Rev. Fac. Cs. Vets.
UCV. 66(1):17-25. 2025

Uso de Resina Epóxica Comercial para Incluir Huesos en Estudios Histomorfológicos y su Importancia en Ciencias Forenses

Use of commercial epoxy resin for insert bones in histomorphological studies and its importance in forensic sciences

Raquel Céspedes* y Sonia Alvarado-Rico**

* *Cátedra de Anatomía,* ** *Cátedra de Histología, Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. Maracay 2101, estado Aragua, Apartado Postal Nº 4563, Venezuela*

Correo-E: race1967@gmail.com

Recibido: 18/04/26 - Aprobado: 25/06/26

Resumen

La histomorfología ósea es vital en Ciencias Forenses para determinar la especie, edad y sexo en restos degradados, donde el estudio de la microarquitectura del tejido óseo es fundamental. Los materiales de grado laboratorio utilizados para preparar los tejidos a estudiar suelen ser costosos y de difícil adquisición. La resina epóxica ofrece una alternativa viable por ser de baja contracción y alta transparencia, permitiendo obtener cortes delgados de alta resolución necesarios para preservar la microestructura mineral del hueso. Basándose en el protocolo del Taller de Bioarqueología de la Universidad Autónoma de Yucatán, se procesaron secciones transversales del hueso fémur de equinos (*Equus caballus)*. Se modificó dicha técnica al sustituir la resina especializada por una resina epóxica comercial (proporción 2:1). El proceso incluyó limpieza, infiltración gradual, eliminación de burbujas y un curado de 48 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizó un desgaste

Abstract

Bone histomorphology is vital in forensic sciences to determine species, age and sex in degraded remains, where the study of the microarchitecture of bone tissue is fundamental. The laboratory grade materials used to prepare the tissues to be studied are usually expensive and difficult to procure. Epoxy resin offer a viable alternative by being low shrinkage and high transparency, allowing to obtain high-resolution thin cuts necessary to preserve the mineral microstructure of bone. Based on the protocol of the Universidad Autónoma de Yucatán Bioarchaeology Workshop, transverse sections of horse femurs (*Equus caballus)* were processed. Said technique was modified by substituting the specialized resin for a commercial epoxy resin (2:1 ratio). The process included cleaning, gradual infiltration, bubble removal and a 48-hour cure. Subsequently, a manual abrasion was performed with silicon carbide sandpaper until reaching 50-70 μm sheets, which were analyzed under conventional

DOI: https://doi.org/10.56306/RFCV.2025.66.1.04

[1] A quien debe dirigirse la correspondencia (To whom correspondence should be addressed)

manual con lijas de carburo de silicio hasta alcanzar láminas de 50-70 μm, las cuales fueron analizadas bajo microscopía de luz convencional. La resina comercial mostró una penetración total en porosidades y una transparencia óptima. Se identificaron con claridad sistemas de Havers, laminillas y líneas de cemento, sin presencia de artefactos térmicos o desprendimientos en la interfase hueso-resina. El material demostró una dureza mecánica adecuada para el pulido fino, manteniendo la integridad diagnóstica necesaria para peritajes judiciales. Este estudio se realizó con el propósito de evaluar la eficacia de una resina epóxica comercial de bajo costo como sustituto de medios de inclusión especializados (como Biodur®) para el estudio histomorfológico de tejido óseo no descalcificado en contextos forenses.

Palabras clave: Histomorfología ósea, resina epóxica, ciencias forenses, tejido óseo no descalcificado, Bioarqueología

light microscopy. The commercial resin showed a total penetration into porosities and optimum transparency. Havers systems, laminations and cement lines were clearly identified, without the presence of thermal artifacts or detachments at the bone-resin interface. The material demonstrated a mechanical hardness suitable for fine polishing, maintaining the diagnostic integrity necessary for forensic expertise. This study was conducted with the purpose of evaluating the effectiveness of a low-cost commercial epoxy resin as a substitute for specialized inclusion media (such as Biodur®) for the histomorphological study of non-decalcified bone tissue in forensic contexts.

Keywords: Bone histomorphology, epoxy resin, forensic sciences, Undecalcified bone tissue, Bioarchaelogy

Introducción

Las ciencias forenses han experimentado una evolución significativa en la última década, pasando de análisis macroscópicos tradicionales a evaluaciones microestructurales precisas que permiten la identificación de la especie en huesos encontrados en contextos forenses mixtos. En este ámbito, la histomorfología ósea se ha consolidado como una herramienta crítica para determinar variables biológicas como la edad, el sexo, así como para diferenciar restos humanos de animales [1]. Asimismo, el estudio de la microarquitectura del tejido óseo es fundamental para documentar la diagénesis y los cambios tafonómicos, permitiendo estimar con mayor precisión el intervalo *postmortem* [2]. Sin embargo, el análisis microscópico de tejidos duros presenta desafíos técnicos considerables, especialmente cuando se requiere preservar la fase mineral del hueso. La preparación de muestras no descalcificadas es esencial para realizar estudios histomorfométricos precisos y evaluaciones de patologías óseas que de otro modo se perderían en los procesos químicos de descalcificación [3]. En este contexto, la técnica de inclusión en medios sólidos es un paso preanalítico determinante para garantizar la integridad de la muestra durante el corte y la observación. La resina epóxica comercial ha surgido como el material de elección frente a otras alternativas como el poliéster, debido a su baja contracción, alta transparencia y capacidad para penetrar porosidades microscópicas, facilitando la obtención de cortes delgados de alta resolución menores a 100 μm, sin pérdida de material, un factor crítico cuando se trabaja con fragmentos óseos degradados o de valor forense limitado [4]. Recientes investigaciones han validado protocolos que utilizan resina epóxica de fácil acceso en el mercado, demostrando que su uniformidad en el curado y dureza mecánica son óptimas para los requerimientos de la patología y anatomía forense moderna [5, 6]. La resina epóxica es una alternativa debido a su baja viscosidad, que garantiza una penetración profunda en los canalículos óseos, y su excepcional estabilidad dimensional tras la polimerización [7]. Se ha demostrado que el empotrado en resina no solo preserva la integridad

de las estructuras laminares y los sistemas de Havers, sino que también es compatible con técnicas avanzadas como la microtomografía computarizada y el análisis de ADN antiguo, permitiendo recuperaciones genéticas exitosas incluso en muestras embebidas [8]. A pesar de sus beneficios técnicos, la resina de grado laboratorio suelen ser de alto costo y difícil adquisición. Existe una necesidad imperativa de validar el uso de resina epóxica comercial de uso industrial o artesanal, que ofrecen propiedades mecánicas similares a un costo significativamente menor. Validar estos materiales accesibles no solo pone al alcance a cualquier laboratorio, técnicas de histología ósea avanzada, sino que también garantiza que la evidencia procesada mantenga los estándares de calidad requeridos para su presentación en procesos judiciales, sin pérdida de detalle morfológico. Por lo que el objetivo de esta investigación es evaluar la eficacia de la resina epóxica comercial como medio de inclusión para el estudio histomorfológico de huesos humanos y animales, analizando su capacidad de preservación microestructural y su viabilidad técnica en la práctica de las ciencias forenses.

Materiales y Métodos

Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Disección de la Cátedra de Anatomía y en el Laboratorio de Histoquímica de la Cátedra de Histología de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela (FCV-UCV), Maracay, estado Aragua, Venezuela. Las muestras se obtuvieron del banco de huesos de equinos (*Equus caballus)* de la Cátedra de Anatomía. Se seleccionó el fémur como estructura de estudio, debido a su relativa buena conservación en sitios arqueológicos y forenses. Según estadísticas de la Oficina Federal de Investigaciones (FBI, por sus siglas en inglés) del año 2004, con respecto al rendimiento que han mostrado diferentes muestras del esqueleto humano, los huesos craneales presentan un rendimiento del 50 %, la mandíbula y la escápula del 70%, mientras que el húmero y fémur presentan rendimientos del 80% y 90%, respectivamente. Por lo que se considera que este último es el más idóneo para el análisis forense ya que son huesos largos que brindan suficiente material para el análisis [9].

La metodología empleada se fundamenta en el protocolo estandarizado por el Taller de Bioarqueología de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY); este protocolo es reconocido por su eficacia en el procesamiento de tejido óseo no descalcificado para análisis microestructurales [10].

No obstante, se introduce una modificación técnica significativa en diferentes fases, específicamente en la fase de inclusión, donde se sustituirá la resina Biodur® (utilizada habitualmente en la técnica original de plastinación) por una resina epóxica comercial multiusos de dos componentes (marca Boom Art, Venezuela®). Esta variante busca evaluar si las propiedades de baja viscosidad y estabilidad dimensional de la resina comercial permite alcanzar una transparencia y dureza comparables a los medios de grado laboratorio, optimizando los costos y la accesibilidad del procedimiento en contextos forenses rutinarios.

El procesamiento siguió etapas críticas de preparación dictadas por la norma de la UADY, manteniendo las siguientes especificaciones:

1. Obtención de secciones transversales de la diáfisis del hueso fémur de diferentes especies de animales y humano. Las secciones histológicas se obtuvieron a partir de un corte transversal en el tercio proximal de la diáfisis de 20 huesos, utilizando una sierra eléctrica marca Bohia HD, con una cuchilla número 97, de acuerdo a lo señalado en el Manual de Métodos Histotecnológicos *Armed Forces Institute of Pathology* (AFIP) [11] y en el Manual de Histomorfología en hueso no descalcificado, obteniendo un mínimo de 5 láminas histológicas por espécimen, para un total de 100 láminas analizadas.
2. Limpieza, desengrasado, blanqueamiento y secado al sol de las muestras.
3. Inclusión de la muestra en resina epóxica en proporciones controladas.
4. Uso de lijas abrasivas de diferente grosor (100, 600, 800 y 1.200) para desgastar, pulir y obtener láminas delgadas (máximo 50-70 μm).

La resina epóxica consta de dos componentes la resina y el catalizador. Para la sustitución del protocolo original, se utilizó una resina epóxica transparente de baja viscosidad (Figura 1). El proceso se estandarizó bajo las siguientes especificaciones técnicas:

1. Se estableció una proporción de 2:1 en peso (resina y endurecedor, respectivamente), utilizando una balanza analítica para garantizar la precisión. La mezcla se homogeneizó mediante agitación manual lenta durante 5 min, para minimizar la formación de microburbujas (Figura 2).
2. Para asegurar que la resina penetre los espacios medulares y el sistema de Havers, debe infiltrarse gradualmente.
3. Debido a que no se utilizó cámara de vacío para eliminación de burbujas de aire, se empleó la técnica de reposo térmico a 25 °C aproximadamente, o esparciendo alcohol etílico con un espray sobre las muestras, permitiendo que las burbujas remanentes migren a la superficie antes del vertido final en los moldes o envases plásticos (Figura 3).
4. El endurecimiento se llevó a cabo a temperatura ambiente durante un período de 48 h. Este tiempo de secado garantiza la dureza suficiente para soportar el desgaste mecánico con lijas de carburo de silicio, sin desprendimiento del tejido óseo.
5. Para validar la técnica frente al estándar de la UADY, se evaluaron las siguientes variables:
    1. Transparencia óptica: capacidad de paso de luz para la identificación de líneas de crecimiento, células óseas, orientación de las fibras de colágeno y sistemas haversianos, en general.
    2. Adherencia interfacial: ausencia de grietas entre la resina y el borde cortical del hueso.
    3. Resistencia al desgaste: comportamiento del bloque durante el lijado manual para alcanzar los 50 μm (Figura 4).
    4. Estabilidad del corte en la resina y sobre el portaobjeto.
    5. Permeabilidad ante el colorante utilizado para la demarcación de células y fibras, debido a que se utiliza un microscopio de luz convencional y no la de luz polarizada utilizada en la UADY (Figura 5).

Una vez obtenidas las láminas delgadas, se procedió al análisis microscópico para validar la calidad diagnóstica de la inclusión en la resina epóxica. El proceso se dividió en las siguientes etapas:



Figura 1. Etiquetas de los dos componentes de la Resina epóxica utilizada. Componente A (Resina) y Componente B (Catalizador)



Figura 2. Homogeneización lenta de la mezcla de resina epóxica, para minimizar la formación de microburbujas

1. Las láminas fueron limpiadas con alcohol isopropílico para eliminar residuos de abrasivos y se montaron utilizando un medio de montaje sintético de bajo índice de refracción, asegurando la total transparencia del bloque de resina. Así mismo, cuando el molde de resina es suficientemente grande se utiliza directamente sobre la platina del microscopio sin necesidad de utilizar láminas portaobjetos.
2. Los cortes histológicos fueron observados y las áreas de interés fueron fotografiadas bajo un fotomicroscopio Nikon Eclipse E200, con cámara Nikon Coolpix 950 de 2,1 mega pixeles y así obtener las imágenes para el análisis e interpretación de los resultados. Siguiendo los criterios de la UADY, se evaluó la visibilidad de las unidades estructurales óseas (osteonas), las laminillas concéntricas y la nitidez de la línea de cemento.
3. Se resaltó la birrefringencia de las fibras de colágeno, utilizando colorantes como tricrómico de Gomori, hematoxilina y eosina, colorantes utilizados normalmente en las técnicas histológicas convencionales, bajo estándares AFIP. En esta etapa, se verifica que la polimerización de la resina epóxica no haya generado artefactos térmicos o químicos que distorsionen la organización de las laminillas óseas.
4. Se realizó un escaneo sistemático de la sección cortical para detectar posibles áreas de desprendimiento entre la resina y el hueso, un factor clave para garantizar que el método sea viable en Ciencias Forenses donde la integridad de la muestra es pericialmente relevante (Figura 6).
5. Las microfotografías se capturaron con la cámara incorporada en el microscopio de luz convencional, utilizado para la observación de las muestras.

Resultados y Discusión

El procesamiento de las muestras óseas mediante la sustitución de Biodur® por resina epóxica comercial arrojó resultados altamente satisfactorios.

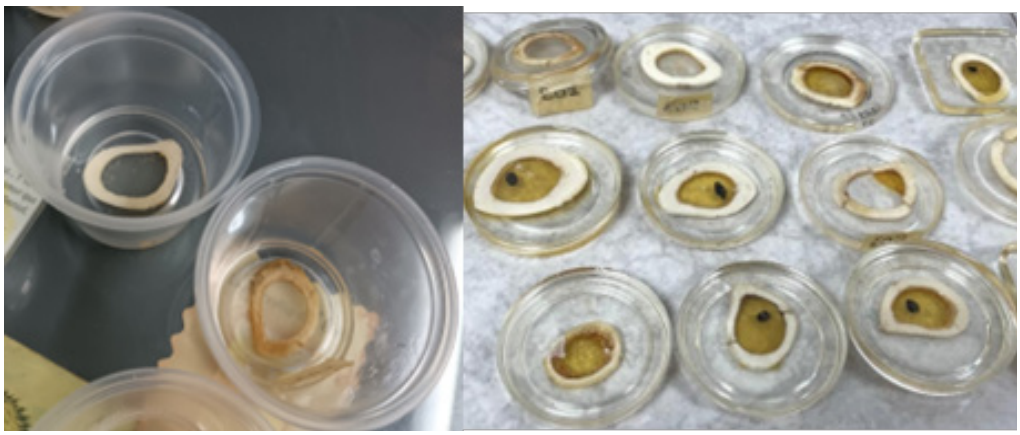


Figura 3. Vertido de la resina epóxica sobre las muestras óseas en envases plásticos y bloques con las muestras embebidas

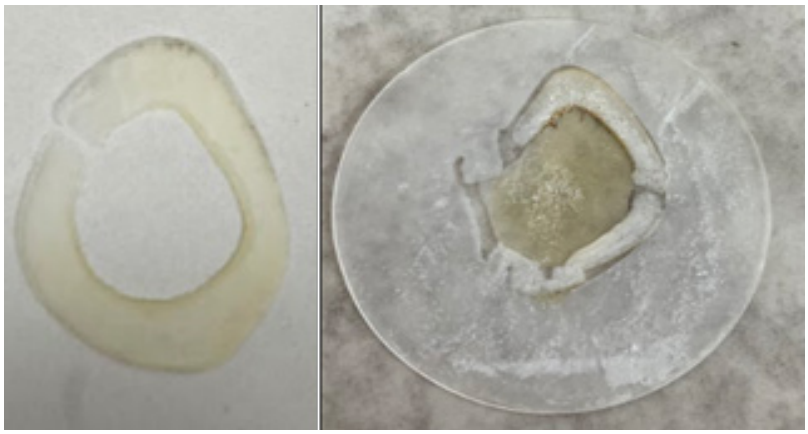


Figura 4. Muestra de Diáfisis del hueso fémur de equino (*Equus caballus*), embebido en resina epóxica y lijado de la misma alcanzando un grosor de 50 μm

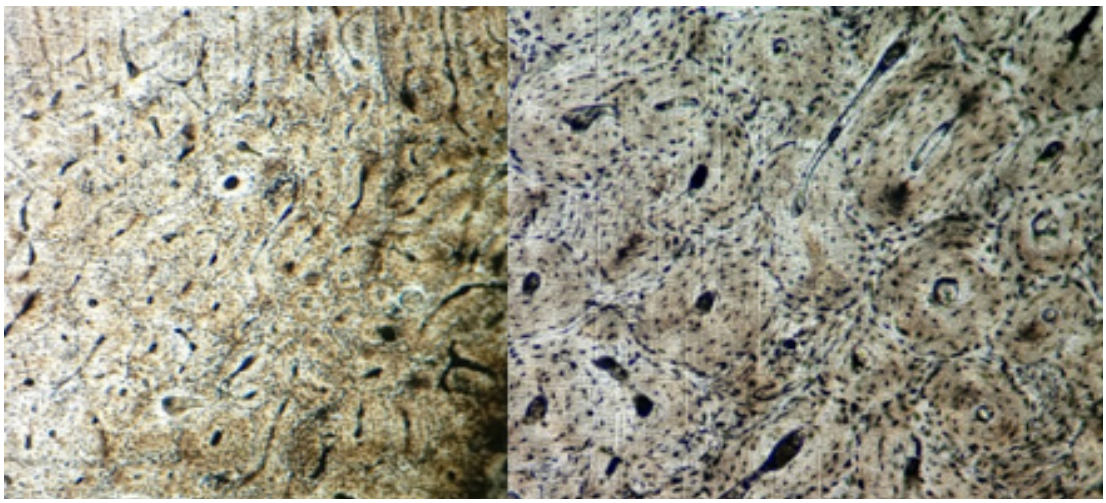


Figura 5. Imágenes de muestras del hueso fémur de equino (*Equus caballus*), en el cual se visualiza la penetración del colorante y visualización de las diferentes estructuras óseas. Aumentos 4X y 10X

Como se observa en la Figura 7, la resina comercial logró una penetración total en la cavidad medular y los espacios porosos del hueso. La transparencia del bloque permitió un desbastado controlado, alcanzando los 50 μm, sin opacidad residual. En comparación con la técnica de la UADY, que utiliza medios de alta gama, la resina epóxica comercial mostró un índice de refracción similar, facilitando el paso de luz transmitida para la identificación de estructuras clave.

En el análisis microscópico (Figura 8), se identificaron, con absoluta claridad, los sistemas de Havers, las laminillas intersticiales y las líneas de cemento. La estabilidad de la resina comercial evitó el colapso de los bordes de los osteocitos, permitiendo una observación precisa de los mismos, importantes a la hora de contabilizar para la estimación de especie. Este hallazgo es fundamental, ya que demuestra que el costo reducido del material no compromete la resolución diagnóstica necesaria en un peritaje forense.

La ausencia de artefactos térmicos y de microfracturas por contracción celular o tisular se limita estrictamente al nivel de resolución de la microscopía óptica convencional (40X y 100X) utilizada en este estudio, estándar para el diagnóstico histomorfológico forense de rutina.

La principal ventaja observada es la adherencia interfacial. La resina epóxica se ancló firmemente a la superficie ósea, actuando como un escudo

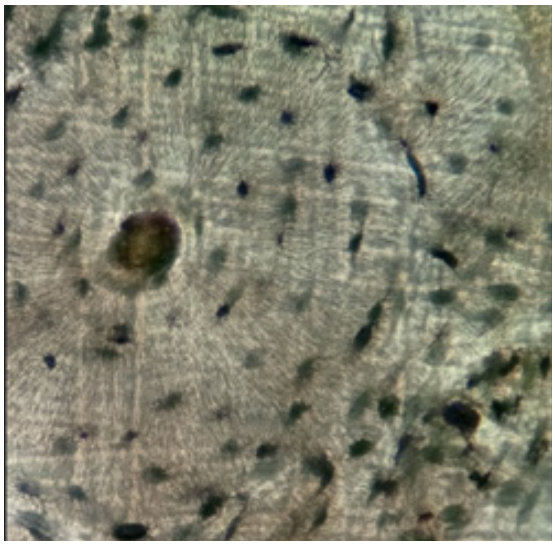


Figura 6. Imagen de muestra del hueso fémur de equino (*Equus caballus*), sin coloración, se logra visualización de estructuras óseas clave. Aumento 40X

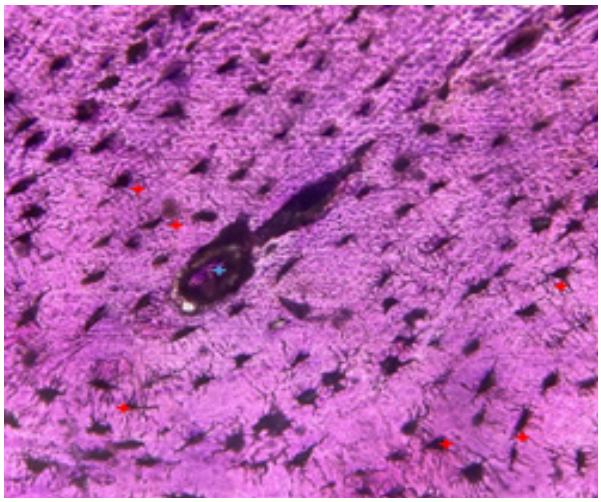


Figura 7. Imagen de una Osteona del hueso fémur de equino (*Equus caballus*), se observa la penetración del colorante hematoxilina y eosina y se visualizan estructuras óseas clave. Asteriscos rojos (osteocitos y sus prolongaciones). Asterisco azul (canal de Havers). Aumento 40X

protector. Esto es crucial en Ciencias Forenses para la conservación de la evidencia a largo plazo y para permitir análisis moleculares posteriores, como la extracción de ADN de restos embebidos.

La comparación de este protocolo con la técnica de la UADY demuestra que, si bien el uso de una resina especializada como Biodur® ofrece un estándar superior en bioarqueología, la resina epóxica comercial representa una alternativa técnica

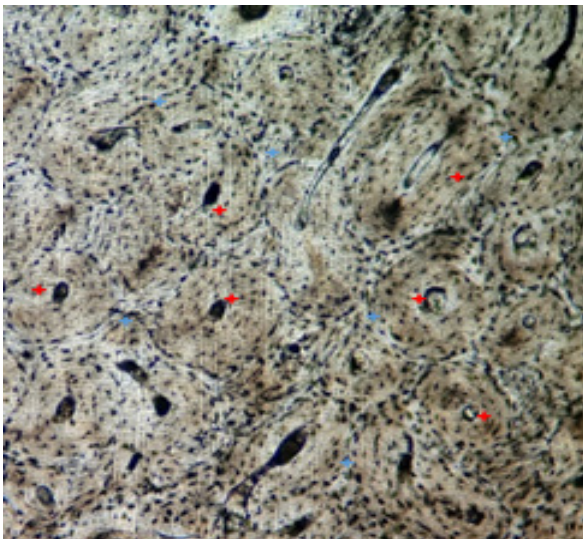


Figura 8. Imagen de un corte del hueso fémur de equino (*Equus caballus*), sin colorear se observan estructuras óseas claves. Asteriscos rojos (osteonas). Asteriscos Azules (líneas de cemento). Aumento 10X

y económicamente viable para las Ciencias Forenses. Esto es fundamental para laboratorios forenses en contextos de presupuesto limitado o alta demanda de peritajes.

La técnica propuesta simplifica el acceso a la histomorfología de alta resolución. La eliminación de insumos costosos de importación y de equipos complejos, posiciona a la resina epóxica como la opción más eficiente para laboratorios locales y regionales que buscan seguir el rigor científico del protocolo de la UADY con recursos limitados.

Conclusiones

1. Este protocolo permite el acceso a la histomorfología ósea en laboratorios de recursos limitados, permitiendo que la evidencia procesada cumpla con los estándares científicos requeridos para su presentación en procesos judiciales.
2. El sistema epóxico comercial específico evaluado en esta investigación demostró ser una alternativa metodológica cualitativamente viable, económicamente accesible y

operativamente eficiente para la inclusión y corte de tejido óseo no descalcificado en estudios histomorfológicos de rutina.

3. Bajo las condiciones estandarizadas en este protocolo, el medio permitió una adecuada preservación de los componentes microestructurales de interés forense a nivel de microscopía óptica en 20 especies de vertebrados, incluyendo *Homo sapiens*.
4. Si bien esta resina de uso comercial no reemplaza los estándares métricos ni las certificaciones analíticas de los medios especializados de grado laboratorio, su bajo costo, reducción de riesgos químicos ocupacionales y simplificación técnica la configuran como una herramienta valiosa y sostenible para la optimización de recursos en la investigación antropológica y pericial contemporánea.

Recomendaciones

Se sugiere utilizar siempre balanzas de precisión para la mezcla de la resina y el endurecedor, ya que variaciones mínimas en la proporción pueden alterar la dureza del bloque y dificultar el proceso de desgaste manual.

Dado que las resinas comerciales son sensibles a la humedad, se recomienda realizar el proceso de polimerización en ambientes de alta humedad relativa para evitar la formación de opacidades en la superficie del bloque.

Aunque no es estrictamente necesario para muestras pequeñas, el uso de una bomba de vacío podría mejorar aún más la infiltración en restos óseos altamente porosos o arqueológicos degradados.

Se recomienda realizar estudios complementarios para evaluar la tasa de éxito en la extracción de ADN de muestras embebidas en este tipo de resinas, siguiendo los precedentes de éxito en polímeros similares.

Es importante que el personal técnico de los laboratorios se familiarice con los tiempos de gelificación específicos de la marca de resina elegida, antes de procesar muestras forenses únicas e irremplazables.

Declaración de Conflicto de Interés

Los Autores declaran no tener conflictos de interés.

Agradecimientos

Se agradece a los Licenciados en Histotecnología Rafael Rosales y Venus Rubio, del Laboratorio de Histoquímica de la Cátedra de Histología de la FCV-UCV por su valioso apoyo en el lijado y procesamiento de las muestras.

Referencias Bibliográficas

1. Alvarado-Rico S, Céspedes R, Fernández V. Histomorfología Ósea Comparada en Diferentes Especies y su Utilidad en Medicina Forense. Rev Fac Cienc Vet UCV. 2023;64(1):64(1): 03-12. DOI: https://doi.org/10.56306/RFCV.2024.64.1.01
2. Morales NS, Galligani P, Barrientos G. Diagénesis en los niveles de organización más bajos del hueso: estado de la cuestión y vías de abordaje en estudios zooarqueológicos. Rev Colomb Antropol. 2025;61(2):2824. Disponible en: https://doi.org/10.22380/2539472x.2824
3. Navarro TG, Jannello M, Cerda IA, Béguelin M, Vázquez R. Análisis histológico de restos óseos humanos: una propuesta metodológica para la preparación de muestras de tejido óseo cortical sin descalcificar. Rev Mus Antropol. 2018;11(1):121-126. http://revistas.unc.edu.ar/index.php/antropologia/index
4. Monteiro YF, Patrício EA, Campos LE, Soares K, Nogueira BV, Bittencourt AS. A new epoxy for plastination: feasibility and applicability analysis of the conservation of biological tissues. Braz J Med Biol Res. 2025;58:e14839. Disponible en: https://doi.org/10.1590/1414-431X2025e14839 ISSN 1414-431X
5. Volkmann G, Woodward HN. Polyester or epoxy: assessing embedding product efficacy in paleohistological methods. PeerJ. 2020;8:e10495. Disponible en: http://doi.org/10.7717/peerj.10495
6. Sora MC, Latorre R. E12 technique: Conventional epoxy resin sheet plastination. Anat Histol Embryol. 2019;48(6):535-541.
7. García-García P, *et al*. Research Applications of Plastination: A Thematic Review of Epoxy Resin

Techniques in Morphological Investigation. Int J Morphol. 2025;43(5):1649-1657.
8. Flux AL, Schultz M, Hummel S. Ancient DNA Analysis from Epoxy Resin Biodur®-embedded bones. BioTechniques. 2022;73(3):113-122. Disponible en: doi.orgFederal Bureau of Investigation. Handbook of Forensic Services: DNA Analysis of Skeletal Remains. Washington, DC: FBI; 2004.
9. Tiesler V. Manual de taller de bioarqueología. Mérida: Facultad de Ciencias Antropológicas, Universidad Autónoma de Yucatán; 2004.
10. Prophet EB, Mills B, Arrington JB, Sobin LH, editores. Manual de métodos histotecnológicos del Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas de la Nación (AFIP). México: McGraw-Hill Interamericana; 1992.