

5 mm

**ESTUDIO SOBRE LA EFICACIA DE LA
CONSOLIDACIÓN DE MATERIAL ÓSEO
ARQUEOLÓGICO CON PARALOID B72®. EVALUACIÓN
DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS**

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

CURSO 2020/2021

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

PRESENTADO POR: BEGOÑA FUENTES NAVARRO

DIRIGIDO POR: BEGOÑA CARRASCOSA MOLINER

LAURA OSETE CORTINA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESTUDIO SOBRE LA EFICACIA DE LA CONSOLIDACIÓN DE MATERIAL ÓSEO ARQUEOLÓGICO CON PARALOID B72®. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

CURSO 2020/2021

MÁSTER UNIVERSITARIO EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

PRESENTADO POR: **BEGOÑA FUENTES NAVARRO**

DIRIGIDO POR: **BEGOÑA CARRASCOSA MOLINER**

LAURA OSETE CORTINA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



RESUMEN

Este Trabajo Fin de Máster se centra en el estudio experimental sobre los cambios provocados en el material óseo al ser consolidado con la resina acrílica Paraloid B-72® mediante diversos métodos de aplicación y a diferentes concentraciones. El estudio engloba diferentes ensayos sobre probetas de hueso arqueológico para evaluar las propiedades fisicoquímicas como son el análisis colorimétrico, de brillo, la determinación de los cambios en la dureza, y el ensayo normalizado de absorción de la gota de agua del material tanto antes como después de la aplicación del consolidante. Además, se evalúa la profundidad de penetración que alcanza este producto en el material haciendo uso de la microscopía óptica antes y después del tratamiento y mediante la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier.

De manera que, considerando y comparando los resultados recabados en esta experimentación, se extraen conclusiones que aportan información y favorecen al ámbito de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales puesto que futuras intervenciones pueden tener un estudio testado en el que basarse al decidir qué metodología de aplicación y a qué porcentaje deben realizar la consolidación sobre el material óseo arqueológico. Por lo tanto, se podrá determinar con mayor exactitud el tratamiento más adecuado, realizando intervenciones más apropiadas e idóneas según las necesidades que presente la pieza.

PALABRAS CLAVE

Hueso, consolidación, Paraloid B-72®, material arqueológico, análisis fisicoquímico.

RESUM

Aquest Treball Fi de Màster es centra en l'estudi experimental sobre els canvis provocats en el material ossi al ser consolidat amb la resina acrílica Paraloid B-72® mitjançant diversos mètodes d'aplicació i a diferents concentracions. L'estudi engloba diferents assajos sobre provetes d'os arqueològic per a evaluar les propietats fisicoquímiques com són l'anàlisi colorimètric, brillantor, la determinació dels canvis de duresa i l'assaig normalitzat d'absorció de la gota d'aigua del material tant abans com després de l'aplicació del consolidant. A més a més, s'avalua la profunditat de penetració que alcanza aquest producte en el material fent ús de la microscopia òptica abans i després del tractament i mitjançant l'Espectroscopia Infrarroja per Transformada de Fourier.

De forma que, considerant i comparant els resultats obtinguts en aquesta experimentació, s'extrauen conclusions que aporten informació y afavoreixen a l'àmbit de la Conservació i Restauració de Béns Culturals ja que futures intervencions poden tindre un estudi testat en que basarse al decidir quina metodologia d'aplicació i a quin percentatge han de realitzar la consolidació del material ossi arqueològic. Per tant, es podrà determinar amb major exactitud el tractament més adequat, realitzant intervencions més apropiades i idònies segons les necessitats que requereix la peça.

PARAULES CLAU

Os, consolidación, Paraloid B-72®, material arqueològic, anàlisi fisicoquímic.

ABSTRACT

This Master's Thesis focuses on the experimental study of the changes caused in the bone material when consolidated with the acrylic resin Paraloid B-72® by different application methods and at different concentrations. The study includes different tests on archaeological bone specimens to evaluate the physicochemical properties such as colorimetric analysis, gloss, determination of changes in hardness, and the standardized test of water drop absorption of the material both before and after the application of the consolidant. In addition, the penetration depth reached by this product in the material is evaluated using optical microscopy before and after the treatment and by means of Fourier Transform Infrared Spectroscopy.

Thus, considering and comparing the results obtained in this experimentation, conclusions are drawn that provide information and favor the field of Conservation and Restoration of Cultural Heritage since future interventions can have a tested study on which to base when deciding what application methodology and at what percentage they should perform the consolidation on the archaeological bone material. Therefore, it will be possible to determine with greater accuracy the most appropriate treatment, performing more appropriate and suitable interventions according to the needs of the piece.

KEYWORDS

Bone, consolidation, Paraloid B-72®, archaeological material, physicochemical analysis.

ÍNDICE

1. Introducción	11
1.1. Motivación	11
1.2. Consolidación del material óseo	12
1.3. Empleo de Paraloid B72® en la restauración de material óseo	14
2. Objetivos	16
3. Metodología	17
4. Materiales y técnicas	19
4.1. Descripción del material arqueológico estudiado	19
4.2. Preparación de probetas de laboratorio	20
4.3. Consolidantes	23
▪ Elección de los consolidantes	23
▪ Preparación de los consolidantes	24
▪ Métodos de aplicación	30
4.4. Consolidación de las probetas	30
4.5. Técnicas de análisis, instrumentación y materiales	33
4.5.1. Examen morfológico mediante microscopía óptica	33
4.5.2. Análisis químico mediante espectroscopía ATR-FTIR	34
4.5.3. Evaluación de las propiedades mecánicas. Dureza Shore	35
4.5.4. Estudio colorimétrico	36
4.5.5. Medición de brillo	37
4.5.6. Equipos de protección individual (EPIs)	37
5. Resultados y discusión. Estudio analítico	39
5.1. Estudio micromorfológico. Microscopía óptica	39
5.2. Evaluación de las características ópticas	55
5.2.1. Colorimetría	56
5.2.2. Fotometría (brillo)	60
5.3. Estudio de las propiedades mecánicas. Dureza Shore	63
5.4. Evaluación del comportamiento hídrico. Ensayo de absorción de la gota	67
5.5. Estimación de la profundidad de penetración del consolidante	73
5.5.1. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)	73

5.6. Discusión de los resultados	81
6. Conclusiones	83
7. Bibliografía	85
8. Índice de imágenes, tablas y gráficos	89
9. Agradecimientos	101
10. Anexo	102

1. Introducción

1.1. Motivación

Desde el Paleolítico¹ el hueso ha sido muy utilizado para la realización de herramientas artesanales, por ello, el material óseo es el segundo elemento más hallado en las excavaciones arqueológicas, bien como esqueletos o bien como utensilios manufacturados.

Durante ese periodo, dependiendo de la dureza que requería el objeto a manufacturar, se elegían unos huesos u otros. Por ejemplo:

- Para hacer cañas o pajitas con las que poder absorber líquidos o soplar pigmentos, usaban las alas de las aves.
- Las cucharas las realizaban a partir de huesos de la parte trasera de los bóvidos.
- Otros elementos como punzones y agujas los manufacturaban a partir de huesos de ganado caprino², en particular.

Por otro lado, como símbolo de poder y de estatus social, utilizaban el marfil para producir empuñaduras y bastones de mando oculados, así como posteriormente, peines, horquillas, adornos, objetos litúrgicos y abanicos³.

En cuanto a los restos óseos humanos, según el estado en el que se encuentran, la posición y el lugar en la que aparecen y las alteraciones que presentan, ofrecen información acerca de la forma de vida del individuo, de la cultura, de los hábitos alimenticios, así como de los rituales funerarios y sus creencias.

Conjuntamente, los restos óseos esqueléticos y los manufacturados, conforman un bien cultural fundamental a nivel antropológico⁴ que nos permite conocer el pasado, además de también ser objetos de estudio de investigaciones científicas que aportan información práctica tanto en la actualidad como para futuros tratamientos⁵.

¹ Período más largo de la historia de la humanidad que abarca desde los 2.500.000 años a. C. hasta los 8.000 a. C. que se caracteriza por el uso de la piedra como principal materia prima.

² Definición según la R.A.E.: 1. adj. Perteneciente o relativo a la cabra. Disponible en: <https://dle.rae.es/caprino>. [Consulta: 17-07-2021].

³ CARRASCOSA, M. B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.

⁴ Definición según la R.A.E.: 2. F. Conjunto de ciencias que estudian los aspectos biológicos, culturales y sociales del ser humano. Disponible en: <https://dle.rae.es/antropolog%C3%ADa>. [Consulta: 17-07-2021].

⁵ CARRASCOSA, M. B. Apuntes de la asignatura "Conservación y extracción de materiales arqueológicos in situ." 2020/2021.

Por este motivo, es primordial contar con profesionales de diferentes disciplinas, y que entre ellos esté el conservador-restaurador puesto que su labor, desde el descubrimiento de la pieza in situ hasta la aplicación de los tratamientos de conservación y restauración en el laboratorio, así como su posterior exposición y puesta en valor, es imprescindible para garantizar la perdurabilidad de la pieza en las mejores condiciones posibles.

1.2. Consolidación del material óseo

Los huesos se caracterizan por ser materiales higroscópicos y anisotrópicos, es decir, son capaces de absorber humedad y de deformarse en diferentes direcciones. Además, la elevada porosidad del material ayuda a desencadenar estas alteraciones.

Estas patologías y degradaciones pueden empezar a generarse desde el enterramiento del material, por la interacción de los componentes del sustrato con la pieza ósea, y agravarse durante la excavación, por la variación repentina de las condiciones en que permanecía esta durante siglos, y por las intervenciones o mala manipulación de las piezas arqueológicas.

Es más, la excavación o exhumación de restos óseos supone un fuerte traumatismo/ shock para ellos, por lo que, en ocasiones, es necesario realizar in situ tratamientos de pre-consolidación, para poder manipularlos sin riesgo de afectar su integridad.

La consolidación se realiza cuando se detecta falta de resistencia mecánica en las piezas, es decir, carencia o pérdida de cohesión, degradación y riesgo de pérdida total o parcial. Este tratamiento siempre comporta un cambio fisicoquímico de la estructura original, por lo que no debe llevarse a cabo de manera indiscriminada.

El consolidante debe ajustarse a las necesidades de la pieza por ello tiene que cumplir ciertos requisitos, como son:

- Ser compatible
- Tener buenas propiedades cohesivas
- No conferir color ni brillo
- Ser reversible
- Ser estable en el tiempo
- Poseer capacidad de penetración
- No obstruir la transpirabilidad
- No ser tóxico
- Tener fácil aplicación

Para el tratamiento de consolidación, según las propiedades y las necesidades de las piezas, en la actualidad se están empleando las siguientes resinas:

- Resinas vinílicas y polivinílicas:
 - Resinas sódicas de acetato de polivinilo (Vinavil® K60)
 - Resinas de alcohol polivinílico (Rhodoviol®⁶, Mowiol®⁷)
 - Resinas vinilbutiral (Mowital®⁸)

- Resinas acrílicas y metacrilatos:
 - Emulsiones o dispersiones acuosas (Primal® AC33/ AC34, Acril 33®)
 - Polímeros de metacrilato (Paraloid B72®, Elvacite® 2044)
 - Cianocrilatos (Loctite®)

- Resinas de policondensación o termoendurecibles:
 - Epoxídicas (Araldite®⁹)

Aparte, se está empezando a utilizar Fluoline A¹⁰, monocomponente a base de fluoroelastómeros y acrílicos disueltos en acetona¹¹ que ofrece buena penetración y reversibilidad. Así como también se está empezando a estudiar el uso de partículas de hidroxapatita biomimética, ya que es uno de los componentes óseos y podría ser la solución más compatible con el material óseo¹².

Por otro lado, dependiendo de la profundidad que se quiera alcanzar con el tratamiento, se siguen diferentes metodologías de aplicación del consolidante. Para ello se puede diluir en mayor o menor proporción con un solvente. Si se requiere una consolidación superficial, se diluirá el soluto con menos cantidad de solvente para obtener una resina más espesa que no penetre tanto. Y si se requiere una consolidación en profundidad, se dispondrá de mayor cantidad de

⁶ <https://coatings.specialchem.com/product/r-solvay-rhodoviol-8-140>

⁷ <https://www.sigmaaldrich.com/ES/es/specification-sheet/ALDRICH/81381>

⁸ Ficha técnica de Mowital® consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.1.4resinasvinilicas2016/mowitalb60hh.pdf>

⁹ Ficha técnica de Araldite® consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.1.2resinaepoxidica2016/araldit2020esp.pdf>

¹⁰ Ficha técnica de Fluoline A consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.1.5resinassinteticasvarias2016/fluolineaesp.pdf>

¹¹ Ficha técnica de la acetona consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/3.1disolventes2016/acetonaesp.pdf>

¹² CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.

solvente para obtener una solución menos espesa que sea capaz de penetrar y actuar en profundidad.

La consolidación se puede realizar de manera integral, para tratar la pieza uniformemente en toda su totalidad, o de manera parcial, tratando solamente la zona afectada o superficialmente.

Los métodos de aplicación son varios y, según el estado de la pieza y la acción que se necesite, el consolidante se puede aplicar mediante pulverización, pincel, inmersión, goteo, inyección, migración por capilaridad y con papel tisú.

Finalmente, otro aspecto fundamental a tener en cuenta antes de la consolidación es cómo se encuentra el estado del material. Se tiene que distinguir previamente si el material óseo está seco o húmedo, ya que a partir de ese estado se aplicarán unos productos u otros. Si el material está seco se emplearán productos orgánicos y volátiles; si el material está húmedo se aplicarán productos acuosos¹³.

1.3. Empleo de Paraloid B72® en la restauración de material óseo

Anteriormente, para tratar la carencia de cohesión y adhesión, así como también llevar a cabo el proceso de reconstrucción volumétrica del material óseo arqueológico, se han empleado materiales naturales, como la cera de abeja¹⁴ blanqueada¹⁵, industriales, como la parafina refinada¹⁶, y sintéticos, como la cera microcristalina¹⁷, ¹⁸. Pero con el tiempo, el uso de estos productos se ha aminorado porque presentan cualidades como un punto de fusión bajo (60-90°C), inestabilidad a lo largo del tiempo y vulnerabilidad al biodeterioro¹⁹.

¹³ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.

¹⁴ Ficha técnica de la cera de abeja consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.2.1ceras2016/ceradeabejaamarilla.pdf>

¹⁵ La cera de abejas blanqueada es la cera de abejas blanqueada a partir de un tratamiento realizado con rayos UV. Información disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/119-cera-virgen-de-abejas-blanca>

¹⁶ Ficha técnica de la parafina refinada consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.2.1ceras2016/parafina.pdf>

¹⁷ Ficha técnica de la cera microcristalina consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/2.2protectores2016/ceramicristalinac80esp.pdf>

¹⁸ LINARES SORIANO, M. A. (2012). *Estudio del Comportamiento Físico-Mecánico de Masillas Experimentales Destinadas a la Reintegración Volumétrica de material Óseo Arqueológico*. (Tesis Final de Máster ed.) Valencia: Universitat Politècnica. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/10251/16193>>

¹⁹ CARRASCOSA MOLINER, M. B., LINARES SORIANO, M. A., 2012. Idoneidad de os actuales estucos tradicionales empleados en la reintegración volumétrica de materiales óseos. *Arché*. [Consulta: 21-07-2021]. Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33047/2012_6-7_47-54.pdf?sequence=1

En la actualidad se emplean diferentes resinas como Acril® 33, Elvacite® 2044, Vinavil® K60 y Mowital® B60HH, pero Paraloid B72®, aparte de usarse en los procesos de consolidación de material óseo arqueológico, también es empleado como estrato de protección en piezas de madera, metal, cerámica y piedra, así como de adhesivo e incluso de aglutinante en reintegración pictórica²⁰. También, se utiliza como componente para la elaboración de masillas de reintegración volumétrica de material óseo arqueológico²¹.

También, por algunas propiedades como son la elasticidad, la resistencia a la oxidación, a la hidrólisis, a la incidencia de la luz, a temperaturas moderadamente altas y por la reversibilidad, el Paraloid B72® se valora como la resina más estable de los metacrilatos. Aunque su exposición a la radiación ultravioleta sí que le afecta reduciendo su solubilidad, de igual manera es considerado el polímero más estable tras someterlo al envejecimiento artificial, comparado con otros materiales acrílicos y vinílicos²².

A raíz de los aspectos comentados anteriormente, se ha considerado necesario llevar a cabo este Trabajo Final de Máster para comprobar si el tratamiento de consolidación con la resina Paraloid B72® es adecuado y efectivo, puesto que su uso es muy común y generalizado²³ en el ámbito de la consolidación del material óseo arqueológico²⁴.

²⁰ Ídem.

²¹ LINARES SORIANO, M.A., CARRASCOSA MOLINER, M.B., 2015. Resinas acrílicas empleadas en la elaboración de masillas para la reintegración volumétrica de materiales óseos arqueológicos: estudio colorimétrico del envejecimiento artificial acelerado ultravioleta. *Arché*, **10**, 179-190. [Consulta: 07-07-2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/85215>.

²² MUÑOZ VIÑAS, S., OSCA PONS, J., GIRONÉS SARRIÓ, I. 2014. *Diccionario de materiales de restauración*. Madrid: Ediciones Akal S.A. ISBN 9788446025887.

²³ LINARES SORIANO, M. A. (2012). *Estudio del Comportamiento Físico-Mecánico de Masillas Experimentales Destinadas a la Reintegración Volumétrica de material Óseo Arqueológico*. (Tesis Final de Máster ed.) Valencia: Universitat Politècnica. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/10251/16193>>

²⁴ DAVIDSON, A., BROWN, G. W., 2012. Paraloid B-72: Practical Tips for the Vertebrate Fossil Preparator. *Collection Forum*, **26** (1-2), 99-119. [Consulta: 18-05-2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/1237393/Paraloid_B72_Practical_Tips_for_the_Vertebrate_Fossil_Preparator

2. Objetivos

El principal objetivo del presente Trabajo Final de Máster es evaluar la eficacia del tratamiento de consolidación de material óseo arqueológico mediante la resina acrílica Paraloid B72® llevado a cabo con distintas metodologías y a diferentes proporciones.

Para poder desarrollar el objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos secundarios:

- Conocer la capacidad de penetración del consolidante en el material.
- Examinar los cambios físicos y morfológicos que produce el tratamiento.
- Comparar los resultados para averiguar cuál es la metodología de aplicación y proporción de consolidante más idónea que cubra las necesidades de las piezas óseas arqueológicas.

3. Metodología

Para alcanzar los objetivos anteriormente nombrados se ha seguido la metodología (Fig. 1) que se expone a continuación compuesta por dos etapas diferenciadas.

Fase teórica:

- Búsqueda bibliográfica sobre material óseo arqueológico para adquirir el conocimiento suficiente sobre la naturaleza de la pieza a tratar.
- Búsqueda bibliográfica sobre la resina acrílica Paraloid B72®, así como estudios que la empleen en tratamientos de conservación y restauración de bienes culturales, sobre todo en material arqueológico.

Fase experimental:

- Adquisición de una pieza de material óseo arqueológico perteneciente al Museu Arqueològic de Lliria, gracias a la colaboración de su director Xavier Vidal Ferrús.
- Limpieza del material óseo arqueológico, combinando las limpiezas física y mecánica.
- Preparación de probetas para realizar la investigación experimental.
- Preparación de las disoluciones de consolidante a diferente concentración (2%, 3%, 5%, 10%, 15%) requeridas para esta investigación.
- Consolidación de las probetas con las diferentes disoluciones mediante dos métodos de aplicación distintos, impregnación a pincel (una y dos aplicaciones) y por inmersión.
- Ejecución de la parte experimental que ha constado de la realización de diferentes ensayos y análisis previos a la consolidación y posteriores con el fin de comparar las variaciones provocadas por el tratamiento. Estudio micromorfológico, análisis colorimétrico y de brillo, ensayo de absorción de la gota, determinación de la dureza superficial, evaluación del comportamiento hídrico y análisis mediante espectroscopía ATR-FTIR para la evaluación de la profundidad de penetración del consolidante.
- Registro e interpretación de los resultados obtenidos a partir de los análisis y ensayos.

- Elaboración de una discusión y conclusiones generadas a raíz de los resultados que ha proporcionado la experimentación, que ha permitido determinar la eficacia del tratamiento de consolidación de material óseo arqueológico con la resina Paraloid B72® y conocer la metodología más idónea según las necesidades de las piezas.

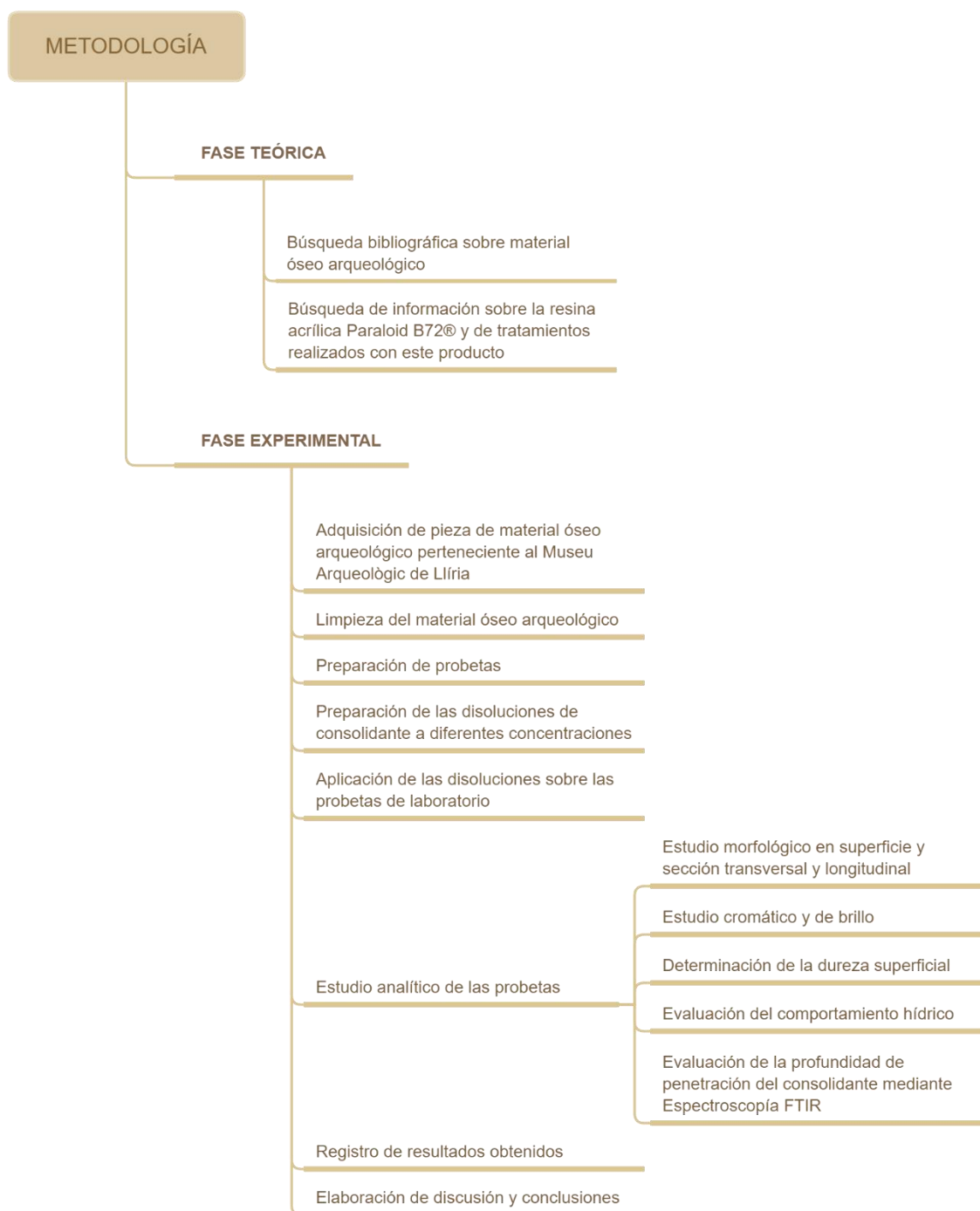


Fig. 1. Mapa conceptual de la metodología seguida en este trabajo.

4. Materiales y técnicas

La parte empírica de este proyecto ha precisado de material básico, restos óseos y Paraloid B72®, además de instrumentación científica que han permitido realizar los análisis fisicoquímicos pertinentes a lo largo de la experimentación.

4.1. Descripción del material arqueológico estudiado

El material óseo estudiado es una pieza arqueológica correspondiente a un fémur humano²⁵ procedente del foso de la Iglesia de la Sangre de Lliria y que pasó a formar parte de los fondos del MALL (Museu Arqueològic de Lliria).

Debido a dos fracturas que atravesaban longitudinalmente el hueso por completo, la pieza se encontraba fragmentada en dos partes de 34.70 cm de largo (Figs. 2 y 3).

El estado del material óseo en general es bueno, no obstante, la parte estructural esponjosa, la cual consiste en un entramado poroso interior donde se encontraba la médula ósea, ha ido degradándose hasta casi desaparecer. Por el contrario, la parte estructural compacta, que es la masa sólida exterior con espacios de disposición microscópica²⁶, se conserva bien, observándose en ella alguna fisura de pequeño tamaño además de suciedad superficial, depósitos terrosos, concreciones calcáreas y alteración cromática de la superficie (Figs. 4-6).



Figs. 2 y 3. Fotografías iniciales de anverso y reverso de las piezas óseas.

²⁵https://eprints.ucm.es/id/eprint/13414/1/PRINCIPIOS_B%C3%81SICOS_DE_OSTEOLOG%C3%8DA_APLICADOS_A_LA_REPRESENTACI%C3%93N_DE_LA_FIGURA_HUMANA.pdf . [Consulta: 02-06-2021].

²⁶ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2019/2020.



Figs. 4-6. Fotografías iniciales de detalle de las piezas óseas.

4.2. Preparación de probetas de laboratorio

Para llevar a cabo la parte experimental de este estudio se ha planteado obtener dieciséis probetas individuales de las piezas óseas de al menos dos centímetros de ancho, una de referencia y quince en las cuales se pueda aplicar el consolidante mediante diferente metodología de aplicación y a diferente concentración, y realizar posteriormente los análisis y ensayos pertinentes.

Primeramente, se ha examinado el hueso y determinado qué intervalo ofrecía más homogeneidad en cuanto a las dimensiones de cada probeta que se pudiera obtener y estado de conservación. Es decir, que las probetas, dentro de lo posible, tuvieran el mismo tamaño y grosor de estructura ósea compacta y no presentaran alteraciones diferenciales como fisuras o pérdidas de material significativas que pudieran afectar a la penetración de los tratamientos consolidantes. A continuación, mediante grafito y una cinta métrica se ha medido y marcado por donde correspondía cortar (Fig. 7).



Fig. 7. Cálculo de dimensiones de las probetas.

- DREMEL® 4000

Estos cortes (Figs. 8 y 9) se han realizado con una mini amoladora DREMEL® 4000, herramienta que ofrece variedad de funciones con gran precisión y control, además de velocidad regulable y

variedad de boquillas intercambiables que permite realizar funciones como cortar, grabar, lijar y pulir, entre otras²⁷.



Figs. 8 y 9. Corte de las probetas con DREMEL® 4000.

Como se puede observar (Fig. 10), las probetas adquiridas son de dimensiones similares y los cortes son limpios.



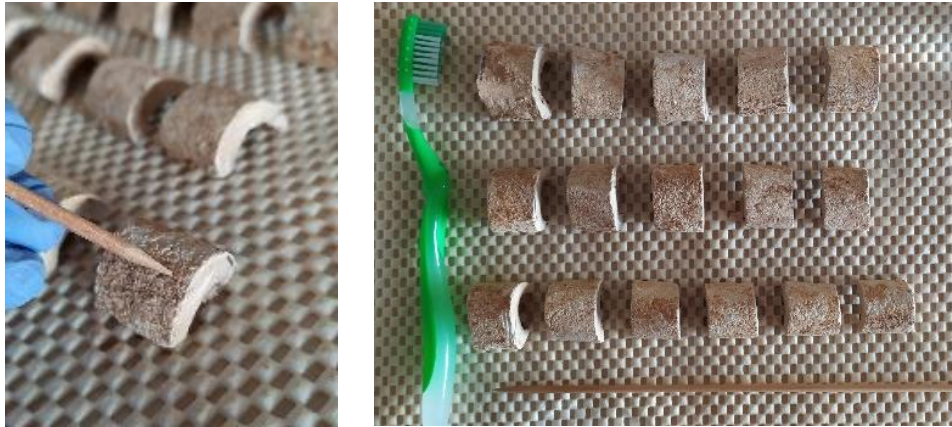
Fig. 10. Probetas obtenidas tras el corte del material óseo arqueológico.

Una vez preparadas las probetas, se ha realizado una limpieza gradual, controlada y selectiva. Comprobando la dureza general del hueso, se ha empezado por una limpieza mecánica en seco de los depósitos terrosos que presentaba en superficie y concreciones calcáreas²⁸ poco incrustadas con ayuda de una varilla de madera de bambú, eliminando a continuación los depósitos de suciedad que quedaban en las oquedades²⁹ de la superficie mediante un cepillo de cerdas suaves y sintéticas (Figs. 11 y 12).

²⁷ Información disponible en: <https://www.dremel.com/es/es/p/dremel-4000-4000-1-45-v395> . [Consulta: 03-06-2021].

²⁸ Acumulaciones insolubles de cal en superficie.

²⁹ Definición según la R.A.E.: 1.f. Espacio que en un cuerpo sólido queda vacío, natural o artificialmente. Disponible en: [<https://dle.rae.es/oquedad>].



Figs. 11 y 12. Detalle de la limpieza mecánica en seco y aspecto general de las probetas tras el proceso.

Puesto que aún quedaban restos, se han realizado pruebas de solubilidad con los solventes agua³⁰, alcohol y acetona, aplicados con hisopo y en ese orden para determinar cuál era más adecuado y efectivo³¹. El agua ha resultado eficaz por lo que se ha realizado una limpieza física con hisopo en todas las probetas con este solvente (Fig. 13), obteniendo unas probetas con un nivel de limpieza óptimo (Fig. 14) para llevar a cabo la experimentación posterior. Debido al elevado índice de higroscopicidad del material óseo, la cantidad de agua desmineralizada usada en la limpieza ha sido el estrictamente necesario, sin ocasionar alteraciones en la pieza. Finalmente, las probetas se dejaron secar en condiciones ambientales de laboratorio hasta peso constante.



Fig. 13. Detalle de la limpieza física en húmedo.



Fig. 14. Aspecto general de las probetas tras la limpieza.

³⁰ A lo largo de este trabajo el término agua hace referencia a agua desmineralizada.

³¹ CARRASCOSA, M. B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.

4.3. Consolidantes

▪ Elección de los consolidantes

El Paraloid B72® es una resina acrílica sólida formada por un copolímero de monómeros de metacrilato de etilo y acrilato de metilo (ME/AM) en proporción 70/30 introducido como Perspex por ICI en el año 1930³², que posteriormente lo comercializó Röhm and Hass, una filial dependiente de Dow Chemical³³. En el año 1970 y posteriores se modificó su composición original que consistía en un 68% de etil acrilato y un 32% de metil acrilato, a un 70% de etil metacrilato y un 30% de metil acrilato.

Se suministra como grageas transparentes con forma tubular que, almacenadas en condiciones ambientales normales, mantienen sus propiedades durante un periodo de tiempo considerable³⁴. Es soluble en disolventes de diferente tipología, aunque los más comunes son:

- Cetonas (acetona, metiletilcetona)
- Éteres y ésteres (dowanol PM, etilo acetato de etilo, acetato de butilo)
- Hidrocarburos aromáticos (xileno, tolueno)

Aparte, tiene una solubilidad muy baja con alcohol etílico e hidrocarburos alifáticos, y nula en agua. Por la baja toxicidad, las recomendaciones indican disolverlo en acetona o butil acetato y, en caso de precisar nivel aromático bajo, dowanol PM. Además, su función hidrorrepelente es temporal³⁵.

Puesto que al polimerizar la resina los enlaces que produce son más débiles que los producidos por otros adhesivos³⁶, como el cianocrilato, la reversibilidad de este producto se ve favorecida.

³² <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/proteccion-temporal-o-final/paraloid/>

³³ GARCÍA GARCÍA, C., 2019. *Estudio sobre el comportamiento mecánico de materiales óseos sometidos a tratamientos en húmedo: Viabilidades y limitaciones del uso de barreras temporales*. B, CARRASCOSA MOLINER (dir.). Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia. Consulta: 16-05-2021. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/129403/Garc%c3%ada%20-%20ESTUDIO%20SOBRE%20EL%20COMPORTAMIENTO%20MECANICO%20DE%20MATERIALES%20OSEOS%20SOMETIDOS%20A%20TRATAMIENTOS%20EN....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

³⁴ Ficha técnica de Paraloid B72® consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.1.1.resinaacrilica2016/paraloidb-72esp.pdf>

³⁵ Ídem.

³⁶ DAVIDSON, A., BROWN, G. W., 2012. Paraloid B-72: Practical Tips for the Vertebrate Fossil Preparator. *Collection Forum*, **26** (1-2), 99-119. [Consulta: 18-05-2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/1237393/Paraloid_B72_Practical_Tips_for_the_Vertebrate_Fossil_Preparator

Su temperatura de transición vítrea (T_g) es de 40°C , temperatura a partir de la cual este material polimérico pasa de su región elástica a su región plástica, transformándose de ser un material con cierta dureza a uno gomoso, viscoso³⁷. Esto indica, que en un ambiente controlado no debería cambiar su estado sólido.

Debido a la baja toxicidad, fácil disolución³⁸ y uso generalizado de Paraloid B72® en acetona como consolidante de material óseo arqueológico^{39,40}, se ha decidido realizar las disoluciones con este solvente. Así pues, la experimentación de este trabajo dará respuestas a cuestiones y dilemas que siguen en la actualidad y que requieren su comprobación experimental para conocer si los tratamientos realmente están cumpliendo las condiciones que se espera de ellos.

▪ Preparación de los consolidantes

Se han obtenido soluciones de Paraloid B72® en acetona a diferente concentración: 2, 3, 5, 10 y 15% (peso/volumen), puesto que normalmente son los porcentajes a los que se usa esta resina acrílica. Los porcentajes más bajos (2, 3 y 5%) para funciones de consolidación y los más elevados (10 y 15%) para funciones adhesivas.

Para realizar cada una de las disoluciones se ha calculado el peso de Paraloid B72® (Tabla. 1) que correspondía disolver en acetona para obtener la concentración necesaria.

Tabla 1. Cantidad de consolidante y disolvente según la concentración.

Concentración (%)	Paraloid B72® (g)	Acetona (ml)
2	0.50	25
3	0.75	25
5	1.25	25
10	2.50	25
15	3.75	25

³⁷ FUSTER, L. Apuntes de la asignatura "Estudio de las propiedades mecánicas y dimensionales de los materiales pictóricos." 2020/2021.

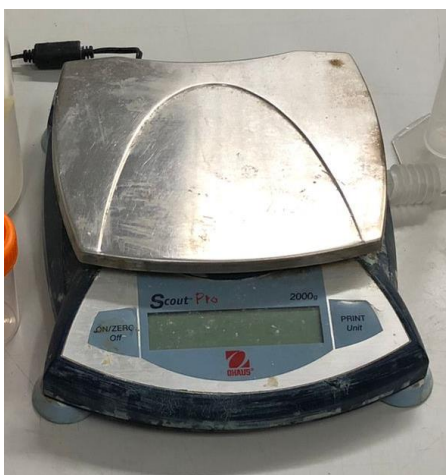
³⁸ Ficha técnica de Paraloid B72® consultada en CTS. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.1.1.resinaacrilica2016/paraloidb-72esp.pdf>

³⁹ DAVIDSON, A., BROWN, G. W., 2012. Paraloid B-72: Practical Tips for the Vertebrate Fossil Preparator. *Collection Forum*, **26** (1-2), 99-119. [Consulta: 18-05-2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/1237393/Paraloid_B72_Practical_Tips_for_the_Vertebrate_Fossil_Preparator

⁴⁰ CARRASCOSA, M. B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.

La cantidad de Paraloid B72® necesaria para cada solución se ha pesado con una balanza de precisión y cucharillas de laboratorio, y después se ha introducido en envases previamente etiquetados con la información de soluto, solvente, concentración y fecha de realización. A continuación, se describe el equipamiento (balanza empleada), así como el material básico de laboratorio empleado.

- *Balanza de precisión*



La balanza electrónica de laboratorio (Fig. 15) ha sido la Ohaus Scout® Pro⁴¹ tanto para la pesada del Paraloid B72® necesaria en cada disolución como para la de las probetas durante el proceso de secado por oreo hasta peso constante tras ser consolidadas por inmersión (serie I). Este instrumento permite realizar mediciones precisas, con una resolución desde 1 mg, con posibilidad de salida de datos mediante conector USB y de diferentes fuentes de alimentación, pilas alcalinas o adaptador AC⁴².

Fig. 15. Balanza electrónica de laboratorio Ohaus Scout® Pro.

- *Cucharillas de laboratorio*

Se han utilizado una cuchara y una espátula tipo cuchara (Fig. 16) para tomar las grageas de consolidante necesarias según la proporción de soluto-solvente y depositarlas en los envases pertinentes. Estos utensilios están hechos de acero, la espátula tiene doble función debido a que cada extremo permite realizar diferentes acciones, y pueden ser de diferentes tamaños⁴³, dependiendo de las necesidades que se quieran cubrir (Figs. 17 y 18).

⁴¹ <http://www.basculas-balanzas.com/balanzas-laboratorio/balanza-laboratorio-51-scoutpro.html> . [Consulta: 01-07-2021].

⁴² <http://www.basculas-balanzas.com/balanzas-laboratorio/ohaus-scout-pro.pdf> . [Consulta: 01-07-2021].

⁴³ <http://www.vertex.es/wp-content/uploads/2016/11/1.2-Herramientas.pdf> . [Consulta: 01-07-2021].



Fig.16. Cucharilla de laboratorio y espátula usadas en la experimentación. Figs. 17 y 18. Preparación de las soluciones.

A continuación, se ha añadido el volumen correspondiente de acetona y se ha dejado reposar para conseguir el hinchamiento de la resina (al menos 24h), tras lo que se ha procedido a su agitación con varilla de vidrio para homogeneizar la solución antes de su uso.

- *Probeta graduada de laboratorio*

Para la medición de la cantidad de acetona se ha empleado una probeta graduada (Fig. 19), que consiste en un recipiente grabado con una escala de graduación en el que se pueden medir volúmenes. Puede ser de vidrio, ofreciendo mediciones más exactas, o de plástico, teniendo como ventajas que es más difícil de romper o que es más adecuada para el uso con algunos ácidos que corroen el vidrio⁴⁴.



Fig. 19. Probetas graduadas de laboratorio.

Una vez disuelto por completo el Paraloid B72® en acetona se ha añadido gota a gota una solución al 0.1% del colorante Rodamina B⁴⁵ en etanol, compuesto orgánico de color intenso que más adelante ha ayudado a discernir visualmente el alcance del consolidante en la sección transversal de cada probeta y su reparto homogéneo en la superficie del material óseo⁴⁶.

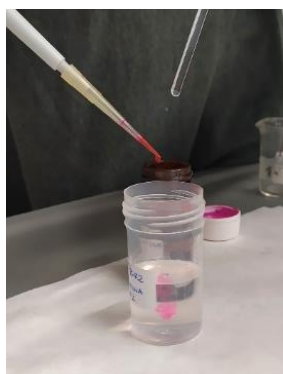
⁴⁴ Información disponible en: https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/probeta_graduada.html . [Consulta: 27-06-2021].

⁴⁵ <https://www.kremer-pigmente.com/es/shop/colorantes-colores-vegetales/94900-rodamina-b.html> . [Consulta: 28-06-2021].

⁴⁶ AL-KADHEMY, M., AL-SHARUEE, I., AL-ZUKY, A. 2011. Analysis of the effect of the concentration of rhodamine B in ethanol on the fluorescence spectrum using the "Gauss Mod" function. *Journal of Physical Science*, 2 (22), 77-86. [Consulta: 28-06-2021].

- *Rodamina B*

En origen se presenta como una sustancia pulverulenta de color verde grisácea (Fig. 20), la cual se mezcla con un disolvente, en este caso etanol, y se transforma en un líquido color rosa intenso pero translúcido⁴⁷ (Fig. 21). Frecuentemente es usado para conocer la dirección de penetración de un líquido, siendo detectable mediante luz ultravioleta en ambientes oscuros debido a su emisión de fluorescencia⁴⁸. La rodamina empleada ha sido suministrada por Sigma-Aldrich⁴⁹ (Darmstadt, Alemania).



Dicho colorante se ha adicionado con ayuda de una pipeta Eppendorf, para controlar la cantidad que se iba añadiendo y agitando de manera continua con una varilla de vidrio para su total homogeneización.

Fig. 20. Aspecto previo de la Rodamina B.

Fig. 21. Preparación de su disolución en etanol.

- *Pipeta Eppendorf Research® plus*

Instrumento (Fig. 22) que permite tanto absorber como dispensar líquido siguiendo el principio de cámara de aire. Ofrece variedad de puntas intercambiables y se puede ajustar la cantidad exacta de líquido a absorber o liberar⁵⁰.



Fig. 22. Pipeta Eppendorf Research® plus empleada.

https://www.researchgate.net/publication/281665569_Analysis_of_the_effect_of_the_concentration_of_rhodamine_B_in_ethanol_on_the_fluorescence_spectrum_using_the_Gauss_Mod_function

⁴⁷ Ficha técnica de Rhodamine B consultada en KREMER. Disponible en: https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/94900_SDS.pdf . [Consulta: 28-06-2021].

⁴⁸ Información disponible en: <https://www.alquera.com/rodamina-b/> . [Consulta: 28-06-2021].

⁴⁹ Ficha técnica de Rhodamine B consultada en Sigma-Aldrich. <https://www.sigmaaldrich.com/ES/es/sds/sial/79754> . [Consulta: 02-07-2021].

⁵⁰ Manual de instrucciones de la pipeta Eppendorf Research® plus. Disponible en: https://www.eppendorf.com/product-media/doc/es/174967/Eppendorf_Liquid-Handling_Operating-manual_Research-plus.pdf . [Consulta: 29/06/2021].

Aparte de para añadir el colorante Rodamina B a las diferentes disoluciones de consolidante, también se ha utilizado para realizar el ensayo de absorción de agua siguiendo la normativa RILEM II.8, Absorción de la gota de agua, proceso que se explica en el apartado 5.4.

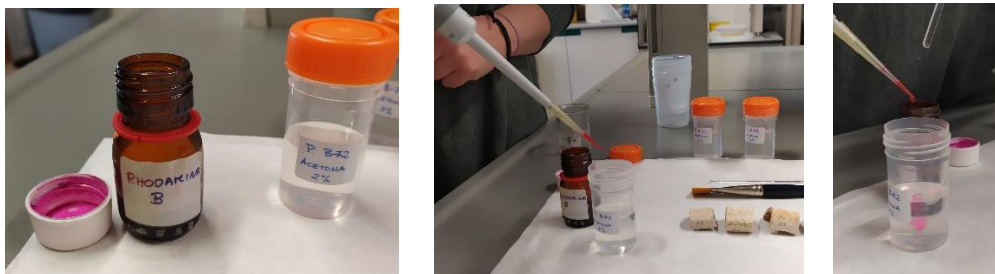
- *Varilla de vidrio*

Utensilio de forma tubular de diámetro y longitud variable (Fig. 23), compuesto de vidrio⁵¹ inerte incoloro usado para agitar disoluciones⁵², en este caso, para remover el Paraloid B72® en acetona. Así como también integrar la Rodamina B en las mezclas preparadas ya de soluto-solvente.



Fig. 23. Varilla de vidrio de laboratorio.

En el proceso (Figs. 24-26) se ha observado que a mayor concentración de Paraloid B72® en la solución, mayor era la cantidad necesaria para conferir color a la mezcla y mayor resistencia a integrarse.

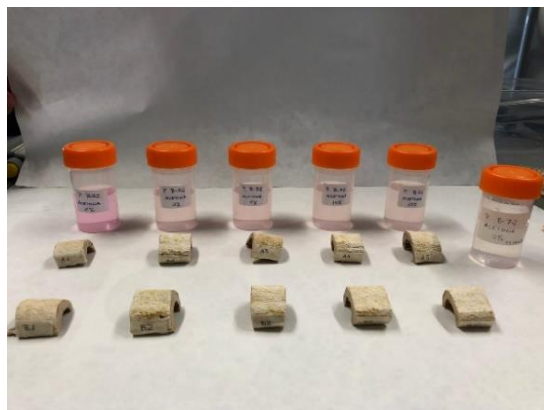


Figs. 24-26. Adición de Rodamina B a las soluciones.

Por ello, se ha decidido adicionar la cantidad necesaria de la disolución de Rodamina B (Figs. 27 y 28) hasta alcanzar unos niveles cromáticos semejantes para todas las soluciones. El volumen adicionado ha entre 0.3-0.5 ml en todos los casos, considerando que no afecta sensiblemente la concentración de las soluciones de Paraloid B72®.

⁵¹ https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/varilla_agitadora.html [Consulta: 28/06/2021].

⁵² Ficha técnica de varilla para agitación consultada en labbox. Disponible en: <https://esp.labbox.com/wp-content/uploads/FT/PDS-280.pdf> . [Consulta: 28-06-2021].



Figs. 27 y 28. Adición de Rodamina B a las soluciones.

Para comprobar de manera más exacta y sin ambigüedades si todas las soluciones realmente poseían una tonalidad parecida se han depositado 500 microlitros de cada solución en diferentes portaobjetos de vidrio y se han dejado secar. Posteriormente, se han realizado tres mediciones de color⁵³ de cada portaobjetos, de las cuales se ha sacado un valor medio y, como se muestra en la siguiente gráfica, no se aprecia una variación significativa (Gráfico 1).

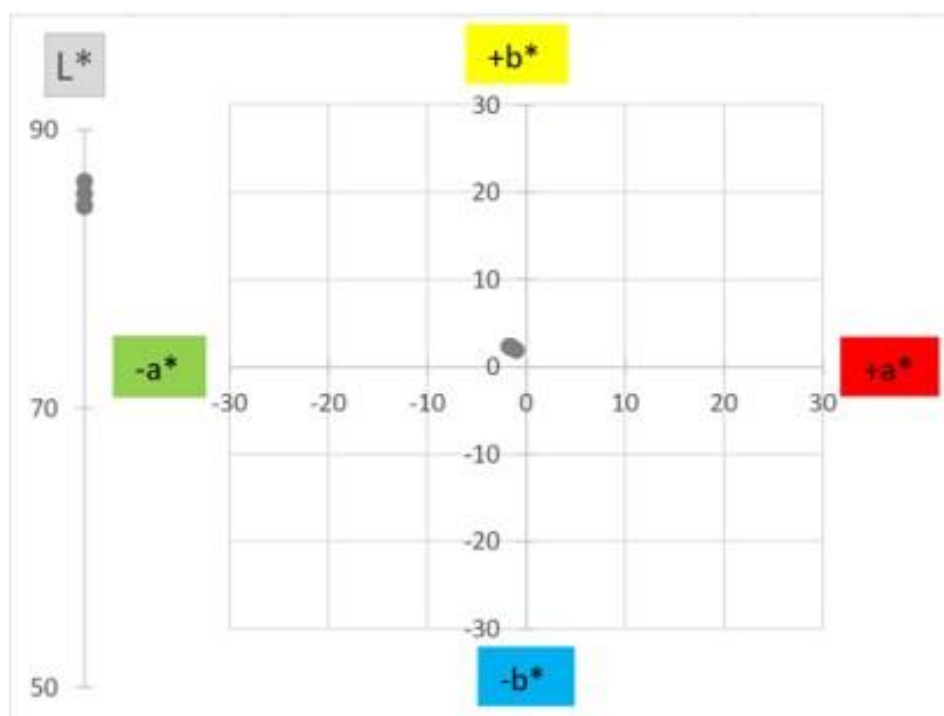


Gráfico. 1. Espacio cromático CIELAB⁵⁴. Medición colorimétrica de las soluciones con Rodamina B.

⁵³ MARTÍNEZ BAZÁN, M.L., 2007. Colorimetría aplicada al campo de la conservación y restauración: curso: Máster/Doctorado. Valencia: Editorial UPV.

⁵⁴ CIELAB es un espacio cromático en el que el eje vertical indica la luminosidad y el diagrama bidimensional representa la ubicación de las coordenadas cromáticas. Ofreciendo los datos colorimétricos exactos que poseen los colores.

- **Métodos de aplicación**

Los métodos de aplicación del consolidante sobre las probetas han sido por impregnación mediante pincel, dos series de cinco probetas (series A y B), y por inmersión, una serie de cinco probetas (serie I). Las series constan de cinco probetas en las que en cada probeta se ha aplicado una concentración diferente de Paraloid B72®, como se muestra a continuación (Tabla 2).

Tabla 2. Método de aplicación y concentración de Paraloid B72® de las probetas.

MÉTODO DE APLICACIÓN	CONCENTRACIÓN DE PARALOID B72®				
Una pasada	A1 2%	A2 3%	A3 5%	A4 10%	A5 15%
Dos pasadas	B1 2%	B2 3%	B3 5%	B4 10%	B5 15%
Inmersión	I1 2%	I2 3%	I3 5%	I4 10%	I5 15%

Una pasada hace referencia a depositar el consolidante en las probetas mediante pincel primero en una dirección y posteriormente, una vez absorbido el producto, otra aplicación en dirección perpendicular. Dos pasadas, a la repetición del tratamiento realizado en una pasada.

4.4. Consolidación de las probetas

Una vez preparadas las cinco disoluciones de Paraloid B72® en acetona (2%, 3%, 5%, 10%, 15% de concentración) con Rodamina B (Fig. 29), se han aplicado a las series de probetas A y B mediante pincel de punta plana y cerdas sintéticas (Fig. 30). Limpiando el pincel en acetona entre cada aplicación para que la disolución restante en el pincel no interfiriera en las siguientes aplicaciones de diferente concentración.



Fig. 29. Disoluciones de Paraloid B72® preparadas.



Fig. 30. Aplicación del consolidante mediante pincel.

La consolidación se ha realizado en la vitrina extractora de gases⁵⁵ (Fig. 31) con la guillotina bajada, puesto que es transparente y posibilita ver a través de ella, solamente se ha abierto el espacio necesario para poder trabajar⁵⁶. El equipo de extracción de la vitrina permite expulsar las emisiones generadas por el disolvente utilizado evitando que sea aspirado^{57, 58} mientras se están manipulando las disoluciones. Por una parte, bajar la guillotina hace que la efectividad de la vitrina al extraer los gases sea mayor, por otra, protege de las posibles salpicaduras de sustancias químicas con las que se trabaja⁵⁹.

La vitrina usada es de Grupo WALDNER®⁶⁰ como la que se muestra a continuación.



Fig. 31. Vitrina de extracción de gases WALDNER®.

⁵⁵ https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_677.pdf/4288edba-8241-4a57-a800-30a55220aebc [Consulta: 03-07-2021].

⁵⁶ Información sobre el uso de la guillotina de la vitrina de extracción de gases disponible en: <https://www.upv.es/entidades/AMAPUOC/infoweb/ov/info/929226normalc.html> . [Consulta: 03-07-2021].

⁵⁷ <https://www.unirioja.es/servicios/spri/pdf/vitrinas.pdf> [Consulta: 03-07-2021].

⁵⁸ Pautas de uso para vitrinas de gases: https://www.spri.upv.es/pdf/IOP_SQ_17_ANEXO_A.pdf . [Consulta: 03-07-2021].

⁵⁹ <http://www.ictp.csic.es/ICTP2/sites/default/files/1.Manual%20Laboratorios.pdf> [Consulta: 04-07-2021].

⁶⁰ Imagen de Grupo WALDNER: <https://www.waldner.es/Espa%c3%b1ol/Vitrinadegases/tabid/2583/Default.aspx> . [Consulta: 04-07-2021].

Tras finalizar la aplicación del consolidante y gracias al colorante empleado, ya era visible la diferencia tanto de color como de brillo entre unas probetas y otras, denotando heterogeneidad en cuanto a la absorción a diferentes concentraciones (Fig. 32).



Fig. 32. Probetas de las series A y B tras su consolidación.

Aplicado el consolidante en las series A y B mediante pincel, se ha procedido a realizar la consolidación de la serie I por inmersión (Fig. 33). En primer lugar, se han impregnado las probetas con el solvente de las disoluciones, acetona, mediante una muñequilla de algodón y gasa hidrófila, para favorecer la penetración⁶¹ del consolidante en el material óseo.

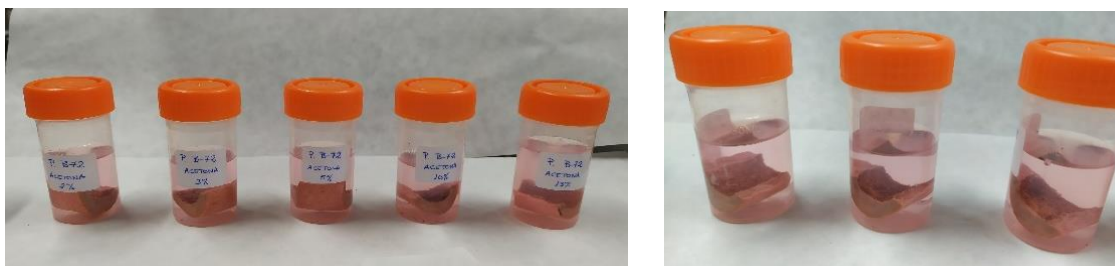


Fig. 33. Probetas de la serie I antes de su consolidación por inmersión.

A continuación, se han introducido las probetas en los envases de las disoluciones (Figs. 34 y 35) durante 30 minutos⁶², independientemente de la concentración de Paraloid B72® de cada envase para poder comprobar la eficacia de las diferentes disoluciones durante el mismo periodo de actuación.

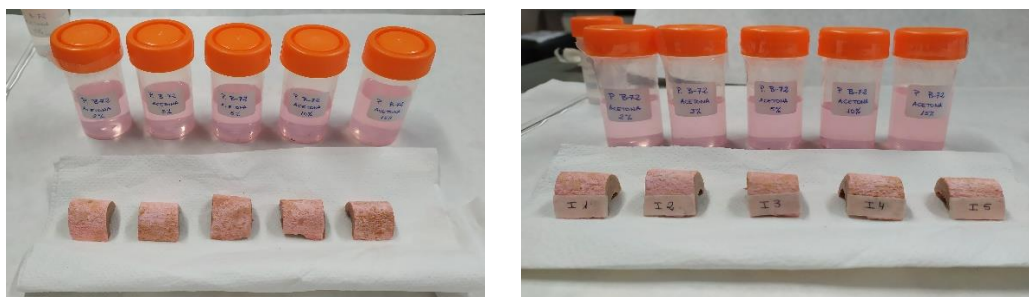
⁶¹ DAVIDSON, A., BROWN, G. W., 2012. Paraloid B-72: Practical Tips for the Vertebrate Fossil Preparator. *Collection Forum*, **26** (1-2), 99-119. [Consulta: 18-05-2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/1237393/Paraloid_B72_Practical_Tips_for_the_Vertebrate_Fossil_Preparator

⁶² CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.



Figs. 34 y 35. Probetas de la serie I en inmersión.

Para finalizar, se han sacado las probetas de los envases y se les ha aplicado acetona superficialmente mediante muñequilla con toques suaves para eliminar el exceso de consolidante⁶³, depositándose a continuación sobre un papel absorbente para su proceso de secado por oreo (Fig. 36). Una vez se ha producido la evaporación completa del disolvente, se han vuelto a marcar las probetas con su respectiva etiqueta identificativa (Fig. 37).



Figs. 36 y 37. Probetas de la serie I tras la consolidación.

4.5. Técnicas de análisis, instrumentación y materiales

La experimentación de este trabajo ha precisado de materiales y equipamiento científico para llevar a cabo los análisis que han permitido testar la eficacia del uso de Paraloid B72® en la consolidación de material óseo arqueológico. Seguidamente, se van a explicar los dispositivos usados según el estudio que permiten realizar.

4.5.1. Examen morfológico mediante microscopía óptica

Para el examen microscópico⁶⁴ de la superficie y sección transversal de las probetas se ha empleado un microscopio estereoscópico Leica S8 APO (10x-80x) (Figs. 38 y 39) con una

⁶³ Ídem.

⁶⁴ <https://media.upv.es/#/portal/video/96e2f490-deaf-11e9-9a63-ef4972617b85> . [Consulta: 27-06-2021].

iluminación externa por fibra óptica. Las microfotografías se han adquirido con una cámara digital Leica DMC6200 acoplada al microscopio. Y el procesado de las imágenes se ha llevado a cabo con el software Leica Application Suite 4.12.



Fig. 38. Microscopio estereoscópico Leica S8AP.

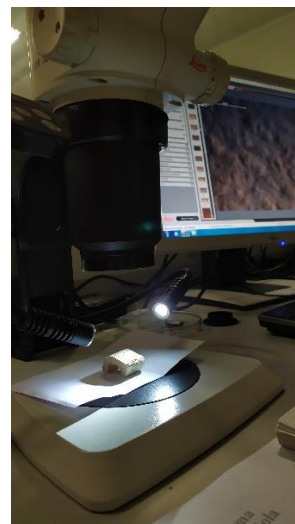


Fig. 39. Detalle del proceso de examen microscópico.

Este microscopio, aparte de servir para controlar los tratamientos de conservación y restauración, permite examinar y determinar las características morfológicas^{65,66} de diversos materiales, como morteros, muestras de material arqueológico, pintura, textiles y pétreos⁶⁷, entre otros. Se ha usado tanto antes como después de la consolidación de las probetas para estudiar los cambios producidos en superficie y observar la profundidad de alcance del Paraloid B72®.

4.5.2. Análisis químico mediante espectroscopía ATR-FTIR

Con el propósito de estimar la profundidad de penetración de los tratamientos consolidantes aplicados, se ha procedido a efectuar el análisis, de las quince probetas consolidadas y de la probeta de referencia, a diferente profundidad mediante espectroscopía FTIR⁶⁸. Para ello se ha utilizado un equipo Vertex 70, Bruker Optics (Figs. 40 y 41), con sistema de reflexión total atenuada (ATR) y con un detector FR-DTGS con recubrimiento para estabilización de temperatura⁶⁹. Número de barridos acumulados: 32, resolución: 4 cm⁻¹.

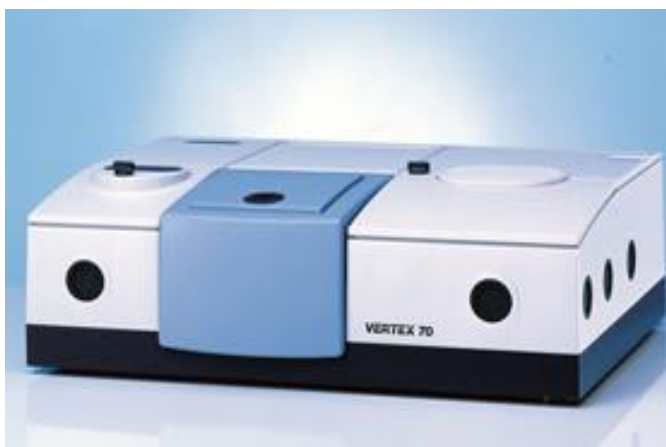
⁶⁵ DOMÉNECH, M.T., OSETE, L. Apuntes de la asignatura "Análisis físico químico del patrimonio." 2019/2020.

⁶⁶ DOMÉNECH, M.T., OSETE, L. Apuntes de la asignatura "Técnicas instrumentales para el desarrollo de la experimentación." 2020/2021.

⁶⁷ Información disponible en: <https://irp.webs.upv.es/es/microscopio-estereoscopico-7/>. [Consulta: 23-06-2021].

⁶⁸ DOMÉNECH, M.T., OSETE, L. Apuntes de la asignatura "Análisis físico químico del patrimonio." 2019/2020.

⁶⁹ Información disponible en: <https://irp.webs.upv.es/es/espectrometro-vertex/>. [Consulta: 23-06-2021].



Figs. 40 y 41. Espectrómetro Vertex 70.

El espectrómetro Vertex 70 permite caracterizar compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, proporcionando su información analítica a partir de pequeñas cantidades de muestra⁷⁰.

4.5.3. Evaluación de las propiedades mecánicas. Dureza Shore

En el ensayo de dureza realizado en este trabajo se ha usado un medidor HTKK-37D Digital de dureza Shore D (Figs. 42 y 43) con el rango de medición de 0-100 HD, y resolución de 0.5 HD. Este método para conocer la dureza de materiales se describe en las normas: UNE 53130⁷¹, ASTM D2240⁷² y DIN 53505⁷³.



Figs. 42 y 43. Medidor HTKK-37D Digital de dureza Shore D.

⁷⁰ Ídem.

⁷¹ Información disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0020066> .[Consulta: 09-09-2021].

⁷² Información disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D2240> .[Consulta: 09-09-2021].

⁷³ Información disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-din-53505-1973-03-7377450> .[Consulta: 09-09-2021].

Este instrumento se ha utilizado antes y después del tratamiento de consolidación en todas las probetas, permitiendo comprobar y comparar el efecto o los cambios de dureza⁷⁴⁷⁵ producidos en ellas por la acción del consolidante.

4.5.4. Estudio colorimétrico

Para la evaluación de las variaciones cromáticas⁷⁶ experimentadas por las probetas se ha usado un colorímetro CHN Spec CS-10 (Figs. 44 y 45), con condiciones de medidas de iluminante CIE D65 y observador 10º estándar. Las mediciones han sido realizadas con componente especular incluida (SCI) y el diámetro del medidor es 8 mm, que permite trabajar con facilidad en la muestra.



Figs. 44 y 45. Colorímetro CHN Spec CS-10.

Este análisis se ha llevado a cabo antes y después del tratamiento con Paraloid B72® en cada una de las probetas siguiendo las directrices marcadas por la normativa UNE-EN 15886:2011⁷⁷.

⁷⁴ DOMÉNECH, M. T., OSETE, L. Apuntes de la asignatura “Técnicas instrumentales para el desarrollo de la experimentación.” 2020/2021.

⁷⁵ <https://media.upv.es/#/portal/video/43838960-055e-11ea-bc4d-2d7715a8339b> . [Consulta: 25-06-2021].

⁷⁶ MARTÍNEZ BAZÁN, M.L., 2007. Colorimetría aplicada al campo de la conservación y restauración: curso: Máster/Doctorado . Valencia: Editorial UPV.

⁷⁷ Normativa UNE-EN 15886:2011 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0046629>

4.5.5. Medición de brillo

La evaluación de los cambios de brillo producidos por las probetas debido a la aplicación de los tratamientos consolidantes se ha realizado empleando un medidor de brillo Multi Gloss 268 de KONICA MINOLTA® (Figs. 46 y 47). Se trata de un medidor portátil compacto⁷⁸, que cuenta con tres ángulos de medición (20°, 60°, 85°), conforme a la norma UNE-EN ISO 2813:2015⁷⁹.



Figs. 46 y 47. Brillómetro Multi Gloss 268 de KONICA MINOLTA®.

4.5.6. Equipos de protección individual (EPIs)

Este equipo consiste en un conjunto de elementos que debe utilizar un individuo para protegerse de uno o varios riesgos que puedan afectar su seguridad o salud⁸⁰.

La protección individual ha englobado materiales como guantes de nitrilo, para evitar el contacto del disolvente con la piel y su posible posterior irritación, así como para no impregnar de impurezas las probetas al manipularlas con las manos. Mencionar también la bata de laboratorio (Fig. 48), para no resultar afectado en caso de derrame o percance con productos usados.



Fig. 48. Uso de guantes y bata de laboratorio durante la experimentación.

⁷⁸ Información disponible en: <https://irp.webs.upv.es/es/brillometro/>. [Consulta: 25-06-2021].

⁷⁹ Información disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-2813-2015-n0054700> [Consulta: 27-06-2021].

⁸⁰ Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. Legislación disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-12735-consolidado.pdf>. [Consulta: 01-07-2021].



Gafas de protección (Fig. 49) al hacer uso de la mini amoladora DREMEL® 4000 evitando que la proyección de particulado dañe la vista.

Fig. 49. Gafas de protección.

Así como también mascarilla quirúrgica (Figs. 50 y 51) para bloquear la entrada de partículas exteriores en nuestro aparato respiratorio. Usada principalmente al cortar las probetas, aunque debido a la situación actual ha sido empleada en todo momento en espacios comunes.



Figs. 50 y 51. Uso del E.P.I. durante la experimentación.

5. Resultados y discusión. Estudio analítico

Los diferentes análisis llevados a cabo han permitido recabar información del estado de las probetas, así como también conocer y estudiar sus propiedades fisicoquímicas y cambios producidos en su materia antes y después de la aplicación del consolidante Paraloid B72®.

Los datos obtenidos gracias a los diversos ensayos se han registrado, tabulado, comparado y estudiado para poder sacar conclusiones acerca del efecto que ha tenido la consolidación sobre el material óseo arqueológico, mediante diferentes técnicas de aplicación y proporciones distintas. Los resultados permitirán realizar una dialéctica y sacar información concluyente para determinar la metodología y concentración de Paraloid B72® óptimas para la consolidación de hueso arqueológico.

5.1. Estudio micromorfológico. Microscopía óptica

El estudio micromorfológico se ha realizado mediante la microscopía óptica, que ha consistido en realizar, mediante el microscopio estereoscópico Leica S8 APO, una observación exhaustiva de todas las probetas, en superficie y en las secciones transversales y longitudinales, en busca de las cualidades morfológicas⁸¹ que presentan. Dicho estudio se ha llevado a cabo antes, como examen preliminar, y después del proceso de consolidación.



El examen microscópico (Fig. 52) de las probetas se ha efectuado mediante un sistema de iluminación episcópica. Regulando el ángulo de incidencia de las fuentes de iluminación y su intensidad se han podido observar diferentes propiedades que se comentarán más adelante. Este proceso se ha repetido con cada una de las probetas.

Fig. 52. Examen micromorfológico mediante el microscopio estereoscópico Leica S8 APO.

La iluminación episcópica es la que emplea luz reflejada, la cual incide sobre el objeto de estudio y es parcialmente reflejada, atravesando el sistema óptico del microscopio y obteniendo una

⁸¹ <https://media.upv.es/#/portal/video/bad3eec0-eb3b-11e9-be94-190c292b8eb4> . [Consulta: 03-07-2021].

imagen del material con mayor o menor ampliación⁸² según los aumentos de los objetivos empleados.

También, se ha examinado el estado del material óseo, que, aunque se encontraba en buen estado de conservación, sí que se han identificado algunas patologías como pequeñas fisuras y grietas superficiales (Figs. 53 y 54) que debilitan la estructura ósea compacta de la pieza. Puntualmente también se identifican restos de depósitos de suciedad incrustada (Figs. 55 y 56) en algunas oquedades extremadamente pequeñas que no ha sido posible eliminar en la limpieza inicial.



Fig. 53. Fisura en superficie, probeta B4 (X10).



Fig. 54. Fisura en superficie, probeta B5 (X10).



Fig. 55. Suciedad incrustada, probeta A4 (X25).



Fig. 56. Suciedad incrustada, probeta A5 (X16).

Por otra parte, se ha observado la morfología de la superficie del material a nivel microscópico que, como se muestra en las imágenes (Figs. 57-60), dependiendo de la zona del hueso examinada posee carácter rugoso o suave. Este aspecto puede darse por la naturaleza en sí del propio material óseo y por la degradación sufrida antes, durante y después del enterramiento⁸³. Sobre todo, durante el periodo en que la pieza se encuentra bajo tierra, los componentes que conforman ese sustrato interactúan con el material pudiendo afectarlo en mayor o menor grado,

⁸² <https://media.upv.es/#/portal/video/ba204050-e5c3-11e9-8160-e1ae1688960b>. [Consulta: 03-07-2021].

⁸³ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2019/2020.

según su naturaleza, llegando a provocar cambios en la pieza⁸⁴, como son también las variaciones cromáticas visibles en las probetas (Figs. 61 y 62).

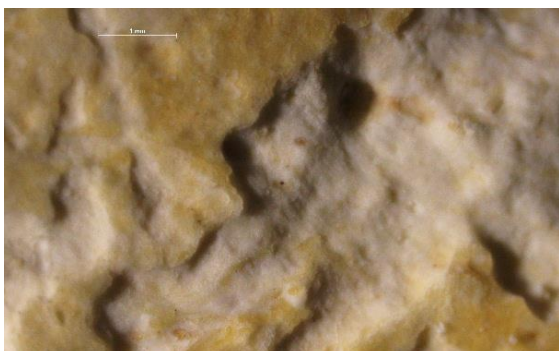


Fig. 57. Morfología superficial de la probeta A2 (X25).



Fig. 58. Morfología superficial de la probeta A3 (X10).



Fig. 59. Morfología superficial de la probeta B3 (X10).



Fig. 60. Morfología superficial de la probeta B4 (X10).



Fig. 61. Variaciones cromáticas, probeta A5 (X16).



Fig. 62. Variaciones cromáticas, probeta B5(X10).

También se ha observado la textura superficial con acanaladuras/surcos con formas dendríticas y en paralelo (Figs. 63 y 64), características del material óseo. Estas pequeñas alteraciones de la superficie junto con las pequeñas fisuras y grietas pueden afectar la penetración del consolidante provocando que su acción sea heterogénea. Este hecho se tendrá en cuenta en la interpretación de los resultados.

⁸⁴ Ídem.



Fig. 63. Patrón dendrítico, probeta B3 (X10).



Fig. 64. Patrón paralelo, probeta B1 (X25).

En todas las probetas se ha comparado el color inicial y final tras la consolidación. Teniendo en cuenta que todas las disoluciones poseen una cantidad de colorante muy equivalente (Rodamina B), sin variación significativa en cuanto al color, se ha comprobado que a mayor concentración de Paraloid B72®, mayor es la variación del color de las probetas.

Es decir, como ejemplo, la probeta A1 (1 pasada al 2%) (Figs. 65 y 66) se ha visto menos afectada en cuanto al cambio de color que la probeta A4 (1 pasada al 10%) (Figs. 67 y 68), que ha sufrido un cambio de coloración notable. No obstante, este fenómeno será explicado más en detalle en el apartado 5.2.1., donde se expone el estudio colorimétrico. Además, también se pueden observar cambios de brillo que también se incrementan conforme la concentración del consolidante se acrecenta. A continuación, se muestran algunas de las microfotografías adquiridas para las probetas antes y después de la consolidación.



Fig. 65. Probeta A1 (X10) antes de la consolidación.



Fig. 66. Probeta A1 (X10) después de la consolidación.



Fig. 67. Probeta A4 (X16) antes de la consolidación.



Fig. 68. Probeta A4 (X10) después de la consolidación.

En la probeta A1 (2% de concentración) (Figs. 69 y 70) apenas se nota que se le ha aplicado el producto. Visualmente no se observan cambios de coloración en superficie, así como tampoco cambios de brillo.



Fig. 69. Probeta A1 (X10) antes de la consolidación.



Fig. 70. Probeta A1 (X10) tras la consolidación.

En las fotografías de la sección transversal y la sección longitudinal (probeta A1) realizadas posteriormente a la consolidación, no se observan cambios de color ni de brillo. Se puede ver la porosidad del material óseo intacta, sin alteraciones que indiquen penetración del tratamiento (Figs. 71 y 72).



Fig. 71. Probeta A1 (X32) sección transversal post consolidación.



Fig. 72. Probeta A1 (X32) sección longitudinal post consolidación.

En las probetas A2 y A3, tratadas a una concentración del 3 y del 5% respectivamente, se comienzan a identificar los cambios visualmente (Figs. 73 y 74). Tras la consolidación ambas presentan una coloración rosácea muy sutil, pero sin variación de brillantez.



Fig. 73. Probeta A2 (X10) antes de la consolidación.



Fig. 74. Probeta A2 (X10) tras la consolidación.

Al igual que en las fotografías de la superficie, en la sección transversal y la longitudinal se puede observar que en la capa más superficial cambia el color del material óseo sin llegar a generar brillos y que el tratamiento penetra hasta un máximo de 140 µm en la probeta A2 (Figs. 75 y 76), y 350 µm en la A3 (Figs. 77-80).



Fig. 75. Probeta A2 (X50) sección transversal post consolidación.



Fig. 76. Probeta A2 (X50) sección longitudinal post consolidación.



Fig. 77. Probeta A3 (X10) antes de la consolidación.

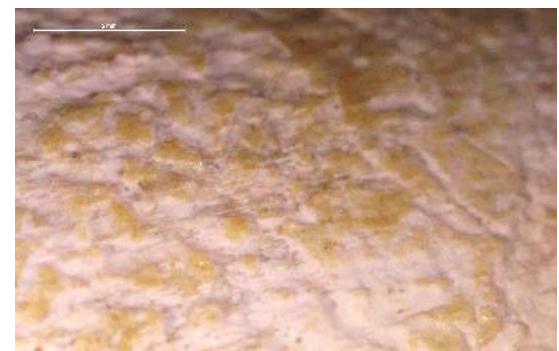


Fig. 78. Probeta A3 (X10) tras la consolidación.



Fig. 79. Probeta A3 (X50) sección transversal post consolidación.

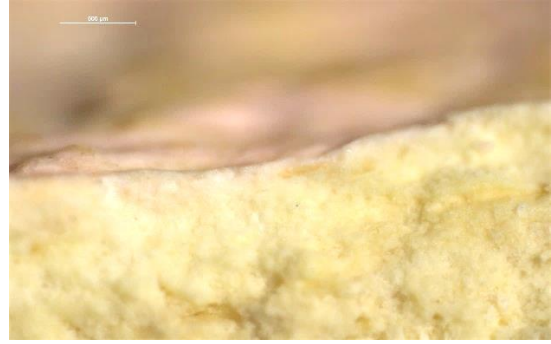


Fig. 80. Probeta A3 (X50) sección longitudinal post consolidación.

En las imágenes de la superficie de la probeta A4 se observa gran variación de cromatismo, así como también aparición de brillos abundantes (Figs. 81 y 82). En la sección transversal y la sección longitudinal (Figs. 83 y 84), se puede percibir que el consolidante ha penetrado cerca de 300 micras, aproximadamente, es más, se ve un cambio cromático rosáceo en el estrato más superficial y cómo se va desvaneciendo esa tonalidad en los estratos inferiores.



Fig. 81. Probeta A4 (X10) antes de la consolidación.



Fig. 82. Probeta A4 (X10) tras la consolidación.



Fig. 83. Probeta A4 (X50) sección transversal post consolidación.



Fig. 84. Probeta A4 (X32) sección longitudinal post consolidación.

La última probeta de la serie A, la probeta A5 (15% de concentración) ha sido altamente modificada por el tratamiento de consolidación. La superficie presenta un color rosáceo muy intenso, con muchos brillos, aparentando ser un material muy poco transpirable (Figs. 85 y 86).



Fig. 85. Probeta A5 (X16) antes de la consolidación.



Fig. 86. Probeta A5 (X10) tras la consolidación.

En la imagen de la sección transversal y en la de la sección longitudinal (Figs. 87 y 88) de esta probeta (A5) se puede advertir el gran cambio sufrido de coloración y de brillos. Aunque se observa que predominantemente el tratamiento ha permanecido en superficie, sí que se advierten zonas puntuales en las que ha penetrado más, 300 micras, debido a la porosidad del material óseo. Además, parece haberse creado un film superficial como ya se percibía en las microfotografías de la superficie.



Fig. 87. Probeta A5 (X32) sección transversal post consolidación.



Fig. 88. Probeta A5 (X32) sección longitudinal post consolidación.

La probeta B1, la primera de la segunda serie consolidada al 2% de concentración de Paraloid B72®, ya presenta cierta coloración, pero no cambios de brillo, a pesar de que el consolidante está bastante diluido (Figs. 89 y 90).



Fig. 89. Probeta B1 (X16) antes de la consolidación.



Fig. 90. Probeta B1 (X25) tras la consolidación.

Aunque en la imagen de la superficie sí que se observa cambio de coloración en esta probeta, en las secciones transversal y longitudinal no se aprecian. La variación del color que se observa es muy sutil, y no hay presencia de brillos (Figs. 91 y 92). El consolidante no ha llegado a penetrar 100 μm .



Fig. 91. Probeta B1 (X32) sección transversal post consolidación.



Fig. 92. Probeta B1 (X32) sección longitudinal post consolidación.

En la probeta B2 (3% de concentración) ya es notorio que ha sufrido un cambio de color y de brillo, puesto que presenta pequeños puntos que reflejan la luz sobre toda la superficie (Figs. 93 y 94).



Fig. 93. Probeta B2 (X10) antes de la consolidación.



Fig. 94. Probeta B2 (X10) tras la consolidación.

En las imágenes de la sección transversal y la sección longitudinal de esta probeta (Figs. 95 y 96) ya se empieza a ver el cambio de color del estrato más superficial, así como que el consolidante ha conseguido adentrarse en la zona más próxima a la superficie, hasta 100 micras.



Fig. 95. Probeta B2 (X32) sección transversal post consolidación.

Fig. 96. Probeta B2 (X32) sección longitudinal post consolidación.

La probeta B3 (5% de concentración) (Figs. 97 y 98) ve afectada tanto su color como su brillo, aparentando tener una superficie muy poco porosa o transpirable.

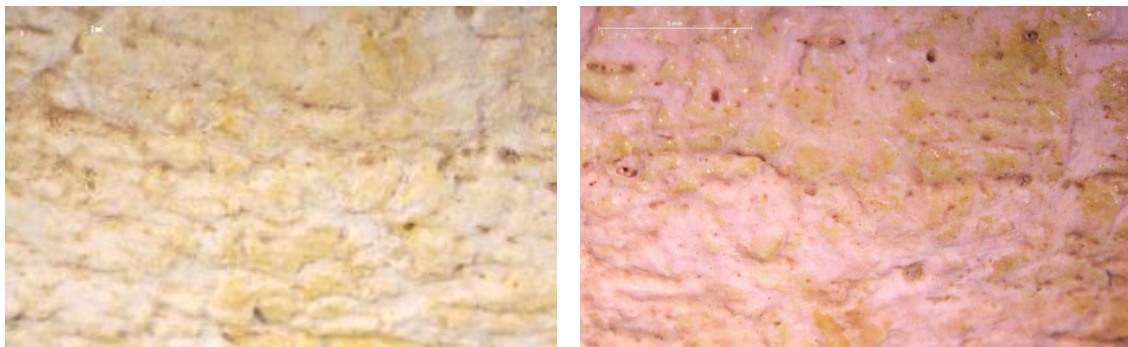


Fig. 97. Probeta B3 (X10) antes de la consolidación.

Fig. 98. Probeta B3 (X10) tras la consolidación.

Como ya auguraba la fotografía de la superficie, en las secciones transversal y longitudinal (Figs. 99 y 100) también se observa la coloración rosácea del estrato superficial tras la consolidación. Además, esta coloración continúa detectándose hasta un máximo de 400 micras en la pieza, muestra de la penetración del consolidante. Asimismo, también se puede ver una fina película transparente en superficie que provoca brillos puntualmente.



Fig. 99. Probeta B3 (X50) sección transversal post consolidación.

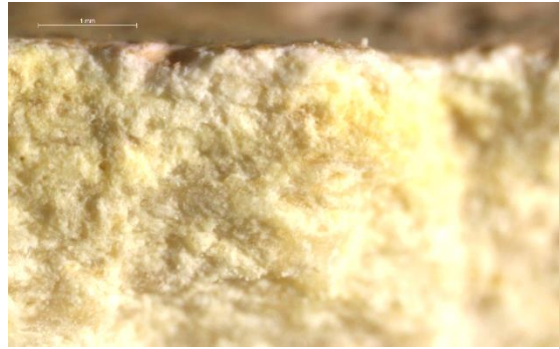


Fig. 100. Probeta B3 (X32) sección longitudinal post consolidación.

La probeta B4 (10% de concentración) presenta cambios muy evidentes. Y se ha vuelto un material con una superficie totalmente rosa y muy brillante (Figs. 101 y 102).



Fig. 101. Probeta B4 (X10) antes de la consolidación.

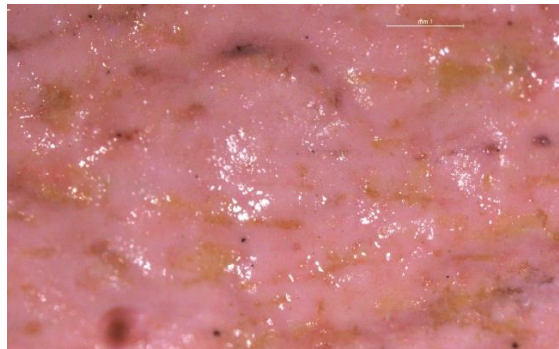


Fig. 102. Probeta B4 (X10) tras la consolidación.

Como se preveía, la probeta B4 ha sufrido un cambio del color importante en la zona superficial y parece que el consolidante ha conseguido penetrar, aproximadamente, 450 μm . Aparte de verse una degradación del color conforme se observa hacia el interior de la estructura (Figs. 103 y 104), también se ha formado una capa superficial que genera brillos.



Fig. 103. Probeta B4 (X50) sección transversal post consolidación.

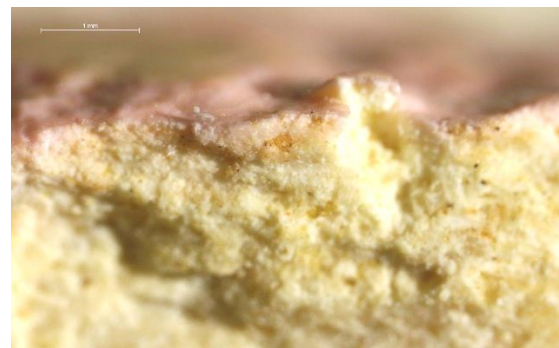


Fig. 104. Probeta B4 (X32) sección longitudinal post consolidación.

Y la última de las probetas de la segunda serie, B5 (15% de concentración) tras la consolidación ha pasado a tener un aspecto totalmente brillante, que parece incluso un film superficial impermeable, y una coloración rosa intenso (Figs. 105 y 106) conforme al aumento de la proporción de resina en la disolución.



Fig. 105. Probeta B5 (X10) antes de la consolidación.

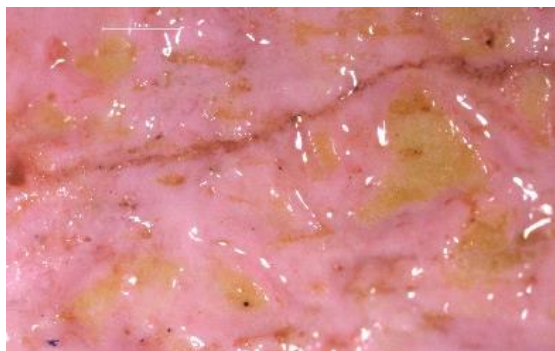


Fig. 106. Probeta B5 (X10) tras la consolidación.

En las secciones longitudinal y transversal de la probeta B5 es perfectamente discernible el estrato hasta dónde ha penetrado el consolidante gracias al cambio del color, aunque no se ha adentrado más de 250 micras. Además, posee gran cantidad de brillos a lo largo de toda la superficie (Figs. 107 y 108).



Fig. 107. Probeta B5 (X50) sección transversal post consolidación.



Fig. 108. Probeta B5 (X32) sección longitudinal post consolidación.

En las series A y B la intensificación de color y el incremento del brillo han sido acordes al aumento de concentración de Paraloid B72® en las disoluciones. Estos resultados indican, que tratar una pieza a una concentración de Paraloid B72® demasiado elevada puede provocar cambios en la superficie, alterando de manera significativa el aspecto.

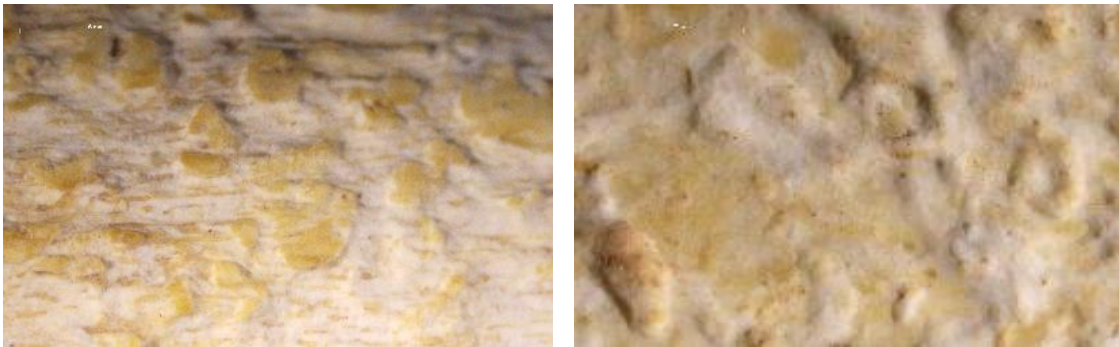
Las probetas más afectadas morfológicamente tras la consolidación han sido las tratadas con una concentración al 10 y 15%, tanto de la serie A como de la serie B.

En general, las probetas que han visto su morfología menos alterada tras la consolidación han sido las de la serie A, aunque los cambios son también relevantes para las probetas tratadas con concentración de Paraloid B72® superior al 10%.

En cuanto a las probetas consolidadas por inmersión (serie I) antes del tratamiento la morfología superficial era igual a la de las otras probetas, pero los resultados obtenidos han sido distintos.

Para la comparación de los resultados de la serie I se han usado los datos de la probeta de referencias como valores iniciales.

La probeta, P0, presenta unas características muy similares a las de las otras probetas (Figs. 109 y 110). Además, las fotografías de la sección transversal y la de la longitudinal (Figs. 111 y 112) muestran el estado del hueso y su porosidad junto a los canales⁸⁵ característicos de la estructura ósea.



Figs. 109 y 110. Estado morfológico de la superficie de la probeta de referencia (P0).



Fig. 111. Probeta P0 (X50) sección transversal.



Fig. 112. Probeta P0 (X32) sección longitudinal.

⁸⁵ Canales de Havers o conducto de Havers hace referencia a cada uno de los espacios que recorren longitudinalmente la estructura compacta de los huesos largos. Conductos por donde pasan nervios y vasos sanguíneos, entre otros.

Las probetas I1 (Figs. 113 y 114) e I2 (2 y 3% de concentración respectivamente) tras la consolidación han variado de color, lo cual indica la presencia del consolidante en ellas y, no obstante, no han sufrido un cambio respecto al brillo.

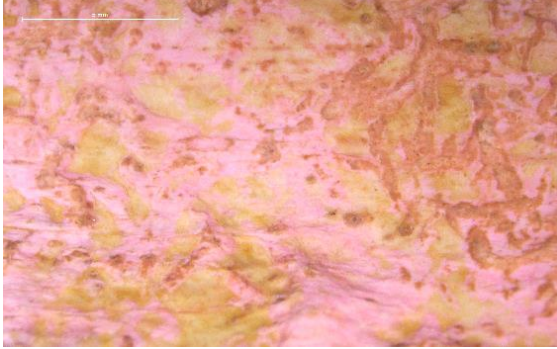


Fig. 113. Probeta I1 (X10) tras la consolidación.

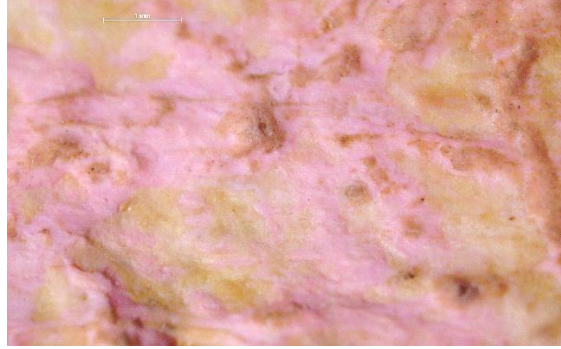


Fig. 114. Probeta I1 (X25) tras la consolidación.

En las imágenes de las secciones (Figs. 115 y 116) se observa penetración del tratamiento, hasta alrededor de 300 micras, gracias a la coloración rosácea y, al igual que en las fotografías de superficie, no se observan cambios de brillo.

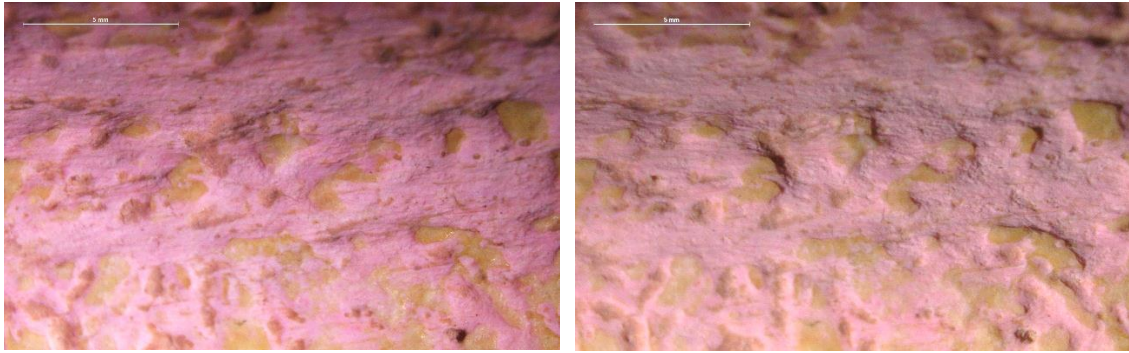


Fig. 115. Probeta I1 (X25) sección transversal post consolidación.



Fig. 116. Probeta I1 (X50) sección longitudinal post consolidación.

En las siguientes cuatro microfotografías de la probeta I2 (Figs. 117-120) se aprecia la tonalidad rosa que indica la presencia de consolidante, pero sin aparición de brillos. Además, en las imágenes de las secciones se observa que el tratamiento ha penetrado en la estructura del hueso en las zonas más cercanas a la superficie hasta las 300 μm .



Figs. 117 y 118. Probeta I2 (X10) tras la consolidación.

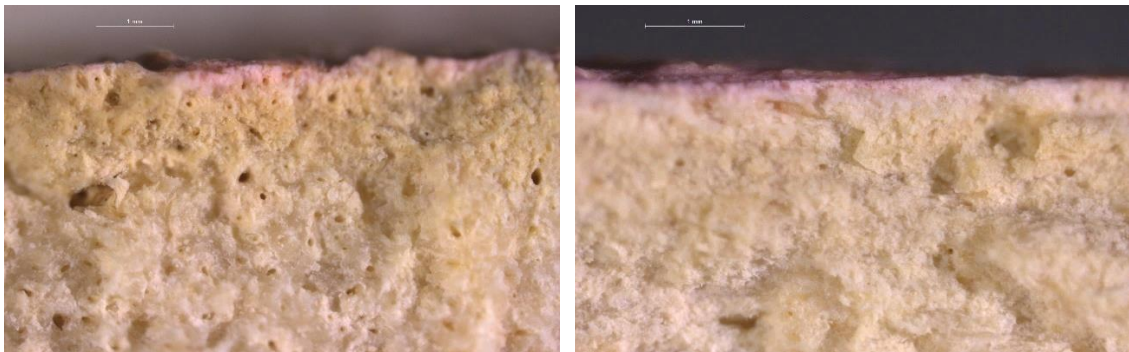


Fig. 119. Probeta I2 (X25) sección transversal post consolidación.

Fig. 120. Probeta I2 (X32) sección longitudinal post consolidación.

En las probetas I3 e I4 (5 y 10% de concentración respectivamente) aparte de la variación del color ya se ha empezado a notar la presencia de brillos, sobre todo en la probeta I4, donde se observan en más abundancia. En la probeta I3 (Figs. 121 y 122) los brillos se pueden encontrar puntualmente.

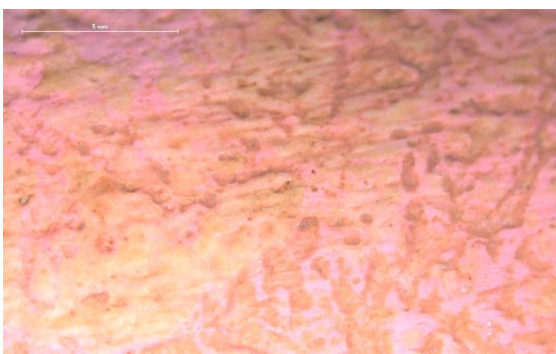


Fig. 121. Probeta I3 (X10) tras la consolidación.



Fig. 122. Probeta I3 (X25) tras la consolidación.

Aunque en la probeta I3 en superficie se aprecian cambios de color y aparición de brillos, se observa que el consolidante ha penetrado a más profundidad puesto que visualmente se puede ver la coloración adentrarse en la probeta incluso a 400 micras (Figs. 123 y 124).

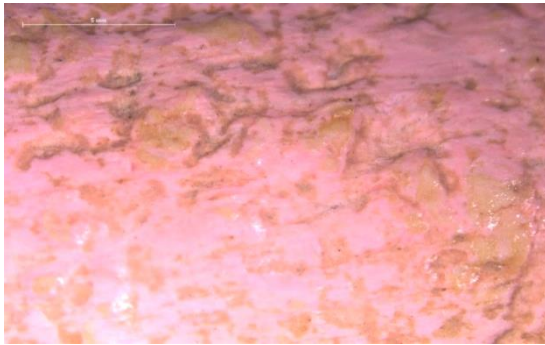


Fig. 123. Probeta I3 (X63) sección transversal post consolidación.



Fig. 124. Probeta I3 (X32) sección longitudinal post consolidación.

En la probeta I4 dependiendo de la incidencia de la luz se observan los brillos con mayor o menor intensidad (Figs. 125 y 126), Además, al igual que en la probeta anterior, se observa la presencia del consolidante a mayor profundidad, sobre 450 μm (Figs. 127 y 128).



Figs. 125 y 126. Probeta I4 (X10) tras la consolidación.



Fig. 127. Probeta I4 (X32) sección transversal post consolidación.

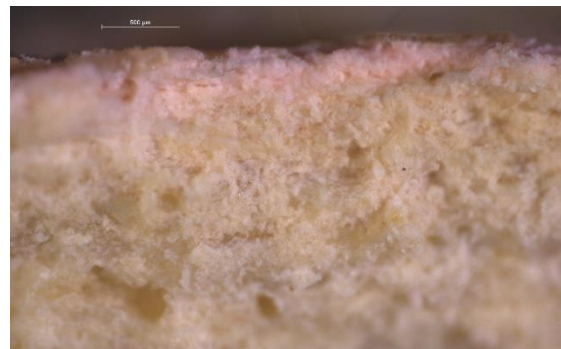


Fig. 128. Probeta I4 (X50) sección longitudinal post consolidación.

En la probeta de la serie de inmersión con la concentración de consolidante más alta, la I5 (15% de concentración), el color ha cambiado al igual que en las demás probetas de la misma serie, con la diferencia de que en esta sí que se han generado brillos abundantes a lo largo de toda la superficie (Figs. 129 y 130).



Fig. 129. Probeta I5 (X25) tras la consolidación.



Fig. 130. Probeta I5 (X50) tras la consolidación.

En cambio, en las secciones de esta probeta se observa que ha habido penetración de consolidante, pero no a profundidad, máximo 300 micras, sino más bien parece que ha quedado más en superficie creando un film brillante (Figs. 131 y 132).



Fig. 131. Probeta I5 (X32) sección transversal post consolidación.



Fig. 132. Probeta I5 (X50) sección longitudinal post consolidación.

En general, en la serie de inmersión las probetas han sufrido un cambio de color muy similar y aunque en las últimas probetas (I4 y I5) sí que se han generado brillos, no han sido tan intensos como en algunas probetas como las A5 y B5. También se ha podido comprobar que la penetración del consolidante ha sido superior que para las otras dos series (A y B) con aplicación a pincel.

5.2. Evaluación de las características ópticas

Para precisar los cambios de color y brillo producidos en las probetas por la acción del consolidante se han llevado a cabo el ensayo de colorimetría y fotometría, según la norma UNE-EN 15886:2011 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies. Utilizando el colorímetro y el brillómetro indicados anteriormente en los apartados 4.5.4. y 4.5.5., los cuales cumplen las especificaciones establecidas en la normativa.

5.2.1. Colorimetría

El color inicial del material óseo arqueológico se ve afectado por decoloraciones provocadas a raíz del contacto con el sustrato de enterramiento y su interacción superficialmente. Una muestra de esta variación cromática inicial son las siguientes imágenes de las probetas de la serie A (Figs. 133-137).



Fig. 133. Probeta A1 (X10).



Fig. 134. Probeta A2 (X10).



Fig. 135. Probeta A3 (X10).

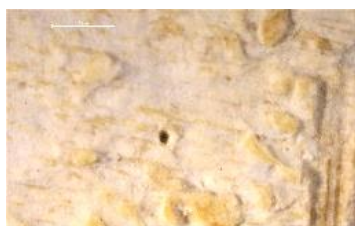


Fig. 136. Probeta A5 (X10).



Fig. 137. Probeta A4 (X16).

El examen colorimétrico se ha empezado realizando cinco mediciones de cada probeta con el colorímetro CHN Spec CS-10. Para ello, se ha colocado el instrumento sobre la probeta asegurándose de que se encontraba sobre una zona representativa⁸⁶ de la superficie y con un contacto total entre la superficie del material y la ventana de medida. Este proceso (Figs. 138-140) se ha repetido en cada una de las probetas hasta obtener las cinco mediciones de cada una, antes y después de la consolidación.

⁸⁶ Normativa UNE-EN 15886:2011 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies.



Figs. 138-140. Proceso del estudio colorimétrico con CHN Spec CS-10.

Como este método permite cuantificar el color y expresarlo numéricamente, a continuación, se han registrado en el diario de campo⁸⁷ los datos L^* , a^* , b^* , obtenidos a partir de cada medición. De los datos numéricos de las cinco mediciones registradas de cada probeta antes del tratamiento con Paraloid B72® se ha calculado el promedio⁸⁸ en el programa de software de hojas de cálculo Microsoft Excel⁸⁹ y se ha representado gráficamente en el espacio CIELAB⁹⁰.

Como se ha mencionado anteriormente, el eje vertical " L^* " representa la luminosidad, siendo el número 0 el nivel más bajo y oscuro, y el 100 el número de máxima intensidad lumínica, el nivel más claro. Y en el diagrama bidimensional se ubican las coordenadas que indican el cromatismo exacto que se ha medido. En conjunto, proporcionan los datos colorimétricos exactos de los colores⁹¹.

Posteriormente, se ha repetido el proceso para todas las probetas. Se han pasado los datos anotados en el cuaderno de campo de las mediciones realizadas después de la consolidación a Microsoft Excel, se han calculado los promedios y, a continuación, se han representado en el espacio cromático CIELAB⁹².

⁸⁷ Herramienta utilizada por los investigadores para registrar hechos o datos que posteriormente permite realizar una interpretación de ellos.

⁸⁸ Definición según la R.A.E.: 2. m. término medio, cantidad igual o más próxima a la media aritmética. Disponible en: <https://dle.rae.es/promedio> . [Consulta: 07-07-2021].

⁸⁹ <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel> . [Consulta: 08-07-2021].

⁹⁰ MARTÍNEZ BAZÁN, M.L., 2007. Colorimetría aplicada al campo de la conservación y restauración: curso: Máster/Doctorado . Valencia: Editorial UPV.

⁹¹ Ídem.

⁹² MARTÍNEZ, M.L., Apuntes de la asignatura "Técnicas de análisis no invasivas. Colorimetría." 2019/2020.

En las gráficas se observa la tendencia de las probetas de virar el color hacia el espacio rojo gracias a la Rodamina B. Se confirma también que, a mayor porcentaje de Paraloid B72® en la disolución aplicada, mayor es la variación cromática que se produce en las probetas, puesto que las probetas de la serie B, con más cantidad de consolidante (el doble de aplicaciones), han sufrido mayor cambio que las de la serie A, con menos cantidad de consolidante. Asimismo, las probetas consolidadas a concentraciones más elevadas también han padecido más enrojecimiento que las consolidadas a menor concentración.

Todas las probetas antes del tratamiento de consolidación se situaban entre la zona amarillenta y la rojiza, pero claramente desplazadas hacia al amarillo, confirmando la tonalidad ocre inicial que presentaban. Tras la consolidación se ve como en mayor o menor medida se han desplazado hacia la zona roja, como se esperaba por la tonalidad rosácea que les ha conferido el colorante.

En cuanto a la luminosidad, de manera generalizada en las tres series se advierte que antes del tratamiento las probetas presentaban un nivel más alto que después. Aunque no es un cambio muy notorio, sí que se puede ver una ligera tendencia a disminuir la intensidad lumínica tras la consolidación.

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas con las variaciones cromáticas experimentadas por las probetas (Gráficos 2-4).

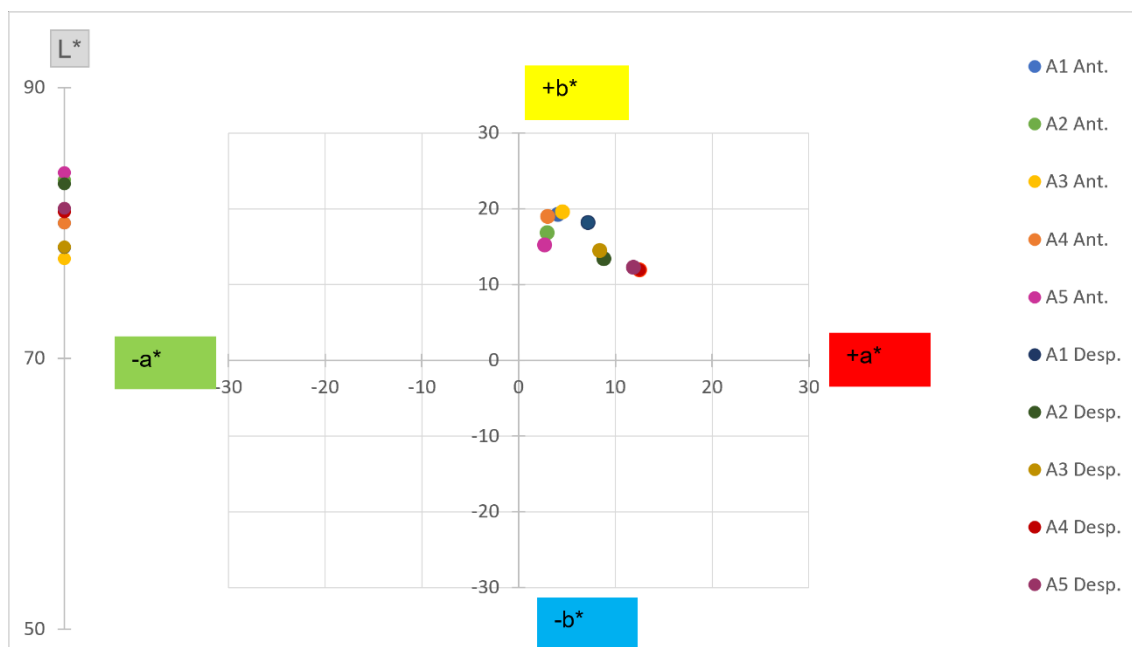


Gráfico. 2. Representación de la serie A antes y después de la consolidación en el espacio CIELAB.

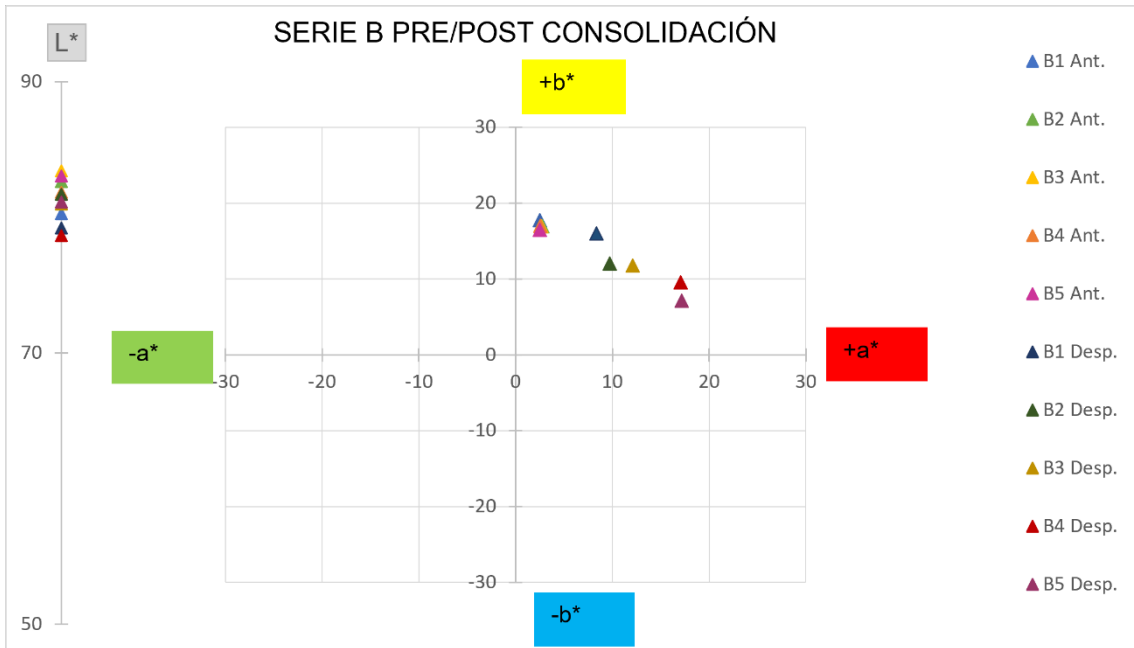


Gráfico. 3. Representación de la serie B antes y después de la consolidación en el espacio CIELAB.

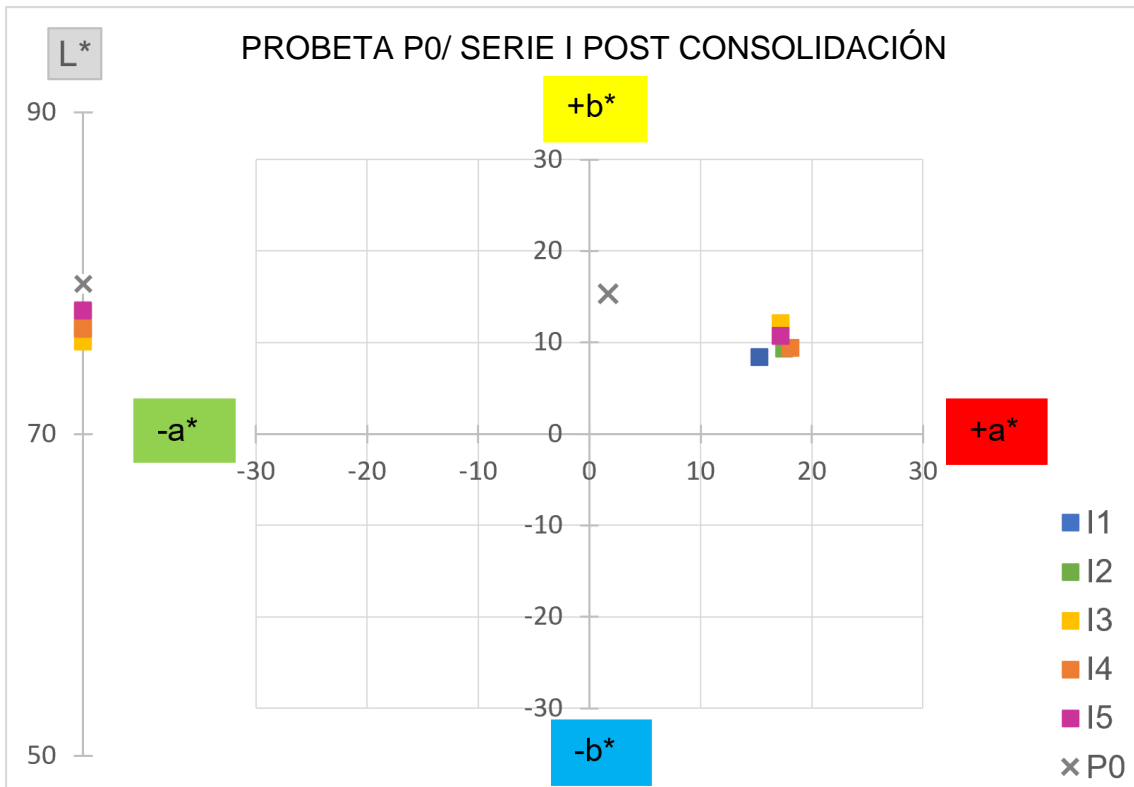


Gráfico. 4. Representación de la probeta P0 y serie I después de la consolidación en el espacio CIELAB.

5.2.2. Fotometría (brillo)

El estudio de fotometría⁹³ (Figs. 141 y 142) para evaluar los cambios de brillo producidos en la superficie de las probetas al ser consolidadas con Paraloid B72® se ha realizado con un medidor de brillo Multi Gloss 268 de KONICA MINOLTA®.



Figs. 141 y 142. Estudio fotométrico realizado con el medidor de brillo Multi Gloss 268 de KONICA MINOLTA®.



Primero, se ha colocado el dispositivo de medición sobre la superficie de la probeta, asegurando el contacto óptimo entre esta y la ventana de medida del equipo (Fig. 143).

El equipo proporciona las mediciones de brillo pertenecientes a tres ángulos diferentes (20°, 60° y 85°). Considerando que las medidas iniciales de las probetas con la geometría de 60° presentan valores inferiores a 10 unidades (intervalo de brillo bajo/mate), se registran aquellos valores que corresponden al ángulo de 85°.

Fig. 143. Uso del medidor de brillo.

En cada probeta se han realizado cinco mediciones⁹⁴ del brillo de cada una antes de la consolidación. Estos datos se han pasado al software Microsoft Excel donde a partir de las cinco mediciones de cada probeta se ha calculado el promedio para poder representarlo en un gráfico.

Una vez consolidadas las probetas se han vuelto a realizar cinco mediciones de la superficie de cada una de ellas con las que, tras procesarlas en el software de cálculo, se han representado

⁹³ Información disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-2813-2015-n0054700>

⁹⁴ Normativa UNE-EN ISO 2813:2015. Información disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-2813-2015-n0054700>

en otro gráfico en el cual se puede ver las variaciones de brillo que ha provocado la aplicación del consolidante sobre el material óseo.

En la serie A (Gráfico 5) los cambios más significativos se han originado en las probetas A1, A4 y A5, pasando de un nivel de brillo de 0.16, 0.10 y 0.26, respectivamente, antes del tratamiento a unos valores de 0.24, 0.14 y 0.30 después. Mientras que en los niveles de las probetas A2 y A3 ha habido pequeñas variaciones, pero en general se han mantenido.

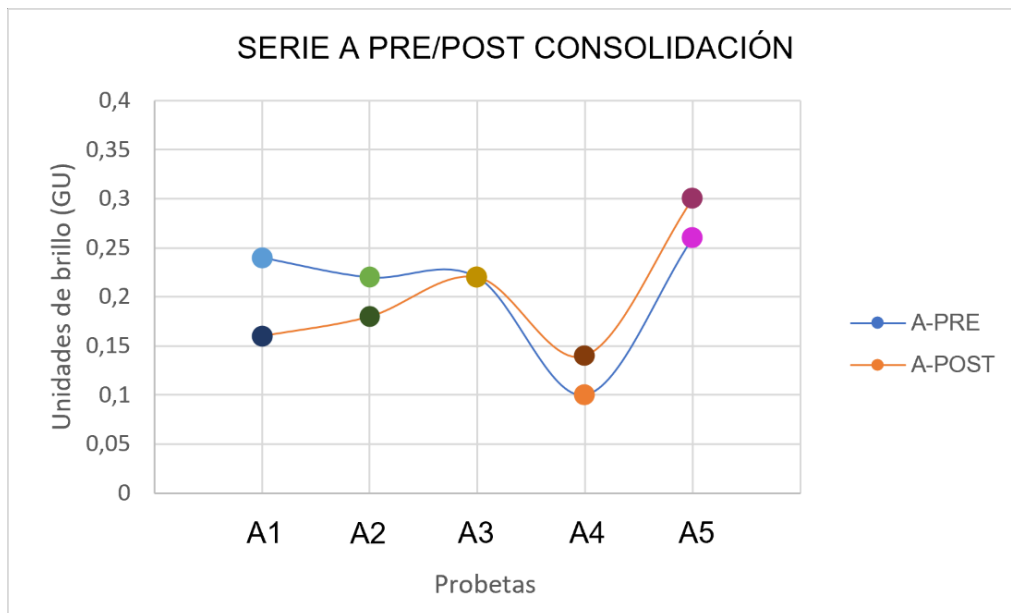


Gráfico. 5. Representación de brillo serie A antes y después de la consolidación.

En la serie de probetas B, las probetas B1 y B2 no se ven alteradas en cuanto al brillo después de su consolidación, pero a partir de la B3 sufren un gran cambio llegando a alcanzarse unos niveles muy dispares respecto a los iniciales (Gráfico 6). Es más, la probeta B3 pasa de un nivel de brillo de 0.12 a 0.32, la B4 de 0.14 a 0.26 y la B5 de 0.10 a 0.36.

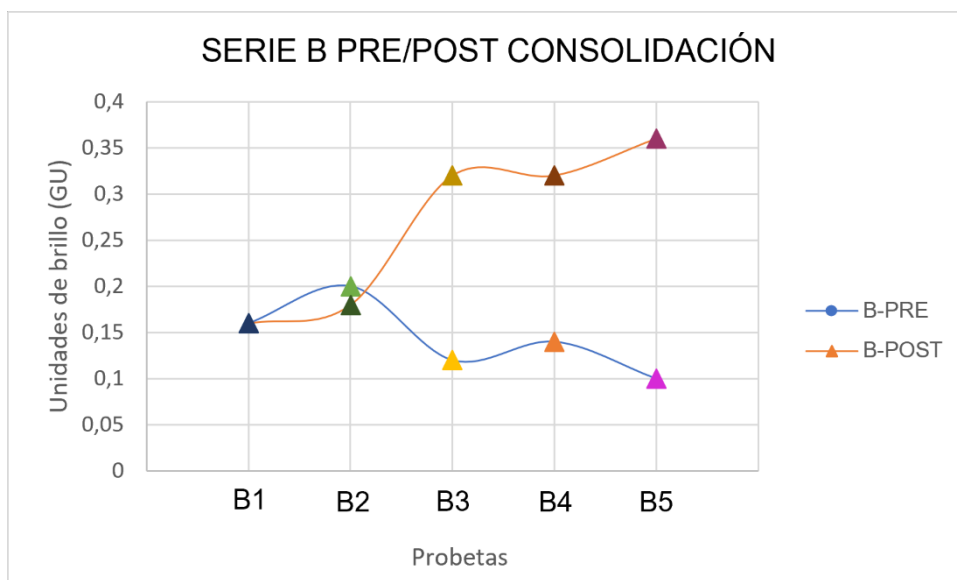


Gráfico. 6. Representación de brillo serie B antes y después de la consolidación.

Como se observa tanto en la serie A como en la serie B, previamente al tratamiento con Paraloid B72®, los niveles de brillo en las probetas son variables. Esto sucede porque el material óseo arqueológico ha sufrido diversas degradaciones antes, durante y después de su soterramiento que lo han afectado de manera puntual por lo que no presenta las mismas características homogéneamente a lo largo de toda la pieza, sino que dependiendo de la zona de donde se hayan obtenido las probetas presentan unas cualidades u otras^{95, 96} (como ya se ha comentado en la descripción inicial del material óseo estudiado).

No obstante, en ambas series los niveles de brillo se sitúan entre los valores 0.10, probetas A4 y B5, y los más elevados no superan el 0,26 de la A5. Además, el incremento de los niveles de brillo se produce sobre todo en las probetas consolidadas a mayor porcentaje de consolidante. Esto confirma que, como se había comentado en el estudio micromorfológico, las probetas que han sufrido mayores cambios han sido las consolidadas al 10% y 15% de concentración de Paraloid B72®.

Los valores de la serie tratada por inmersión (serie I) se han comparado con los iniciales de la probeta de referencia (P0) (Tabla 3), y se observa (Gráfico 7) que a pesar de que el consolidante ha estado actuando en las probetas tratadas por inmersión durante 30 minutos, ha resultado ser la metodología de aplicación que menos aparición de brillos en superficie ha provocado. Los

⁹⁵ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2019/2020.

⁹⁶ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura “Conservación y extracción de materiales arqueológicos in situ.” 2020/2021.

niveles máximos alcanzados al consolidar mediante esta metodología han sido de 0.1 unidades de brillo en las probetas I3, I4 e I5, mientras que en las probetas I1 e I2 los niveles de brillo han sido incluso ligeramente inferiores, 0.08 y 0.06 respectivamente. De modo que prácticamente apenas han sufrido variación puesto que no se eleva mucho el nivel de brillo respecto a la probeta de referencia.

Tabla. 3. Promedio de brillo. Probeta P0 y serie I después de la consolidación.

Probeta	85°
I1	0,08
I2	0,06
I3	0,1
I4	0,1
I5	0,1
P0	0,08

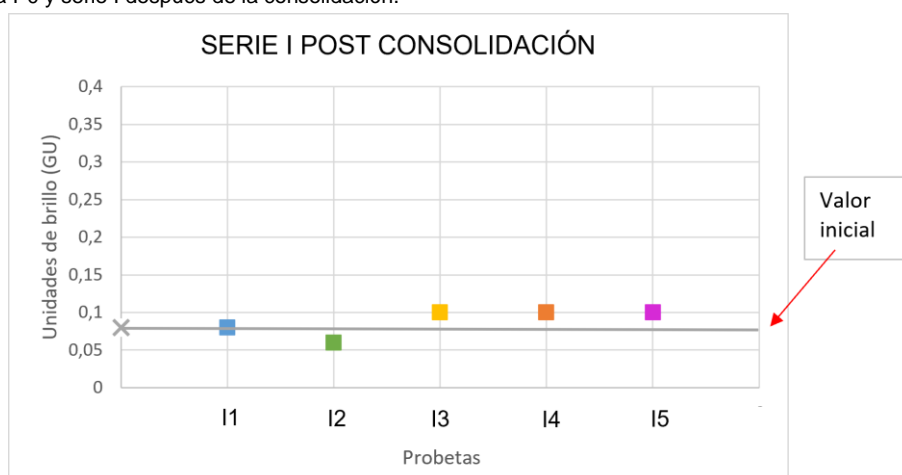


Gráfico. 7. Representación de brillo P0 y serie I después de la consolidación.

5.3. Estudio de las propiedades mecánicas. Dureza Shore

La dureza hace referencia a la propiedad mecánica⁹⁷ de la superficie del material óseo arqueológico que se resiste a ser alterada físicamente por abrasión, rayado o penetración⁹⁸. Las alteraciones producidas en la superficie son inversamente proporcionales a la dureza del material. Es decir, si la huella que se produce en la superficie al aplicarle la fuerza es de tamaño reducido significará que se trata de un material con cierta dureza, mientras que si la huella que se produce es considerable resultará un material con poca resistencia.

Esta propiedad física se puede ver perjudicada por el paso del tiempo, las condiciones medioambientales o, como se quiere examinar en este estudio, por los tratamientos de conservación y restauración aplicados en los materiales⁹⁹.

⁹⁷ <https://media.upv.es/#/portal/video/43838960-055e-11ea-bc4d-2d7715a8339b> . [Consulta: 07-07-2021].

⁹⁸ DOMÉNECH, M.T., OSETE, L. Apuntes de la asignatura "Técnicas instrumentales para el desarrollo de la experimentación." 2020/2021.

⁹⁹ Ídem.

Para realizar este estudio se coloca la punta cónica de metal del durómetro HTKK-37D Digital de dureza Shore D sobre la superficie de la probeta y se efectúa presión continua durante unos segundos, mostrando el medidor en la pantalla un valor numérico que corresponde a la dureza del material sobre el cual se está ejerciendo la presión. Este procedimiento (Figs. 144-146) corresponde a la realización de una medición, de manera que se ha repetido diez veces en diferentes zonas de cada una de las probetas^{100,101,102}, antes de la consolidación, y diez veces más en cada probeta después del tratamiento.



Figs. 144-146. Procedimiento de medición de la dureza de las probetas.

Los datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas antes del tratamiento de consolidación se han registrado en Microsoft Excel y se ha calculado el promedio de los valores de cada probeta para poder representar la media aritmética de manera gráfica.

Posteriormente, una vez consolidadas las probetas, se han realizado otras diez mediciones de la dureza de la superficie de cada una de ellas. Esos datos se han registrado en el programa informático y se han vuelto a calcular los promedios, que han permitido cuantificar los cambios producidos.

Los datos de dureza de la serie A previos a la consolidación rondan entre los 33, de la probeta A5 y los 40, de la probeta A2. Esta diferencia puede venir dada por la heterogeneidad del material óseo arqueológico, el cual debido a factores extrínsecos a lo largo de su historia puede haberse visto afectado^{103,104}.

¹⁰⁰ Información disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0020066> .[Consulta: 09-09-2021].

¹⁰¹ Información disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D2240> .[Consulta: 09-09-2021].

¹⁰² Información disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-din-53505-1973-03-7377450> .[Consulta: 09-09-2021].

¹⁰³ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y extracción de materiales arqueológicos in situ." 2020/2021.

¹⁰⁴ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.

Tras la consolidación, la dureza de la serie A ha incrementado considerablemente puesto que ha pasado de tener unos valores máximos de 40 antes del tratamiento y posterior a él todas las probetas superan ese valor. Siendo el mínimo en 44.50 de la probeta A1, y el máximo 49,90 de la probeta A2.

A continuación, se muestran los valores de la serie A obtenidos antes y después del tratamiento (Gráfico 8).

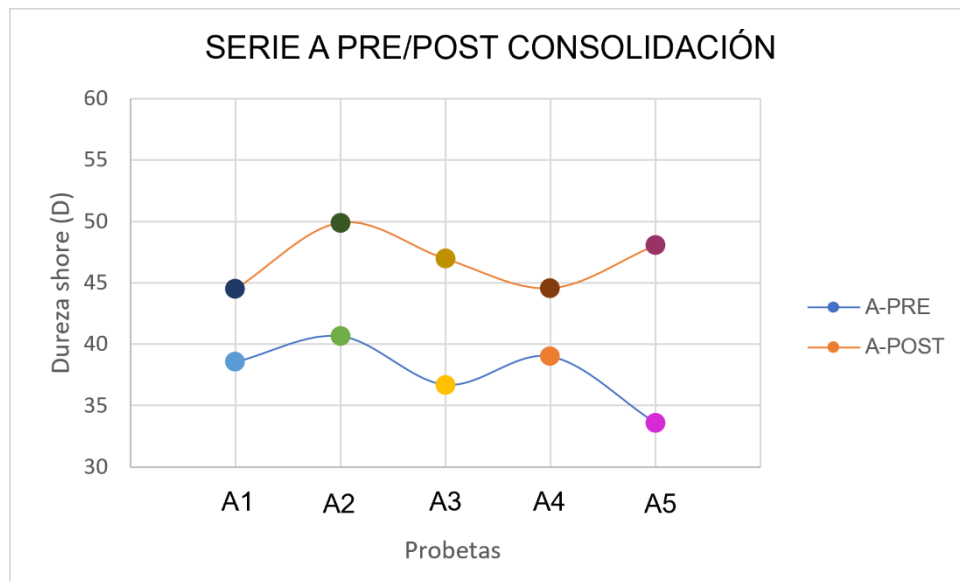


Gráfico. 8. Representación de dureza serie A antes y después de la consolidación.

En la serie B, al igual que en la A, se observa una pequeña variación de dureza entre unas probetas y otras que, como se ha comentado, se debe al estado del material óseo. El valor más bajo de esta serie es 37.35, probeta B1, y el más alto no llega a los 40, es el 39.45 de la probeta B2.

Este aumento de la dureza al realizarse la consolidación se puede observar ya que ha pasado de un valor máximo de 39.90, en la probeta B2, a unos valores comprendidos entre los 48 y los 51. Siendo el número más bajo 48.05 de la probeta B5, y el más elevado el 51.10 de la probeta B3 (Gráfico 9).

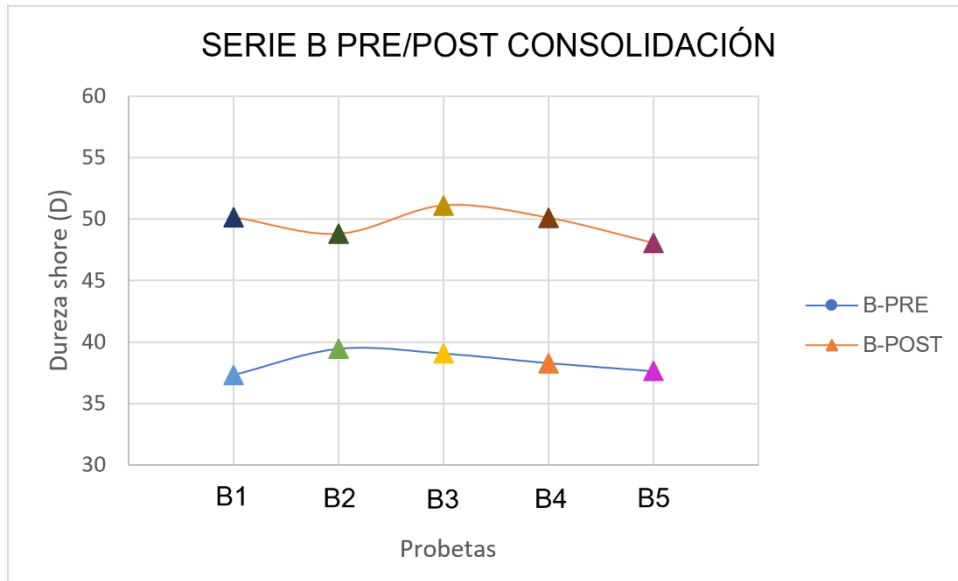


Gráfico. 9. Representación de dureza serie B antes y después de la consolidación.

La serie I ha resultado ser la que mayor aumento de dureza ha sufrido pues el valor más bajo se sitúa sobre los 51.10 de la probeta I2, y el valor más elevado en los 55.65 de la probeta I5.

Comparando los resultados de la serie de inmersión con los valores iniciales de la probeta P0 (Tabla 4, Gráfico 10), se observa un claro aumento de la dureza de la superficie del material, pasando de valores iniciales sobre los 30, a valores situados entre los 50 y 55 tras la consolidación.

Tabla. 4. Promedio de dureza. Probeta P0 y serie I después de la consolidación.

Probeta	Dureza
I1	52,15
I2	51,1
I3	52,6
I4	51,15
I5	55,65
P0	31,4

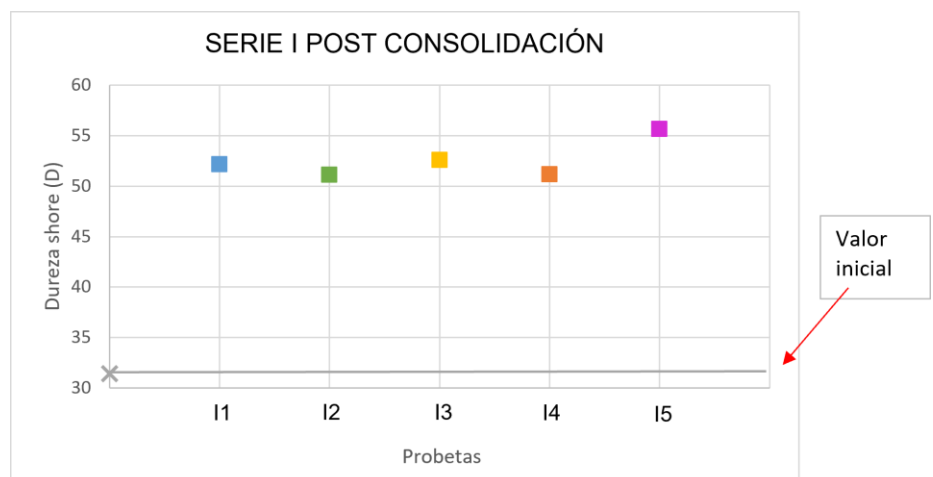


Gráfico. 10. Representación de dureza P0 y serie I después de la consolidación.

En general, el incremento de esta propiedad mecánica que es la dureza se ha producido en las tres series de probetas independientemente de la metodología de aplicación usada. Pero cabe destacar que la serie en la que se ha consolidado las probetas mediante inmersión es la que ha experimentado un mayor incremento de la dureza.

Aunque la consolidación ha provocado un aumento de la dureza de las probetas, no se observa una relación clara entre la dureza y la concentración a la cual se ha aplicado el consolidante. Es decir, no hay conexión que apoye que a mayor concentración de Paraloid B72®, mayor es la dureza conferida a la pieza.

5.4. Evaluación del comportamiento hídrico. Ensayo de absorción de la gota

La porosidad del material (Fig. 147) es un aspecto muy importante a tener en cuenta al realizar los tratamientos de consolidación del material óseo arqueológico, y en general de todos los bienes culturales, puesto que una deficiente transpiración de los materiales puede acarrear graves deterioros llegando a provocar su pérdida¹⁰⁵.

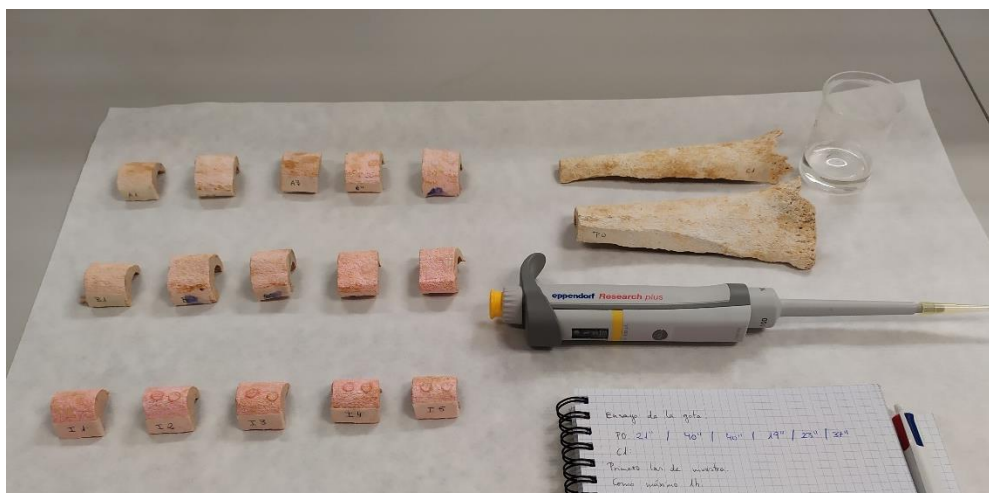


Fig. 147. Ensayo de absorción de la gota en proceso.

En el caso del hueso arqueológico un cambio brusco de porosidad del material provocada por la aplicación de tratamientos de conservación y restauración podría llegar a impedir el movimiento natural de la pieza por factores debidos a la fluctuación de la temperatura y la humedad relativa,

¹⁰⁵ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.

causando tensiones internas muy elevadas que terminarían por ocasionar roturas, de menor o mayor tamaño, como fisuras y grietas¹⁰⁶.

Por este motivo es fundamental estudiar los cambios que puede provocar la resina acrílica Paraloid B72® usada como consolidante de material óseo arqueológico. Para ello, se ha realizado el ensayo de absorción de la gota según la norma RILEM II.8, Absorción de la gota de agua¹⁰⁷, que permite evaluar el comportamiento hídrico de las probetas tras el tratamiento, y compararlo con las mediciones de la probeta de muestra no consolidada.



El ensayo de absorción de la gota de agua se ha llevado a cabo depositando tres gotas¹⁰⁸ de agua desmineralizada mediante la pipeta Eppendorf Research® plus (Fig. 148) sobre la superficie de cada probeta y se ha cronometrado el tiempo que tardaban en ser absorbidas por el soporte óseo¹⁰⁹. Para tiempos superiores a 60 minutos se considera que el material presenta una absorción muy reducida, por lo que este ha sido el límite máximo de tiempo registrado para el ensayo (Fig. 149).

Fig. 148. Pipeta Eppendorf Research® plus preparada para contener 10 microlitros.



Fig. 149. Proceso de evaluación del comportamiento hídrico.

¹⁰⁶ AGUIRRE GÓMEZ, M.T., CARRASCOSA MOLINER, M.B., 2020. Estudio del comportamiento hídrico y colorimétrico de un hidrofugante basado en nanopartículas. *ARCHÉ*, (13 - 14 - 15), 11-20. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/156343> . [Consulta: 10-07-2021].

¹⁰⁷ RILEM 25-PEM 1980. Recommendations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. *Matériaux et Construction*, vol. 13, No. 75.

¹⁰⁸ El volumen de cada gota es de 10 microlitros.

¹⁰⁹ <https://media.upv.es/#/portal/video/c96ea9a0-ffb-11e9-bb59-ad0abfc4c68a> . [Consulta: 12-07-2021].

La probeta P0 (Tabla 5, Figs. 150 y 151) se ha tomado como referencia del comportamiento hídrico que tendrían las probetas sin la aplicación del consolidante para posteriormente poder comparar los datos. Por lo que se le han aplicado cinco gotas y se ha calculado el promedio, así como también la desviación estándar¹¹⁰.

Tabla. 5. Promedio de absorción de la gota y desviación estándar. Probeta P0.

Probeta	Tiempo (s)
P0	28 ± 10



Figs. 150 y 151. Proceso de evaluación del comportamiento hídrico.

La serie A ha visto incrementado el tiempo de penetración de agua por el efecto del consolidante, pero entre las probetas ha habido diferencias significativas (Tabla 6, Gráfico 11). Mientras que las probetas A1 y A2 han tardado en absorber la gota 14 y 16 minutos respectivamente, y la probeta A3, 27 minutos, las probetas consolidadas a mayor concentración han padecido una gran acción de impermeabilización puesto que la A4 ha conseguido absorber la gota a los 59 minutos y la A5 ha superado el umbral de tiempo del que se le prestaba a este ensayo por lo que se ha considerado un valor superior a los 60 min.

Tabla. 6. Promedio de absorción de la gota y desviación estándar de P0 y serie A.

Probeta	Tiempo (min)
A1	14 ± 1
A2	16 ± 3
A3	27 ± 6
A4	59 ± 10
A5	+60

Probeta	Tiempo (s)
P0	28 ± 10

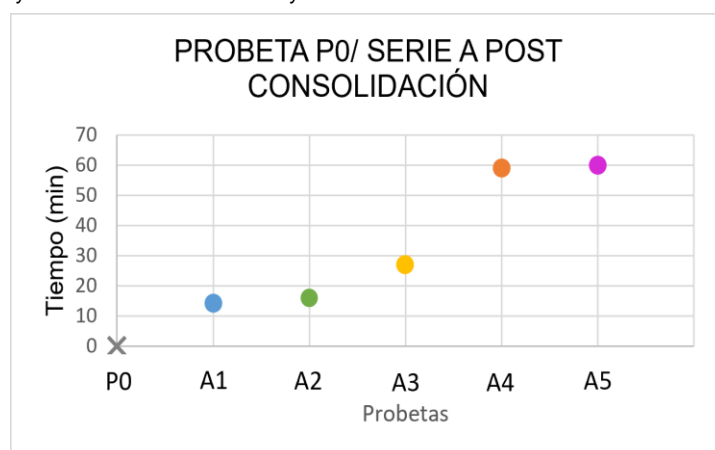


Gráfico. 11. Representación de absorción de la gota P0 y serie A después de la consolidación.

¹¹⁰ La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza e indica la dispersión más común de unos datos respecto al promedio.

En la serie B las probetas B1, B2 y B3 muestran un aumento constante del tiempo de absorción de la gota que se podría relacionar con el incremento de concentración del consolidante en las disoluciones. Pero las probetas B4 y B5 con un tiempo de más de 60 minutos de tardanza en la absorción, han pasado el tiempo de espera del ensayo, por lo que se consideran altamente impermeables (Tabla 7, Gráfico 12).

Tabla. 7. Promedio de absorción de la gota y desviación estándar de P0 y serie B.

Probeta	Tiempo (min)
B1	15 ± 2
B2	23 ± 4
B3	30 ± 8
B4	60
B5	60

Probeta	Tiempo (s)
P0	28 ± 10

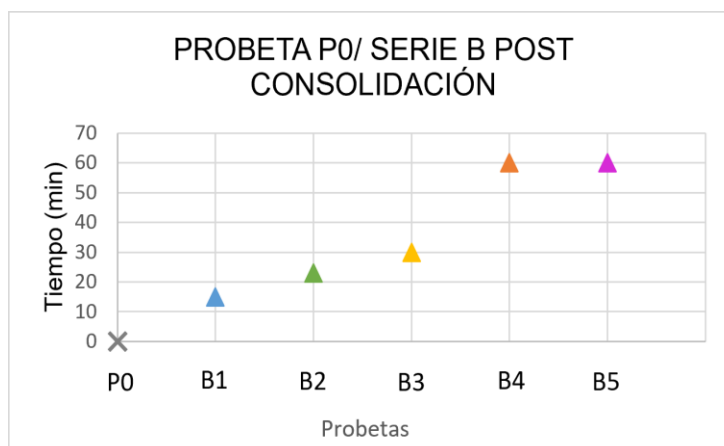


Gráfico. 12. Representación de absorción de la gota P0 y serie B después de la consolidación.

En cuanto a las probetas de la serie I (Tabla 8, Gráfico 13), el tiempo de absorción que han necesitado las probetas aumenta de manera más gradual que las otras series, sin saltos significativos entre las probetas consolidadas al 5% (I3) y las consolidadas al 10% (I4). Aunque la probeta I5, sí que ha superado los parámetros de tiempo establecidos, mostrando un alto nivel de impermeabilidad.

Tabla. 8. Promedio de absorción de la gota y desviación estándar de P0 y serie I.

Probeta	Tiempo (min)
I1	13 ± 2
I2	17 ± 2
I3	24 ± 1
I4	36 ± 6
I5	60

Probeta	Tiempo (s)
P0	28 ± 10

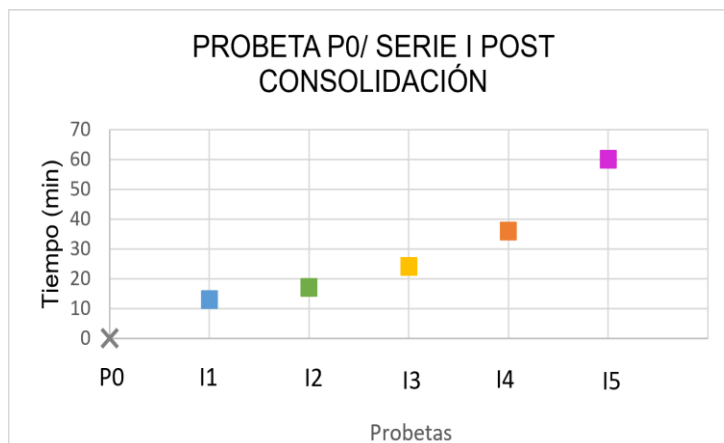


Gráfico. 13. Representación de absorción de la gota P0 y serie I después de la consolidación.

En general, las series de probetas A (Figs. 152-154) y B (Figs. 155-158) han sufrido un gran cambio del comportamiento hídrico sobre todo a partir de las consolidadas al 5% de concentración de Paraloid B72®, puesto que tanto las A4 y A5 como las B4 y B5 han precisado un tiempo alrededor de una hora para conseguir absorber la gota de agua. Por esto, se puede relacionar que a mayor concentración del consolidante en las disoluciones, en mayor medida se impide la acción de absorción del agua, hecho que refleja una mayor disminución de la porosidad del material.



Figs. 152 y 153. Proceso de absorción de la gota en varias probetas de la serie A.



Fig. 154. Probetas A1, A2 y A3 durante el ensayo de absorción de la gota.



Figs. 155 y 156. Probetas B2, B3, B4 y B5 durante el ensayo de absorción de la gota.

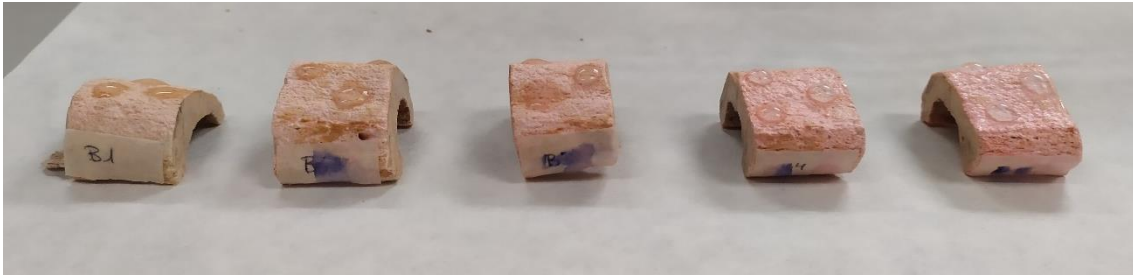
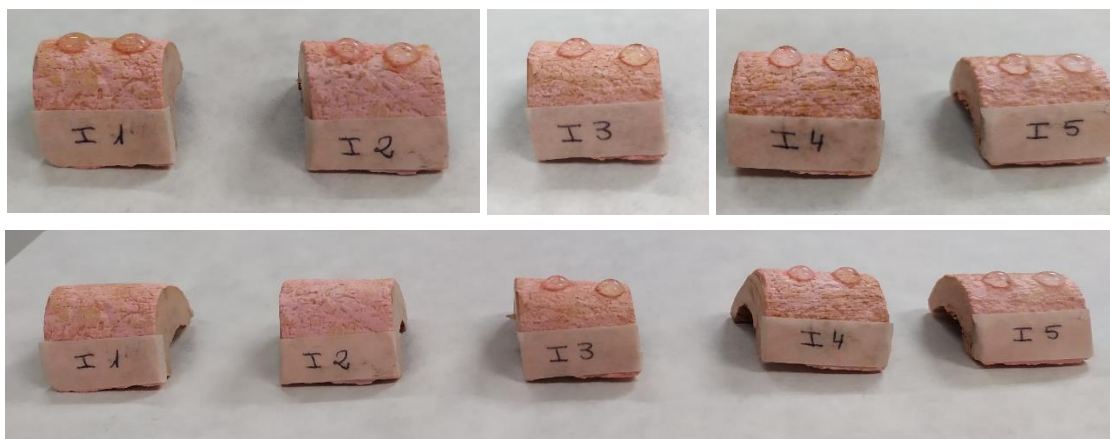


Fig. 157. Serie B durante la evaluación del comportamiento hídrico.



Fig. 158. Serie A (superior) y serie B (inferior) durante la evaluación del comportamiento hídrico.

Por otro lado, la serie I (Figs. 159-162) es la que menos se ha visto afectada puesto que el tiempo que han tardado estas probetas en absorber la gota de agua ha sido menor. En las probetas I1, I2, I3 e I4 el tiempo ha aumentado de manera continua, aunque cabe decir que la probeta I5 sí que ha superado el tiempo establecido, considerándose que presenta un gran nivel de impermeabilidad.



Figs. 159-162. Probetas de la serie I durante el ensayo de absorción de la gota.

Como se observa en las siguientes imágenes de la serie I (Figs. 163 y 164), en todas las probetas de las tres series, independientemente tanto de la concentración del consolidante como de la metodología de aplicación, muestran un comportamiento en la absorción muy heterogéneo. Es decir, las tres gotas no han seguido el mismo ritmo, sino que cada una penetraba más rápida o más lentamente. Este hecho se asocia a la morfología y las características que presentan las probetas a lo largo de su materia, puesto que el material óseo es heterogéneo.



Figs. 163 y 164. Absorción de la gota heterogéneamente en la serie I.

5.5 Estimación de la profundidad de penetración del consolidante

La consolidación es un tratamiento realizado en el campo de la conservación y restauración de bienes culturales con la finalidad de favorecer la integridad de una pieza debilitada estructuralmente¹¹¹. De modo que, investigar la profundidad a la que es capaz de penetrar el consolidante es fundamental para conocer la efectividad del tratamiento¹¹².

5.5.1. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

Para estimar la profundidad de penetración del consolidante mediante los diferentes métodos de consolidación se ha empleado la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (ATR). Esta técnica analítica permite realizar la identificación de materiales de naturaleza orgánica e inorgánica, ya que cada compuesto produce transiciones vibracionales características. Esto es debido a que cada tipología de moléculas absorbe una determinada cantidad de energía infrarroja que es registrada por el detector. Además, es posible cuantificar la proporción relativa de cada compuesto y todo ello a partir de una muestra de pocos microgramos¹¹³.

¹¹¹ CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2019/2020.

¹¹² DOMÉNECH, M.T., OSETE, L. Apuntes de la asignatura "Técnicas instrumentales para el desarrollo de la experimentación." 2020/2021.

¹¹³ DOMÉNECH, M.T. *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*. Valencia: Editorial Síntesis, 2018. ISBN 9788491712473.

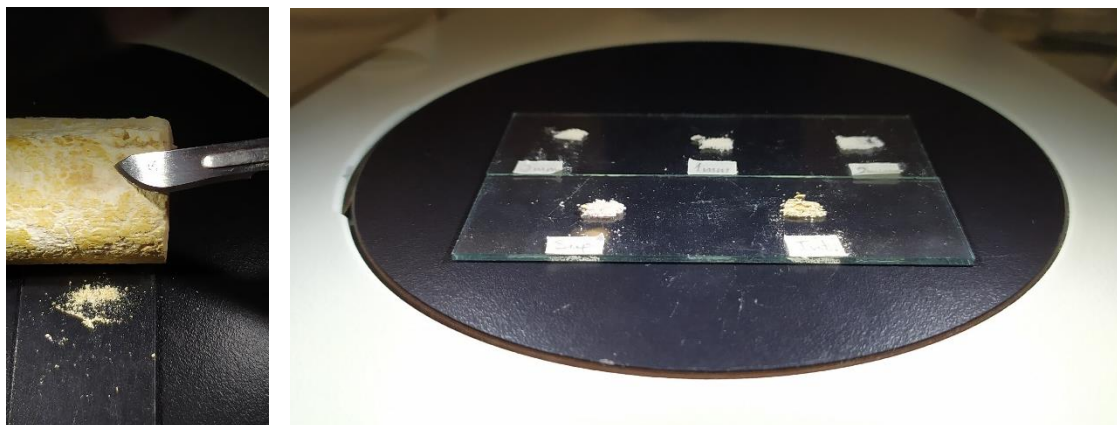
El estudio se ha llevado a cabo usando el espectrómetro Vertex 70, Bruker Optics. Este equipo funciona de la siguiente manera (Fig. 165):

La fuente de radiación IR se activa, los fotones¹¹⁴ pasan a través del interferómetro¹¹⁵ e inciden sobre la muestra provocando transiciones espectroscópicas que son registradas por el detector¹¹⁶ y pasan al procesador de datos donde se pueden visualizar los espectros infrarrojos.



Fig. 165. Esquema explicativo del funcionamiento del FTIR.

Para este análisis, se extrae mecánicamente mediante un bisturí una pequeña cantidad de muestra de las probetas de material óseo (Figs. 166y 167).



Figs. 166 y 167. Extracción de muestras de las probetas para el análisis de espectroscopía ATR-FTIR.

Una vez extraída la muestra se coloca directamente sobre la ventana de medida del equipo, para la adquisición del correspondiente espectro infrarrojo (Figs. 168-171).

¹¹⁴Según la R.A.E.: 1. M. Fís. Cada una de las partículas que, según la física cuántica, constituyen la luz y, en general, la radiación electromagnética.

¹¹⁵ Según la R.A.E.: 1. m. Fís. Instrumento que mide interferencias.

¹¹⁶ Este instrumento detecta la energía que no ha sido absorbida por la muestra.



Figs. 168-171. Colocación de una muestra en el espectrómetro Vertex 70, Bruker Optics.

Realizada la adquisición del espectro, se procede a la limpieza de la ventana de medida y del instrumental utilizado para no contaminar la siguiente muestra. Este proceso se ha repetido para analizar todas las muestras extraídas de las probetas. Posteriormente, se han procesado los espectros (transformándolos de transmitancia a absorbancia).

Para este estudio se han adquirido previamente los espectros infrarrojos del Paraloid B72® puro y del material óseo antes de la consolidación (Gráfico 14) para establecer las bandas de vibración características que permitan identificar la presencia del tratamiento en las muestras objeto de estudio. Para el Paraloid B72® se ha tomado como banda de característica la correspondiente a la vibración de tensión del grupo carbonilo a $\approx 1724 \text{ cm}^{-1}$, por ser una de las más intensas para este polímero, y para el material óseo la banda a 1017 cm^{-1} , correspondiente a la vibración de tensión del grupo fosfato (PO_4^{3-}), que es la más característica y de mayor intensidad, y no solapa con la seleccionada para el Paraloid B72®.

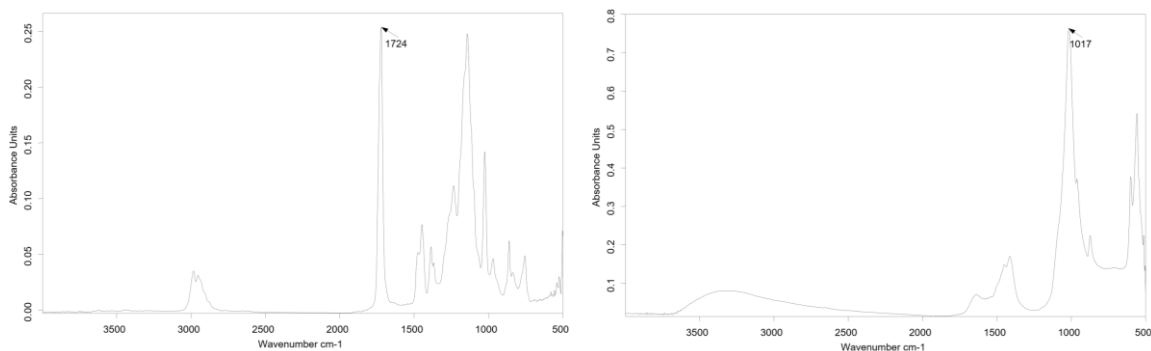


Gráfico. 14. Espectros infrarrojos del Paraloid B-72® puro (izquierda) y del material óseo (derecha).

También se han adquirido los espectros infrarrojos para muestras de las probetas a diferente profundidad, exactamente se ha extraído de la superficie, a 0.5 mm de la superficie, a 1mm, a 2 mm y de la parte interna del material óseo, a unos 5 milímetros.

Para poder hacer el estudio cuantitativo que permita estimar el contenido de consolidante a diferente profundidad del material óseo, se ha llevado a cabo la integración de los espectros infrarrojos obtenidos, y en concreto, se ha determinado la altura de las bandas de absorción características del Paraloid B72® y del material óseo mencionadas antes.

Finalmente, se ha calculado el cociente entre ambas alturas (Ab_{72}/A_{Hueso}), que se ha representado gráficamente frente a la profundidad de las probetas (0, 0,5, 1, 2, 5 mm). A continuación (Gráfico 15), se muestra la gráfica obtenida para la serie A.

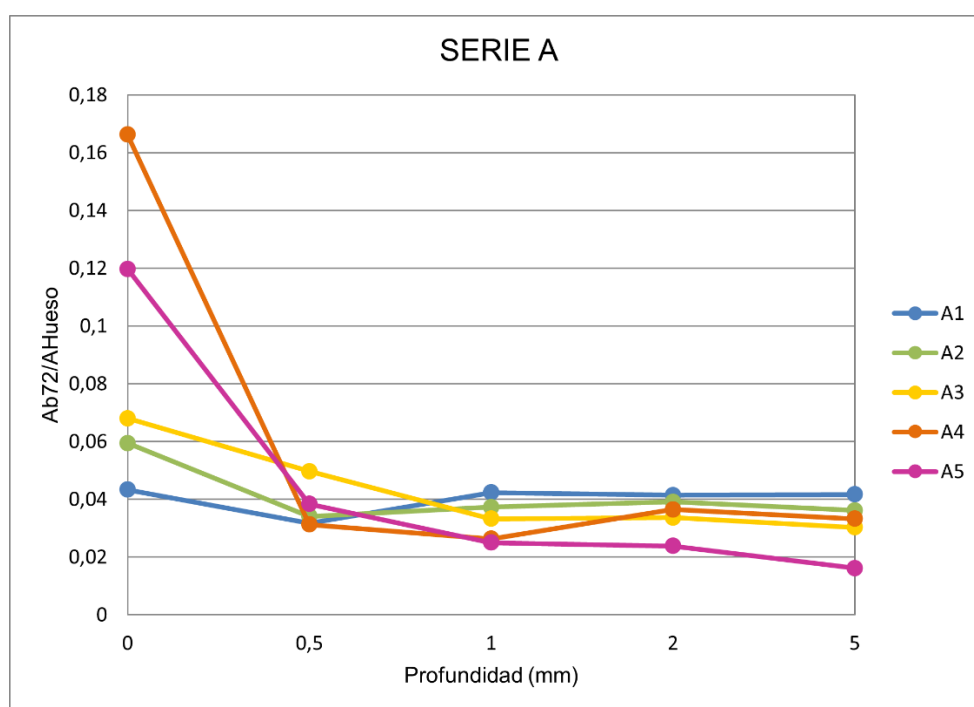


Gráfico. 15. Representación de los resultados con ATR-FTIR de la serie A.

En la serie de probetas A conforme ha aumentado la concentración de consolidante, se ha incrementado la presencia de este en superficie, aunque se puede observar una variación en la probeta A4 (10%) (Fig. 173), que en superficie ha superado el valor de la A5 (15%) (Fig. 174). En estas dos probetas el nivel de consolidante en la superficie ha sido muy elevado, pero no ha conseguido penetrar puesto que a 0,5 mm de profundidad tienen menos presencia de Paraloid B72® que la probeta A3 en la que se aplicó una menor concentración del consolidante.

Estos resultados concuerdan con las observaciones realizadas anteriormente mediante microscopía óptica en el examen micromorfológico, como se muestra en las siguientes imágenes. Aunque hay que destacar que, según los resultados obtenidos con ATR-FTIR, el consolidante llega a penetrar en más profundidad de lo que se puede alcanzar a ver con la coloración que presenta material óseo examinado en sección transversal y longitudinal.

La probeta A3 (5%) (Fig. 172) es la que ha mostrado un resultado más homogéneo y continuo ya que el valor del consolidante no es elevado en superficie, pero sí que ha sido capaz de penetrar más que la A4 y A5. Por otro lado, las probetas A1 (2%) y A2 (3%) sí que contienen consolidante en superficie, pero es a unos valores muy bajos y que además disminuyen al profundizar en el hueso (Figs. 175 y 176), concordando con las mediciones de penetración del colorante, como se puede observar a continuación.



Fig. 172. Probeta A3 (X50) sección longitudinal post consolidación.

Fig. 173. Probeta A4 (X32) sección longitudinal post consolidación.

Fig. 174. Probeta A5 (X32) sección transversal post consolidación.



Fig. 175. Probeta A1 (X32) sección longitudinal post consolidación.

Fig. 176. Probeta A2 (X50) sección longitudinal post consolidación.

En la serie B (Gráfico 16) la presencia de Paraloid B72® ha aumentado en todas las probetas respecto a la serie A. Las probetas B4 (10%) y B5 (15%) contienen gran cantidad de consolidante en superficie, aunque se produce un descenso muy agudizado a los 0.5 mm y a más profundidad ya no se detecta su presencia. Estos resultados son coincidentes con las mediciones de penetración del consolidante a partir de las imágenes de microscopía óptica.

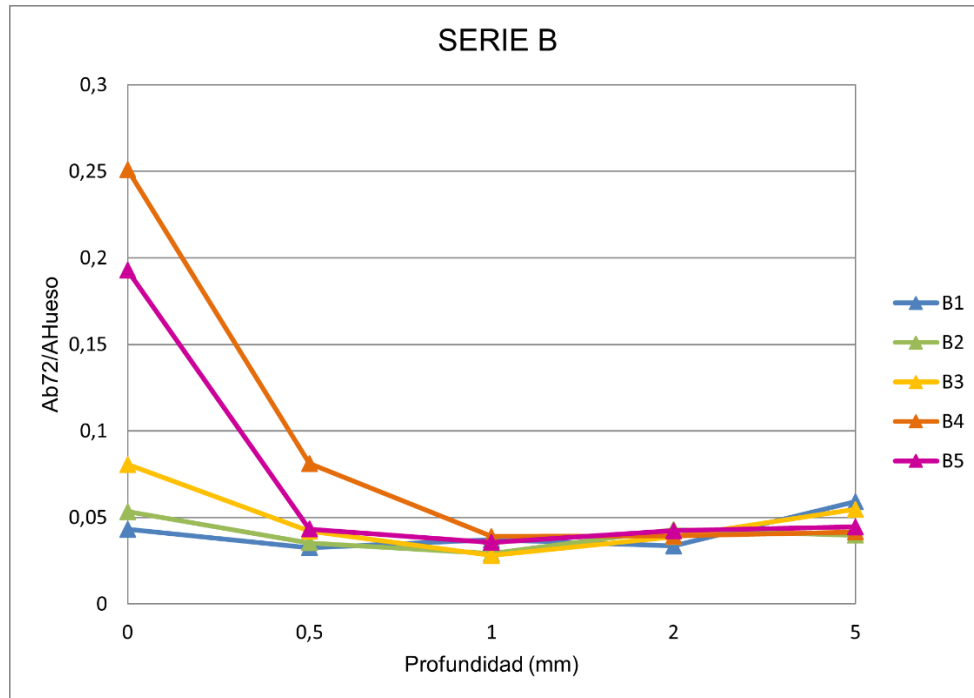


Gráfico. 16. Representación de los resultados con ATR-FTIR de la serie B.

En concordancia con los resultados del estudio micromorfológico (Figs.177-179) las probetas B1 (2%) y B2 (3%) en superficie muestran una presencia de consolidante muy parecida a la de las probetas de las mismas proporciones de la serie A, A1 (2%) y A2 (3%), pero conforme se profundiza en estas probetas disminuye gradualmente el nivel de consolidante hasta los 0.5 mm.



Fig. 177. Probeta B1 (X32) sección longitudinal post consolidación.

Fig. 178. Probeta B2 (X32) sección longitudinal post consolidación.

Fig. 179. Probeta B3 (X32) sección longitudinal post consolidación.

Conforme a los resultados del estudio micromorfológico (Figs. 180 y 181), la probeta B3 (5%) presenta una cantidad de consolidante en superficie situada alrededor de los 0.8, por lo que está ligeramente por encima de los de las probetas B1 y B2 sin llegar a los niveles tan elevados de la B4 y B5. A los 0.5 mm de profundidad disminuye situándose sobre los 0.04, valor parecido al de la probeta B5 a la misma profundidad. Luego al 1 mm disminuye todavía un poco más y, a 2 mm y 5 mm, conforme se acerca al interior deja de detectarse.

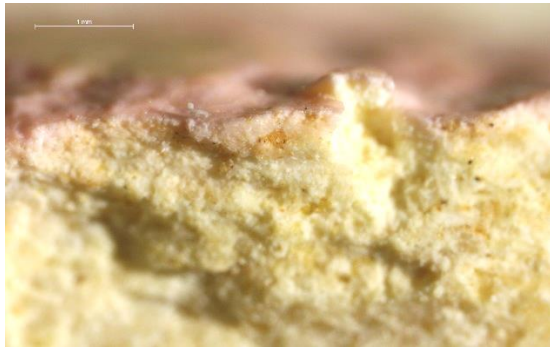


Fig. 180. Probeta B4 (X32) sección longitudinal post consolidación.



Fig. 181. Probeta B5 (X50) sección transversal post consolidación.

La serie I se caracteriza por la presencia del consolidante tanto en la parte exterior como en la parte interior, como se observa (Gráfico 17) puesto que, al realizarse la consolidación por inmersión, el tratamiento ha podido actuar en toda la pieza.

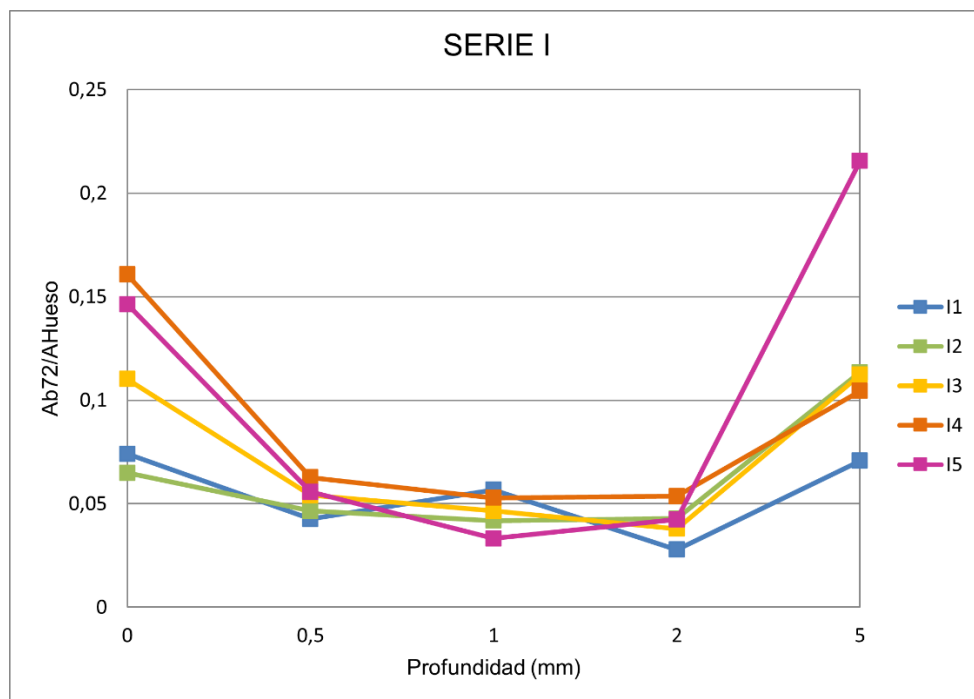


Gráfico. 17. Representación de los resultados con ATR-FTIR de la serie I.

Las probetas I1 (2%) e I2 (3%) parten de una presencia de consolidante en superficie parecida a las de la misma concentración aplicadas, con diferente metodología (A1, A2, B1 y B2), como se observa en las imágenes obtenidas mediante microscopía óptica (Figs.182 y 183), sin embargo conforme se profundiza en las de inmersión la proporción de consolidante disminuye significativamente a 0.5 mm, y a partir de los 2 mm aumenta otra vez hasta alcanzar un máximo a los 5 mm (superficie interna de las probetas) como se esperaba.

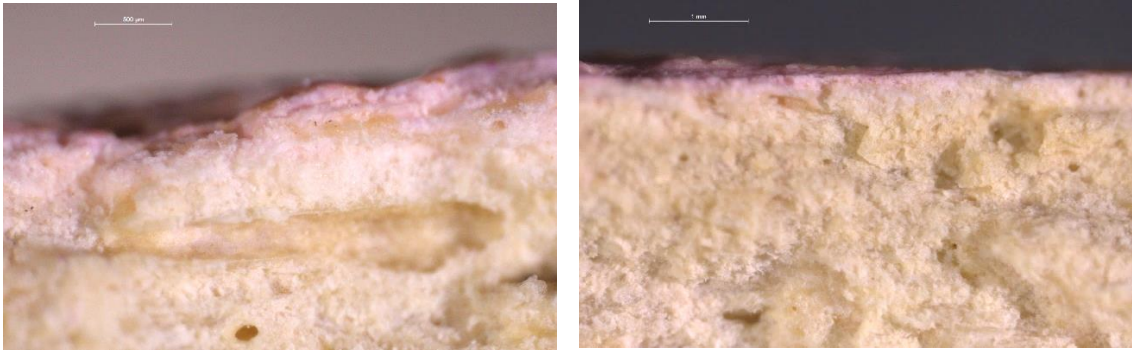


Fig. 182. Probeta I1 (X50) sección longitudinal post consolidación.

Fig. 183. Probeta I2 (X32) sección longitudinal post consolidación.

Como se aprecia en las microfotografías (Figs. 184-186) e indican los resultados de ATR-FTIR, y coincidiendo con las mediciones realizadas anteriormente a partir del examen micromorfológico, la probeta I3 tiene más presencia de consolidante en superficie que las A3 y B3, luego baja a los 0.05 a 0.5 mm y va disminuyendo levemente y de manera uniforme hasta los 2 mm, y en la parte interna vuelve a incrementarse.



Fig. 184. Probeta A3 (X50) sección longitudinal post consolidación.

Fig. 185. Probeta B3 (X50) sección longitudinal post consolidación.

Fig. 186. Probeta I3 (X63) sección transversal post consolidación.

Las probetas I4 e I5 parten de unos valores elevados del cociente $Ab_{72}/AH_{\text{hueso}}$, sobre los 0.15, pero menguan drásticamente a los 0.5 mm de profundidad, en concordancia con las imágenes obtenidas mediante microscopía óptica (Figs. 187 y 188), y vuelven incrementarse a los 5 mm, puesto que es la parte interior y ha estado en contacto directo con la disolución. Sin embargo, en las microfotografías obtenidas a partir de microscopía óptica, la coloración rosácea debida al colorante adicionado al consolidante deja de detectarse visualmente a una profundidad inferior a la determinada mediante los resultados de Espectroscopía ATR-FTIR, que indican según los análisis una profundidad máxima del consolidante superior. Cabe decir que los valores a 0.5 mm de profundidad son mayores que los de la misma serie a diferente concentración, pero el hecho de la aparición de brillos en superficie haría descartables estas opciones para consolidar.



Fig. 187. Probeta I4 (X32) sección transversal post consolidación.



Fig. 188. Probeta I5 (X32) sección transversal post consolidación.

En la probeta I5, como se muestra en las siguientes microfotografías, la cara interna de la estructura tiene una proporción de consolidante exageradamente elevada, esto es debido a la porosidad en la parte interior que presenta esta probeta y de que en el interior no se ha eliminado el exceso de consolidante con una muñequilla y acetona para acercar la experimentación a la realidad, puesto que si la pieza ósea no estuviera fragmentada en dos no se podría acceder a la parte interior. A continuación, se muestra el interior de la probeta I3 e I5 (Figs. 189 y 190) y se puede observar el aumento de brillo en la probeta consolidada a mayor concentración.



Fig. 189. Parte interior de la probeta I3 (X16) post consolidación.

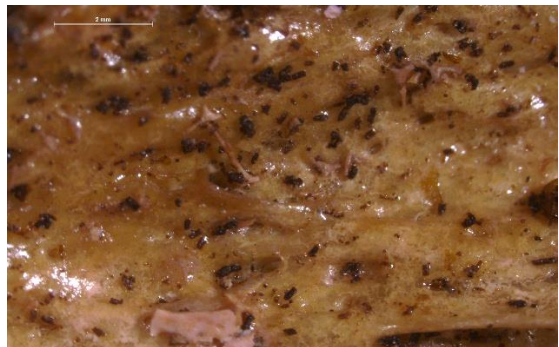


Fig. 190. Parte interior de la probeta I5 (X16) post consolidación.

5.6. Discusión de los resultados

En general en las tres series de probetas consolidadas a las concentraciones que han mostrado un comportamiento más homogéneo han sido las de 5% de Paraloid B72® en la disolución, es decir, las probetas A3, B3 e I3.

De las tres, la I3 es la que presenta menores alteraciones en su absorción capilar, y por consiguiente en la porosidad abierta, lo que permitiría que la pieza transpirara, absorbiera y desprendiera cierta humedad sin crear tensiones internas en la estructura. Además de limitar la

higroscopicidad del material óseo, que teniendo en cuenta que es un material altamente higroscópico y anisotrópico esta limitación evitaría su posible deformación causada por la humedad.

En cuanto a la dureza, pese a que todas las probetas en general padecen un aumento de esta cualidad tras la consolidación, la serie que ofrece unos resultados más igualados entre unas probetas y otras, o más uniformes, es la serie I, con unos valores de entre 50 y 55 de dureza shore D. De esta serie, la consolidada al 5% de concentración sería la más indicada para realizar el tratamiento de consolidación que se requiera, puesto que la probeta A3 no alcanza la misma dureza y la B3 la iguala, pero en otras cuestiones como la variación de color y aumento de brillo provoca más alteraciones en la superficie que la probeta I3.

Cabe destacar, sin embargo, que las probetas A3 y B3 presentan una elevada proporción de Paraloid B72® en la superficie, que produce cambios de coloración y brillos superficiales, mientras que la probeta I3 presenta mayor cantidad de consolidante de manera continua a lo largo de todo el recorrido de profundidad y no tiende a presentar gran variación de brillo en superficie.

6. Conclusiones

A raíz del proceso experimental de este trabajo y los resultados obtenidos tras la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del material óseo antes y después de su consolidación, se llega a las siguientes conclusiones:

- La examinación de la superficie y de las secciones transversales de las probetas a través de la Microscopía Óptica ha aportado información sobre el estado morfológico de las probetas, así como también de los cambios provocados por el tratamiento de consolidación. Sin embargo, más allá de la coloración que se podía observar, provocada por la penetración del consolidante en la probeta, el producto Paraloid B72® ha sido detectado mediante ATR-FTIR, por lo que como método de observación para la determinación de la profundidad de penetración no ha sido tan efectivo como la espectroscopía.
- La aplicación de espectroscopía ATR-FTIR ha permitido identificar la presencia del tratamiento consolidante y conocer su capacidad de penetración en el material óseo arqueológico y ha resultado ser una metodología muy precisa y con gran sensibilidad.
- Los análisis de colorimetría, dureza y brillo realizados sobre la superficie de todas las probetas han proporcionado datos acerca de los cambios físicos producidos tras la consolidación, y es fundamental conocerlos antes de llevar a cabo un tratamiento de consolidación con la resina tratada en este estudio.
- Se ha conseguido determinar que el uso de la resina Paraloid B72® para el tratamiento de consolidación de material óseo arqueológico es eficaz, pero se deben tener en cuenta las necesidades de cada pieza y su grado de degradación, y no generalizar una metodología o proporción de consolidante puesto que a partir de cada una se logra cubrir diferentes necesidades. E incluso algunas, llegan a ser desaconsejables.

En el caso de precisar una consolidación del material óseo arqueológico debilitado estructuralmente y que requiera un nivel de cohesión no muy alto que consiga actuar a cierta profundidad, es decir, que no quede en superficie solamente, sino que se adentre en la estructura para reforzarla, se recomiendan las consolidaciones al 5% de concentración ya que son las más idóneas, independientemente de la metodología de aplicación con la que se realice.

En cambio, si se precisara una consolidación uniforme desde la parte externa a la parte interna, se recomienda el tratamiento de Paraloid B72® al 5% de concentración aplicado mediante inmersión puesto que es la solución adecuada que cubriría las necesidades de la pieza, proporcionándole cohesión interna y dureza, que refuerza la estructura del hueso y proporciona integridad, permitiendo cierta transpirabilidad y sin provocar brillos superficiales.

Por todo ello, esta investigación aporta información de utilidad para profesionales del ámbito de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales, particularmente para los especialistas en material óseo arqueológico ya que puede servir como estudio testado en el que basarse para realizar sus futuras intervenciones, pudiendo determinar qué tratamiento es el más adecuado para la pieza a tratar.

Como futura línea de investigación a seguir, sería interesante realizar un estudio que pruebe la durabilidad de los tratamientos llevados a cabo con este porcentaje de consolidación.

7. Bibliografía

AENORMAS. ISO 868:2003. Determinación de la dureza shore D. Abril de 2004.

AENORMAS. UNE-EN 15803:2010 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (dp). Septiembre de 2010.

AENORMAS. UNE-EN 15801:2010 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. Septiembre de 2010.

AENORMAS. UNE-EN 15886:2011 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies. Enero de 2011.

AENORMAS. UNE-EN 15757:2011 Conservación del patrimonio cultural. Especificaciones de temperatura y humedad relativa para limitar los daños mecánicos causados por el clima a los materiales orgánicos higroscópicos. Enero de 2011.

AENORMAS. UNE-EN 16085:2014 Conservación del patrimonio cultural. Metodología para la toma de muestras de materiales del patrimonio cultural. Reglas generales. Septiembre de 2014.

AGUIRRE GÓMEZ, M.T., CARRASCOSA MOLINER, M.B., 2020. Estudio del comportamiento hídrico y colorimétrico de un hidrofugante basado en nanopartículas. *ARCHÉ*, (13 - 14 - 15), 11-20. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/156343> . [Consulta: 10-07-2021].

AL-KADHEMY, M., AL-SHARUEE, I., AL-ZUKY, A. 2011. Analysis of the effect of the concentration of rhodamine B in ethanol on the fluorescence spectrum using the "Gauss Mod" function. *Journal of Physical Science*, **2** (22), 77-86. [Consulta: 28-06-2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281665569_Analysis_of_the_effect_of_the_concentration_of_rhodamine_B_in_ethanol_on_the_fluorescence_spectrum_using_the_Gauss_Mod_function

BOUZAS ABAD, A., LABORDE MARQUEZE, A. 2003. "La degradación del hueso". Instituto Andaluza del Patrimonio Histórico, **9**, 268-275. [Consulta: 15-06-2021]. ISSN 1138-9680. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=759270>

CALVO, A., 1997. *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. España: Ediciones del Serbal. ISBN 9788476281949.

CARRASCOSA MOLINER, M. B., LINARES SORIANO, M. A., 2012. Idoneidad de los actuales estucos tradicionales empleados en la reintegración volumétrica de materiales óseos. *Arché*. [Consulta: 21-07-2021]. Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33047/2012_6-7_47-54.pdf?sequence=1

CARRASCOSA MOLINER, M.B., MARTÍNEZ RIERA, T.M. 2015. Estudio del comportamiento físico-mecánico en seis masillas de relleno y sellado para la reintegración formal en material fósil. *Arché*. (10):77-86. [Consulta: 14-07-2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/85202>

CARRASCOSA MOLINER, M. B. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2019/2020.

CARRASCOSA MOLINER, M. B. Apuntes de la asignatura “Conservación y extracción de materiales arqueológicos in situ.” 2020/2021.

DAVIDSON, A., BROWN, G. W., 2012. Paraloid B-72: Practical Tips for the Vertebrate Fossil Preparator. *Collection Forum*, **26** (1-2), 99-119. [Consulta: 18-05-2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/1237393/Paraloid_B72_Practical_Tips_for_the_Vertebrate_Fossil_P_reparator

DOMENECH CARBÓ, M. T. *Principios físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales*. Valencia: Editorial UPV, 2013. ISBN 978-84-8363-996-2.

DOMÉNECH CARBÓ, M. T. *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*. Valencia: Editorial Síntesis, 2018. ISBN 9788491712473.

DOMÉNECH CARBÓ, M. T., OSETE CORTINA, L. Apuntes de la asignatura “Análisis físico químico del patrimonio.” 2019/2020.

DOMÉNECH CARBÓ, M. T., OSETE CORTINA, L. Apuntes de la asignatura “Técnicas instrumentales para el desarrollo de la experimentación en la conservación y restauración de patrimonio.” 2020/2021.

FUSTER LÓPEZ, L. Apuntes de la asignatura “Estudio de las propiedades mecánicas y dimensionales de los materiales pictóricos.” 2020/2021.

GARCÍA, S., FLOS, T. *Conservación y Restauración de Bienes arqueológicos*. Madrid: Síntesis, 2008.

GARCÍA GARCÍA, C., 2019. *Estudio sobre el comportamiento mecánico de materiales óseos sometidos a tratamientos en húmedo: Viabilidades y limitaciones del uso de barreras temporales*. M. B, CARRASCOSA MOLINER (dir.). Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia. Consulta: 16-05-2021. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/129403/Garc%c3%ada%20-%20ESTUDIO%20SOBRE%20EL%20COMPORTAMIENTO%20MECANICO%20DE%20MATERIALES%20OSEOS%20SOMETIDOS%20A%20TRATAMIENTOS%20EN....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HORCAJADA GONZÁLEZ, R. 2011. *Apuntes generales de anatomía morfológica aplicada. Osteología*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: https://eprints.ucm.es/id/eprint/13414/1/PRINCIPIOS_B%C3%81SICOS_DE_OSTEOLOG%C3%8DA_APLICADOS_A_LA_REPRESENTACI%C3%93N_DE_LA_FIGURA_HUMANA.pdf . [Consulta: 02-06-2021].

HORIE, C.V., 2010. *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coatings* . 2nd. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. ISBN 9780750669054.

LINARES SORIANO, M. A. 2012. *Estudio del Comportamiento Físico-Mecánico de Masillas Experimentales Destinadas a la Reintegración Volumétrica de material Óseo Arqueológico*. M. B. CARRASCOSA MOLINER (dir) Tesis Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/16193>

LINARES SORIANO, M. A., CARRASCOSA MOLINER, M. B. 2016. Determinación de la resistencia a la adhesión de las masillas empleadas en la reintegración volumétrica de materiales óseos arqueológicos. *Emerge 2016. Jornadas de Investigación Emergente en Conservación y Restauración del Patrimonio*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, pp. 185-192. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/83669>

LINARES SORIANO, M. A., CARRASCOSA MOLINER, M. B., 2015. Resinas acrílicas empleadas en la elaboración de masillas para la reintegración volumétrica de materiales óseos arqueológicos: estudio colorimétrico del envejecimiento artificial acelerado ultravioleta. *Arché*, **10**, 179-190. [Consulta: 07-07-2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/85215>

MARTÍNEZ BAZÁN, M.L., 2007. *Colorimetría aplicada al campo de la conservación y restauración : curso : Máster/Doctorado* . Valencia: Editorial UPV.

MARTÍNEZ BAZÁN, M.L., *Apuntes de la asignatura "Técnicas de análisis no invasivas. Colorimetría."* 2019/2020.

MARTÍNEZ RIERA, T. M. 2014. *Estudio del comportamiento físico-mecánico en masillas de relleno y sellado para la reintegración formal en material fósil*. M. B. CARRASCOSA MOLINER (dir) Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia. Consulta: 18-05-2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/52268>

MERELO GINEL, A. 2017. *La intervención de piezas fósiles del Museo de Ciencias Naturales de Valencia: embalaje y exposición*. M. B. CARRASCOSA MOLINER (dir) Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia. Consulta: 18-05-2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/86076>

MUÑOZ VIÑAS, S., OSCA PONS, J., GIRONÉS SARRIÓ, I. 2014. *Diccionario de materiales de restauración*. Madrid: Ediciones Akal S.A. ISBN 9788446025887.

OLMO CABERO, L. D. 2018. *Estudio de la eficiencia de tratamientos de consolidación de madera carbonizada de origen arqueológico*. M. B. CARRASCOSA MOLINER (dir) Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia. Consulta: 17-05-2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/113654>

PASIES OVIEDO, T. "La conservación de materiales óseos: antiguos tratamientos y nuevas alternativas de intervención". Museo de Prehistoria de Valencia, Congreso La Ciencia y el Arte IV y Deporte Ciencias experimentales y conservación del patrimonio.

RILEM 25-PEM 1980. Recommandations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. Matériaux et Construction, vol. 13, No. 75.

RÍOS RUIZ, H. 2015. *La conservación y restauración aplicadas al estudio antropológico sobre restos óseos no fosilizados*. M. B. CARRASCOSA MOLINER (dir) Trabajo Final de Máster, Universidad Politécnica de Valencia. Consulta: 17-07-2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/75027>

8. Índice de imágenes, tablas y gráficos

Figura	Pág.
Fig. 1. Mapa conceptual de la metodología seguida en este trabajo. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	18
Figs. 2 y 3. Fotografías iniciales de anverso y reverso de las piezas óseas. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	19
Figs. 4-6. Fotografías iniciales de detalle de las piezas óseas. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	20
Fig. 7. Cálculo de dimensiones de las probetas. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	20
Figs. 8 y 9. Corte de las probetas con DREMEL® 4000. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	21
Fig. 10. Probetas obtenidas tras el corte del material óseo arqueológico. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	21
Figs. 11 y 12. Detalle de la limpieza mecánica en seco y aspecto general de las probetas tras el proceso. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	22
Fig. 13. Detalle de la limpieza física en húmedo. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	22
Fig. 14. Aspecto general de las probetas tras la limpieza. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	22
Fig. 15. Balanza electrónica de laboratorio Ohaus Scout® Pro. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	25
Fig.16. Cucharilla de laboratorio y espátula usadas en la experimentación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	26
Figs. 17 y 18. Preparación de las soluciones. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	26
Fig. 19. Probetas graduadas de laboratorio. Imagen sacada de https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/probeta_graduada.html .	26
Fig. 20. Aspecto previo de la Rodamina B. Imagen sacada de la web de Sigma-Aldrich.	27
Fig. 21. Preparación de su disolución en etanol. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	27
Fig. 22. Pipeta Eppendorf Research® plus empleada. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	27
Fig. 23. Varilla de vidrio de laboratorio. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	28
Figs. 24-26. Adición de Rodamina B a las soluciones. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	28
Figs. 27 y 28. Adición de Rodamina B a las soluciones. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	29

Fig. 29. Disoluciones de Paraloid B72® preparadas. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	31
Fig. 30. Aplicación del consolidante mediante pincel. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	31
Fig. 31. Vitrina de extracción de gases WALDNER®. Imagen sacada de https://www.waldner.es/Espa% c3%b1ol/Servicio/Galer% c3%ada/Fotos/tabid/3542/Default.a spx.	31
Fig. 32. Probetas de las series A y B tras su consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	32
Fig. 33. Probetas de la serie I antes de su consolidación por inmersión. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	32
Figs. 34 y 35. Probetas de la serie I en inmersión. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	33
Figs. 36 y 37. Probetas de la serie I tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	33
Fig. 38. Microscopio estereoscópico Leica S8AP. Imagen sacada de https://irp.webs.upv.es/es/ microscopio-estereoscopico-7/.	34
Fig. 39. Detalle del proceso de examen microscópico. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	34
Fig. 40. Espectrómetro Vertex 70. Imagen sacada de https://irp.webs.upv.es/es/ espectrometro-vertex/.	35
Fig. 41. Espectrómetro Vertex 70. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	35
Fig. 42. Medidor HHTK-37D Digital de dureza Shore D. Autora: Laura Osete Cortina.	35
Fig. 43. Medidor HHTK-37D Digital de dureza Shore D. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	35
Fig. 44. Colorímetro CHN Spec CS-10. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	36
Fig. 45. Colorímetro CHN Spec CS-10. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	36
Figs. 46 y 47. Brillómetro Multi Gloss 268 de KONICA MINOLTA®. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	37
Fig. 48. Uso de guantes y bata de laboratorio durante la experimentación. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	37
Fig. 49. Gafas de protección. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	38
Figs. 50 y 51. Uso del E.P.I. durante la experimentación. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	38
Fig. 52. Examen micromorfológico mediante el microscopio estereoscópico Leica S8 APO. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	39
Fig. 53. Fisura en superficie, probeta B4 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	40

Fig. 54. Fisura en superficie, probeta B5 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	40
Fig. 55. Suciedad incrustada, probeta A4 (X25). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	40
Fig. 56. Suciedad incrustada, probeta A5 (X16). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	40
Fig. 5. Morfología superficial de la probeta A2 (X25). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	41
Fig. 58. Morfología superficial de la probeta A3 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	41
Fig. 59. Morfología superficial de la probeta B3 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	41
Fig. 60. Morfología superficial de la probeta B4 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	41
Fig. 61. Variaciones cromáticas, probeta A5 (X16). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	41
Fig. 62. Variaciones cromáticas, probeta B5(X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	41
Fig. 63. Patrón dendrítico, probeta B3 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	42
Fig. 64. Patrón paralelo, probeta B1 (X25). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	42
Fig. 65. Probeta A1 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	42
Fig. 66. Probeta A1 (X10) después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	42
Fig. 67. Probeta A4 (X16) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	43
Fig. 68. Probeta A4 (X10) después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	43
Fig. 69. Probeta A1 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	43
Fig. 70. Probeta A1 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	43
Fig. 71. Probeta A1 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	43
Fig. 72. Probeta A1 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	43
Fig. 73. Probeta A2 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	44
Fig. 74. Probeta A2 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	44
Fig. 75. Probeta A2 (X50) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	44
Fig. 76. Probeta A2 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	44
Fig. 77. Probeta A3 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	44

Fig. 78. Probeta A3 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	44
Fig. 79. Probeta A3 (X50) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	45
Fig. 80. Probeta A3 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	45
Fig. 81. Probeta A4 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	45
Fig. 82. Probeta A4 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	45
Fig. 83. Probeta A4 (X50) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	45
Fig. 84. Probeta A4 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	45
Fig. 85. Probeta A5 (X16) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	46
Fig. 86. Probeta A5 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	46
Fig. 87. Probeta A5 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	46
Fig. 88. Probeta A5 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	46
Fig. 89. Probeta B1 (X16) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	47
Fig. 90. Probeta B1 (X25) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	47
Fig. 91. Probeta B1 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	47
Fig. 92. Probeta B1 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	47
Fig. 93. Probeta B2 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	47
Fig. 94. Probeta B2 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	47
Fig. 95. Probeta B2 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	48
Fig. 96. Probeta B2 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	48
Fig. 97. Probeta B3 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	48

Fig. 98. Probeta B3 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	48
Fig. 99. Probeta B3 (X50) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	49
Fig. 100. Probeta B3 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	49
Fig. 101. Probeta B4 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	49
Fig. 102. Probeta B4 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	49
Fig. 103. Probeta B4 (X50) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	49
Fig. 104. Probeta B4 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	49
Fig. 105. Probeta B5 (X10) antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	50
Fig. 106. Probeta B5 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	50
Fig. 107. Probeta B5 (X50) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	50
Fig. 108. Probeta B5 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	50
Figs. 109 y 110. Estado morfológico de la superficie de la probeta de referencia (P0). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	51
Fig. 111. Probeta P0 (X50) sección transversal. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	51
Fig. 112. Probeta P0 (X32) sección longitudinal. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	51
Fig. 113. Probeta I1 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	52
Fig. 114. Probeta I1 (X25) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	52
Fig. 115. Probeta I1 (X25) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	52
Fig. 116. Probeta I1 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	52
Figs. 117 y 118. Probeta I2 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	53
Fig. 119. Probeta I2 (X25) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	53

Fig. 120. Probeta I2 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	53
Fig. 121. Probeta I3 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	53
Fig. 122. Probeta I3 (X25) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	53
Fig. 123. Probeta I3 (X63) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	54
Fig. 124. Probeta I3 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	54
Figs. 125 y 126. Probeta I4 (X10) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	54
Fig. 127. Probeta I4 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	54
Fig. 128. Probeta I4 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	54
Fig. 129. Probeta I5 (X25) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	55
Fig. 130. Probeta I5 (X50) tras la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	55
Fig. 131. Probeta I5 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	55
Fig. 132. Probeta I5 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	55
Fig. 133. Probeta A1 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	56
Fig. 134. Probeta A2 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	56
Fig. 135. Probeta A3 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	56
Fig. 136. Probeta A5 (X10). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	56
Fig. 137. Probeta A4 (X16). Autora: Begoña Fuentes Navarro.	56
Figs. 138-140. Proceso del estudio colorimétrico con CHN Spec CS-10. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	57
Figs. 141 y 142. Estudio fotométrico realizado con el medidor de brillo Multi Gloss 268 de KONICA MINOLTA®. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	60
Fig. 143. Uso del medidor de brillo. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	60

Figs. 144-146. Procedimiento de medición de la dureza de las probetas. Autora: Begoña Carrascosa Moliner.	64
Fig. 147. Ensayo de absorción de la gota en proceso. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	67
Fig. 148. Pipeta Eppendorf Research® plus preparada para contener 10 microlitros. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	68
Fig. 149. Proceso de evaluación del comportamiento hídrico. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	68
Figs. 150 y 151. Proceso de evaluación del comportamiento hídrico. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	69
Figs. 152 y 153. Proceso de absorción de la gota en varias probetas de la serie A. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	71
Fig. 154. Probetas A1, A2 y A3 durante el ensayo de absorción de la gota. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	71
Figs. 155 y 156. Probetas B2, B3, B4 y B5 durante el ensayo de absorción de la gota. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	71
Fig. 157. Serie B durante la evaluación del comportamiento hídrico. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	72
Fig. 158. Serie A (superior) y serie B (inferior) durante la evaluación del comportamiento hídrico. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	72
Figs. 159-162. Probetas de la serie I durante el ensayo de absorción de la gota. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	72
Figs. 163 y 164. Absorción de la gota heterogéneamente en la serie I. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	73
Fig. 165. Esquema explicativo del funcionamiento del FTIR. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	74
Figs. 166 y 167. Extracción de muestras de las probetas para el análisis de espectroscopía ATR-FTIR. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	74
Figs. 168-171. Colocación de una muestra en el espectrómetro Vertex 70, Bruker Optics. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	75
Fig. 172. Probeta A3 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	77
Fig. 173. Probeta A4 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	77

Fig. 174. Probeta A5 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	77
Fig. 175. Probeta A1 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	77
Fig. 176. Probeta A2 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	77
Fig. 177. Probeta B1 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	78
Fig. 178. Probeta B2 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	78
Fig. 179. Probeta B3 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	78
Fig. 180. Probeta B4 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	79
Fig. 181. Probeta B5 (X50) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	79
Fig. 182. Probeta I1 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	80
Fig. 183. Probeta I2 (X32) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	80
Fig. 184. Probeta A3 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	80
Fig. 185. Probeta B3 (X50) sección longitudinal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	80
Fig. 186. Probeta I3 (X63) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	80
Fig. 187. Probeta I4 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	81
Fig. 188. Probeta I5 (X32) sección transversal post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	81

Fig. 189. Parte interior de la probeta I3 (X16) post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	81
Fig. 190. Parte interior de la probeta I5 (X16) post consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	81
Tabla	Pág.
Tabla 1. Cantidad de consolidante y disolvente según la concentración. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	24
Tabla 2. Método de aplicación y concentración de Paraloid B72® de las probetas. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	30
Tabla 3. Promedio de brillo. Probeta P0 y serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	63
Tabla 4. Promedio de dureza. Probeta P0 y serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	66
Tabla 5. Promedio de absorción de la gota y desviación estándar. Probeta P0. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	69
Tabla 6. Promedio de absorción de la gota y desviación estándar de P0 y serie A. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	69
Tabla 7. Promedio de absorción de la gota y desviación estándar de P0 y serie B. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	70
Tabla 8. Promedio de absorción de la gota y desviación estándar de P0 y serie I. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	70
Tabla 9. Promedio de la serie A antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	102
Tabla 10. Promedio de la serie B antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	102
Tabla 11. Promedio de la serie A después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	103
Tabla 12. Promedio de la serie B después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	103
Tabla 13. Promedio de la serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	104

Tabla. 14. Promedio de brillo. Probetas serie A antes de la consolidación.	104
Tabla. 15. Promedio de brillo. Probetas serie B antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	104
Tabla. 16. Promedio de brillo. Probetas serie A después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	105
Tabla. 17. Promedio de brillo. Probetas serie B después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	105
Tabla. 18. Promedio de brillo. Probetas serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	105
Tabla. 19. Promedio de dureza. Probetas serie A antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	106
Tabla. 20. Promedio de dureza. Probetas serie B antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	106
Tabla. 21. Promedio de dureza. Probetas serie A después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	106
Tabla. 22. Promedio de dureza. Probetas serie B después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	107
Tabla. 23. Promedio de dureza. Probetas serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	107

Gráfico	Pág.
Gráfico. 1. Espacio cromático CIELAB. Medición colorimétrica de las soluciones con Rodamina B. Autora: Laura Osete Cortina.	29
Gráfico. 2. Representación de la serie A antes y después de la consolidación en el espacio CIELAB. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	58
Gráfico. 3. Representación de la serie B antes y después de la consolidación en el espacio CIELAB. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	59
Gráfico. 4. Representación de la probeta P0 y serie I después de la consolidación en el espacio CIELAB. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	59

Gráfico. 5. Representación de brillo serie A antes y después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	61
Gráfico. 6. Representación de brillo serie B antes y después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	62
Gráfico. 7. Representación de brillo P0 y serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	63
Gráfico. 8. Representación de dureza serie A antes y después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	65
Gráfico. 9. Representación de dureza serie B antes y después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	66
Gráfico. 10. Representación de dureza P0 y serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	66
Gráfico. 11. Representación de absorción de la gota P0 y serie A después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	69
Gráfico. 12. Representación de absorción de la gota P0 y serie B después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	70
Gráfico. 13. Representación de absorción de la gota P0 y serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	70
Gráfico. 14. Espectros infrarrojos del Paraloid B-72® puro (izquierda) y del material óseo (derecha). Autora: Laura Osete Cortina.	75
Gráfico. 15. Representación de los resultados con ATR-FTIR de la serie A. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	76
Gráfico. 16. Representación de los resultados con ATR-FTIR de la serie B. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	78
Gráfico. 17. Representación de los resultados con ATR-FTIR de la serie I. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	79
Gráfico. 18. Representación de la serie A antes de la consolidación en el espacio CIELAB. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	102
Gráfico. 19. Representación de la serie B antes de la consolidación en el espacio CIELAB. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	102

Gráfico. 20. Representación de la serie A después de la consolidación en el espacio CIELAB. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	103
Gráfico. 21. Representación de la serie B después de la consolidación en el espacio CIELAB. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	103
Gráfico. 22. Representación de la serie I después de la consolidación en el espacio CIELAB. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	104
Gráfico. 23. Representación de brillo serie A antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	104
Gráfico. 24. Representación de brillo serie B antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	104
Gráfico. 25. Representación de brillo serie A después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	105
Gráfico. 26. Representación de brillo serie A después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	105
Gráfico. 27. Representación de brillo serie A después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	105
Gráfico. 28. Representación de dureza serie A antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	106
Gráfico. 29. Representación de dureza serie B antes de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	106
Gráfico. 30. Representación de dureza serie A después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	106
Gráfico. 31. Representación de dureza serie B después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	107
Gráfico. 32. Representación de dureza serie I después de la consolidación. Autora: Begoña Fuentes Navarro.	107

9. Agradecimientos

Esta investigación ha sido posible desarrollarla por la labor directa e indirecta de diversas personas a las que quiero mostrar mi más sincero agradecimiento.

A la Doctora Begoña Carrascosa Moliner, profesora del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales especializada en el área de Conservación y Restauración de Material Arqueológico e investigadora en el Instituto de Restauración del Patrimonio, así como a la Doctora Laura Osete Cortina profesora del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales especializada en el área de análisis químico analítico de Bienes Culturales; por aceptar la realización de este trabajo, así como guiarme en todo momento y facilitarme la información necesaria para aprender de ellas. Por animarme durante el arduo camino y por su predisposición a ayudarme. Por su tiempo, cercanía y calidad profesional.

A Xavier Vidal Ferrús, director del Museu Arqueològic de Lliria, por dejarnos el material óseo arqueológico objeto de estudio de este Trabajo Final de Máster.

A mi familia y amigos, compañeros durante esta experiencia tan plagada de emociones.

¡Buen camino!

10. Anexo

Tabla 9. Promedio de la serie A antes de la consolidación.

Probeta	L*	a*	b*
A1	80,012	4,072	19,214
A2	83,196	2,960	16,820
A3	77,370	4,554	19,544
A4	79,996	3,032	18,968
A5	83,740	2,694	15,196

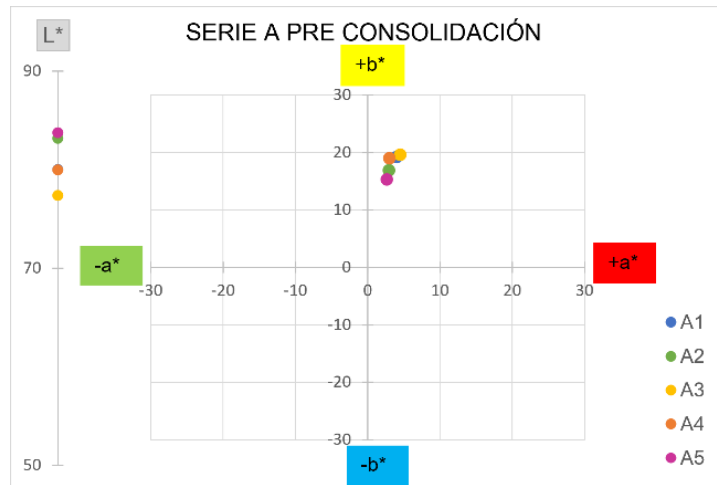


Gráfico. 18. Representación de la serie A antes de la consolidación en el espacio CIELAB.

Tabla 10. Promedio de la serie B antes de la consolidación.

Probeta	L*	a*	b*
B1	80,278	2,528	17,724
B2	82,620	2,768	16,948
B3	83,416	2,658	16,948
B4	81,864	2,546	16,986
B5	83,044	2,516	16,458

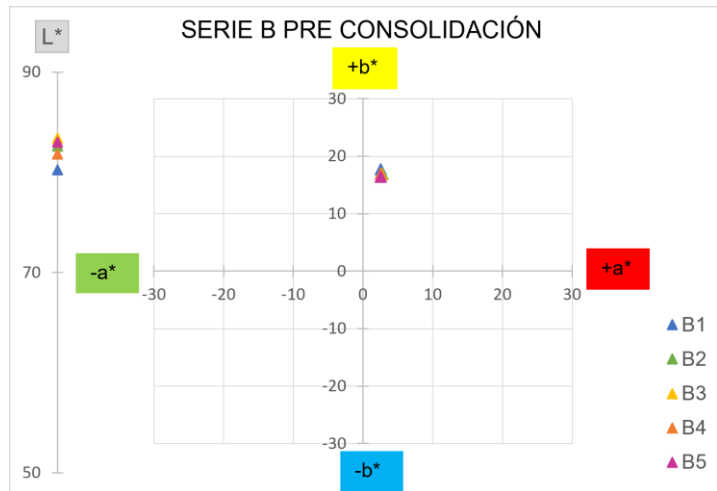


Gráfico. 19. Representación de la serie B antes de la consolidación en el espacio CIELAB.

Tabla 11. Promedio de la serie A después de la consolidación.

Probeta	L*	a*	b*
A1	78,188	7,182	18,188
A2	82,912	8,810	13,386
A3	78,244	8,430	14,458
A4	80,848	12,50	11,914
A5	81,114	11,914	12,266

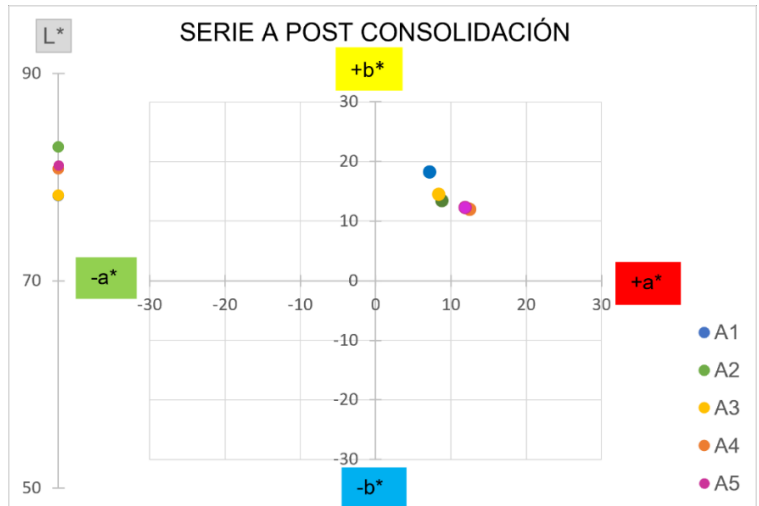


Gráfico. 20. Representación de la serie A después de la consolidación en el espacio CIELAB.

Tabla 12. Promedio de la serie B después de la consolidación.

Probeta	L*	a*	b*
B1	79,234	8,352	15,980
B2	81,714	9,740	12,010
B3	80,970	12,098	11,802
B4	78,660	17,070	9,568
B5	81,138	17,190	7,114

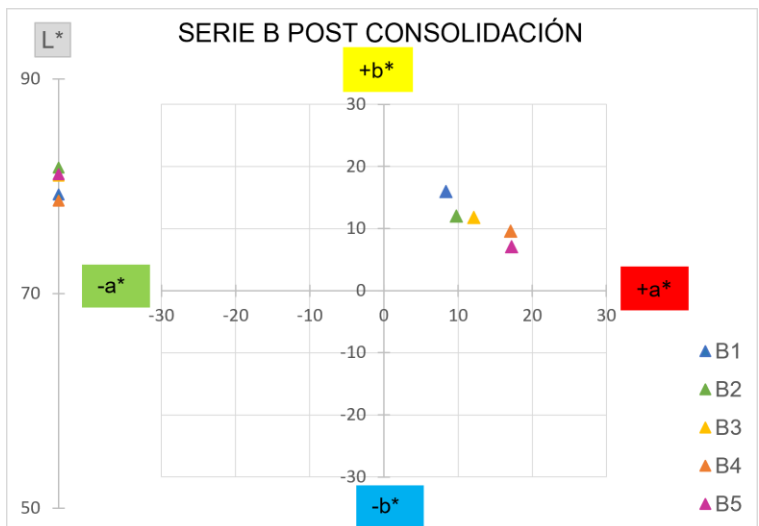


Gráfico. 21. Representación de la serie B después de la consolidación en el espacio CIELAB.

Tabla 13. Promedio de la serie I después de la consolidación.

Probeta	L*	a*	b*
I1	76,578	15,230	8,446
I2	77,616	17,476	9,340
I3	75,746	17,142	12,148
I4	76,532	18,066	9,440
I5	77,708	17,156	10,766

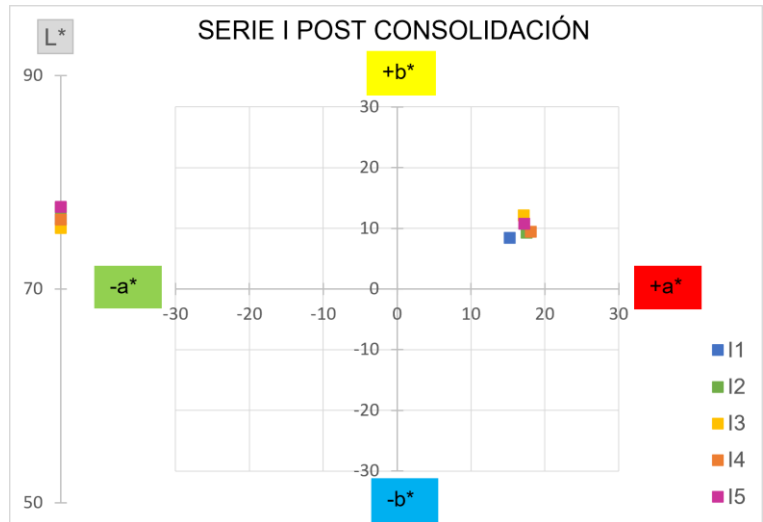


Gráfico. 22. Representación de la serie I después de la consolidación en el espacio CIELAB.

Tabla. 14. Promedio de brillo. Probetas serie A antes de la consolidación.

Probeta	85°
A1	0,24
A2	0,22
A3	0,22
A4	0,10
A5	0,26

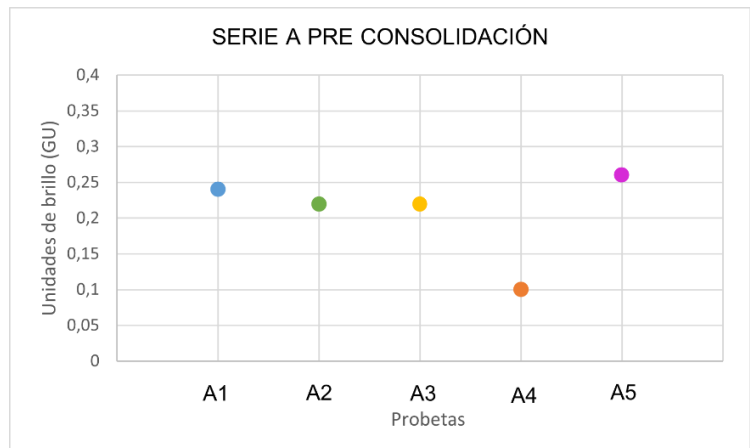


Gráfico. 23. Representación de brillo serie A antes de la consolidación.

Tabla. 15. Promedio de brillo. Probetas serie B antes de la consolidación.

Probeta	85°
B1	0,16
B2	0,20
B3	0,12
B4	0,14
B5	0,10

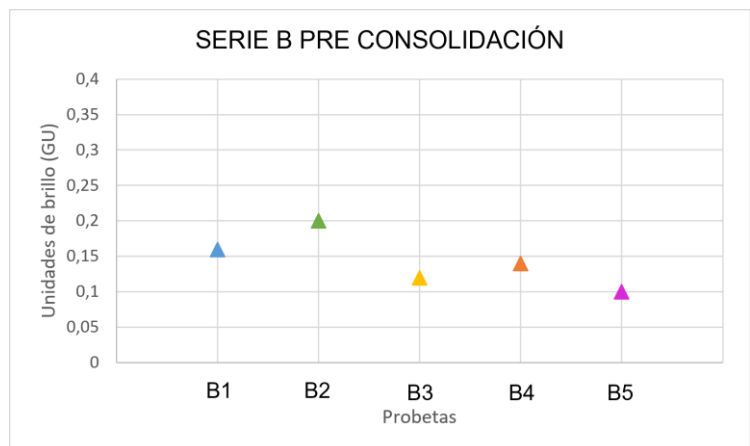


Gráfico. 24. Representación de brillo serie B antes de la consolidación.

Tabla. 16. Promedio de brillo. Probetas serie A después de la consolidación.

Probeta	85°
A1	0,16
A2	0,18
A3	0,22
A4	0,14
A5	0,30

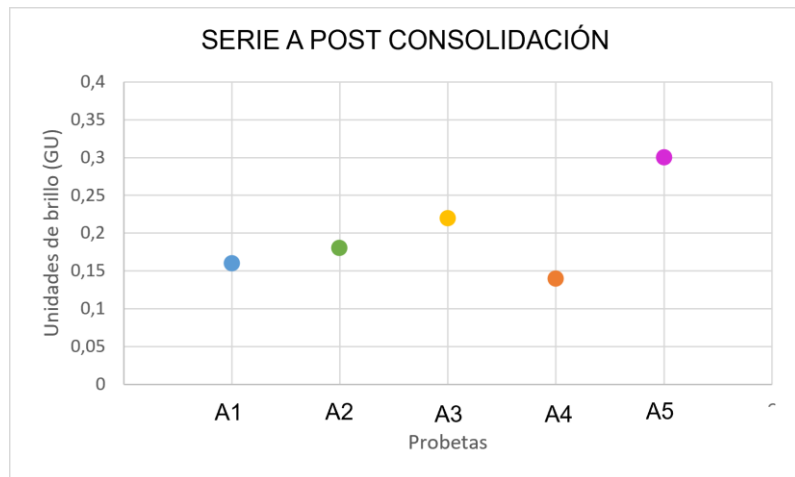


Gráfico. 25. Representación de brillo serie A después de la consolidación.

Tabla. 17. Promedio de brillo. Probetas serie B después de la consolidación.

Probeta	85°
B1	0,16
B2	0,18
B3	0,32
B4	0,26
B5	0,36

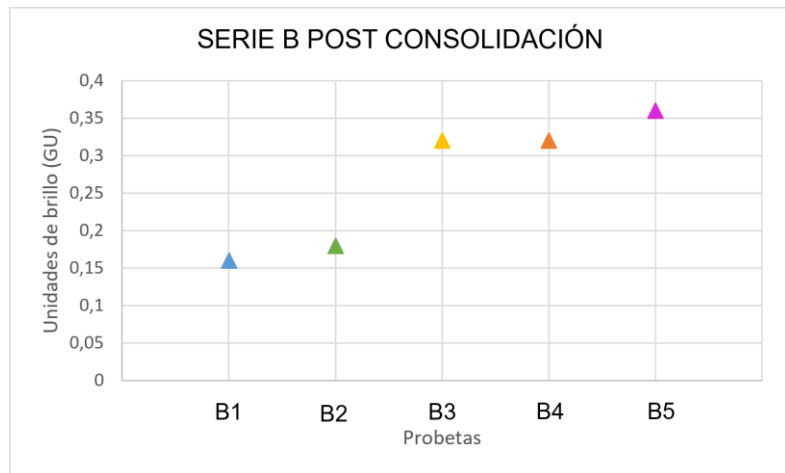


Gráfico. 26. Representación de brillo serie A después de la consolidación.

Tabla. 18. Promedio de brillo. Probetas serie I después de la consolidación.

Probeta	85°
I1	0,08
I2	0,06
I3	0,1
I4	0,1
I5	0,1

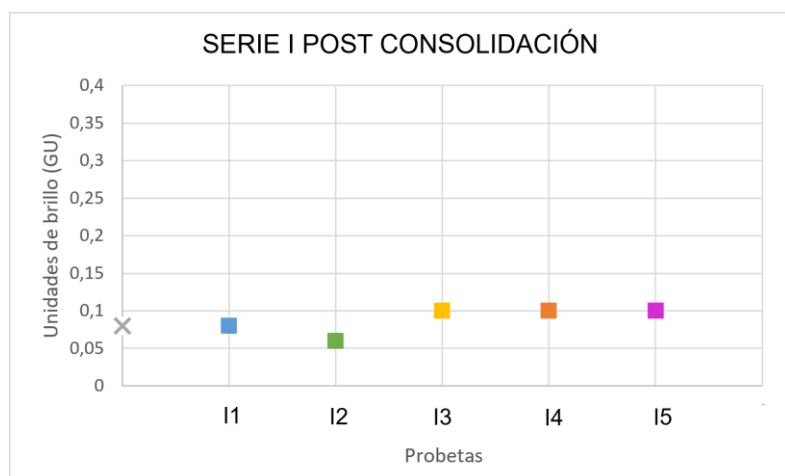


Gráfico. 27. Representación de brillo serie A después de la consolidación.

Tabla. 19. Promedio de dureza. Probetas serie A antes de la consolidación.

Probeta	Dureza
A1	38,55
A2	40,65
A3	36,70
A4	39,00
A5	33,60

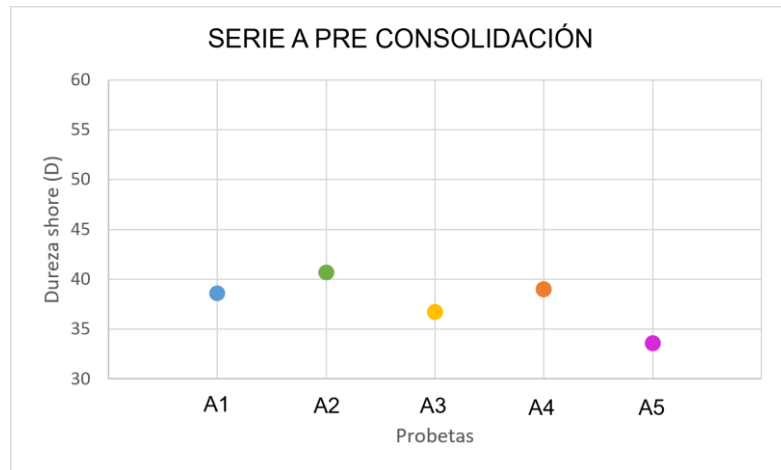


Gráfico. 28. Representación de dureza serie A antes de la consolidación.

Tabla. 20. Promedio de dureza. Probetas serie B antes de la consolidación.

Probeta	Dureza
B1	37,35
B2	39,45
B3	39,07
B4	38,30
B5	37,65

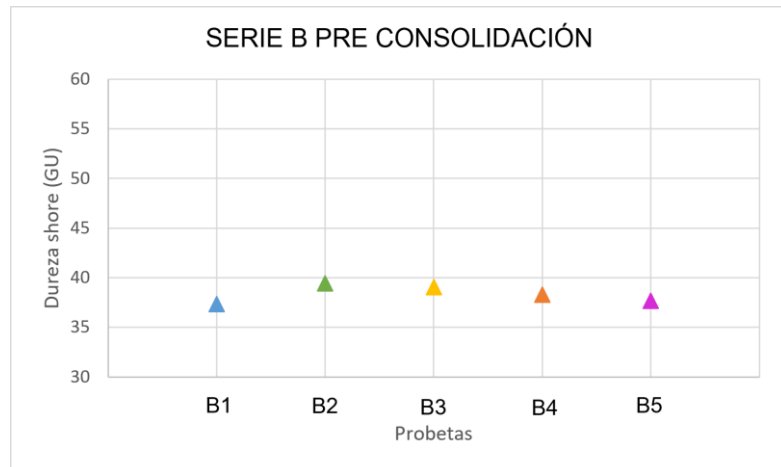


Gráfico. 29. Representación de dureza serie B antes de la consolidación.

Tabla. 21. Promedio de dureza. Probetas serie A después de la consolidación.

Probeta	Dureza
A1	44,50
A2	49,90
A3	46,95
A4	44,55
A5	48,05

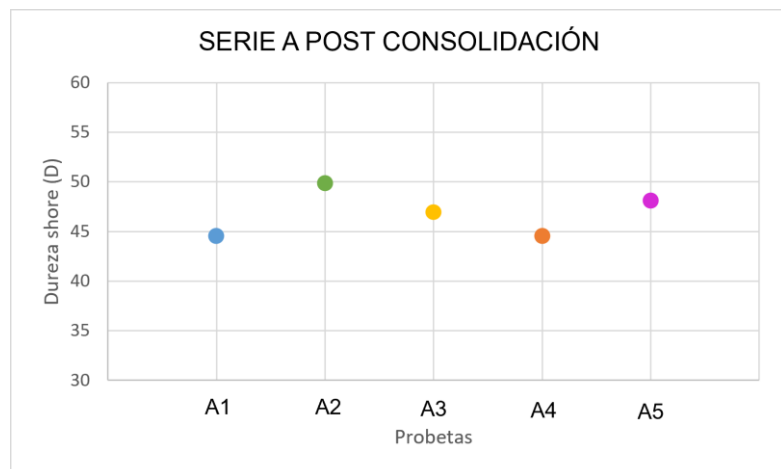


Gráfico. 30. Representación de dureza serie A después de la consolidación.

Tabla. 22. Promedio de dureza. Probetas serie B después de la consolidación.

Probeta	Dureza
B1	50,15
B2	48,80
B3	51,10
B4	50,10
B5	48,05

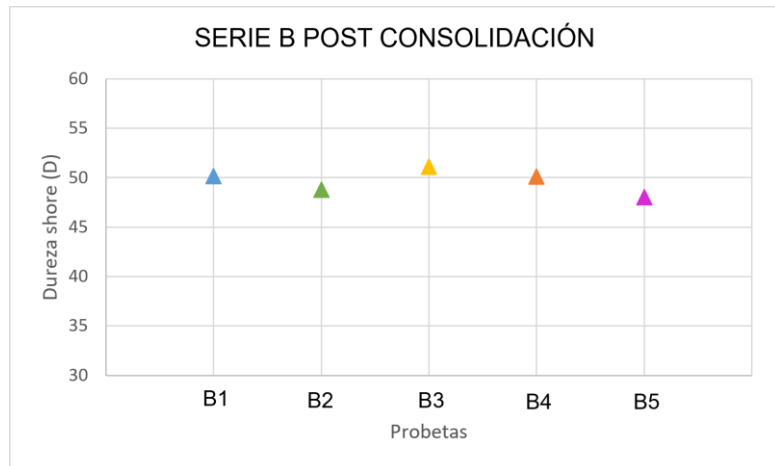


Gráfico. 31. Representación de dureza serie B después de la consolidación.

Tabla. 23. Promedio de dureza. Probetas serie I después de la consolidación.

Probeta	Dureza
I1	52,15
I2	51,10
I3	52,60
I4	51,15
I5	55,65

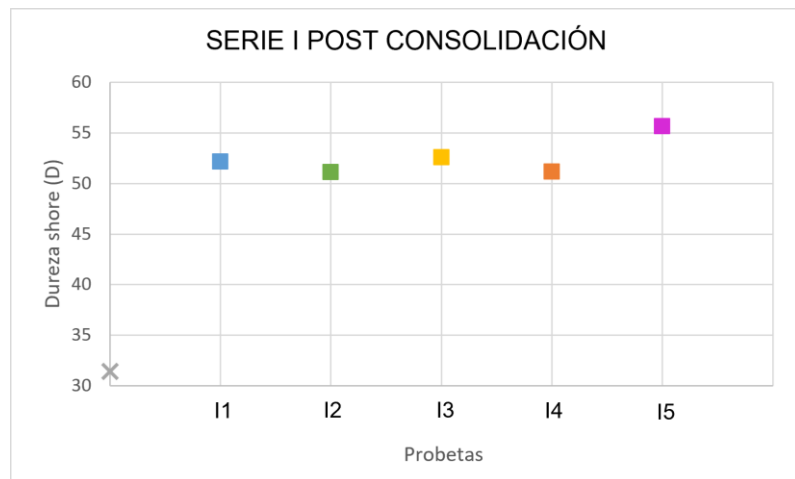


Gráfico. 32. Representación de dureza serie I después de la consolidación.