

ARTÍCULO**¿Puede la plastinación a base de poliuretano ser un método de conservación de órganos?****Mauricio Pedraza Ciro¹, Andrea Ochoa¹, Verónica Vargas¹, Diego Aldana Barón², María Camila Pedraza Ciro³, María José Castaño⁴, Miguel Ruiz Rubiano⁵**¹Médico Interno, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque.²Coordinador morfología, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque.³Medico General, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque⁴Residente Neurocirugía, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque⁵Director Grupo Anatomía, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque

mpedrazap@unbosque.edu.co, mcastano@unbosque.edu.co,

aldanadiego@unbosque.edu.co, mpedrazac@unbosque.edu.co, aochoae@unbosque.edu.co

¿PUEDE LA PLASTINACIÓN A BASE DE POLIURETANO SER UN MÉTODO DE CONSERVACIÓN DE ÓRGANOS?**RESUMEN****Introducción:** En el artículo, se plantea un método de plastinación en corazón de cerdo a base del uso de poliuretano como material final para la impregnación, forzada. Esta investigación continúa la tradición de búsqueda y formación de un método de plastinación diferente al planteado y estandarizados por Gunther von Hagens**Objetivos:** Con este trabajo, nos planteamos realizar una prueba de plastinación con poliuretano en corazón de cerdo y así mismo poner a prueba el poliuretano como material para la plastinación de corazones de cerdo e identificar la técnica de plastinación con poliuretano.**Métodos:** Se buscó en bases de datos nuevos materiales de plastinación con bases en las actualizaciones y búsquedas que ha realizado el grupo GESS a lo largo de su creación, encontrando que el poliuretano por sus características químicas podría llegar a ser uno de los materiales para hacer una plastinación viable.**Resultados:** Se logró la plastinación con la técnica planteada de un corazón de cerdo, el cual adquirió características de flexibilidad y de duración a lo largo de 1 año de estudio posterior a la misma.

Conclusiones: La plastinación con poliuretano plástico resultó un método viable, aunque se recomienda que se debe seguir en la búsqueda de nuevos materiales.

Palabras clave: Plastinación, Morfología, Educación médica, Corazón, Poliuretano, Anatomía.

CAN POLYURETHANE-BASED PLASTINATION BE AN ORGAN CONSERVATION METHOD?

SUMMARY

Introduction: The article proposes a method of plastination in pig's heart based on the use of polyurethane as the final material for forced impregnation, this research continues the tradition of finding and forming a different plastination method than that proposed and standardized by Gunther von Hagens.

Objectives: With this work we aim to perform a plastination test with polyurethane in pig's heart as well as test polyurethane as a material for the plastination of pig hearts and identify the technique of plastination with polyurethane.

Methods: New plastination materials were searched in databases with bases in the updates and searches that the GESS group has performed throughout its creation. finding that polyurethane by its chemical characteristics could become one of the materials to make a plastination viable.

Results: The plastination was achieved with the technique proposed of a pig's heart, which acquired flexibility and duration characteristics over 1 year of post-plastination study

Conclusions: Plastination with plastic polyurethane was a viable method for heart plastination, although it is recommended that it should be followed in the search for new materials.

Keywords: Plastination, Morphology, Medical Education, Heart, Polyurethane, Anatomy.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el estudio de la anatomía humana en muchas escuelas de medicina se ha limitado al uso de herramientas tecnológicas que por medio de gráficos 2D-3D pretende dar una aproximación real del cuerpo humano y sus órganos. Sin embargo, según estudios realizados, se ha demostrado que para el personal de salud,

en especial los médicos, es de crucial importancia el estudio de la anatomía por medio de la disección (1, 2), no sólo para dar una proporción real del cuerpo humano, que ayuda a la abstracción de los conocimientos, sino además para el desarrollo de habilidades semiológicas y quirúrgicas en la vida profesional del

médico (3).

En el caso del Departamento de Morfología de la Universidad El Bosque, es la nueva normatividad que regula la utilización, transporte, y conservación de cadáveres humanos para el uso académico lo que limita la adquisición de los cadáveres y por tanto su estudio. La resolución 0042 de 2008, artículo 20 (4) y las nuevas leyes de protección a víctimas del conflicto armado, como la ley 1448 del 2011- capítulo V - artículo 178 (5), entre otras, limitan el acceso a los llamados cuerpos NN o cadáveres no reclamados, los cuales hasta ahora eran donados a las instituciones con fines educativos e investigativos. De acuerdo a esto, las facultades de ciencias de la salud junto con sus estudiantes se ven afectados en la adquisición y utilización de dichos cuerpos para el desarrollo de habilidades prácticas anatómicas.

Por lo cual, junto al grupo de investigación surge la siguiente pregunta: ¿Puede la plastinación a base de poliuretano ser un método de conservación de órganos?

En el artículo se plantea un método de plastinación en corazón de cerdo a base del uso de poliuretano como material final para la impregnación forzada. Esta investigación continúa la tradición de búsqueda y formación de un método de plastinación diferente al planteado y estandarizados por Gunther von Hagens, es por esto que junto al grupo de investigación *Grupo de Educación Superior en Salud* (GESS) se continúa hasta el día de hoy en la indagación de un método adecuado, debido a que como miembros activos de las ciencias de la salud vemos la importancia de encontrar formas que permitan perpetuar y promover el aprendizaje de la anatomía humana de forma práctica y al alcance de la población estudiantil.

MARCO TEORICO

HISTORIA DE LA PLASTINACIÓN

El proceso de plastinación nace con su creador Gunther von Hagen, un médico-anatomista nacido en Polonia en 1945, quien trabajando como profesor universitario en el Instituto de Patología y Anatomía de la Universidad de Heidelberg, Alemania. En 1977 inventa la técnica de plastinación. Una fórmula que buscaba deshidratar los tejidos por medio de la acetona con el fin de re-ocupar ese espacio con alguna resina reactiva o polímeros que favorezcan la preservación de las características de un órgano o espécimen más allá de su vida media

natural (7).

Desde el planteamiento de la técnica hasta la perfección de la misma hubo aproximadamente 6 años de ensayo y error, hasta que en 1981 G. von Hagen presentó su patente llamada "*Tejidos Animales y Vegetales Permanentemente Preservados por la Impregnación de Resina Sintética*". Luego de esto, Gunther von Hagen fundó una empresa dedicada a vender y distribuir los materiales y máquinas necesarias para la replicación de su técnica en diferentes lugares del mundo, hasta que posteriormente, en el año 1993 inició con la creación y

distribución de diferentes especímenes y cortes alrededor del mundo, tanto para su uso académico como cultural (8).

Es por esto que hoy en día, la Revista Internacional de Morfología, (9) apoyados en editoriales como Merriam webster (10) y el "Oxford English Dictionary (11), definen a la plastinación como una técnica de preservación de tejido animal y humano, mediante el cual los fluidos corporales y la grasa son reemplazados con materiales sintéticos como resinas de silicona o poliéster para su uso académico.

Cabe resaltar que la idea de la preservación de órganos y tejidos es una técnica que se practica desde tiempo atrás, partiendo desde la técnicas de embalsamamiento que los egipcios usaban para la conservación de sus cadáveres aproximadamente en el 3.000 A.C, y las modificaciones hechas en América, hasta el último intento antes de Gunther von Hagens y el uso de formaldehído propuesto por el científico alemán William Hoffman en 1868 (12).

HISTORIA DE LA PLASTINACIÓN EN LA UNIVERSIDAD EL BOSQUE

La plastinación es uno de los temas que más antigüedad tiene dentro de la institución, gracias a la iniciativa y directiva del Dr. Miguel Ruiz que junto con el grupo de investigación GESS lograron su primera publicación sobre plastinación en el año 2000, en la que se planteó la primera variación intra-institucional de la técnica de plastinación por medio del uso de thinner para la preservación de cortes axiales de tórax (13). En ella se plantearon problemas de accesibilidad a materias primas,

manipulación de químicos y su carga en la bioseguridad, costos excesivos y la necesidad de herramientas digitales que expliquen y diferencien las estructuras por medio de colores ya que a simple vista, luego del proceso, la anatomía no se conservó como se esperaba. Posteriormente, ese mismo año y con base en los conocimientos adquiridos se logró una segunda publicación en la que se describe la técnica de plastinación con látex de un corazón de cerdo (14).

Durante tres años, la práctica estuvo detenida mientras el grupo GESS se fortalecía en conocimientos para la próxima aplicación de esta técnica, logrando reiniciar en el año 2014. A partir de este año, en GESS se planteaba la plastinación de algunos cortes de cerebro y corazón de cerdo con resina de poliéster, proyecto que fue llevado a su finalización y éxito. Sin embargo se observó la persistencia de errores en la conservación de color y tamaño de los especímenes, evidenciando que con el paso de los meses los mismos perdían maleabilidad (15).

La última publicación realizada en la institución fue en el año 2016. Se trató de una revisión narrativa que busca exponer las ventajas y desventajas de la técnica expuesta y de su carga religiosa, cultural, ética y económica, teniendo en cuenta que la materia prima del proyecto y el propósito del mismo conllevan a la adquisición y exposición de cadáveres (16).

PROPIEDADES DEL POLIURETANO

El poliuretano es un polímero que contiene un enlace uretano en su cadena principal. Este se fabrica a partir de la reacción

química entre polioles e isocianatos, y según el producto final que se requiera o se necesite, se adiciona un tercer compuesto reactivo o catalizador. (17).

Los poliuretanos se pueden clasificar en 2 tipos: en termoestables o termoplásticos. La diferencia principal entre los dos es el grado de entrecruzamiento de sus estructuras (cadenas poliméricas), siendo este, un factor estructural crítico que contribuye a que el material adquiera altas propiedades elásticas y por lo tanto, dando grandes diferencias entre sus características y sus usos. En los termoestables, los entrecruzamientos están formados por enlaces covalentes creados durante el proceso de vulcanización y en el caso de los termoplásticos, estos contienen entrecruzamientos que se forman a partir de dipolos débiles o de enlaces por puente de hidrógeno, lo cual ocurre solamente en una de las fases del material, haciendo que sean relativamente fáciles de usar en su fabricación. Adicionalmente, no necesitan de vulcanización para su proceso y se caracterizan por poder ser utilizados mediante los procesos como inyección, extrusión y soplado (18).

Dentro de las propiedades del poliuretano se encuentran las siguientes:(17, 18,19)

- Provee protección a la superficie en donde se aplique, en nuestro caso el tejido (órgano).
- Otorga duración por tiempo indefinido con una protección adecuada.
- Es altamente resistente a la absorción del agua.
- Al elevar la temperatura, se vuelve

blando, flexible y moldeable, sin cambiar sus propiedades iniciales, incluso al realizar este proceso varias veces.

- Tiene la capacidad de ser estirado con alargamientos moderados y al suspender la tensión, regresa a su estado original (ausencia de plastodeformación permanente).
- Ayuda a dificultar el crecimiento de hongos y/o bacterias, en el material u objeto donde se aplique.
- Posee una gran resistencia a distintas sustancias como a los ácidos (excepto ácidos muy concentrados), álcalis, agua dulce, agua salada, hidrocarburos, gases de escape o aire industrial (SO₂).
- Es resistente al no cambiar sus características de tamaño como encogerse o hincharse a los siguientes materiales como hidrocarburos clorados, acetonas y a los esterés.
- Puede ser pintado o teñidos con gran facilidad por la mayoría de los tipos de tintes.
- Puede ser usado para el moldeo por inyección.
- Gracias a que el poliuretano termoplástico consume menos energía y a que todas sus características le permiten ser asequible y de fácil utilización, es posible además tener un control más cercano y más económico de la calidad del producto.
- Es considerado ideal para aplicaciones o usos en los que se requieren características más finas, suaves al tacto, y que además

mejore la resistencia al impacto.

- Por último, posee un potencial de ser reciclable, ya que puede ser moldeado, extruidos y ser reutilizados como plásticos.

PROCEDIMIENTO DE PLASTINACIÓN

La técnica de plastinación estandarizada por el *Instituto Gunther von Hagens* está basada en cinco fases:

1. Fijación:

Esta es la primera fase de la técnica de plastinación para cualquier tejido o cuerpo en la que se vaya aplicar impregnación de formaldehído por las arterias, que es lo que ayudará a preservar temporalmente, deteniendo el proceso de descomposición tisular y actuando además en el tejido como bactericida. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para esta fase, el instituto Gunther Von Hagens indica que debe ser inyectado directamente el formaldehído en las arterias y no solo sumergido como se hace en otras técnicas. Después de realizar esta etapa es cuando se puede empezar a disecar el espécimen, según lo que necesite el docente, estudiante o persona que vaya a plastinar el tejido u órgano, y según las estructuras que quieran resaltar. Usualmente, en esta fase se deben retirar tejidos como la piel o el tejido celular subcutáneo (grasa) que dificultan el enfoque del órgano plastinado. (7,8)

2. Deshidratación y desengrase

Esta segunda fase consiste en lograr la deshidratación del espécimen o de los tejidos por medio de un baño acetona

enfriada con hielo. Esta fase dura de dos a tres meses, dependiendo del tamaño del órgano. Luego se deja a temperatura ambiente, en donde el agua y las grasas se disuelven, siendo éstas reemplazadas por la acetona. Este paso es de gran importancia para el resultado de la plastinación, puesto que los fluidos corporales no se pueden intercambiar con los polímeros, mientras que la acetona sí lo puede hacer., Por último, la acetona tiene la característica de evaporarse fácilmente, lo que permite el paso a la siguiente fase (7, 8).

3. Impregnación forzada

En la tercera fase del proceso se toma el espécimen ya deshidratado y desengrasado y se lleva a una cámara al vacío en donde la presión llega al punto en el que la acetona cambie de su estado físico y pase a ser gaseoso. Cuando la acetona esté en su estado gaseoso, el gas es bombeado desde la cámara y reemplazado lentamente por el polímero que se seleccionó para usar en la plastinación. Esto se logra debido a que la diferencia de presión provoca que el polímero líquido entre a la fuerza en el tejido. Esta fase puede tardar de días a semanas (2 a 5 semanas) en completarse. Estos polímeros son reactivos, lo que quiere decir que cuando se manipulan con calor, gas o agua, se endurecen. Por último, el polímero que se seleccione para la plastinación, determina la translucidez, dureza y durabilidad de este (7, 8).

4. Posicionamiento de la estructura

En esta cuarta fase, el principal objetivo es definir cómo va a quedar el espécimen al

final de la plastinación. Esta se lleva a cabo posterior a la impregnación forzada. El espécimen u órgano se dispone en la posición deseada según la finalidad de la plastinación, lo cual se realiza disponiendo cada una de las estructuras del espécimen correctamente, para posteriormente fijarlas por medio de alambres, agujas, grapas o bloques de espuma, de tal forma que ayuden a mantener la posición deseada sin llegar a dañar o modificar el espécimen (7, 8).

5. Endurecimiento

Por último, la quinta fase de la plastinación es el endurecimiento. Según el polímero que se ha escogido para este proceso, se aplica gas, luz o calor para finalmente poder obtener el espécimen con las propiedades del poliuretano seleccionado y el posicionamiento deseado. Así, el espécimen preserva la mayoría de sus características originales como lo son el tamaño o el color (7,8).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se planteó un ensayo de laboratorio de tipo analítico experimental en el cual se trabajó con corazones de cerdo por medio de siguiente técnica.

Técnica de disección

- **Disección de ventrículo derecho:** se inició una incisión en tronco pulmonar, llegando al cono arteriolar descendiendo 1 cm paralelo al surco interventricular anterior hasta el vértice del ventrículo derecho. Con este corte, se desplaza la pared anterior del ventrículo derecho para visualizar sus estructuras internas (Figura No.1).
- **Disección de ventrículo izquierdo:** para visualizar el ventrículo izquierdo, se hace una incisión desde el ápice del corazón por la mitad de la cara anterior del ventrículo izquierdo, hasta el surco coronario por debajo de la orejuela

izquierda para su visualización completa. Luego se hace un corte a través de la aorta ascendente para visualizar las válvulas sigmoides y los ostium coronarios (Figura No. 1).

- **Aurícula derecha:** se disecciona por el corte de las venas cavas superior e inferior. Con eso se ven todas las estructuras internas (Figura No. 1).
- **Aurícula izquierda:** se hizo un corte desde el ventrículo izquierdo por el surco coronario (Figura No. 1).

Técnica de plastinación

La técnica que será descrita a continuación está basada en la técnica estandarizada por Von Hagens y los descubrimientos expuestos por el grupo GESS (13, 14, 15, 16) en sus anteriores investigaciones.

1. Fase de limpieza I (Tabla No. 1 y Figura No. 2)

- Se tomó el corazón que debió ser lavado con agua sin presión excesiva (agua del lavado) para evitar el daño de estructuras como vasos y válvulas.
- Se procedió al secado al medio ambiente durante 2 horas evitando el uso de máquina de secado para no causar lesión térmica del tejido.
- Una vez terminado el secado inicial se aislaron los corazones en cajas de plástico transparente para la visualización continua.

2. Fase de limpieza II (Tabla No. 1 y Figura No. 2)

- Iniciamos con solución a base de alcohol étílico con agua en diluciones 50:50 en tres baños, separados de media hora cada uno para posteriormente modificar las concentraciones con 80% alcohol y 20% de agua durante 3 días completos en recipientes de plástico transparentes para la constante visualización y control del corazón.

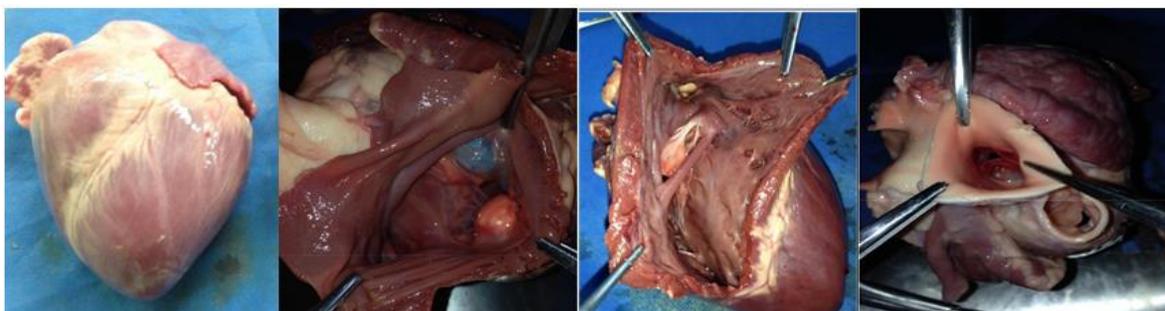


Figura No. 1. Disección de corazón con exposición de estructuras cardiacas relevantes para el estudio anatómico.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Color : Rojo oscuro ● Peso: 250gr ● Proporciones : 12cm *8 cm ● Comentario: No se encontraron más coágulos o restos grasos al interior de las cavidades ni de los vasos sanguíneo
--	--

Tabla No. 1 Resultado de Limpieza I y II:



Figura No. 2. Fase de limpieza I y II posterior a la disección

3. Fase de Fijación I (Tabla No. 2 y Figura No. 3)

- La fijación del tejido se realizó con una inmersión del corazón en formaldehído durante 15 días en recipientes de plástico previamente forrados de negro y dejados en una zona oscura y libre de humedad, con el fin de evitar el contacto de la luz con los especímenes y la resultante evaporación del aldehído utilizado.

4. Fase de Limpieza III (Tabla No. 2)

- Luego de los cinco días previos en el proceso de fijación, se realizó nuevamente una limpieza del corazón con una solución de 80% de alcohol etílico y 20% de agua. Al igual que en las fases de limpieza previa se procuró no hacer presión en el espécimen con el fin de no lesionar estructuras internas. Se realizaron 3 baños separados de media hora hasta lograr la pérdida de grasa acumulada al interior de los tejidos.

	<ul style="list-style-type: none"> • Color : Sienna / Rojo • Peso: 250gr • Proporciones : 12cm *8 cm • Comentario: El espécimen mantiene características anatómicas
--	---

Tabla No.2. Resultados Fase de Fijación I y Fase de Limpieza III



Figura No. 3. Fase de Fijación.

5. Fase de deshidratación I (Tabla No. 3):

- Se inició con bajas concentraciones de acetona a 50% por 5 días, siguiendo con concentración de 80% para terminar con una concentración del 100%.(Tabla 6). Al completar el ciclo de 5 días y buscando conservar la pureza y concentración de la acetona, se hizo recambio de la misma durante 2 meses.

6. Fase de fijación II (Tabla No. 4):

- Se realizó una segunda inmersión en solución fijadora (Formaldehído al 20 %), con el fin de embalsamar y limpiar los alcoholes usados.

7. Fase de limpieza IV (Tabla No. 4):

- Este cuarto y último lavado se realizó exclusivamente con agua corriente durante 24 horas.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Color : Sienna ● Peso: 245 gr ● Proporciones : 11,75 cm *7,85 cm
--	---

Tabla No. 3 Resultados de Deshidratación I

	<ul style="list-style-type: none"> ● Color : Café / Grisáceo ● Peso: 245 gr ● Proporciones : 11,75 cm *7,8 cm ● Comentario: Cambio de coloración, con endurecimiento de paredes musculares
---	--

Tabla No.4. Resultados Fase de Fijación II y Fase de Limpieza IV

8. Fase de deshidratación II (Tabla No. 5 y Figura No. 4)

- Se realizó inmersión del tejido en acetona al 100 % por 5 días para asegurar y reafirmar la ausencia de tejido graso en el espécimen evidenciado por la ausencia de cambios oleosos en el en el líquido.

9. Fase de impregnación (Tabla No. 6)

- En esta fase, se aisló el corazón en un recipiente no hermético sin acetona y sin contacto solar durante 1 mes, con el fin de evaporar los gases absorbidos por el tejido durante las fases anteriores.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Color : Grisáceo/Violáceo ● Peso: 230gr ● Proporciones : 11,45cm *7,55 cm ● Comentario: cambios de coloración con mantenimiento de la flexibilidad original del espécimen
---	--

Tabla No. 5. Resultados de Fase de Deshidratación II

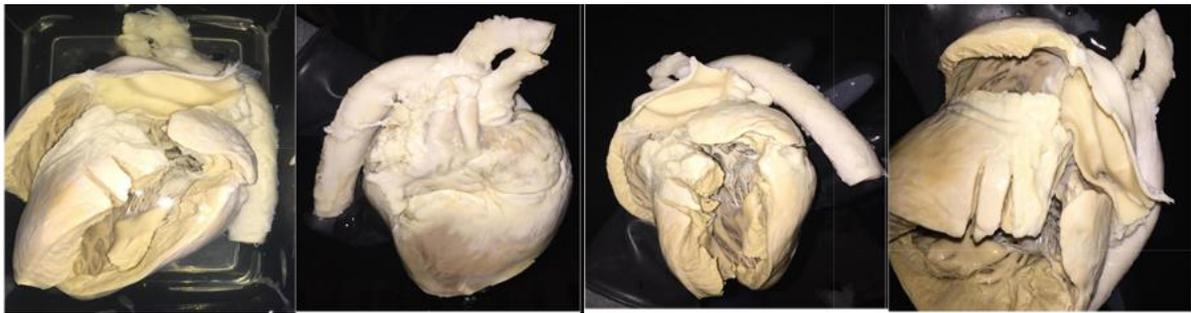


Figura No. 4. Fase de deshidratación: inmersión en acetona

	<ul style="list-style-type: none">● Color : Coral● Peso: 235 gr● Proporciones : 11,4*7,5 cm● Comentario: Pérdida total de tejido graso que rodea el espécimen, decoloración total .
--	--

Tabla No. 6. Resultados de Impregnación

10. Posición de la estructura:

- En esta fase, nos aseguramos de posicionar el corazón de tal manera que las cavidades quedaran permeables por medio de su suspensión al aire libre con la ayuda de nylon, material que sostenía al espécimen sin marcar las paredes del corazón.

●

11. Fase de plastinación (Tabla 7):

- Para este último proceso, se realizaron 3 inmersiones cada tercer día en poliuretano ESPOL-PRONATE, compuesto por Polioliol e Isocianato asegurando una cobertura completa del corazón con el material. Luego de cada inmersión, el corazón volvía a ser suspendido en el aire, asegurándonos de la movilidad y flexibilidad conservada del material.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Color : Coral / Marfil ● Peso: 235 gr ● Proporciones : 11,4*7,5 cm ● Comentario: El espécimen conservar la flexibilidad, se encuentra en el momento en proceso de secado.
---	--

Tabla No. 7. Resultados de Plastinación Final

Plan de análisis de los resultados

Para la evaluación y seguimiento del proceso de plastinación, se tomaron como variables el color, el peso, la altura y el ancho en centímetros. La variable del color se evaluó teniendo en cuenta una escala de tonalidad de colores expuesta por el departamento de estadísticas de la Universidad de Columbia en Nueva York (20), con el fin de estandarizar conceptos. El peso fue medido con una báscula gramera digital SF 400 durante todo el proyecto, utilizada únicamente para este fin. La altura y el ancho se midieron en dos puntos diferentes del corazón, tomadas desde la salida de los vasos principales hasta el ápex siendo una anterior y la otra posterior para el caso de la altura; para el ancho se tomaron dos medidas, una en la parte más ancha del corazón a nivel de las

válvulas cardiacas (base cardiaca), y una segunda medida 3 cm por encima del ápex. Estas fueron tomadas durante las diferentes etapas del proceso de plastinación con el fin de evaluar la variación porcentual de contracción o encogimiento (21) entre las etapas de fijación y deshidratación y la diferencia global entre el punto de partida y el resultado final.

Para calcular lo anterior, inicialmente se realizó un promedio de las medidas tomadas por etapas siendo así (22): $\text{Altura/Ancho total Fase (x)} = (\text{Longitud anterior} + \text{Longitud posterior}) / 2$. Posteriormente se calculó el porcentaje de contracción siendo este $(X_i - X_f / X_i) \times 100$ donde X_i = Medida inicial; X_f = Medida final. Los resultados están expuestos en las tablas 8 a la 10.6.7

RESULTADOS

De acuerdo a los procedimientos descritos en la sección de materiales y métodos, los cuales fueron llevados a cabo en su

totalidad, se logró la plastinación de un corazón de cerdo, utilizando como base la técnica estandarizada por Von Hagens, a

la cual se le realizaron las variaciones identificadas a lo largo de las investigaciones realizadas por el grupo GESS, basadas principalmente en el tiempo de exposición al material y la temperatura.

Se obtuvo como resultado final un espécimen que conservó su morfología inicial, con una disminución de tamaño y peso en general. Evaluando las variables utilizadas, se evidenció una disminución

gradual del tamaño y peso del corazón, con una pérdida del 6% del peso desde el inicio del proyecto hasta la finalización del mismo. Dichas variaciones de peso no sobrepasan el 5% entre las etapas de fijación y deshidratación I y II (Tabla No.8). Además, luego de la fase de impregnación, se evidenció un incremento leve de peso de aproximadamente 5 mcg en comparación con el peso obtenido luego de la fase de deshidratación II.

	INICIAL	FIJACIÓN I	DHT I	FIJACIÓN II	DHT II	FINAL
PESO (gr)	250	250	245	245	230	235
LARGO (cm)	12	12	11,75	11,75	11,45	11,4
ANCHO (cm)	8	8	7,85	7,8	7,55	7,5
COLOR (E.UC)	Rojo Oscuro	Sienna/Rojo	Sienna	Café / Grisáceo	Grisáceo/Violáceo	Coral / Marfil

Tabla No.8. Variables según etapa del proceso de plastinación. DHT: Deshidratación; E. UC: Escala de tonalidad de colores de la Universidad de Columbia. Producción propia

De igual manera, las medidas longitudinales y transversales disminuyeron a lo largo del procedimiento, evidenciándose una mayor disminución de longitud en la cara posterior del corazón, perdiendo 7mm durante todo el procedimiento, en comparación con la cara anterior, la cual perdió 4 mm en total. Se identificó además que dichas pérdidas se dieron luego de la fase de deshidratación II (Tabla No. 9).

De la misma forma, hubo una disminución en las medidas transversales. Sin embargo, esta no fue tan marcada como las pérdidas longitudinales, ya que la diferencia de pérdida entre la base del corazón y el ápex es de 1mm, habiendo perdido 5 mm el punto más cercano al ápex y 4 mm la base del corazón (Tabla No. 9).

De forma paralela, se evaluó el porcentaje de contracción en tres puntos diferentes del proceso. El primero y el segundo entre los procesos de fijación y deshidratación I y II respectivamente, y el tercero entre la deshidratación II y el producto final, evidenciándose un porcentaje de contracción longitudinal de 2,1% para el primer paso de fijación I a deshidratación I, un porcentaje de 2,6 para el paso de fijación II a deshidratación II, y un

0,4% desde la deshidratación II hasta el producto final.

ANCHO (CM)				
	FIJACIÓN I	DHT I	FIJACIÓN II	DHT II
BASE CARDIACA	8	8	8	7,6
ÁPEX	8	7,7	7,6	7,5

ALTURA (CM)				
	FIJACIÓN I	DHT I	FIJACIÓN II	DHT II
CARA ANTERIOR	12	12	12	11,6
CARA POSTERIOR	12	11,5	11,5	11,3

Tabla No. 9. Altura y Ancho (cm) por etapas del proceso de plastinación. DHT: Deshidratación

Igualmente, el porcentaje de contracción en el eje horizontal fue de 1,9% para el paso de fijación I a deshidratación I, 0,6% desde la deshidratación I hasta la fijación II y 3,2% en el transcurso de la fijación II a la deshidratación II, finalizando con un porcentaje de contracción de 0,7% entre la fase de deshidratación II hasta el producto final (Tabla 10).

Con respecto al color, se observó un cambio gradual del mismo durante todo el proyecto, obteniendo como producto final

un color coral-marfil, que inició desde el final de la segunda fase de deshidratación y se hizo más evidente luego de la impregnación forzada (Tabla 8).

Se identificaron otros cambios durante el proceso como la flexibilidad del corazón, la cual fue disminuyendo desde la segunda fase de fijación; sin embargo, no se perdió en su totalidad, ya que el corazón no es totalmente rígido y es posible abrir y cerrar las paredes del corazón sin mayor esfuerzo.

VARIACION PORCENTUAL DE CONTRACCIÓN				
	FIJACIÓN I-DHT I	DHT I-FIJACIÓN II	FIJACIÓN II-DHT II	DHT II-PRODUCTO FINAL
LARGO (cm)	2,1%	0,0%	2,6%	0,4%
ANCHO (cm)	1,9%	0,6%	3,2%	0,7%

Tabla No. 10. Variación porcentual entre fases de fijación y deshidratación I y II respectivamente.

Con respecto al olor del corazón, inicialmente tenía un aroma a hierro, típico de sangre coagulada. Se identificó que el corazón adquiere fácilmente el olor del producto en el cual era inmerso, dependiendo de la fase en la que se encontrara. Al final del proyecto, el corazón obtuvo el olor característico del

poliuretano.

Otro cambio llamativo ocurrió a nivel del tejido adiposo periauricular, que a pesar de no haber sido muy prominente luego de la disección inicial, su volumen y cantidad disminuyó lo suficiente como para ser visible.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que efectivamente el poliuretano es un material óptimo para la realización del proceso de plastinación, según la técnica y pasos establecidos dentro de la investigación. Uno de los cambios más significativos dentro del presente estudio fue el tiempo de exposición del órgano a las diferentes sustancias utilizadas en cada etapa. Para el proceso de deshidratación se utilizó un mínimo de 7 días, en contraste con la técnica original planteada por Von Hagens en 1981 en la que el tiempo mínimo es de 3 semanas (24). El tiempo establecido en este proyecto está basado en estudios realizados en el año 2002 por M.A Brown donde el tiempo mínimo efectivo demostrado varía entre 5 y 7 días (25).

Se utilizó acetona a temperatura ambiente, a diferencia de la técnica original en la que se utiliza acetona fría. Sin embargo, los resultados de este estudio parecen correlacionarse con los hallazgos de M.A Brown y su estudio con la Universidad de Tennessee del año 2002 donde se realizó la

etapa de deshidratación con acetona a temperatura ambiente con especímenes cardíacos de hasta 2.5 cm de grosor (25).

En la primera fase del estudio, se utilizaron 2 ejemplares cardíacos a los cuales se les realizó 2 procedimientos de deshidratación diferentes en cuanto al tiempo de exposición, pero sin diferencias en las concentraciones de acetona utilizadas. Aquel corazón expuesto menos de 5 días tuvo un proceso de putrefacción acelerado y no fue apto para el estudio. El segundo ejemplar tuvo un proceso de deshidratación mayor a 1 semana con el fin de mejorar esta fase en búsqueda de una mejor impregnación de poliuretano. Se identificó una disminución mínima en las dimensiones generales cardíacas luego de los procesos de deshidratación. Una variable que mejoró con respecto al último estudio experimental presentado por el grupo GESS donde el órgano utilizado se deformó notablemente alterando sus características al rotar sobre su propio eje (9); ésta disminución de las dimensiones

era un hallazgo esperado teniendo en cuenta estudios revisados previamente en los que se demuestra el papel protagónico de la acetona teniendo en cuenta sus propiedades químicas (26).

De igual modo, se identificó una relación directa entre el uso de acetona en la fase de deshidratación y su alto impacto reductor en el tejido adiposo que puede alcanzar hasta un 10% (27), resultados que soportan los hallazgos encontrados en el resultado final de este estudio, donde la grasa periauricular del corazón disminuyó significativamente.

Una forma de disminuir el porcentaje de deformación y contracción del órgano está basada en el uso de maquinaria especial que maneja el espécimen al vacío (28), recursos con los cuales no contábamos para la realización del estudio. Sin embargo, uno de los hallazgos más particulares fue la contracción asimétrica que sufrió el corazón, la cual a pesar de no ser significativa es evidente y puede estar asociada a la posición que tuvo el corazón durante la mayoría del estudio, pues la cara posterior estaba en constante contacto con el fondo del recipiente utilizado. Dicha situación es identificada como una limitante dentro del presente estudio, dado que no permite determinar si tuvo o no efecto sobre el porcentaje de contracción del corazón.

En comparación con otros estudios revisados que en su mayoría utilizaron

otro tipo de materia prima diferente al poliuretano para realizar la plastinación, el porcentaje de contracción encontrado en este estudio no supera el de los otros estudios, en los que el promedio de contracción varía entre 4% y 16% (21, 24), alcanzando en este estudio hasta un 7% total de contracción (Tabla No. 10). Cabe aclarar sin embargo, que cada estudio utilizó un método diferente para la cuantificación y medición de la contracción, además de la utilización de polímeros y órganos diferentes al corazón. Relacionamos este hallazgo con resultados de estudios previamente realizados en los que se plantea un porcentaje de contracción menor utilizando acetona versus el uso de metanol. Sin embargo, el uso de acetona a temperaturas bajas disminuye aún más el porcentaje de contracción (27).

Otra variación importante que se realizó en este estudio fue el manejo completo y permanente bajo temperatura ambiente que para la ciudad de Bogotá, donde se realizó todo el proyecto, varía entre los -2° C y los 23° C. Cabe resaltar que el corazón estuvo desde el inicio hasta el final del proyecto fuera de la luz solar y la humedad. Esto concuerda con los hallazgos encontrados en un estudio realizado en el 2007 en Tennessee (29), donde se planteó como temperatura ambiente ideal un máximo de 25°C para la realización de las últimas dos fases del

proyecto. Sin embargo, existe evidencia en la cual se emplean temperaturas extremas que varían dentro de los -25°C y los 40°C que prometen resultados diferentes (30).

Lo anterior demuestra y realza una de las características del poliuretano termoflex utilizado en este proyecto. Una de las razones por lo cual fue escogido como materia prima, entre otras, fue la particularidad de poder ser manejado sin necesidad de exposición a temperaturas extremas, facilitando su uso. El poliuretano termoflex, es un material de aislamiento hermético que reduce los excesos y depósitos del mismo, ayudando a modelar piezas según sus propias características, además de ser un material de baja biodegradabilidad lo cual asegura una duración prolongada.

Este estudio, al ser de tipo experimental, no altera conductas sobre seres humanos ya que se emplean técnicas y métodos que no tiene implicaciones sobre variables biológicas, psicológicas, sociales o fisiológicas. El plastrón utilizado para este experimento fue extraído de un cerdo ya fallecido. Sin embargo, el tiempo transcurrido entre la muerte del animal y el inicio del proceso de plastinación no superó las 24 horas, teniendo en cuenta que el uso de tejidos u órganos de cadáveres de larga data no tiene los mismos resultados frente al uso de especímenes frescos(31).

Hubo también un cambio significativo en

el color del corazón, el cual inició siendo rojo oscuro, típico de un tejido congestionado, para luego ir disminuyendo desde la primera fase de la investigación, hasta llegar a un color coral-marfil. Llama la atención que en los estudios realizados previamente por el grupo GESS, la mayoría de los órganos utilizados culminaron con un color negro oscuro-pardo (13, 14, 15). Esto se ha asociado fuertemente a la exposición prolongada del tejido utilizado al formol en el proceso de plastinación (19, 32,33). Además se ha demostrado que el uso de polímeros como el poliuretano no altera el color del órgano utilizado (34).

Es importante destacar que al final de la investigación, el poliuretano no modificó las estructuras internas y no ocluye la luz inicial de la salida de los vasos principales, permitiendo identificar fácilmente las válvulas cardíacas. De la misma forma, se logró conservar la movilidad y flexibilidad del espécimen lo necesario para exponer las estructuras internas cardíacas. Sin embargo, presenta un leve nivel de rigidez en contraste con los estudios realizados previamente por el grupo GESS, en los que una de las principales observaciones ha sido el cambio de tamaño y grado de rigidez de los especímenes que llega a modificar la anatomía inicial y limita su observación(14,15).

Dentro del proceso de plastinación se evidencio que el corazón adquiere los

diferentes olores de cada uno de los químicos utilizado, razón por la cual el olor característico del poliuretano identificado como plástico fue finalmente

el obtenido, por lo que éste no se clasifica como tóxico y no necesita medidas de aislamiento o de bioseguridad especiales según la ficha técnica del producto.

CONCLUSIÓN

- En este experimento, la plastinación con poliuretano plástico líquido es viable para la plastinación de órganos.
- Utilizar el poliuretano termoflex demostró ser útil para la preservación del corazón durante 1 año mínimo.
- Con base en nuestra experiencia, es muy importante mantener las concentraciones expuestas a lo largo del manuscrito, ya que como comentamos en el análisis es así como se logró llegar a una técnica adecuada.
- Finalmente, se evidencia que el proceso de plastinación debe permanecer en una búsqueda constante, ya que no es solo un método que ayuda a promover la investigación, sino que también promueve el estudio de la anatomía en los estudiantes de las ciencias de la salud. Igualmente, debe seguirse estudiando el uso del poliuretano en la preservación de los tejidos en diferentes tipos de órganos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se use la misma técnica implementada a lo largo del manuscrito para obtener los mismos resultados.
- Es importante continuar en la búsqueda de nuevos métodos de plastinación en conjunto al grupo de investigación de la Universidad El Bosque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Bravo H. Plastination an additional tool to teach anatomy / Plastinación, una herramienta adicional para la enseñanza de la Anatomía. *International Journal of Morphology* 2006 Septiembre 1;24(3):475.
- (2) Riederer BM. Plastination and its importance in teaching anatomy. Critical points for long-term preservation of human tissue. *J Anat* 2014 -3;224(3):309-315.
- (3) Sarma HP, Islam M. Impact of Dissection on Undergraduate and Post Graduate Study in

- Medical Colleges. Scholars Journal of Applied Medical Sciences (SJAMS) [Internet]. 2015 [citado 17 Julio 2016];3(2A):551-554. Disponible en: <http://saspublisher.com/wp-content/uploads/2015/03/SJAMS-32A551-554.pdf>
- (4) Consulta de la Norma: RESOLUCIÓN 485 de 2002. 2002; [citado 10 Junio 2017] Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5970>
- (5) Santos Calderón J, Vargas Lleras G, Restrepo Salazar J, Molano Aponte D. Ley de víctimas y restitución de tierras. 1st ed. Bogotá (Colombia): El Ministerio; 2011. [citado 10 Junio 2017] Disponible en: http://www.centrodememoriahistorica.gov.co/descargas/ley_victimas/ley_victimas_completa_web.pdf
- (6) Shahryar Pashaei. A Brief Review on the History, Methods and Applications of Plastination Una Breve Reseña sobre la Historia, Métodos y Aplicaciones de la Plastinación. International Journal of Morphology 2010 Diciembre,;28(4):1075-1079. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022010000400014](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022010000400014&lng=es). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022010000400014>.
- (7) Body Worlds[Internet]. Gunther von Hagens Body Worlds. 2005 [citado 9 Julio 2016]. Disponible en: http://www.bodyworlds.com/en/gunther_von_hagens/life_in_science.html.
- (8) Martinez B. "Gunther von Hagens' Plastination Technique". *Embryo Project Encyclopedia* *Embryo Project Encyclopedia* 2012 oct,24.
- (9) The official publication of the International Society for Plastination. The Journal of Plastination [Internet]. 2016 [citado 13 Agosto 2016];28 (1)(1):7-9. Disponible en: http://journal.plastination.org/archive/jp_vol.28.1/jp_vol.28.1_dec16_full.pdf
- (10) Definition of PLASTINATION [Internet]. Merriam-webster.com. 2017 [citado 9 Agosto 2016]. Disponible en: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/plastination>
- (11) Plastination - definition of plastination in English | Oxford Dictionaries [Internet]. [citado 9 Julio 2016]. Disponible en: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/plastination>
- (12) Beltrán Guerra J. Historia de la preservación de cadáveres humanos. - Unidad de Anatomía y Embriología - Departamento de Morfología Facultad de Medicina - Universidad Nacional de Colombia [Internet]. 2009 [citado 14 Agosto 2016];3(1). Disponible en: <http://revistas.unal.edu.co/index.php/morfologia/article/view/10855/11331>
- (13) Cespedes Roa JD, Guzmán Ramos JM, Latorre Abello LF, Ruiz Rubiano M.

Estandarización de la técnica de plastinación thinner -temperatura ambiente y su aplicación a cortes axiales de tórax, para la realización de material educativo. Bogotá: Universidad El Bosque, Medicina; 2000.

- (14) Carrillo Jiménez DJ, Ruiz Rubiano M. Descripción de la técnica de plastinación con látex para la implementación en corazón de cerdo en el museo de anatomía de la universidad El Bosque . Bogotá: Universidad El Bosque, Medicina; 2000.
- (15) Castaño Quintero MJ, Pedraza Ciro MC, Ruiz Rubiano M, Aldana Barón D. Plastinación de cerebro y corazón con resina poliéster. Bogotá: Universidad El Bosque, Medicina; 2014.
- (16) Orjuela Pardo LM, Ruiz Rubiano M. Aproximación a la técnica de plastinación en especímenes humanos para la educación médica. Bogotá: Universidad El Bosque; 2016.
- (17) Poliuretano [Internet]. tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co. 2011 [citado 19 Septiembre 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/poliuretano.html>
- (18) Juárez Varón D, Balart Gimeno R, Ferrándiz Bou S, Garcia Sanoguera D. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. Revista de Investigación Ciencias y Tecnología [Internet]. 2012 [citado 17 Noviembre 2016]; Disponible en: https://issuu.com/3ciencias/docs/3c_tecnolog_a_2
- (19) PLÁSTICOS PROTOCOLO Curso de Procesos de Manufactura. 2nd ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería; 2007. Pág. 9-25
- (20) Colors in R [Internet]. Department of Statistics Columbia University in the city of New York. 2012 [citado 28 Septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.stat.columbia.edu/~tzheng/files/Rcolor.pdf>
- (21) Sánchez Fabila G, Contreras Villanueva M, Moreno Colín R. Plastinación y Descripción Anatómica de Hígado, Bazo, Estómago y Riñones del Delfín Nariz de Botella (*Tursiops truncatus*) [Internet]. Scielo. 2016 [citado 28 Septiembre 2017]. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022016000200036&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- (22) Plastination of Some Cow and Ram Organs in Ghana for Use as Teaching Aids. International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology [Internet]. 2012;8(1). 57-68. 2012 [citado 28 Septiembre 2017]. Disponible en: http://www.ijopaasat.in/yahoo_site_admin/assets/docs/7_IJPAST-217-V8N1.9210721.pdf
- (23) RESOLUCION NUMERO 8430 DE 1993 (Octubre 4). Ministerio de Salud y Protección

- Social [Internet]. 1993 [citado 16 Junio 2017];3. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
- (24) Animal and vegetal tissues permanently preserved by synthetic resin impregnation [Internet]. PATENTES - Google Books. 1981 [citado 17 Julio 2017]. Disponible en: <https://www.google.ch/patents/US4244992#backward-citations>
- (25) BROWN M, REED R, HENRY R. Effects of Dehydration Mediums and Temperature on Total Dehydration Time and Tissue Shrinkage. *Journal of the International Society for Plastination* [Internet]. 2002 [citado 28 Septiembre 2017];17:28-33. Disponible en: http://www.plastination.org/journal/archive/jp_vol.17/jp_vol.17_28-33.pdf
- (26) Acetona [Internet]. Documentación IDEAM. 2003 [citado 27 Septiembre 2017]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia1.pdf>
- (27) M.A. Pereira-Sampaio, B.P. Marques-Sampaio, F.J. Sampaio & R.W. Henry (2011). Shrinkage of renal tissue after impregnation via the cold Biodur plastination technique. *Anat Rec*, 294, 1418–1422.
- (28) Suganthy J, Francis D. Plastination Using Standard S10 Technique-Our Experience in Christian Medical College, Vellore. *Journal of Anatomical Society of India* [Internet]. 2012 [citado 18 Octubre 2017];61(1):44-47. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003277812800128>
- (29) Shahar, T.; Pace, C. & Henry, R. W. Epoxy plastination of biological tissue: VisDocta EP73 technique. *J. Int. Soc. Plast.*, 22:46-9, 2007.
- (30) Sargon M, Tatar İ. Plastination: basic principles and methodology. *Anatomy* [Internet]. 2014 [citado 29 Septiembre 2017];8:12-18. Disponible en: <http://www.anatomy.org.tr/issue/201401/pdf/04.pdf>.
- (31) Pandit S, Kumar S, Mishra B. Comparative study of anatomical specimens using plastination by araldite HY 103, polypropylene resin, 6170H19 Orthocryl and silicone e A qualitative study [Internet]. ELSEVIER. 2015 [citado 28 Septiembre 2017]. Disponible en: [http://www.mjafi.net/article/S0377-1237\(15\)00072-6/fulltext](http://www.mjafi.net/article/S0377-1237(15)00072-6/fulltext)
- (32) Ravi S, Bhat V. Plastination: A novel, innovative teaching adjunct in oral pathology. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology* [Internet]. 2011 [citado 28 Septiembre 2017];15(2):133. Disponible en: <http://www.jomfp.in/article.asp?issn=0973-029X;year=2011;volume=15;issue=2;spage=133;epage=137;aulast=Ravi>
- (33) Alpár A, Glasz T, Kálmán M. Plastination of Pathological Specimens - A Continuing

Challenge. Journal of International Society for Plastination [Internet]. 2005 [citado 28 Septiembre 2017];20:8-12. Disponible en: http://journal.plastination.org/archive/jp_vol.20/jp_vol.20_08-12.pdf

- (34) Alpar, A., Glasz, T., and Kalman, M. Plastination of pathological specimens-a continuing challenge. *J. Int. Soc. Plast.* 2005; 20: 8-12
-