

## 10.

## El uso estructural de la madera en la construcción pública de la antigua Roma: el encofrado del muelle del puerto imperial en *Portus*

D. Ponce González<sup>1</sup>, L. J. Sánchez Hernando<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Máster en Ingeniería de Montes. Universidad de Huelva.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación Vrbánitas Universidad de Huelva.

### Resumen

Se analizan las maderas localizadas en el yacimiento de *Portus* procedentes del encofrado de la zapata de apoyo al muelle. Datadas entre los siglos II y IV de nuestra era, permiten establecer una cronología constructiva de la infraestructura. Por otro lado, la identificación de las maderas como pertenecientes a los géneros *Quercus* y *Pinus* (aparentemente de ámbito frío, en el primer caso, y térmico en el segundo), permite confirmar la existencia de un comercio activo de madera en el Mediterráneo y la preferencia de las maderas pesadas como elementos de sustentación de infraestructuras.

### Palabras clave

maderas, comercio, paleobotánica, encofrado, roble, pino, muelle.

### Abstract

The timbers located in the *Portus* deposit from the formwork of the support footing to the dock are analyzed. Dated between the 2nd and 4th centuries AD, they allow us to establish a chronology for the construction of the infrastructure. Besides that, the identification of the timber as belonging to the *Quercus* and *Pinus* genera (apparently from a cold environment, in the first case, and thermal in the second) allows confirming the existence of an active trade in wood in the Mediterranean, and the preference of heavy timbers for supporting elements of infrastructures.

### Keywords

wood, trade, palaeobotany, formwork, oak tree, pine tree, dock.

### Introducción

La madera constituye una de las materias primas de mayor importancia en el desarrollo cultural del hombre. A lo largo de toda la historia de la humanidad, ha sido empleada de forma masiva y recurrente, habiendo constituido un elemento imprescindible en la vida humana.

A pesar de que debido a su naturaleza degradable sus restos en yacimientos arqueológicos son menos abundantes que los constituidos por otros materiales (como metales, piedra o cerámica), su presencia en el día a día de las diferentes civilizaciones debió ser abrumadora. Una de las causas es, sin duda, su multifuncionalidad. La madera puede ser utilizada como elemento estructural, materia prima energética (tanto en verde como en forma de carbón vegetal), material de construcción de útiles y enseres de diferente tamaño, materia para la construcción de barcos y otros mecanismos de transporte, etc...

Esta gran variedad de usos tiene que ver, y se ve, además, potenciada, por otros aspectos tales como la amplitud ecológica de las especies que la producen (lo que la hace disponible en prácticamente todas las latitudes habitadas por el hombre salvo las más extremas), o la facilidad de su obtención y trabajo (evitando procesos costosos y complejos como los de la minería o cantería).

A los valores prácticos de la madera, se añaden los valores simbólicos que ciertas especies, debido generalmente a la dureza de su madera, longevidad de sus individuos o porte general de los mismos,

adquirieron a lo largo del tiempo, como los tejos o los robles en las culturas norteafricanas europeas, o el cedro en el oriente próximo.

El conjunto de todas estas características supuso desde la antigüedad la existencia de redes comerciales destinadas a su consumo, siendo éstas especialmente destacables en torno a los grandes imperios dadas sus necesidades logísticas, como el egipcio o el chino por citar los ejemplos más sencillos (Asensi, 2000).

Durante la expansión republicana romana y, sobre todo, durante el periodo imperial, las ingentes cantidades de madera que necesitaba el Estado, no solo en las provincias, sino en la propia metrópoli, tuvieron que dar lugar a un activo tráfico comercial de madera del que apenas hay evidencias, pero que se empieza a vislumbrar (Bernabei, 2019). Las necesidades de abastecimiento de la propia ciudad de Roma deberían cubrir, durante prácticamente un milenio, la construcción estatal y residencial, la calefacción privada y pública, los utensilios etc. de cientos de miles de personas, amén de la necesidad del material para soporte de grandes infraestructuras (vigas, cimientos o encofrados), o la construcción de la propia flota comercial y militar.

Un uso especialmente relevante lo constituye la madera estructural, entendiendo como tal aquella que, sin estar necesariamente a la vista, juega un importante papel de soporte de estructuras constructivas. Este tipo de madera requiere unas características especiales, en cuanto a longitud de elementos, rectitud de los mismos (para la construcción de tabloneros o empleo como pilares o vigas), características mecánicas (ya sea resistencia a compresión, torsión, tracción, pandeo...), durabilidad, etc., lo que implica que sólo ciertas especies serían usadas para estos fines. Normalmente, en Europa, estas características son cubiertas por ciertas coníferas (habitualmente los géneros *Pinus* y *Abies* de la familia de las pináceas) y las frondosas de la familia de las fagáceas (especialmente los géneros *Quercus*, *Fagus* y *Castanea*).

Estos géneros tienen una amplia representación autóctona en la península Itálica, pero la necesidad de madera con unas dimensiones adecuadas hace suponer que su consumo masivo provocaría la rápida desaparición de ésta de forma natural, sin posibilidad de rápida o suficiente regeneración, provocando su necesaria importación amparándose en los medios estatales, mediante la nacionalización de la madera producida en los bosques de las provincias, y su traslado a través de las redes comerciales aseguradas por el ejército. En efecto, lo que hoy en día podría considerarse un negocio ruinoso (traslado de madera no sujeta a impuestos para uso constructivo a miles de kilómetros de distancia), en la antigua Roma, con los medios de producción basados en mano de obra esclava y en el empleo de los medios logísticos de control (ejército) y transporte (vías, puertos, naves) estatales, sería una práctica completamente lógica y asumible.

La identificación de materiales constructivos como los encontrados en la excavación del muelle de los puertos imperiales en *Portus*, reviste especial interés en tanto en cuanto que permite conocer las soluciones constructivas diseñadas por los ingenieros romanos en la construcción de determinadas infraestructuras (especies, funcionalidad de las mismas) y, al mismo tiempo, arrojar luz sobre el comercio de los productos forestales, en este caso la madera, durante el imperio (en función de su procedencia).

### Obtención de las muestras y trabajos previos al laboratorio

Las muestras de madera analizadas proceden de las campañas de excavación 2019 y 2020 realizadas por el equipo de la Universidad de Huelva en la vertiente norte del muelle de entrada al puerto imperial. Dichas labores tenían como objeto consolidar las estructuras y avanzar en el conocimiento del proceso constructivo del muelle, así como obtener una cronología precisa del mismo.

En el verano de 2019, en el trabajo realizado en la periferia de la cabeza del muelle, inmediatamente anterior a la plataforma de la linterna, mediante un sondeo se encontraron las primeras evidencias

paleobotánicas. Así, se hallaron restos de un poste en disposición vertical del que se obtuvieron varios fragmentos (identificados con los números 86, 89, 90, 91 y 92, presumiblemente todos procedentes de la misma pieza, Figuras 1 a 4), un tablón en disposición horizontal (muestras 87 y 88, Figura 5) y una muestra de lo que aparentemente era un tapón de ánfora de corcho (muestra 97, Figura 6).

Los dos primeros grupos de muestras sugerían la existencia residual de una estructura de madera, posiblemente un encofrado formado por maderos verticales de sustentación y tabloncillos horizontales de contención, aunque no fue posible constatarla ni documentarla. Se consideró que pudiera tratarse



Figuras 1 a 4: de derecha a izquierda y de arriba abajo, fotos del palo en disposición vertical, respectivamente, muestras 86 y 89, muestra 90, muestra 91 y muestra 92.



Figura 5. Muestras 87 y 88, fragmentos de un tablón.

Figura 6. Muestra 97, tapón de ánfora.

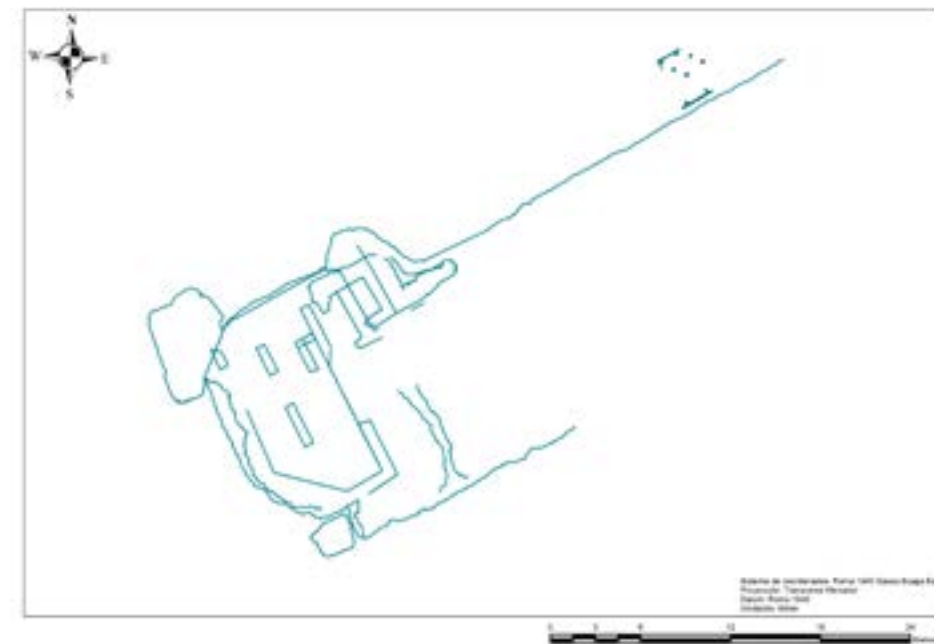


Figura 7. Localización del sondeo realizado el año 2020 en la cara norte del muelle.

de una estructura de soporte mecánico del muelle, preferiblemente lateral, que aguantase los empujes del muelle al consolidarse sobre el lecho. Quedó como objetivo para la siguiente campaña realizar una excavación específica que permitiera localizar o identificar esa estructura.

La campaña realizada a lo largo de verano y otoño de 2020 confirmó mediante un sondeo realizado unos 20 metros al noroeste de la cabeza del muelle (Figura 7) la presencia de una estructura de madera formada por un encofrado reticular, formando una matriz que, rellena de áridos y aglomerantes de diverso tipo, actuaría como pieza de contención de esfuerzos de la base del muelle.

El encofrado estaría formado por dos líneas de postes o palos paralelas al muelle, una de ellas adjunta al mismo y otra a una distancia de 3,5 metros hacia el exterior. Dichas líneas sujetarían tabloncillos de madera que cerrarían el conjunto de la caja. Entre medias nuevos postes con disposición vertical y otros en disposición oblicua, establecen el soporte de la matriz de relleno de la zapata (Figura 8).



Figura 8. Detalle de la localización de las muestras de madera en el sondeo de 2020.

**Descripción de las muestras de la campaña de 2019:**

Del conjunto de muestras correspondientes al palo vertical, las muestras 86, 89 y 90 son muestras residuales del proceso extractivo, fragmentos arrancados del tronco. Su estado físico es aceptable, pero sus dimensiones las hacen poco útiles para ser analizadas.

Lo contrario ocurre con las muestras 91 y 92. La primera corresponde a la parte superior del tronco, que se extrajo completamente hidratada y sin signos de afección por ningún tipo de patologías. Dicha muestra permitió la extracción de una sección subcircular de la que se pudieron extraer muestras de alta calidad para su estudio anatómico procedentes del duramen y la médula del tronco. En cuanto a la muestra 92, aún siendo de un tamaño inferior, está constituida por una porción de madera orientada longitudinalmente, con tamaño y características de conservación suficientes para su microanálisis en laboratorio.

Las muestras 87 y 88 se corresponden con pequeñas astillas extraídas de un potencial tablón situado cerca de la base del muelle, de las que tanto el estado de conservación como el tamaño, auguraban un difícil proceso anatómico. No pudiendo verse el conjunto del tablón, es difícil aventurar el estado general del mismo, pero las muestras se deshacían parcialmente y solo pudieron obtenerse porciones pequeñas e irregulares para el intento de análisis microscópico.

La muestra 97 corresponde *de visu* a una pieza circular de corcho, ennegrecida en una de sus partes, e interpretada como un tapón de ánfora con brea impermeabilizadora.

**Descripción de las muestras de la campaña de 2020:**

El sondeo realizado en la campaña de 2020 permitió la extracción de 10 muestras de madera, ocho correspondientes a postes o palos, y dos correspondientes a los tabloncillos del encofrado de madera, tanto al sur del sondeo (la parte de la caja del encofrado adyacente al muelle) como al norte del mismo (parte exterior de la caja).

Los palos 1 al 4 se extrajeron prácticamente en toda su longitud al ser su consistencia bastante buena. En el caso del palo 5, si bien inicialmente se pudo extraer, su estado de conservación era muy deficiente y su consistencia decayó inmediatamente. De los palos 6 y 7 apenas se pudieron extraer unos fragmentos. Del palo 8, prácticamente deshecho, tan sólo se pudieron extraer unos fragmentos que se deshicieron al simple contacto con las manos de los operarios.

El palo 1 (Figura 9) resultó ser el que se encontraba en mejores condiciones. Con una longitud total de cerca de 2,5 m. y un diámetro medio de 30 cm, mostraba evidencias de haber sido trabajado, previsiblemente en origen, al desbastar la madera durante su aprovechamiento. Se pudo extraer la parte inferior del mismo, en contacto con el suelo, mostrando que había sido tallada en forma de punta y, posteriormente, quemada para endurecerse y poder ser clavada con más facilidad. De esta muestra apenas se extrajo una pequeña porción de su extremo superior para el análisis en laboratorio.

El palo 2 (Figura 10), de cerca de 2,3 m., también mostraba signos de haber sido trabajado, aunque mostraba restos de corteza en parte de su superficie, lo que evidencia que se emplearon pies enteros cortados, *ex-profeso*, para actuar como puntales. Seccionado a mitad de longitud, mostraba a simple vista un claro y nítido anillo poroso.

El palo 3 (Figura 11) permitió extraer una sección de 90 cm. de longitud. Contaba con un duramen bastante consistente de color ocre oscuro que mudaba hacia tonos más claros cerca de la albura.

Del palo 4 (Figura 12), el que mostraba un estado de conservación más aceptable, se pudieron extraer tres secciones consecutivas de 45, 35 y 25 cm. de largo. Se trata de una madera de reacción

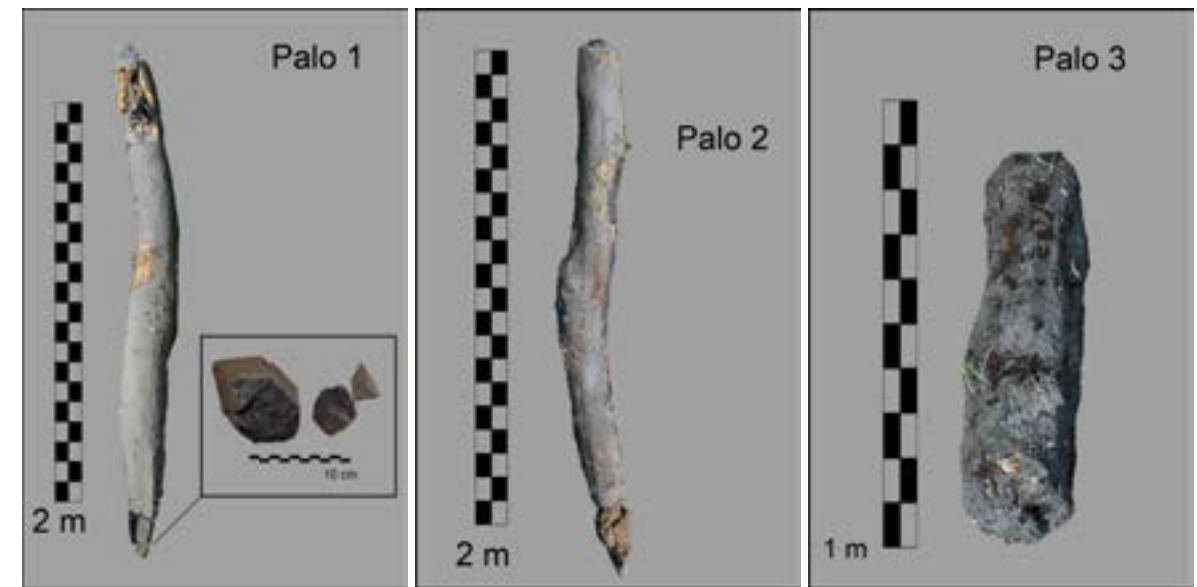


Figura 9. Palo 1, con detalle de la punta tallada y carbonizada del mismo.

Figura 10. Palo 2. Obsérvese la punta tallada y la forma general del mismo, arqueada.

Figura 11. Palo 3.

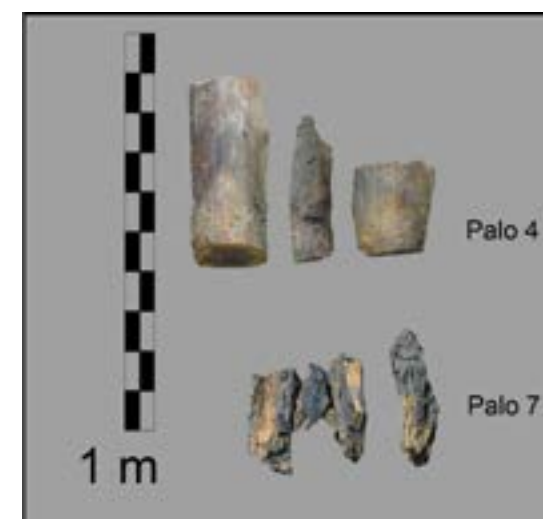


Figura 12. Fragmentos de los palos 4 y 7.

(previsiblemente crecida en una ladera) de una edad total de cerca de 42 años. La parte central, sólida y de un color marrón oscuro, muestra una discontinuidad a los 14 años de vida, tras los cuales, y durante 3 años, aconteció un evento ambiental relevante, en el que se genera una discontinuidad notoria en la madera, con una menor consistencia, que da paso a un periodo de crecimiento normal con madera mucho más blanda y clara.

El palo 5 (Figura 13), como se indicó anteriormente, apenas permitió extraer muestras consolidadas. Su longitud total era de 1,90 metros.

Del palo 6 (Figura 14) se pudieron extraer dos secciones de 45 y 30 cm. La madera se encontraba fuertemente atacada por xilófagos marinos,

invertebrados constructores de galerías de sección circular, recubiertas en su interior por conchas de muy reducido grosor. Anatómicamente, se podía observar a simple vista un claro anillo poroso.

Del fragmento 7 (Figura 12) apenas se pudieron extraer unos fragmentos irregulares que presentaban evidencias de estructuras de coníferas en su sección aproximadamente transversal.

En cuanto a los tabloncillos (Figura 15), tanto los del lado sur como los del lado norte, se encontraban muy alterados, sobre todo por el ataque biológico de xilófagos. Se trataba de tabloncillos de unos 24 por 15 cm. de sección, formando una caja bien conformada.

En las figuras 16 y 17, correspondientes a la extracción de las muestras, puede observarse como el nivel freático afectaba al conjunto del yacimiento, y como a pesar de trabajar con una bomba de extracción, la recarga de agua del mismo es continua. La presencia del agua, en ausencia de oxígeno, salvo algunos ejemplares que se han visto más afectados ha contribuido a mantenerlas en un estado bastante aceptable de conservación a través de los siglos.



Figura 13. Palo 5. Obsérvese el proceso de deterioro del mismo en su parte inferior; la superior, aunque aparentemente bien conservada, prácticamente se deshacía al contacto.



Figura 14. Fragmentos del Palo 6 una vez limpiadas las capas externas en peor estado de conservación.



Figura 15. Tablón sur en el que se observa la acción de los invertebrados xilófagos.



Figura 16. Apertura de la zona de sondeo. Puede observarse como se encuentra en la parte inferior del muelle, soportando su fundamento.



Figura 17. Poste o palo número 5, localizado con disposición oblicua.

Debe tenerse en cuenta que la madera, aún en medio húmedo, tiene una gran capacidad de absorción de esfuerzos; es más, hinchada por el agua, al aumentar su volumen, mejora su comportamiento mecánico, por lo que, si se mantiene completamente sumergida y no se ve afectada por pudriciones, puede mantener su función durante largos periodos de tiempo.

En todos los casos se procedió a la preparación de muestras para su estudio en laboratorio de la siguiente manera:

Limpieza de barro y lodo.

Eliminación de capas externas con alteraciones, saneando la madera.

Secado progresivo al aire, sin calor, para evitar tensiones fuertes de la madera que puedan deformar la estructura microscópica de la madera.

Mantenimiento de la madera mediante un tratamiento en atmósfera controlada con permetrina durante 15 días, evitando la aparición de ataques con hongos.

Una vez extraídas las muestras y consolidadas, por indicación de la autoridad arqueológica del yacimiento, las muestras fueron depositadas en la base del sondeo y nuevamente cubiertas con el sustrato extraído.

#### Identificación de especies en laboratorio

##### *Preparación de las muestras para su análisis microscópico*

La identificación de las especies vegetales de las que procede la madera se ha realizado a partir del análisis de la estructura microscópica de la madera.

Aunque algunas de las muestras se encontraban en relativo buen estado, se ha procedido a usar dos técnicas alternativas para garantizar la consecución de resultados definitivos. Así, se realizaron **cortes blandos con microtomo de deslizamiento** y **cortes duros con microtomo giratorio**.

La **técnica de cortes blandos** consiste en la identificación de características anatómicas de diagnóstico e identificación de especies en láminas delgadas (entre 15 y 20 micras idealmente) obtenidas en los planos transversal, tangencial y radial de las muestras, con hidratación de las mismas.

Para ello se procede de la siguiente manera:

1. Obtención de una porción de muestra prismática de aproximadamente un centímetro cuadrado de sección y hasta 1,5 a 2 cm. de longitud, buscando un plano aproximadamente transversal.
2. Montaje del prisma así obtenido en el microtomo de deslizamiento, con exposición a cuchilla del plano supuestamente transversal (Figura 18).
3. Obtención de secciones de dicho plano para, con tinción de lugol (solución de yodo molecular y yoduro potásico en agua destilada), identificar si son o no transversales, procediendo a la corrección de la orientación y nueva visualización en un proceso iterativo que permita definir el plano transversal con toda claridad, clave para un proceso exitoso.
4. Identificado el plano transversal, obtención de secciones delgadas en dicho plano e hidratación de estas con agua destilada (Figure 19)
5. Con formón o gubia, obtención de planos aproximadamente radial y tangencial, ambos obtenidos en secciones a 90 grados de la inicial.
6. Trabajo de dichos planos, obtención de láminas y tinción con lugol, y, en su caso, rectificación y obtención de secciones delgadas, hidratándolas.

7. Deshidratación de las muestras mediante lavados sucesivos en alcoholes de graduación creciente (60%, 90% y absoluto)
8. Tinción de las muestras deshidratadas con safranina, dejándolas reposar unos 10 minutos (Figura 20)
9. Lavado de las muestras con Bioclear para eliminar los restos de humedad y tinción y cementado sobre portas empleando Bálsamo de Canadá (Figura 21)

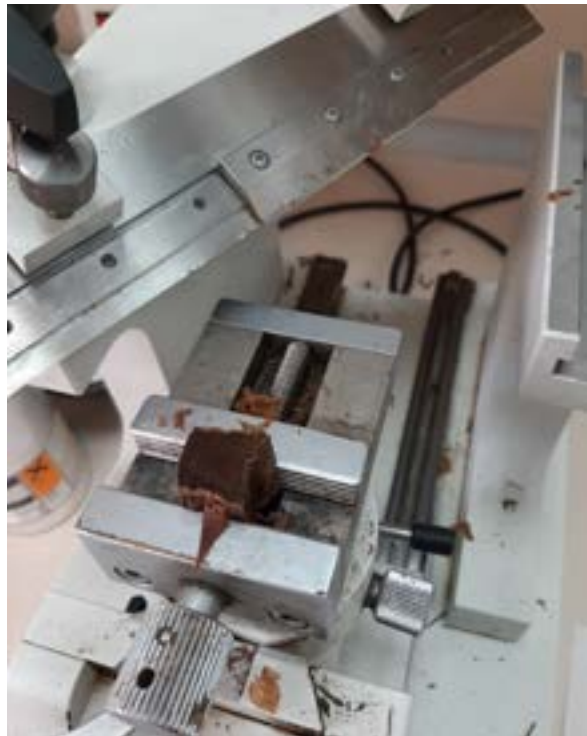


Figura 18. Microtomo de deslizamiento con muestra montada para el corte del plano transversal.



Figure 19. Planos transversales recién cortados, con un grosor de 20 a 30 micras.



Figura 20. Proceso de tinción con safranina.



Figura 21. Montaje de secciones tintadas en portaobjetos para su visualización al microscopio de transmisión.



Figura 22. Inclusión en Alcohol 70% de las muestras en cajetillas que se usarán para realizar posteriormente los cortes en el microtomo.



Figura 23. Molde con la muestra en el interior sumergida en parafina que se endurece.

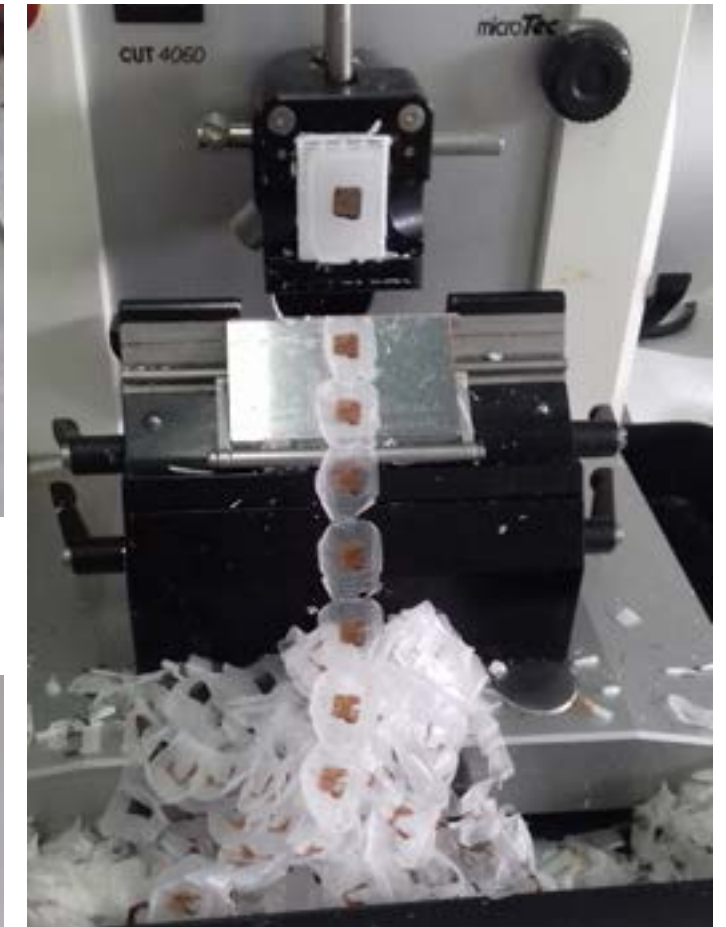


Figura 24. Cortes realizados al microtomo.

Pasadas 24 h para garantizar el endurecimiento del Bálsamo de Canadá, las muestras están listas para ser visualizadas en microscopio de transmisión. Este procedimiento se llevó a cabo con las muestras recogidas en las dos campañas.

La **técnica de cortes duros** se fundamenta en el mismo concepto que el método que se acaba de describir, aunque con importantes diferencias procedimentales. Esta técnica se desarrolla a través de los siguientes pasos:

1. Cortado en bruto de porciones de cada una de las maderas encontradas para la obtención de pequeñas muestras prismáticas.
2. Inclusión en una mezcla de EtOH 45%, H<sub>2</sub>O 45% y Glicerina 10% para ablandar y conservar las muestras obtenidas.
3. Preparación de tres muestras de madera por cada una de las obtenidas, de un tamaño aproximado de 1 X 0.5 X 0.5 mm<sup>3</sup>. Éstas deben corresponder a las tres secciones de la madera (radial, transversal y tangencial). Para comprobar que han sido cortadas adecuadamente, tanto en su correspondencia como en su calidad, se observan con la ayuda de una lupa.
4. Preparación de portaobjetos con albúmina de huevo.
5. Deshidratación de las muestras sumergiéndolas en secuencialmente en alcoholes de 70%, 95% y 100% en intervalos de 5 min, y Bioclear durante 10 min (Figura 22)
6. Inclusión de las muestras en parafina derretida habiéndolas, previamente, sumergido durante 30 min en una disolución 50:50 de Bioclear y alcohol.
7. Colocación de las muestras en moldes de acero inoxidable y aplicación de parafina derretida sumergiéndolas (Figura 23)

Endurecimiento de la parafina durante dos horas aproximadamente.

1. Realización de cortes con el microtomo (Figura 24)
2. Colocación de los cortes en los portaobjetos con albúmina.
3. Tinción de las muestras con safranina.
4. Pegado definitivo de las muestras en los portaobjetos con medio de montaje (Eukitt), dejando secar 24 h.
5. Análisis de éstas al microscopio.

Este procedimiento sólo se realizó en las muestras recogidas en 2020.

#### Identificación de especies en laboratorio

Todas las muestras analizadas han sido identificadas, al menos, hasta el nivel genérico. Los géneros identificados han sido los siguientes:

Campaña	Muestra	Especie
2019	91	<i>Quercus</i> <sup>1</sup> sp
2019	87	<i>Pinus</i> sp.
2019	97	<i>Quercus suber</i>
2020	Palo 1	<i>Quercus</i> sp.
2020	Palo 2	<i>Quercus</i> sp.
2020	Palo 3	<i>Quercus</i> sp.
2020	Palo 4	<i>Quercus</i> sp.
2020	Palo 5	<i>Quercus</i> sp.
2020	Palo 6	<i>Quercus</i> sp.
2020	Palo 7	<i>Pinus</i> sp.
2020	Tablón norte (externo)	<i>Pinus</i> sp.
2020	Tablón Sur (interno)	<i>Pinus</i> sp.

#### Descripción microscópica de las muestras de la campaña de 2019:

- Muestra 91 (por extensión muestras 86, 89, 90, 91 y 92): *Quercus* sp.

En el plano transversal se identifica un anillo poroso a semiporoso con vasos aislados, o en alineaciones cortas, radiales, y con diámetros de hasta 300, pero no superiores, como corresponde a los *Quercus* marcescentes y caducifolios (Figura 25)

En el plano tangencial se observan radios leñosos homogéneos, uni y multiseriados y perforaciones simples (Figura 26).

En el plano radial (Figura 27) se observan perforaciones simples, con radios homogéneos. Las punteaduras entre vasos y radios son alargadas, ovales. Se intuye la presencia de fibras libriformes.

- Muestra 87 (por extensión muestras 87 y 88): *Pinus* sp.

En el plano trasversal se identifica con claridad un anillo de crecimiento. Se trata de una madera sin vasos, pero con canales resiníferos fisiológicos de células epiteliales delgadas, desgarradas.

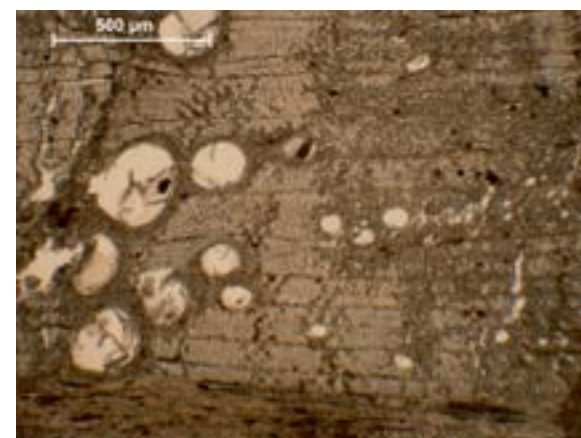


Figura 25. Plano transversal. Vasos aislados en anillo poroso.

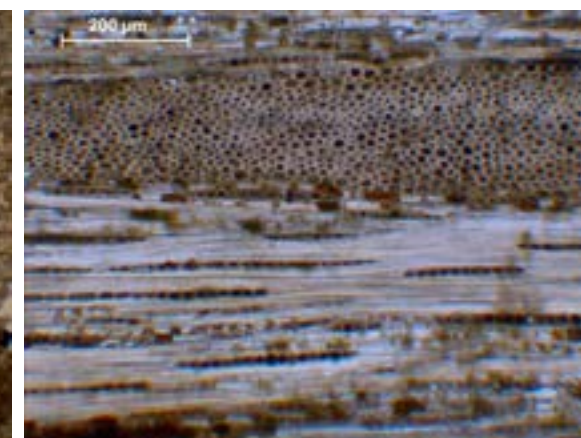


Figura 26. Plano tangencial. Radios uni y multiseriados.

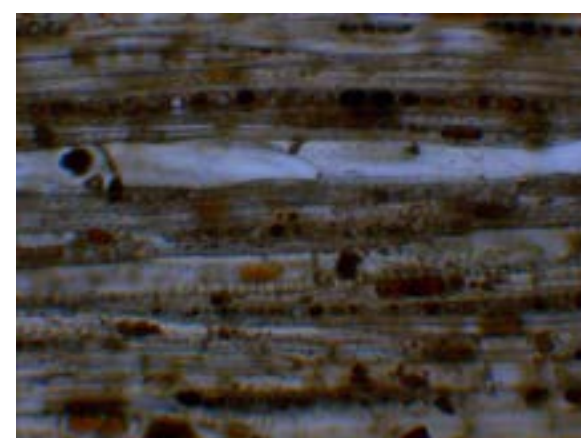


Figura 27. Plano radial. Perforaciones simples.

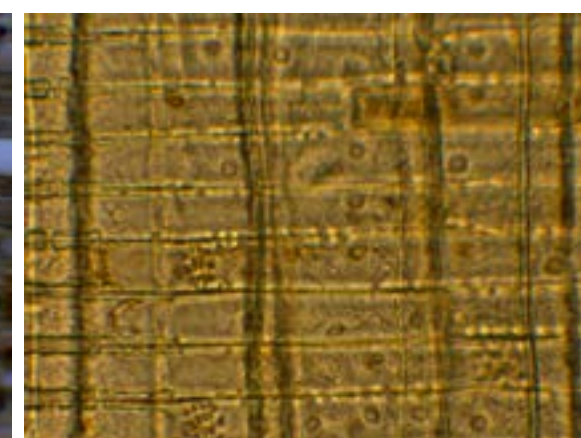


Figura 28. Plano radial. Punteaduras areoladas y aparente ausencia de dientes.

En el plano tangencial se observan radios leñosos uniseriados de una altura inferior a 10 células.

En este género, el principal elemento de diagnóstico lo constituyen las estructuras del plano radial (Figura 28), que se observan con muy poca nitidez, salvo el caso de las punteaduras areoladas en filas uniseriadas, por lo que se concluye con la asignación exclusivamente genérica.

- Muestra 97: *Quercus suber*

Se trata de una muestra de corcho reconocible de visu, ligeramente trabajado, no sólo en cuanto al contorno, sino en el alisado de ambas caras, una de ellas con restos de una sustancia negruzca, previsiblemente brea.

#### Descripción microscópica de las muestras de la campaña de 2020:

- Muestra Palo 6 (por extensión 1, 2, 3, 4, 5 y 6): *Quercus* sp.

Presencia de elementos de vaso de gran tamaño en pequeños grupos o incluso en solitario, muchos de ellos divididos en dos y hasta en 3 partes, como es característico en este género (Figura 29)

En el plano tangencial (Figura 30) se observan radios leñosos homogéneos, uni y multiseriados.

<sup>1</sup> En función de las características observadas, se trataría de un *Quercus* frío, caducifolio, del grupo de *Q. robur*, *Q. paetrea*, o *Q. pubescens*, indistinguibles entre sí microscópicamente (Schoch et al, 2004)

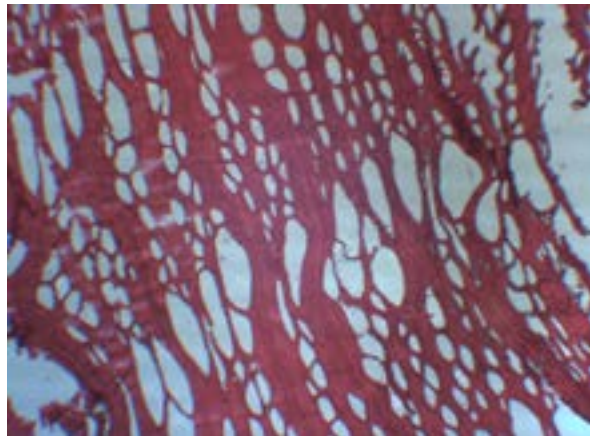


Figura 29. Corte transversal del Palo 6. Se observan elementos de vaso divididos.

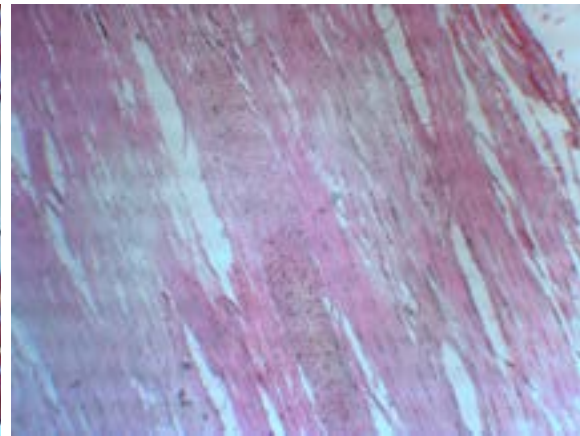


Figura 30. Corte tangencial del Palo 3. Se observa un radio multiseriado.

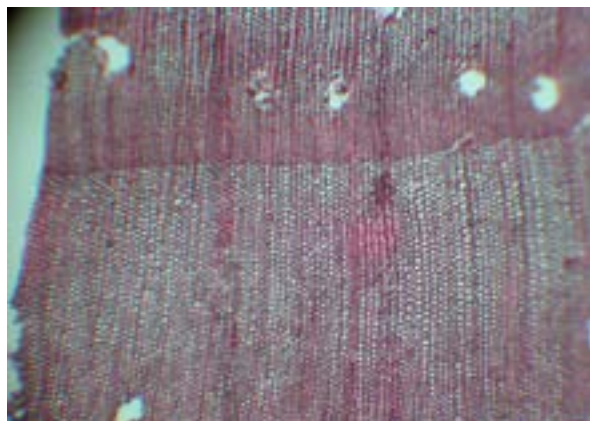


Figura 31. Corte transversal correspondiente al Tablón Norte.

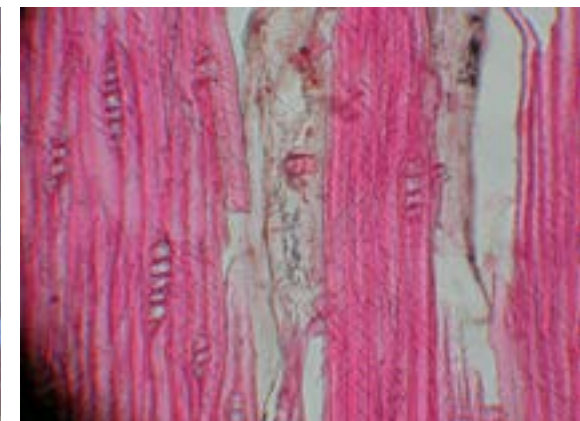


Figura 32. Corte tangencial del Tablón Norte. Se observan estructuras espiraladas en las traqueidas.

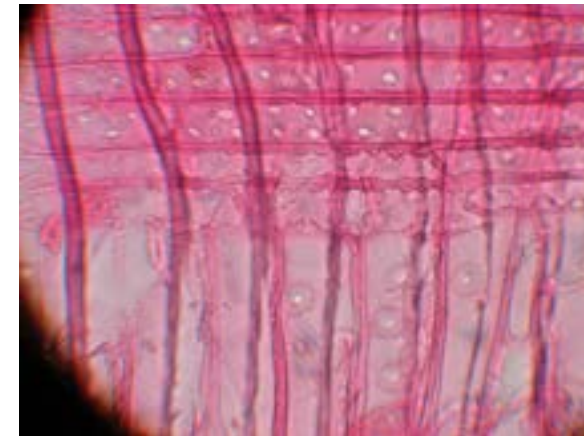


Figura 33. Corte radial correspondiente al Tablón Norte. Señaladas las punteaduras areoladas.

En el plano radial se observan perforaciones simples, con radios homogéneos. Las punteaduras entre vasos y radios son alargadas, ovales.

– Muestra Tablón Norte (por extensión Tablón Sur y Palo 7): *Pinus sp.*

En el plano transversal (Figura 31) son fácilmente identificables diversos anillos de crecimiento, los cuales mostraban una transición gradual entre la madera de otoño e invierno. En esta no son observables elementos de vaso, pero sí canales resiníferos fisiológicos de células epiteliales delgadas, desgarradas.

En el plano tangencial (Figure 32) se observan radios leñosos uniseriados de una altura inferior a 10 células. Además, se observa lo que aparentemente se trata de estructuras espiraladas en las traqueidas, las cuales podrían resultar un factor que ayude a confirmar la especie en futuros estudios.

Como ya se ha indicado previamente, en este género el principal elemento de diagnóstico lo constituyen las estructuras del plano radial (Figura 33). Se observan punteaduras areoladas, generalmente biseriadas en un número de cuatro, y con ligera presencia de dientes, por lo que se concluye nuevamente con la asignación exclusivamente genérica.

Ante la posibilidad de que las maderas correspondientes al género *Pinus* pudieran provenir del norte o centro de Europa, como se ha constatado en otros casos (Bernabei, 2019), en el análisis se

ha contemplado la posibilidad de identificar especies de dichas latitudes y no solo de un entorno mediterráneo. Así, se consideraron las opciones de identificar de *Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *P. mugo*, *P. cembra* y *P. strobus*. Con todo, rápidamente se descartaron al poseer todas ellas punteaduras de ventana en los campos de cruce, a diferencia de las areoladas que se observan en las muestras.

De esta forma, solo han sido consideradas un pequeño grupo de las especies género, las cuales presentan estas características: *Pinus pinea*, *P. halepensis* y *P. pinaster*; siendo todas estas autóctonas de las riberas mediterráneas y, en concreto, de la Península Itálica.

De entre estas, la forma de los dientes bien marcados y agudos en las traqueidas de los radios leñosos descartan al *P. pinaster* como posible especie, dejando como únicas posibles entre las especies consideradas a *P. halepensis* o *P. pinea*. Sin embargo, resulta difícil realizar una determinación precisa entre estos dos taxones. Además, la existencia de otras coníferas con características similares como *Picea abies*, con punteaduras lenticulares y estructuras espiraladas en las traqueidas como las observadas, obliga a la prudencia la identificación y esperar a estudios más profundos.

### Análisis cronológico

Con objeto de conocer la cronología exacta del proceso constructivo del muelle, se procedió a realizar un análisis de la edad de las muestras, en parte de las extraídas en la campaña de 2020, encontradas *in situ* y completamente contextualizadas.

El resultado de las dataciones fue el siguiente:

Muestra	Edad
Palo 3	118-244 AD
Palo 4	116-239 AD
Palo 7	76-232 AD
Tablón externo	213-361 AD

Las muestras empleadas en el análisis se tomaron de las capas exteriores de los troncos, eliminando previamente las partes más alteradas, de tal forma que la datación (con su intervalo de error) correspondería aproximadamente al momento de la corta de los árboles. Habida cuenta que en todos los palos se identificó una edad del árbol no inferior a los 50 años, se concluye que:

- Los árboles nacieron en un intervalo, cuyo límite inferior se retrotraería unos 50 años, es decir, durante el siglo I AD en el caso de los palos, y en pleno siglo II en el caso del tablón más externo
- La construcción del encofrado tendría como fecha más temprana posible la inferior común a todos los palos, es decir, no antes del 118 AD aproximadamente.
- El tablón externo, aunque de una cronología aparentemente posterior, comparte un intervalo cronológico de coincidencia con el resto de las muestras (213-232), lo que permitiría concluir una acción constructiva única.

Con objeto de profundizar en la datación de las muestras, y al mismo tiempo contextualizarlas geográficamente y arrojar luz sobre su origen, se intentó realizar un análisis dendrocronológico de las mismas que, a fecha, no ha arrojado resultados. Queda abierta la posibilidad de que en un futuro las muestras puedan correlacionarse con series dendrocronológicas europeas de época imperial, permitiendo establecer un origen geográfico de las mismas.

### Características estructurales de las maderas, y uso de las mismas

#### *Sobre el uso de la madera desde la perspectiva de su conservación*

La durabilidad de la madera en infraestructuras del tipo del muelle o similares, en contacto con el agua, siempre ha sido problemática (González y Vílchez, 2009)

Entre los factores más habituales de afección, además del fuego (derivado del uso humano) que provocaba daños estructurales bastante comunes, son los hongos los principales causantes de graves daños, especialmente en las maderas que se encontraban en la zona de influencia de las mareas y el oleaje; es decir, en aquellas partes de la estructura que se secaban y mojaban alternativamente. Para combatirlos, uno de los métodos más usados era la utilización de maderas de alta densidad, debido a que por la menor porosidad y mayor dureza dificultaban la entrada del hongo. En cambio, estas maderas conllevaban el inconveniente de dificultar el uso de productos absorbibles como tratamiento. No cabe duda de que los ingenieros de la época conocieron y tuvieron que lidiar con estos agentes; en cualquier caso, en las muestras recogidas no se observaban daños causados por los mencionados problemas: no había constancia de podredumbres ni de partes carbonizadas más allá de la punta del palo 1, que se interpreta como un acto voluntario para su endurecimiento antes de su clavado sobre el lecho.

Sin embargo, algunas muestras (especialmente uno de los tablones) se encontraban en muy mal estado de conservación general, faltas de consistencia. Tras la inspección ocular inicial, *in situ*, se verificó que la madera, a pesar de tener un aspecto saludable, estaba prácticamente hueca en su interior. Multitud de galerías habían sido horadadas por algún invertebrado que incluso había dejado restos de caparazón en el interior de estas. Aunque no fue posible recuperar muestras del mismo, con gran probabilidad debía tratarse de la especie *Teredo navalis*, un lamelibranquio bivalvo que crece en el interior de las galerías, adquiriendo en el estado adulto el aspecto de un largo gusano de hasta un metro.

Los ataques de *Teredo* en embarcaderos de madera están suficientemente descritos por la bibliografía científica desde hace muchos años. Diversas experiencias para la minimización de daños han concluido siempre en que la mejor estrategia para combatirlo es el empleo de especies de maderas resistentes<sup>2</sup>.

Ciertas especies tropicales, como la teca (*Tectona grandis*), o australianas, como las del género *Eucalyptus* (Jiménez Salas y Justo Alpañés, 1981), ofrecen una gran resistencia ante el ataque de *Teredo* y otros invertebrados, dando grandes resultados en estas zonas. Sin embargo, en Europa, las maderas poseen una resistencia mucho menor, siendo la más destacada en este aspecto la madera de roble (*Quercus sp.*), lo que explicaría el interés de la administración romana en procurarse madera de dicho género para este tipo de construcciones, asegurando rutas de abastecimiento, aunque

<sup>2</sup> Paton (1849) realizó una descripción detallada de los ataques de *Teredo* a los embarcaderos de madera. Experimentó varios métodos (de potencial uso en la antigüedad) para intentar combatir a este bivalvo tales como la aplicación de breas, quema de la madera, saturación con aceites, aplicación de sulfatos de hierro, cloruro de zinc, etc... llegando a la conclusión de que ninguno de estos servía ni para ahuyentar a estos invertebrados, ni para dañarlos. Se consideró que podía deberse a dos causas: o bien que algún agente abiótico o biótico anulara el tratamiento, o bien que *Teredo* ofreciera una gran resistencia a estos. Tras realizar un estudio comparando las dos hipótesis, se comprobó que la velocidad de ataque entre las maderas tratadas y las utilizadas en su estado natural no mostraba ninguna diferencia. *Teredo* afecta prácticamente de igual forma en ambos casos, lo cual denota la gran resistencia de estos invertebrados, y la difícil tarea que constituiría para los ingenieros romanos combatirlos. El único factor que ha demostrado tener influencia en retrasar la aparición del invertebrado es la resistencia natural de la madera, variable entre distintas especies.

implicasen importantes esfuerzos logísticos. La mayor resistencia del roble no impediría su ataque por *Teredo* siendo previsible la labor de mantenimiento periódica en las estructuras expuestas a los cambios mareales para evitar su colapso, aumentando así la vida útil de los puertos. Si bien el encofrado interior del muelle estaría salvaguardado de una exposición variable a la humedad, esto no evitaría, como se ha demostrado, el ataque de *Teredo*.

En cuanto a la madera de pino, mucho más blanda, tendría una resistencia muy baja a estos ataques tal y como se puede observar en las muestras encontradas. En estas, los tablones están extremadamente más afectados que los palos. Ante esto, surge la duda de por qué se utilizaba esta madera y no se hizo la estructura completa de roble. O por qué uno de los palos se trata de pino a diferencia del resto.

La explicación más lógica para esta situación es de índole logística: la disponibilidad de madera suficiente, proveniente de grandes distancias, que obligaría a utilizarla en las partes más sensibles del encofrado, como son los soportes, dejando las partes secundarias y más fáciles de reemplazar a otro tipo de maderas, con la esperanza de que, al estar el conjunto recubierto de la matriz de obra, el ataque de *Teredo* tardaría en todo caso más tiempo en producirse.

El empleo de pinos de ambiente térmico, potencialmente de origen más cercano al yacimiento, implicaría un esfuerzo productor complementario con objeto de atender las necesidades extraordinarias que supondría una obra de tal magnitud.

#### *Características de la madera de los Quercus caducifolios*

Las maderas identificadas como *Quercus* se corresponden con un conjunto de especies del género indistinguibles anatómicamente, formado por el roble común (*Quercus robur*), el roble albar (*Quercus pedunculata*) y el roble pubescente (*Quercus pubescens=humilis*)

El roble común tiene una amplísima distribución en Europa, faltando en las zonas más meridionales. Es el árbol más representativo del género en la mayor parte de los países de Europa central y oriental. El nombre específico, *robur*, era el apelativo latino a los robles en general, siendo por tanto la especie representativa de este grupo de árboles. Es una madera con una gran resistencia a la putrefacción en ambientes húmedos.

El roble albar tiene una distribución prácticamente idéntica a la del roble común, con el que se suele confundir. En similares condiciones ecológicas, suele ser de fuste más alto y estrecho que el anterior, especialmente en masas densas.

En cuanto al roble pubescente, aún siendo similar a los anteriores en características anatómicas, presenta algunas diferencias notables; así su hoja no es completamente caduca, existiendo casos de marcescencia en función de situación ecológica; por otro lado, su hábitat es menos noroesteño y se aventura más hacia el sur en Europa. Es un árbol de menor talla y potencia de fuste, con tendencia a ser arbustivo. La afinidad con los anteriores se manifiesta, especialmente, en su gran capacidad de hibridación con los anteriores.

De las características anteriores, tanto de conformación de fuste, uso de la madera en ambiente húmedo, y distribución de la misma, se puede aventurar la posibilidad de que las muestras encontradas en el muelle se correspondan con roble común o roble albar.

Se trata de una madera densa y pesada, dura, impermeable, con gran resistencia al ataque de agentes biológicos, de fibra recta, fácil de trabajar y buena resistencia tanto a la comprensión, como al pandeo.

### Características de la madera de los Pinus

La madera de los pinos es una madera de gran tradición en la construcción, derivada de la gran amplitud ecológica del género, que le permite tener representantes en prácticamente todo tipo de regiones, desde las dunas costeras mediterráneas (pino piñonero) hasta las altas montañas europeas (pinos silvestre o negro).

En general, la madera de pino es una madera fácil de trabajar, con fustes alargados, y que en condiciones óptimas y según especies, da portes de gran tamaño aptos para la producción de tablas. Presenta diferencias de dureza según las especies, pero comparten todas la flexibilidad y una buena capacidad para resistir esfuerzos. Siendo de menor densidad que la madera de los robles es más vulnerable a los ataques de hongos.

### Implicaciones comerciales

De las características de las maderas identificadas en el yacimiento de Portus, su cronología, características estructurales, y de las características biogeográficas de los posibles *taxa* identificados, se pueden extraer algunas consideraciones de tipo comercial.

Así, cabe suponer que los puntales de roble corresponderían al roble común (*Quercus robur*) o, menos posiblemente, al albar (*Quercus paetrea*). Estas especies, de altísimo interés cultural, es previsible hubieran desaparecido en porte arbóreo de gran parte de la península itálica durante época imperial, siendo muy probable su importación de las provincias más norteñas del imperio, donde existirían grandes masas boscosas, con abundante regeneración y facilidad de transporte a través del entramado logístico del imperio. El caso comprobado de la importación a través del propio Portus de madera de roble procedente de las montañas del Jura (Bernabei, 2019), en una cronología anterior, soportaría esta consideración.

En relación a los *Pinus*, la valoración es más compleja. Los pinos de ámbito frío podrían encontrarse en la península itálica en zonas de gran altitud, sin embargo, de nuevo en las provincias norteñas, sería posible encontrar las mismas especies, con mayores dimensiones y mayor facilidad extractiva, en zonas menos elevadas y quizás más llanas, existiendo también precedentes documentados para ello, por lo que nos decantamos por la importación en caso de tratarse de dichas especies.

En el caso de tratarse de un pino de carácter térmico (y en este caso, la especie más probable parece ser el *Pinus halepensis*), el origen del mismo sería claramente circummediterráneo. En efecto, el pino de Alepo, o pino carrasco, se encuentra en casi todos los países ribereños del mediterráneo, llegando a formar masas densas, monoespecíficas con ejemplares de gran porte y tamaño (en España, por ejemplo, en Sierra Espuña). Si bien la madera de los pinos fríos, tradicionalmente, es de mejor comportamiento mecánico que la de los pinos térmicos, cabe la posibilidad de que se utilizara el pino carrasco, de peor calidad, por ser más accesible, y atendiendo a la alta necesidad de madera de la obra. Lo mismo cabe decir del *Pinus pinea*, el pino piñonero, tremendamente abundante en el ámbito mediterráneo, aunque en este caso en zonas de llanura incluso para grandes dimensiones, pero posiblemente sobreexplotado en estos momentos de la historia itálica.

Mención aparte requiere la posibilidad de que la madera de conífera fuera de *Picea abies* que implicaría, indefectiblemente, actividad importadora de provincias montañosas de centro y norte de Europa.

### Conclusión

Del estudio anatómico de las maderas localizadas en el yacimiento de Portus, se puede concluir lo siguiente:

- El empleo de robles de zonas frías para la sujeción del entramado externo e interno del encofrado de la zapata que da soporte al muelle en Portus. Se trata de especies resistentes a los agentes biológicos y no biológicos que alteran la madera, y de características físicas (longitud, grosor) y mecánicas adecuadas para dicha función.
- El empleo de maderas blandas, posiblemente pinos de zonas de mayor termicidad, para el cierre de la caja del encofrado mediante tablones. El uso de estas maderas, adecuada por sus características mecánicas, pero no idóneas en ambientes húmedos expuestos, puede explicarse por la necesidad de utilizar cualquier tipo de especie ante la elevada demanda de madera por la obra en curso, de tal forma que se reservaría la madera de mayor calidad para la sujeción vertical.

Los estudios arqueológicos sobre el proceso constructivo del muelle (secuencia entre el cuerpo central y la zapata), así como futuros análisis dendrocronológicos, permitirán aportar luz definitiva sobre la procedencia de las muestras.

### Bibliografía

- Asensi, M.V. 2000. *La madera en el antiguo Egipto. Identificaciones y Comercio*. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante.
- Bernabei, M. et alii 2019. Dendrochronological evidence for long-distance timber trading in the Roman Empire. *Plos One* 14 (2): e0224077. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224077>
- Blázquez, J.M. 1980. “La exportación del aceite hispano en el Imperio romano. Estado de la cuestión”. J.M. Blázquez (coord.), *Producción y comercio del aceite en la antigüedad*. Primer Congreso Internacional, Madrid, 19-46.
- Blázquez, J.M. 1991. “Excavaciones españolas en el Monte Testaccio. Nuevos Datos”. *Revista de Arqueología* 120, abril, 50-54.
- Campbell, P. 2017. New underwater discoveries in Greece reveal ancient Roman engineering. *The Guardian* (Dec, 14, 2017)
- De Velasco, C. G. G., Vílchez, M. G. 2009. “La problemática de la construcción y conservación de los embarcaderos de madera en el siglo XIX”. *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*: Valencia, Instituto Juan de Herrera. 21-24 de octubre de 2009, 675-682
- Fernández, P. 2017. “Productos de la Hispania romana: miel y púrpura”. *Gerión* 35, 925-943.
- García, L.; Guindeo, A.; Peraza, C.; Palacios, P. De 2003. *La madera y su anatomía*. Ed.Mundi Prensa, Madrid.
- Garnier, N., Silvino, T., Bernal-Casasola, D. 2011. “L’identification du contenu des amphores: huile, conserves de poissons et poissonage”. *Actes du Congrès d’Arles*, SFECAG, 397-416.
- Gutiérrez, E. 2009. “La dendrocronología; métodos y aplicaciones”. *Arqueología náutica mediterrània*, X. Nieto i M.A. Cau (ed.). *Monografies del CASC*, 309-322.
- Jimenez, J.A., Justo, J. L. 1981. *Geotecnia y Cimientos*. Madrid.
- Martínez, J.; Petit, M.D. 1998. “La pez y la impermeabilización de envases anfóricos romanos. Estudio analítico de una muestra e interpretaciones histórico-económicas”. *Aespa*, 71: 265-274.
- Pascual, R. 1968. “Algunos aspectos del comercio antiguo según las ánforas”. *Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, nº 5, 67-79.
- Paton, J. 1849. «Description of the pier head of the old pier of Southend, and of the recent extension of the structure; with an inquiry into the nature and ravages of the Teredo Navalis, and the means hitherto for preventing its attacks. Institution of Civil Engineers». *Minutes of Proceedings*. Vol. IX. Londres.
- Pons, Ll. 2000. “La economía de la Mauretania Tingitana y su relación con la Baetica del alto imperio”. *Actas del Congreso “L’Africa Romana” vol 2*: , Djerba, 10-13 diciembre 1998, 1251-1289.
- Nash, S.E. 2002. “Archaeological tree-ring dating at the millennium”. *Journal of Archaeological Research*, Vol 10 (3), pp 243-274
- O’Kelly, J. 2017. Alfares onubenses: producción y comercio cerámico en el occidente de la Baetica. Tesis doctoral inédita. Volumen I. Universidad de Huelva, Huelva.
- Pascual, R. 1962. “Un pecio romano en “Les Negres” (Bagur, Gerona)”. *Ampurias* XXX, 239-241.

- Sáez, A.M., González, H., Higuera-Milena, A. 2016. “Una aportación al estudio del comercio marítimo antiguo gaditano a partir de un conjunto de ánforas halladas en aguas del área de La Caleta (Cádiz)”. *Onoba, Revista de arqueología y prehistoria*, 4, 69-103.
- Schoch, W., Heller, I., Schweingruber, F. H., Kienast, F. 2004. *Wood anatomy of central European Species*. Online version: [www.woodanatomy.ch](http://www.woodanatomy.ch)
- Veal, R. 2012. “From context to economy: charcoal as an archaeological interpretative tool. A case study from Pompeii (3<sup>rd</sup> c. B.C.-A.D. 79)”. *Journal of Roman Archaeology*, 91: 19-51.
- Woodworth, M., Bernal, D., Garnier, N., Pecci, A. 2015. “The content of African Keay25 (Africana 3 Amphorae: Initial results of the CORONAM project”. *Archaeoanalytics. Chromatography and DNA analysis in archaeology*, 41-57.

## 11.

### Arqueología en Portus, el muelle este-oeste: una propuesta de investigación futura

J. Bermejo<sup>1</sup>, J. M. Campos<sup>1</sup>, R. Sebastiani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural. Universidad de Huelva

<sup>2</sup> Soprintendenza Speciale Archeologia Belle Arti e Paesaggio di Roma

#### Resumen

El desarrollo del proyecto DEATLANTIR, en su ámbito de acción italiana, ha permitido el inicio y desarrollo de estudios en el área de *Portus Augusti*, inserto en el Parque Arqueológico de *Ostia Antica*. En este contexto, como objeto de estudio particular, se ha desarrollado un proyecto específico, iniciado en 2017 y actualmente en vigor, sobre uno de los muelles internos del puerto. Éste, denominado por la historiografía como *della lanterna* o linterna, presenta un desarrollo este-oeste y una amplia diacronía, con un cierto debate relativo a la fecha de su construcción al que ahora vienen a aportar nuestras investigaciones, hasta su abandono en el s. VI. Las consideraciones finales a su estudio, con un nutrido conjunto de datos y resultados, han posibilitado un destacado conocimiento a día de hoy, que permite el planteamiento de una nueva fase proyectual con una especial atención en la dinámica de *Portus* en su tránsito del Alto Imperio al periodo Tardo Antiguo.

#### Palabras clave

muelle; dársena; puerto; *Portus Augusti*; *Ostia Antica*

#### Abstract

The development of the DEATLANTIR project, in its Italian research scope, has allowed the initiation and development of studies in the archaeological site of *Portus Augusti*, in the Parco Archeologico di *Ostia Antica*. In this context, as an object of particular study, a specific project has been developed, starting in 2017 and currently ongoing, on one of the internal docks of the port. This, known in historiography as “*della lanterna*”, presents an east-west development and a wide diachrony, with a certain debate regarding the date of its construction to which our research now contributes, and its abandonment in the 6th century. The final considerations for its study, with a large set of data and results, have enabled an outstanding knowledge to date, which allows the approach of a new project phase with special attention to the dynamics of *Portus* in its transition from the High Empire to Late Antiquity.

#### Keywords

dock; port; *Portus Augusti*; *Ostia Antica*

#### El proyecto DEATLANTIR y su proyección italiana, hacia una nueva fase de estudio.

A lo largo de la última década, desde la Universidad de Huelva, se ha venido desarrollando la línea de investigación de los puertos en la Antigüedad, siendo numerosas las aportaciones científicas al fenómeno. En este contexto, la puesta en marcha de diversos marcos proyectuales, bajo el acrónimo DEATLANTIR (HAR2014-58326-P; II HAR2017-89154-P; UHU-1260298), han consolidado una importante línea de estudio relativa a los puertos y sistemas portuarios en época clásica en el Mediterráneo Occidental (Campos y Bermejo, 2017 Eds.; 2021 Eds.), que tiene en los puertos imperiales de Roma (*Portus*), uno de sus mejores y mayores exponentes. Si bien es cierto, este enclave a suscitado en las últimas décadas un especial interés científico que ha cristalizado en importantes publicaciones por parte de distintos grupos de investigación pertenecientes a diversas Universidades y Centros de investigación europeos (Keay et al. 2005; Keay y Paroli, 2011; Keay 2012 ed; Bukowiecki et al. 2018; Bukowiecki y Mimmo 2021), son numerosos los aspectos aún por tratar y atender en el amplio complejo portuario. En este panorama científico es donde se produce el inicio de los trabajos de la Onubense en el área arqueológica de *Portus*. Los resultados del proyecto