



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Conservación y Restauración de Bienes  
Culturales

Estudio y valoración del comportamiento físico-químico del  
material óseo arqueológico consolidado con Mowital  
&#65039; B 60HH.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Conservación y Restauración de Bienes  
Culturales

AUTOR/A: Bauzá Rodríguez, Paula

Tutor/a: Carrascosa Moliner, María Begoña

Cotutor/a: Osete Cortina, Laura

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

## TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Máster Universitario UPV en Conservación y Restauración de Bienes Culturales  
Curso 2021 - 2022

---

### ESTUDIO Y VALORACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DEL MATERIAL ÓSEO ARQUEOLÓGICO CONSOLIDADO CON MOWITAL® B 60HH

Presentado por Paula Bauzá Rodríguez  
Tutoras: Begoña Carrascosa Moliner y Laura Osete Cortina



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Conservación  
y Restauración  
de Bienes  
Culturales  
Máster  
Universitario  
UPV



departamento  
Conservación  
Restauración  
Bienes  
Culturales

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Máster Universitario UPV en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Trabajo Final de Máster

ESTUDIO Y VALORACIÓN DEL COMPORTAMIENTO  
FÍSICO-QUÍMICO DEL MATERIAL ÓSEO ARQUEOLÓGICO  
CONSOLIDADO CON MOWITAL® B 60HH

Presentado por Paula Bauzá Rodríguez  
Tutoras: Begoña Carrascosa Moliner y Laura Osete Cortina

Valencia, 2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## **RESUMEN**

El desarrollo de esta investigación tiene como cometido el estudio de las propiedades del producto consolidante Mowital® B 60HH aplicado sobre material óseo. La experimentación se centra en la evaluación de los cambios en las propiedades físicas y el comportamiento hídrico del material óseo tras la aplicación del consolidante a través de ensayos de dureza, nivel de brillo, medidas de coordenadas cromáticas y ensayos de absorción de agua.

Se testean tres metodologías de aplicación del consolidante: mediante impregnación a pincel con una y dos aplicaciones y por inmersión a diferentes concentraciones (entre 2% - 15%) para determinar cuáles son las idóneas, además se evalúa la profundidad de penetración del tratamiento sobre el soporte a partir del uso de la microscopía óptica y la espectroscopía ATR-FTIR.

La interpretación de los datos experimentales concluye que los mejores intervalos de concentración del consolidante Mowital® B 60HH son los comprendidos entre el 2% y 5% mediante una sola aplicación por impregnación a pincel, para lograr mínimas alteraciones cromáticas y de brillo, así como un adecuado incremento de la dureza y menores variaciones en el comportamiento hídrico.

Por otro lado, el análisis químico-mineralógico por espectroscopía ATR-FTIR demuestra una mayor penetración del consolidante en el material óseo mediante la consolidación por inmersión con disoluciones al 2-3%.

La relevancia de estas conclusiones recae en que la información puede contribuir a futuras intervenciones de conservación y restauración con Mowital® B 60HH, conociendo cómo se comporta en material óseo arqueológico.

## **PALABRAS CLAVE**

Hueso arqueológico, consolidación, restauración de hueso, Mowital® B 60HH, análisis físico-químicos.

## **RESUM**

El desenvolupament d'aquesta investigació té com a comesa l'estudi de les propietats del producte consolidant Mowital® B 60HH aplicat sobre material ossi. L'experimentació se centra en l'avaluació dels canvis en les propietats físiques i el comportament hídric del material ossi després de l'aplicació del consolidant a través d'assajos de duresa, nivell de lluentor, mesures de coordenades cromàtiques i assajos d'absorció d'aigua.

Es testen tres metodologies d'aplicació del consolidant: mitjançant impregnació a pinzell amb una i dues aplicacions i per immersió a diferents concentracions (entre 2% - 15%) per a determinar quines són les idònies, a més s'avalua la profunditat de penetració del tractament sobre el suport a partir de l'ús de la microscòpia òptica i l'espectroscòpia ATR-FTIR.

La interpretació de les dades experimentals conclou que els millors intervals de concentració del consolidant Mowital® B 60HH són els compresos entre el 2% i 5% mitjançant una sola aplicació per impregnació a pinzell, per a aconseguir mínimes alteracions cromàtiques i de lluentor, així com un adequat increment de la duresa i menors variacions en el comportament hídric.

D'altra banda, l'anàlisi química-mineralògica per espectroscòpia ATR-FTIR demostra una major penetració del consolidante en el material ossi mitjançant la consolidació per immersió amb dissolucions al 2-3%.

La rellevància d'aquestes conclusions recau en què la informació pot contribuir a futures intervencions de conservació i restauració amb Mowital® B 60HH, coneixent com es comporta en material ossi arqueològic.

## **PARAULES CLAU**

Hueso arqueològic, consolidació, restauració d'os, Mowital® B 60HH, anàlisi física-químics.

## **ABSTRACT**

The development of this research has as its mission the study of the properties of the consolidating product Mowital® B 60HH applied on bone material. The experimentation focuses on the evaluation of changes in the physical properties and water behavior of bone material after the application of the consolidant through hardness tests, brightness level, chromatic coordinate measurements and water absorption tests.

Three methodologies of application of the consolidant are tested: by brush impregnation with one and two applications and by immersion at different concentrations (between 2% - 15%) to determine which are suitable, in addition the depth of penetration of the treatment on the support is evaluated from the use of optical microscopy and ATR-FTIR spectroscopy.

The interpretation of the experimental data concludes that the best concentration intervals of the consolidant Mowital® B 60HH are those between 2% and 5% through a single application by impregnation to brush, to achieve minimum chromatic and brightness alterations, as well as an adequate increase in hardness and fewer variations in water behavior.

On the other hand, the chemical-mineralogical analysis by ATR-FTIR spectroscopy demonstrates a greater penetration of the consolidant into the bone material through consolidation by immersion with 2-3% solutions.

The relevance of these conclusions lies in the fact that the information can contribute to future conservation and restoration interventions with Mowital® B 60HH, knowing how it behaves in archaeological bone material.

## **KEYWORDS**

Archaeological bone, consolidation, bone restoration, Mowital® B 60HH, physico-chemical analysis.

# ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> .....	7
1.1 Uso del consolidante Mowital® B 60HH.....	8
<b>2. Objetivos</b> .....	10
<b>3. Metodología</b> .....	11
<b>4. Materiales y técnicas</b> .....	13
4.1 Descripción del material óseo .....	13
4.2 Preparación de las probetas.....	15
4.3 Consolidación.....	18
4.3.1 Selección del consolidante.....	18
4.3.2 Preparación del consolidante .....	19
4.3.3 Métodos de aplicación.....	22
4.4 Técnicas de análisis, instrumentación y ensayos .....	25
4.4.1 Estudio morfológico mediante microscopía óptica .....	26
4.4.2 Evaluación colorimétrica.....	26
4.4.3 Evaluación fotométrica.....	28
4.4.4 Estudio de las propiedades mecánicas. Dureza Shore .....	29
4.4.5 Evaluación del comportamiento hídrico. Ensayo de absorción de la gota ..	30
4.4.6 Análisis químico-mineralógico por Espectroscopía ATR-FTIR .....	31
<b>5. Resultados</b> .....	32
5.1 Estudio morfológico mediante microscopía óptica .....	32
5.2 Análisis colorimétrico .....	40
5.3 Evaluación fotométrica .....	43
5.4 Estudio de las propiedades mecánicas. Dureza Shore.....	45
5.5 Evaluación del comportamiento hídrico. Ensayo de absorción de la gota.....	48
5.6 Estimación de la profundidad de penetración del consolidante por ATR-FTIR .....	51
<b>6. Discusión de los resultados</b> .....	56
<b>7. Conclusiones</b> .....	58
<b>8. Bibliografía</b> .....	60
<b>9. Índice de figuras y tablas</b> .....	63
<b>10. Agradecimientos</b> .....	69
<b>11. Anexo</b> .....	70

# 1. INTRODUCCIÓN

El material óseo arqueológico es el segundo elemento que se haya con mayor frecuencia en una excavación arqueológica, tanto de restos humanos como de fauna, estos últimos se encuentran en forma de huesos trabajados, para la vida doméstica, para ritos culturales o religiosos, o sin modificar.

Desde la prehistoria hasta nuestros días se siguen utilizando los huesos de animales para la fabricación de diversos objetos de adorno y utensilios artesanales. Los restos óseos de animales y restos humanos ayudan a los científicos y arqueólogos a conocer la historia no sólo a nivel antropológico, sino que también manifiestan la evolución de los ambientes y la fauna, dando información genética y cronológica de los yacimientos.

A lo largo de la historia el rito de inhumación ha evolucionado según las diferentes creencias religiosas, por ello, en las excavaciones arqueológicas se pueden descubrir distintos sistemas de entierro, que contribuyen a datar los periodos culturales. De este modo, se hallan tumbas o restos óseos en grutas naturales (paleolítico) o artificiales (eneolítico), en fosa (neolítico), en tumbas en cámara (Edad de Bronce), fosas con o sin revestimiento y sarcófagos (Edad de Hierro), así como también se hallan enterramientos en túmulos, tinajas (yacimientos argáricos), catacumbas de época romana, necrópolis e incinerados.

El terreno de enterramiento determina en gran medida el tipo de patologías que pueda presentar el resto óseo, pues afectara directamente a la degradación del material si la tierra es de carácter acida o básica, si tiene drenaje o humedad, ya que los suelos con drenaje retienen menor humedad y presentan mayores niveles de oxígeno que favorecen que se degrade el material óseo, así como en suelos ácidos de pH bajo.

Por el contrario, los restos óseos se mantienen en mejores condiciones en suelos de arena, debido a que estos presentan pH alto y escasez de oxígeno, que ralentiza las alteraciones de carácter químico y biológico.

Otras de las patologías que se pueden presentar en el material óseo son las deformaciones por la naturaleza anisotrópica del hueso, la descomposición por humedad o hidrólisis de oseína, alteraciones cromáticas, la facilidad para quebrarse ante largas exposiciones de luz solar, quemaduras, manchas de tinción por oxidación de elementos metálicos, suciedad superficial acumulada o bien problemas derivados de antiguas restauraciones.<sup>1</sup>

Por estas razones se requiere en ocasiones aplicar tratamientos de consolidación para así lograr devolver la estabilidad estructural al material óseo de cara a su posterior estudio o exposición. Estas intervenciones sobre material óseo arqueológico deben seguir en todo momento las premisas esenciales de respeto por el material, reversibilidad, reconocimiento y mínima intervención.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> CARRASCOSA MOLINER, Begoña. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2021-2022.

<sup>2</sup> BALDINI, U. [et al.]. Carta italiana de 1987 de la Conservación y Restauración, Anexo B Instrucciones para la conservación, mantenimiento y restauración de las obras de interés arquitectónico.

## 1.2 USO DEL CONSOLIDANTE MOWITAL® B 60HH

Habitualmente es común en el campo de la restauración el uso del consolidante Paraloid B-72 (Acryloid B-72-Rohm & Haas Co., Filadelfia)<sup>3</sup> ya que una de sus propiedades es que presenta una baja toxicidad. Tanto el Paraloid B-72 como el Mowital® B 60HH poseen un comportamiento similar, son rápidos de preparar y reversibles.

Sin embargo, se ha seleccionado el producto Mowital® B 60HH, por ser una resina de butiral de polivinilo (PVB) que aporta las ventajas de tener una alta resistencia al paso del tiempo, es posible eliminarlo con alcohol y con acetona, y es transparente.

Además, el Paraloid B-72 se suele emplear disuelto en acetona, que se evapora muy rápidamente, por lo que a temperaturas medias-altas pueden producirse efectos indeseados de pasmado en superficie, y por otra parte, no es compatible su aplicación sobre soportes con cierta humedad. De ahí que se busque testar el PVB que se aplica en etanol, para comprobar si ofrece mejoras sin ocasionar estas problemáticas.

Las aplicaciones del Mowital® B 60HH, no se limitan únicamente a la consolidación de material óseo, sino que también se emplea en la consolidación de madera<sup>4</sup> y restauración de cerámica. Dependiendo de la concentración y si se usa con otros materiales, puede emplearse en altas concentraciones a modo de adhesivo<sup>5</sup>, e incluso se emplea en la elaboración de morteros para reintegraciones volumétricas mezclado con hueso pulverizado.<sup>6</sup>

Otros consolidantes que se recomiendan y usan con frecuencia en material óseo se sintetizan en el siguiente esquema (Fig. 1), aunque algunos de ellos están destinados a aplicaciones muy puntuales como es el caso de los cianocrilatos.

---

<sup>3</sup> BOSCATO, Paolo. Consolidación y extracción del material óseo en el paleosuelo de Isernia la Pineta. *Arqueología. Restauración y conservación*. Editorial Nerea 2002.

<sup>4</sup> PIZZO, Benedetto, et al. On site consolidation of burnt and partially charred wood in dry conditions. *Journal of Cultural Heritage*, 2011, vol. 12, no 1, p. 19-27.

<sup>5</sup> HINCELIN, Emmanuelle. Recherche d'un adhésif capable de coller un matériau ciréux et un matériau polyester dans la perspective du montage d'un dessin de José Maria Sicilia appartenant au Frac Picardie. 2010.

<sup>6</sup> SANROMÁN PEYRÓN, Adriana; AVECILLA ZAPATA, Jessica; FLORES HERNÁNDEZ, Mariana. Una experiencia en la conservación de artefactos arqueológicos: práctica de campo en el Museo de Sitio de Alta Vista, Zacatecas, noviembre del 2009. *Intervención (México DF)*, 2011, vol. 2, no 3, p. 66-73.

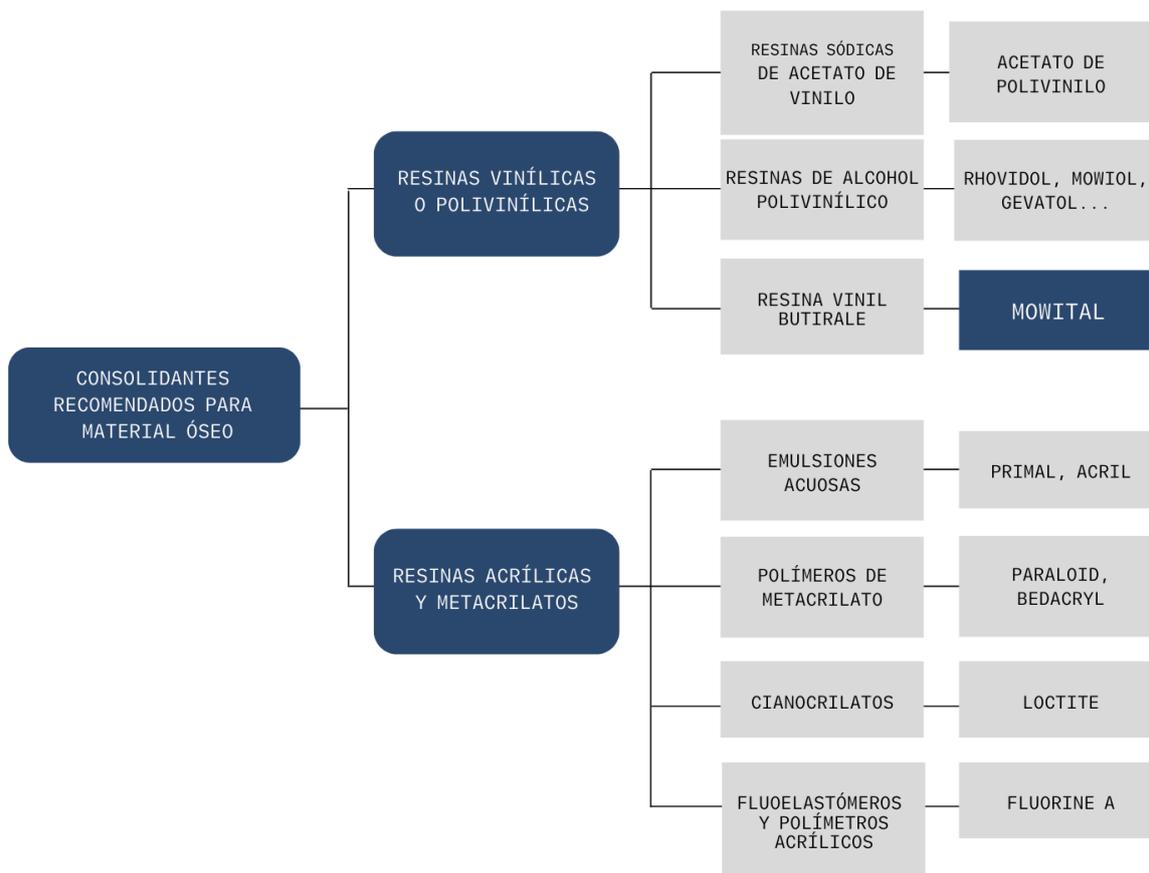


Figura 1. Consolidantes recomendados para material óseo.<sup>7</sup>

La metodología de aplicación de los consolidantes es amplia, ya que es posible aplicarlo por inmersión en baños con o sin cámara de vacío, con pincel, inyección, pulverización, sistema de goteo, sistema de vapor, o por capilaridad.<sup>8</sup>

Su aplicación puede ser además a nivel general de forma uniforme, o bien de manera puntual. Sin embargo, escoger la técnica, depende en gran medida de las necesidades del material en función del estado de conservación en el que se halle o el nivel de humedad. Debido a esto es necesario testar sobre el material diferentes metodologías para seleccionar la más adecuada en cada caso.<sup>9</sup>

Las investigaciones experimentales dentro del ámbito de la consolidación de material óseo para la evaluación de la eficacia y optimización de las condiciones de consolidación son escasas, por ello, se plantea la necesidad de llevar a cabo el presente estudio con el fin de obtener resultados de referencia acerca de la eficacia de este tratamiento en comparación con otros más habitualmente empleados, como el Paraloid y que además faciliten la selección de la proporción del consolidante Mowital® B 60HH y el método de aplicación más idóneo según se precise.

<sup>7</sup> CARRASCOSA MOLINER, Begoña. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2021-2022.

<sup>8</sup> CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos.*

<sup>9</sup> CARRASCOSA MOLINER, Begoña. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2021-2022.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este Trabajo Final de Máster se centra en valorar el comportamiento de del polímero de vinilbutiral, Mowital® B 60HH como consolidante para material óseo.

La evaluación de su eficacia consecuentemente depende de los objetivos específicos que quedan supeditados al principal, siendo estos los siguientes:

- Determinar los cambios texturales y físicos que experimenta el soporte óseo con la aplicación del tratamiento consolidante.
- Evaluar los niveles de penetración que presenta el producto Mowital® B 60HH en las probetas seleccionadas.
- Determinar la metodología de aplicación y la concentración de consolidante óptimas para las probetas de material óseo objeto de estudio.
- Contribuir al objetivo 11.4 de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible)<sup>10</sup> de las Naciones Unidas que consiste en “Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo”, exponiendo las utilidades del Mowital® B 60HH siendo un consolidante seguro para las piezas y para los que lo manipulan.

---

<sup>10</sup> Objetivo 11.4 de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) Naciones Unidas. [Ciudades - Desarrollo Sostenible \(un.org\)](https://un.org)

### 3. METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación comprende dos fases diferenciadas como se muestra en el esquema (Fig. 2), una fase documental y otra experimental. La primera abarca la búsqueda de información, en la que se engloba la búsqueda bibliográfica de los siguientes contenidos:

- Revisión, selección y lectura de bibliografía sobre material óseo.
- Análisis de las propiedades del consolidante Mowital® B 60HH, mediante bibliografía específica y consultas online.
- El estudio de la normativa actual aplicable a los ensayos a realizar en este estudio.

La fase experimental de la investigación consta de los siguientes apartados:

- Registro fotográfico inicial del material óseo.
- Documentación del objeto: lugar de origen, año, medidas y características morfológicas.
- Preparación del material óseo, seccionándolo en probetas de tamaño similar.
- Clasificación y siglado de las series de probetas.
- Limpieza mecánica y física de las piezas para su estado óptimo a la hora de la experimentación.
- Realización de pruebas de colorimetría, dureza, brillo y absorción de la gota antes de llevar a cabo la consolidación de las probetas según la normativa específica.
- Preparación de las disoluciones de Mowital® B 60HH a distintas proporciones y adición del colorante Rodamina B para comprobar visualmente la penetración del consolidante en el material óseo.
- Realización de las pruebas de consolidación con aplicación a pincel, y por inmersión.
- Proceso de secado y evaporación del etanol del consolidante aplicado sobre las probetas durante 2 semanas.
- Evaluación de los cambios en las propiedades físicas de las probetas tras la consolidación (cromáticos, dureza, brillo y comportamiento hídrico).
- Estimación de la profundidad de la penetración de Mowital® B 60HH en las probetas mediante microscopía óptica y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

Tras la realización de la parte práctica, se procede al análisis de los resultados de cada análisis para extraer conclusiones de cada uno de los puntos anteriormente mencionados, así como a la redacción del presente trabajo.

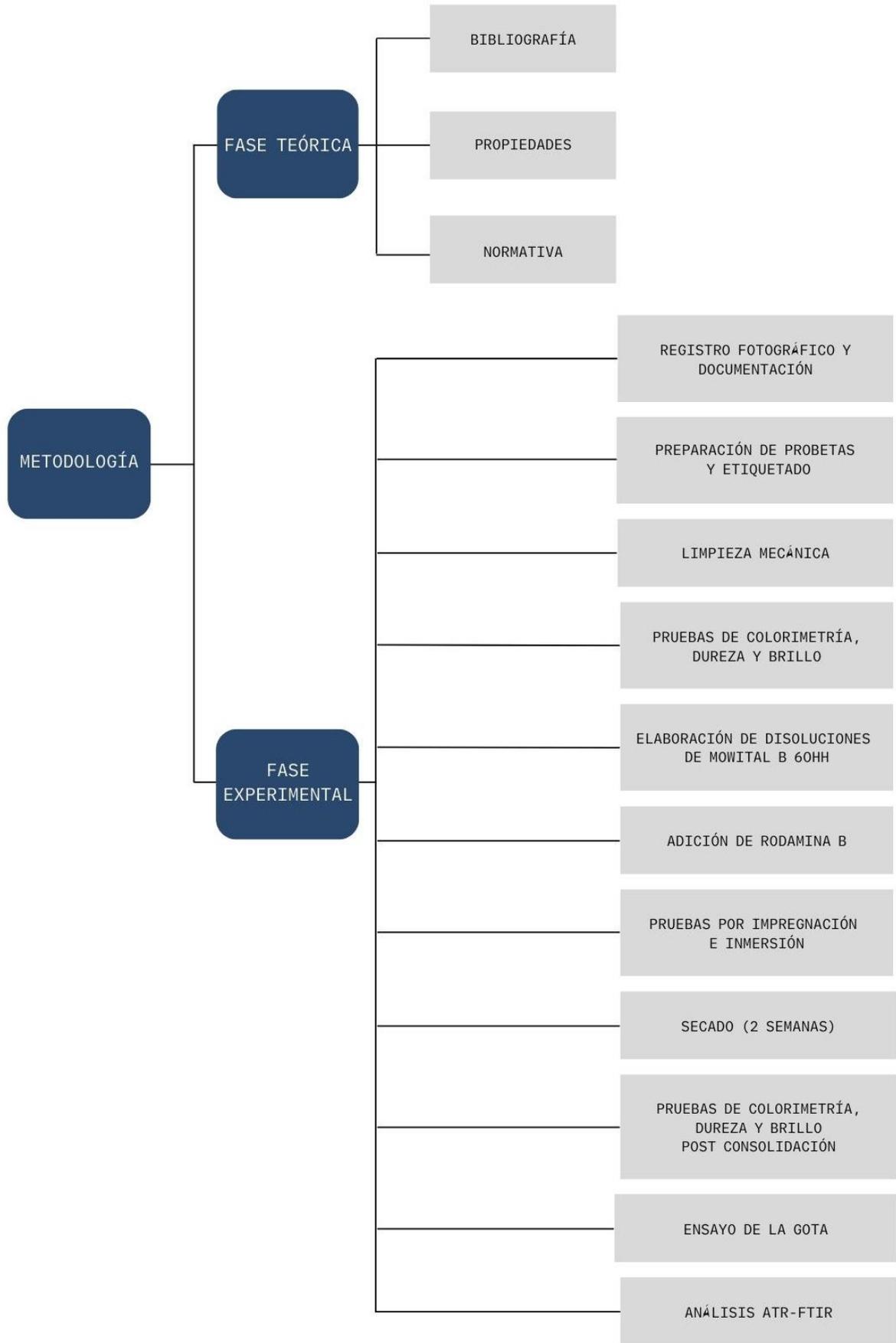


Figura 2. Esquema de metodología de empleada para el desarrollo de la investigación.

## 4. MATERIALES Y TÉCNICAS

Los productos precisados para llevar a cabo la experimentación han consistido en el consolidante Mowital® B 60HH (CTS España S.L.), Rodamina B (Sigma-Aldrich)<sup>11</sup> y etanol (Fluka)<sup>12</sup>. En cuanto al equipo básico necesario para realizar los ensayos y preparación de probetas y consolidantes, se incluyen una balanza de precisión (0,01g de precisión), una mini amoladora DREMEL® 4000 y una pipeta Eppendorf Research® plus. Los equipos de protección individual (EPIs) empleados fueron guantes, gafas de protección y bata, así como vitrinas de extracción de gases como sistemas de protección colectiva.

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL ÓSEO

El esqueleto humano adulto se compone de 206 huesos (largos, planos y cortos), que se clasifican en tejido óseo y tejido cartilaginoso. El tejido óseo puede ser de dos tipos, el hueso compacto o cortical, y el hueso esponjoso también conocido como trabecular, aunque entre uno y otro encontramos una franja de transición.<sup>13</sup> En los huesos largos se distinguen tres partes, las epífisis (cada uno de los extremos), la diáfisis (porción central del hueso) y la metáfisis (zona donde se halla tejido cartilaginoso) (Figura 3).<sup>14</sup>

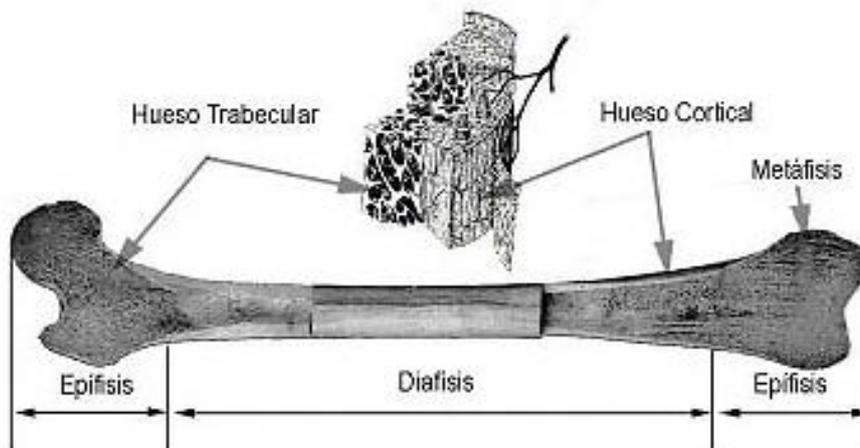


Figura 3. Hueso esponjoso y hueso cortical en un hueso largo. Adquirida de: [UN NUEVO METODO PARA LA SIMULACION DE LA ESTRUCTURA OSEA MEDIANTE LA VERSION P DE ELEMENTOS FINITOS \(scielo.org\)](#)

El hueso es un material orgánico que tiene una naturaleza mixta compuesta de una parte mineral y otra orgánica, aproximadamente siendo de un 30% la matriz orgánica denominada oseína, formado por colágeno y glicoproteínas, y un 70% de matriz inorgánica bajo forma de hidroxiapatita de calcio compuesto por fosfato cálcico, carbonato y fluoruro cálcicos.<sup>15</sup>

<sup>11</sup> [Rodamina B Colorantes & Colores vegetales | Kremer Pigmente Online Shop \(kremer-pigmente.com\)](#) Consultado en: 24-06-22

<sup>12</sup> Etanol, casa comercial Fluka™. [Ethanol | 02857 | Honeywell Research Chemicals](#)

<sup>13</sup> [Fisiopatología ósea](#). UCM. Consultado el 12 de marzo de 2022.

<sup>14</sup> TORTORA, G.; DERRICKSON, B. Principios de Anatomía y Fisiología. 2006.

<sup>15</sup> CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2020 – 2021.

Sus principales propiedades consisten en ser un material de estructura heterogénea, así como anisótropa.<sup>16</sup>

El material óseo empleado para la experimentación corresponde a un fémur humano que presentaba una fractura longitudinal dividiéndolo en dos partes (Fig. 4), sus medidas eran de 31,5 cm de largo y 41,44 cm de largo respectivamente (Fig. 5). Procede del foso de la Iglesia de la Sangre de Lliria, y posteriormente se conservó en los fondos del MALL (Museu Arqueològic de Lliria).



Figura 4. Fotografía inicial del material óseo (anverso).



Figura 5. Medición de las dimensiones del material óseo.

---

<sup>16</sup> RINCÓN RINCÓN, Esther [et al.]. Caracterización mecánica del material óseo. Madrid, 2004. p.4.

En cuanto al estado de conservación del material, ambas partes se hallan secas, presentando un buen y estable estado de conservación; aunque la zona del hueso esponjoso en las epífisis y la diáfisis al tener una estructura trabecular se halla más débil y quebradizo.

Sin embargo, la capa exterior que es de hueso cortical es considerablemente más resistente que la anterior, y presentaba restos de suciedad superficial, concreciones calcáreas y algunos depósitos terrosos (Fig. 6).



Figura 6. Detalle del material óseo estable con presencia de restos de suciedad superficial.

## 4.2 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Para la realización de los ensayos indicados en el apartado de metodología se estimó necesario obtener tres series de cinco probetas, más una de referencia.

Antes de proceder al corte de las piezas, se marcaron las líneas de corte cada dos centímetros a lo largo del fémur con la ayuda de un lápiz de grafito y cinta métrica (Figs. 7 y 8), manteniendo así el mismo ancho en todas las probetas. Estas dimensiones fueron consideradas las mínimas con el fin de poder llevar a cabo todos los análisis y ensayos planteados.



Figs. 7-8. Proceso de marcado de las líneas de corte sobre las piezas con lápiz de grafito.

Posteriormente, se seccionó el material óseo con una mini amoladora DREMEL® 4000, que permite realizar la función de corte con un destacable nivel de precisión sobre las marcas

realizadas a alta velocidad de modo que el tiempo de división de las probetas fue escaso y el resultado fue un corte limpio (Figs. 9-10).



Figuras. 9-10. Proceso de sección de probetas empleando la herramienta DREMEL® 4000.

Tras seccionar las dos mitades del fémur fraccionado longitudinalmente, quedaron 44 fragmentos resultantes (Fig. 11) de distinto tamaño y morfología.

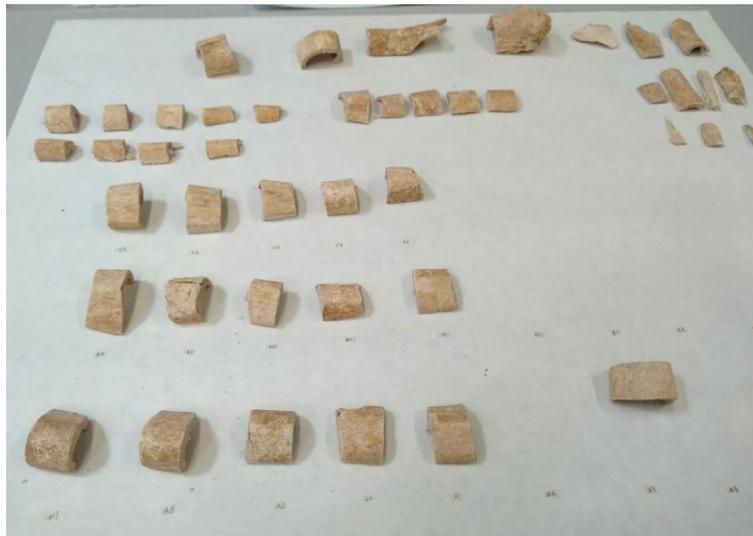


Figura 11. Fragmentos óseos resultantes tras el corte de las piezas con DREMEL® 4000.

De esos fragmentos se seleccionaron 16 probetas (Fig. 12) de características similares en cuanto a dimensiones y textura, sin alteración estructural, para así ser representativas y que no llegasen a interferir con los resultados del estudio experimental. El resto de los fragmentos fueron provisionalmente depositados en una bolsa en caso de ser necesario repetir alguno de los procesos.



Figura 12. Selección final de probetas para la experimentación.

Tras la selección del material, se procedió a realizar una limpieza superficial, con el fin de eliminar depósitos terrosos y residuos calcáreos, de forma controlada, gradual y selectiva, para ello, se realizó una limpieza mecánica en seco mediante finos bastones de madera para evitar arañazos y sin ejercer una presión excesiva para eliminar las diversas concreciones en superficie. A continuación, se procedió al cepillado con un cepillo de cerdas finas y suaves para la eliminación del polvo superficial.

Dado que la limpieza superficial en seco no retiró todos los depósitos presentes, se optó por hacer una prueba de solubilidad usando los tres solventes universales, agua desmineralizada, alcohol y acetona, aplicándolos con un hisopo para averiguar cuál ofrecía mejores resultados de limpieza.

Para la limpieza de las probetas se seleccionó el agua desmineralizada, ya que en las pruebas se comprobó que era el disolvente más efectivo. Sin embargo, dada la naturaleza higroscópica del material óseo, el aporte de humedad empleado ha sido mínimo para evitar alteraciones en las probetas.

Por último, se dejaron secar las probetas a condición ambiental estable para evaporar el agua desmineralizada empleada en la limpieza y recuperar los niveles de humedad iniciales. En la figura 13 se muestra el aspecto final de las probetas tras la limpieza.



Figura 13. Aspecto final de las probetas tras el proceso de limpieza.

## 4.3 CONSOLIDACIÓN

### 4.3.1 SELECCIÓN DEL CONSOLIDANTE

La consolidación como tratamiento conservativo permite a los restauradores fortalecer la pérdida de cohesión física y devuelve la integridad interna o formal al material a intervenir para que puedan resistir a futuros factores de riesgo como son el clima, las manipulaciones, otros procesos de restauración, etc.

La premisa de este tratamiento es un cambio físico-químico en su estructura interna original. Es decir, los consolidantes son productos que se aplican en estado líquido permitiendo así que esa propiedad de fluidez facilite su penetración en el material poroso de la pieza y sea distribuido de manera uniforme en la estructura interna.<sup>17</sup>

Las características del consolidante a emplear, ya sea su viscosidad, adherencia, tensión superficial, dependen de su finalidad, es decir, si se busca una protección, cohesión, fijación o adhesión. Pero también del tipo de material a consolidar, puesto que influye el nivel de porosidad, higroscopicidad y la transpirabilidad que presente.<sup>18</sup>

El consolidante Mowital® B 60HH es un polímero de vinilbutiral, con propiedades adecuadas para la consolidación de material óseo arqueológico puesto que presenta una buena resistencia

<sup>17</sup> CARRASCOSA MOLINER, Begoña. La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos. 2009.

<sup>18</sup> ZALBIDEA MUÑOZ, María Antonia. Conceptos básicos sobre consolidación y protección de superficies policromas. 2019.

a la luz y al agua, resistencia al envejecimiento, transparencia, y es termosellable a temperaturas superiores a 120 °C.<sup>19</sup>

Los grados de Mowital® se nombran usando una nomenclatura autoexplicativa, de modo que el nombre comercial Mowital® es seguido por una B mayúscula indicando así el aldehído que se utiliza (3-yodohexanal)<sup>20</sup>.

En este caso, los productos se basan en butiraldehído, y los números hacen referencia al grado de polimerización, es decir, cuanto mayor sea el número, mayor grado de polimerización y por tanto más viscosidad<sup>21</sup>. Las letras T, M, H, S y HH indican el grado de acetalización, T siendo el más bajo y HH siendo el más alto.<sup>22</sup>

Es habitual también su uso como estuco sintético al 20% en etanol, sílice micronizado y microesferas de vidrio; debido a sus propiedades de reversibilidad, alta resistencia al envejecimiento y no aportar humedad al material.<sup>23</sup>

#### 4.3.2 PREPARACIÓN DEL CONSOLIDANTE

Se ha decidido el uso del consolidante Mowital® B 60HH en alcohol etílico, su preparación en diferentes concentraciones, concretamente al 2%, 3%, 5%, 10% y 15%, ya que de este modo se podrá comprobar cuál es la más apropiada de cara a una consolidación en función de las necesidades del material óseo. Las disoluciones se prepararon disolviendo la cantidad correspondiente de resina en etanol. Para la pesada de la resina se empleó una balanza con una precisión de 0,01g y la medida del volumen de etanol se realizó utilizando probetas de vidrio. Para la correcta disolución de la resina se utilizó un agitador magnético (Fig. 14).



Figura. 14. Agitador magnético empleado para la preparación de las disoluciones.

<sup>19</sup> Ficha técnica de Mowital®. [MOWITAL® B 60HH - CTS España \(ctseurope.com\)](https://www.ctseurope.com) Consultado: 19-04-2022.

<sup>20</sup> Aldehídos. Equipo editorial de lifeder. [Aldehídos: qué son, estructura, propiedades, usos y ejemplos \(lifeder.com\)](https://www.lifeder.com) Consultado: 19-04-2022

<sup>21</sup> CALVO, A., 1997. Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z. España. Ediciones del Serbal.

<sup>22</sup> Ficha técnica de Mowital®. [MOWITAL® B 60HH - CTS España \(ctseurope.com\)](https://www.ctseurope.com) Consultado: 19-04-2022.

<sup>23</sup> CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura "Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil." 2020 – 2021.

El proceso de preparación de las disoluciones se llevó a cabo en la vitrina extractora de gases de Grupo WALDNER®.<sup>24</sup>

Para poder realizar la comprobación del nivel de penetración del consolidante, se usó el colorante Rodamina B.<sup>25</sup> La Rodamina B es inicialmente una sustancia en polvo de color verde grisáceo, que adquiere una tonalidad rosácea en etanol. A menudo se utiliza para determinar la dirección de penetración de líquidos y puede detectarse mediante luz ultravioleta en entornos de escasa iluminación debido a su propiedad de ser ligeramente fluorescente.<sup>26</sup>

El colorante se ha añadido con una pipeta Eppendorf Research® plus.<sup>27</sup> Para cada proporción se dispuso un volumen distinto proporcional de Rodamina B (Fig. 15), tal y como se indica en la tabla 1 los porcentajes de concentración de Mowital® B 60HH abarcan desde el 2% al 15%.



Figura 15. Material empleado para la adición del colorante Rodamina B en proceso de preparación.

Tabla 1. Relación entre Mowital® B 60HH y Rodamina B.

Relación entre Mowital B 60HH y Rodamina B	
Concentración de Mowital®	Rodamina B (µL)
2%	25 µL
3%	41 µL
5%	54 µL
10%	60 µL
15%	66 µl

El resultado tras la preparación de las disoluciones con el colorante Rodamina B se muestra a continuación en la figura 16, siendo de niveles cromáticos muy aproximados.

<sup>24</sup> Vitrina de extracción de gases de Grupo WALDNER: <https://www.waldner.es/Espa%c3%b1ol/Vitrinadegases/tabid/2583/Default.aspx> . Consultado el 21-04-2022.

<sup>25</sup> Ficha técnica de KREMER de Rodamina B / Rhodamine B. Disponible en: [Shdgliederung \(kremer-pigmente.com\)](https://www.kremer-pigmente.com) Consulta: 25-04-2022.

<sup>26</sup> Disponible en: <https://www.alquera.com/rodamina-b/> . Consultado el 20-03-2022.

<sup>27</sup> Manual de instrucciones de la Eppendorf Research® plus disponible en: [Eppendorf Liquid-Handling Operating-manual Research-plus.pdf](https://www.eppendorf.com/liquid-handling-operating-manual-research-plus.pdf) Consulta: 25-04-2022.

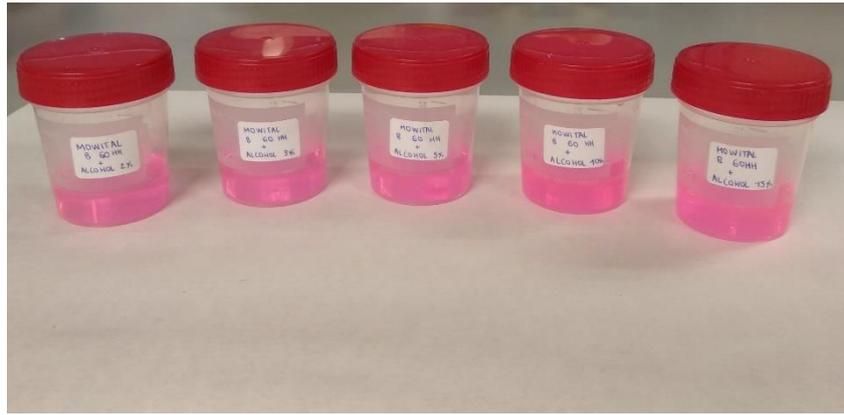


Figura 16. Soluciones de Mowital® B 60HH con Rodamina B.

Sin embargo, para verificar que los niveles cromáticos son similares de forma cuantitativa, se han dispensado 500 microlitros de cada disolución de consolidante (2%, 3%, 5%, 10% y 15%) sobre un portaobjetos de vidrio (Fig. 17-18). Una vez evaporado el disolvente, se procede a efectuar tres mediciones de color en el material polimerizado usando el colorímetro CHN Spec CS-10.

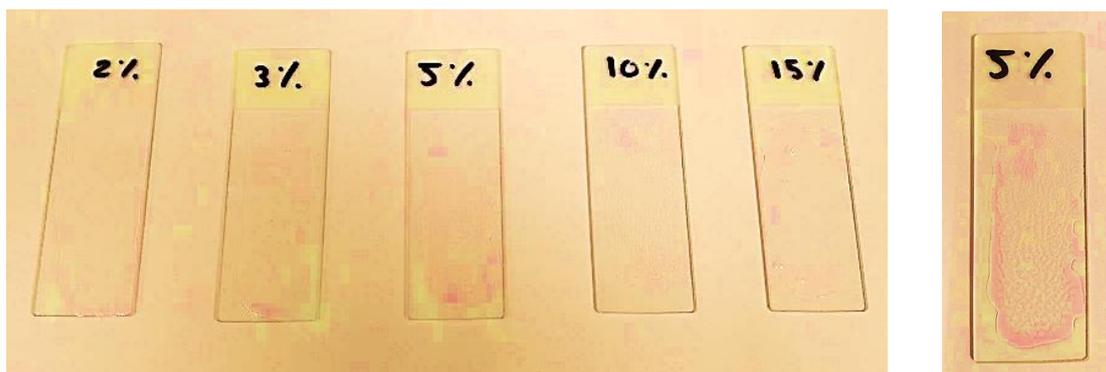


Figura 17-18. Portaobjetos con Mowital® B 60HH a distintas concentraciones con Rodamina B.

En la figura 19 se representan las coordenadas cromáticas promedio obtenidas de las mediciones realizadas sobre los consolidantes. El parámetro  $b^*$ , que se corresponde con la coordenada de los valores del rango amarillo hasta el azul, indica niveles negativos, por tanto, tiende más hacia el azul. El plano colorimétrico  $a^*$  (Rojo-Verde) se aproxima a 2, mientras que el plano del espacio tridimensional más representativo y destacable es  $L^*$ , que cuenta con los valores más altos casi alcanzando el blanco absoluto que equivale al 100.

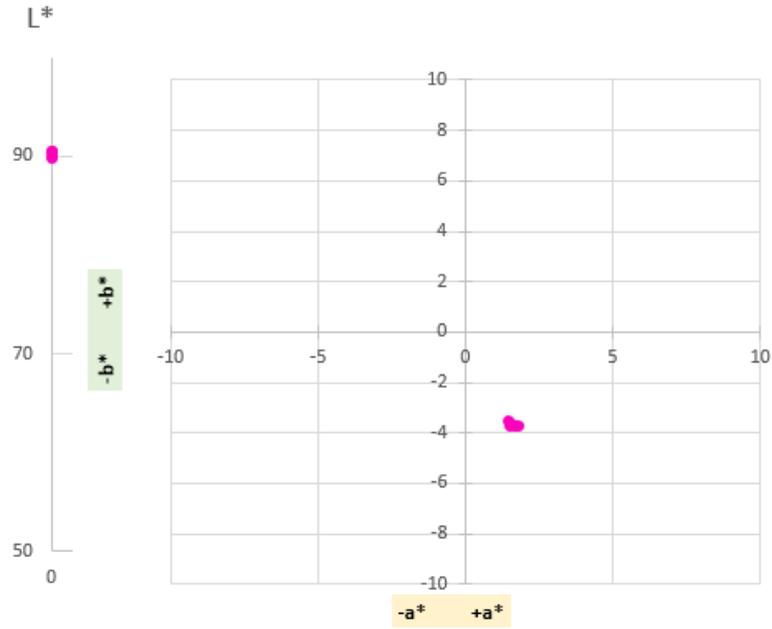


Figura 19. Representación gráfica en espacio cromático CIELAB de valores colorimétricos de solución de Mowital® B 60HH con Rodamina B a distintas concentraciones.

La representación dentro del espacio de color CIELAB, correspondería con un blanco casi puro saturado, a excepción de un matiz rosáceo (+a) y ligeramente azulado (-b) que se hallan muy desaturados. Se observa, además, una concentración localizada de los valores, demostrando así que la variación colorimétrica ha sido mínima sin afectar al resto de mediciones.

### 4.3.3 MÉTODOS DE APLICACIÓN

Una vez preparadas las soluciones con unos niveles de Rodamina B de una intensidad similar, se procede a la aplicación del consolidante sobre las probetas.

Las probetas se disponen en tres filas (Fig.20) diferenciando la serie A (fila superior), la serie B (fila central) y la serie C (fila inferior), la probeta situada a la izquierda es la llamada “Probeta 0” o “PO”, que se toma de referencia en las futuras mediciones puesto que no se consolida, pero sin embargo mantiene las mismas condiciones ambientales en el laboratorio que el resto de las probetas (20°C y 50% H.R).



Figura 20. Aspecto general de las probetas antes de la aplicación de los tratamientos.

La tabla 2, refleja la disposición de las probetas a la hora de consolidar siguiendo la estructura de la anterior imagen, cada probeta de material óseo está debidamente siglada con su serie (que indica el método de aplicación) y número (que hace referencia a la concentración del soluto, el Mowital® B 60HH).

Tabla 2. Clasificación de probetas en función de la serie, método de aplicación y nivel de concentración de Mowital® B 60HH.

Clasificación de probetas por método de aplicación y nivel de concentración de Mowital® B 60HH						
		Nivel de concentración de Mowital® B 60HH con Rodamina B				
Serie	Método de aplicación	2%	3%	5%	10%	15%
A	Impregnación a pincel (1 mano)	A1	A2	A3	A4	A5
B	Impregnación a pincel (2 manos)	B1	B2	B3	B4	B5
C	Inmersión completa	C1	C2	C3	C4	C5

Se emplearon tres métodos distintos de aplicación del consolidante; las series A y B se realizaron mediante el sistema de impregnación con pincel. La serie A se aplicó con una única pasada del consolidante a pincel sobre la probeta, en vertical y en horizontal cuando secó la primera capa (Fig. 21). La serie B consta de dos pasadas, es decir, dos veces el proceso de aplicación en vertical

y horizontal con los respectivos tiempos de espera para un correcto secado y absorción del producto en el material óseo.



Figura 21. Consolidación de probetas (Serie A).

La consolidación de la serie C se realizó con el método de inmersión total en las disoluciones de Mowital® B 60HH, dicha serie se ha impregnado previamente a la inmersión con etanol con la ayuda de una muñequilla fabricada con gasa hidrófila y algodón (Fig. 22).



Figura 22. Impregnación de las probetas con etanol con la ayuda de una muñequilla.

El objetivo de esta impregnación consiste en lograr así una mejor penetración del Mowital® B 60HH en las probetas.<sup>28</sup> El tiempo de inmersión total, de 30 minutos, ha sido la misma para todas las probetas sumergidas (Fig. 23); para así obtener unos resultados fiables sin margen de error en el tiempo de actuación.

---

<sup>28</sup> CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2020-2021.

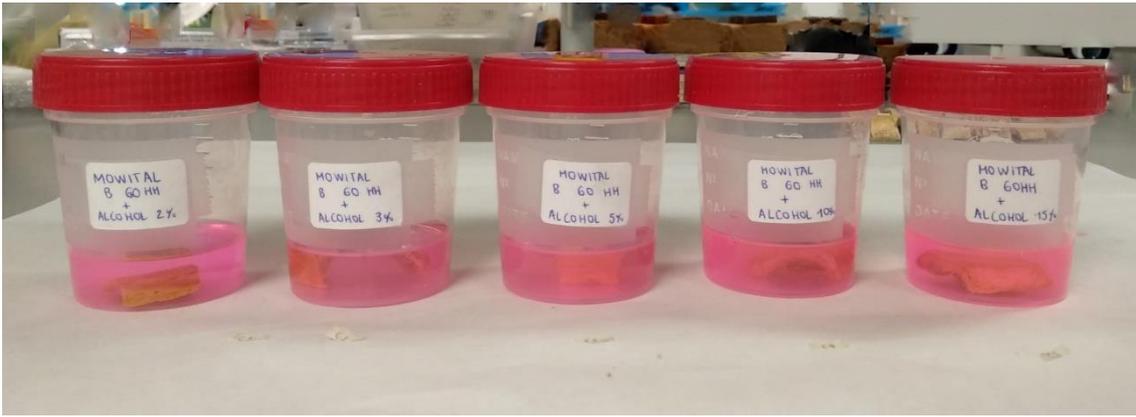


Figura 23. Probetas durante el proceso de inmersión (Serie C) por orden de concentración.

Transcurridos los 30 minutos, se procedió a eliminar el exceso de consolidante en la superficie de cada probeta mediante el uso de la muñequilla de algodón y gasa humectados en etanol, realizando pequeños toques sobre la superficie del material óseo. Finalmente, las probetas se dejaron secar por oreo durante 15 días hasta su total secado para poder manipularlas y etiquetar de nuevo con sus referencias desde A1 hasta C5 (Fig. 24).

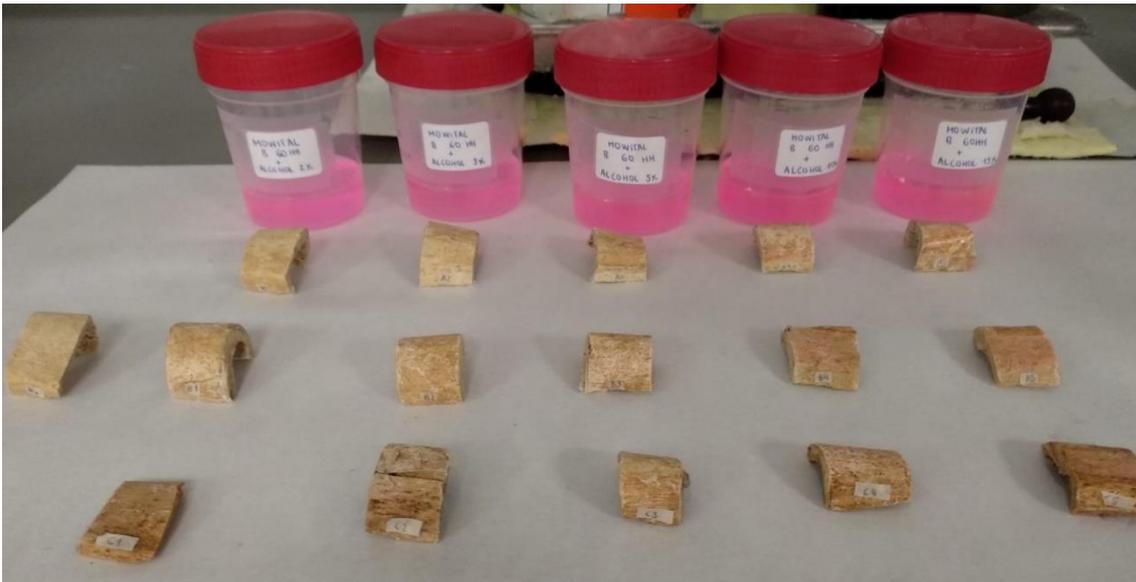


Figura 24. Probetas tras secado por oreo (Series A, B y C).

#### 4.4 TÉCNICAS DE ANÁLISIS, INSTRUMENTACIÓN Y ENSAYOS

A continuación, se exponen las condiciones de trabajo, equipamiento y ensayos aplicados para realizar el examen morfológico, químico, así como las pruebas realizadas para evaluar las propiedades de color, dureza y brillo, comportamiento hídrico del material óseo antes y después de la aplicación del tratamiento consolidante, así como la estimación de la profundidad de penetración del tratamiento.

#### 4.4.1 ESTUDIO MORFOLÓGICO MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA

Para el examen morfológico de las piezas en superficie y sección transversal se ha empleado un microscopio estereoscópico Leica S8 APO (10x-80x) que consta además de iluminación rasante gracias al sistema de fibra óptica (Fig. 25). Las imágenes se han tomado desde la cámara digital Leica DMC6200 integrada en el propio microscopio y se han procesado con el software Leica Application Suite 4.12, el cual permitía una visualización más clara y en profundidad de las probetas.



Figura 25. Microscopio estereoscópico Leica S8 APO (10x-80x).

Se adquirieron microfotografías de la superficie de las probetas y de la sección transversal para así poder evaluar las características texturales del material tanto antes como después de realizar la aplicación del consolidante y así comparar los cambios producidos.

Este examen permite además comparar el nivel de penetración del Mowital® B 60HH en las tres series de probetas, que se analizará en profundidad dentro del apartado de Resultados, sección 5.1.

#### 4.4.2 EVALUACIÓN COLORIMÉTRICA

Se ha realizado el estudio colorimétrico siguiendo la normativa específica UNE-EN 15886:2011<sup>29</sup> con el colorímetro CHN Spec CS-10 (Figs. 26), que cuenta con un medidor de 8 mm de diámetro, CIE 10° estándar de observación, una fuente de luz CIE D65, tiempo de medición de 0,5 segundos, y además consta de accesorios de calibración para calibrar el colorímetro antes de usarlo.<sup>30</sup>

<sup>29</sup> 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> Consulta: 19-04-2022

<sup>30</sup> Colorímetro digital portátil CS-10. [Colorímetro digital portátil CS-10 \(lonroy.com\)](http://lonroy.com) Consulta: 19-04-2022



Figura 26. Detalle de la realización de las mediciones colorimétricas.

Se tomaron cinco mediciones de cada probeta y se anotaron los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , que se corresponden con las coordenadas cromáticas del sistema del espacio cromático CIE  $L^*a^*b^*$ .  $L^*$  se corresponde con la coordenada de claridad (escala 0-100, siendo 0 el negro y 100 el blanco),  $a^*$  hace referencia a la coordenada rojo/verde indicando la tendencia hacia uno u otro, y la coordenada de amarillo/azul se indica con la  $b^*$  tal y cómo se representa en la figura 27.

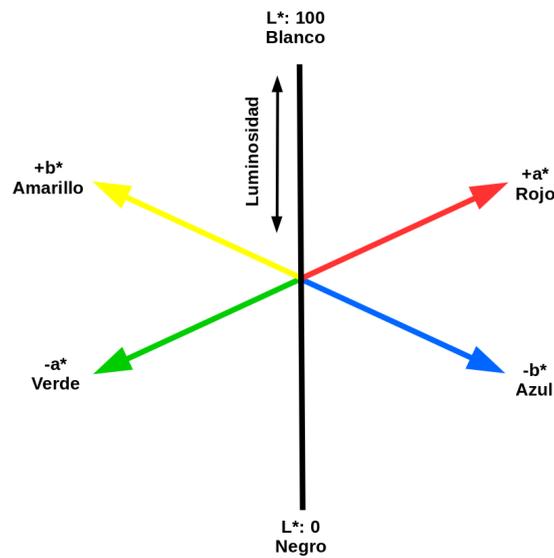


Figura 27. <sup>31</sup> Representación gráfica simplificada del espacio cromático CIE  $L^*a^*b^*$ .

<sup>31</sup> MIRANDA, Juan [et al.]. (2018). *Clasificación automática de naranjas por tamaño y por defectos utilizando técnicas de visión por computadora.*

Es necesario destacar que la superficie a medir constaba de una curvatura de radio pequeño que puede influir a la hora de realizar las mediciones. Fue menester además emplear el software Excel para aplicar la normativa UNE vigente.<sup>32</sup>

#### 4.4.3 EVALUACIÓN FOTOMÉTRICA

El análisis fotométrico de las probetas (Fig. 28) se realizó con el brillómetro Multi Gloss 268 de KONICA MINOLTA®, cuya función es la de registrar los datos de brillo del material óseo en la capa más superficial y así comprobar el cambio experimentado en relación a los datos obtenidos antes y después de aplicar el consolidante.



Figura 28. Evaluación fotométrica. Toma de mediciones con brillómetro Multi Gloss 268.

El medidor de brillo debe situarse sobre cada una de las probetas haciendo contacto directo con la ventana de medida del dispositivo.

Se realizaron cinco mediciones del brillo posteriores a la aplicación del consolidante Mowital® B 60HH en cada una de las 15 probetas (exceptuando la P0), de cada medición se obtienen tres datos, que corresponden a ángulos distintos, ángulo de 20°, de 60° y de 85°, siguiendo así las directrices de la norma UNE-EN ISO 2813:2015.<sup>33</sup>

Se recalca que la superficie del material óseo no era perfectamente plana, por tanto, los datos obtenidos dependen de este hecho, cualquier posible error de precisión se debe a dicha curvatura natural, así como a las características heterogéneas intrínsecas del material.

Una vez obtenidos los datos y reflejados en el cuaderno de campo, se procesaron mediante el software Microsoft Excel para hallar el promedio por probeta.

---

<sup>32</sup> TFM "La normativa en la conservación y restauración de bienes culturales. Revisión crítica de normas UNE y desarrollo de herramientas para facilitar su aplicación". Engracia Arias Valera. Tutores: Laura Osete Cortina y José Antonio Madrid García.

<sup>33</sup> Norma UNE-EN ISO 2813:2015: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-2813-2015-n0054700> Consulta: 22-04-2022.

#### 4.4.4 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS. DUREZA SHORE

Con el fin de evaluar el efecto reintegrador del tratamiento consolidante, se recogieron las medidas de la dureza superficial del material óseo antes y después de la aplicación del tratamiento. La dureza es la propiedad mecánica que determina la resistencia del material a aquellas alteraciones por rayado o abrasión.

La dureza por indentación se ha medido con un durómetro HTKK-37D Digital de dureza Shore D de punta cónica. Durante el proceso de medida, se acciona un pulsador que presiona la punta sobre la probeta de hueso y ésta sufre un retroceso que se relaciona con el valor de dureza del material, indicado en la pantalla del equipo (Fig. 29-30).



Figuras 29-30. Adquisición de las medidas de dureza.

El procedimiento de medición se ha realizado en diez ocasiones por probeta, siempre en zonas representativas y homogéneas de cada una sin grandes alteraciones para ofrecer el resultado más fiable. Posteriormente se ha obtenido el promedio de los datos de cada probeta y la desviación estándar mediante el software de Microsoft Excel.

Los datos quedan plasmados en el punto 5.4 de este TFM comparando las mediciones antes y después de la aplicación del consolidante.

Del mismo modo que ocurre con las pruebas realizadas de colorimetría y brillo, se deja constancia de la rugosidad y curvatura de la superficie del material, ya que la zona de toma de las muestras repercute directamente en los datos recopilados.

#### 4.4.5 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HÍDRICO. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE LA GOTA

Las variaciones bruscas por fluctuaciones de humedad relativa y temperatura son una causa extrínseca del deterioro del material óseo.<sup>34</sup> Además, la aplicación de un tratamiento consolidante produce alteraciones en la porosidad del material original que modificarán su comportamiento en contacto con el agua. Es por ello que se evaluó el comportamiento hídrico de las probetas mediante el ensayo de absorción de la gota para comprobar la capacidad de absorción antes y tras la aplicación del consolidante para comprobar su efectividad.

Se ha seguido el procedimiento descrito en la normativa RILEM II.8: Absorción de la gota de agua,<sup>35</sup> distribuyendo sobre cada probeta tres gotas de agua desmineralizada de 10 microlitros cada una (Fig. 31). Para evitar que se produjese la desestabilización de las gotas sobre las probetas y una posible alteración de los resultados reales del ensayo, se usó plastilina vegetal de la marca comercial JOVI<sup>36</sup> a modo de soporte para lograr dicha estabilidad.

Las gotas se depositaron usando una pipeta Eppendorf Research® plus, y se cronometra el tiempo de absorción medio en minutos para cada una de las depositadas en la probeta, anotando el valor +60 en aquellos casos en los que el tiempo de absorción en la probeta supere una hora.

Se obtuvo tanto el valor promedio como la desviación estándar de todas las medidas realizadas sobre las diferentes probetas, incluida la probeta P0 (probeta sin consolidar), ya que se toma de referencia su comportamiento hídrico para compararlo con aquellas probetas que se encuentran consolidadas.



Figura 31. Ensayo de absorción de la gota. Probetas A3 y P0.

<sup>34</sup> CARRASCOSA, M.B. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2020-2021.

<sup>35</sup> 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.

<sup>36</sup> Plastilina JOVI. [Plastilina, pasta vegetal para modelar | JOVI.](#)

#### 4.4.6 ANÁLISIS QUÍMICO-MINERALÓGICO POR ESPECTROSCOPIA ATR-FTIR

La Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier mide las variaciones que tienen lugar en un haz de infrarrojos reflejado internamente cuando ese haz incide en la muestra seleccionada. Ese haz entra en contacto a cierto ángulo con un cristal de alto índice de refracción, de modo que esa reflectancia origina una onda evanescente que toca la muestra.

Esta onda disminuye en las regiones del espectro de infrarrojos donde la energía es absorbida por el material. De modo que el haz se dirige hacia el extremo opuesto del cristal hacia el detector en el espectrómetro de infrarrojos, que deja registrada esa atenuación como una señal del interferograma.

Las principales ventajas de la técnica ATR consisten en que las muestras precisan de una preparación mínima, tan sólo situándola sobre la ventana de lectura, sin necesidad de triturar las muestras ni calentarlas; además, otra de las ventajas destacables es que la limpieza del cristal se trata de un procedimiento rápido y sencillo, tan sólo aplicando acetona tras el análisis de cada muestra.<sup>37</sup>

Con el propósito de estimar la profundidad de penetración de los tratamientos consolidantes aplicados, se ha procedido a efectuar el análisis de las probetas consolidadas y de la probeta de referencia a diferente profundidad mediante espectroscopía ATR-FTIR. Para ello se ha utilizado un equipo Vertex 70 de Bruker Optics (Figs. 32-33) con sistema de reflexión total atenuada (ATR) y con un detector FR-DTGS con recubrimiento para estabilización de temperatura; y un bisturí para la toma de muestras de la capa superficial, también a 1 mm del interior del hueso desde el corte transversal, a 2 mm y a 4 mm de profundidad.



Figuras. 32 y 33. Equipo ATR-FTIR Vertex 70 del IRP, Universidad Politécnica de Valencia.

<sup>37</sup> Thermo Fisher Scientific. [Técnicas de muestreo de FTIR: Reflectancia total atenuada \(ATR\) | Thermo Fisher Scientific - ES](#) Consultado el 06-04-22.

## 5. RESULTADOS

Los diferentes ensayos y análisis llevados a cabo sobre las probetas han permitido evaluar sus propiedades físico-químicas y cambios experimentados como consecuencia de la aplicación del consolidante Mowital®. Los resultados obtenidos a través de la experimentación realizada permitirán obtener información objetiva para determinar la metodología de aplicación y la concentración de Mowital® óptimas para la consolidación de hueso arqueológico estudiado. A continuación, se exponen los resultados obtenidos en cada uno de los análisis y ensayos.

### 5.1 ESTUDIO MORFOLÓGICO MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA

Con el fin de examinar las características morfológicas de las probetas óseas, éstas se examinaron en superficie y en sección transversal.

Las siguientes microfotografías adquiridas mediante el microscopio estereoscópico con iluminación de luz reflejada, muestran las variaciones principales tras aplicar el consolidante Mowital® B 60HH®.

Para tener unos valores iniciales de referencia del material óseo sobre los que comparar el resto de las probetas tras la consolidación, se ha usado la probeta de referencia anteriormente mencionada, que recibe el nombre de "P0" (Fig. 34), que presenta unas características texturales similares a las exhibidas por el resto.



Figura 34. Microfotografía de la probeta P0 (x10) vista superior.

Uno de los elementos que destacan en su morfología, que se identifican en la gran mayoría, son los canales de Havers, también llamados conductos de Havers. Este sistema está formado por una estructura con túneles por donde discurren vasos sanguíneos y terminaciones nerviosas. Los canales de Havers se unen por los conductos de Volkmann, atravesándolos de forma transversal.<sup>38</sup>

De forma generalizada se aprecia una superficie irregular en todas las probetas dada la naturaleza heterogénea del hueso, sin embargo, el estado de conservación general es bueno, pese a las pequeñas grietas que presenta a nivel superficial. Por otro lado, también se observan

---

<sup>38</sup> SINGH, Vishram. *General Anatomy-E-book*. Elsevier Health Sciences, 2015. APAC. pp. 75-. [ISBN 978-81-312-3628-4](https://doi.org/10.1016/B978-81-312-3628-4).

algunos depósitos remanentes terrosos acumulados en esas grietas pese a la limpieza inicial dadas las pequeñas dimensiones que tienen y su difícil acceso.

En las microfotografías de la serie A (Figs. 35-36), se observa que la metodología de aplicación del consolidante, al consistir en una única aplicación a pincel, ha proporcionado una distribución homogénea del producto por toda la superficie. Sin embargo, se puede apreciar una mayor acumulación del producto en los canales de la propia estructura ósea. El brillo no es excesivo, pero presenta un ligero cambio de tonalidad en comparación con la probeta P0. En la sección transversal no se aprecia la presencia del consolidante en toda la serie A.

En la figura 35 se aprecia que las probetas A1 y A2 presentan menos nivel de brillo y de variación cromática. En el caso de las probetas A3-A5 el material óseo es mucho más brillante y de tonalidad rosada que se asocia a la acumulación superficial del consolidante, aunque también se concentra en las fisuras y acanaladuras.



Figura 35. Microfotografías de la serie A (x10) vista superior.

El análisis visual del corte transversal de la serie A evidencia una escasa penetración del consolidante en el interior del hueso cortical, de aproximadamente 4 mm de grosor.



Figura 36. Microfotografías de la serie A (x10) vista del corte transversal.

A continuación, se describen las características más relevantes de la morfología de forma individual en comparación con el resto de las probetas de la misma serie, tras la observación de estas en detalle. La probeta A1 no consta de un alto nivel de brillo a nivel superficial, ni un tono rosáceo de la Rodamina B de forma excesiva (Fig. 37 (A)). El hueso cortical en la sección transversal (Fig. 37 (B)) no muestra signos de consolidante debido a la escasa porosidad.

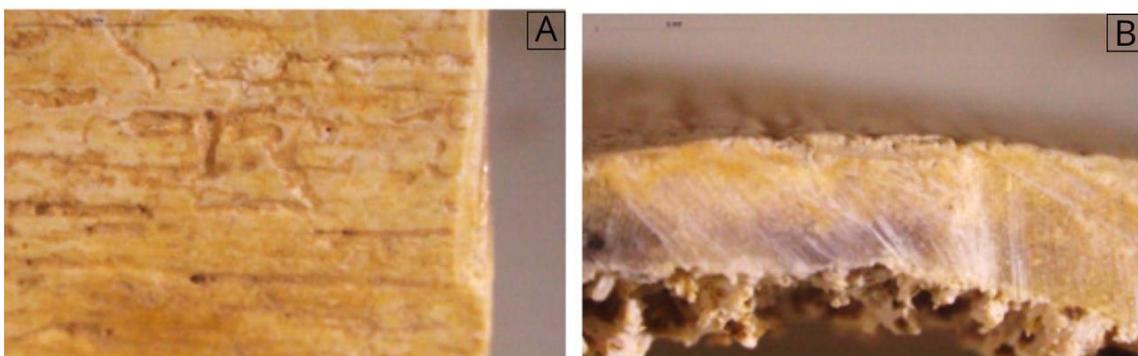


Figura 37. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A1 (x10) tras la consolidación.

En comparación con la probeta A1, la probeta A2 presenta un nivel más alto de brillo, sin resultar excesivo, debido a que el consolidante se distribuye de forma desigual en las zonas acanaladas y en superficie.

En la sección transversal de esta misma probeta (Fig. 38), no se observa la presencia del consolidante pese a que la concentración era del 3% y por tanto tenía un grado medio de fluidez.

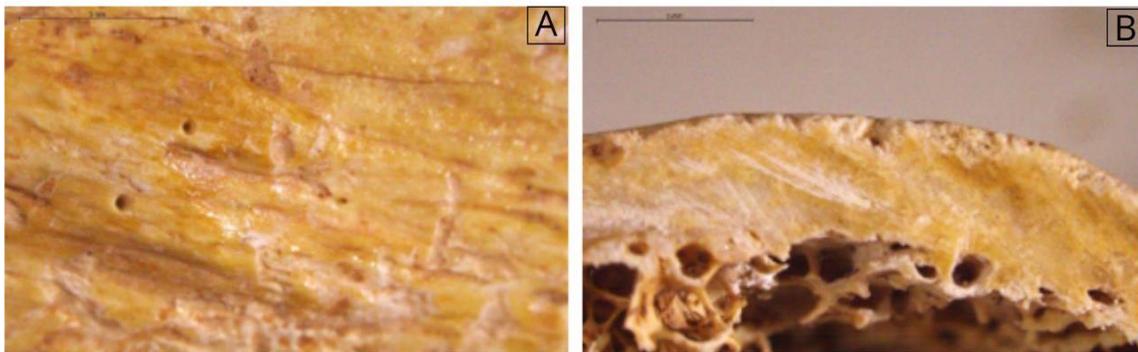


Figura 38. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A2 (x10) tras la consolidación.

La probeta A3 (Fig. 39), tratada con el consolidante al 5%, muestra un nivel de brillo aún más alto que en la probeta A2 (3%), debido al aumento de la concentración del consolidante. Los cambios de color por el tratamiento son visibles, especialmente, en zonas profundas donde se hallan los surcos, donde se concentra preferentemente el Mowital® B 60HH.

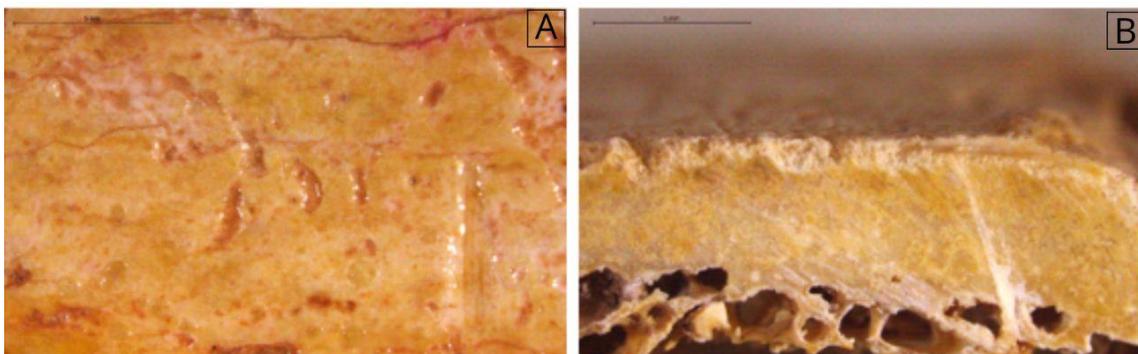


Figura 39. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A3 (x10) tras la consolidación.

En la microfotografía de la sección transversal de la probeta A4 (Fig. 40 (B)), no se aprecian diferencias significativas con respecto a la probeta A3, ya que el consolidante se deposita en la superficie de forma más visible en las oquedades y no llega a penetrar de manera muy profunda en el interior.

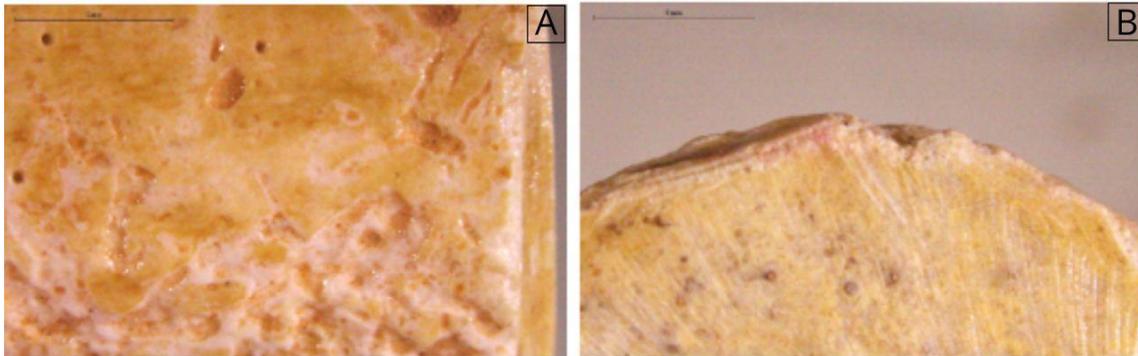


Figura 40. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A4 (x10) tras la consolidación.

La probeta A5 (Fig. 41), en la que se aplicó una mano de consolidante; es visiblemente más brillante debido a la alta concentración del producto, especialmente en las zonas exteriores más heterogéneas. Es notable, además, el cambio cromático con tendencia rosácea debido al colorante Rodamina B, que no se aprecia en la sección transversal, hecho que sugiere que el consolidante no ha penetrado de manera significativa al interior del hueso.

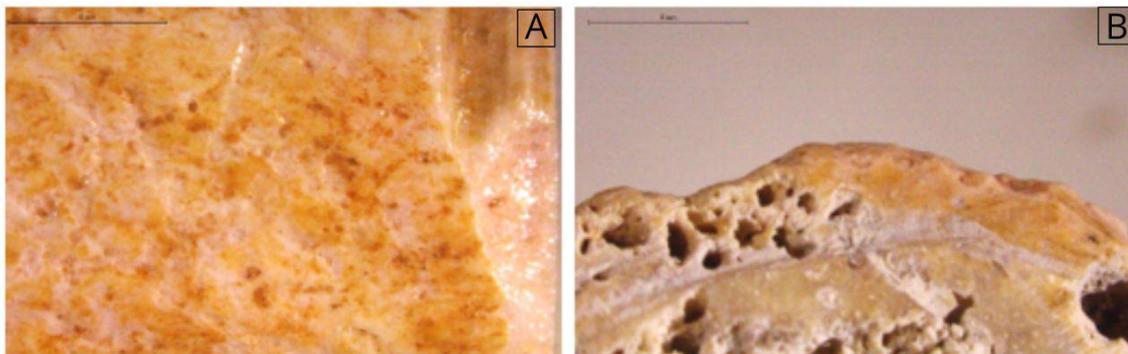


Figura 41. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A5 (x10) tras la consolidación.

A continuación, se muestran las imágenes adquiridas de la superficie y sección transversal de las probetas de la serie B, en las que se aplicaron dos manos del tratamiento (Figs. 42 y 43). La tendencia es un aumento del cromatismo rosáceo en todas las probetas. Este tono se intensifica de forma exponencial conforme aumenta la concentración, formando una película fina de consolidante que es más visible en las probetas B3, B4 y B5.



Figura 42. Microfotografías de la serie B (x10) vista superior.



Figura 43. Microfotografías de la serie B (x10) vista del corte transversal.

El análisis individual de las probetas muestra que en la superficie en la probeta B1 (Fig. 44), comparada con la probeta A1, posee un incremento leve del brillo puesto que se han aplicado dos capas de consolidante. Este tipo de metodología de impregnación de bicapa hace visible el aumento de la tonalidad rosácea debido a la rodamina B añadida, especialmente en las oquedades del material óseo. En la sección transversal no es visible el consolidante ni en superficie ni en el interior.

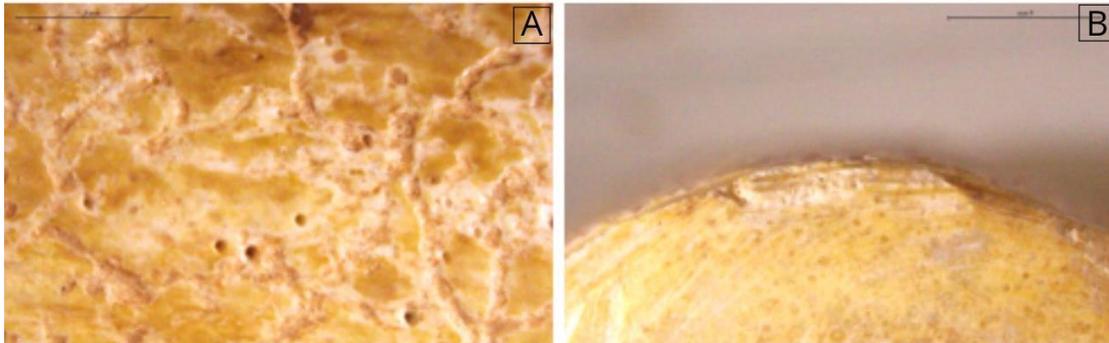


Figura 44. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B1 (x10) tras la consolidación.

La primera microfotografía de la probeta B2 ofrece un claro ejemplo de donde tiende a acumularse el consolidante (Fig. 45 (A)) y se contempla un rastro poco definido de brillo. En la segunda microfotografía (Fig. 45 (B)), sin embargo, se aprecia cómo tras esa capa superficial de material óseo se halla otra capa de hueso cortical en la que no ha penetrado el consolidante.

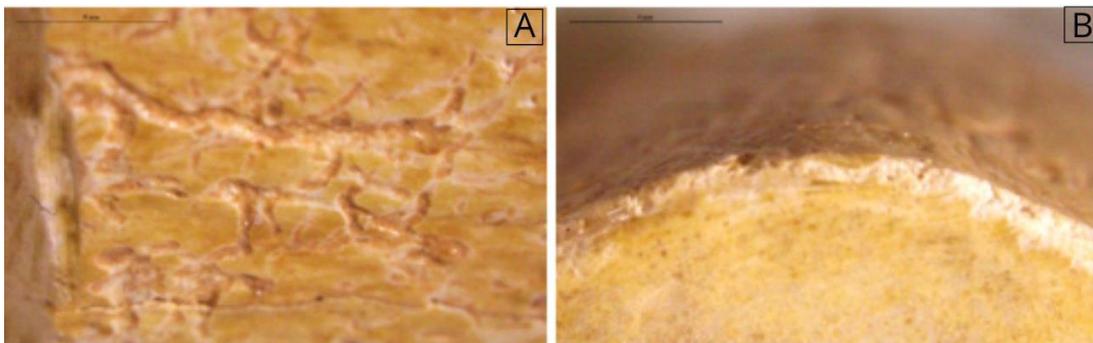


Figura 45. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B2 (x10) tras la consolidación.

La probeta B3 presenta una superficie caracterizada por conductos de Havers, y un nivel de brillo medio generalizado en ellos donde se acumula el consolidante (Fig. 46). La figura 46 (B) demuestra que no se ha formado una fina película de consolidante visible, sino que esta queda en el interior de los canales. A su vez, evidencia la naturaleza compacta del hueso en la capa externa impidiendo que penetre el consolidante hacia el hueso esponjoso que se localiza en el interior.

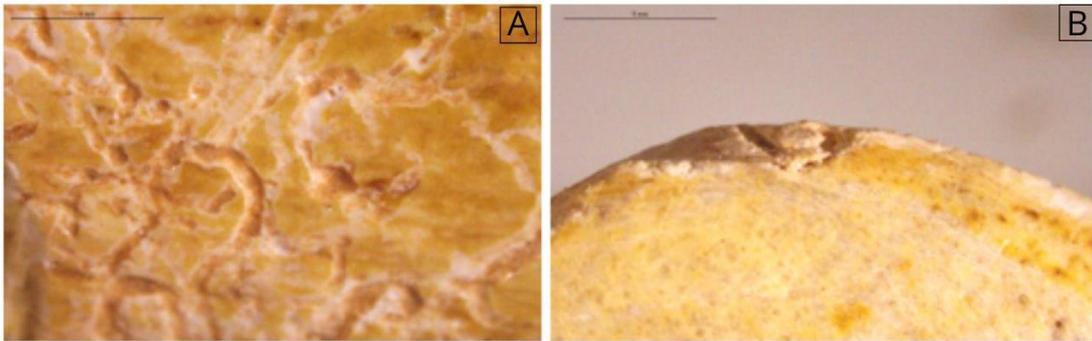


Figura 46. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B3 (x10) tras la consolidación.

Las siguientes microfotografías muestran la superficie de la probeta B4 (Fig. 47), así como la sección transversal de la misma. En la sección transversal es destacable la capa uniformemente fina que recubre la superficie, acumulando más consolidante en el interior de los huecos naturales del periostio (capa más externa del hueso). En el interior se aprecia una tonalidad más rosada que en superficie, aunque el nivel de penetración es bajo.

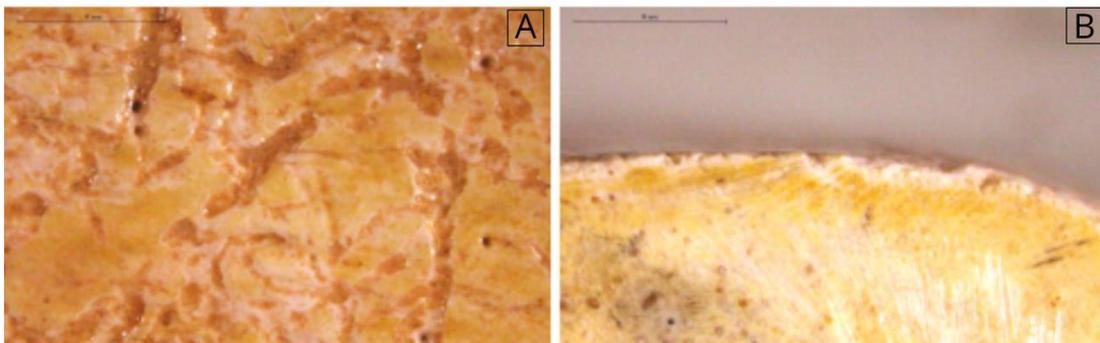


Figura 47. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B4 (x10) tras la consolidación.

En las siguientes microfotografías (Fig. 48) se muestra la vista superior en la zona de corte donde fue seccionada la probeta con una acumulación significativa de producto. La imagen de la sección transversal evidencia que, dada la compactación natural del hueso, el producto consolidante no ha penetrado más de aproximadamente 300 micras.

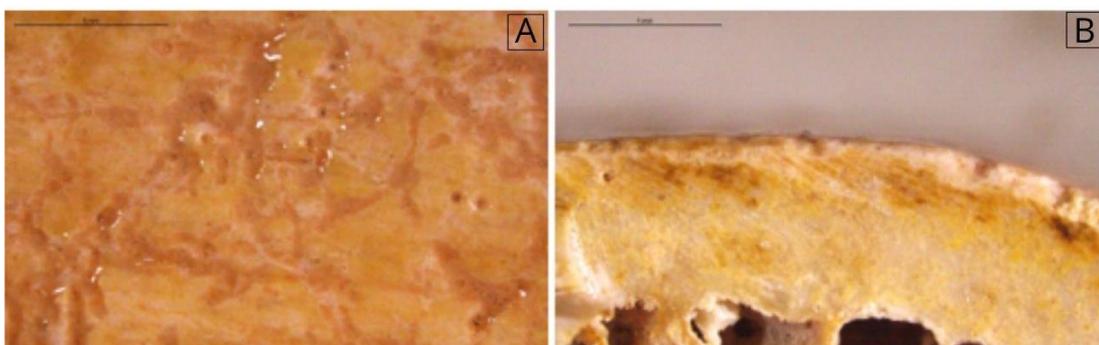


Figura 48. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B5 (x10) tras la consolidación.

La serie C (Fig. 49) presenta visiblemente tanto en superficie como en sección transversal un elevado nivel de brillo, que contrasta con los niveles más bajos en las series A y B. Este brillo se

debe principalmente a la acumulación de Mowital® B 60HH en los canales de Havers y en superficie, y un viraje hacia una tonalidad rosada.



Figura 49. Microfotografías de la serie C (x10) vista superior.

En la vista de la sección transversal de la serie C (Fig.50), se pone de manifiesto la acumulación de consolidante en el tejido esponjoso (las trabéculas) incluso tras retirar parte del producto con una muñequilla impregnada de etanol como se indica en el punto 4.3.3 sobre la metodología de aplicación.



Figura 50. Microfotografías de la serie C (x10) vista del corte transversal.

La probeta C1 no presenta la fina película de consolidante observado en las anteriores probetas, sino que el producto se ha integrado mejor con el material óseo, siendo prácticamente transparente a excepción del tono del colorante añadido.

En la figura 51, la microfotografía B muestra la presencia de Mowital® en las trabéculas, con aumento del nivel de brillo.

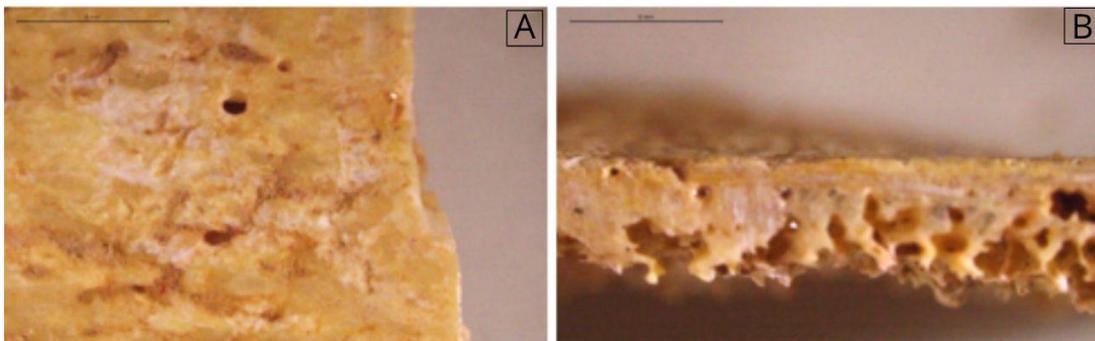


Figura 51. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C1 (x10) tras la consolidación.

Al examinar al microscopio la superficie de la probeta C2 (Fig. 52), no se aprecian brillos de manera generalizada, salvo en zonas puntuales correspondientes a las oquedades, donde se produce una mayor acumulación del producto.

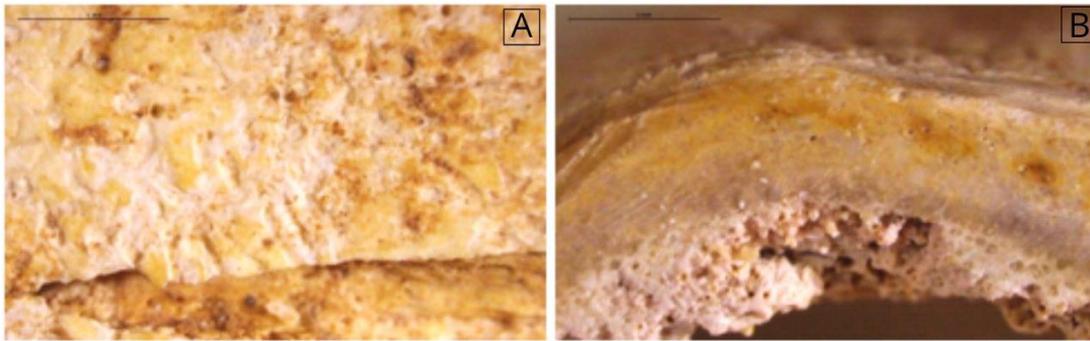


Figura 52. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C2 (x10) tras la consolidación.

La probeta C3 (Fig. 53) no presenta brillos significativos que se puedan apreciar a nivel superficial. Por el contrario, en la zona interior donde se encuentra el hueso esponjoso, hay un notable aumento del nivel de brillo, ya que el tratamiento se acumula en esta zona debido a la textura propia del hueso, dejando numerosos restos, y alterando, por consiguiente, la textura del material.

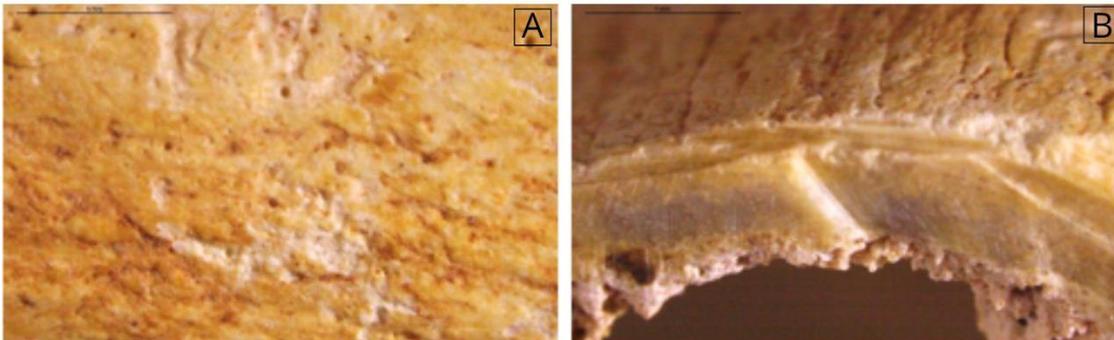


Figura 53. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C3 (x10) tras la consolidación.

La probeta C4 destaca por un alto índice de brillo, hecho que se asocia a la elevada concentración del consolidante aplicado (10%). La acumulación del producto es significativa tanto en la superficie exterior como en el interior creando una barrera (Fig. 54).

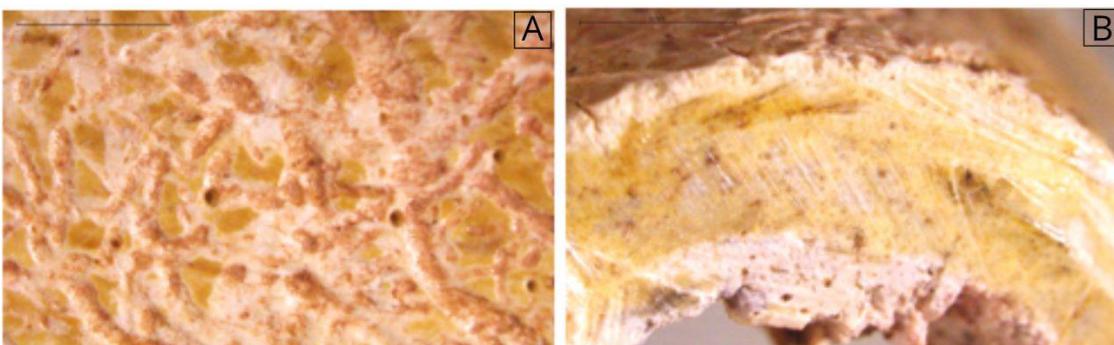


Figura 54. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C4 (x10) tras la consolidación.

Por último, en la probeta C5 (Fig. 55), tratada con el consolidante al 15%, presenta un alto nivel de brillos tanto en superficie como en el interior, asimismo, la cantidad que se concentra en el

interior es excesiva en un mayor nivel que en el resto de las probetas de las series A y B a la misma concentración. Esto se debe a que el método de aplicación no es el más adecuado a una concentración tan alta.

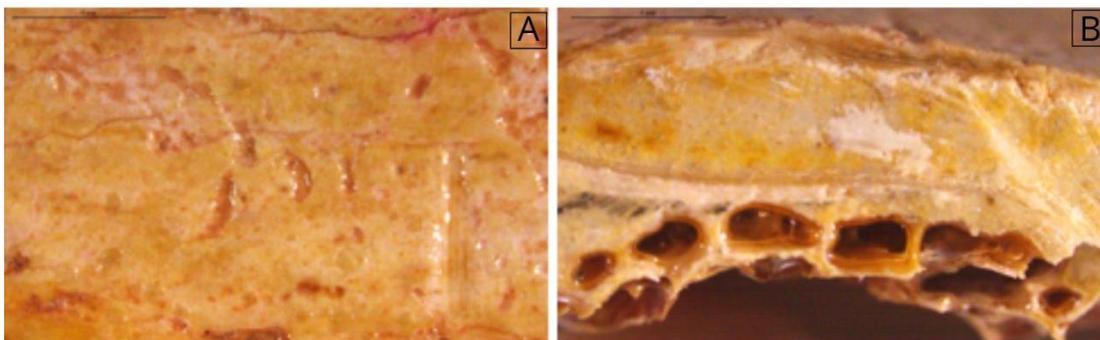


Figura 55. Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C5 (x10) tras la consolidación.

## 5.2 ANÁLISIS COLORIMÉTRICO

Tras el estudio morfológico mediante microscopía óptica, se ha procedido a la evaluación colorimétrica de las probetas, puesto que es necesario examinar los cambios cromáticos producidos por la aplicación del consolidante con la dosis de Rodamina B. Para llevar a cabo el estudio cromático, se ha tenido nuevamente en cuenta la normativa UNE-EN 15886:2011 para la medición del color de superficies, empleando el colorímetro CHN Spec CS-10.

En cada una de las probetas se realizaron cinco mediciones seleccionando los puntos de toma de datos, que son representativos del conjunto, y se registraron los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

Posteriormente, se calcularon los valores promedio de las mediciones obtenidas haciendo uso de una hoja Excel y se representaron gráficamente (Fig. 56) realizando una comparativa de los resultados antes de la aplicación del consolidante y los resultados post consolidación.

En todas las probetas de la Serie A se muestra un ligero descenso de la luminosidad ( $L^*$ ) tras la consolidación, más pronunciado en el caso de la probeta A5. En lo que respecta a la coordenada  $a^*$ , los cambios no son significativos, con un ligero incremento en las probetas A3-A5, que corresponde a un viraje hacia el rojo. En cuando a los cambios experimentados de las mediciones de  $b^*$ , no son muy acusados, puesto que se reduce casi de forma imperceptible el valor promedio, con ligera tendencia hacia el tono azulado ( $-b^*$ ).

El valor de A1 post consolidación parece anómalo puesto que indica que se ha reducido su tonalidad rosácea en lugar de aumentar, además de alejarse de la media. Las probetas A3, A4 y A5, que son aquellas señaladas en la figura 56 con un óvalo en rojo, se alejan considerablemente del resto de los valores puesto que son las que más se han modificado cromáticamente.

El cálculo de  $\Delta E$ , calculado a partir de la siguiente fórmula (1), como se indica en la normativa, nos proporciona un valor objetivo de la variación cromática de las probetas tras la consolidación. Los valores obtenidos, que se exponen en la Tabla 7 del Anexo, confirman los cambios significativos experimentados por las probetas A3-A5.

$$\Delta E^*_{2,1} = \sqrt{(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})} \quad (1)$$

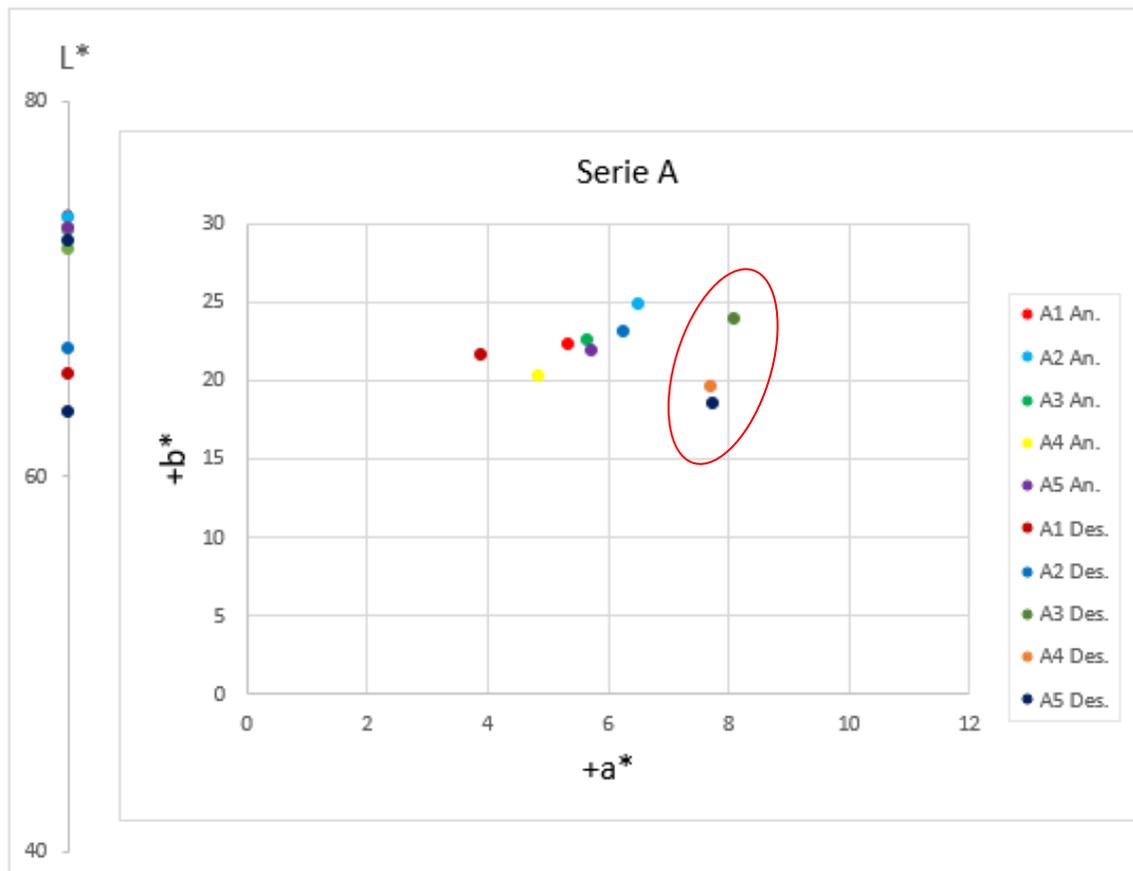


Figura 56. Representación de valores promedio de las coordenadas cromáticas en el espacio CIELAB de la serie A antes y después de consolidar.

La tabla 11 (ver Anexo) muestra el promedio de la serie B representada a continuación (Fig. 57), que en comparación con la serie A, reduce considerablemente su luminosidad ( $L^*$ ), tras la consolidación de las probetas, como es el caso de la probeta B5 que disminuye en 9,01 sus puntos de luminosidad.

En lo que respecta a las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ , las probetas B4 y B5 son las que evidencian unas alteraciones cromáticas más significativas alejadas de la media, con un incremento de la coordenada  $a^*$ , que se traduce en un viraje hacia el rojo.

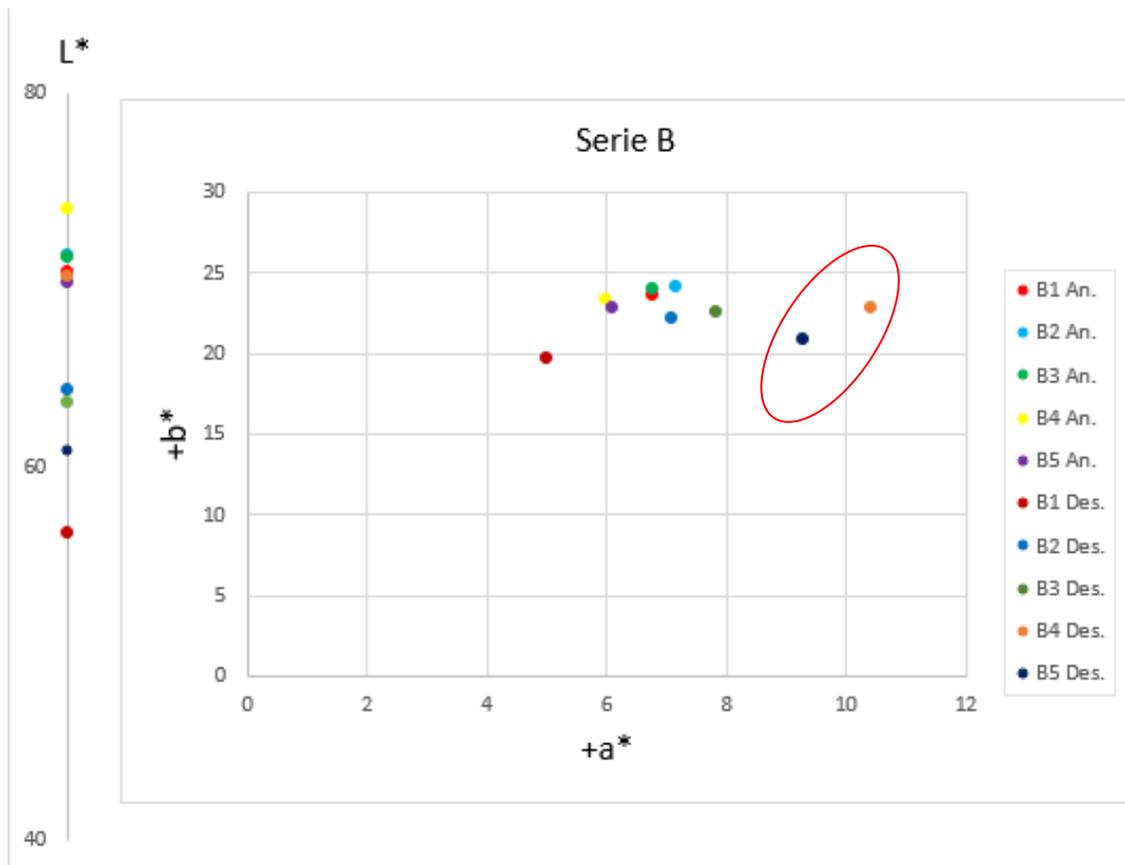


Figura 57. Representación de valores promedio de las coordenadas cromáticas en el espacio CIELAB de la serie B antes y después de consolidar.

La serie C (Fig. 58) presenta una disminución de los valores de L\* aunque no de forma acusada, a excepción de la probeta C3, cuyo resultado es anómalo porque supera en gran medida la media, aumentando la luminosidad en lugar de descender.

Existe un ligero ascenso de los valores de a\* tras la consolidación, salvo la probeta C4, que pierde parte de la tendencia rojiza. En las dos probetas marcadas por el óvalo en rojo (C4 y C5) el componente b\* disminuye, indicando que estas probetas tienden hacia el azul.

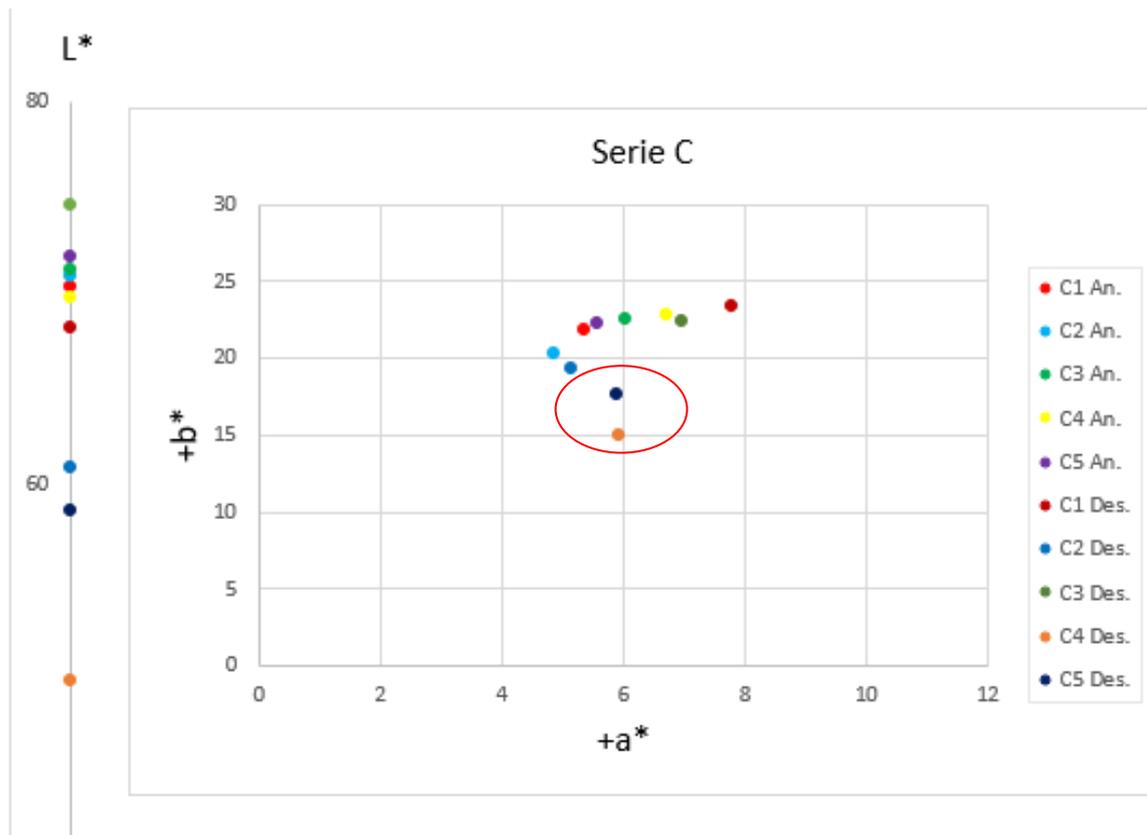


Figura 58. Representación de promedios en el espacio CIELAB de la serie C antes y después de consolidar.

Al comparar las tres series cabe destacar el hecho de que la probeta B4 Y C4 se alejan de la media, sin embargo, la probeta A4 sí se asemeja en valor con la probeta A5.

### 5.3 EVALUACIÓN FOTOMÉTRICA

El bróilómetro Multi Gloss 268 de KONICA MINOLTA® ha permitido realizar las pruebas fotométricas para estudiar aquellos cambios de brillo entre las series de probetas antes y después de la aplicación del consolidante.

Para realizar el estudio, se han registrado en una hoja Excel los datos de las cinco mediciones de los ángulos de 20°, 60° y 85° efectuadas para cada una de las probetas, y posteriormente se ha obtenido el promedio que se muestra en las tablas 13, 14, y 15 en función de la serie (Anexo).

El ángulo de medida se selecciona en función del rango de brillo que presente el material con un ángulo de 60°, y dado que el brillo especular del material óseo se considera bajo o poco brillante en la escala de valores de brillo ( $\leq 10$  G.U.), se ha de tener en cuenta únicamente las mediciones del ángulo de 85°. Para otras mediciones de brillo especular de otros materiales más brillantes se recomienda usar un ángulo distinto como el de 20° o 60°. <sup>39</sup>

<sup>39</sup> AENORMAS. UNE-EN 13722. Mobiliario. Valoración del brillo superficial. 2005. Disponible en: [UNE-EN 13722:2005 Mobiliario. Valoración del brillo superficial. \(aenor.com\)](https://www.aenor.com/UNE-EN-13722:2005-Mobiliario-Valoración-del-brillo-superficial) Consultado en: 13-04-2022.

Los valores promedio de las medidas de brillo a 85° se han representado gráficamente en las figuras 59, 60 y 61. Los resultados obtenidos para la serie A (Fig. 59) manifiestan un aumento general del brillo (a excepción de la probeta A2), que es particularmente acusado en el caso de la probeta A5 (15% de concentración).

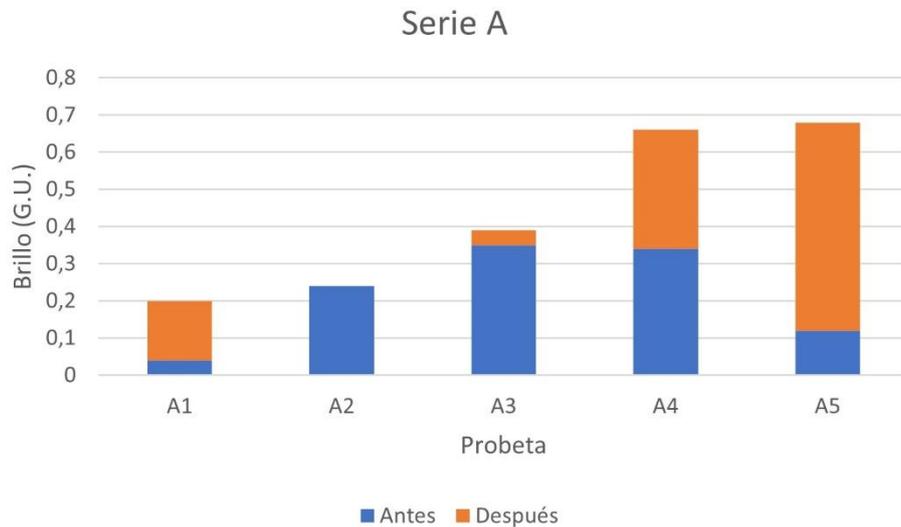


Figura 59. Representación gráfica del valor promedio del brillo para la serie A.

La serie B (Fig. 60) consta de una notable dispersión de resultados, especialmente en la probeta B1 en la que aumentan los niveles de brillo, como ocurre también en A1. En el caso de las probetas de la serie B se registran de manera general valores de brillo superiores a los de la serie A. La variación de los valores en las diferentes probetas, en las que no se aprecia un incremento paulatino en relación con la concentración del consolidante aplicado, a excepción de la probeta B5, sugiere que en todos los casos el producto se deposita principalmente en superficie.

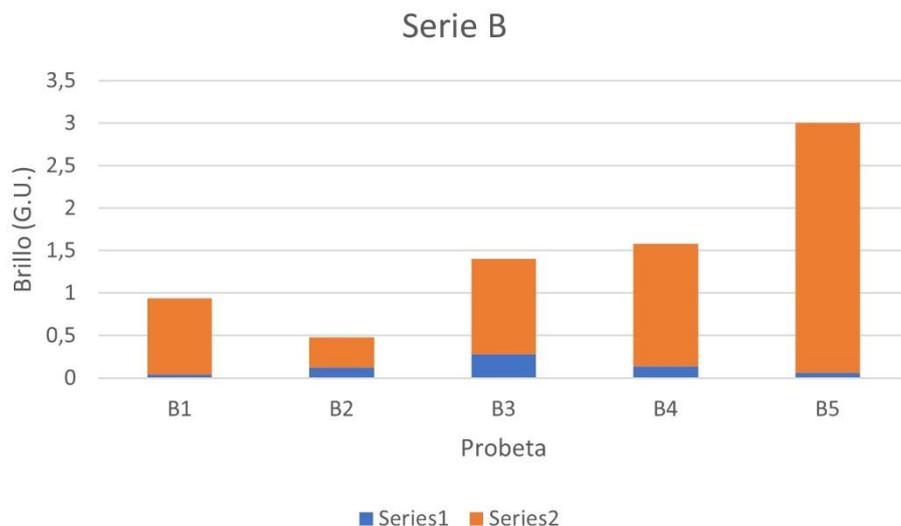


Figura 60. Representación gráfica del valor promedio del brillo para la serie B.

Se observa que la serie C (Fig. 61) también presenta valores de brillo con bastante variabilidad sin una tendencia lineal creciente con respecto a la concentración de consolidante, destacando los valores de brillo registrados para la probeta C5, significativamente más elevados (superando las 3,5 G.U (unidades de brillo)).

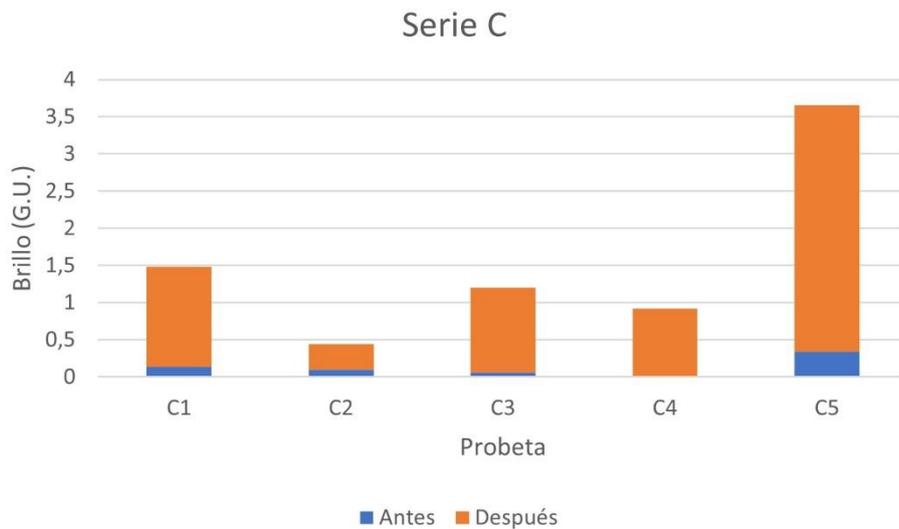


Figura 61. Representación gráfica del valor promedio del brillo para la serie C.

## 5.4 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS. DUREZA SHORE

La dureza corresponde a la resistencia física del material a acciones como el rayado o la abrasión. Dependiendo de las alteraciones producidas se puede determinar su dureza, es decir, si deja una impronta destacable significa que ofrece escasa resistencia y por el contrario si apenas se produce una huella en el material, se debe a que este tiene una alta resistencia y por tanto presenta una mayor dureza.

Se realizaron diez mediciones por cada una de las probetas en zonas representativas y homogéneas empleando el durómetro HTKK-37D, de tipo Shore D. El gráfico de la serie A (Fig. 62) representa los datos obtenidos de las medidas de dureza aportando información visual de la tendencia ascendente de este parámetro, puesto que las probetas aumentan varios puntos de dureza shore, salvo la probeta A2. Destaca especialmente la probeta A5, que exhibe un pronunciado ascenso.

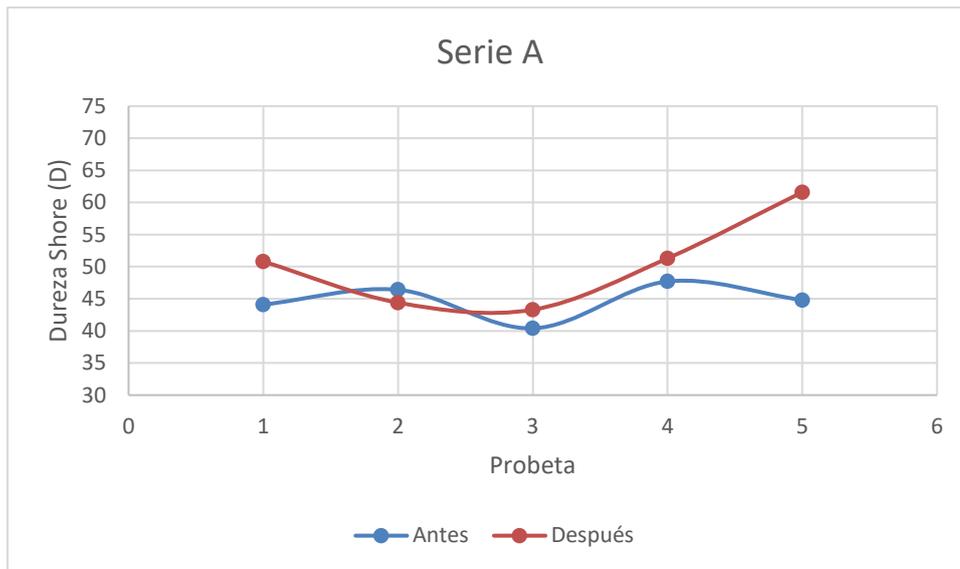


Figura 62. Representación de promedios de dureza de la serie A antes y después de consolidar.

Las probetas de la serie B (Figura 63) exhiben una tendencia proporcional de aumento de dureza. La diferencia más significativa de los valores de dureza se registra en la probeta B5, aumentando 22,9 unidades. Los valores promedio de dureza obtenidos para cada probeta se indican en las tablas 16, 17 y 18 del Anexo.

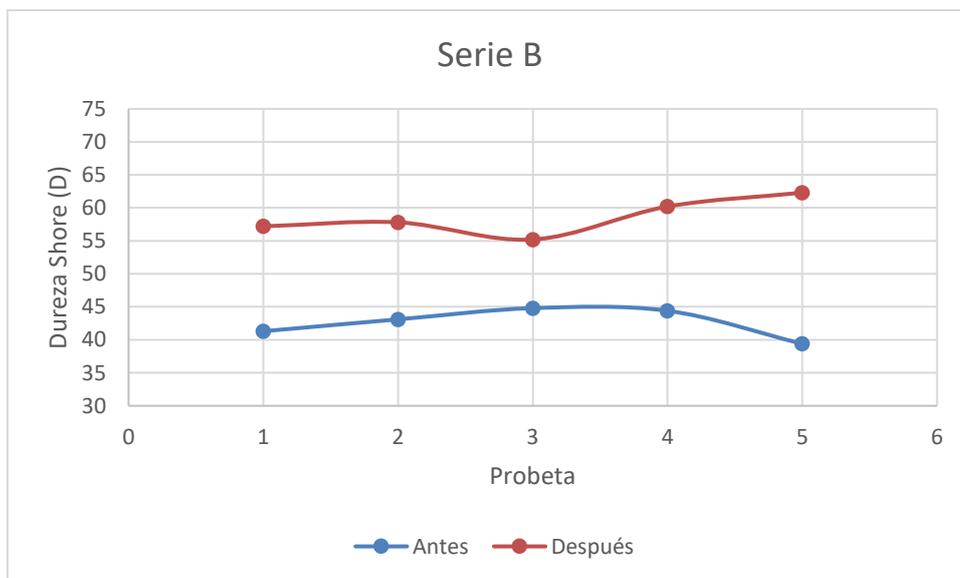


Figura 63. Representación de promedios de dureza de la serie B antes y después de consolidar.

Aunque destaca que no ha habido una gran diferencia entre los promedios de las mediciones pre y post consolidación en la probeta C1, el resto de la serie sí muestra un considerable aumento de la dureza (Figura 64).

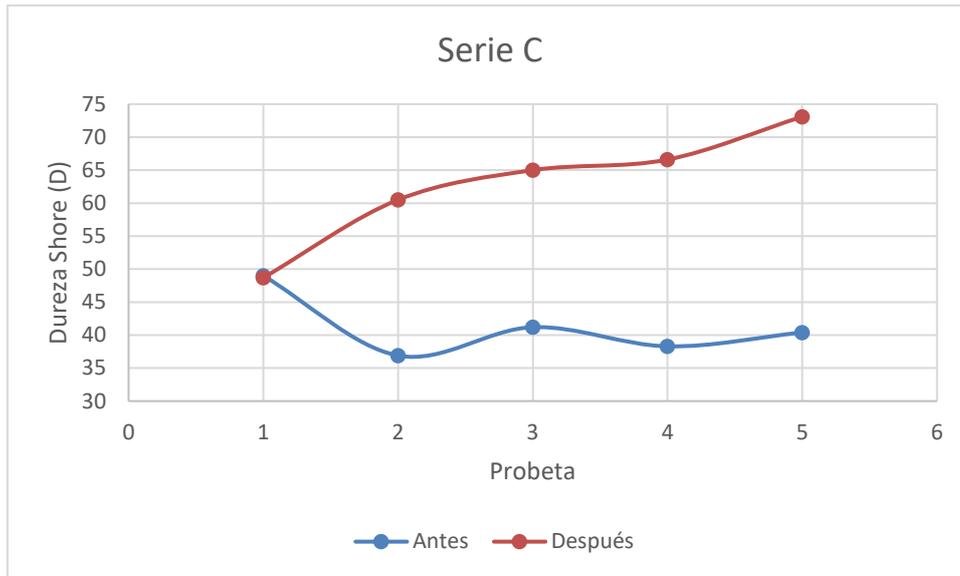


Figura 64. Representación de promedios de dureza de la serie C antes y después de consolidar.

El incremento es progresivo y proporcional a excepción nuevamente de la probeta más concentrada (C5) que al tener una concentración del 15% de consolidante refleja valores por encima de los 60 puntos, en concreto alcanzando un valor promedio de 73,1.

Si se observa en conjunto el incremento de los puntos de dureza Shore D de todas las probetas (Tabla 3) restando el valor final de dureza al valor inicial, se puede comprobar que la serie A presenta valores más bajos, la serie B valores medios, y que existe un gran aumento de la dureza en la serie C, cuyas probetas se consolidaron con el método de inmersión.

Tabla 3. Incremento de los puntos de dureza Shore D

	Incremento de dureza Shore		
A1	6,7		
A2	-2		
A3	2,9		
A4	3,6		
A5	16,8		
B1	15,9		
B2	14,7		
B3	10,4		
B4	15,8		
B5	22,9		Intervalos de dureza Shore
C1	-0,3		< 0
C2	23,6		0 - 10
C3	23,8		10 - 15
C4	28,3		15 - 20
C5	32,7		20 - 30
			> 30

## 5.5 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HÍDRICO. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE LA GOTA

En la siguiente tabla (Tabla 4) se expone el valor promedio y la desviación estándar de la medida de tiempo que ha tardado en absorberse la gota de agua para la probeta P0 (Fig. 65). Los datos de las tablas de las series A, B y C se ven reflejadas en el Anexo para su consulta.

Tabla 4. Probeta 0, promedio de absorción y desviación estándar.

Probeta	Tiempo (min)
P0	$2 \pm 1$



Figura 65. Ensayo de absorción de la gota de la probeta P0.

Las probetas de la serie A (Fig. 66) muestran un aumento gradual del tiempo de absorción de la gota de agua, que es directamente proporcional a la concentración del consolidante aplicado. A partir de la probeta A3, la probeta A4 y A5 supera el tiempo máximo establecido, es decir, los 60 minutos, que demuestran la alta impermeabilidad producida por la aplicación del consolidante.

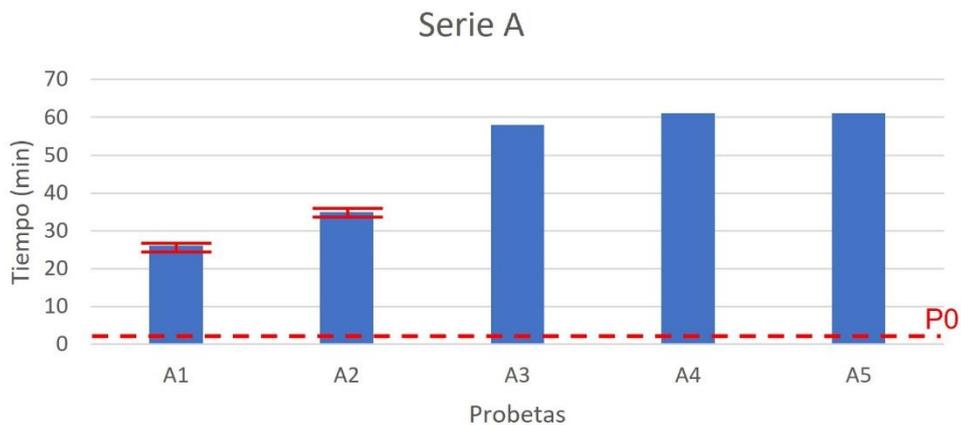


Figura 66. Representación del tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie A post consolidación.

En las siguientes imágenes se observa la disposición de las gotas depositadas con la pipeta Eppendorf Research® plus sobre las probetas A1 y A2 (Fig. 67), y el proceso de registro de la absorción de las probetas A3 hasta la C5 (Fig. 68), no aparecen visibles en la segunda imagen A1 ni A2 puesto que tuvieron una absorción más rápida.

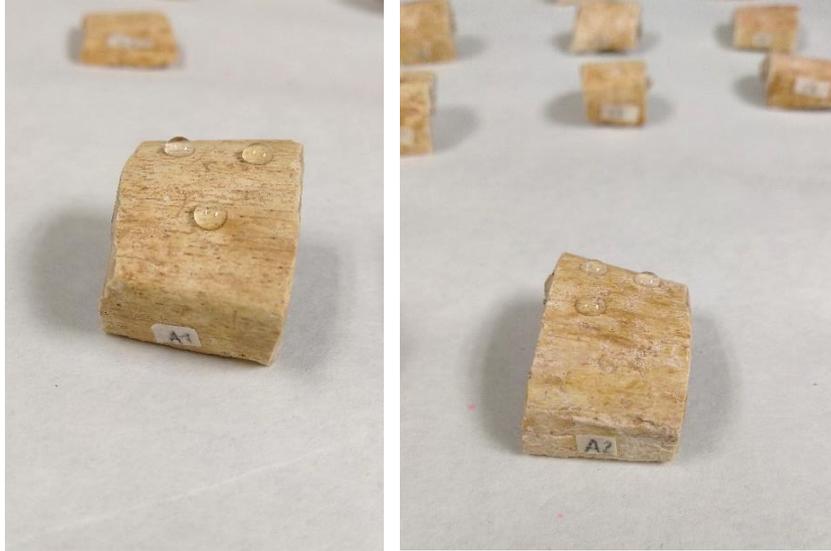


Figura 67. Ensayo de absorción de la gota. Probeta A1 y probeta A2 respectivamente.

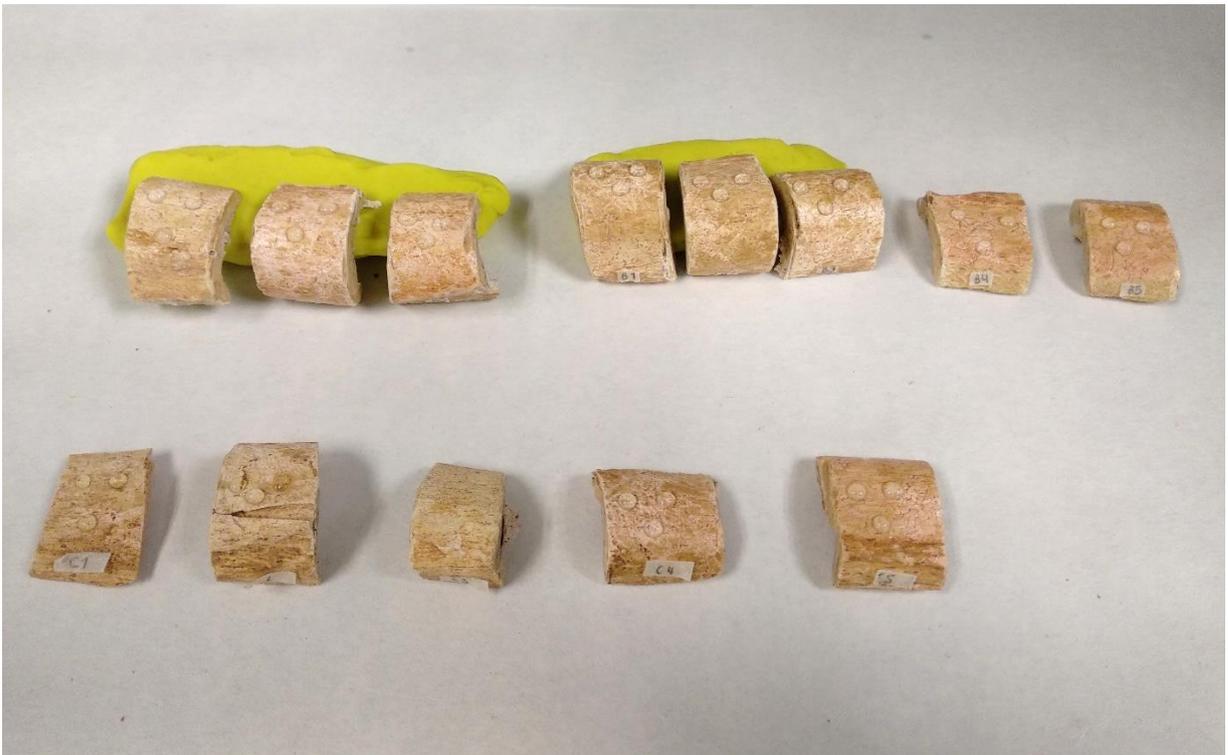


Figura 68. Ensayo de absorción de la gota. Probetas A3 – C5.

La serie B (Fig. 69) se caracteriza por unos tiempos de absorción de la gota elevados, pero bastante constantes para todas las probetas superándose en todas ellas los 60 minutos a excepción de la probeta B1, ligeramente inferiores a los 60 min.

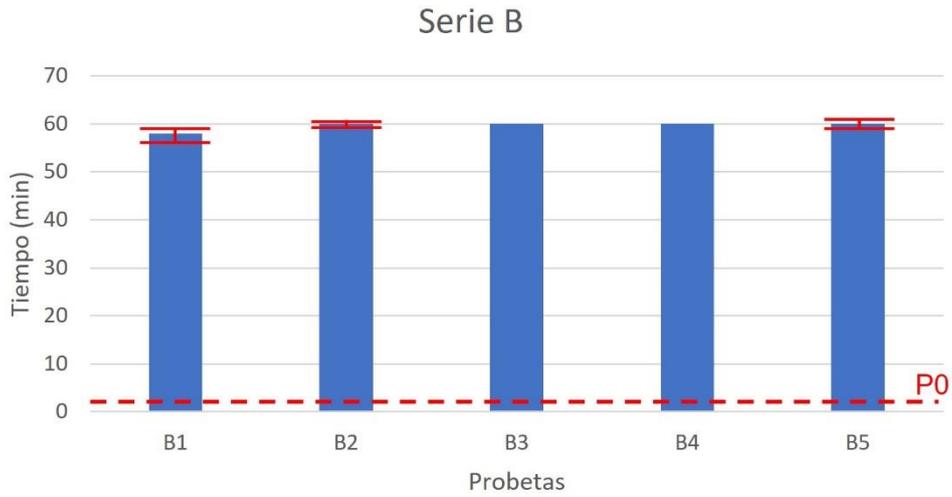


Figura 69. Representación del tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie B post consolidación.

En las probetas de la serie C (Fig. 70) se registra un incremento gradual de los tiempos de absorción, en relación con la concentración de consolidante aplicado. Las probetas C1 y C2 muestran tiempos bajos, mientras que las probetas C3-C5 exhiben valores altos y muy similares.

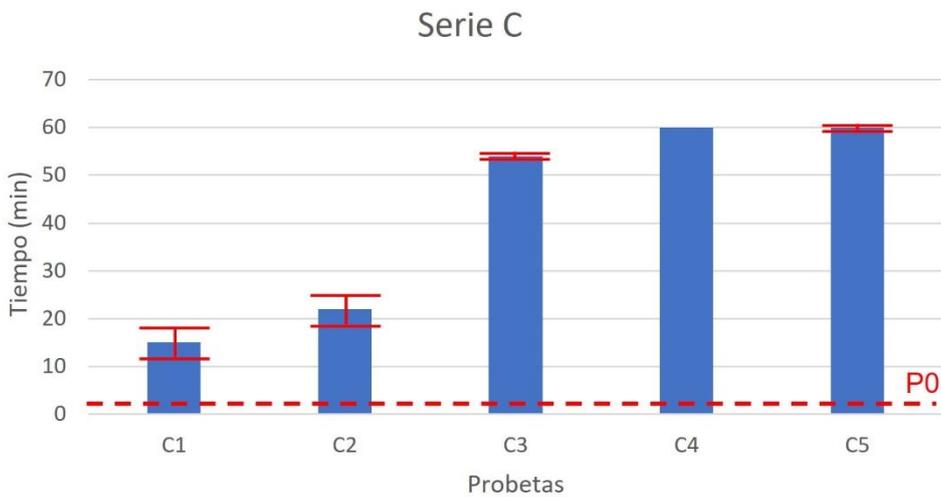


Figura 70. Representación del tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie C post consolidación.

## 5.6 ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DEL CONSOLIDANTE POR ATR- FTIR

La espectroscopía de transformada de Fourier, conocida por su acrónimo Espectroscopía FTIR, es una técnica de análisis instrumental que ofrece información cuantitativa y cualitativa de sustancias orgánicas e inorgánicas. La identificación de los compuestos comienza tras asignar una banda que domina el espectro del grupo químico que la origina.<sup>40</sup>

En este estudio se hizo uso de la técnica de análisis de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) con reflectancia total atenuada (ATR).

La técnica ATR mide las variaciones que tienen lugar en un haz de infrarrojos reflejado internamente cuando ese haz incide en la muestra seleccionada. Ese haz entra en contacto a cierto ángulo con un cristal de alto índice de refracción, originando una onda evanescente que toca la muestra.

Esta onda disminuye en las regiones del espectro de infrarrojos donde la energía es absorbida por el material. De modo que el haz se dirige hacia el extremo opuesto del cristal hacia el detector en el espectrómetro de infrarrojos, registrando esa atenuación como una señal del interferograma.

Las principales ventajas de la técnica ATR consisten en que las muestras precisan de una preparación mínima, tan sólo situándola sobre la ventana de lectura, sin necesidad de triturar las muestras ni calentarlas; además, otra de las ventajas destacables es que la limpieza del cristal se trata de un procedimiento rápido y sencillo, tan sólo aplicando acetona tras el análisis de cada muestra.<sup>41</sup>

Desde su introducción en la década de 1950, la espectroscopia infrarroja es una técnica ampliamente utilizada dentro del campo de la conservación y restauración del arte dada su versatilidad y capacidad para proporcionar información estructural acerca de materiales tanto inorgánicos como orgánicos, además tan sólo se requiere de una pequeña cantidad de muestra y su pretratamiento es mínimo.<sup>42</sup>

Las mejoras logradas en la incorporación de la técnica han contribuido en gran medida a ampliar su alcance, hasta usarla habitualmente para analizar muestras de bienes culturales para evaluar nuevos métodos de conservación, monitorear tratamientos de conservación, o bien para analizar productos que se incorporan al campo de la conservación y restauración.

En cuanto a su aplicación en el estudio de la consolidación de Mowital® B 60HH en material óseo, es una técnica que permite identificar la composición de las muestras y por ello se ha empleado con el propósito de estimar el grado de penetración del tratamiento en el soporte óseo.

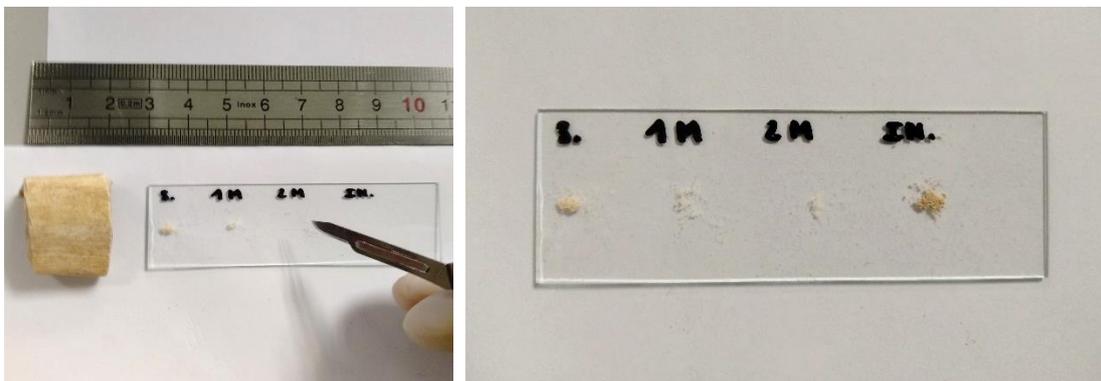
---

<sup>40</sup> CARBÓ, María Teresa Doménech. *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*. Síntesis, 2018.

<sup>41</sup> Thermo Fisher Scientific. [Técnicas de muestreo de FTIR: Reflectancia total atenuada \(ATR\) | Thermo Fisher Scientific - ES](#) Consultado el 06-04-22.

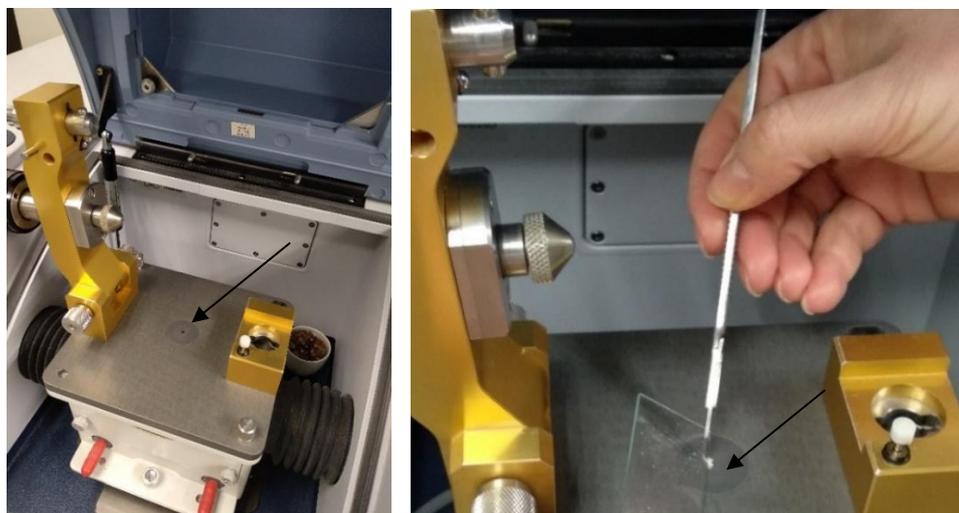
<sup>42</sup> BACCI, Mauro. UV-VIS-NIR, FT-IR, AND FORS SPECTROSCOPIES. *CHEMICAL ANALYSIS-NEW YORK-INTERSCIENCE THEN JOHN WILEY-*, 2000, p. 321-362.

Para realizar este estudio se tomaron muestras extraídas mecánicamente (Figs. 71 y 72) con la ayuda de un bisturí de la capa superficial, también a 1 mm del interior del hueso desde el corte transversal, a 2 mm y a 4 mm, esta última medición se corresponde a la zona interior del hueso esponjoso. En todos los casos las extracciones se realizaron bajo la observación de las probetas mediante microscopio estereoscópico.



Figuras 71 y 72. Toma de muestras en superficie, 1 mm, 2 mm e interior de las probetas.

Se extraen 4 muestras de cada una de las probetas de la superficie, a 1, 2 y 4 mm de profundidad y se sitúan en la ventana de medición para realizar el análisis de espectroscopía ATR-FTIR (Figs. 73 y 74). Se obtiene el espectro infrarrojo correspondiente y se transforma la transmitancia en niveles de absorbancia con el software empleado.



Figuras. 73 y 74. Detalle de la ventana de medida, lugar donde se sitúa la muestra.

Los primeros espectros infrarrojos que se han adquirido son los del consolidante puro (Mowital® B 60HH) y los de la probeta de material óseo inicial sin consolidar (P0), así se toman de referencia sus respectivas bandas de vibración para establecer las bandas de absorción características del consolidante y del soporte óseo que se deben examinar en los espectros infrarrojos de las otras probetas.

La banda de referencia del Mowital® B 60HH ha sido la banda  $2.934\text{ cm}^{-1}$ , ya que es la más marcada entre las visibles y, para la probeta P0 de material óseo sin consolidar se ha seleccionado la banda de los  $561\text{ cm}^{-1}$  por ser la más representativa. La banda de Mowital® B 60HH recibe el nombre de “MW1” y la banda de la probeta de hueso P0 recibe el de “H2” (Fig. 75).

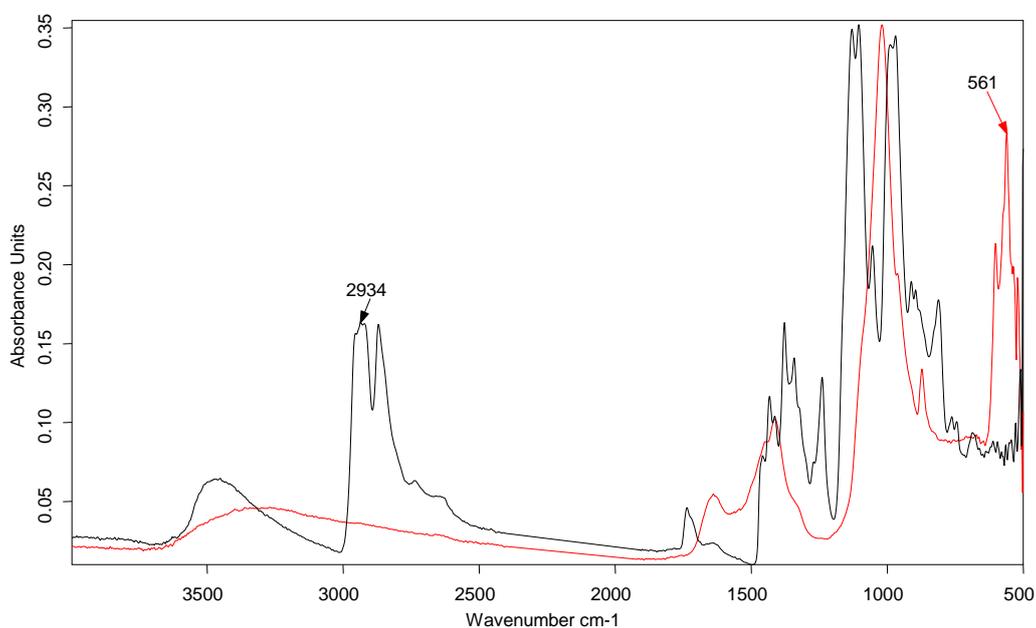


Figura 75. Espectros infrarrojos del Mowital® B 60HH (negro) y del hueso (rojo).

Con el software del equipo se obtuvieron los valores de las intensidades de ambas bandas para todas las probetas. Con estos valores, se calculó el cociente de MW1/H2 en cada una de las 4 mediciones a distintos niveles de penetración de cada una de las probetas. Con estos dos parámetros se ha determinado la relación cuantitativa de sustancias, que se han representado gráficamente tanto para la probeta de referencia sin consolidar como para el resto consolidadas. Aquellas las bandas de mayores dimensiones tanto en área como en altura indican una mayor cantidad de compuesto.

En la probeta P0 de referencia se obtiene un cociente promedio de 0,08, que se mantiene bastante constante a diferentes niveles de profundidad hacia el tejido trabecular.

En la gráfica obtenida de representar el cociente MW1/H2 a diferente profundidad para las probetas de la serie A (Figura 76), destaca la acumulación significativa del producto consolidante en la superficie de las probetas A4 y A5, pero una baja penetración del tratamiento en la estructura ósea, a excepción de las probetas A2 y A3 en las que se detectan niveles ligeramente superiores hasta los 2 mm de profundidad.

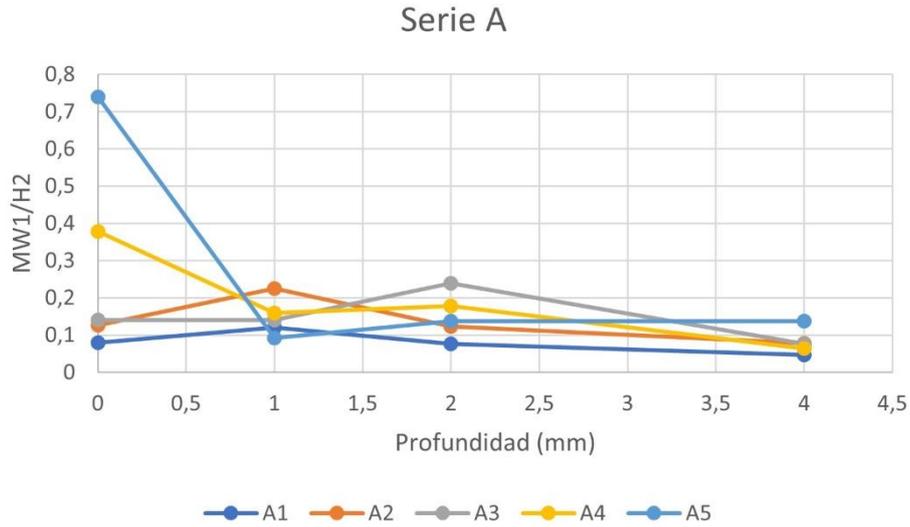


Figura. 76. Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie A.

Por otro lado, para las probetas de la serie B (Fig. 77), se registra una muy baja penetración del tratamiento y una excesiva acumulación de este en la superficie de la probeta tratada con la disolución más concentrada (probeta B5 tratada con la disolución al 15%).

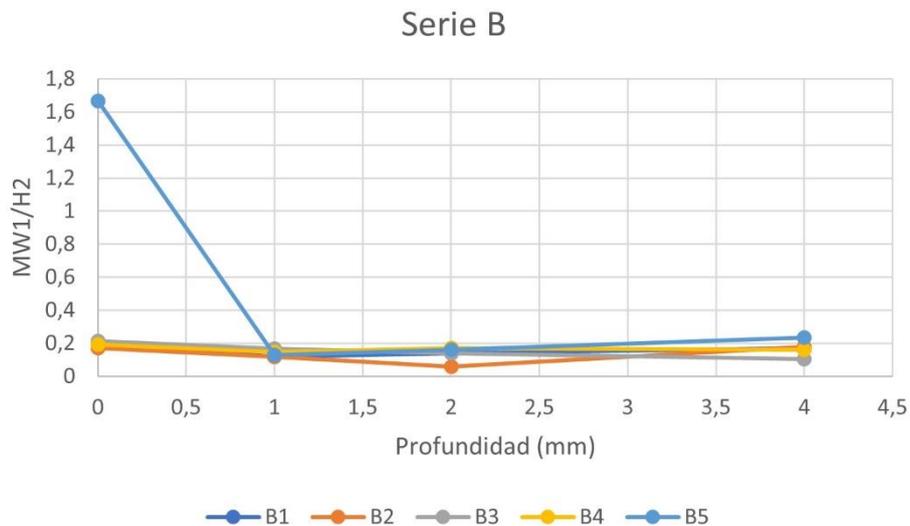


Figura 77. Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie B.

Finalmente, en el caso de la serie C, los valores obtenidos (Fig. 78), muestran mayores niveles de penetración del consolidante que en el resto de las series. Se destaca que en estas probetas a los 4 mm (interior de la probeta) se registra un incremento del consolidante, que se asocia a que, en el proceso de inmersión, ambas superficies (interna y externa) están en contacto con la disolución del consolidante. En esta serie la probeta C3 es la que exhibe mayor contenido de producto, así como mayor profundidad de penetración de éste a través de la matriz ósea.

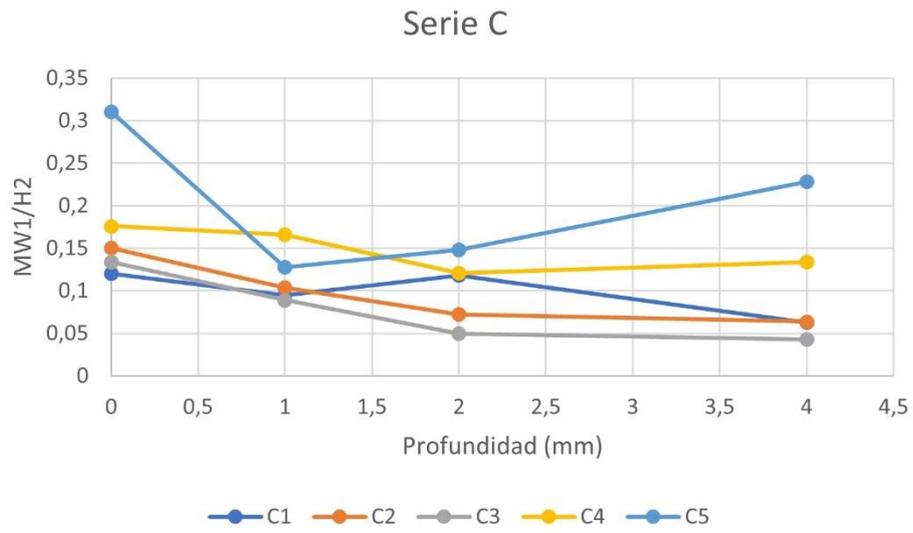


Figura. 78. Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie C.

## 6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Confrontando los resultados obtenidos en los ensayos y análisis realizados, las probetas que mejores resultados han presentado han sido aquellas con el consolidante a una concentración del 5%, para las tres metodologías de aplicación, ya que se aprecian menos alteraciones con respecto a la probeta P0 de referencia.

Debido a las características texturales propias del material óseo (escasa porosidad del hueso cortical), la penetración del consolidante a una concentración a partir del 10% se ve dificultada.

La incorporación de Rodamina B ha permitido identificar de manera visual la distribución del consolidante en la superficie del hueso y su nivel de penetración en la sección transversal, a través del examen de las probetas consolidadas al microscopio estereoscópico. Se ha revelado una reducida penetración del tratamiento y una mayor acumulación de éste en las microfisuras.

Por otra parte, los incrementos de color son más significativos en las probetas en las que el Mowital B 60HH se ha aplicado al 10% y al 15% de concentración tanto por impregnación a pincel como por inmersión.

Las mediciones de la luminosidad ( $L^*$ ) descienden considerablemente tras la consolidación de las probetas A5, C5, este hecho se asocia a que la aplicación del consolidante a la concentración mayor produce un oscurecimiento del material. Se genera el mayor número de brillos tanto si el consolidante se encuentra en estado muy líquido, como si presenta una alta viscosidad, ya que se forma una película superficial del consolidante con un índice de reflectancia mayor al del soporte óseo.

El menor aumento de las unidades de brillo se localiza en las concentraciones al 3% en la serie A, 2% y 3% en la serie B y 3% en la serie C; es decir, con aplicación de una capa, dos capas y por inmersión respectivamente. Si se aplica a dos capas o por inmersión al 15% de concentración se llega a superar en ambos casos las 3 G.U (unidades de brillo), demostrando que a mayor concentración y por consiguiente espesor del consolidante, se genera un nivel de brillos más alto.

De la misma manera, la dureza Shore de las probetas, aumentó considerablemente cuanto más alta era la concentración del consolidante, especialmente en la serie de probetas que fue consolidada por el método de inmersión. Sin embargo, esta metodología es recomendable aplicarla sólo en casos de extrema debilidad matérica y se deben priorizar otras propiedades (cromaticidad, brillo, comportamiento hídrico...), dado que un elevado nivel de concentración implica también menos penetrabilidad y mayor nivel de brillos como se ha demostrado.

El consolidante Mowital® B 60HH produce un mayor incremento de la dureza Shore del material óseo cuando se aplica la metodología de inmersión total. Con respecto a la impregnación a pincel, dos aplicaciones producen un mayor incremento de la dureza incluso a bajas concentraciones del consolidante.

La evaluación del comportamiento hídrico indica que el material óseo sin consolidar tiene una naturaleza permeable, sin embargo, tras aplicar consolidante se produce una fina capa con una alta impermeabilidad que reduce considerablemente transpirabilidad del material. Debido a la higroscopicidad natural del material óseo esto puede generar problemas a largo plazo puesto que necesita transpirar para evitar tensiones, además se puede acumular humedad en el interior del hueso.

La consolidación a pincel con una única aplicación produce una impermeabilización del material a partir del 3% de concentración del consolidante. Con la misma metodología, pero con dos aplicaciones, el efecto barrera del tratamiento es muy significativo a todas las concentraciones, Sin embargo, con el método de inmersión, el comportamiento de las probetas consolidadas con un 2 o 3% del consolidante es adecuado.

Por último, la técnica de espectroscopía ATR-FTIR ha supuesto la clave para determinar el nivel de penetración de consolidante, ya que el examen analítico ofrece una información más precisa que el examen mediante microscopía óptica. El análisis químico-mineralógico determina que el consolidante permanece en superficie sin penetrar más allá del hueso compacto, se queda mayoritariamente en superficie en mayor o menor medida en todas las probetas.

Por ello, se deben rechazar aquellas concentraciones elevadas (15%) y con dos aplicaciones por ser la metodología que produce una mayor acumulación superficial. Sin embargo, hay que destacar, que esta podría ser adecuada en caso de requerir una intervención de consolidación superficial.

## 7. CONCLUSIONES

Como síntesis de todo el estudio bibliográfico y experimental realizado se exponen las siguientes conclusiones. En primer lugar, se considera que se han alcanzado los objetivos propuestos dado que tras el tratamiento se han valorado los cambios físico-químicos producidos, evaluando también el nivel de penetración del consolidante en las probetas testando las tres metodologías a diferentes concentraciones para hallar las opciones idóneas.

Además, se ha tenido en cuenta la contribución al objetivo 11.4 de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) de las Naciones Unidas aportando resultados útiles para futuras intervenciones en patrimonio arqueológico.

Se ha demostrado que aquellas concentraciones superiores al 5%, dada la consistencia espesa del producto, no permiten la penetración del consolidante en el interior del hueso. Sin embargo, se pueden consolidar por inmersión piezas de material óseo de pequeño tamaño siempre que la morfología lo permita.

La efectividad del consolidante Mowital® B 60HH se ha valorado a través de la evaluación de la dureza, color, brillo, comportamiento hídrico y profundidad de penetración en el soporte. Con todos estos resultados se elabora una tabla (Tabla 5) sintetizando aquellas proporciones y métodos de aplicación que ofrecen mejores resultados según el grado de idoneidad.

El intervalo de proporción más recomendable para el uso del Mowital® B60HH se halla entre el 2% y 5% aplicado a pincel a una o dos capas, puesto que ha demostrado mejor comportamiento sin llegar a sellar del todo con la capa de consolidante como ocurre a concentraciones más altas (10% y 15%). Sin embargo, hay cierto margen en los intervalos puesto que depende en gran medida de las características concretas del hueso.

Como se menciona en la introducción, este tipo de consolidante es apropiado también para material óseo que se encuentre en estado húmedo.

Se ha de tener en cuenta en análisis desarrollado en el punto 5.1, que se corresponde con el estudio morfológico mediante microscopía óptica, ya que como se describe en la Fig. 46 (la probeta B3), es necesario entender la morfología natural del hueso.

Si el material óseo cuenta con una capa externa más compacta (el periostio) y se usa metodología que actúa a nivel externo, los resultados de este estudio revelan que el consolidante no va a llegar a la zona interna de hueso esponjoso. Se recomienda en este caso, optar por metodologías alternativas como la inyección del consolidante con una aguja si la zona debilitada que se busca reforzar se halla en el hueso esponjoso.

En caso de que el hueso se halle fragmentado con la zona de hueso esponjoso expuesta y se requiera de una consolidación para reforzar la estructura se recomienda una aplicación sólo de esa zona.

Tabla 5. Grado de idoneidad de Mowital® B 60HH.

	Muy adecuado	Se adecúa, pero no como otras propuestas	No recomendable
Brillo	3% 1 capa 5% 1 capa 5% 2 capas 3% inmersión	2% 1 capa 10% 1 capa 15% 1 capa 2% 2 capas 5% inmersión 10% inmersión	10% 2 capas 15% 2 capas 10% inmersión 15% inmersión
Color	2% 1 capa 3% 1 capa 2% 2 capas 3% 2 capas 5% 2 capas 2% inmersión 3% inmersión	5% 1 capa 10% 1 capa 15% 1 capa 5% inmersión	10% 2 capas 15% 2 capas 10% inmersión 15% inmersión
Dureza	2% 2 capas 10% 2 capas 15% 2 capas 3% inmersión 5% inmersión 10% inmersión 15% inmersión	5% 1 capa 15% 1 capa 3% 2 capas 5% 2 capas	2% 1 capa 3% 1 capa 10% 1 capa 2% inmersión
Absorción	2% 1 capa 3% 1 capa 5% 1 capa 3% 2 capas 2% inmersión 3% inmersión	15% 1 capa 2% 2 capas	10% 1 capa 5% 2 capas 10% 2 capas 15% 2 capas 5% inmersión 10% inmersión 15% inmersión
Nivel de penetración	5% 1 capa 10% 1 capa 10% 2 capas 10% inmersión 15% inmersión	3% 1 capa 15% 1 capa 2% 2 capas 3% 2 capas 5% 2 capas 2% inmersión 3% inmersión	2% 1 capa 15% 2 capas 5% inmersión

## 8. BIBLIOGRAFÍA

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

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. 2011.

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

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

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

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

AENORMAS. UNE-EN 13722. Mobiliario. Valoración del brillo superficial. 2005.

Aldehídos: qué son, estructura, propiedades, usos y ejemplos. Lifeder [en línea] 2022. Consultado: 19-04-2022

AZANZA, N. 2015. Cirugía restauradora: restauración estructural de modelos anatómicos en cera. [En línea] 2015. [Consulta: 05-3-2022.] <https://eprints.ucm.es/39026>.

BACCI, M. UV-VIS-NIR, FT-IR, and FORS spectroscopies. Chemical análisis -New York-Interscience Then John Wiley & Sons, 2000, p. 321-362. ISBN 0-471-29361-X.

BALDINI, U. [et al.]. Carta italiana de 1987 de la Conservación y Restauración, Anexo B Instrucciones para la conservación, mantenimiento y restauración de las obras de interés arquitectónico. [En línea] [Consulta: 08-1-2022.] Disponible en: [ITALIA.PDF \(culturaydeporte.gob.es\)](http://culturaydeporte.gob.es)

BOSCATO, P. Consolidación y extracción del material óseo en el paleosuelo de Isernia la Pineta. Departamento de Arqueología e Historia del Arte, sección de Prehistoria, Universidad de Siena. Libro: Archeologia, recupero y conservazione. La conservazione e il restauro oggi. 2002. Congreso: "La conservación y la restauración hoy. De la manualidad artesanal a la investigación multidisciplinar". Ferrara, 26-29 de septiembre de 1991. De la trad.: Ariadna Viñas, 2002. ISBN 84-89569-75-4

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

CARRASCOSA MOLINER, B. Apuntes de la asignatura “Conservación y extracción de materiales arqueológicos in situ.” 2021 - 2022.

CARRASCOSA MOLINER, B. Apuntes de la asignatura “Conservación y restauración de hueso arqueológico y marfil.” 2020 - 2021.

CARRASCOSA MOLINER, B. La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos. Valencia. 2009. P.113-122. ISBN 108430949399.

DOMÉNECH CARBÓ, M. T. Principios físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales. Valencia: Editorial UPV, 2013. ISBN 9788483639962.

DOMÉNECH CARBÓ, M. T., OSETE CORTINA, L. Apuntes de la asignatura “Análisis físico químico del patrimonio.” 2020 - 2021.

DOMÉNECH-CARBÓ, M. T. Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural. Síntesis, 2018. P. 212-217. ISBN 9788491712473.

DOMÉNECH-CARBÓ, A., DOMÉNECH-CARBÓ, M. T., COSTA, V. Editor; F. Scholz. Electrochemical Methods in Archaeometry, Conservation and Restoration. Monographs in Electrochemistry. 2009. Springer. ISSN 1865-1836. ISBN 9783540928676. P. 15-22.

GONZÁLEZ MUÑOZ, M. T. [et al.]. 2015. Bioconsolidación de materiales pétreos y ornamentales mediante carbonatogénesis bacteriana. [En línea] 2015. [Consulta: 11-2-2022.] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6257716>.

HINCELIN, E. Recherche d'un adhésif capable de coller un matériau cireux et un matériau polyester dans la perspective du montage d'un dessin de José Maria Sicilia appartenant au Frac Picardie. 2010. [Consulta: 03-01-2022]. Disponible en: [Microsoft Word - rapport CNAP E. Hincelin.doc](#)

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: [Estudio del Comportamiento Físico-Mecánico de Masillas Esperimentales Destinadas a la Reintegración Volumétrica de Material Óseo Arqueológic \(upv.es\)](#)

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: 07-04-2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/85215>

LIU, R.; HE, B.; CHEN, X. Degradation of poly (vinyl butyral) and its stabilization by bases. *Polymer Degradation and Stability*, 2008, vol. 93, no 4, p. 846-853. [Consulta: 20-05-2022]. Disponible en: Degradation of polyvinyl butyral and its stabilization by bases - ScienceDirect

Mowital® B 60HH. MOWITAL® B 60HH - CTS España (ctseurope.com) [En línea] [Consulta: 07-04-22.] Disponible en: MOWITAL® B 60HH - CTS España (ctseurope.com).

MUÑOZ VIÑAS, S. On the ethics of cultural heritage conservation. 2020. London. Archetype Publications Ltd. ISBN: 978-1-909492-70-7. Pp. 57-58.

MÜLLER-KARGER, C. M.; CERROLAZA, M. Un nuevo método para la simulación de la estructura ósea mediante la versión P de elementos finitos. *Boletín Técnico*, 2001, vol. 39, no 3, p. 23-54. Objetivo 11.4 de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) Naciones Unidas. Consulta: [13-07-22.] Disponible en: Ciudades - Desarrollo Sostenible (un.org)

PDF. Fisiopatología ósea. Consulta: [05-02-22.] Disponible en: [https://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-01\\_fisiopatologia\\_osea.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-01_fisiopatologia_osea.pdf)

PIZZO, B., [et al.]. On site consolidation of burnt and partially charred wood in dry conditions. *Journal of Cultural Heritage*, 2011, vol. 12, no 1, p. 19-27. [Consulta: 16-03-2022]. Disponible en: On site consolidation of burnt and partially charred wood in dry conditions | Elsevier Enhanced Reader

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.

RINCÓN RINCÓN, E. [et al.]. Caracterización mecánica del material óseo. En: *Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen II*. Madrid: Universidad Alfonso X el Sabio, 2004. Vol. ISSN 1696-8085.

SANROMÁN PEYRÓN, A.; AVECILLA ZAPATA, J.; FLORES HERNÁNDEZ, M. Una experiencia en la conservación de artefactos arqueológicos: práctica de campo en el Museo de Sitio de Alta Vista, Zacatecas, noviembre del 2009. *Intervención (México DF)*, 2011, vol. 2, no 3, p. 66-73. [Consulta: 21-02-22.] Disponible en: Una experiencia en la conservación de artefactos arqueológicos: práctica de campo en el Museo de Sitio de Alta Vista, Zacatecas, noviembre del 2009 (scielo.org.mx)

SINGH, V. *General Anatomy-E-book*. Elsevier Health Sciences, 2015. APAC. pp. 75-. ISBN 9788131236284.

Thermo Fisher Scientific. Consulta: [13-04-22.] Disponible en: Técnicas de muestreo de FTIR: Reflectancia total atenuada (ATR) | Thermo Fisher Scientific - ES

TORTORA, G.; DERRICKSON, B. Principios de Anatomía y Fisiología. 11ª Edición. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana, 2006, vol. 4, p. 127.

ZALBIDEA MUÑOZ, M. A. Conceptos básicos sobre consolidación y protección de superficies polícromas. 2019. [En línea] [Consulta: 11-2-2022.] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/123058>

## 9. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS	Pág.
<b>Fig. 1.</b> Consolidantes recomendados para material óseo.	9
<b>Fig. 2.</b> Esquema de metodología de empleada para el desarrollo de la investigación.	12
<b>Fig. 3.</b> Hueso esponjoso y hueso cortical en un hueso largo. Adquirida de: <a href="https://nanourl.org/HKz">https://nanourl.org/HKz</a>	13
<b>Fig. 4.</b> Fotografía inicial del material óseo (anverso)	14
<b>Fig. 5.</b> Medición de las dimensiones del material óseo.	15
<b>Fig. 6.</b> Detalle del material óseo estable con presencia de restos de suciedad superficial.	15
<b>Figs. 7-8.</b> Proceso de marcado de las líneas de corte sobre las piezas con lápiz de grafito.	16
<b>Figs. 9-10.</b> Proceso de sección de probetas empleando la herramienta DREMEL® 4000.	16
<b>Fig. 11.</b> Fragmentos óseos resultantes tras el corte de las piezas con DREMEL® 4000.	17
<b>Fig. 12.</b> Selección final de probetas para la experimentación.	17
<b>Fig. 13.</b> Aspecto final de las probetas tras el proceso de limpieza.	18
<b>Fig. 14.</b> Agitador magnético empleado para la preparación de las disoluciones.	19
<b>Fig. 15.</b> Material empleado para la adición del colorante Rodamina B en proceso de preparación.	20
<b>Fig. 16.</b> Soluciones de Mowital® B 60HH con Rodamina B.	21
<b>Fig. 17-18.</b> Portaobjetos con Mowital® B 60HH a distintas concentraciones con Rodamina B.	21
<b>Fig. 19.</b> Representación gráfica en espacio cromático CIELAB de valores colorimétricos de solución de Mowital® B 60HH con Rodamina B a distintas concentraciones.	22
<b>Fig. 20.</b> Aspecto general de las probetas antes de la aplicación de los tratamientos.	23
<b>Fig. 21.</b> Consolidación de probetas (Serie A).	24
<b>Fig. 22.</b> Impregnación de las probetas con etanol con la ayuda de una muñequilla.	24
<b>Fig. 23.</b> Probetas durante el proceso de inmersión (Serie C) por orden de concentración.	25
<b>Fig. 24.</b> Probetas tras secado por oreo (Series A, B y C).	25
<b>Fig. 25.</b> Microscopio estereoscópico Leica S8 APO (10x-80x).	26

<b>Fig. 26.</b> Detalle de la realización de las mediciones colorimétricas.	27
<b>Fig. 27.</b> Representación gráfica simplificada del espacio cromático CIE L*a*b*. Extraído de: <a href="http://Inkiy.in/qDg9b">http://Inkiy.in/qDg9b</a>	27
<b>Fig. 28.</b> Evaluación fotométrica. Toma de mediciones con brillómetro Multi Gloss 268.	28
<b>Figs. 29-30.</b> Adquisición de las medidas de dureza.	29
<b>Fig. 31.</b> Ensayo de absorción de la gota. Probetas A3 y P0.	30
<b>Figs. 32- 33.</b> Equipo ATR-FTIR Vertex 70 del IRP, Universidad Politécnica de Valencia.	31
<b>Fig. 34.</b> Microfotografía de la probeta P0 (x10) vista superior.	32
<b>Fig. 35.</b> Microfotografías de la serie A (x10) vista superior.	33
<b>Fig. 36.</b> Microfotografías de la serie A (x10) vista del corte transversal.	33
<b>Fig. 37.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A1 (x10) tras la consolidación.	33
<b>Fig. 38.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A2 (x10) tras la consolidación.	34
<b>Fig. 39.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A3 (x10) tras la consolidación.	34
<b>Fig. 40.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A4 (x10) tras la consolidación.	35
<b>Fig. 41.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta A5 (x10) tras la consolidación.	35
<b>Fig. 42.</b> Microfotografías de la serie B (x10) vista superior.	35
<b>Fig. 43.</b> Microfotografías de la serie B (x10) vista del corte transversal.	35
<b>Fig. 44.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B1 (x10) tras la consolidación.	36
<b>Fig. 45.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B2 (x10) tras la consolidación.	36
<b>Fig. 46.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B3 (x10) tras la consolidación.	37

<b>Fig. 47.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B4 (x10) tras la consolidación.	37
<b>Fig. 48.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta B5 (x10) tras la consolidación.	37
<b>Fig. 49.</b> Microfotografías de la serie C (x10) vista superior.	49
<b>Fig. 50.</b> Microfotografías de la serie C (x10) vista del corte transversal.	49
<b>Fig. 51.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C1 (x10) tras la consolidación.	49
<b>Fig. 52.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C2 (x10) tras la consolidación.	49
<b>Fig. 53.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C3 (x10) tras la consolidación.	49
<b>Fig. 54.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C4 (x10) tras la consolidación.	49
<b>Fig. 55.</b> Microfotografías de: A) la superficie y B) sección transversal de la Probeta C5 (x10) tras la consolidación.	40
<b>Fig. 56.</b> Representación de valores promedio de las coordenadas cromáticas en el espacio CIELAB de la serie A antes y después de consolidar.	41
<b>Fig. 57.</b> Representación de valores promedio de las coordenadas cromáticas en el espacio CIELAB de la serie B antes y después de consolidar.	42
<b>Fig. 58.</b> Representación de promedios en el espacio CIELAB de la serie C antes y después de consolidar.	43
<b>Fig. 59.</b> Representación gráfica del valor promedio del brillo para la serie A.	44
<b>Fig. 60.</b> Representación gráfica del valor promedio del brillo para la serie B.	44
<b>Fig. 61.</b> Representación gráfica del valor promedio del brillo para la serie C.	45
<b>Fig. 62.</b> Representación de promedios de dureza de la serie A antes y después de consolidar.	46

<b>Fig. 63.</b> Representación de promedios de dureza de la serie B antes y después de consolidar.	46
<b>Fig. 64.</b> Representación de promedios de dureza de la serie C antes y después de consolidar.	47
<b>Fig. 65.</b> Ensayo de absorción de la gota de la probeta A1.	48
<b>Fig. 66.</b> Representación del tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie A post consolidación.	48
<b>Fig. 67.</b> Ensayo de absorción de la gota. Probeta A1 y probeta A2 respectivamente.	49
<b>Fig. 68.</b> Ensayo de absorción de la gota. Probetas A3 – C5.	49
<b>Fig. 69.</b> Representación del tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie B post consolidación.	50
<b>Fig. 70.</b> Representación del tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie C post consolidación. p.50	
<b>Figs. 71-72.</b> Toma de muestras en superficie, 1 mm, 2 mm e interior de las probetas.	52
<b>Figs. 73-74.</b> Detalle de la ventana de medida, lugar donde se sitúa la muestra.	52
<b>Fig. 75.</b> Espectros infrarrojos del Mowital® B 60HH (negro) y del hueso (rojo).	53
<b>Fig. 76.</b> Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie A.	54
<b>Fig. 77.</b> Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie B.	54
<b>Fig. 78.</b> Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie C.	55

<b>Tabla 1.</b> Relación entre Mowital® B 60HH y Rodamina B.	21
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de probetas en función de la serie, método de aplicación y nivel de concentración de Mowital® B 60HH.	23
<b>Tabla 3.</b> Incremento de los puntos de dureza Shore D p.47	
<b>Tabla 4.</b> Probeta 0, promedio de absorción y desviación estándar.	48
<b>Tabla 5.</b> Grado de idoneidad de Mowital® B 60HH.	59
<b>Tabla 6.</b> Medición colorimétrica de Mowital® B 60HH con Rodamina B.	70
<b>Tabla 7.</b> Medición del color de superficies. Datos antes y después del tratamiento (Serie A). Autoría: Engracia Arias Valera.	70
<b>Tabla 8.</b> Medición del color de superficies. Datos antes y después del tratamiento (Serie B). Autoría: Engracia Arias Valera.	71
<b>Tabla 9.</b> Medición del color de superficies. Datos antes y después del tratamiento (Serie C). Autoría: Engracia Arias Valera.	71
<b>Tabla 10.</b> Promedio de las mediciones colorimétricas de la serie A antes y después de consolidar.	72
<b>Tabla 11.</b> Promedio de las mediciones colorimétricas de la serie B antes y después de consolidar.	72
<b>Tabla 12.</b> Promedio de las mediciones colorimétricas de la serie C antes y después de consolidar.	72
<b>Tabla 13.</b> Promedio de las mediciones de brillo la serie A antes y después de consolidar.	72
<b>Tabla 14.</b> Promedio de las mediciones de brillo la serie B antes y después de consolidar.	73
<b>Tabla 15.</b> Promedio de las mediciones de brillo la serie C antes y después de consolidar.	73
<b>Tabla 16.</b> Estudio de las propiedades mecánicas (Serie A).	73
<b>Tabla 17.</b> Estudio de las propiedades mecánicas (Serie B).	73
<b>Tabla 18.</b> Estudio de las propiedades mecánicas (Serie C).	74
<b>Tabla 19.</b> Promedio de tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie A.	74
<b>Tabla 20.</b> Promedio de tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie B.	74
<b>Tabla 21.</b> Promedio de tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie C.	74
<b>Tabla 22.</b> Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Probeta P0.	75
<b>Tabla 23.</b> Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie A.	75
<b>Tabla 24.</b> Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie B.	75
<b>Tabla 25.</b> Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie C.	75

## 10. AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han formado parte de este Trabajo Final de Máster.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutoras Laura Osete Cortina y Begoña Carrascosa Moliner su experiencia, dedicación, calidad profesional, y su ayuda en todo momento para poder llevar a cabo este TFM. Sin ellas no sería posible.

Doy las gracias también al arqueólogo municipal y director del Museo Arqueológico de Llíria (MALL), Xavier Vidal Ferrús, por proporcionar el material óseo necesario para desarrollar las pruebas experimentales.

A Engracia Arias Valera, por darme la oportunidad de colaborar en su plantilla de la "NORMA UNE-EN 15886 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color en las superficies." dentro de su TFM titulado "La normativa en la conservación y restauración de bienes culturales. Revisión crítica de normas UNE y desarrollo de herramientas para facilitar su aplicación" y por toda la ayuda ofrecida lo largo del proceso de medición colorimétrica.

Es menester también agradecer a aquellos profesores que han participado en mi formación y al resto de compañeros de máster que han hecho de la experiencia académica un camino de aprendizaje en todos los ámbitos.

A mi familia y a Marta, Maribel, Erika, Sebas, Catia, Bea, Celine, Feña, Abraham, Irene, Alejandro, Chen, Liao y Jieru por todas las palabras de ánimo y paciencia mientras avanzaba.

Y especialmente a Adrián por aconsejarme, darme fuerzas y acompañarme cada día.

# 11. ANEXO

## Evaluación colorimétrica

Tabla 6. Medición colorimétrica de Mowital® B 60HH con Rodamina B.

Medición colorimétrica de Mowital® B 60HH con Rodamina B			
Concentración	L*	a*	b*
2%	90,49	1,67	-3,68
3%	90,61	1,43	-3,5
5%	90	1,79	-3,71
10%	89,98	1,51	-3,72
15%	90,6	1,55	-3,64

**NORMA UNE EN 15886:2011**

*Conservación del patrimonio cultural*

*Métodos de ensayo*

*Medición del color de superficies*

Datos de la muestra original

Datos después de tratamiento

Tabla 7. Medición del color de superficies. Datos antes y después del tratamiento (Serie A).

		Diferencia total de color entre '0 y '1										Diferencia de color entre '0 y '1												
		a* <sub>0</sub>	a* <sub>1</sub>	b* <sub>0</sub>	b* <sub>1</sub>	L* <sub>0</sub>	L* <sub>1</sub>	Δa*	Δb*	ΔL*	ΔE* <sub>21</sub>	C* <sub>1</sub>	C* <sub>2</sub>	ΔC* <sub>2,1</sub>	C* <sub>1,2</sub>	ΔH* <sub>2,1</sub>	S <sub>L</sub>	S <sub>c</sub>	S <sub>H</sub>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	ΔE* <sub>34</sub>	
		Valores de eje X'		Valores de eje Y'		Valores de eje Z'		a' - a''	b' - b''	L' - L''	$\sqrt{(Δa^*)^2 + (Δb^*)^2 + (ΔL^*)^2}$													
A1	Punto 1	5,15	5,49	21,1	28,23	78,11	71,07	0,340	7,130	-7,040	<b>10,026</b>	21,719	28,759	7,039	24,993	1,803	/	2,125	1,375	/	/	/	/	<b>7,828</b>
	Punto 2	5,22	3,09	21,4	19,13	77,63	56,75	-2,130	-2,270	-20,880	<b>21,111</b>	22,027	19,378	-2,649	20,660	1,634	/	1,930	1,310	/	/	/	/	<b>20,362</b>
	Punto 3	4,49	4,5	22,47	21,23	68,89	67,1	0,010	-1,240	-1,790	<b>2,178</b>	22,304	21,702	-0,602	22,300	###	/	2,003	1,334	/	/	/	/	<b>1,900</b>
	Punto 4	5,52	3,91	22,85	20,79	75,58	70,73	-4,850	-2,060	-4,850	<b>5,510</b>	23,507	21,154	-2,353	22,300	1,140	/	2,003	1,334	/	/	/	/	<b>5,063</b>
	Punto 5	6,32	2,42	23,57	18,55	69,23	61,52	-7,710	-5,020	-7,710	<b>9,993</b>	24,403	18,707	-5,696	21,766	2,624	/	1,961	1,320	/	/	/	/	<b>8,512</b>
A2	Punto 1	7,24	6,25	25,82	23,22	75,23	68,59	-6,640	-2,600	-6,640	<b>7,199</b>	26,816	24,046	-2,769	25,393	0,265	/	2,143	1,381	/	/	/	/	<b>6,767</b>
	Punto 2	5,66	7,22	23,82	24,44	70,58	70,69	0,110	0,620	0,110	<b>1,682</b>	24,483	25,404	1,000	24,879	1,048	/	2,124	1,375	/	/	/	/	<b>1,093</b>
	Punto 3	7,4	4,29	25,28	20,77	74,5	61,04	-13,460	-4,510	-13,460	<b>14,532</b>	26,341	21,208	-5,133	23,636	1,916	/	2,064	1,355	/	/	/	/	<b>13,761</b>
	Punto 4	6,39	6,47	25,11	23,52	76,61	67,58	-9,030	-1,590	-9,030	<b>9,169</b>	25,310	24,334	-0,976	25,141	0,484	/	2,131	1,377	/	/	/	/	<b>9,065</b>
	Punto 5	5,75	7,13	23,34	23,62	71,94	66,13	-5,810	0,280	-5,810	<b>5,978</b>	24,038	24,673	0,635	24,353	1,257	/	2,086	1,365	/	/	/	/	<b>5,890</b>
A3	Punto 1	4,98	6,77	21,52	22,88	78,32	67,78	-10,540	1,360	-10,540	<b>10,777</b>	22,089	23,861	1,772	22,953	1,384	/	2,033	1,344	/	/	/	/	<b>10,626</b>
	Punto 2	3,72	8,66	21,02	24,49	69,28	73,69	4,410	3,470	4,410	<b>7,476</b>	21,347	25,876	4,529	23,548	3,875	/	2,060	1,353	/	/	/	/	<b>5,718</b>
	Punto 3	6,55	7,74	22,75	23,99	69,78	74,79	5,010	1,240	5,010	<b>5,297</b>	23,674	25,208	1,534	24,429	0,776	/	2,089	1,366	/	/	/	/	<b>5,095</b>
	Punto 4	7,08	8,76	24,02	24,49	73,98	73,49	-0,490	0,470	-0,490	<b>1,812</b>	25,042	26,080	0,968	25,821	1,451	/	2,148	1,383	/	/	/	/	<b>1,243</b>
	Punto 5	5,96	8,64	23,27	24,09	74,53	70,58	-3,950	0,820	-3,950	<b>4,843</b>	24,021	25,593	1,571	24,794	2,021	/	2,116	1,372	/	/	/	/	<b>4,361</b>
A4	Punto 1	2,01	7,12	17,88	17,89	66,26	71,1	5,110	0,010	4,840	<b>7,038</b>	17,993	19,255	1,262	18,613	4,352	/	1,838	1,279	/	/	/	/	<b>6,236</b>
	Punto 2	3,69	7,95	19,89	19,5	69,35	72,5	4,260	-0,390	3,150	<b>5,312</b>	20,229	21,058	0,829	20,640	4,167	/	1,829	1,310	/	/	/	/	<b>4,514</b>
	Punto 3	5,25	7,02	19,41	19,21	79,44	68,81	-1,770	-0,200	-10,630	<b>10,778</b>	20,107	20,452	0,345	20,279	1,748	/	1,913	1,304	/	/	/	/	<b>10,716</b>
	Punto 4	6,4	7,17	20,97	20,5	76,81	74,48	-2,330	0,770	-2,330	<b>2,499</b>	21,825	21,718	-0,107	21,821	0,878	/	1,962	1,327	/	/	/	/	<b>2,424</b>
	Punto 5	6,98	9,27	23,29	20,74	72,16	75,87	2,290	-2,550	3,710	<b>5,051</b>	24,313	22,717	-1,596	23,502	3,033	/	2,058	1,353	/	/	/	/	<b>4,404</b>
A5	Punto 1	4,29	7,47	19,14	17,85	74,43	64,58	-8,850	3,180	-9,850	<b>10,431</b>	18,615	18,350	-0,265	18,482	3,421	/	1,877	1,292	/	/	/	/	<b>10,201</b>
	Punto 2	6,43	10,73	22,73	21,85	76,25	71,55	-4,700	-0,880	-4,700	<b>6,431</b>	23,622	24,342	0,720	23,980	4,330	/	2,079	1,360	/	/	/	/	<b>5,688</b>
	Punto 3	4,93	5,28	21,3	15,9	73,86	56,91	-16,950	0,350	-16,950	<b>17,793</b>	21,663	16,754	-4,909	19,139	1,782	/	1,861	1,287	/	/	/	/	<b>17,227</b>
	Punto 4	6,94	8,63	22,73	20,28	74,89	63,5	-11,390	1,690	-11,390	<b>11,772</b>	23,788	22,040	-1,726	22,887	2,428	/	2,030	1,343	/	/	/	/	<b>11,563</b>
	Punto 5	6,06	6,68	23,28	16,93	66,64	60,73	-5,910	0,620	-5,910	<b>8,697</b>	24,056	18,200	-5,856	20,924	2,534	/	1,942	1,314	/	/	/	/	<b>6,910</b>

Tabla 8. Medición del color de superficies. Datos antes y después del tratamiento (Serie B).

		Diferencia total de color entre "0 y 1"						Diferencia de color entre "0 y 1"															
		a* 0	a* 1	b* 0	b* 1	L* 0	L* 1	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta E^*_{21}$	C*	C* <sub>21</sub>	$\Delta C^*_{21}$	C* <sub>1,2</sub>	$\Delta H^*_{21}$	SL	S <sub>c</sub>	SH	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	$\Delta E^*_{34}$
		Valores de eje X'		Valores de eje Y'		Valores de eje Z'		$a^* - a^*_{01}$	$b^* - b^*_{01}$	$L^* - L^*_{01}$	$\sqrt{(a^* - a^*_{01})^2 + (b^* - b^*_{01})^2 + (L^* - L^*_{01})^2}$												
B1	Punto 1	6,41	7,29	22,28	23,3	73,26	65,13	0,880	1,020	-8,130	<b>8,241</b>	23,184	24,414	1,230	23,791	0,543	/	2,071	1,367	/	/	/	<b>8,162</b>
	Punto 2	7,59	2,91	24,34	18,22	70,36	53,27	-4,680	-6,120	-17,090	<b>18,746</b>	25,436	18,451	-7,045	21,683	-3,118	/	1,976	1,325	/	/	/	<b>17,616</b>
	Punto 3	6,68	6,11	23,8	20,6	70,62	57,66	-0,570	-3,200	-12,960	<b>13,361</b>	24,720	21,487	-3,233	23,047	0,333	/	2,037	1,346	/	/	/	<b>13,059</b>
	Punto 4	8,07	6,34	26,16	23,2	69,55	60,29	-1,730	-2,960	-9,260	<b>9,874</b>	23,376	24,081	-3,326	25,660	0,633	/	2,155	1,365	/	/	/	<b>9,407</b>
	Punto 5	5,03	2,3	21,23	13,05	68,50	46,03	-2,730	-8,180	-22,470	<b>24,068</b>	21,688	12,251	-8,567	17,003	0,989	/	1,765	1,255	/	/	/	<b>23,002</b>
B2	Punto 1	6,26	8,06	23,13	24,08	72,26	63,91	1,800	0,950	-8,350	<b>8,594</b>	23,962	25,283	1,431	24,667	1,447	/	2,119	1,370	/	/	/	<b>8,444</b>
	Punto 2	7,33	3,28	24,21	18	72,93	53,74	-4,050	-6,210	-19,190	<b>20,572</b>	25,235	18,236	-6,999	21,513	2,446	/	1,968	1,323	/	/	/	<b>19,604</b>
	Punto 3	6,47	7,59	23,18	21,9	71,87	60,43	1,120	-1,280	-11,440	<b>11,566</b>	24,066	23,178	-0,888	23,618	1,451	/	2,063	1,354	/	/	/	<b>11,438</b>
	Punto 4	7,59	7,82	24,93	23,59	68,43	69,91	0,230	-1,340	1,490	<b>2,010</b>	26,060	24,952	-1,207	25,443	0,625	/	2,145	1,302	/	/	/	<b>1,647</b>
	Punto 5	8,08	8,71	25,36	23,59	71,12	72,41	0,630	-1,770	1,290	<b>2,279</b>	26,616	25,147	-1,469	25,871	1,071	/	2,164	1,368	/	/	/	<b>1,684</b>
B3	Punto 1	8,91	8,16	26,26	23,77	69,41	62,58	-0,750	-2,490	-6,830	<b>7,308</b>	23,730	25,132	-2,599	26,389	0,094	/	2,189	1,396	/	/	/	<b>6,933</b>
	Punto 2	7,34	9,34	23,85	24,11	67,24	70,33	2,000	0,260	3,090	<b>3,690</b>	24,954	26,696	0,902	25,401	1,604	/	2,143	1,381	/	/	/	<b>3,381</b>
	Punto 3	6,86	8,4	24,29	22,8	74,03	59,2	1,540	-1,490	-14,830	<b>14,984</b>	25,240	24,298	-0,942	24,765	1,325	/	2,114	1,371	/	/	/	<b>14,903</b>
	Punto 4	4,44	7,28	20,52	20,91	73,63	71,99	2,840	0,390	-1,640	<b>3,303</b>	20,895	22,141	1,146	21,560	2,628	/	1,970	1,323	/	/	/	<b>2,640</b>
	Punto 5	6,36	6,02	25,23	21,11	71,48	52,79	-0,340	-4,120	-18,690	<b>19,142</b>	26,019	21,952	-4,068	23,889	0,738	/	2,075	1,358	/	/	/	<b>18,800</b>
B4	Punto 1	6,09	10,67	23,19	23,45	72,83	72,45	4,580	0,260	-0,380	<b>4,603</b>	23,976	25,763	1,787	24,854	4,225	/	2,118	1,373	/	/	/	<b>3,214</b>
	Punto 2	6,77	10,97	24,59	23,02	75,31	65,86	4,200	-1,570	-9,450	<b>10,460</b>	25,505	25,500	-0,005	25,503	4,494	/	2,148	1,383	/	/	/	<b>9,991</b>
	Punto 3	6,73	10	24,54	22,28	72,01	72,69	3,270	-2,260	0,680	<b>4,033</b>	25,446	24,421	-1,025	24,928	3,641	/	2,122	1,374	/	/	/	<b>2,917</b>
	Punto 4	5,56	9,75	22,55	21,3	77,28	68,92	4,190	-1,250	-8,360	<b>9,434</b>	23,225	23,425	0,200	23,325	4,368	/	2,050	1,350	/	/	/	<b>8,965</b>
	Punto 5	4,89	10,66	21,86	23,88	71,82	71,16	5,770	2,020	-0,660	<b>6,149</b>	22,400	26,151	3,751	24,203	4,827	/	2,069	1,363	/	/	/	<b>4,025</b>
B5	Punto 1	7,13	8,9	23,21	19,64	68,16	60,53	1,770	-3,570	-7,630	<b>8,608</b>	24,280	21,562	-2,718	22,881	2,94	/	2,000	1,343	/	/	/	<b>8,045</b>
	Punto 2	5,36	10,8	21,54	22,58	71,68	70,94	5,440	1,040	-0,740	<b>5,588</b>	22,187	25,030	2,833	23,571	4,759	/	2,061	1,354	/	/	/	<b>3,847</b>
	Punto 3	6,26	10,6	23,55	21,03	73,36	65,4	4,340	-2,520	-7,960	<b>9,410</b>	24,368	23,550	-0,817	23,956	4,952	/	2,078	1,359	/	/	/	<b>8,763</b>
	Punto 4	4,39	7,85	20,41	20,38	63,00	47,92	3,460	-0,030	-15,080	<b>15,472</b>	20,677	21,840	-0,963	21,353	3,323	/	1,961	1,320	/	/	/	<b>15,297</b>
	Punto 5	7,4	8,34	25,49	20,71	72,95	59,33	0,940	-4,780	-13,620	<b>14,465</b>	25,542	22,326	-4,216	24,343	2,440	/	2,095	1,365	/	/	/	<b>13,883</b>

Tabla 9. Medición del color de superficies. Datos antes y después del tratamiento (Serie C).

		Diferencia total de color entre "0 y 1"						Diferencia de color entre "0 y 1"															
		a* 0	a* 1	b* 0	b* 1	L* 0	L* 1	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta E^*_{21}$	C*	C* <sub>21</sub>	$\Delta C^*_{21}$	C* <sub>1,2</sub>	$\Delta H^*_{21}$	SL	S <sub>c</sub>	SH	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	$\Delta E^*_{34}$
		Valores de eje X'		Valores de eje Y'		Valores de eje Z'		$a^* - a^*_{01}$	$b^* - b^*_{01}$	$L^* - L^*_{01}$	$\sqrt{(a^* - a^*_{01})^2 + (b^* - b^*_{01})^2 + (L^* - L^*_{01})^2}$												
C1	Punto 1	3,89	8,73	21,19	26,48	63,53	71,42	5,140	5,290	7,890	<b>10,801</b>	21,432	27,082	6,280	24,479	3,684	/	2,102	1,367	/	/	/	<b>8,675</b>
	Punto 2	3,89	7,08	20,81	20,57	69,25	65,47	3,190	-0,240	-3,780	<b>4,952</b>	21,170	21,754	0,584	21,460	3,145	/	1,866	1,322	/	/	/	<b>4,476</b>
	Punto 3	6,03	7	21,71	23,89	75,15	63,99	0,970	2,180	-11,160	<b>11,412</b>	22,532	24,894	2,363	23,684	0,304	/	2,066	1,355	/	/	/	<b>11,221</b>
	Punto 4	5,4	7,7	23,21	20,41	76,57	68,23	2,300	-2,800	-8,340	<b>9,093</b>	23,830	21,814	-2,016	22,800	3,011	/	2,026	1,342	/	/	/	<b>8,634</b>
	Punto 5	7,83	8,44	22,36	25,52	67,14	71,66	0,610	3,160	4,520	<b>5,549</b>	23,691	26,679	3,688	25,235	0,440	/	2,138	1,379	/	/	/	<b>4,771</b>
C2	Punto 1	6,36	6,32	23,34	20,2	65,78	71,40	-0,040	-3,140	5,620	<b>6,438</b>	24,181	21,166	-3,025	22,628	0,941	/	2,018	1,339	/	/	/	<b>5,858</b>
	Punto 2	5,33	3,80	20,87	19,35	74,68	53,43	-1,530	-1,520	-21,250	<b>21,359</b>	21,540	19,720	-1,820	20,610	1,157	/	1,927	1,309	/	/	/	<b>21,285</b>
	Punto 3	3,97	6,01	19,27	18,77	67,81	42,79	2,040	-0,500	-25,020	<b>25,108</b>	19,675	19,709	0,034	19,692	2,100	/	1,886	1,295	/	/	/	<b>25,072</b>
	Punto 4	3,89	6,84	18,35	20,91	73,25	73,63	2,950	2,560	0,380	<b>3,924</b>	18,759	22,000	3,243	20,314	2,179	/	1,814	1,305	/	/	/	<b>2,468</b>
	Punto 5	4,74	2,80	19,71	17,26	72,85	62,83	-1,940	-2,450	-9,820	<b>10,305</b>	20,272	17,486	-2,786	18,627	1,415	/	1,847	1,282	/	/	/	<b>8,936</b>
C3	Punto 1	7,18	6,75	24,36	22,04	73,34	75,10	-0,430	-2,320	1,760	<b>2,944</b>	25,336	23,050	-2,346	24,195	0,256	/	2,089	1,363	/	/	/	<b>2,696</b>
	Punto 2	6,36	8,43	22,43	24,28	77,01	72,88	2,070	1,850	-4,130	<b>4,976</b>	23,314	25,702	2,388	24,479	1,117	/	2,102	1,367	/	/	/	<b>4,467</b>
	Punto 3	4,22	6,21	20,35	22,8	63,93	72,22	1,990	2,450	8,290	<b>8,871</b>	20,783	23,631	2,848	22,161	1,361	/	1,957	1,332	/	/	/	<b>8,474</b>
	Punto 4	7,00	6,71	23,33	20,84	73,15	77,58	-0,290	-2,490	4,430	<b>5,090</b>	24,359	21,894	-2,464	23,093	0,462	/	2,039	1,346	/	/	/	<b>4,605</b>
	Punto 5	5,39	6,79	22,48	21,79	68,78	75,35	1,400	-0,690	6,570	<b>6,753</b>	23,107	22,823	-0,284	22,970	1,533	/	2,034	1,345	/	/	/	<b>6,670</b>
C4	Punto 1	5,45	4,97	21,78	15,79	75,59	44,70	-0,480	-5,990	-30,890	<b>31,469</b>	22,452	16,554	-5,698	19,278	1,152	/	1,868	1,289	/	/	/	<b>31,664</b>
	Punto 2	6,81	3,98	22,8	15,06	66,68	54,04	-2,830	-7,740	-12,640	<b>15,089</b>	23,795	15,677	-8,218	19,253	0,614	/	1,866	1,289	/	/	/	<b>13,334</b>
	Punto 3	7,09	6,20	23,5	12,77	71,86	43,36	-0,890	-10,730	-28,500	<b>30,466</b>	24,546	14,186	-10,351	18,667	2,964	/	1,840	1,280	/	/	/	<b>25,142</b>
	Punto 4	7,96	8,42	24,25	15,31	71,28	63,73	0,460	-8,940	-7,550	<b>11,711</b>	25,523	15,473	-10,050	21,108	3,305	/	1,950	1,315	/	/	/	<b>5,104</b>
	Punto 5	6,22	6,01	21,83	15,91	63,38	4																

Tabla 10. Promedio de las mediciones colorimétricas de la serie A antes y después de consolidar.

Mediciones colorímetro Serie A						
Probeta	Antes			Después		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
A1	73,9	5,34	22,28	65,43	3,88	21,59
A2	73,77	6,50	24,87	66,81	6,27	23,11
A3	73,18	5,66	22,52	72,07	8,11	23,99
A4	72,80	4,87	20,29	72,55	7,71	19,57
A5	73,21	5,73	21,84	63,45	7,76	18,56

Tabla 11. Promedio de las mediciones colorimétricas de la serie B antes y después de consolidar.

Mediciones colorímetro Serie B						
Probeta	Antes			Después		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
B1	70,46	6,76	23,56	56,48	4,99	19,67
B2	71,32	7,15	24,16	64,08	7,09	22,23
B3	71,16	6,78	24,03	63,38	7,84	22,54
B4	73,85	6,01	23,35	70,22	10,41	22,79
B5	69,83	6,11	22,84	60,82	9,30	20,87

Tabla 12. Promedio de las mediciones colorimétricas de la serie C antes y después de consolidar.

Mediciones colorímetro Serie C						
Probeta	Antes			Después		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
C1	70,33	5,35	21,86	68,15	7,79	23,37
C2	70,83	4,86	20,31	60,82	5,15	19,30
C3	71,24	6,03	22,59	74,63	6,98	22,35
C4	69,76	6,71	22,83	49,66	5,92	14,97
C5	71,93	5,56	22,25	58,61	5,91	17,59

### Evaluación fotométrica

Tabla 13. Promedio de las mediciones de brillo la serie A antes y después de consolidar.

	Antes	Después
A1	0,04	0,16
A2	0,24	0
A3	0,35	0,04
A4	0,34	0,32
A5	0,12	0,56

Tabla 14. Promedio de las mediciones de brillo la serie B antes y después de consolidar.

	Antes	Después
B1	0,04	0,9
B2	0,12	0,36
B3	0,28	1,12
B4	0,14	1,44
B5	0,06	2,94

Tabla 15. Promedio de las mediciones de brillo la serie C antes y después de consolidar.

	Antes	Después
C1	0,14	1,34
C2	0,1	0,34
C3	0,06	1,14
C4	0	0,92
C5	0,34	3,32

### Estudio de las propiedades mecánicas. Dureza Shore

Tabla 16. Estudio de las propiedades mecánicas (Serie A).

Mediciones durómetro Serie A		
Probetas	Antes	Después
A1	44,1	50,8
A2	46,4	44,4
A3	40,4	43,3
A4	47,7	51,3
A5	44,8	61,6

Tabla 17. Estudio de las propiedades mecánicas (Serie B).

Mediciones durómetro Serie B		
Probetas	Antes	Después
B1	41,3	57,2
B2	43,1	57,8
B3	44,8	55,2
B4	44,4	60,2
B5	39,4	62,3

Tabla 18. Estudio de las propiedades mecánicas (Serie C).

Mediciones durómetro Serie C		
Probetas	Antes	Después
C1	49	48,7
C2	36,9	60,5
C3	41,2	65
C4	38,3	66,6
C5	40,4	73,1

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

Tabla 19. Promedio de tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie A.

Prueba de absorción de la gota		
Probeta	Tiempo (min)	Des. Est.
A1	26	± 1
A2	35	± 1
A3	58	± 0
A4	61	± 0
A5	61	± 0

Tabla 20. Promedio de tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie B.

Prueba de absorción de la gota		
Probeta	Tiempo (min)	Des. Est.
B1	58	± 3
B2	60	± 1
B3	60	0
B4	60	0
B5	60	± 2

Tabla 21. Promedio de tiempo de absorción de la gota de probetas de la serie C.

Prueba de absorción de la gota		
Probeta	Tiempo (min)	Des. Est.
C1	15	± 7
C2	22	± 7
C3	54	± 1
C4	60	0
C5	60	± 1

## Análisis químico-mineralógico por Espectroscopía ATR-FTIR

Tabla 22. Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Probeta P0.

	Relación cuantitativa de sustancias (P0)		
	MW1	H2	MW1 / H2
0 MM (S)	0,033	0,19	0,173
1 MM	0,065	0,304	0,213
2 MM	0,066	0,313	0,21
4 MM (IN)	0,032	0,454	0,07

Tabla 23. Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie A.

	Relación cuantitativa de sustancias MW1 / H2 (Serie A)			
	0 MM (S)	1 MM	2 MM	4 MM (IN)
A1	0,08	0,12	0,077	0,047
A2	0,127	0,226	0,123	0,079
A3	0,141	0,141	0,24	0,076
A4	0,379	0,159	0,179	0,065
A5	0,74	0,093	0,138	0,138

Tabla 24. Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie B.

	Relación cuantitativa de sustancias MW1 / H2 (Serie B)			
	0 MM (S)	1 MM	2 MM	4 MM (IN)
B1	0,209	0,12	0,14	0,171
B2	0,171	0,118	0,06	0,18
B3	0,212	0,169	0,138	0,106
B4	0,193	0,145	0,17	0,161
B5	1,666	0,128	0,16	0,234

Tabla 25. Valores de intensidades de las bandas de absorción en el infrarrojo del soporte óseo y del consolidante. Serie C.

	Relación cuantitativa de sustancias MW1 / H2 (Serie C)			
	0 MM (S)	1 MM	2 MM	4 MM (IN)
C1	0,12	0,095	0,118	0,063
C2	0,15	0,104	0,072	0,064
C3	0,134	0,089	0,05	0,043
C4	0,176	0,166	0,121	0,134
C5	0,31	0,128	0,148	0,228