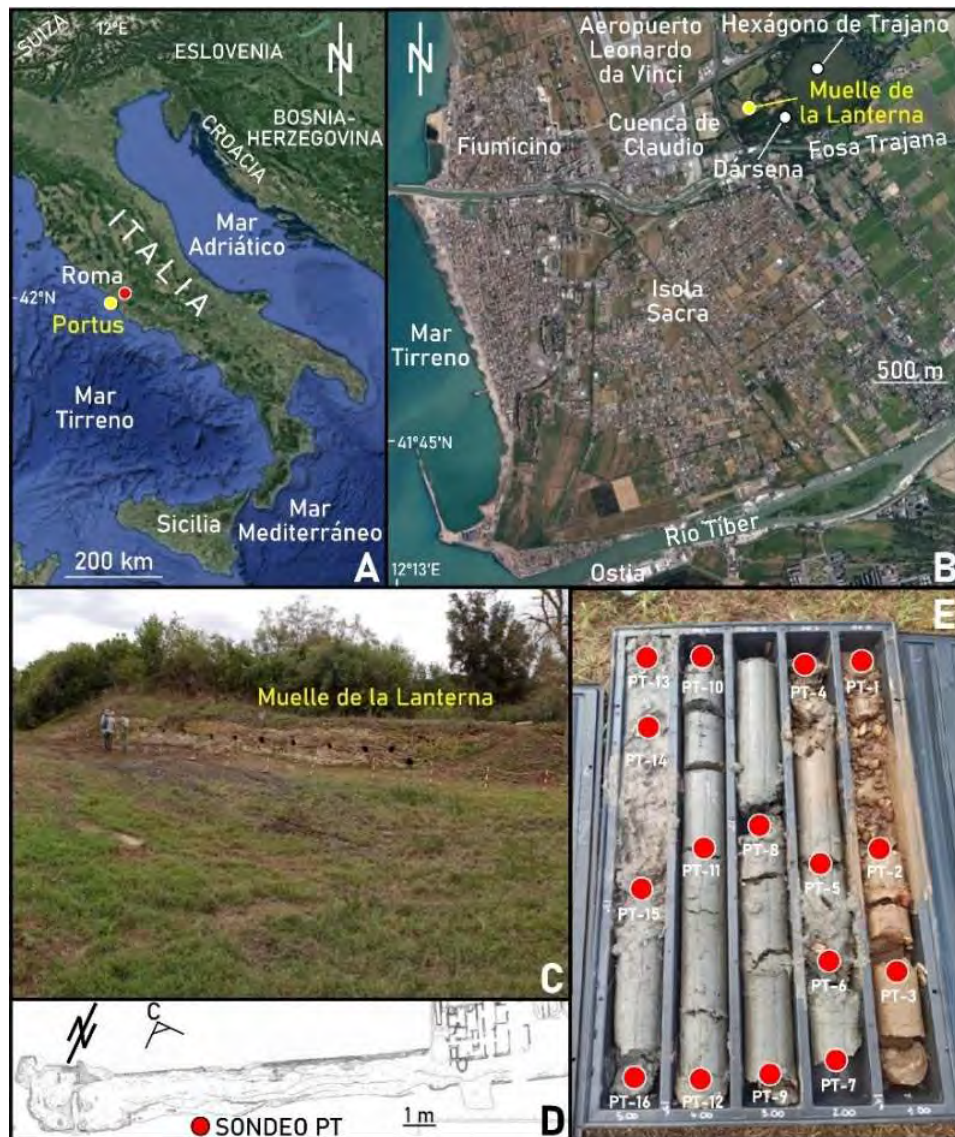


Figura 18. A-B: Ubicación del puerto imperial de *Portus* (cortesía: Google Earth) y situación actual de sus estructuras principales; C: fotografía del muelle de Lanterna, originalmente ubicado en el *Canale di Imbocco* entre la cuenca de Claudio y el hexágono de Trajano; D: plano aéreo del muelle de Lanterna, con la ubicación del testigo PT; E: fotografía del testigo PT y localización de las muestras estudiadas.

4.4.2. Trabajo de gabinete: Análisis sedimentológico

Se seleccionaron 16 muestras entre las facies sedimentarias diferenciadas y una parte fue levigada a través de una columna de tamices (2 mm-0,063 mm) para calcular los porcentajes de los diferentes tamaños de grano. La distribución granulométrica fue analizada con el programa GRADISTAT (Blott y Pye, 2001) y los parámetros texturales

(media, clasificación, asimetría y kurtosis) fueron calculados mediante el método logarítmico de Folk y Ward (1957).

4.4.3. Trabajo de gabinete: Análisis faunístico

Se tomaron 40 g de cada muestra para su análisis paleontológico que fueron levigados a través de un tamiz de 125 μm de diámetro de malla. La macrofauna completa fue extraída y clasificada de acuerdo con Trainito y Doneddu (2005) y el World Register of Marine Species (WoRMS). Además, se efectuó el estudio de la microfauna mediante el análisis de distribución de las principales especies de ostrácodos y foraminíferos.

4.4.4. Datación

Se han obtenido dos dataciones radiométricas en los laboratorios Beta Analytic (Miami, USA). Estas dataciones fueron calibradas con el programa Calib 8.2, con la inclusión del efecto reservorio (58 ± 85 años) indicado por Reimer *et al.* (2002) para este sector del Mediterráneo occidental.

5. SÍNTESIS DE LAS PRINCIPALES APORTACIONES

5.1. Evolución paleoambiental del estero de La Fontanilla (Palos de la Frontera, Huelva).

El análisis de 136 muestras obtenidas en los cuatro testigos estudiados ha permitido distinguir cinco facies sedimentarias y 6 fases de relleno del estero (Figura 19). Las facies son:

F1) Limos arcillosos masivos, que constituyen la base de tres de los testigos y pertenecen a la parte superior de la Formación Arcillas de Gibraleón (Civis *et al.*, 1987), de edad Messiniense.

F2) Gravas fluviales con matriz limosa, con una base erosiva sobre las facies infrayacentes y suprayacentes, de edad Pleistoceno superior-Holoceno inferior.

F3) Arenas finas y muy finas con abundantes restos vegetales, de origen aluvial y depositadas entre el inicio del Holoceno y 6.5 kyr BP.

F4) Arenas y gravas bioclásticas, compuestas por una alta proporción de valvas y conchas de moluscos que caracterizan la sedimentación durante el máximo transgresivo holoceno (6.5-5.4 kyr BP).

F5) Limos y arcillas grises, con frecuentes fragmentos de moluscos y carbón en la base y numerosos restos vegetales hacia el techo, depositados en zonas de marismas y canales mareales entre 5,4 kyr BP y la actualidad.

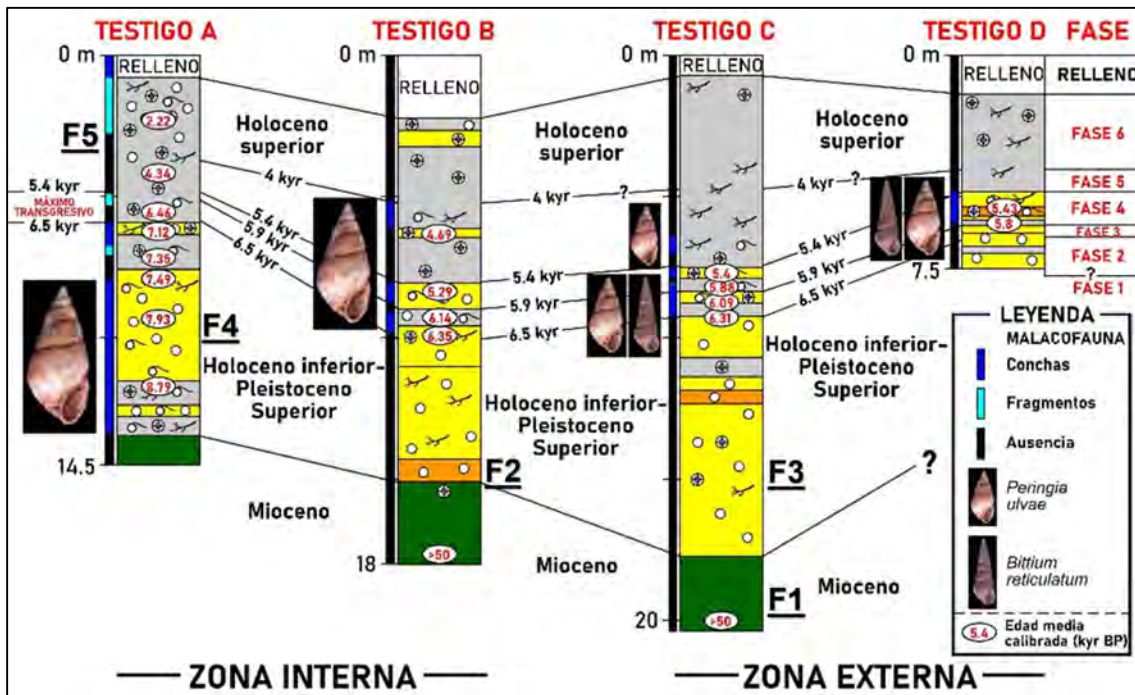


Figura 19. Facies sedimentarias y fases de evolución paleoambiental de la ensenada de La Fontanilla, con la distribución vertical de *Bittium reticulatum* y *Peringia ulvae*.

La malacofauna está constituida por 15 especies, entre las que predominan los gasterópodos (>95%). Estos restos de moluscos se concentran en las arenas bioclásticas procedentes de la inundación de la ensenada durante el máximo transgresivo holoceno (6,5-5,4 kyr BP).

Durante este periodo las zonas más externas de La Fontanilla estaban ocupadas por praderas de fanerógamas, caracterizadas por la abundancia del gasterópodo *Bittium reticulatum*, mientras que en los sectores más internos predomina el gasterópodo *Peringia ulvae*, que señala la presencia de medios mesolitorales fangosos (Figura 20). Entre 5,4 kyr BP y 4 kyr BP, la zona de estudio está dominada por *P. ulvae*, indicando una transición hacia medios intermareales en toda la ensenada y una desecación parcial de su superficie durante los periodos de bajamar.



Figura 20. Representación de la transgresión holocena con ambientes análogos actuales: A) mesolitoral, con abundancia del gasterópodo *P. ulvae*; y B) pradera de la fanerógama *Zostera noltii*, con presencia de la especie característica *B. reticulatum*. Escala a 0,5 mm.

En los últimos 5.4 kyr BP, se produjo una notoria colmatación de la ensenada, con la desaparición progresiva de la fauna marina. En el siglo XX, esta zona fue cubierta artificialmente con arenas neógenas y sedimentos aluviales próximos. Respecto a la malacofauna, el carácter terrestre de este periodo está marcado por la presencia del gasterópodo pulmonado *Physella acuta*.

5.2. Análisis arqueomalacológico del conchero de Cañada Honda (Aljaraque, Huelva)

Se han estudiado 2.914 conchas y fragmentos de moluscos, de los cuáles el 95,34% pertenecen a siete especies de bivalvos (Figura 21), mientras que los gasterópodos son minoritarios (4,66%) y están representados por ocho especies (Figura 22). Las especies más abundantes de bivalvos son *Ruditapes decussatus* (59,2%), *Lutraria lutraria* (17,46%) y *Cerastoderma edule* (8,35%).

En relación con los procesos tafonómicos se aprecia un alto grado de fragmentación. La proporción de fragmentación es muy elevada en los bivalvos (99,64%), en tanto que el 18,4% de los gasterópodos mantienen la concha completa. Otro proceso destacable es la presencia de signos de carbonización en algunos ejemplares de los bivalvos *C. edule* y *R. decussatus*, así como en el gasterópodo *Hexaplex trunculus*.



Figura 21. Bivalvos más abundantes en el conchero de Cañada Honda. 1-2: *Acanthocardia tuberculata*; 3-6: *Cerastoderma edule*; 7-10: *Ostrea stentina*; 11-14: *Lutraria* sp.; 15-16: *Ostrea edulis*; 17-22: *Ruditapes decussatus*; 23-26: *Solen marginatus*.

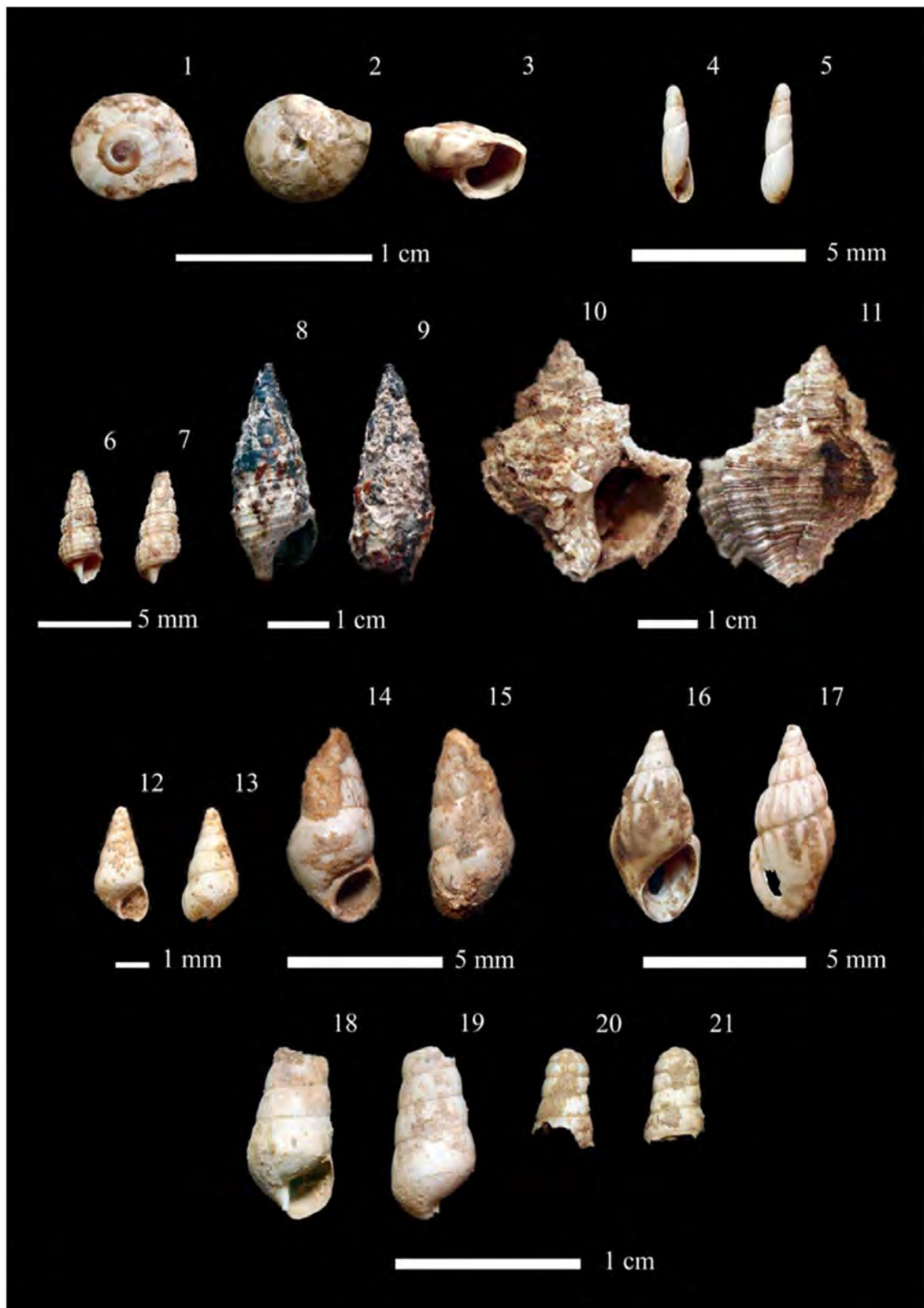


Figura 22. Gasterópodos marinos y terrestres (t) del conchero de Cañada Honda. 1–3: *Candidula gigaxii* (t); 4–5: *Cecilioides acicula* (t); 6–7: *Bittium reticulatum*; 8–9, *Cerithium vulgatum*; 10–11: *Hexaplex trunculus*; 12–15, *Peringia ulvae*; 16–17, *Rissoa guerinii*; 18–21: *Rumina decollata* (t).

El análisis estadístico ha permitido diferenciar cuatro asociaciones de especies (Figura 23) : i) *Lutraria lutraria* y *Solen marginatus*, dominantes en la parte inferior del perfil A, el más septentrional del conchero; ii) *Ostrea edulis* y los gasterópodos pulmonados *Cecilioides acicula* y *Rumina decollata*, que sólo superan el 10% en la muestra superior del perfil A; iii) *Cerastoderma edule* y *Cerithium vulgatum*, que aumentan sus porcentajes hacia el techo de los tres perfiles estudiados; y iv) *Ruditapes decussatus*, claramente dominante en los Perfiles B y C, los más meridionales, y en la parte superior del perfil A.

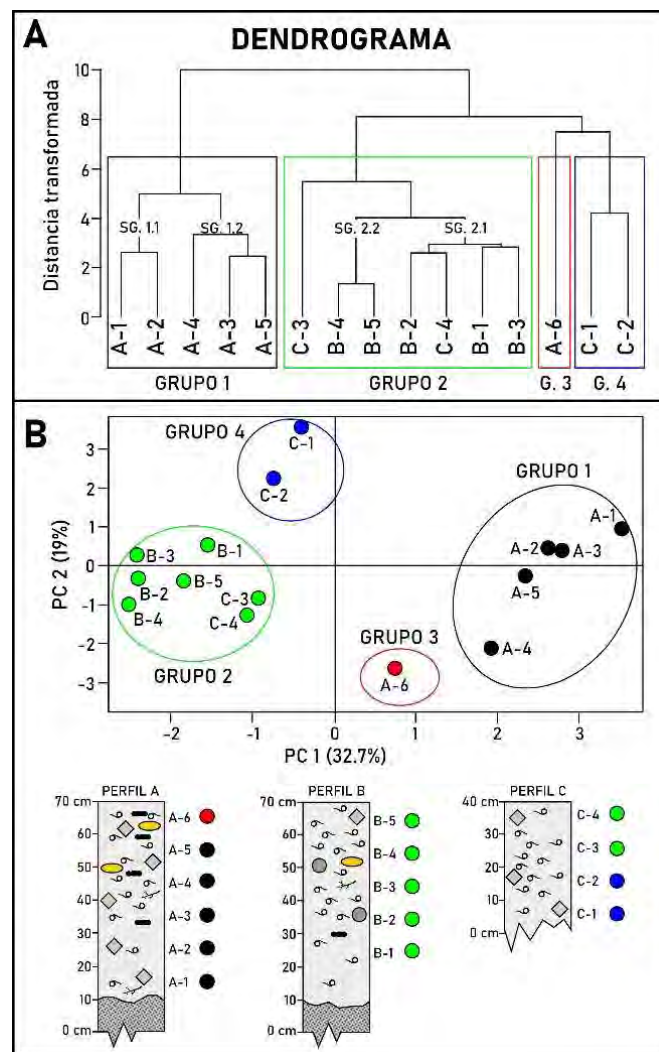


Figura 23. A: Análisis de conglomerados; B: análisis de componentes principales: PC1 vs PC2 y distribución vertical de los grupos de muestra.

De los cuatro grupos tafonómicos (restos bromatológicos, restos modificados para usos diversos, restos con función desconocida y restos intrusivos), destacan por su abundancia aquellos relacionados con la alimentación (>95%).

La distribución vertical de los moluscos permite diferenciar dos episodios en la evolución temporal de este conchero: i) el primero con la recolección selectiva de *Lutraria lutraria* y *Solen marginatus*, acumulada en el sector más septentrional, y de *Ruditapes decussatus* en los otros dos sectores; y ii) el segundo, con un predominio de *R. decussatus* y una mayor diversificación de las especies comestibles capturadas.

Al comparar los resultados con otros concheros del mismo estuario se observa una preferencia clara hacia el consumo de la almeja (*R. decussatus*) entre los 8.000 años BP y 4.000 años BP y en zonas externas del estuario, en tanto que las ostras y los berberechos tuvieron una recolección más intensa en el estuario interno.

5.3. Análisis multidisciplinar y multivariante del conchero romano de Isla Saltés (Punta Umbría, Huelva).

La erosión provocada por las mareas socavó un tramo del canal mareal del Estero de los Difuntos, en la parte más septentrional del *chenier* de La Cascajera, al norte de Isla Saltés. Se han diferenciado cinco facies sedimentarias y un perfil edáfico superior (Figura 24): a) facies 1 (F1: llanura mareal arcillosa: 0.5-1 m m.s.n.m.), con limos arenosos gris-azulados e intensamente bioturbados por anélidos; b) facies 2 (F2: *washover fan*: 0.7-2.5 m m.s.n.m.), con arenas bioclásticas medias a gruesas, orientación N-NO y estructuras de avalancha inclinadas más de 30°, procedentes de la acción de tormentas; c) facies 3 (F3: llanura mareal arenosa: -0.5-0.5 m.s.n.m.), con arenas finas a medias, abundante registro malacológico y arenas rojizas intercaladas ricas en materia orgánica; d) facies 4 (F4: *chenier*; 0.5-1 m m.s.n.m.), con gravas bioclásticas bien

clasificadas y estratificación cruzada planar; y e) facies 5 (F5; conchero; 0,5-2,5 m.s.n.m.), formado principalmente por acumulaciones masivas del género *Glycymeris*.

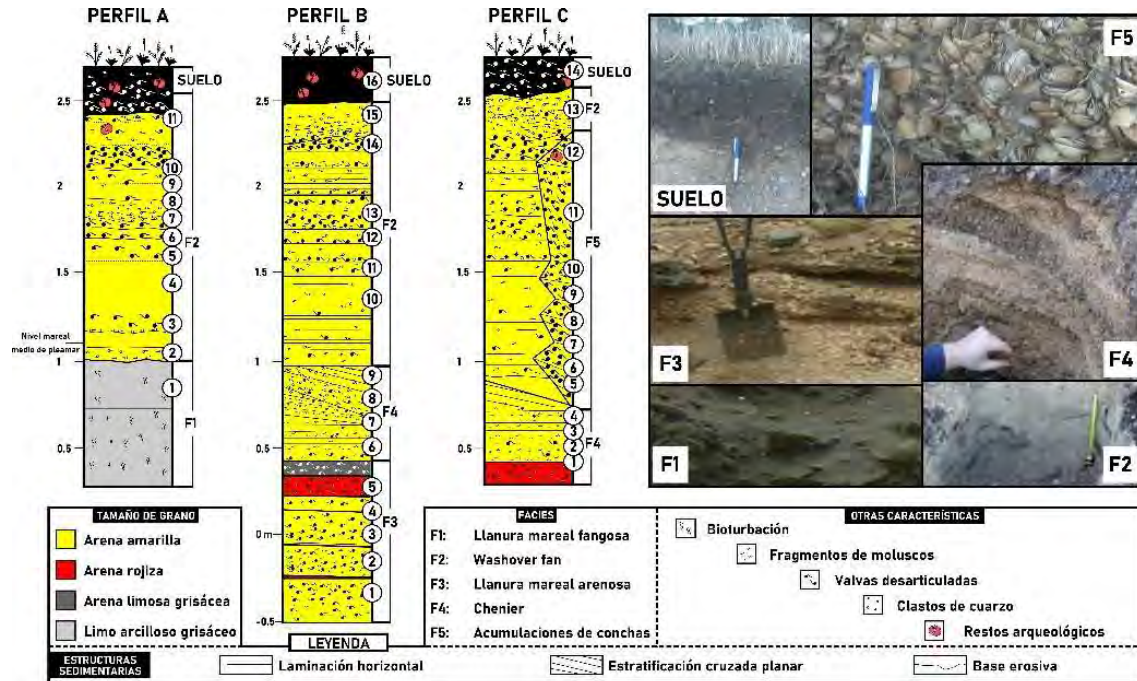


Figura 24. Registro sedimentario de las tres secciones estudiadas, incluyendo la posición de las 41 muestras seleccionadas y detalles de las diferentes facies.

Se han estudiado un total de 3.566 especímenes, pertenecientes a 48 especies de moluscos. Se observa un leve predominio de los bivalvos (Figura 25) sobre los gasterópodos (Figura 26), con un porcentaje de muestras del 50,96% frente al 48,81%, respectivamente. Entre los primeros, las especies más abundantes son *Glycymeris nummaria* (22,81%), *Chamelea gallina* (10,21%), *Ostrea* sp. (5,46%), *Glycymeris glycymeris* (3,89%) y *Loripes lucinalis* (3,83%). *Bittium reticulatum* es el gasterópodo más abundante y constituye casi la mitad de la malacofauna analizada (45,39%).



Figura 25. Bivalvia: principales géneros y especies. A, B: *Acanthocardia* sp.; C: *Acanthocardia tuberculata*; D: *Anomia ephippium*; E: *Cerastoderma glaucum*; F: *Cerastoderma edule*; G: *Chamelea gallina*; H: *Clausinella fasciata*; I: *Donacilla cornea*; J: *Donax trunculus*; K: *Donax venustus*; L: *Glycymeris glycymeris*; M: *Glycymeris nummaria*; N: *Limaria tuberculata*; O: Familia Ostreidae; P: *Panopea glycymeris*; Q: *Pecten maximus*; R: *Ruditapes decussatus*; S: *Spisula solida*; T: Familia Cardidae; U: Familia Carditidae; V: *Corbula gibba*; W: *Dosinia lupinus*; X: *Loripes lucinalis*; Y: *Striarca lactea*; y Z: *Tellina* sp.

La naturaleza haliéutica del conchero (F5) se deduce de cuatro características que lo diferencia de una acumulación natural de conchas, como las presentes en las llanuras arenosas mareales, los *cheniers* y los *washover fans*: a) el predominio de especies con interés bromatológico (el bivalvo *Glycymeris nummaria* es la especie más abundante); b) indicios de una actividad selectiva observable en el predominio de especímenes de *G. nummaria* y la mejor conservación de sus valvas; c) la ausencia de

microfauna, indicativa de un lavado previo a la formación del conchero; y d) una edad similar a los restos de cerámicas romanas hallados en esta zona, que permite ubicar a F5 como una acumulación posterior a los abanicos de lavado, sobre los que se depositaron los restos malacológicos.



Figura 26. Gastropoda: principales géneros y especies. A: *Bela* sp.; B: *Bittium reticulatum*; C: *Calliostoma* sp.; D: *Calliostoma zizyphinum*; E: *Calyptrea chinensis*; F: *Gibbula umbilicalis*; G: *Gibbula varia*; H: *Jujubinus striatus*; I: *Mangelia* sp.; J: Familia Nassaridae; K: *Nassarius nitidus*; L: *Ocenebra erinaceus*; M: *Peringia ulvae*; N: *Rissoa* sp.; O: *Tritia incrassata*; P: *Tritia pfeifferi*; Q: *Tritia pygmaea*; Scaphopoda. R: Familia Dentaliidae.

El análisis estadístico de conglomerados de las 18 especies principales nos permite diferenciar dos grandes grupos de muestras (grupos 1 y 3) y una asociación aislada (grupo 2) en B-3 (Figura 27). Esta asociación del grupo 2 está dominado por *G. glycymeris* (52%), *B. reticulatum* (26%) y ostreidos (8%).

El grupo 1 (16 muestras) incluye la totalidad de las muestras de F5, algunas muestras contiguas de F4 en la sección C, muestras de suelo en la sección B y dos muestras de F2 ubicadas debajo de los perfiles edáficos en las secciones A y B. La mayoría de estas muestras se caracterizan por el predominio de *G. nummaria*, aunque se pueden distinguir tres subgrupos. El subgrupo 1.1 (5 muestras) se caracteriza por los mayores porcentajes de *G. nummaria* (M: 61,2%), seguida de *B. reticulatum* (M: 18%) y *C. gallina* (M: 8,4%) como principales especies secundarias. El subgrupo 1.2 (3 muestras) está representado exclusivamente en F5 con predominio de *G. nummaria*, pero con porcentajes más bajos que en el subgrupo anterior (M: 42%), y altos porcentajes de ostreidos (M: 22,67%), así como los valores más elevados de *A. ephippium* (M: 7,33%) y *C. glaucum* (M: 5,33%) de todos los subgrupos diferenciados. El subgrupo 1.3 (8 muestras) presenta porcentajes muy similares de *G. nummaria* (M: 33,32%) y *B. reticulatum* (M: 34,83%), junto a porcentajes moderados de *C. gallina* (M: 12,17%).

El grupo 3 (24 muestras) está dominado por el gasterópodo *B. reticulatum*, comprende muestras de F1 a F4 y se pueden diferenciar cuatro subgrupos, principalmente por la disminución en la abundancia de este gasterópodo. El subgrupo 3.1 (7 muestras) presenta una abundancia excepcional de *B. reticulatum* entre todos los subgrupos determinados (M: 79,5%) y *C. gallina* es la principal especie secundaria (M: 5,06%) con la mayoría de sus registros en F2. El subgrupo 3.2 (9 muestras) incluye siete muestras de F2 y una muestra de F3 y de F4, con porcentajes de *B. reticulatum*

inferiores al subgrupo anterior (M: 64,29%) y acompañados de *C. gallina* (M: 7,86%), *L. lucinalis* (M: 5,83%) y *G. glycymeris* (M: 5,36%) como principales especies secundarias. El subgrupo 3.3 (2 muestras) presenta porcentajes similares de *B. reticulatum* (M: 47,22%) y *C. gallina* (M: 44,44%). El último subgrupo, el 3.4 (6 muestras), incluye muestras de F2, F3 y F4 y se distingue de los tres subgrupos anteriores por porcentajes más bajos de *B. reticulatum* (M: 45,87%), así como por valores moderados de *C. gallina* (M: 18,79%), *G. nummaria* (M: 12,18%) y en ocasiones *L. orbiculatus* (hasta 12%).

Todas las características mencionadas, junto con la ausencia de indicios de manipulación (fracturas o señales de cocción), indicarían que F5 es un conchero de origen romano resultante de descartes procedentes de la pesca de arrastre sobre fondos de arena ricos en *Glycymeris*. Estos fondos arenosos estarían cubiertos, en parte, por praderas de fanerógamas donde el gasterópodo *Bittium reticulatum* era el molusco más abundante. La abundancia de este gasterópodo en la zona justifica una presencia dominante en las acumulaciones naturales de conchas que se observan en las demás facies descritas.

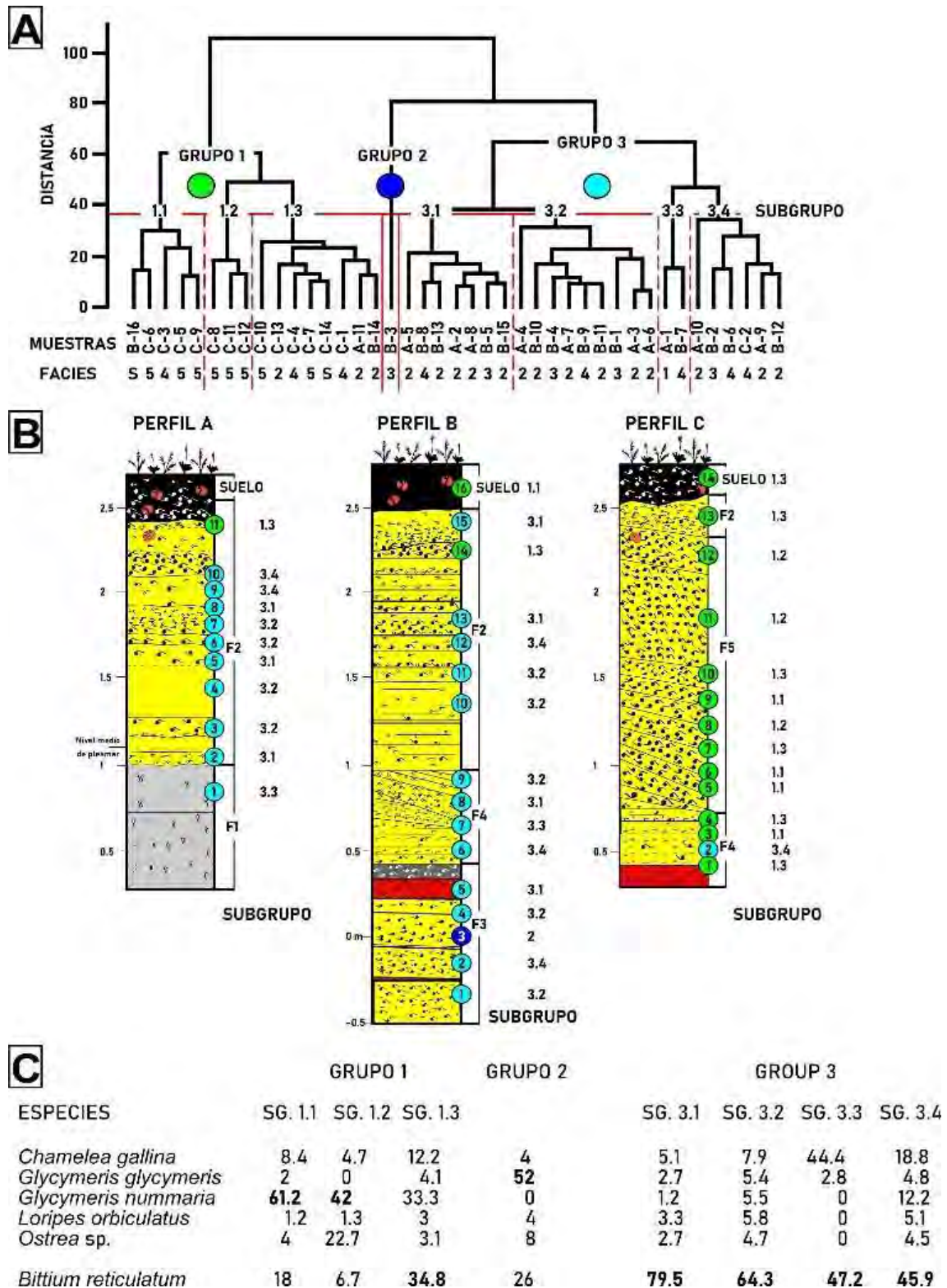


Figura 27. A: grupos y subgrupos definidos a partir del análisis de conglomerados aplicado a las dieciocho especies principales; B: distribución de grupos y subgrupos en los perfiles y unidades estratigráficas; C: porcentajes medios de las principales especies en los diferentes grupos y subgrupos obtenidos.

5.4. Evolución paleoambiental del *Canale di Imbocco* (*Portus*, Fiumucino)

El análisis sedimentológico y arqueomalacológico del testigo PT ha permitido diferenciar seis facies sedimentarias (Figura 28): i) fangos arenosos grises poco compactados con escasas valvas de *Polititapes rhomboides* (Pennant, 1777) y otras de juveniles de *Modiolus* spp. (F1); ii) fangos bioclásticos compuestos en gran medida de valvas o fragmentos de *P. rhomboides* y *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789) (F2); iii) acumulaciones compactas de fibras y “bolas de Neptuno” de la fanerógama *Posidonia oceánica* (Linnaeus) Delile, 1813, con valvas de *C. glaucum*, tubos de serpúlidos, una matriz fangosa y bioclastos (F3); iv) arenas limosas pobremente clasificadas, sin macrofauna (F4); v) gravas finas pobremente clasificadas con numerosos cantos cuarcíticos y restos cerámicos (F5); y vi) gravas medias a gruesas (F6).

La calibración de dos de las muestras indica una concordancia de edad con los datos históricos de *Portus*. La edad media calibrada obtenida en la base del testigo PT, a 5-4,9 m de profundidad, se sitúa hacia finales del siglo I CE, aunque se extiende hasta el siglo IV CE (200 BCE-330 CE). La segunda datación (1,9-1,8 m) queda entre los siglos I CE y VI CE (90 CE-585 CE), con la probabilidad media hacia el siglo IV CE. Dado que las primeras evidencias de la actividad portuaria de *Portus* se encuentran a unos 8-8,5 m en testigos cercanos, el testigo PT representaría parte del relleno sedimentario del *Canale de Imbocco*.

La evolución vertical de los sedimentos y la macrofauna, unido al estudio de la microfauna (ostrácodos y foraminíferos), permite inferir los cambios paleoambientales que afectaron al canal entre los siglos II CE a IV CE. El *Canale de Imbocco* se comportaría como un medio restringido de salinidad variable, donde confluían los

aportes marinos con otros procedentes del río Tíber. El registro arqueomalacológico refleja el tránsito hacia condiciones cada vez más confinadas, debido en parte a su colmatación por la acumulación masiva de fibras y hojas de *Posidonia oceanica*. Además, las facies superiores indican una restricción parcial de la actividad portuaria, debido a la presencia de sedimentos fluviales.

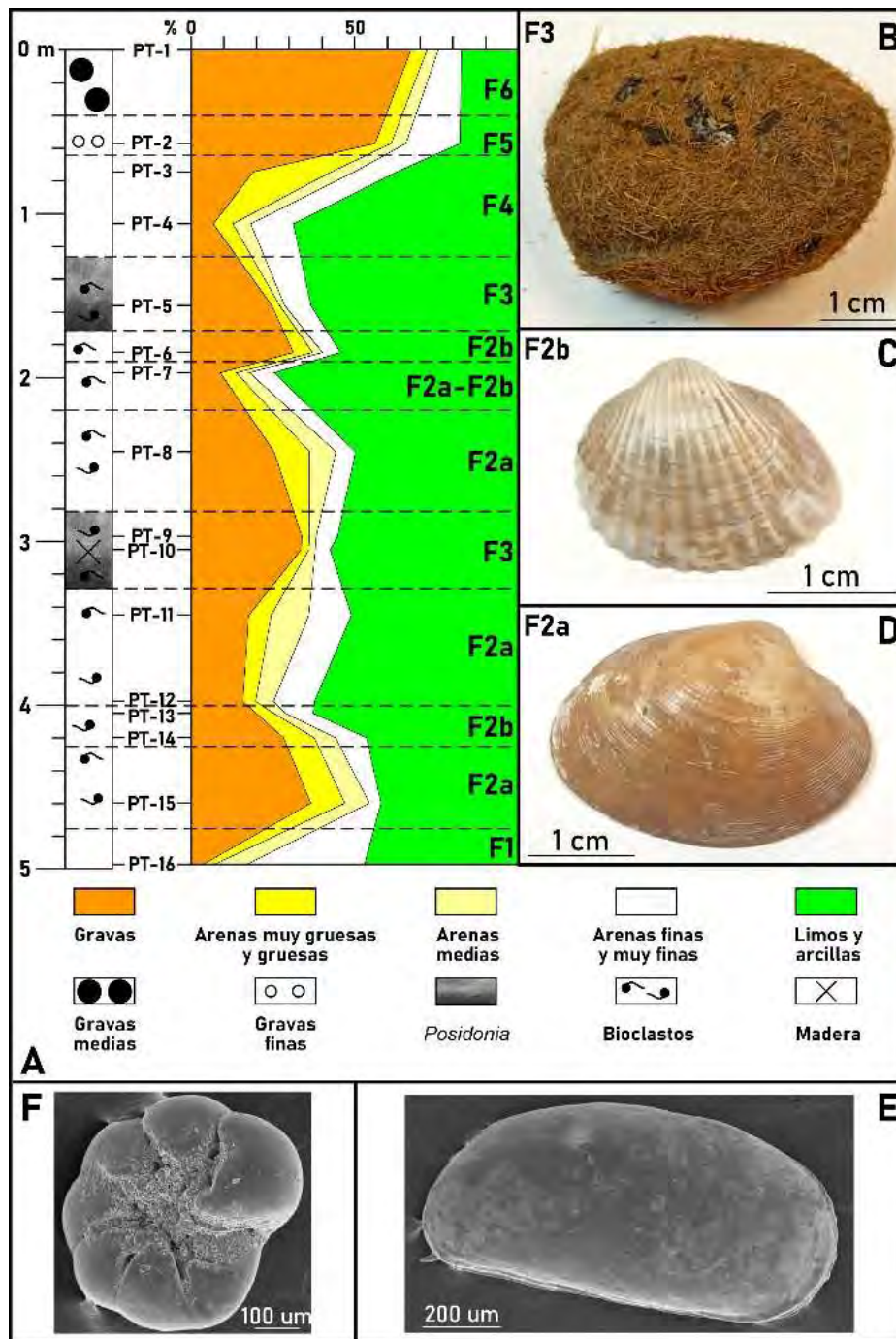


Figura 28. A) Estudio sedimentológico con la posición de las facies identificadas; B) restos de *P. oceanica* tipo “bola de Neptuno”; C) *C. glaucum*; D) *P. rhomboides*; F) *Ammonia tepida*; E) *Cyprideis torosa*.

Como se ha mencionado con anterioridad, este testigo contiene acumulaciones masivas de *P. oceánica*. Se trata de una fanerógama mediterránea que llega a formar extensas praderas en medios infralitorales de profundidad inferior a 40 m (Telesca *et al.*, 2015) y su presencia en las muestras permite constatar que: i) había praderas en las proximidades de *Portus* hace, al menos, 1800 años; ii) constituía un serio problema para la actividad portuaria debido a la colmatación provocada por la acumulación de arribazones en el *Canale di Imbocco*; iii) las “bolas de Neptuno” podrían indicar periodos tempestíticos, como los que provocaron el hundimiento de 200 barcos en el año 63 CE en el puerto exterior (Tacitus, 2010).

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M.L. (1993). Palaeobiogeography of the Holocene Molluscan fauna from northeastern Buenos Aires Province, Argentina: Its relation to coastal evolution and sea level changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 102, 1–26.
- Alberti, M., Hethke, M., Fürsich, F. T., Liu, C. (2013). Macro- versus microfauna: Resolution potential of bivalves, gastropods, foraminifera and ostracods in reconstructing the Holocene palaeoenvironmental evolution of the Pearl River delta, China. *Palaeodiversity and Palaeoenvironments*, 93, 327-353.
- Álvarez-Fernández, E. (2009). Análisis arqueomalacológico de la cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria): Excavaciones de J. González Echegaray y LG Freeman/Archaeomalacological investigations at Altamira Cave (Santillana del Mar, Cantabria): J. González Echegaray and LG Freeman's excavations. *Complutum*, 20, 55.
- Álvarez, M., Godino, B.I., Balbo, A., Madella, M. (2011). Shell middens as archives of past environments, human dispersal and specialized resource management. *Quaternary International*, 239, 1-7.
- Amato, V., Aiello, G., Aiello, D., Barra, D., Caporaso, L., Caruso, T. Giaccio, B., Parisi, R., Rossi, A. (2020). Holocene paleogeographic evolution of an ancient port city of the central Mediterranean area: Natural and anthropogenic modifications from Salerno city, southern Italy. *Geoarchaeology*, 35, 366-383.
- Arias, P. (1996). Los concheros con cerámica de la costa cantábrica y la neolitización del norte de la Península Ibérica. En: *El hombre fósil 80 años después: volumen conmemorativo del 50 aniversario de la muerte de Hugo Obermaier* (Moure, A.,

- ed.). Universidad de Cantabria, Fundación Marcelino Botín, Institute for Prehistoric Investigations. Santander., 391-416.
- Arroyo, M., Ruiz, F., Campos, J.M., Bermejo, J., González-Regalado, M.L., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Olías, M., Abad, M., Izquierdo, T., Gómez, P., Toscano, A., Romero, V., Gómez, G. (2021). Where did Christopher Columbus start? The estuarine scenario of a historical date. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 250, 107162.
- Baceta, J.I., Pendón, J.G. (1999). Estratigrafía y arquitectura de facies de la Formación Niebla, Neógeno Superior, sector occidental de la Cuenca del Guadalquivir. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12, 419-438.
- Bailey, G.N. (1977). Shell mounds, shell middens and raised beaches in the Cape York Peninsula. *Mankind*, 11, 132-143.
- Bejega, V. (2009). Arqueomalacología: metodología de análisis. Tesis Doctoral, Universidad de León.
- Bejega, V., Agüero, E.G.G., Rodríguez, C.F. (2010). La Arqueomalacología: una introducción al estudio de los restos de moluscos recuperados en yacimientos arqueológicos. *Iberus*, 28, 1-10.
- Bellotti, P., Calderoni, G., Di Rita, F., D'Orefice, M., D'Amico, C., Esu, D., Magri, D., Preite, M., Tortora, P., Valeri, P. (2011). The Tiber river delta plain (central Italy): coastal evolution and implications for the ancient Ostia Roman settlement. *The Holocene*, 21, 1105-1116.
- Bermejo, J., Gómez, P., González-Regalado, M.L., Ruiz, F., Campos, J.M., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Clemente, M.J., Toscano, A., Abad, M., Izquierdo, T., Prudencio, M.I., Dias, M.I., Marques, R., Tosquella, J., Carretero, M.I., Monge, G. y Romero, V. (2019). A new roman fish-salting workshop in the Saltés Island

- (Tinto-Odiel Estuary, SW Spain): La Cascajera and its archaeological and geological context" Cuaternario y Geomorfología. 33, 3-4
- Blott S.J., Pye K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Processes and Landforms, 26, 1237-1248.
- Borja, F., Barral, M.A., Muñoz, M. (1994). Los concheros arqueológicos de Cañada Honda y El Grillito (Estuario del Odiel, Huelva). En: Geomorfología en España (Arnáez-Vadillo, J.M., Gómez Villar, A., eds.), Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza, 339-353.
- Borrego, J. (1992). Sedimentología del estuario del río Odiel (Huelva, SO España). Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- Borrego, J., Ruiz, F., González-Regalado, M.L., Pendón, J.G., Morales, J.A. (1999). The Holocene transgression into the estuarine central basin of the Odiel River mouth (Cádiz Gulf, SW Spain): Lithology and faunal assemblages. Quaternary Science Reviews, 18, 769-788.
- Bowdler, S. (2006). Mollusk and other shells. En: Archaeology in practice: a student guide to archaeological analyses (Balme, J., Paterson, A., eds.), Blackwell Publishing Ltd., Malden, MA, 316-337.
- Branch, N., Canti, M., Clark, P., Turney, C. (2014). Environmental Archaeology: Theoretical and Practical Approaches. Routledge, New York.
- Cáceres, L.M. (1992). Geomorfología del interfluvio Odiel-Piedras en su zona de desembocadura. Cuadernos del Suroeste, 3, 57-89.
- Cáceres, L.M., Gómez, P., González-Regalado, M.L., Clemente, M.J., Rodríguez-Vidal, J., Toscano, A., Monge, G., Abad, M., Izquierdo, T., Monge Soares, A.M., Ruiz, F., Campos, J.M., Bermejo, J., Martínez, A., López, G. (2018). Modelling the

mid-late Holocene evolution of the Huelva Estuary and its human colonization, Southwestern Spain. *Marine Geology*, 406, 12-26.

Callapez, P. M., Barroso-Barcenilla, F., Cambra-Moo, O., Ortega, F., Pérez-García, A., Segura, M., Torices, A. (2014). Fossil assemblages and palaeoenvironments in the Cenomanian vertebrate site of Nazaré (West Central Portugal). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 273, 179-195.

Campos, J.M. (2018). El puerto colombino de Palos de la Frontera: Un excepcional descubrimiento arqueológico. *Andalucía en la Historia*, 59, 38- 43, 1695-1956.

Campos, J.M. (2020). El puerto histórico de Palos. Ubicación, estructura y evolución: La recuperación geoarqueológica del Puerto histórico de Palos de la Frontera (ss. XIV-XVI). Medio natural e instalaciones portuarias (Campos Carrasco, J. M. Coord.). Servicio de publicaciones, Universidad de Huelva, 267-278.

Campos, J.M., Bermejo, J., Rodríguez-Vidal, J. (2015). La ocupación del litoral onubense en época romana y su relación con eventos marinos de alta energía. *Cuaternario y Geomorfología*, 29, 75-93.

Cartes, J.E., Díaz-Vinolas, D., Schirone, A., Lombarte, A., Barsanti, M., Delbono, I., Salas, C., Gofas, S., Serrano, A., Santos-Echeandía, J. (2022). How the reconstruction of faunal communities in a marine protected area (Columbrete Reserve, western Mediterranean) evidence human and natural impacts on fauna, *Ecological Indicators*, 142, 109209.

Civis, J., Sierro, F.J., González-Delgado, J.A., Flores, J.A., Andrés, I., Porta, J., Valle, M.F. (1987). El Neógeno marino de la Provincia de Huelva: Antecedentes y definición de sus unidades litoestratigráficas. En: *Paleontología del Neógeno de Huelva (W Cuenca del Guadalquivir)* (Civis, J., ed.). Universidad de Salamanca, 5-16

- Colonese, A. C., Mannino, M.A., Bar-Yosef, D.E., Fa, D.A., Finlayson, J.C., Lubell, D., Stiner, M.C. (2011). Marine mollusc exploitation in Mediterranean prehistory: an overview. *Quaternary International*, 239, 86-103.
- Dabrio, C.J., Zazo, C., Lario, J., Goy, J.L., Sierro, F.J., Borja, F., González, J.A., Flores, J.A. (1998). Sequence stratigraphy of Holocene incised-valley fills and coastal evolution in the Gulf of Cádiz (southern Spain). *Geologie en Mijnbouw*, 77, 263-281.
- Darwin, C. (1839). *Journal of Researches into the Geology and Natural History of the Various Countries Visited by H.M.S. Beagle, under the Command of Captain Fitzroy, R.N. from 1832 to 1836*. Henry Colburn.
- Dekker, R, Beukema J.J. (2021) Climate warming leads to replacement of *Limecola balthica* by *Abra tenuis* on high tidal flats of the Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 178, 102137.
- Di Bella, L., Bellotti, P., Frezza, V., Bergamin, L., Carboni, M.G. (2011). Benthic foraminiferal assemblages of the imperial harbor of Claudius (Rome): Further paleoenvironmental and geoarcheological evidences. *The Holocene*, 21, 1245-1259.
- Douka, K., Jacobs, Z., Lane, C., Grün, R., Farr, L., Hunt, L., Hunt, C., Inglis, R.H., Reynolds, R.H., Albert, P.P., Aubert, M., Cullen, V., Hille, E., Kinsley, L., Roberts, R.G., Tomlinson, E.L., Wulf, S., Baraker, G. (2014). The chronostratigraphy of the Haua Fteah cave (Cyrenaica, northeast Libya). *Journal of Human Evolution*, 66, 39-63.
- Dupont, C., Schulting, R., Tresset, A. (2007). Prehistoric shell middens along the French Atlantic facade: the use of marine and terrestrial resources in the diets of

- coastal human populations. En: Shell Middens in Atlantic (Milner, N., Craig, O., Bailey, G., eds.), Oxbow Books, Oxford, 123-135.
- Erlandson, J.M., Moss, M.L., Des Lauriers, M., (2009a). Life on the edge: early maritime cultures of the Pacific Coast of North America. *Quaternary Science Reviews*, 27, 2232–2245.
- Erlandson, J.M., Braje, T.J., Rick, T.C., Davis, T., Southon, J. (2009b). A paleocoastal shell midden at seal cave (CA-SMI-604), San Miguel island, California. En: *Proceedings of the 7th California Islands Symposium*. Institute for Wildlife Studies (Damiani, C.C., Garcelon, D.K., eds.). Arcada, California, 33-42.
- Espinosa, M., De Francesco, C., Isla, F. (2003). Paleoenvironmental reconstruction of Holocene coastal deposits from the southeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Paleolimnology*, 29, 49-60.
- Fanget, A.-S., Bassetti, M.A., Fontanier, C., Tudryn, A., Berné, D. (2016). Sedimentary archives of climate and sea-level changes during the Holocene in the Rhône prodelta (NW Mediterranean Sea). *Climate of the Past*, 12, 2161-2179.
- Fernández, S. (2001). Tafonomía, fosilización y yacimientos de fósiles: modelos alternativos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 92, 116-120.
- Fernandez-Lopez, S.R. (1999). Tafonomía y fosilización. *Tratado de Paleontología*. Tomo I. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 51-107, 438-441.
- Folk, R.L., Ward, W.C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Gallmetzer, I., Haselmair, A., Tomašových, A., Stachowitsch, M., Zuschin, M. (2017) Responses of Molluscan communities to centuries of human impact in the northern Adriatic Sea. *PLoS ONE*, 12, e0180820.

- García-Escárzaga, A., Gutiérrez-Zugasti, I., González-Morales, M.R., Cobo-García, A. (2017). Shells and humans: molluscs and other coastal resources from the earliest human occupations at the mesolithic shell midden of El Mazo (Asturias, northern Spain). *Papers from the Institute of Archaeology*, 27, 1-17.
- Garrido, E., Vera, J.C. (2015). Análisis espacial, contextual y funcional de un conjunto de estructuras domésticas del IIIer milenio a.C. del yacimiento de La Orden-Seminario (Huelva). *Revista Atlántica-Mediterránea de Arqueología Social*, 17, 149-159.
- Giaime, M., Marriner, N., Morhange, C. (2019). Evolution of ancient harbours in deltaic contexts: A geoarchaeological typology. *Earth-Science Reviews*, 191, 141-167.
- Goiran, J.-P., Tronchère, H., Salomon, F., Carbonel, P., Djerbi, H., Ognard, C. (2010). Paleoenvironmental reconstruction of the ancient harbors of Rome: Claudius and Trajan's marine harbors on the Tiber delta. *Quaternary International*, 216, 3-13.
- Gómez, G. (2017). Guía de los moluscos marinos de Huelva y el Golfo de Cádiz. Diputación Provincial de Huelva. Huelva.
- González-Regalado, M.L., Monge, G., Carretero, M.I., Pozo, M., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Abad, M., Campos, J.M., Bermejo, J., Tosquella, J., Izquierdo, T., Prudencio, M.I., Dias, M.I., Marques, R., Gómez, P., Toscano, A., Romero, V., Ruiz, F. (2020). Imprints of historical pollution and the 218-60 BCE tsunamigenic period in southwestern Spain. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 37, 89-97.

- Gordillo, S., Boretto, G.M. (2020). Moluscos de Cerro Colorado: cambios faunísticos e importancia ecológica y paleoambiental. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 7, 75-84.
- Gutiérrez, Z. (2009). La explotación de moluscos y otros recursos litorales en la región cantábrica durante el Pleistoceno final y el Holoceno inicial. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. Santander.
- Hallmann, N., Burchell, M., Schöne, B.R., Irvine, G.V., Maxwell, D. (2009). High-resolution sclerochronological analysis of the bivalve mollusk *Saxidomus gigantea* from Alaska and British Columbia: techniques for revealing environmental archives and archaeological seasonality. *Journal of Archaeological Science*, 36, 2353-2364.
- Hammond, H., Zubimendi, M.A. (2015). Arqueomalacología: abordajes metodológicos y casos de estudio en el Cono Sur. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Hayward, B.W., Le Coze F., Vachard D., Gross O. (2021). World Foraminifera Database. Last Access on 9/13/2021.
- Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Rey, J., Pomar, L. (1994). Late Pleistocene–Holocene sediments on the Spanish continental shelves: a model for very high-resolution sequence stratigraphy. *Marine Geology*, 120, 129-174.
- Jerardino, A., Branch, G.M., Navarro, R. (2008). Human impact on precolonial west coast marine environments of South Africa. En: *Human Impacts on Ancient Marine Ecosystems: A Global Perspective* (Rock, T.C., Erlandson, J.M., eds.). University of California Press, Berkeley, 279-296.
- Kaniewski, D., Marriner, N., Morhnage, C., Vacchi, M., Sarti, G., Rossi, V., Bini, M., Pasquinucci, M., Allinne, C., Otto, T., Luce, F., Van Campo, E. (2018).

Holocene evolution of *Portus Pisanus*, the lost harbour of Pisa. Scientific Reports, 8, 11625.

Keay, S. (Ed.) (2012). Rome, *Portus* and the Mediterranean. Archaeological monographs of the british school at Rome.

- Keay, S., Millett, M. (2005). Integration and discussion, *Portus*. An Archaeological Survey of the Port of Imperial Rome (Keay, S., Millett, M., Paroli, L., Strutt, K.), Archaeological Monographs of the British School at Rome 15, London, BSR, 269-296.

- Keay, S., Millett, M., Paroli, L., Strutt, K. (2005). *Portus: An Archaeological Survey Of The Portus Of Imperial Rome*. Archaeological Monographs of the British School at Rome 15. London: British School at Rome.

Kidwell, S.M., Fürsich, F.T., Aigner, T. (1986). Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaaios*, 1, 228-238.

Klishko, O.K., Kovychev, E.V., Vinarski, M.V., Bogan, A.E., Yurgenson, G.A.. (2020). The Pleistocene-Holocene aquatic molluscs as indicators of the past ecosystem changes in Transbaikalia (Eastern Siberia, Russia). *PLoS ONE*, 15, e0235588.

Loeblich, A.R., Tappan H. (1988). Foraminiferal genera and their classification. Van Nostrand Reinhold, New York.

López-Dórigal, I., Diniz, M., Arias, P. (2019). Macrobotanical remains and shell-midden formation processes, are they related?. The case of Poças de São Bento (Portugal). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 469-481.

- Lulewicz, H.I., Thompson, D.V., Cramb, J., Tucker, B. (2017). Oyster paleoecology and Native American subsistence practices on Ossabaw Island, Georgia, USA. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 15, 282-289.
- Magee, P., Händel, M., Karacic, S., Uerpmann, M., Uerpmann, H.P. (2017). Tell Abraq during the second and first millennia BC: site layout, spatial organisation, and economy. *Arabian Archaeology and Epigraphy*, 28, 209-237.
- Marco-Barba, J.I., Burjachs, F., Reed, J.M., Santisteban, C., Useroa, J.M., Alberola, C., Expósito, I., Guillem, J., Patchett, F., Vicente, E., Mesquita-Joanes, F., Miracle, M.R. (2019). *Limnetica*, 38, 353-389.
- Marshall, F., Pilgram, T. (1993). NISP vs. MNI quantification of body-part representation. *American Antiquity*, 58, 261-269.
- Martín, J., Campos, P. (1995). El conchero de "Cañada Honda" (Aljaraque, Huelva): estrategias predatorias y modelos en transición. *SPAL*, 4, 9-24.
- Martins, J.M.M., Soares, A.M.M. (2013). Marine radiocarbon reservoir effect in Southern Atlantic Iberian coast. *Radiocarbon*, 55, 1123-1134.
- Martínez, S., Rojas, A., Ubilla, M., Verde, M., Perea, D., Piñeiro, G. (2006). Molluscan assemblages from the marine Holocene of Uruguay: composition, geochronology and paleoenvironmental signals. *Ameghiniana*, 43, 385-398.
- Mayoral, E., Pendón, J.G. (1986-1987). Icnofacies y sedimentación en zona costera. Plioceno superior(?), litoral de Huelva. *Acta Geologica Hispanica*, 21-22, 507-513.

- Moreno, N.R. (1994). Análisis arqueomalacológicos en la Península Ibérica. Contribución metodológica y biocultural. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- Moreno, N.R. (1995). Arqueomalacofauna de la Península Ibérica: un ensayo de síntesis. *Complutum*, 6, 353.
- Milker, Y., Schmiedl G. (2012). A taxonomic guide to modern benthic shelf foraminifera of the western Mediterranean Sea. *Palaeontologia Electronica*, 15, 1-134.
- Nocete, F., Alex, E., Nieto, J.M., Sáez, R., Inácio, N., Bayona, M.R. (2004-2005). Intensidad e intensificación en la primera minería y metalurgia del cobre especializada de la Península Ibérica (III milenio ANE): la identificación arqueológica de un proceso regional de deforestación y poluciónn. *Rampas*, 7, 33-49.
- Noti, A., Lourens, L.J., Geraga, M., Wesselinng, F.P., Haghipour, N., Georgiou, N., Christodoulou, D., Sergiou, S., Dimas, X., Vlachopoulos, A.G., Papatheodorou, G. (2022). Holocene Paleoenvironmental Evolution of a Semi-Enclosed Shallow Aegean Basin: A Combination of Seismic Stratigraphy and Sediment Core Proxies. *Water*, 14, 3688.
- O'Connell, T.C, Ballantune, R.M, Hamilton-Dyer, S., Margaritis, E., Oxford, S., Pantano, W., Millett, M., Keay, S.J. (2019). Vivir y morir en el *Portus Romae*. *Antigüedad*, 93, 719-734.
- Paolucci, E.M. (2010). Impacto del molusco invasor *Limnoperna fortunei* sobre el ecosistema: interacción trófica y efectos sobre las larvas de peces nativos. Tesis Doctoral (inédita), Universidad de Buenos Aires.

- Pendón, J.G., Rodríguez Vidal, J. (1986-1987). Caracteres sedimentológicos y geomorfológicos del Alto Nivel Aluvial cuaternario en el litoral de Huelva. *Acta Geologica Hispanica*, 21-22, 107-111.
- Ponder, W.F., Lindberg, D.R., Ponder, J.M. (2020). *Biology and Evolution of the Mollusca*. CRC Press, Boca Raton.
- Ponsich, M. (1988). *Aceite de oliva y salazones de pescado: factores geo-económicos de Bética y Tingitania*. Editorial Complutense.
- Pozo, M., Ruiz, F., Carretero, M.I., Rodríguez-Vidal, J., Cáceres, L.M., Abad, M., González-Regalado, M.L. (2010). Mineralogical assemblages, geochemistry and fossil associations of Pleistocene–Holocene complex siliciclastic deposits from the Southwestern Doñana National Park (SW Spain): A palaeoenvironmental approach. *Sedimentary Geology*, 225, 1-18.
- Rao, K. N., S. Pandey, S., Kubo, S., Saito, Y., Kumar, K. C. V., Demudu, G., Malini, B. H., Nagumo, N., Nakashima, R., Sadakta, N. (2020). Paleoclimate and Holocene relative sea-level history of the east coast of India. *Journal of Paleolimnology*, 64, 71-89.
- Reimer, P.J., McCormac, F.G. (2002). Marine radiocarbon reservoir corrections for the Mediterranean and Aegean Seas. *Radiocarbon*, 44, 159-166.
- Reis, H., Campos, P., Monge, R. (2020). El conchero de Cañada Honda I (Aljaraque, Huelva, España): nuevos datos para su caracterización cronológica y tecnocultural. *Onoba*, 8, 167-193.
- Reitz, E.J., Wing, E.S. (1999). *Zooarchaeology*. Cambridge Manuals in Archaeology, Cambridge University Press. Cambridge.

- Ruiz, F., Borrego, J., López-González, N., Abad, M., González-Regalado, M.L., Carro, B., Pendón J.G., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Prudencio, M.I., Dias, M.I. (2005). The geological record of a mid-Holocene marine storm in southwestern Spain. *Geobios*, 40, 689-699.
- Ruiz, F., Pozo, M., Carretero, M.I., Abad, M., González-Regalado, M.L., Muñoz, J.M., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Prudencio, M.I., Dias, M.I. (2010). Birth, evolution and death of a lagoon: Late Pleistocene to Holocene palaeoenvironmental reconstruction of the Doñana National Park SW Spain. En: *Lagoons: Biology, Management and Environmental Impact* (Friedman, A.G., ed.). Nova Science Publishers, New York, 371-396.
- Ruiz, F., Gómez, G., González-Regalado, M.L., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Gómez, P., Clemente, M.J., Bermejo, J., Campos, J., Toscano, A., Abad, M., Izquierdo, T., Muñoz, J.M., Carretero, M.I., Prudêncio, M.I., Dias, M.I., Marques, R., Tosquella, J., Romero, V., Monge, G. (2020). A multidisciplinary analysis of shell deposits from Saltés Island (SW Spain): The origin of a new Roman shell midden, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 538, 109416.
- Salomon, F., Delile, H., Goiran, J.-P., Bravard J.P., Keay, S. (2012). The *Canale di Comunicazione Traverso* in *Portus*: the Roman sea harbour under river influence (Tiber delta, Italy). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 1, 75-90.
- Schnedl S.M, Haselmair A, Gallmetzer I, Mautner A.K, Tomašových A, Zuschin M. (2018). Molluscan benthic communities at Brijuni Islands (northern Adriatic Sea) shaped by Holocene sea-level rise and recent human eutrophication and pollution. *The Holocene*, 28, 1801-1817

- Schapiera, D., Posada, J.M., Antczak, A. (2006). Evaluación Histórica y Bio-Ecológica de la Pesquería del Botuto (*Strombus gigas*) en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques (Venezuela), a través del Estudio de sus Concheros. Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 56, 753-762.
- Sergio, A.R. (2011). Asociaciones de moluscos marinos y estuarinos del Holoceno de Uruguay. En: El Holoceno en la zona costera de Uruguay (García Rodríguez, F., ed.), Universidad de la República-CSIC, Montevideo, 93-116.
- Siddall, M., Rohling, E.J., Almogi-Labin, A., Hemleben, C., Meischner, D., Schmelzer, I., Smeed, D.A. (2003). Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. Nature, 423, 853-858.
- Suárez Bores, P. (1971). Determinación de la edad mediante medidas del contenido carbono-14, en muestras de conchas procedentes de los litorales de Huelva y Valencia. Gabinete de Aplicaciones Nucleares a Obras Públicas, Madrid.
- Tacitus 2010. — Annales. XV, 18. Les Belles lettres (coll. Collection Des Universités de France), Paris.
- Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, G., Frascetti, S., Gristina, M., Knittweis, L., Martin, C.S., Pergent, G., Alagna, A., Badalamenti, F., Garofali, G., Gerakaris, V. Pace, M.L., Pergent-Martin, C., Salomidi, M. (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. Scientific Reports, 5, 12505.
- Thompson, V.D., Marquardt, W.H., Cherkinsky, A., Roberts Thompson, A.D., Walker, K.J., Newsom, L.A., Savarese, M. (2016). From Shell Midden to Midden-Mound: The Geoarchaeology of Mound Key, an Anthropogenic Island in Southwest Florida, USA. Plos One, 11, e0154611.

Tracey, S., Todd, J.A., Erwin, D.H. (1993). Mollusca: Gastropoda. En: The Fossil Record (Benton, M.J., ed.). Chapman & Hall, Londres, 131-167.

Trainito, E., Doneddu, M. (2005). Conchiglie del Mediterraneo. Il Castello, Milán.

Villada, F., Suárez, J., & Bravo, S. (2005). Nuevos datos sobre las factorías de salazones de Septem Fratres a raíz de los resultados de las excavaciones arqueológicas del Parador de Turismo La Muralla. *Cetariae*, 7-9

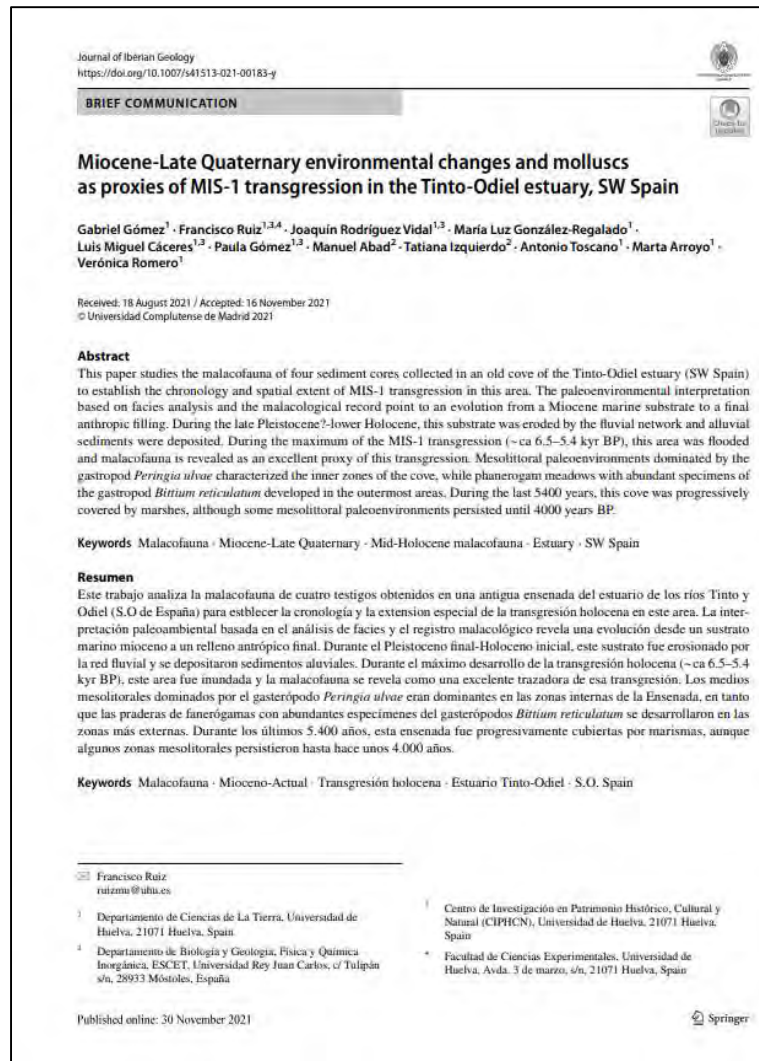
Zanor, G.A., Piovano, E.L., Ariztegue, D., Pasquini, A.I., Chiesa, J.O. (2013). El registro sedimentario Pleistoceno tardío-Holoceno de la Salina de Ambargasta (Argentina central): una aproximación paleolimnológica. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30, 336-354.

Zhi-Qiang, Z. (2011). Animal biodiversity: an introduction to higher-level classification and taxonomic richness. *Zootaxa*, 3148, 7-12.

INTERNET

University of Southampton. *Portus Project*. Recuperado de <https://www.Portusproject.org/topography/location/>.

World Register of Marine Species. Recuperado de <https://www.marinespecies.org/>



CAPÍTULO 2. Cambios ambientales del Mioceno-Cuaternario Superior y moluscos como indicadores de la transgresión del MIS-1 en el estuario del Tinto y el Odiel, SW de España

- Gómez, G., Ruiz, F., Vidal, J.R. *et al.* (2022). Miocene-Late Quaternary environmental changes and molluscs as proxies of MIS-1 transgression in the Tinto-Odiel estuary, SW Spain. *Journal of Iberian Geology*, 48, 129-140.
- Factor de impacto (2021): 1,59
- Categoría: Geology
- Clasificación: 24 de 49 (Q2; percentil 56,12).

CAPÍTULO 2

Debido a restricciones relativas a derechos de autor, el artículo “Miocene-Late Quaternary environmental changes and molluscs as proxies of MIS-1 transgression in the Tinto-Odiel estuary, SW Spain” ha sido retirado de la tesis. En sustitución del mismo ofrecemos la siguiente información: referencia bibliográfica, enlace a la revista y resumen.

- Gómez, G., Ruiz, F., Vidal, J.R. et al. Miocene-Late Quaternary environmental changes and molluscs as proxies of MIS-1 transgression in the Tinto-Odiel estuary, SW Spain. *J Iber Geol* 48, 129–140 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41513-021-00183-y>

Enlace al texto completo: <https://doi.org/10.1007/s41513-021-00183-y>

ABSTRACT:

This paper studies the malacofauna of four sediment cores collected in an old cove of the Tinto-Odiel estuary (SW Spain) to establish the chronology and spatial extent of MIS-1 transgression in this area. The paleoenvironmental interpretation based on facies analysis and the malacological record point to an evolution from a Miocene marine substrate to a final anthropic filling. During the late Pleistocene?-lower Holocene, this substrate was eroded by the fluvial network and alluvial sediments were deposited. During the maximum of the MIS-1 transgression (~ ca 6.5–5.4 kyr BP), this area was flooded and malacofauna is revealed as an excellent proxy of this transgression. Mesolittoral paleoenvironments dominated by the gastropod *Peringia ulvae* characterized the inner zones of the cove, while phanerogam meadows with abundant specimens of the gastropod *Bittium reticulatum* developed in the outermost areas. During the last 5400 years, this cove was progressively covered by marshes, although some mesolittoral paleoenvironments persisted until 4000 years BP.

RESUMEN:

Este trabajo analiza la malacofauna de cuatro testigos obtenidos en una antigua ensenada del estuario de los ríos Tinto y Odiel (S.O de España) para establecer la cronología y la extensión espacial de la transgresión holocena en esta zona. La interpretación paleoambiental basada en el análisis de facies y el registro malacológico revela una evolución desde un sustrato marino mioceno a un relleno antrópico final. Durante el Pleistoceno final-Holoceno inicial, este sustrato fue erosionado por la red fluvial y se depositaron sedimentos aluviales. Durante el máximo desarrollo de la transgresión holocena (~ ca 6.5–5.4 kyr BP), esta zona fue inundada y la malacofauna se revela como una excelente trazadora de esa transgresión. Los medios mesolitorales dominados por el gasterópodo *Peringia ulvae* eran dominantes en las zonas internas de la Ensenada, en tanto que las praderas de fanerógamas con abundantes especímenes del gasterópodo *Bittium reticulatum* se desarrollaron en las zonas más externas. Durante los últimos 5.400 años, esta ensenada fue progresivamente cubierta por marismas, aunque algunas zonas mesolitorales persistieron hasta hace unos 4.000 años.



CAPÍTULO 3. ANÁLISIS ARQUEOMALACOLÓGICO DEL CONCHERO DE CAÑADA HONDA (ESTUARIO MEDIO DEL RÍO ODIEL, S.O. DE ESPAÑA).

- Fernández, L., Ruiz, F., Gómez, G., Muñoz, J.M., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Gómez, P., Toscano, A., Arroyo, M., Romero, V. (2023). Mollusc collection and Holocene palaeogeographical evolution in a southwestern Iberian estuary: Statistical analysis of the early Holocene Cañada Honda shell midden (SW Spain). *Quaternary International*. Vol. 658; Pp 24-35.
- Factor de impacto (2021): 2,454
- Categoría: Geosciences, Multidisciplinary
- Clasificación: 124 de 202 (Q3; percentil 38,86)



Mollusc collection and Holocene palaeogeographical evolution in a southwestern iberian estuary: Statistical analysis of the early Holocene Cañada Honda shell midden (SW Spain)

Livia Fernández^a, Francisco Ruiz^{a,b,*}, Gabriel Gómez^a, Juan Manuel Muñoz^c, Joaquín Rodríguez Vidal^{a,b}, Luis Miguel Cáceres^{a,b}, Paula Gómez^a, Antonio Toscano^{a,b}, Marta Arroyo^a, Verónica Romero^a

^a Departamento de Ciencias de La Tierra, Universidad de Huelva, Avda. de Las Fuerzas Armadas, S/n, 21007, Huelva, Spain

^b Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural 41012 y Natural, Universidad de Huelva, Facultad de Humanidades, Campus de El Carmen, Avda. de Las Fuerzas Armadas, S/n, 21007, Huelva, Spain

^c Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Sevilla, C/ Tarfia, S/n, Sevilla, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Molluscs
Statistics
Taphonomy
Holocene mollusc collection
Estuary
SW Spain

ABSTRACT

The malacological analysis of the Cañada Honda shell midden (Tinto-Odiel estuary, SW Spain) has allowed an approximation of the palaeo biodiversity of this sector during the Mesolithic. During this period, the progressive marine transgression caused the flooding of this estuary, coinciding with an initial intensive capture of the bivalves *Lutraria* and *Ruditapes decussatus* in the northern and southern sector of this site, respectively. In a second phase, *Ruditapes decussatus* was the main collected species in all sectors. This last period coincided with some diversification in catches, still dominated by *Ruditapes decussatus* but with significant proportions of *Cerastoderma edule*. This stage witnessed a progressive sedimentary filling of the estuary and the creation of marshes and barrier islands. The almost total fragmentation of the specimens would imply that the surface of this shell midden was exposed for a long time while in use. In addition, an occasional charring of some molluscs has been detected. The main molluscs of this site are also the most abundant in other later shell middens (~cal 5.2–4 kyr BP), indicating an important perpetuation of the collecting and/or eating habits in this environment. All the species determined in them are also currently found in this estuary and its surroundings, where they are also captured.

1. Introduction

Coastal shell middens are accumulations of abundant zooarchaeological remains that derive from collection and consumption *in situ* by former inhabitants. They have a worldwide distribution, ranging from tropical regions to circumpolar zones (Herrera and Solis, 2011; Lewis, 2011; Hood and Grovdal, 2016; Ward et al., 2016; Astrup et al., 2021). Research carried out in them has identified the species present and numerous additional interesting results, such as: i) the potential uses of the main species (food, ornament, currency) in different historical periods; ii) diet, technology and seasons of site occupation; iii) population distributions, individuals sizes and species presence or absence; iv) past overexploitation of selected species; v) the spatial and temporal distribution of extinct species; or vi) paleoenvironmental changes in the adjacent coastal areas (Bailey, 1977; Attenbrow, 1992; Álvarez et al.,

2011; Bailey et al., 2013; Holdaway et al., 2017; Bailey and Hardy, 2021).

Bivalves and gastropods are some of the best represented groups within shell middens (Ceci, 1984; Stein, 1992; Álvarez et al., 2011; Albert and BujengChia, 2022). Among the former, oysters, cockles, mussels, and scallops have been highly appreciated and collected (Erlandson et al., 2009; Hallmann et al., 2009; Lulewicz et al., 2017; López-Dorigal et al., 2019). Among gastropods, strombids and muricids, as well as pulmonate and freshwater species, are abundant in these shell concentrations (Schapiera et al., 2006; Douka et al., 2014; Harasewych, 2015; Gordon et al., 2016; Magee et al., 2017).

Numerous coastal shell middens have been found in the Atlantic coasts of Europe from Norway to Portugal, ranging mainly from the Mesolithic-Neolithic interval (e.g. Milner et al., 2007; and references therein). Nevertheless, shell middens of the southwestern Spanish

* Corresponding author. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva, Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n, 21007, Huelva, Spain.
E-mail address: ruizmu@uhu.es (F. Ruiz).

<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2023.02.008>

Received 18 July 2022; Received in revised form 24 November 2022; Accepted 7 February 2023

Available online 18 February 2023

1040-6182/© 2023 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

littoral are still briefly studied (e.g. Ramos et al., 2011; Ruiz et al., 2020). In the Tinto-Odiel estuary (SW Spain), numerous shell deposits have been described in archaeological sites (Fig. 1, A-B), although they still require detailed study.

This paper analyses the macrofauna of the Cañada Honda shell midden (Tinto-Odiel estuary, SW Spain). The main objectives are: i) to obtain an approximation to the palaeo biodiversity of edible species in this estuary during the Mesolithic; ii) to detect temporary changes in feeding strategies based on statistical analysis of the malacological record; iii) to relate the geomorphological evolution of this estuary with the species determined in this shell midden; and iv) to compare the malacological record of this shell midden with those of other more recent shell middens located in the same estuary.

2. The Cañada Honda shell midden

2.1. Study area: Holocene evolution

The Tinto and Odiel rivers make up a wide estuary at their joint mouth in the Atlantic Ocean (Fig. 1, A-B). This estuary is currently in an advanced state of filling, with large internal marshes and barrier islands (e.g. Saltés Island) drained by numerous ebb-tide channels and protected by two sandy spits (Punta Umbría, Punta Arenillas) and two jetties. The main hydrodynamic processes are controlled by tides and, to a lesser extent, by fluvial inputs. The tidal regime is mesotidal and semidiurnal, with an average tidal range of 3.6 m (Borrego et al., 1993). Both the Odiel river (mean: $12.45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; maximum $>1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) and the Tinto river (mean $< 10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; maximum $>400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) have very irregular flows (Borrego et al., 1994; Cánovas, 2008).

2.2. The Cañada Honda shell midden

The Holocene human occupation of this estuary is evidenced by the presence of numerous archaeological sites (Fig. 1, B). One of them is the Cañada Honda shell midden, located on a hill (4–6 m height) on the western bank of the Odiel river (Fig. 1, C). It is bordered to the north by an ebb-tide channel, to the east by a mining railway and salt marshes (Fig. 1, D) and to the southwest by an aggregate quarry that destroyed more than half of the shell midden total surface. This shell midden is deposited on upper Pleistocene-early Holocene fluvial terraces that mainly consists of conglomerates and gravels (Cáceres, 1992; Martín and Campos, 1995). Thickness varies between 0.5 and 1.5 m and its internal structure is highly compacted by CaCO_3 dissolution from the shells.

Two archaeological levels have been distinguished in this shell midden (Borja et al., 1994).

- i) Basal level, with a lithic industry composed of flakes and cores. A calibrated age of a shell of the bivalve *Ruditapes decussatus* collected near the base of this level has been obtained ($7250 \pm 60 \text{ yr BP}$; cal. $7827\text{--}7465 \text{ yr BP}$; 2 sigma; $\Delta R = -108 \pm 31 \text{ yr}$; Reis et al., 2020).
- ii) Upper level, with ceramic fragments and bone accumulations. Comparison of these archaeological remains with those extracted from other sites in the estuary of the Tinto and Odiel rivers dates this level to the third millennium BCE (5000–4000 yr BP; Borja et al., 1994). Consequently, this shell midden was occupied for at least 2500 years and it would be situated as a cliff during the maximum of the Holocene transgression, with the adjacent areas occupied by intertidal zones and numerous ebb-tide channels (Borrego et al., 1999; Zazo et al., 2005; Cáceres et al., 2018).

2.3. Shell middens and paleogeographical evolution of the Tinto-Odiel estuary (8–3.5 kyr BP): a review

In the last decades, numerous shell middens have been identified in the Tinto-Odiel estuary, ranging from Paleolithic to Roman times (see

some examples in Fig. 1, B). A comparison of their malacological records with those of drill cores extracted in this estuary and the paleogeographical reconstructions inferred from them allows defining five phases between 10 kyr BP and 4 kyr BP.

First phase (~11–10 kyr BP). This estuary was emerged and dominated by the river dynamics, with an erosion of the fluvial valleys (Fig. 2, A; Dabrio et al., 2000). At this time, the sea level was at $-30\text{--}35 \text{ m}$ in the Spanish continental shelf (Hernández Molina et al., 1994). No malacological record has been found in the associated fluvial sediments.

Second phase (~10–8 kyr BP). The MIS 1 transgression caused the progressive flooding of river valleys, with the presence of tidal sedimentation in the central basin of the estuary (Borrego et al., 1999; Dabrio et al., 2000). The poorly known malacological record consisted mainly of bivalves, including some edible species (*Acanthocardia aculeata*, *Chamelea gallina*, *Donax* spp., *Ostrea edulis*) (Ruiz et al., 2005).

Third phase (8–6 kyr BP). This phase included the flooding of this area during the maximum of the MIS 1 transgression, with the presence of cliffs around the estuary (Fig. 2, A; Dabrio et al., 2000). This new paleogeographical situation coincided with the transit to more sedentary human societies (Bermejo et al., 2016; Bermejo et al., 2016).

Fourth phase (5–3 kyr BP). This phase is characterized by the growing of two sandy spits (Fig. 2, A: Punta Umbría, Punta Arenillas), the expansion of tidal flats and the increase of sandy shoals (Dabrio et al., 2000). Shell middens are more frequent (Fig. 2, A-B: Seminario, El Grillito, Papas Uvas, Casa del Río), with *C. edule* and ostreids as the most collected molluscs in the northern sector of the estuary (Borja et al., 1994) while *R. decussatus* and, to a lesser extent, *S. marginatus* were the preferred species in its central basin and near the mouth (Garrido and Vera, 2015; Nocete et al., 2004–2005).

3. Material and methods

3.1. Field

Three profiles (Fig. 1, D-F) were selected and cleaned back before extraction of samples to avoid the mixing of shells from the uppermost levels. Fifteen samples were extracted with a plastic palette. Each sample was collected every 10 cm vertically and then was placed in a self-sealing plastic bag. Two kilograms of bulk rock were extracted in each sample.

3.2. Laboratory

Two hundred grams of sediment were extracted from each sample and then mixed with water, calcium pyrophosphate and hydrogen peroxide to break up and remove organic matter. After stirring, the resulting solution rested for a minimum of 96 h in a plastic container. This solution was sieved through two sieves (2 mm–125 μm mesh diameter) and the preserved malacofauna specimens were carefully cleaned with a brush. The two resulting fractions were poured into heat-resistant ceramic capsules and dried in an electric oven (60°C for 36 h). The dried residues were weighed, labelled and packed in *minigrip* bags.

One hundred specimens were identified from each fractioned sample and then stored in plastic containers or on slides depending on the size. Thus, around two thousand specimens were selected and weighed in each sample. Taxonomic identification of the specimens was carried out according to Gómez (2017) and the World Register of Marine Species (WoRMS). In parallel to the taxonomic determination, the state of conservation (a whole or fragmented shell or valve), the type of valve (left or right) and other taphonomic aspects (pigmentation, perforations) were noted. Finally, the best-preserved specimens were photographed.

3.3. Statistical analysis

This analysis has been based on the calculated percentages of the

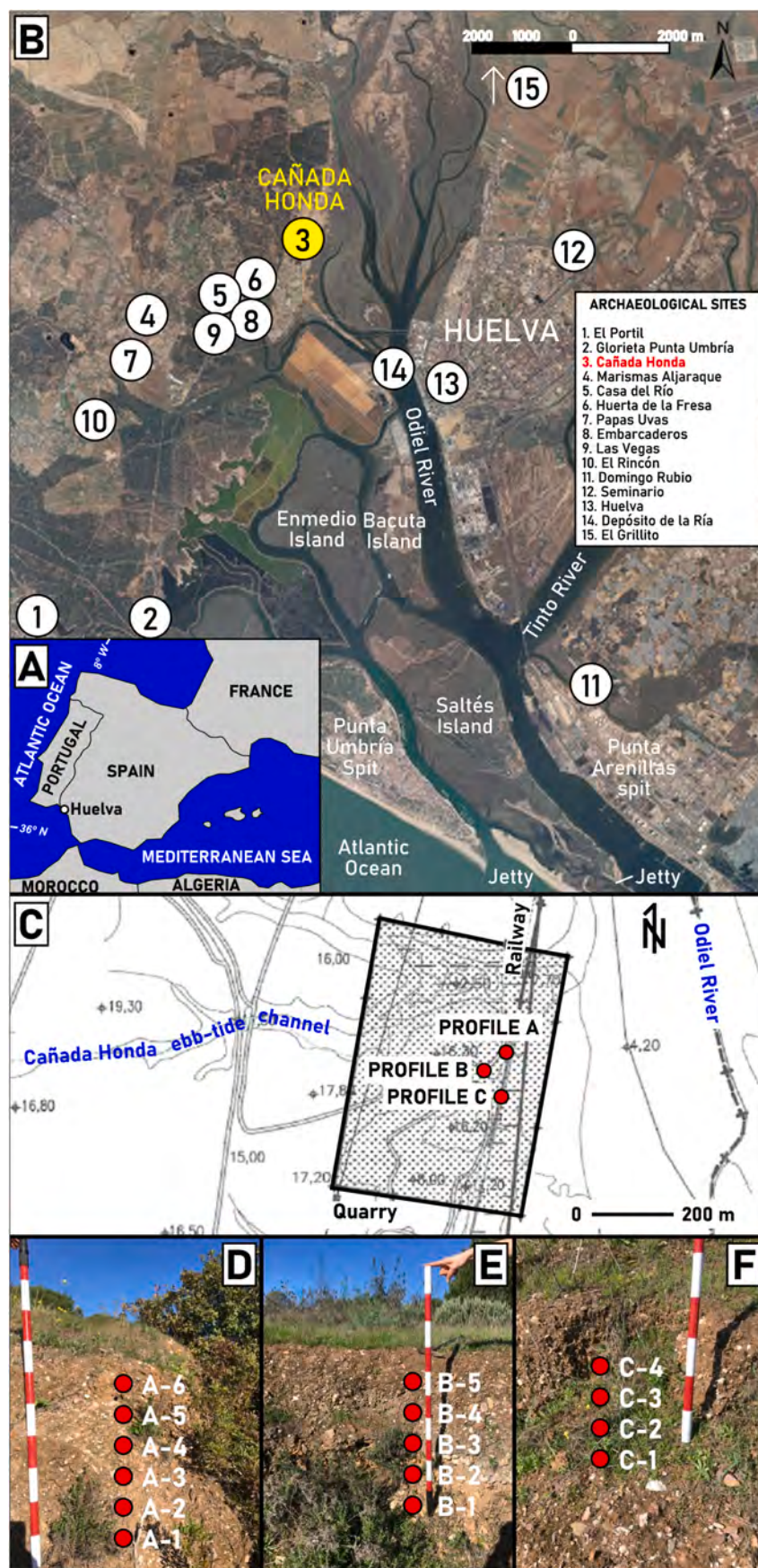


Fig. 1. A–B: location map of the Cañada Honda shell middens and other archaeological sites; C: location of the three profiles studied; D: detail of profile A and samples; E: detail of profile B and samples; F: detail of profile C and samples.

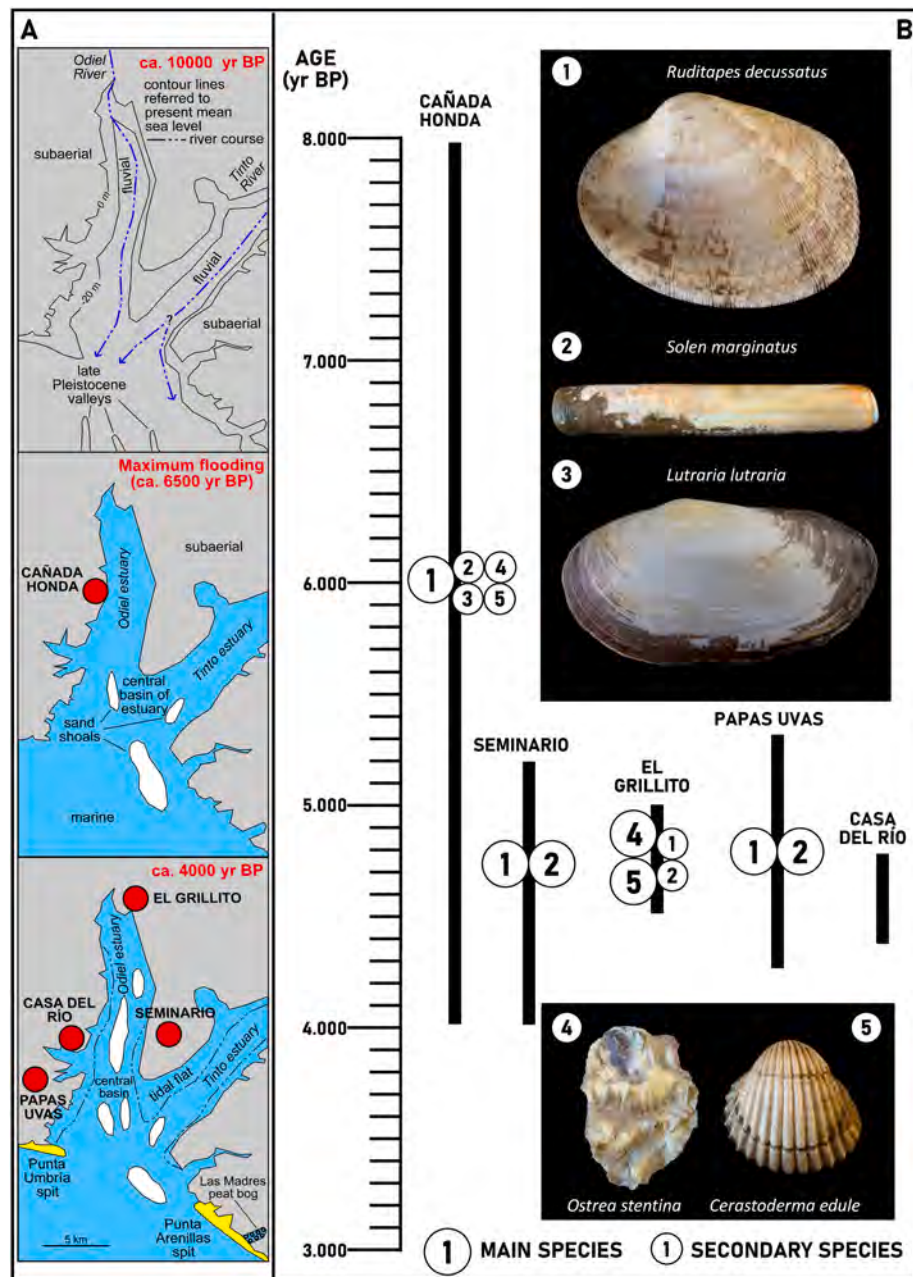


Fig. 2. A: paleogeographical evolution of the Tinto-Odiel estuary (10–4 kyr BP; modified from Dabrio et al., 2000), with location of some shell middens; B: main species collected in shell middens of different ages located in this estuary.

twelve most abundant species. It includes three steps: i) lineal correlation, to look for species assemblages; ii) Q-mode cluster analysis, with the differentiation of sample groups; and iii) principal component analysis. The extreme degree of fragmentation (see section 4.3) prevents the calculation of the minimum number of individuals (MNI) and consequently the number of identifiable specimens (NISP) of each sample has been used. In some archaeological sites of Kenia, MNI is a less representative descriptor of relative element frequency than NISP (Marshall and Pilgram, 1993).

4. Results

4.1. Stratigraphy

The three profiles are mainly composed of bioclastic silty sands deposited on around 3 m thick of fluvial gravels and conglomerates.

Profile A (Fig. 3, A: 70 cm thickness) is located on the northern side of Cañada Honda and presents abundant fractured shells, more abundant in the upper 40 cm of this profile. Profile B (Fig. 3, B) consists of 70 cm of which the basal 10 cm are gravels and conglomerates (diameter: 9–11 cm). The uppermost 60 cm includes two levels of scattered and fractured shells separated by lithic fragments. Finally, profile C (Fig. 3, C) is southern and is located in the upper part of the mining railway trench. This profile consists of 40 cm and is divided into three horizons: i) lower horizon (10 cm), with scattered shells, quartz pebbles and slate (1–2 cm diameter); ii) middle horizon (20 cm), with abundant shells with evidence of dissolution and the presence of clayey nodules with blackish colourations and evidence of heating; and iii) upper horizon (10 cm), characterized by quartz and slate cobbles (diameter up to 8 cm) and occasional fragments of fractured shells.

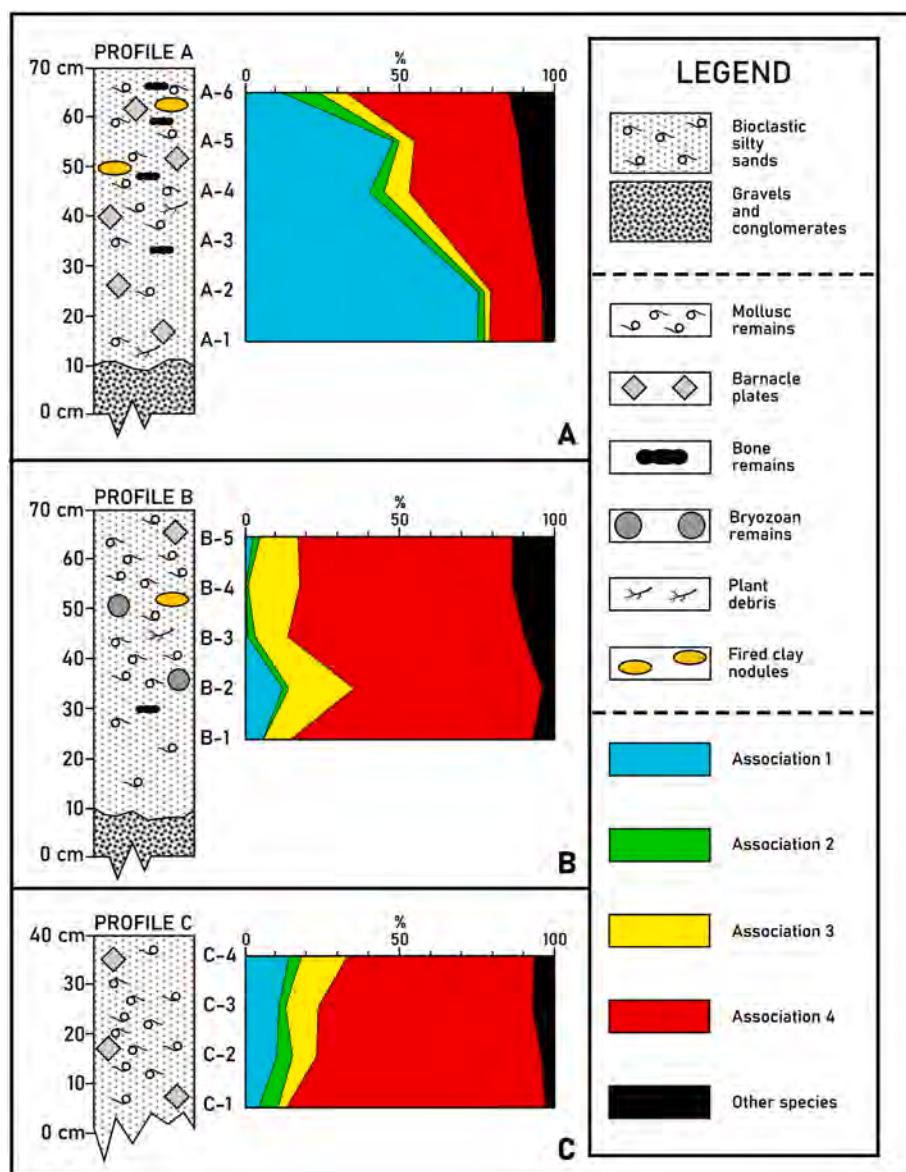


Fig. 3. Stratigraphy of selected profiles and vertical distribution of mollusc associations. A. Profile A; B. Profile B; C. Profile C.

4.2. Zooarqueology: profile distribution of the malacofauna

In total, 2914 valves, carapaces and shell fragments of molluscs have been studied and sixteen species have been identified (Table 1). In addition, the three profiles contain frequent barnacle plates, crustacean

claws, vertebrate bones, fish teeth and fragments of bryozoans. No marine or brackish microfauna (e.g. foraminifera or ostracods) have been found.

Bivalves are the dominant molluscs (95.34%; 7 species). The most abundant species are *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) (Fig. 4,

Table 1
Percentages of the species and mollusc diversity in the three profiles.

		AT	CE	LL	OE	OS	RD	SM	CG	CA	CV	PU	RL
BIVALVES	<i>Acanthocardia tuberculata</i> (AT)	1											
	<i>Cerastoderma edule</i> (CE) -Association 3-	-0.38	1										
	<i>Lutraria</i> (LL) -Association 1-	-0.16	<u>-0.54</u>	1									
	<i>Ostrea edulis</i> (OE) -Association 2-	-0.18	-0.07	-0.08	1								
	<i>Ostrea stentina</i> (OS)	0.01	0.39	-0.35	0.45	1							
	<i>Ruditapes decussatus</i> (RD) -Association 4-	0.23	0.41	-0.95	-0.09	0.09	1						
	<i>Solen marginatus</i> (SM) -Association 1-	0.03	-0.39	0.57	0.08	0.12	-0.7	1					
GASTROPODS	<i>Candidula gigaxii</i> (CG)	-0.22	0.19	-0.11	0.03	-0.01	0.07	0.1	1				
	<i>Cecilioides aciculata</i> (CA) -Association 2-	0.29	<u>-0.56</u>	0.02	0.63	-0.06	-0.02	0.07	-0.26	1			
	<i>Cerithium vulgatum</i> (CV) -Association 3-	-0.37	<u>0.55</u>	-0.47	0.14	0.19	0.4	-0.48	-0.22	-0.02	1		
	<i>Peringia ulvae</i> (PU)	0.28	-0.29	-0.27	-0.06	-0.42	0.37	-0.23	-0.13	-0.15	-0.2	1	
	<i>Rumina decollata</i> (RL) -Association 2-	-0.16	-0.23	0.24	0.81	0.27	-0.41	0.37	0.32	-0.42	-0.11	0.31	1

Bold: $p < 0.01$; underlined: $p < 0.05$.

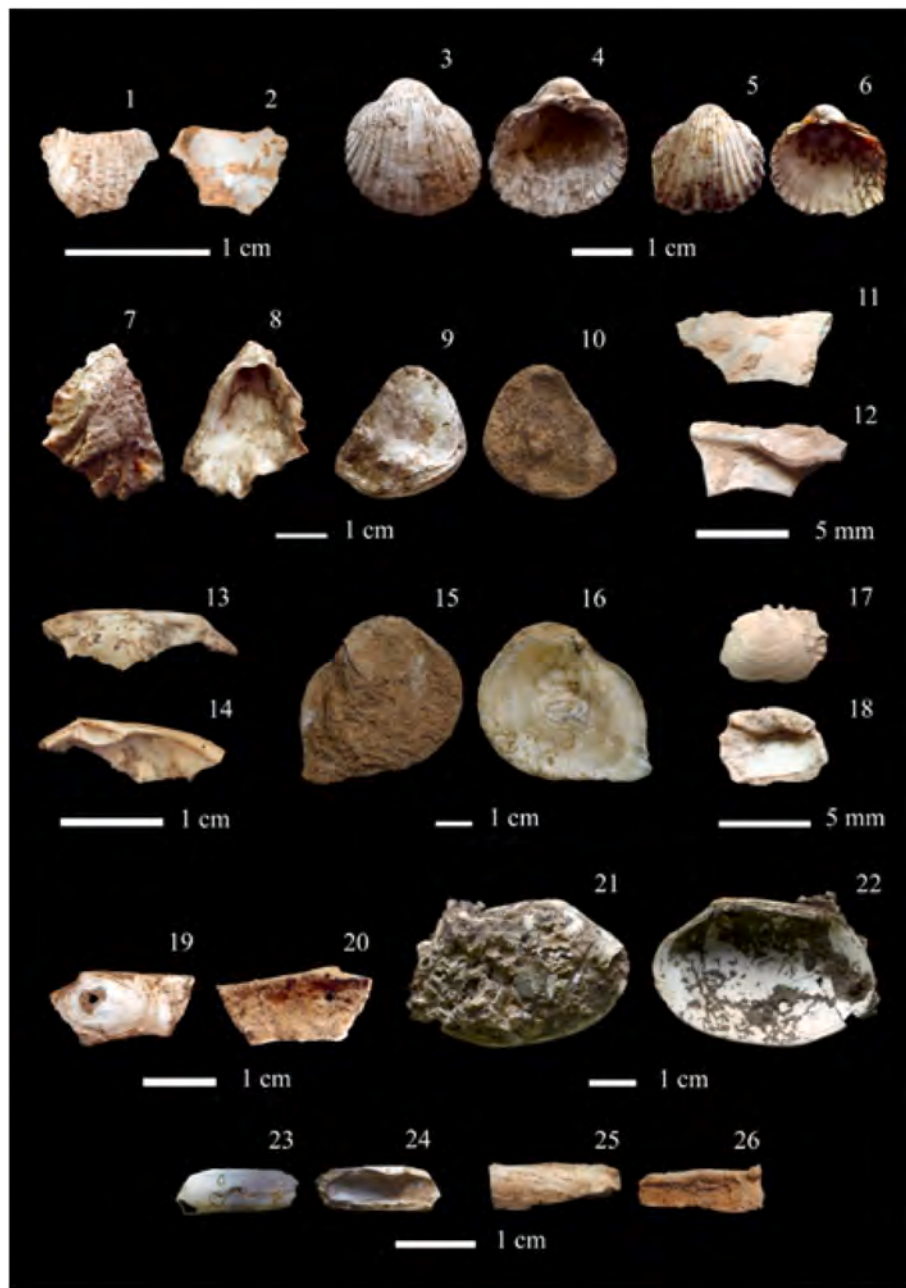


Fig. 4. Bivalves. 1–2: *Acanthocardia tuberculata*; 3–6: *Cerastoderma edule*; 7–10: *Ostrea stentina*; 11–14: *Lutraria*; 15–16: *Ostrea edulis*; 17–22: *Ruditapes decussatus*; 23–26: *Solen marginatus*.

17–22; 59.2%), followed by *Lutraria* (Linnaeus, 1758) (Figs. 2, 15–16; 17.46%) and *Cerastoderma edule* (Linnaeus, 1758) (Figs. 4, 3–6; 8.35%). Gastropods are very minority (4.66%; 8 species) and are represented by eight species, among which *Cecilioides acicula* (Müller et al., 2017) (Fig. 5, 4–5; 1.3%), *Cerithium vulgatum* Bruguière, 1792 (Figs. 3, 8–9; 1.1%) and *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) (Figs. 5, 18–21; 1.08%) are the most representative species. Finally, a single specimen of scaphopod has been collected (sample B-4).

The taxonomic identification of 1138 specimens from profile A has differentiated seven bivalve species and six gastropod species (Table 1). The dominant species is *L. lutraria* (base: 68.54–71.65%; top: 8.67%), with a remarkable decreasing trend towards the upper edaphic profile and a progressive replacement by *R. decussatus* (base: 17–18%; top: 53.57%). Other species with increasing percentages towards the top of the profile are *Ostrea stentina* Payraudeau, 1826 (Figs. 4, 7–10; base: 2%;

top: 10.5%) and *C. edule* (base: 1.5%; top: 6.5%). *Solen marginatus* Pulteney, 1799 (Figs. 4, 23–26) is well represented in the middle part of the profile (A-3 to A-5: 10–10.5%) and decreases in the upper sample (A-6: 1.5%). Pulmonate species, such as *C. acicula* (1–4.5%) and *R. decollata* (1–3.5%), are the most abundant gastropods. This group only exceeds 10% in the uppermost sample of this profile. Barnacle plates are frequent especially near the base and some isolated crab claws are also present.

Profile B shows a somewhat lower number of species per sample (6–10; mean: 7.4) compared to profile A (7–11; mean: 9). The taxonomic identification of 998 specimens has differentiated six bivalve species, six gastropod species and one scaphopod species (Table 1). The dominant species is *R. decussatus* (61–78.5%), with the maximum percentages at the base of the profile (sample B-1). Other abundant bivalve species are *C. edule* (7–17.5%) and *O. stentina* (3.5–11.56%). Gastropods are very scarce and only exceed 8% in sample B-3, with *C. vulgatum* (4.02%) as

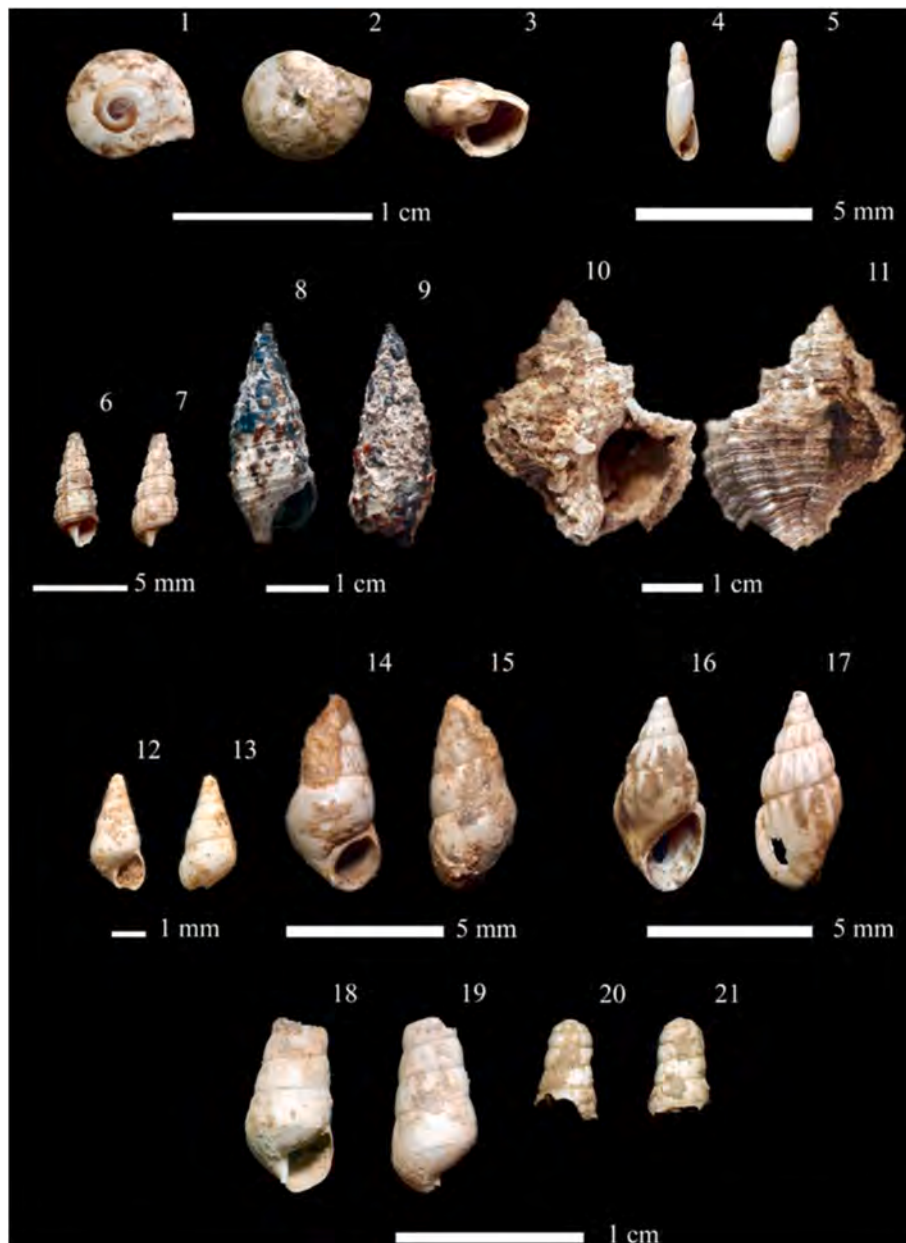


Fig. 5. Marine or estuarine (ms) and terrestrial gastropods (t). 1–3: *Candidula gigaxii* (t); 4–5: *Cecilioides acicula* (t); 6–7: *Bittium reticulatum* (ms); 8–9: *Cerithium vulgatum* (ms); 10–11: *Hexaplex trunculus* (ms); 12–15: *Peringia ulvae* (ms); 16–17: *Rissoa guerinii* (ms); 18–21: *Rumina decollata* (t).

the most representative species.

In profile C, the taxonomic analysis of almost 800 valves, carapaces and fragments has allowed to differentiate five bivalve species of five gastropod species (Table 1). High percentages of *R. decussatus* (>63%) characterise this profile, although there is a decreasing trend from the base (sample C-1: 88.95%) to the top (sample C-4: 63.68%). This species is partially replaced by *C. edule* (base: 2.63%; top: 13.16%), *L. lutraria* (base: 3.16%; top: 10.53%) and *O. stentina* (base: 3.68%; top: 6.84%). Regarding to gastropods, they are scarce (4.08–5.79%), being mainly represented by *C. acicula* and *Peringia ulvae* (Pennant, 1777) (Figs. 5, 12–15). Both species have their maximum percentages of abundance at the base of the profile (sample C-1). Barnacles are frequent in samples C-2 and C-4.

4.3. Taphonomy

The most remarkable taphonomical feature of the Cañada Honda

shell midden is the extremely high degree of fragmentation, with acute fractures in all species collected (Figs. 4 and 5). There are only 10 complete bivalve shells, which represent only 0.36% of the 2788 bivalve specimens determined. Most of the complete shells belong to ostreids [*O. stentina* and *Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) (Figs. 4, 15–16)]. The percentage of complete gastropod specimens is much higher compared to bivalves and 25 complete shells out of 136 specimens determined (18.4%) have been collected. They belong mainly to *C. vulgatum* (profile B: 7 specimens; profile C: 5 specimens) and *P. ulvae* (6 specimens).

Another noteworthy aspect is the presence of bivalve and gastropod specimens with signs of blackish colouring typical of carbonification (Fig. 6). This feature has been observed in some scarce bivalves (*C. edule*, *R. decussatus*) and a gastropod species [*Hexaplex trunculus* (Linnaeus, 1758) (Figs. 5, 10–11)]. In addition, a valve of *R. decussatus* presents a rounded perforation (Figs. 4, 19–20).

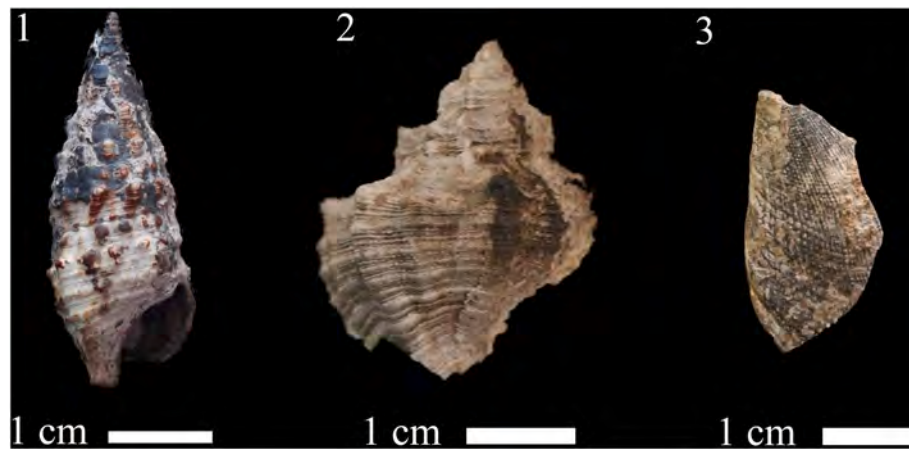


Fig. 6. Evidence of carbonification. 1: *Cerithium vulgatum*; 2: *Hexaplex trunculus*; 3: *Ruditapes decussatus*.

4.4. Statistical analysis

The linear correlation matrix distinguishes four species associations (Table 2): i) association 1: *L. lutraria*, *S. marginatus*; ii) association 2: *O. edulis*, *C. acicula*, *R. decollata*; iii) association 3: *C. edule*, *C. vulgatum*; and iv) association 4: *R. decussatus*.

Association 1 is dominant in the basal part of profile A (Fig. 3, A: samples A-1 and A-2) where it constitutes 73–74% of the total mollusc abundance. In this profile, the trend of this association is decreasing due to its direct relationship with the decline of *L. lutraria*. This abundance contrasts with the low percentages of this association in profile C (3.16–10.53%) and especially in profile B, where it even disappears in sample B-4. Association 2 is constituted by *O. edulis* and two pulmonate gastropods. This association is present in all samples of profile A but it only exceeds 10% in sample A-6 (Fig. 3, A), which contains the highest

percentages of pulmonate gastropods (8.16%). It is almost absent in profile B and does not exceed 4.21% in profile C.

In an overview, association 3 shows an increasing trend from the base towards the top in all three profiles (Fig. 3A and B-C). The maximum percentage is low in profile A (7.81%) compared to those of profiles B (20.5%) and C (15.79%). The monospecific association 4 is clearly dominant in profiles B and C (Fig. 3, B-C), as well as in the uppermost samples of profile A. This association is partially replaced by associations 1 and 3 along profile C.

Cluster analysis distinguishes four groups of samples (Fig. 7, A). Group 1 consists of the five lower samples of profile A and it is characterized by the highest percentages of assemblage 1 (38.03–74.23%; mean-M: 53.9%) and the lowest percentages of assemblage 4 (17.98–38.54%; M: 26.1%) This group includes two subgroups: i) subgroup 1.1 (samples A-1 and A-2), with the highest percentages of

Table 2
Correlation matrix and associations.

PROFILE		PROFILE A						PROFILE B					PROFILE C			
SPECIES/SAMPLES		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	C-1	C-2	C-3	C-4
BIVALVIA	<i>Acanthocardia tuberculata</i>			0.52		1.07						0.5				
	<i>Cerastoderma edule</i>	1.69	2.06	5.24	7.29	5.35	6.63	7	17.5	7.54	14.57	12.5	2.53	7.22	10.71	13.16
	<i>Lutraria</i>	68.54	71.65	45.03	28.65	33.69	8.67	5.5	12.5			3	3.03	6.19	8.16	10.53
	<i>Ostrea edulis</i>				1.56		3.57									
	<i>Ostrea stentina</i>	2.25	4.12	5.24	9.38	11.23	10.71	3.5	4.5	7.04	11.56	10	3.54	4.12	5.1	6.84
	<i>Ruditapes decussatus</i>	17.98	17.01	28.27	38.54	35.83	53.57	78.5	61	75.88	69.35	69.5	84.8	75.77	69.39	63.68
	<i>Solen marginatus</i>	5.06	2.58	11	9.38	10.7	1.53	0.5		1				1.03	2.04	
	Undifferentiated	0.56		1.05			4.08	2.5		0.5	1.51	3.5			0.51	
	<i>Bittium reticulatum</i>	0.56					1.02									
	<i>Candidula gigaxii</i> (p)				1.04			1		0.5					2.04	0.53
GASTROPODA	<i>Cecilioides aciculata</i> (p)	1.12	1.55	2.09	1.56	1.07	4.59						3.54	3.09		1.05
	<i>Cerithium vulgatum</i>				0.52		1.02	1.5	3	4.02	2.01	0.5		0.51		2.63
	<i>Hexaplex trunculus</i>									1.51						
	<i>Peringia ulvae</i>	0.56		0.52			0.51		0.5	1			1.52	2.06	0.51	
	<i>Rissoa guerinii</i>									0.5						
	<i>Rumina decollata</i> (p)	1.12	1.03	1.57	2.08	1.07	3.57	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1.02		1.53	1.58
	Undifferentiated	0.56					0.51									
	<i>Antalis dentalis</i>										0.5					
	Number of specimens studied	178	194	191	192	187	196	200	200	199	199	200	198	194	196	190
	Number of species	9	7	9	10	8	11	7	7	10	6	7	7	8	8	8
SCAPHOPODA	Gravels (% weight)-including bioclasts-	51.9	52.8	38.6	42.3	50.1	51.6	41.2	52.2	72.2	64.5	52.5	82.1	70.1	70	28.2
	Very coarse sands to fine sands (% weight)	19.5	21.5	31.6	28.6	24.1	21.3	31.7	21	12.1	13.6	21.4	8.3	14.5	13.3	28.9
	Very fine sands + silts + clays (% weight)	28.6	25.7	29.8	29.1	25.8	27.1	27.1	27.8	15.7	21.9	26.1	9.6	15.4	16.7	42.9
	Bioclasts studied (% weight)	11.6	11.6	10.6	20.3	15.8	21.1	9.8	14	16.5	19.1	11.4	17.2	16.3	4.2	3

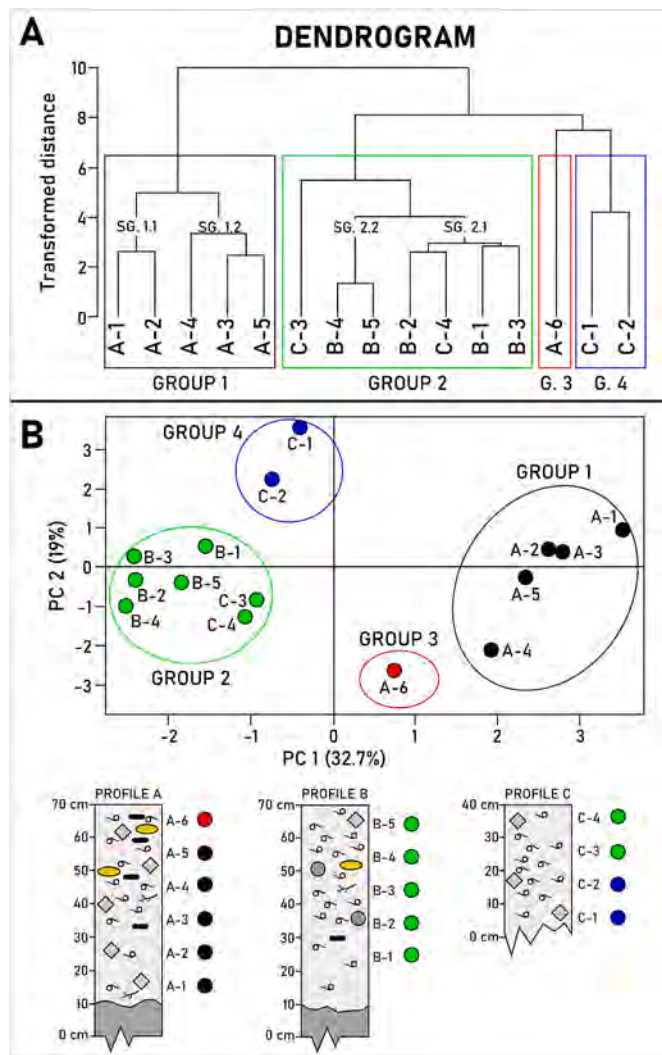


Fig. 7. A: cluster analysis; B: principal component analysis: PC1 vs PC2 and vertical distribution of the sample groups.

L. lutraria (68.54–71.65%); and ii) subgroup 1.2 (samples A-3 to A-5), with a partial replacement of this species (28.65–45.03%) by *R. decussatus* (28.27–38.54%).

All samples of profile B and the upper two samples of profile C are clustered into group 2 (Fig. 7, A). This group presents moderate to high percentages of assemblage 4 (61–78.5%; M: 55%) and the highest percentages of assemblage 3 (up to 20.5%). Two subgroups are also recognized: i) subgroup 2.1 (three basal samples of profile B and sample C-4), with moderate percentages of association 3 (8.5–20.5%) and a dominance of association 4 (61–78.5%); and ii) subgroup 2.2 (samples B-4 and B-5), which includes the highest percentages of *C. edule* and *O. stentina*.

Group 3 is represented by sample A-6, which is characterized by the highest diversity, moderate percentages of assemblage 4 and the highest percentages of ostreids (14.28%). Finally, the highest percentages of assemblage 4 (up to 88.95%) were found within group 4, constituted by the two basal sample of profile C.

The first two principal components (PC1 and PC2) explain 51.7% of the variance and its graph clearly separates the four previous groups (Fig. 7, B). Group 1 is linked to the highest values of PC1 (PC1 > 2), while group 2 presents the lowest values of this component [PC1 < (−0.9)]. On the other hand, PC2 differentiates group 3 [PC2 < (−2)] from group 4 (PC2 > 2). Consequently, both multivariate analyses support the existence of the four groups of samples.

5. Discussion

5.1. Where do the molluscs of Cañada Honda come from?

The malacological record of the Cañada Honda shell midden denotes the exploitation of different estuarine paleoenvironments such as: i) patches of the common otter shell *L. lutraria* in sublittoral soft substrates (sand, mud) (Kerr, 1981; Parry et al., 2003); ii) abundant populations of the carpet shell clam *R. decussatus* in mesolittoral to 5 m depth areas with freshwater inputs (Juanes et al., 2012; Gómez, 2017); iii) ebb-tide channels, estuarine depressions, low-energy beaches or tidal flats with numerous individuals of the common cockle *C. edule* (Flach, 1996; Flor et al., 1996); iv) intertidal rocky bottoms with specimens of the crested oyster *O. stentina*; or v) sandy-muddy intertidal zones with infaunal bottom communities of the razor clam *S. marginatus* (Saedi and Costello, 2019).

5.2. Taphonomic history of the cañada honda shell midden

The fragmentation of the shells leads to a significant loss of information and greater difficulty in taxonomy. The Cañada Honda shells have sharp, abrupt and highly fragmented edges. The geological movement/displacement could not have caused this high degree of fracturing because the edges of the shells should have been smooth and rounded. Therefore, the fracturing is related to various anthropic actions: i) the use of tools to open the shells of edible molluscs; ii) the very action of throwing the shells on the ground; or iii) trampling the shells in an area that they used as a “rubbish dump” close to the settlement site (e. g. Bermejo et al., 2016). The presence of some complete valves and shells (mainly oysters and *C. vulgatum*) may be due to: i) the robustness of these species and their greater resistance to taphonomic phenomena, from burial to *in situ* collection; or ii) variations in the way these species are prepared for consumption.

These shells can be grouped according to their taphonomic history into four groups: food remains, worked remains, intrusive remains and remains of unknown anthropic functionality. The most abundant taphonomic group at Cañada Honda is that of food remains (>95%). This group is made up of edible mollusc species which were collected by man and transported to the site to be consumed (Moreno, 1992). There are nine potentially edible species, including seven bivalve species (*A. tuberculata*, *C. edule*, *L. lutraria*, *O. edulis*, *O. stentina*, *R. decussatus*, *S. marginatus*) and two gastropod species (*C. vulgatum*, *H. trunculus*) (Theodoropoulou, 2008; Gómez, 2017).

Worked remains are constituted by several specimens of molluscs with evidence of carbonization because they were exposed to fire to be cooked or because the shells were part of the floor of their homes and on it, they made fires. This coincides with the presence of clay nodules with blackish colourations (Fig. 6), from the same process. The specimen of *R. decussatus* with a perforation belongs to this same taphonomic group because it could have been used as an ornament. This practice is usual in shell middens (Araujo, 2016).

The intrusive remains are made up of species that have been accumulated unintentionally in the shell midden, either at the same time or after the occupation of the site. This taphonomic group is formed by the three species of pulmonate gastropods (*C. gigaxii*, *C. acicula*, *R. decollata*) and the balanids, which appear as epifauna of the Cañada Honda oysters (Rodríguez et al., 2007).

Finally, the group of remains of unknown anthropic functionality is made up of malacological material that was collected by humans and shows no signs of consumption, modification and/or use (Moreno, 1992). The men from Cañada Honda may have accidentally collected specimens of scaphopods, balanids, crabs or ichthyofauna (fish vertebrae) during mollusc gathering. The presence of crab fragments and fish remains indicate that the exploitation of marine resources was not exclusive to molluscs. Crustaceans and fish were a marginal resource due to their accidental appearance during harvesting, but

complementary to the diet. In the case of the scaphopod, its striking morphology may have been attractive for collection during the search for molluscs on the shores of the site (Fernández Rodríguez et al., 2008; Garrido and Vera, 2015).

5.3. Evolution of the cañada honda shell midden

Two episodes can be defined in the evolution of the Cañada Honda shell midden, according to the archaeological and malacological records:

Episode 1. This episode includes the basal samples of the three profiles, differentiated by cluster analysis (subgroups 1.1, almost the entire subgroup 1.2, part of group 2 and group 4). These samples are arranged below the level with evidence of cooking or fire, detected both in the shells and by the presence of calcined clay nodules. During this period, there is a selective collection of bivalves, which are classified and stacked in the different profiles depending on the species (profile A; association 1: *L. lutraria*, *S. marginatus*; profiles B–C; association 4: *R. decussatus*). These species live in estuaries and lagoons, although association 1 is more common in deeper infralittoral areas while *R. decussatus* is more abundant in mesolittoral zones (Saedi and Costello, 2019). The different spatial concentrations of these two associations could be due to: i) a species-selective process after capture, according to the present-day culinary tastes (*L. lutraria*: low quality; *R. decussatus*: high quality) (Consejería de AgriculturaPesca, 2001); ii) a differential capture of shallow (e.g. *R. decussatus*) and deep (e.g. *L. lutraria*) burrowing species; or iv) the temporary exploitation of patches of *L. lutraria*, an usual distribution of this bivalve (Kerr, 1981).

Episode 2. This episode is characterized by the substantial use of the venus clam *Ruditapes decussatus* as the most consumed mollusc (up to 78.5% of the total specimens), a significant reduction in the percentages of *L. lutraria* and the progressive increase of *Cerastoderma* spp. (up to 14.6%) and *Ostrea* spp. (up to 14.3%). This episode includes further evidence of combustion both in shells and silty-clayey fragments (Fig. 8). These changes may be due to: i) an overexploitation of *L. lutraria* in the estuarine environment, as it has happened with other molluscs in various south Atlantic sectors of the Iberian Peninsula (Valente, 2010); ii) the paleogeographic evolution of this estuary, with a progressive increase of intertidal sedimentary areas favorable for *Cerastoderma* spp. owing to the growing of external sandy spits and marshes (Dabrio et al., 2000); iii) a diversification of harvesting areas, including new rocky zones with oysters; or iv) a simple change in the feeding habits of the collecting populations.

6. Conclusions

The analysis of almost 3000 specimens of molluscs extracted from the Cañada Honda shell midden (Tinto-Odiel estuary, SW Spain) allows to differentiate two phases in the evolution of this site. The first phase is characterized by a selective collection of bivalves, with *Lutraria* as the most representative species in the northern part of this shell midden while *Ruditapes decussatus* was extremely abundant in its southern sector. The second phase witnessed a predominance of *R. decussatus* throughout this site, a more diversified catch of bivalves (mainly ostreids and cockles) and the evidence of carbonification in some specimens. The most remarkable taphonomical feature is the extremely high degree of fragmentation (98.8%) and the presence of four groups (food remains, worked remains, intrusive remains and remains of unknown anthropic functionality). A comparison with other shell middens of this estuary shows that *R. decussatus* was the preferred mollusc species between 8 kyr BP and 4 kyr BP in the outer estuary, while oysters and cockles were abundantly collected in the inner estuary.

Author contributions

Conceptualization: all authors; Data curation: LF, FR, JRV; Formal



Fig. 8. Evidence de carbonization in clay nodules.

analysis: all authors; Funding acquisition: FR, JRV, MLGR; Investigation: all authors; Methodology: LF, FR, GG; Project administration: MLGR; Resources: all authors; Software: FR; Supervision: JRV; Validation: LMC, PG, AT; Visualization; MLGR; Roles/Writing - original draft: all authors; Writing - review & editing: LF, FR.

Data availability

All data for this article are available in the manuscript and citations. In addition, the raw data have been included (see Supplementary data).

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

This work has been carried out through the following projects: a) DGYCIT project CTM 2006-06722/MAR; b) DGYCIT project CGL 2006-01412; and c) FEDER 2014–2020 project UHU-1260298. Other funds have come from Andalusian Government (groups HUM-132, RNM-238, and RNM-293). It is a contribution to the Research Center in Historical, Cultural and Natural Heritage (CIPHCHN) of the University of Huelva. Valves and shells are deposited in the Laboratory of Paleontology and

Applied Ecology of the University of Huelva.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2023.02.008>.

References

- Albert, D.D.A., Bujeng, V., Chia, S., 2022. Identification of mollusc remains (bivalve and gastropod) from archaeological sites in semporna. Sabah. Trop. Life Sci. Res. 33, 197–237.
- Álvarez, M., Godino, I.B., Balbo, A.L., Madella, M., 2011. Shell middens as archives of past environments, human dispersal and specialized resource management. Quat. Int. 239, 1–7.
- Araujo, A.C., 2016. The significance of marine resources during the early mesolithic in Portugal. In: Dupont, C., Marchand, G. (Eds.), Archaeology of Maritime Hunter-Gatherers. From Settlement Function to the Organization of the Coastal Zone. Société préhistorique française, Paris, pp. 127–143, 127–143.
- Astrup, P.E., Benjamin, J., Stankiewicz, F., Woo, K., McCarthy, J., Wiseman, C., Baggaley, P., Jerbic, K., Fowler, M., Skriver, C., Bailey, G., 2021. A drowned Mesolithic shell midden complex at Hjarno Vesterhoved, Denmark and its wider significance. Quat. Sci. Rev. 258, 106854.
- Attenbrow, V., 1992. Shell bed or shell midden. Austral. Near E. Archaeol. 34, 3–21.
- Bailey, G.N., 1977. Shell mounds, shell middens and raised beaches in the Cape York Peninsula. Mankind 11, 132–143.
- Bailey, G., Hardy, K., 2021. Coastal prehistory and submerged landscapes: Molluscan resources, shell-middens and underwater investigations. Quat. Int. 584, 1–8.
- Bailey, G.N., Meredith-Williams, M.G., Alsharekhi, A.M., 2013. Shell mounds of the farasan islands, Saudi arabia. In: Bailey, G.N., Hardy, K., Camara, A. (Eds.), Shell Energy: Mollusc Shells as Coastal Resources. Oxbow, Oxford, pp. 241–254.
- Bermejo, J., Campos, J.M., García Rincón, J.M., Vera, J.C., 2016. Arqueología en el Paraje Natural de Marismas del Odiel (Huelva) y su entorno, desde la Prehistoria hasta época tardoantigua. In: Campos, J.M. (Ed.), El patrimonio histórico y cultural en el paraje natural Marismas del Odiel: Un enfoque diacrónico y transdisciplinar. Universidad de Huelva, Huelva, pp. 106–127.
- Borja, F., Barral, M.A., Muñoz, M., 1994. Los concheros arqueológicos de Cañada Honda y El Grillito (Estuario del Odiel, Huelva). In: Arnáez-Vadillo, J.M., Gómez Villar, A. (Eds.), Geomorfología en España. Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza, pp. 339–353.
- Borrego, J., Morales, J.A., Pendón, J.G., 1993. Elementos morfodinámicos responsables de la evolución reciente del estuario bajo del río Guadiana (Huelva). Geogaceta 11, 86–89.
- Borrego, J., Morales, J.A., Pendón, J.G., 1994. Holocene estuarine facies along the mesotidal coast of Huelva, south-western Spain. In: Fleming, B.W., Bartoloma, A. (Eds.), Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments, International Association of Sedimentologists. Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, pp. 151–170.
- Borrego, J., Ruiz, F., González-Regalado, M.L., Pendón, J.G., Morales, J.A., 1999. The Holocene transgression into the estuarine central basin of the Odiel River mouth (Cádiz Gulf, SW Spain): lithology and faunal assemblages. Quat. Sci. Rev. 18, 769–788.
- Cáceres, L.M., 1992. Geomorfología del interfluvio Odiel-Piedras en su zona de desembocadura. Cuad. Suroeste 3, 57–89.
- Cáceres, L.M., Gómez, P., González-Regalado, M.L., Clemente, M.J., Rodríguez Vidal, J., Toscano, A., Monge, G., Abad, M., Izquierdo, T., Monge, A.M., Ruiz, F., Ccampos, J. M., Bermejo, J., Martínez-Aguirre, A., López, G., 2018. Modelling the mid-late Holocene evolution of the Huelva estuary and its human colonization, south-western Spain. Mar. Geol. 406, 12–26.
- Cánovas, C.R., 2008. La calidad del agua de los ríos Tinto y Odiel. Evolución temporal y factores condicionantes de la movilidad de los metales. Ph. D. Thesis, Universidad de Huelva, Spain.
- Ceci, L., 1984. Shell midden deposits as coastal resources. Coast. Archaeol. 16, 62–74.
- Consejería de Agricultura y Pesca, 2001. Especies de interés pesquero en el litoral de Andalucía. Junta de Andalucía, Sevilla, Spain.
- Dabrio, C.J., Zazo, C., Goy, J.L., Sierro, F.J., Borja, F., Lario, J., González, J.A., Flores, J. A., 2000. Depositional history of estuarine infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cádiz, Southern Spain). Mar. Geol. 162, 381–404.
- Douka, K., Jacobs, Z., Lane, C., Grun, R., Farr, L., Hunt, L., Hunt, C., Inglis, R.H., Reynolds, R.H., Albert, P.P., Aubert, M., Cullen, V., Hille, E., Kinsley, L., Roberts, R. G., Tomlinson, E.L., Wulf, S., Baraker, G., 2014. The chronostratigraphy of the Haua Fteah cave (Cyrenaica, northeast Libya). J. Hum. Evol. 66, 39–63.
- Erlanson, J.M., Moss, M.L., Deslauriers, M., 2009. Life on the edge: early maritime cultures of the Pacific Coast of North America. Quat. Sci. Rev. 27, 2232–2245.
- Fernández Rodríguez, C., González, E., Bejega, V., 2008. Estudio del conchero del Castro de Punta Atalaia (San Cibrao, Lugo). Férvedes 5, 43–52.
- Flach, E.C., 1996. The influence of the cockle, *Cerastoderma edule*, on the macrozoobenthic community of tidal flats in the wadden sea. Mar. Ecol. 17, 87–98.
- Flor, G., Fernández, L.A., Menéndez, R., Martínez, E.M., Rodríguez, G., 1996. Dynamics and sedimentation of the mesotidal estuary of villaviciosa (asturias, northern Spain). Rev. Soc. Geol. Espana 9, 205–225.
- Garrido, E., Vera, J.C., 2015. Análisis espacial, contextual y funcional de un conjunto de estructuras domésticas del III milenio aC del yacimiento de La Orden-Seminario (Huelva). Rev. Atlántica-Mediterránea Arqueol. Soc. 17, 149–159.
- Gómez, G., 2017. Guía de los moluscos marinos de Huelva y el Golfo de Cádiz. Diputación de Huelva, Huelva, Spain.
- Gordon, T.A.C., Wilding, E.L., Aldridge, D.C., 2016. Predation of freshwater gastropods (*Viviparus viviparus*) by brown rats (*Rattus norvegicus*). J. Molluscan Stud. 82, 457–463.
- Hallmann, N., Burchell, M., Schone, B.R., Irvine, G.V., Maxwell, D., 2009. High resolution sclerochronological analysis of the bivalve mollusk *Saxidomus gigantea* from Alaska and British Columbia: techniques for revealing environmental archives and archaeological seasonality. J. Archaeol. Sci. 36, 2353–2364.
- Harasewych, M.G., 2015. Systematics and phylogeography of cerion sensu stricto (pulmonata: cerionidae) from Aruba, curacao and bonaire. J. Molluscan Stud. 81, 66–84.
- Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Rey, J., Pomar, L., 1994. Late Pleistocene–Holocene sediments on the Spanish continental shelves: a model for very high-resolution sequence stratigraphy. Mar. Geol. 120, 129–174.
- Herrera, A., Solís, F., 2011. El gusto por comer moluscos: preferencias y orígenes precolombinos en la bahía de Culebra, Costa Rica. Vínculos 34, 61–96.
- Holdaway, S.J., Fanning, P.C., Petchey, E.F., Allely, K., Shiner, J.L., Bailey, G., 2017. Temporal variability in shell mound formation at Albatross Bay, northern Australia. PLoS One 12, e0183863.
- Hood, B.C., Grovdal, S., 2016. Shellfish exploitation in Stone Age Arctic Norway: procurement patterns and household activities. Acta Borealis. 33, 1–29.
- Juanes, J.A., Bidegain, G., Echavarri-Erasun, B., Puente, A., García, A., García, A., Bárcena, J.F., Álvarez, C., García-Castillo, G., 2012. Differential distribution pattern of native *Ruditapes decussatus* and introduced *Ruditapes philippinarum* clam populations in the Bay of Santander (Gulf of Biscay): considerations for fisheries managements. Ocean Coast Manag. 69, 316–326.
- Kerr, A.K., 1981. Aspects of the Biology of Lutraria Lutraria (L.) (Bivalvia: Mactracea). PhD. Thesis. University of Glasgow.
- Lewis, J.P., 2011. Holocene Environmental Change in Coastal Denmark: Interactions between Land, Sea and Society. Ph.D. Thesis. Loughborough University.
- López-Dorigal, I., Diniz, M., Arias, P., 2019. Macrobotanical remains and shell midden formation processes, are they related?. The case of Pocas de Sao Bento (Portugal). Archaeol. Anthropol. Sci. 11, 469–481.
- Lulewicz, I.H., Thompson, V.D., Cramb, J., Tucker, B., 2017. Oyster paleoecology and native American subsistence practices on ossabaw island, Georgia, USA. J. Archaeol. Sci. Rep. 15, 282–289.
- Magee, P., Handel, M., Karacic, S., Uerpmann, M., Uerpmann, H.P., 2017. Tell Abraç during the second and first millennia BC: site layout, spatial organisation, and economy. Arabian Archaeol. Epigr. 28, 209–237.
- Marshall, F., Pilgram, T., 1993. NISP vs. MNI quantification of body-part representation. Am. Antiq. 58, 261–269.
- Martín, J., Campos, P., 1995. El conchero de "Cañada Honda" (Aljaraque, Huelva): estrategias predatorias y modelos en transición. SPAL 4, 9–24.
- Milner, N., Craig, O.E., Bailey, G.N. (Eds.), 2007. Shell Middens in Atlantic Europe. Oxbow Books, Oxford.
- Moreno, R., 1992. La explotación de moluscos en la transición Neolítico-Calcolítico del yacimiento de Papas Uvas (Aljaraque, Huelva). ARCHAEOFAUNA 1, 33–44.
- Müller, P., Staudigel, P.T., Murray, S.T., Vernet, R., Barussey, J.-P., Westphal, H., Swart, P.K., 2017. Prehistoric cooking versus accurate palaeotemperature records in shell midden constituents. Sci. Rep. 7, 3555.
- Nocete, F., Álex, E., Nieto, J.M., Sáez, R., Inácio, N., Bayona, M.R., 2004–2005. Intensidad e intensificación en la primera minería y metalurgia del cobre especializada de la Península Ibérica (III milenio ANE): la identificación arqueológica de un proceso regional de deforestación y polución. Rampas 7, 33–49.
- Parry, D.M., Kendall, M.A., Pilgrim, D.A., Jones, M.B., 2003. Identification of patch structure within marine benthic landscapes using a remotely operated vehicle. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 285–286, 497–511.
- Ramos, J., Domínguez, S., Cantillo, J.J., Soriguer, M., Pérez, M., Hernando, J., Vijande, E., Zabala, C., Clemente, I., Bernal, D., 2011. Marine resources exploitation by Palaeolithic hunter-Fisher-gatherers and Neolithic tribal societies in the historical region of the Strait of Gibraltar. Quat. Int. 239, 104–113.
- Reis, H., Campos, P., Monge, R., 2020. El conchero de Cañada Honda I (Aljaraque, Huelva, España): nuevos datos para su caracterización cronológica y tecnocultural. Onoba 8, 167–193.
- Rodríguez, C., Vázquez, J.M., Camino, J., 2007. Análisis del conchero del castro de El Campón (Villaviciosa, Asturias). In: de Publicaciones, Servicio, de Asturias, Principado (Eds.), Excavaciones arqueológicas en Asturias 1999-02, Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo. Oviedo, pp. 135–140.
- Ruiz, F., Borrego, J., López-González, N., Abad, M., González-Regalado, M.L., Carro, B., Pendón, J.G., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Prudencio, M.I., Dias, M.I., 2005. The geological record of a mid-Holocene marine storm in southwestern Spain. Geobios 40, 689–699.
- Ruiz, F., Gómez, G., González-Regalado, M.L., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Gómez, P., Clemente, M.J., Bermejo, J., Campos, J.M., Toscano, A., Abad, M., Izquierdo, T., Muñoz, J.M., Carretero, M.I., Prudencio, M.I., Dias, M.I., Marques, R., Tosquella, J., Romero, V., Monge, G., 2020. A multidisciplinary analysis of shell deposits from Saltés Island (SW Spain): the origin of a new Roman shell midden. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 538, 109416.
- Saedi, H., Costello, M.J., 2019. The biology, Ecology, and societal importance of razor clams. In: Goldstein, M.I., DellaSalla, D.A. (Eds.), Encyclopedia of the World's Biomes Elsevier, Amsterdam, pp. 1–5.
- Schapierea, D., Posada, J.M., Antczak, A., 2006. Evaluación Histórica y Bio- Ecológica de la Pesquería del Botuto (*Strombus gigas*) en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques (Venezuela), a través del Estudio de sus Concheros. Gulf Caribb. Fish. Inst. 56, 753–762.

- Stein, J.K., 1992. Deciphering a Shell Midden. Academic Press, San Diego.
- Theodoropoulou, T., 2008. From sea to land: the exploitation of molluscs in the geometric artisan site of Skala Oropou, Attica. In: Facorellis, Y., Zacharias, N., Polikreti, K. (Eds.), Proceedings of 4th Symposium of the Hellenic Society for Archaeometry. Archaeopress, Oxford, pp. 205–214.
- Valente, M.J., 2010. O Barranco das Quebradas (Vila do Bispo, Portugal) no contexto dos concheiros mesolíticos do Sudoeste Português. XELB 10, 15–38.
- Ward, I., Larcombe, P., Carson, A., Lane, A., 2016. Archaeological assessment of coastal and marine development sites: case study from James Price Point, Western Australia. J. Roy. Soc. West Aust. 99, 31–46.
- Zazo, C., Mercier, N., Silva, P.G., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Roquero, E., Soler, V., Borja, F., Lario, J., Polo, D., Luque, L., 2005. Landscape evolution and geodynamic controls in the gulf of cadiz (Huelva coast, SW Spain) during the late quaternary. Geomorphology 68, 269–290.



CAPÍTULO 4. ANÁLISIS MULTIDISCIPLINAR Y MULTIVARIANTE DEL CONCHERO ROMANO DE LA ISLA SALTÉS (ESTUARINO MARINO DE LOS RÍOS TINTO Y ODIEL, S.O. DE ESPAÑA).

- Ruiz, F., Gómez, G., González-Regalado, M.L., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L.M., Gómez, P., Clemente, M. J., Bermejo, J., Campos, J., Toscano, A., Abad, M., Izquierdo, T., Muñoz, J. M., Carretero, M. I., Prudencio, M. I., Díaz, M. I., Marques, R., Tosquella, J., Romero, V., Monge, G. (2020). A multidisciplinary analysis of shell deposits from Saltés Island (SW Spain): The origin of a new Roman shell midden. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 508, 109416.
- Factor de impacto (2020): 3,318
- Categoría: Paleontology
- Clasificación: 2 de 54 (Q1; percentil 97,22).

CAPÍTULO 4

Debido a restricciones relativas a derechos de autor, el artículo “A multidisciplinary analysis of shell deposits from Saltés Island (SW Spain): The origin of a new Roman shell midden” ha sido retirado de la tesis. En sustitución del mismo ofrecemos la siguiente información: referencia bibliográfica, enlace a la revista y resumen.

- Ruiz, F., Gómez, G., González-Regalado, M. L., Vidal, J. R., Cáceres, L. M., Gómez, P., Clemente, M. J., Bermejo, J., Campos, J., Toscano, A., Abad, M., Izquierdo, T., Muñoz, J. M., Carretero, M. I., Prudêncio, M. I., Dias, M. I., Marques, R., Tosquella, J., Romero, V., & Monge, G. (2020). A multidisciplinary analysis of shell deposits from Saltés Island (SW Spain): The origin of a new Roman shell midden. In *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Vol. 538, p. 109416). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109416>

Enlace al texto completo: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109416>

RESUMEN:

The analysis of shell deposits eroded by a ebb-tide channel on Saltés Island (Tinto-Odiel estuary, SW Spain) resulted in the identification of a new shell midden, associated with the activity of a nearby Roman factory over the 4th-5th centuries CE. This midden differs from other old shell deposits (sandy tidal flats, cheniers, washover fans) in several features: a) its malacological content, dominated by edible species (mainly the bivalve *Glycymeris nummaria*) and differentiated by statistical analysis; b) a partial selection and better conservation of *Glycymeris nummaria* (Linnaeus), its most abundant species; c) the absence of microfauna, which implies a previous washing to its final deposit; and d) an age concordant with the one deduced from the Roman amphoraic remains found in this area and subsequent to the washover fans on whom it was deposited. All these features, together with the absence of both anthropic fractures or cooking, would indicate that this Roman shell midden was the end result of a trawling on subtidal *Glycymeris*-rich sandy bottoms with adjacent grasslands, where the gastropod *Bittium reticulatum* (da Costa) was the most abundant mollusc. This gastropod is the dominant species in the remaining shell deposits.



CAPÍTULO 5. EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL *CANALE DI IMBOCCO (PORTUS, ITALIA CENTRAL)*.

- Abad, M., Ruiz, F., Arroyo, M., Gómez, G., Muñoz, A. F., Campos, J. M., Bermejo, J., Fernández, L., Bermejo, A., González-Regalado, M. L., Tosquella, J., Rodríguez Vidal, J., Muñoz, F., Pozo, M., Gómez, P., Toscano, A., Izquierdo, T., Romero, V. (2023). Late Holocene filling of the *Canale di Imbocco (Portus, central Italy)*: a multidisciplinary palaeoenvironmental perspective. *Comptes Rendus Paleovol* (en prensa)
- Factor de impacto (2021): 2,326
- Categoría: Paleontology
- Clasificación: 14 de 55 (Q2; percentil 75,45).

Late Holocene filling of the Canale di Imbocco (Portus, central Italy): a multidisciplinary palaeoenvironmental perspective

Manuel ABAD, Francisco RUIZ, Marta ARROYO, Gabriel GÓMEZ,
Adolfo F. MUÑOZ, Juan Manuel CAMPOS, Javier BERMEJO, Lucía FERNÁNDEZ,
Alberto BERMEJO, María Luz GONZÁLEZ-REGALADO, Josep TOSQUELLA,
Joaquín RODRÍGUEZ VIDAL, Fernando MUÑIZ, Manuel POZO,
Luis Miguel CÁCERES, Paula GÓMEZ, Antonio TOSCANO,
Tatiana IZQUIERDO & Verónica ROMERO

DIRECTEURS DE LA PUBLICATION / PUBLICATION DIRECTORS :
Bruno David, Président du Muséum national d'Histoire naturelle
Étienne Ghys, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

RÉDACTEURS EN CHEF / EDITORS-IN-CHIEF : Michel Laurin (CNRS), Philippe Taquet (Académie des sciences)

ASSISTANTE DE RÉDACTION / ASSISTANT EDITOR : Adenise Lopes (Académie des sciences ; cr-palevol@academie-sciences.fr)

MISE EN PAGE / PAGE LAYOUT : Audrina Neveu (Muséum national d'Histoire naturelle ; audrina.neveu@mnhn.fr)

RÉVISIONS LINGUISTIQUES DES TEXTES ANGLAIS / ENGLISH LANGUAGE REVISIONS : Kevin Padian (University of California at Berkeley)

RÉDACTEURS ASSOCIÉS / ASSOCIATE EDITORS (*, *took charge of the editorial process of the article/a pris en charge le suivi éditorial de l'article*):

Micropaléontologie/*Micropalaeontology*

Maria Rose Petrizzo* (Università di Milano, Milano)

Paléobotanique/*Palaeobotany*

Cyrille Prestianni (Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels)

Métazoaires/*Metazoa*

Annalisa Ferretti (Università di Modena e Reggio Emilia, Modena)

Paléoichthyologie/*Palaeoichthyology*

Philippe Janvier (Muséum national d'Histoire naturelle, Académie des sciences, Paris)

Amniotes du Mésozoïque/*Mesozoic amniotes*

Hans-Dieter Sues (Smithsonian National Museum of Natural History, Washington)

Tortues/*Turtles*

Walter Joyce (Universität Freiburg, Switzerland)

Lépidosauromorphes/*Lepidosauromorphs*

Hussam Zaher (Universidade de São Paulo)

Oiseaux/*Birds*

Eric Buffetaut (CNRS, École Normale Supérieure, Paris)

Paléomammalogie (mammifères de moyenne et grande taille)/*Palaeomammalogy (large and mid-sized mammals)*

Lorenzo Rook (Università degli Studi di Firenze, Firenze)

Paléomammalogie (petits mammifères sauf Euarchontoglires)/*Palaeomammalogy (small mammals except for Euarchontoglires)*

Robert Asher (Cambridge University, Cambridge)

Paléomammalogie (Euarchontoglires)/*Palaeomammalogy (Euarchontoglires)*

K. Christopher Beard (University of Kansas, Lawrence)

Paléoanthropologie/*Palaeoanthropology*

Aurélien Mounier (CNRS/Muséum national d'Histoire naturelle, Paris)

Archéologie préhistorique (Paléolithique et Mésolithique)/*Prehistoric archaeology (Palaeolithic and Mesolithic)*

Nicolas Teyssandier (CNRS/Université de Toulouse, Toulouse)

Archéologie préhistorique (Néolithique et âge du bronze)/*Prehistoric archaeology (Neolithic and Bronze Age)*

Marc Vander Linden (Bournemouth University, Bournemouth)

RÉFÉRÉS / REVIEWERS : <https://sciencepress.mnhn.fr/periodiques/comptes-rendus-palevol/referes-du-journal>

COUVERTURE / COVER :

Made from the Figures of the article.

Comptes Rendus Palevol est indexé dans / *Comptes Rendus Palevol is indexed by*:

- Cambridge Scientific Abstracts
- Current Contents® Physical
- Chemical, and Earth Sciences®
- ISI Alerting Services®
- Geoabstracts, Geobase, Georef, Inspec, Pascal
- Science Citation Index®, Science Citation Index Expanded®
- Scopus®.

Les articles ainsi que les nouveautés nomenclaturales publiés dans *Comptes Rendus Palevol* sont référencés par /
Articles and nomenclatural novelties published in Comptes Rendus Palevol are registered on:

- ZooBank® (<http://zoobank.org>)

Comptes Rendus Palevol est une revue en flux continu publiée par les Publications scientifiques du Muséum, Paris et l'Académie des sciences, Paris
Comptes Rendus Palevol is a fast track journal published by the Museum Science Press, Paris and the Académie des sciences, Paris

Les Publications scientifiques du Muséum publient aussi / *The Museum Science Press also publish*:

Adansonia, Geodiversitas, Zoosystema, Anthropolozologica, European Journal of Taxonomy, Naturae, Cryptogamie sous-sections *Algologie, Bryologie, Mycologie*.

L'Académie des sciences publie aussi / *The Académie des sciences also publishes*:

Comptes Rendus Mathématique, Comptes Rendus Physique, Comptes Rendus Mécanique, Comptes Rendus Chimie, Comptes Rendus Géoscience, Comptes Rendus Biologies.

Diffusion – Publications scientifiques Muséum national d'Histoire naturelle

CP 41 – 57 rue Cuvier F-75231 Paris cedex 05 (France)

Tél. : 33 (0)1 40 79 48 05 / Fax: 33 (0)1 40 79 38 40

diff.pub@mnhn.fr / <https://sciencepress.mnhn.fr>

Académie des sciences, Institut de France, 23 quai de Conti, 75006 Paris.

© This article is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
ISSN (imprimé / print): 1631-0683/ ISSN (électronique / electronic): 1777-571X

Late Holocene filling of the Canale di Imbocco (Portus, central Italy): a multidisciplinary palaeoenvironmental perspective

Manuel ABAD

Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica,
Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (ESCET),
Universidad Rey Juan Carlos, Avenida del Alcalde de Móstoles, 28933-Móstoles (Spain)
manuel.abad@urjc.es

Francisco RUIZ

Marta ARROYO

Gabriel GÓMEZ

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva,
Avenida Tres de Marzo, s/n., 21071-Huelva (Spain)
ruizmu@uhu.es (corresponding author)
mararser@gmail.com
ggomezalvarez@yahoo.es

Adolfo F. MUÑOZ

Departamento de Ciencias Integradas, Universidad de Huelva,
Avenida Tres de Marzo, s/n., 21071-Huelva (Spain)
adolfofmunoz@gmail.com

Juan Manuel CAMPOS

Javier BERMEJO

Lucía FERNÁNDEZ

Alberto BERMEJO

Departamento de Historia, Geografía y Antropología, Universidad de Huelva,
Avenida Tres de Marzo, s/n., 21071-Huelva (Spain)
campos@uhu.es
javier.bermejo@dhist1.uhu.es
lucia.fernandez@dhga.uhu.es
alberto.bermejo@dhga.uhu.es

María Luz GONZÁLEZ-REGALADO

Josep TOSQUELLA

Joaquín RODRÍGUEZ VIDAL

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva,
Avenida Tres de Marzo, s/n., 21071-Huelva (Spain)
montero@uhu.es
josep@uhu.es
jrvidal@uhu.es

Fernando MUÑIZ

Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola,
Universidad de Sevilla, C/ Profesor García González, 1, 41012-Sevilla (Spain)
fmuniz@us.es

Manuel POZO

Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid,
Avenida Francisco Tomás y Valiente, 7, 280149-Madrid (Spain)
manuel.pozo@uam.es

Luis Miguel CÁCERES

Paula GÓMEZ

Antonio TOSCANO

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva,
Avenida Tres de Marzo, s/n., 21071-Huelva (Spain)
mcaceres@uhu.es

paula.gomezgutierrez@hotmail.com

antonio.toscano@dgyp.uhu.es

Tatiana IZQUIERDO

Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica,
Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (ESCET),
Universidad Rey Juan Carlos, Avenida del Alcalde de Móstoles, 28933-Móstoles (Spain)
tatiana.izquierdo@urjc.es

Verónica ROMERO

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva,
Avenida Tres de Marzo, s/n., 21071-Huelva (Spain)
vero.ra93@gmail.com

Submitted on 22 February 2022 | Accepted on 29 June 2022 | Published on 26 June 2023

[urn:lsid:zoobank.org:pub:EAF5CF5C-5D7E-4A42-B711-42A973492780](https://zoobank.org/pub:EAF5CF5C-5D7E-4A42-B711-42A973492780)

Abad M., Ruiz F., Arroyo M., Gómez G., Muñoz A. F., Campos J. M., Bermejo J., Fernández L., Bermejo A., González-Regalado M. L., Tosquella J., Rodríguez Vidal J., Muñoz F., Pozo M., Cáceres L. M., Gómez P., Toscano A., Izquierdo T. & Romero V. 2023. — Late Holocene filling of the Canale di Imbocco (Portus, central Italy): a multidisciplinary palaeoenvironmental perspective. *Comptes Rendus Palevol* 22 (21): 467-478. <https://doi.org/10.5852/cr-palevol2023v22a21>

ABSTRACT

Portus was the main port of imperial Rome from the 2nd century AD to the 5th century AD, with an inner, hexagonal port (Trajan basin) and an outer port (Claudius basin) linked by a channel bounded by quays. Six sedimentary facies have been differentiated in the geological analysis of a core extracted in this channel, basically composed of poorly classified bioclastic muds typical of restricted environments, accumulations of *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813 and a final anthropic fill. The subfossil record of bivalves, foraminifera and ostracods is characteristic of Mediterranean brackish environments (lagoons, estuaries, deltas) with significant environmental stress, due to changes in the physical-chemical parameters and probably the periodic dredging of this seaway during a period of about 300 years. The presence of “Neptune balls” points to the development of probable stormy periods that deposit these unique structures in the internal areas of this historic port.

RÉSUMÉ

Comblement du Canale di Imbocco (Portus, Italie centrale) à l'Holocène supérieur : une perspective paléoenvironnementale pluridisciplinaire.

Portus était le principal port de la Rome impériale du I^{er} siècle après J.-C. au V^e siècle après J.-C., avec un port intérieur hexagonal (bassin de Trajan) et un port extérieur (bassin de Claudius) reliés par un canal délimité par des quais. Six faciès sédimentaires ont été différenciés dans l'analyse géologique d'une carotte extraite dans ce chenal, composée essentiellement de boues bioclastiques mal classées typiques des milieux restreints, d'accumulations de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813 et d'un dernier remblai anthropique. Le registre subfossile des bivalves, des foraminifères et des ostracodes est caractéristique des milieux saumâtres méditerranéens (lagunes, estuaires, deltas) avec des contraintes environnementales importantes, dues aux modifications des paramètres physico-chimiques et probablement au dragage périodique de cette voie maritime pendant une période d'environ 300 ans. La présence de « boules de Neptune » indique le développement de périodes orageuses probables qui déposent ces structures uniques dans les zones internes de ce port historique.

KEY WORDS

Sedimentology,
fossil record,
channel fill,
paleoenvironments,
Portus,
imperial Rome,
Central Italy.

MOTS CLÉS

Sédimentologie,
registre fossile,
remplissage de canal,
paléoenvironnements,
Portus,
Rome impériale,
Italie centrale.

INTRODUCTION

The current coastline is the transitory result of the interaction between numerous factors, such as fluvial action, wave direction and intensity, near-shore drift currents, sedimentary dynamics or human interactions. Its Holocene evolution is reconstructed based on the multidisciplinary analysis and interpretation of the sedimentary facies that make up its geological record, both in exposed sections and continuous sediment cores. The study is multidisciplinary and comprises the sedimentological characterization, the analysis of the fauna and flora or the distribution of the mineralogical components, with an unavoidable integration of radiometric dating (Zanor *et al.* 2013; González-Regalado *et al.* 2020).

This study is especially interesting in certain archaeological contexts, such as ancient cities or ports, whose development could have been conditioned by coastal erosion or sedimentation processes, by specific episodes of clogging or even by high-energy events, such as large storms or tsunamis (Kaniewski *et al.* 2018; Giaime *et al.* 2019). In these environments, the geoarchaeological analysis and especially the paleontological record is of special interest to infer the environmental conditions of each defined evolutionary phase, as well as the paleogeographic scenarios that occurred in the past (Salomon *et al.* 2012; Amato *et al.* 2020).

This paper carries out a multidisciplinary analysis of a continuous core obtained in Portus (Italy), one of the main Mediterranean ports during the Roman imperial era. It is intended to obtain a paleoenvironmental interpretation of its surroundings based on the application of different geological techniques. This study is part of the DEATLANTIR-I and DEATLANTIR-2 projects developed by the University of Huelva in the Lanterna dock and adjacent areas of Portus. A summary of the first findings can be consulted in Bermejo *et al.* (2021).

STUDY AREA

The ancient port of Portus was located about 30 km southwest of Rome, near the mouth of the Tiber River (Fig. 1A). Currently, it is a protected area within the Riserva Naturale Statale di Litorale Romano, which is about 2 km from the Tyrrhenian Sea and is bordered to the north by the Leonardo Da Vinci International Airport and to the west by the town of Fiumicino (Fig. 1B). This huge port was basically made up of an outer port or Claudius basin (*c.* 200 ha), which jutted out into the sea sheltered by two artificial breakwaters, a dock (*c.* 1 ha) and the inner hexagonal port of Trajan (*c.* 32 ha) (Keay 2012). Both ports communicated through the Canale di Imbocco, limited by wharves, among which was the elongated wharf of the Lanterna (Fig. 1B-D), and in turn with the Tiber river through an artificial canal (Fig. 1B: Fossa Traiana). This channel of communication between both ports had a draft of about 6–7 m, while both the outer and inner ports reached 7–8 m in depth (Goiran *et al.* 2010; Mazzini *et al.* 2011).

In 42 AD, Emperor Claudius started the construction of Portus due to: 1) the growing commercial demands of Rome, with more than a million inhabitants at this time (Mar *et al.* 2015); 2) the insufficiency of the port of Ostia (Fig. 1B) to satisfy their needs; and 3) its clogging problems linked to the flooding of the Tiber River and the coastal drift currents, which run from the NW-SE direction in this sector of the Italian coast. Its exposure to storms, with the destruction of 200 ships in 62 AD, coupled with continued silting, forced Emperor Trajan to expand it in the early 2nd century AD (100–112 AD; Keay *et al.* 2005).

Between the 2nd–5th centuries AD, Portus was one of the main ports of the Roman Empire, both for the import of raw materials and food, and for the export of products from the Tiber River valley. Its decline began due to progressive silting, Vandal incursions and the Gothic wars of the mid-6th century AD. From the 7th century AD, port activities continued only in the Trajan hexagon, but littoral progradation caused its abandonment and conversion to a swamp during the Medieval Warm Period (*c.* 950–1250 AD) (Di Bella *et al.* 2011; O’Connell *et al.* 2019).

Several studies have addressed the paleoenvironmental reconstruction of Portus and its surroundings, based on the analysis of continuous cores extracted in the interior port (e.g. Mazzini *et al.* 2011; Pepe *et al.* 2013; Delile *et al.* 2014) or the Claudio basin (Di Bella *et al.* 2011). Some additional researchs were focused on the connection channel between both ports (e.g. Goiran *et al.* 2010).

MATERIAL AND METHODS

FIELD WORK

Core PT (Fig. 1D, E: 5 m depth; 41°46’24”N, 12°15’11”E) was extracted in 2020 by the company Geocompany using usual rotation techniques in the entrance channel to Trajan basin, in the vicinity of the Lanterna dock. In an initial phase, a visual differentiation of the sedimentary facies was carried out, taking into account the lithology, the color, the contact between the different sedimentary units, the macrofaunistic content and the visible plant remains.

SEDIMENTOLOGICAL ANALYSIS

Sixteen representative samples of the identified facies were identified (Fig. 1E). They were sieved through a sieve column (2–0.063 mm), with a homogenization of the results in percentages of the different grain sizes. This grain size distribution was analyzed using the GRADISTAT software (Blott & Pye 2001), while the parameters (mean, classification, asymmetry and kurtosis) were calculated through the logarithmic graphical method of Folk & Ward (1957).

FAUNAL ANALYSIS

Forty grams of each sample were separated for paleontological study, which were processed through a 125 µm mesh diameter sieve. The entire bivalve macrofauna was extracted and classified according to Trainito & Doneddu

TABLE 1. — Main textural parameters of the studied samples.

Sample	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6	PT-7	PT-8	PT-9	PT-10	PT-11	PT-12	PT-13	PT-14	PT-15	PT-16
Sample type	Unimodal very poorly sorted	Trimodal very poorly sorted	Polymodal very poorly sorted	Trimodal very poorly sorted	Bimodal very poorly sorted	Bimodal very poorly sorted	Bimodal very poorly sorted	Polymodal very poorly sorted	Bimodal very poorly sorted	Bimodal very poorly sorted	Polymodal very poorly sorted	Polymodal very poorly sorted	Bimodal very poorly sorted	Polymodal very poorly sorted	Bimodal very poorly sorted	Trimodal very poorly sorted
Textural group	Muddy gravel	Muddy sandy gravel	Gravelly muddy sand	Gravelly mud	Gravelly mud	Muddy gravel	Gravelly mud	Gravelly mud	Muddy gravel	Muddy gravel	Gravelly mud	Gravelly mud	Gravelly mud	Gravelly mud	Muddy gravel	Slightly gravelly muddy sand
Mean	Coarse sand	Coarse sand	Medium sand	Very fine sand	Fine sand	Fine sand	Very fine sand	Fine sand	Fine sand	Fine sand	Fine sand	Fine sand	Fine sand	Fine sand	Medium sand	Very fine sand
Sorting	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Very poorly sorted	Poorly sorted
Skewness	Very fine skewed	Very fine skewed	Symmetri-cal	Very fine skewed	Very fine skewed	Very fine skewed	Very coarse skewed	Very coarse skewed	Very coarse skewed	Very coarse skewed	Very coarse skewed	Very coarse skewed	Very coarse skewed	Very coarse skewed	Symmetri-cal	Very skewed
Kurtosis	Platykurtic	Very platykurtic	Very platykurtic	Leptokurtic	Very platykurtic	Very platykurtic	Extremely leptokurtic	Very platykurtic	Very platykurtic	Very platykurtic	Platykurtic	Mesokurtic	Platykurtic	Very platykurtic	Very platykurtic	Mesokurtic
% Gravel	67.4	55.9	19	6.4	24.6	30.4	9.6	24.6	33.1	33.1	17.9	16.2	20.2	28.5	37.3	3.1
% Sand	13.7	25.3	42.6	25	12.6	16.1	15.8	26	10.7	10.5	30.9	22.8	18.5	24.6	21.8	48.8
% Mud	18.9	18.8	38.4	68.5	62.8	53.5	74.6	49.4	56.2	56.4	51.2	61	61.4	46.9	40.8	48.1

(2005) and the World Register of Marine Species (WoRMS). In addition, the analysis of the most abundant species of foraminifera was carried out, which were classified according to Loeblich & Tappan (1988) updated in the World Foraminifera Database (Hayward *et al.* 2021) and Milker & Schmiedl (2012). An analysis of the ostracod distribution was also carried out and individuals were classified according to Bonaduce *et al.* (1976), Meisch (2000), Mazzini *et al.* (2011) and WoRMS.

DATING

Two radiometric dates were obtained at the Beta Analytic laboratories (Miami, United States). They were calibrated with the Calib 8.2 program, using the reservoir effect (58 ± 85 yr) indicated by Reimer & McCormac (2002) for this sector of the Western Mediterranean during this time interval.

RESULTS

SEDIMENTARY FACIES AND MALACOFAUNA

Six sedimentary facies were differentiated (Fig. 2: F-1 to F-6). F1 (5-4.75 m depth) is composed of poorly classified, poorly compacted, gray sandy muds with a strongly asymmetric and mesokurtic distribution (Table 1: silt + clay: 48.6%; sands: 48.2%). This facies includes few valves of the bivalves *Polinitapes rhomboides* (Pennant, 1777) (Fig. 3B) and *Modiolus* spp. (juvenile forms), as well as balanid plates and fragments of bryozoan colonies. F2 is formed by fairly compact bioclastic muds (silt + clay: 41-47%; gravel-sized bioclasts: 28-37%), very poorly classified and with a highly asymmetric and very platykurtic distribution in most samples. The macrofaunistic content of the bioclastic gravel fraction makes it possible to differentiate between two subfacies (Table 2): 1) F2a (4.75-4.25 m; 4-3.3 m; 2.85-2.2 m), characterized by the predominance of valves and fragments of the bivalve *Polinitapes rhomboides*; and 2) F2b (4.25-4 m; 1.85-1.65 m), with a greater abundance of the bivalve *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789) (Fig. 3A). Both species present similar proportions in the central part of the core (F2a-F2b: 2.2-1.85 m).

F3 (3.3-2.85 m; 1.65-1.25 m) is made up of compact accumulations of fibers from the seagrass *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813 (Fig. 3E) with a muddy matrix (silt + clay: 60-62%; gravel-sized bioclasts: 16-28%). This facies includes hemispherical structures of fibers of this phanerogam called “Neptune balls” (Fig. 3F), as well as shells and fragments of *Cerastoderma glaucum* and remains of serpulid calcareous tubes.

In the uppermost 1.25 m of core PT, the grain size and its composition make it possible to differentiate three facies, as follows: 1) F4 (1.25-0.65 m), composed of poorly selected sandy muds and muddy sands with variable classification and symmetry; 2) F5 (0.65-0.4 m), made up of very poorly classified fine gravels (gravel: 55.9%), very platykurtic and with a slightly asymmetrical distribution; and 3) F6 (0.4-0 m), with unimodal medium to coarse gravels (gravel: 67.3%)

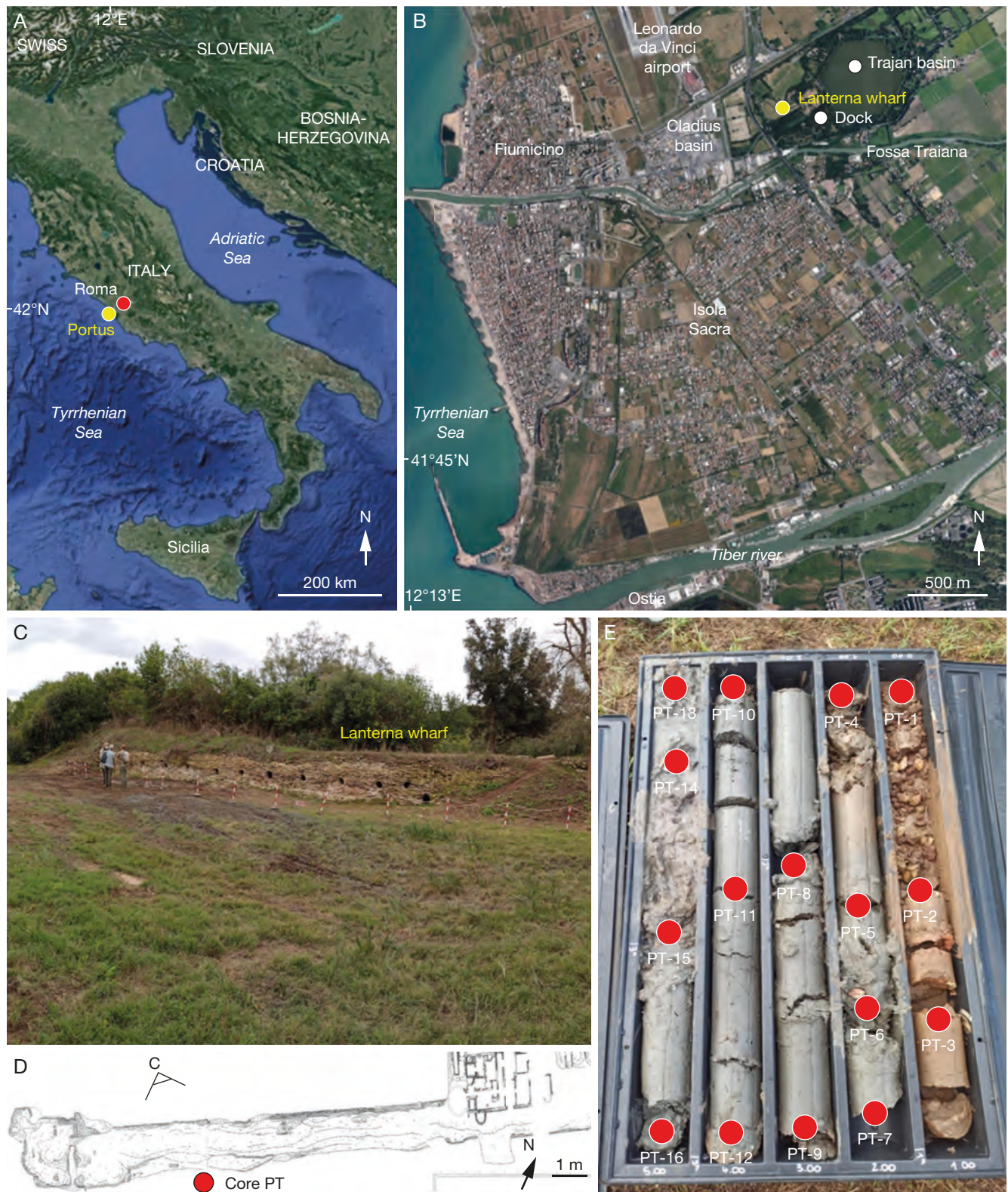


FIG. 1. — **A**, Location of Portus; **B**, present-day map of Portus and the adjacent areas; **C**, Lanterna dock, located in the Canale di Imbocco; **D**, map of Lanterna dock, with location of core PT; **E**, core PT, with the situation of the studied samples. Credits: A, B, courtesy of Google Earth.

with numerous quartzite edges. These three facies are distinguished by a scarcity of bioclastic fragments and the presence of construction material of anthropic origin (residues of mortar, cement, etc.).

MICROFAUNA

Foraminifera and ostracods are present in all facies except F6. Benthic foraminifera are scarce in F1 (<5 individuals/gram) and are composed by rare specimens of *Ammonia beccarii*

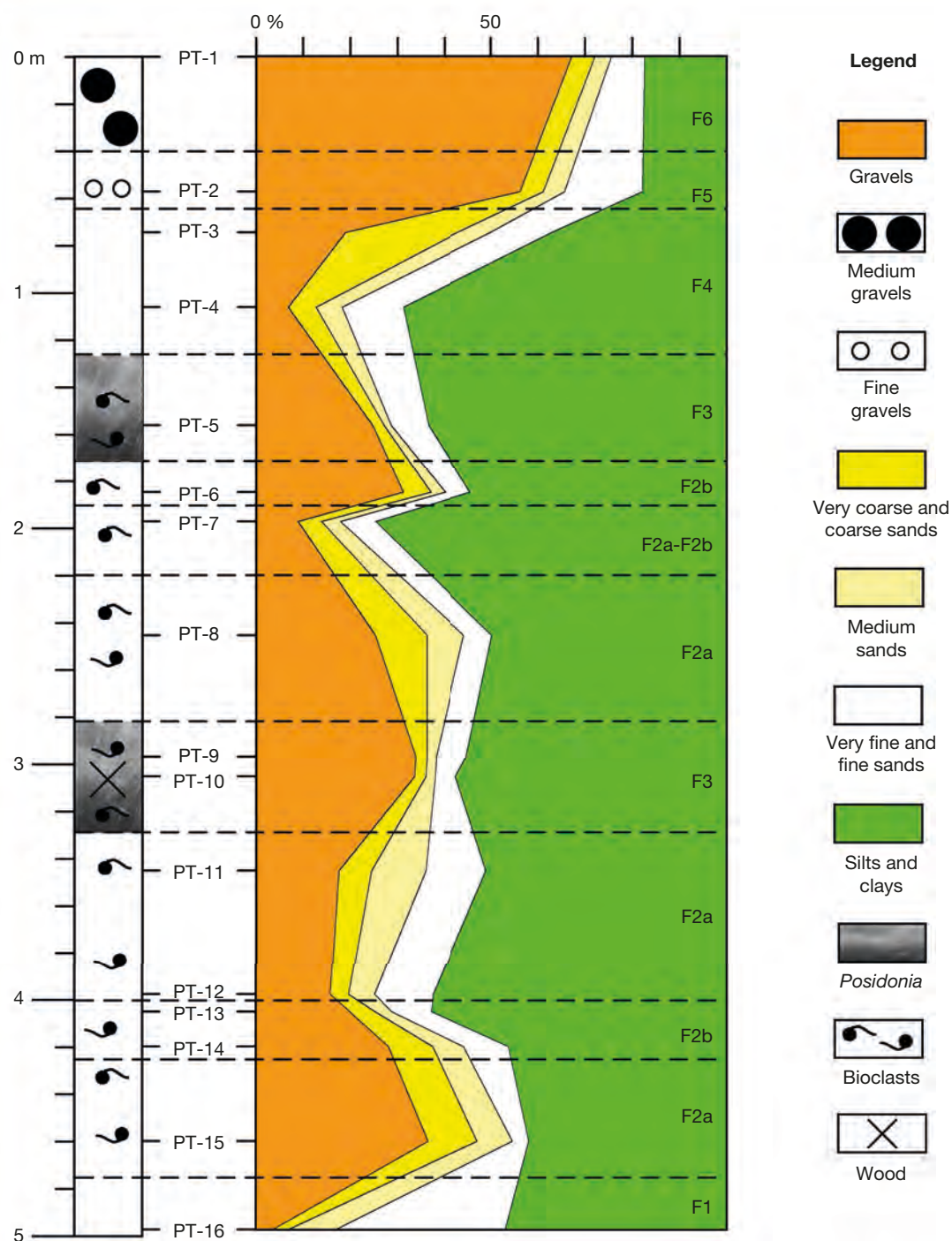


FIG. 2. — Grain-size analysis of core PT, with the delimitation of the different sedimentary facies.

(Linnaeus, 1758), *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758), and miliolid fragments (mainly *Quinqueloculina* and *Triloculina*), heavily reworked with loss of the last chambers. Ostracods are mainly represented by moults and adults of *Cyprideis torosa* (Jones, 1850) (Fig. 3E) and *Pontocythere turbida* (Müller, 1894), together with some loose valves of *Carinocythereis* spp.

The density of these microfaunistic groups increases in F2 (15–20 individuals/gram). *Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758) and *Ammonia tepida* (Cushman, 1926) (Fig. 3C) are the most representative benthic foraminifera of F2a, frequently

accompanied by the ostracods *Cyprideis torosa* and *Pontocythere turbida*. *Ammonia tepida* is more abundant in F2b, while *Loxococoncha elliptica* Brady, 1868 and *Cyprideis torosa* are the most representative ostracod species.

Benthic foraminifera are abundant in F3, with *A. tepida* (>70%) as the most significant species (10–20 individuals/gram). Ostracods are notably more abundant than foraminifera, with numerous valves and shells of *C. torosa* (>300 individuals/gram) and frequent specimens of *Loxococoncha elliptica* and *Pontocythere turbida*. The abundance of benthic foraminifera

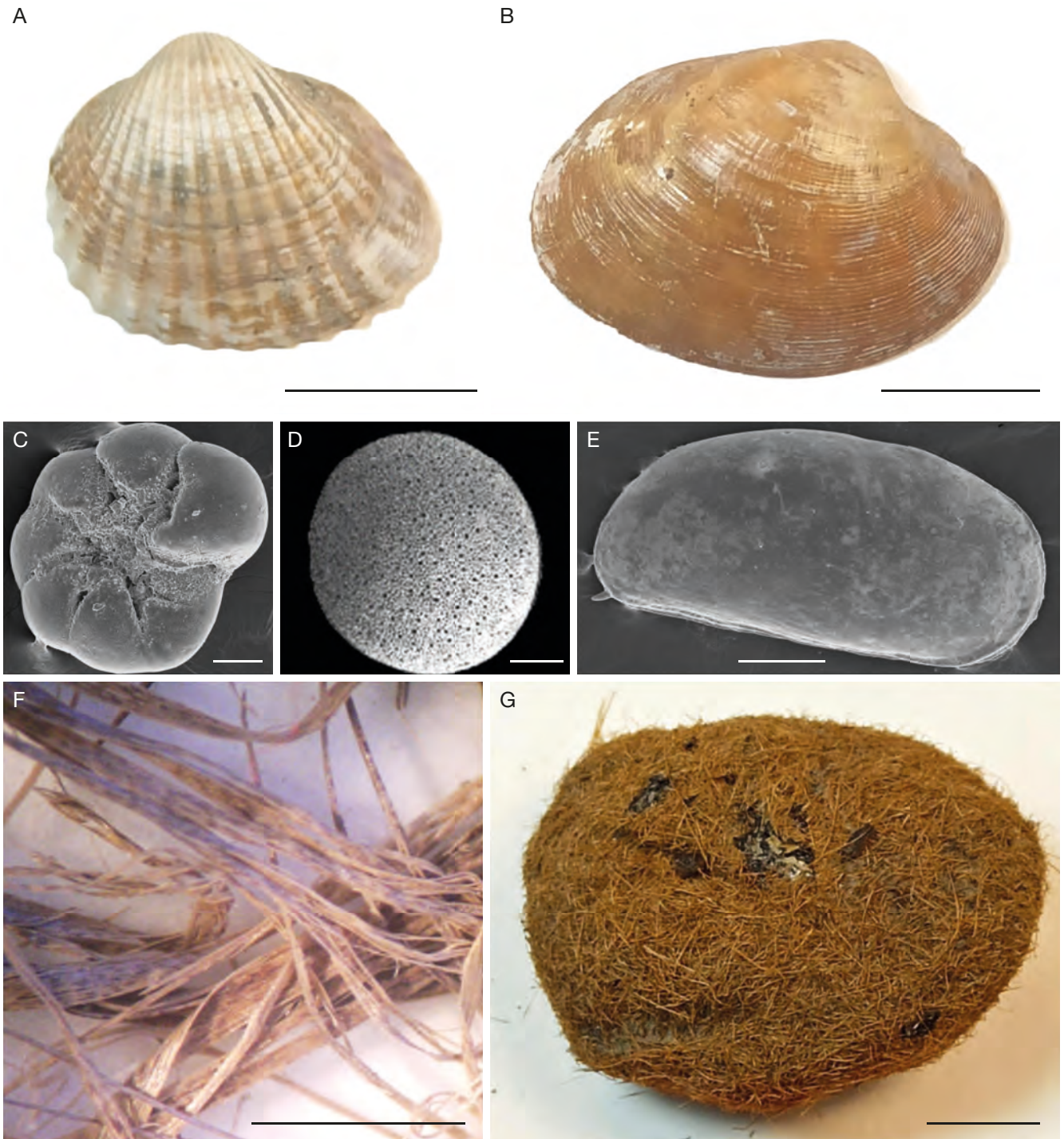


FIG. 3. — Main species of core PT: **A, B**, bivalves: **A**, *Cerastoderma glaucum* (Bruguère, 1789); **B**, *Polititapes rhomboides* (Pennant, 1777); **C, D**, foraminifera: **C**, *Ammonia tepida* (Cushman, 1926), umbilical view; **D**, *Orbulina universa* d'Orbigny, 1839; **E**, Ostracoda: *Cyprideis torosa* (Jones, 1850), right valve; **F, G**, plant remains: **F**, fibers of *Posidonia oceanica* (L.) Delile; **G**, "Neptune ball" of *Posidonia oceanica*. Scale bars: A, B, G, 1 cm; C, D, 100 µm; E, 200 µm; F, 3 mm.

is even higher in F4, with a high number of individuals of *Ammonia tepida* (>80% of the specimens; >50 individuals/gram) and frequent *Haynesina depressula* (Walker & Jacob, 1798) and *Elphidium crispum*. In this facies, the planktonic forms are represented by *Globigerina bulloides* d'Orbigny, 1826, while *Loxiconcha elliptica* (30–40 individuals/gram) is the most representative ostracod.

Benthic foraminifera notably decrease in F5 (<20 individuals/gram), with predominance of *Ammonia tepida* and, to a lesser extent, *Ammonia beccarii* and *Haynesina depressula*. It is noteworthy the presence of frequent individuals of planktonic foraminifera (>5 individuals/gram), especially belonging to *Globigerina bulloides*, *Trilobatus trilobus* (Reuss, 1850) and *Orbulina universa* d'Orbigny, 1839 (Fig. 3D).

TABLE 2. — Main paleontological features of the different sedimentary facies.

Facies	Bivalves	Benthic foraminifera	Planktonic foraminifera	Ostracoda	Main plant remains	Others
F1	<i>Polititapes rhomboides</i>	Rare <i>Ammonia beccarii</i> <i>Elphidium crispum</i>	Fragments	Frequent <i>Cyprideis torosa</i> <i>Pontocythere turbida</i>	Very scarce fibers of <i>Posidonia oceanica</i>	Balanids Bryozoans
F2a	<i>Polititapes rhomboides</i>	Frequent <i>Ammonia beccarii</i> <i>Ammonia tepida</i>	Fragments	Frequent <i>Cyprideis torosa</i> <i>Pontocythere turbida</i>	Very scarce fibers of <i>Posidonia oceanica</i>	Fragments of gastropods
F2b	<i>Cerastoderma glaucum</i>	Abundant <i>Ammonia tepida</i>	Fragments	Frequent <i>Cyprideis torosa</i> <i>Loxoconcha elliptica</i>	Very scarce fibers of <i>Posidonia oceanica</i>	—
F3	<i>Cerastoderma glaucum</i>	Abundant <i>Ammonia tepida</i>	Fragments	Extremely abundant <i>Cyprideis torosa</i> <i>Loxoconcha elliptica</i> <i>Palmococoncha turbida</i>	Compact accumulations and Neptune balls of <i>Posidonia oceanica</i>	Serpulids
F4	Fragments of <i>Cerastoderma glaucum</i>	Extremely abundant <i>Ammonia tepida</i> <i>Haynesina depressula</i> <i>Elphidium crispum</i>	Frequent <i>Globigerina bulloides</i>	Frequent <i>Loxoconcha elliptica</i>	Very scarce fibers of <i>Posidonia oceanica</i>	—
F5	—	Rare <i>Ammonia tepida</i>	Frequent <i>Globigerina bulloides</i> <i>Trilobatus trilobus</i> <i>Orbulina universa</i>	—	—	—
F6	—	—	—	—	—	—

Ostracods are absent in this facies. Finally, no microfauna has been found in F6.

DATING

The calibration of two samples indicates an age of the sediments consistent with the historical data from Portus. The mean calibrated age of the base of the core PF (Table 3: sample PT-16; 5–4.9 m depth) is placed towards the end of the 1st century AD, although it extends to the 4th century AD (range: 200 BC–330 AD). The second dating (sample PT-6; 1.9–1.8 m depth) was deposited between the 1st and 6th centuries AD, with a mean probability towards the 4th century AD (range: 90–585 AD).

DISCUSSION

SEDIMENT CHRONOLOGY

According to its depth (5 m), this core would comprise part of the geological fill of the Canale di Imbocco, given that the boundary between the sediments prior to the construction of Portus and the first evidence of dredging and port activity (2nd century AD) is found at approximately 8–8.5 m depth in this area (Goiran *et al.* 2010; Delile *et al.* 2014). In addition, several previous geological and historical investigations have confirmed that this channel was active between the beginning of the 2nd century AD and the beginning of the 5th century AD (Goiran *et al.* 2010).

The two radiometric dates obtained in this study coincide with the range of ages documented in the literature and, consequently, the sediments studied in this paper were probably deposited in an interval of about 300 years. However, the sedimentation rates cannot be calculated due to the dredging to which this port was subjected, which caused the extraction of part of the sedimentological record (Salomon *et al.* 2016).

PALAEOENVIRONMENTAL INTERPRETATION

Sedimentological Perspective

Samples present unimodal, bimodal or trimodal distributions (Table 1), in which the use of statistical parameters such as kurtosis or asymmetry is problematic and not advisable (Blott & Pye 2001). All are poorly selected or very poorly selected, indicating sedimentary environments with highly variable hydrodynamics, frequent episodes of rapid erosion and sedimentation of particles with well-differentiated grain sizes and different transport vectors (Baraniecki & Racinowski 1996).

This scarce selection generally occurs in restricted environments, relatively quiet, where the accumulation of mud predominates. Occasionally, the occurrence of coarser sediments (mainly F5 and F6) may be related to different sources (fluvial floods, storms, anthropic contributions, etc.) (Le Roux & Rojas 2007).

Faunal perspective: palaeoenvironmental reconstruction

The fossil record allows interpreting the paleoenvironmental conditions in the entrance channel to the Trajan basin. A first general analysis of the fauna of the access channel to the inner port of Portus indicates that this record is similar to that extracted from other cores obtained in the dock and surroundings of the Trajan hexagon, in the innermost areas of Portus (Goiran *et al.* 2010; Mazzini *et al.* 2011). Synthetically, the malacofauna of core PT is dominated by the bivalves *Polititapes rhomboides* and *Cerastoderma glaucum*. *Ammonia tepida* is the most abundant benthic foraminifera, mainly associated with *Ammonia beccarii* in the lower part of the core and with *Haynesina depressula* towards the top. Among the ostracods, the most abundant (>80% of the total) is *Cyprideis torosa*, frequently associated with *Pontocythere turbida* and *Loxoconcha elliptica*.

These bivalve species are typical of brackish coastal environments, subject to significant environmental stress. *Cerastoderma*

TABLE 3. — Database of ^{14}C results.

Sample	Depth	Material	Laboratory number	Uncalibrated C14 age (BP)	Error	Calibrated C14 age (2 σ) (BC/AD)	Mean C14 calibrated age (BC/AD)
PT-6	1.8-1.9	<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière)	Beta-602823	2250	30	90 BC-585 AD	339 AD
PT-16	4.9-5	<i>Polititapes rhomboides</i> (Pennant)	Beta-602826	2480	30	200 BC-330 AD	63 AD

glaucum is a very abundant species in transitional ecosystems (coastal lagoons, estuaries, deltas, etc.) in the Mediterranean Sea and the eastern Atlantic Ocean, with a high tolerance to a wide range of salinities (5-38‰) and temperatures (0-25°C) (Boyden 1972; Leontarakis *et al.* 2009). *Polititapes rhomboides* (synonym of *Venerupis rhomboides* or *Tapes rhomboides*) has been cited from the Mediterranean Sea and the Atlantic Ocean and from Norway to Morocco, in marine environments with variable substrate (gravel to mud), and from the intertidal zone to 183 m depth, although it usually occurs less than 20 m depth in most of this coastal strip (Tebble 1966; Montero 1971; Yamuza-Clavijo *et al.* 2010). Consequently, this species would come from the shelf of the Tyrrhenian Sea adjacent to Portus.

Among benthic foraminifera, *Ammonia tepida* is usually very abundant in coastal lagoons and deltas, where it exhibits a strong correlation with restrictive and variable salinity conditions and high percentages of organic matter (Almogi-Labin *et al.* 1992; Debenay *et al.* 2005; Di Bella *et al.* 2011), as is the case with most of the samples from core PT due to the presence of *Posidonia* detritus. *Ammonia tepida*, together with *Haynesina depressula*, are representative of an assemblage tolerant to moderate environmental stress that is adapted to a wide range of oxygenation levels, salinities and temperatures (Vanicek *et al.* 2000).

The constant presence of *Ammonia beccarii* and *Haynesina depressula* identifies a permanent marine connection, since these two species are typical of shallow marine environments (see review in Debenay *et al.* 1998; Asimina *et al.* 2013). The appearance of planktonic foraminifera (*Globigerina*, *Orbulina*, *Trilobus*) reinforces this continuous marine component of the microfauna and would indicate a suspended transport by tidal flows from the adjacent marine environments, a fact frequently observed in cores obtained in estuaries, deltas or lagoons (e.g. Ruiz *et al.* 2004). These data would confirm the presence of a brackish and confined palaeoenvironment, with changing physical-chemical parameters (salinity, temperature, oxygen content), similar to those measured in a tidal channel of an estuary or coastal lagoon, where the fluvial contributions of the Tiber river (mainly F5 and F6) and tides would interact.

This observation is confirmed by the distribution and abundance of ostracods. *Cyprideis torosa*, the most abundant species, usually develops an opportunistic strategy and has been found in a wide range of salinities (2‰-100‰), although its optimal range is between 2‰ and 16.5‰ (Meisch 2000). It is a typical species of coastal lagoons, estuaries, deltas or marshes, where it usually coincides with

Loxoconcha elliptica (Ruiz *et al.* 2006a, b; Pint & Frenzel 2017). The marine component of the ostracofauna is represented by *Pontocythere turbida* or *Carinocythereis* spp., frequent in shallow coastal environments of Italy (Frezza & Di Bella 2015; Barbieri *et al.* 2019).

Facies F5 is interpreted to derive from fluvial inputs of the Tiber river, although the marine connection although the marine connection was still active as demonstrated by the presence of re-sedimented planktonic foraminifera. The identified species (e.g. *Globigerina bulloides*, *Orbulina universa*) lived in marine paleoenvironments of the western Mediterranean Sea during the Holocene (Frigola *et al.* 2007; Lirer *et al.* 2013) and were transported by tidal flows towards the inner areas of Portus, where they have been found in other cores extracted in the Canale di Imbocco (Goiran *et al.* 2010). Facies F6 is interpreted as an anthropic fill after the abandonment of the port, characterized by a drastic disappearance of the paleontological record and by the frequent presence of construction materials. This surface filling has also been confirmed in the upper part of other cores obtained at the entrance to the Trajan hexagon and the adjacent dock (Di Bella *et al.* 2011; Lisé-Provonost *et al.* 2019).

INTEREST OF *POSIDONIA OCEANICA*

Core PT presents frequent remains of *Posidonia oceanica*, with massive accumulations that are common in F3. It is the dominant seagrass in the subcoastal strip (up to 40 m deep) of the Mediterranean Sea (1.2 million hectares; Telesca *et al.* 2015), where it forms extensive meadows. Consequently, some inferences can be drawn considering its abundance in the geological record of Portus:

1) this species was already present in the Mediterranean at least 1 800 years ago (2nd century AD) and was still present around the 4th-5th centuries AD (Table 3; upper part of Facies F3);

2) based on its habitat, these accumulations come from the action of waves and tides and the transport of its fibers and leaves towards the internal areas of Portus from the adjacent coastal sector of the Tyrrhenian Sea. These accumulations are present in most of the cores studied close to core PT (Goiran *et al.* 2010; Delile *et al.* 2014);

3) in the modern Mediterranean environments, “Neptune balls” are expelled from these meadows during periods of strong waves or storms and usually end up on adjacent beaches (Sánchez-Vidal *et al.* 2015). Consequently, their presence in the fossil record of core PT can be tentatively associated with stormy periods that devastated Portus. More detailed studies of Facies F3 would be required to

corroborate historical episodes of high-energy events at Portus. Such events are not unusual in this area as a severe storm caused the destruction of 200 ships in the Claudius Basin in 63 AD (Tacitus 2010);

4) part of the filling problems of Portus would come from these accumulations of *Posidonia aceanica*, which acted as sediment traps and required periodic dredging of this port (Keay *et al.* 2005).

CONCLUSIONS

The multidisciplinary analysis (sedimentology, malacofauna, microfauna, plant remains, dating) of a core extracted from the communication channel between the inner and outer ports of Portus, the imperial port of Rome, has allowed us to obtain a general view of the paleoenvironmental variations that happened on this channel for about *c.* 300 years. In the three centuries of main activity of this great port (2nd-5th centuries AD), this channel was progressively filled with poorly selected bioclastic muds, typical of restricted environments, as well as by accumulations of the seagrass *Posidonia oceanica*, with a final fluvial and anthropic filling. The autoecology of the occurring bivalves, foraminifera and ostracods is similar and it is indicative of a brackish environment with significant rates of environmental stress including important fluctuations in salinity, oxygen content and periodic dredging. In this scenario, the fluvial contributions of the Tiber converge with the tidal flows, which likely transported allochthonous species towards the interior of the port from the coastal areas adjacent to Portus. In these nearby coastal sectors, extensive meadows of the seagrass *Posidonia oceanica* were developed, whose remains were be transported by tides and storms towards the interior of the port and deposited at the bottom of the channel.

Acknowledgements

This study was supported by the following projects: 1) project DGYCIT CTM2006-06722/MAR; 2) project DGYCIT CGL2006-01412; 3) “Del Atlántico al Mediterráneo (DEATLANTIR): Investigaciones en las infraestructuras de *Portus-Ostia Antica*: el muelle de la Lanterna” (Programa de Proyectos de Arqueología en el Exterior, Ministerio de Cultura y Deportes); 4) ‘Del Atlántico al Tirreno. Los puertos hispánicos y sus relaciones comerciales con Ostia Antica (DEATLANTIR II) – HAR2017-89154-P – (Plan Nacional de I+D+i); and 5) proyecto FEDER 2014-2020 UHU-1260298. Other funds come from the research groups HUM-132, RNM-238, RNM-293 and RNM-349 of the Junta de Andalucía. It is a contribution to the Center for Research in Historical, Cultural and Natural Heritage of the University. The paleontological record is deposited in the Paleontology and Applied Ecology Laboratory of the University of Huelva. We also thank the two anonymous reviewers, the associated editor, Maria Rose Petrizzo, and the editor-in-chief, Michel Laurin.

REFERENCES

- ALMOGI-LABIN A., PERELIS-GROSSOVICZ L. & RAAB M. 1992. — Living *Ammonia* from a hypersaline inland pool, Dead Sea area, Israel. *Journal of Foraminiferal Research* 22 (3): 257-266. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.22.3.257>
- AMATO V., AIELLO G., AIELLO D., BARRA D., CAPORASO L., CARUSO T., GIACCIO B., PARISI R. & ROSSI A. 2020. — Holocene paleogeographic evolution of an ancient port city of the central Mediterranean area: Natural and anthropogenic modifications from Salerno city, southern Italy. *Geoarchaeology* 35 (3): 366-383. <https://doi.org/10.1002/gea.21774>
- ASIMINA M., TSOUROU T., DRINIA H. & ANASTASAKIS G. 2013. — Benthic faunal assemblages from the Holocene middle shelf of the South Evoikos Gulf, central Greece, and their palaeoenvironmental implications. *EGU 2013*: 776.
- BARANIECKI J. & RACINOWSKI R. 1996. — The application of grain parameters of the rubble from the lower part of the back-smash of the shore stream zone to the determination of evolution tendencies of the Wolin Island coast, in MEYER Z. (ed.), *Lithodynamics of the seashore*. Tech University Szczecin, Szczecin: 27-38.
- BARBIERI G., ROSSI V., VAIANI C. & HORTON B. P. 2019. — Benthic ostracoda and foraminifera from the North Adriatic Sea (Italy, Mediterranean Sea): A proxy for the depositional characterisation of river-influenced shelves. *Marine Micropaleontology* 153: 101772. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2019.101772>
- BERMEJO J., CAMPOS J. M., SEBASTIANI R., FERNÁNDEZ L., BERMEJO A., MARFIL F., D'AMMASSA C., BAENA E., DOMÍNGUEZ E., RODRÍGUEZ N. E. & SÁNCHEZ L. 2021. — Los puertos imperiales de Roma: investigaciones geoarqueológicas en el muelle este-oeste de Portus, in CAMPOS J. M. & BERMEJO J. (eds), *Del Atlántico al Tirreno. Puertos hispanos e itálicos*. Editorial Universidad de Huelva, Huelva: 582-610.
- BLOTT S. J. & PYE K. 2001. — GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26 (11): 1237-1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>
- BONADUCE G., CIAMPO G. & MASOLI M. 1976. — Distribution of Ostracoda in the Adriatic Sea. *Pubblicazioni Della Stazione Zoologica Di Napoli* 40: 1-154.
- BOYDEN C. R. 1972. — The behaviour, survival and respiration of the cockles *C. edule* and *C. glaucum*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 51 (3): 605-622. <https://doi.org/10.1017/S0025315400014995>
- DEBENAY J. P., BÉNÉTEAU E., ZHANG J., STOUFF V., GESLIN E., REDOIS F. & FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ M. 1998. — *Ammonia beccarii* and *Ammonia tepida* (Foraminifera): morphofunctional arguments for their distinction. *Marine Micropaleontology* 34 (3-4): 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(98\)00010-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(98)00010-3)
- DEBENAY J.-P., MILLET B. & ANGELIDIS M. O. 2005. — Relationships between foraminiferal assemblages and hydrodynamics in the Gulf of Kalloni, Greece. *Journal of Foraminiferal Research* 35 (4): 327-343. <https://doi.org/10.2113/35.4.327>
- DELILE H., MAZZINI I., BLICHERT-TOFT J., GOIRAN J. P., ARNAUD-GODET F., SALOMON F. & ALBARÈDE 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>
- DI BELLA L., BELLOTTI P., FREZZA V., BERGAMIN L. & CARGONI M. G. 2011. — Benthic foraminiferal assemblages of the imperial harbor of Claudius (Rome): Further paleoenvironmental and geoarchaeological evidences. *The Holocene* 21 (8): 1245-1259. <https://doi.org/10.1177/0959683611405239>
- FOLK R. L. & WARD W. C. 1957. — Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27 (1): 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>

- FREZZA V. & DI BELLA L. 2015. — Distribution of recent ostracods near the Ombrone River mouth (Northern Tyrrhenian Sea, Italy). *Micropaleontology* 61: 101-114.
- FRIGOLA J., MORENO A., CACHO I., CANALS M., SIERRO F. J., FLORES J. A., GRIMALT J. O., HODELL D. A. & CURTIS J. H. 2007. — Holocene climate variability in the western Mediterranean region from a deepwater sediment record. *Paleoceanography* 22 (2): PA2209. <https://doi.org/10.1029/2006PA001307>
- GIAIME M., MARRINER N. & MORHANGE C. 2019. — Evolution of ancient harbours in deltaic contexts: A geoarchaeological typology. *Earth-Science Reviews* 191: 141-167. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.01.022>
- GOIRAN J.-P., TRONCHÈRE H., SALOMON F., CARBONEL P., DJERBI H. & OGNARD C. 2010. — Paleoenvironmental reconstruction of the ancient harbors of Rome: Claudius and Trajan's marine harbors on the Tiber delta. *Quaternary International* 216 (1-2): 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.10.030>
- GONZÁLEZ-REGALADO M. L., MONGE G., CARRETERO M. I., POZO M., RODRÍGUEZ VIDAL J., CÁCERES L. M., ABAD M., CAMPOS J. M., BERMEJO J., TOSQUELLA J., IZQUIERDO T., PRUDENCIO M. I., DIAS M. I., MARQUES R., GÓMEZ P., TOSCANO A., ROMERO V. & RUIZ F. 2020. — Imprints of historical pollution and the 218-60 BCE tsunamigenic period in southwestern Spain. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 37 (1): 89-97. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2020.1.1543>
- HAYWARD B. W., LE COZE F., VACHARD D. & GROSS O. 2021. — World Foraminifera Database: www.marinespecies.org/foraminifera/ (last accessed on 9/13/2021).
- KANIEWSKI D., MARRINER N., MORHANGE C., VACCHI M., SARTI G., ROSSI V., BINI M., PASQUINUCCI M., ALLINNE C., OTTO T., LUCE F. & VAN CAMPO E. 2018. — Holocene evolution of *Portus Pisanus*, the lost harbour of Pisa. *Scientific Reports* 8: 11625. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29890-w>
- KEAY S. 2012. — The port system of Imperial Rome. *Archaeological Monographs of the British School at Rome* 21: 33-67.
- KEAY S., MILLETT M., PAROLI L. & STRUTT K. 2005. — *Portus*: an archaeological survey of the *Portus* of imperial Rome. *Archaeological Monographs of the British School at Rome* 15: 1-360.
- LE ROUX J. P. & ROJAS E. 2015. — Sediment transport patterns determined from grain size parameters: Overview and state of the art. *Sedimentary Geology* 202 (3): 473-488. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.03.014>
- LEONTARAKIS P., XATZIANASTIOU L. I. & THEODOROU J. A. 2009. — Biological aspects of the lagoon cockle *Cerastoderma glaucum* (Poirot, 1879) in a coastal lagoon in Keramoti, Greece in the Northeastern Mediterranean. *Journal of Shellfish Research* 27 (5): 1171-1175. <https://doi.org/10.2983/0730-8000-27.5.1171>
- LIRER F., SPROVIERI M., FERRARO L., VALLEFOUO M., CAPOTONDI L., CASCELLA A., PETROSINO P., INSINGA D. D., PELOSI N., TAMBURRINO S. & LUBRITTO C. 2013. — Integrated stratigraphy for the Late Quaternary in the eastern Tyrrhenian Sea. *Quaternary International* 292: 71-85. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.08.2055>
- LISÉ-PROVONOST A., SALOMON F., GOIRAN J. P., ST-ONGEE G., MONTERO-SERRANO J. C., HESLOP D., ROBERTS A. P., LEVCHENKO V., ZAWADZKI A. & HEIJNIS H. 2019. — Dredging and canal gate technologies in *Portus*, the ancient harbour of Rome, reconstructed from event stratigraphy and multi-proxy sediment analysis. *Quaternary International* 511: 78-93. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.018>
- LOEBLICH A. R. & TAPPAN H. 1988. — *Foraminiferal Genera and their Classification*. Van Nostrand Reinhold, New York, 2031 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5760-3>
- MAR R., RUIZ DE ARBULO J., VIVÓ D., BELTRÁN-CABALLERO J. A. & GRIS F. 2015. — Tarraco. Arquitectura y urbanismo en una ciudad provincial romana. *Documents d'Arqueologia Clàssica* 6: 1-358.
- MAZZINI I., FARANDA C., GIARDINI C., GIRAUDI C. & SADORI I. 2011. — Late Holocene palaeoenvironmental evolution of the Roman harbour of *Portus*, Italy. *Journal of Paleolimnology* 46: 243-256. <https://doi.org/10.1007/s10933-011-9536-7>
- MEISCH C. 2000. — *Freshwater Ostracods of Western and Central Europe*. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin.
- MILKER Y. & SCHMIEDL G. 2012. — A taxonomic guide to modern benthic shelf foraminifera of the western Mediterranean Sea. *Palaeontologia Electronica* 15: 1-134. <https://doi.org/10.26879/271>
- MONTERO I. 1971. — Moluscos bivalvos españoles. *Anales de la Universidad Hispalense; Serie de Veterinaria* 5: 230-239.
- O'CONNELL T. C., BALLANTYNE R. M., HAMILTON-DYER S., MARGARITIS E., OXFORD S., PANTANO W., MILLETT M. & KEAY S. J. 2019. — Living and dying at the *Portus* Romae. *Antiquity* 93 (369): 719-734. <https://doi.org/10.15184/aqy.2019.64>
- PEPE C., GIARDINI M., GIRAUDI C., MASI A., MAZZINI I. & SADORI I. 2013. — Plant landscape and environmental changes recorded in marginal environments: The ancient Roman harbour of *Portus* (Rome, Italy). *Quaternary International* 303: 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.11.008>
- PINT A. & FRENZEL P. 2017. — Ostracod fauna associated with *Cyprideis torosa* – an overview. *Journal of Micropaleontology* 36 (1): 113-119. <https://doi.org/10.1144/jmpaleo2016-010>
- REIMER P. J. & MCCORMAC F. G. 2002. — Marine Radiocarbon Reservoir Corrections for the Mediterranean and Aegean Seas. *Radiocarbon* 44 (1): 159-166. <https://doi.org/10.1017/S0033822200064766>
- RUIZ F., RODRÍGUEZ-RAMÍREZ A., CÁCERES L. M., RODRÍGUEZ VIDAL J., CARRETERO M. I., CLEMENTE L., MUÑOZ J. M., YÁÑEZ C. & ABAD M. 2004. — Late Holocene evolution of the southwestern Doñana Nacional Park (Guadaluquivir Estuary, SW Spain): a multivariate approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 204: 47-64. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00721-1](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00721-1)
- RUIZ F., ABAD M., GALÁN E., GONZÁLEZ I., AGUILÁ I., OLÍAS M., ARIZA J. L. & CANTANO M. 2006a. — The present environmental scenario of El Melah Lagoon (NE Tunisia) and its evolution to a future sabkha. *Journal of African Earth Sciences* 44 (3): 289-302. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.11.023>
- RUIZ F., ABAD M., OLÍAS M., GALÁN E., GONZÁLEZ E., AGUILÁ E., HAMOUMI N., PULIDO I. & CANTANO M. 2006b. — The present environmental scenario of the Nador Lagoon (Morocco). *Environmental Research* 102 (2): 215-229. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2006.03.001>
- SALOMON F., DELILE H., GOIRAN J. P., BRAVARD J. P. & KEAY S. 2012. — The *Canale di Comunicazione Trasverso* in *Portus*: the Roman sea harbour under river influence (Tiber delta, Italy). *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement* 18 (1): 75-90. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.9754>
- SALOMON F., KEAY S., CARAYON N. & GOIRAN J.-P. 2016. — The Development and Characteristics of Ancient Harbours—Applying the PADM Chart to the Case Studies of Ostia and *Portus*. *PLoS ONE* 12 (1): e0162587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162587>
- SÁNCHEZ-VIDAL A., CANALS M., DE HANN W. P., ROMERO J. & VENY M. 2015. — Seagrasses provide a novel ecosystem service by trapping marine plastics. *Scientific Reports* 11: 254. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79370-3>
- TACITUS 2010. — *Annales*. XV, 18. Les Belles lettres (coll. Collection Des Universités de France), Paris, 201 p.
- TEBBLE N. 1966. — *British Bivalve Seashells*. British Museum of Natural History, London.
- TELESKA L., BELLUSCIO A., CRISCOLI A., ARDIZZONE G., APOSTOLAKI G., FRASCHETTI S., GRISTINA M., KNITTWEIS L., MARTIN C. S., PERGENT G., ALAGNA A., BADALAMENTI F., GAROFALI G., GERAKARIS V., PACE M. L., PERGENT-MARTINI C. & SALOMIDI M.

2015. — Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports* 5: 12505. <https://doi.org/10.1038/srep12505>
- TRAINITO E. & DONEDDU M. 2005. — *Conchiglie del Mediterraneo*. Il Castello, Milán, 256 p.
- VANICEK V., JURACIC M., BAJRAKTAREVIC Z. & COSOVIC V. 2000. — Benthic foraminiferal assemblages in a restricted environment – An example from the Mljet Lakes (Adriatic Sea, Croatia). *Geologia Croatica* 53: 269- 279.
- YAMUZA-CLAVIJO M. P., RODRÍGUEZ-RÚA A. & BRUZÓN-GALLEGO M. A. 2010. — Ciclo gametogénico de *Venerupis rhomboides* Pennant, 1777 en el litoral andaluz (sur España). *Hidrobiológica* 20: 195-202.
- ZANOR G. A., PIOVANO E. L., ARIZTEGUI D., PASQUINI A. I. & CHIESA J. O. 2013. — El registro sedimentario Pleistoceno tardío-Holoceno de la Salina de Ambargasta (Argentina central): una aproximación paleolimnológica. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 30: 336-354.

*Submitted on 22 February 2022;
accepted on 29 June 2022;
published on 26 June 2023.*

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.

1. Esta Tesis Doctoral permite valorar la importancia de la Arqueomalacología en la reconstrucción paleoambiental holocena de medios costeros de España e Italia. Además, estos estudios revelan que especies de moluscos marinos eran consumidas de forma preferente, así como tendencias y cambios en su uso para el estuario de los ríos Tinto y Odiel durante este periodo.

2. Los cuatro casos de estudios incluidos en esta Tesis ponen de manifiesto la necesidad de abordar estas investigaciones desde un enfoque multidisciplinar que completa y refuerza las conclusiones obtenidas a partir de la Arqueomalacología. Entre las disciplinas complementarias destaca el estudio de las facies sedimentarias, la caracterización de la microfauna, la inclusión de dataciones o la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes.

3. El análisis de cuatro testigos procedentes de la ensenada de La Fontanilla ha permitido elaborar una reconstrucción del proceso de evolución paleoambiental desde el Pleistoceno final - Holoceno inicial hasta la actualidad. Se sitúa el máximo transgresivo entre 6,5 y 5,4 kyr BP y durante los últimos 5400 años se constata un proceso regresivo que ocasionó la colmatación progresiva de la ensenada hasta su estado actual.

4. El estudio de La Fontanilla valida el uso de los gasterópodos *Bittium reticulatum* y *Peringia ulvae* como *proxies* para la identificación de procesos transgresivos y regresivos, respectivamente.

5. El estudio arqueomalacológico del conchero de Cañada Honda pone de manifiesto la importancia que tenían los moluscos marinos como fuente de alimentos frente a otros grupos como los peces y crustáceos. La comparación con otros concheros

evidencia la perpetuación en el consumo de ciertas especies de bivalvos, tales como *Ruditapes decussatus* o *Cerastoderma edule*, entre otras. Esta conclusión se refiere al periodo entre 8 ka y 4 ka, para la zona de estudio.

6. El conchero de Cañada Honda indica un periodo de ocupación de unos 2500 años (entre 7500 ka y 5000 ka), durante los que se observa la explotación de diferentes ambientes marinos y una progresiva adaptación de la actividad mariscadora a la evolución paleoambiental del estuario. Durante la evolución del estuario, especies propias de costas de alta energía e infralitorales, como *Lutraria lutraria*, son remplazadas por especies mesolitorales de estuario, tales como *Ruditapes decussatus*, *Cerastoderma edule* o *Solen marginatus*.

7. El estudio comparativo de los depósitos de conchas de Isla Saltés ha permitido identificar un nuevo conchero formado por la facies F5. En base al estudio multidisciplinar, se concluye que tiene un origen haliéutico procedente de descartes de la pesca de arrastre y está asociado a la actividad de una *cetaria* romana cercana.

8. En la composición del conchero de Isla Saltés destacan las valvas del género *Glycymeris* por su abundancia y buen estado de conservación. Se trata de restos de función antrópica desconocida, ya que han sido recogidos y seleccionados, pero no presentan signos de consumo ni manipulación. Esta clasificación solo permite especular con el uso al que estaban destinadas estas valvas y que podrían emplearse como pesas para lastrar las artes de pesca o como materiales de construcción y solería.

9. La investigación multidisciplinar de un testigo extraído en el *Canale di Imbocco* del puerto romano de *Portus* (Fiumicino, Italia) ha permitido establecer un periodo de unos 300 años, entre los siglos II-V, de navegabilidad y uso del canal. La colmatación y pérdida de calado que llevo a su abandono pudo ser debida a la

acumulación de restos de *Posidonia oceánica* y al aporte de sedimentos procedentes del río Tíber, hasta un relleno antrópico final.

10. La presencia de bolas formadas por fibras de *P. oceánica* o “bolas de Neptuno”, puede ser utilizada como *proxie* indicativo de episodios tempestíticos. En este caso, los temporales que sacudieron *Portus* introdujeron estas bolas en el interior del *Canale di Imbocco* desde las praderas adyacentes al puerto.