

ARTÍCULO**Conservación de órganos con el uso de poliuretano: prueba de laboratorio en corazón de cerdos**

Mauricio Pedraza Ciro¹, Andrea Ochoa Ramirez¹, Verónica Vargas¹, Diego Aldana Barón², María Camila Pedraza Ciro³, María José Castaño⁴, Miguel Ruiz Rubiano⁵, María Daniela Moreno

¹ Médico Interno, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque.

² Coordinador morfología, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque. ³ Médico General, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque. ⁴ Residente Neurocirugía, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque. ⁵ Director Grupo Anatomía, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque.

¹ Médico Interno, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque. ² Coordinador morfología, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque. ³ Médico General, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque. ⁴ Residente Neurocirugía, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque. ⁵ Director Grupo Anatomía, Grupo de educación en educación superior, Universidad El Bosque.

CONSERVACIÓN DE ÓRGANOS CON EL USO DE POLIURETANO: PRUEBA DE LABORATORIO EN CORAZÓN DE CERDOS

RESUMEN

Introducción: Se plantea un método de conservación de órganos (en este caso corazón de cerdo) desde el uso de poliuretano como poliéster principal, utilizando como base teórica la técnica expuesta por von Hagens a partir de las etapas de fijación, deshidratación, impregnación y endurecimiento o curado. La principal variable es la no utilización de cámaras al vacío para la impregnación. Este método de conservación es planteado con el fin de evitar la putrefacción de los tejidos biológicos del corazón de cerdo para perpetuar su anatomía y estudio.

Objetivos: Realizar una prueba de conservación de órganos con poliuretano en corazón de cerdo, experimentar con este último como material para la plastinación de corazones de cerdo, e identificar la técnica de plastinación con poliuretano

Materiales y Método: Por medio de uso de 4 corazones de cerdo frescos y su inmersión en diferentes tiempos y concentraciones de formaldehído, acetona, alcohol y poliuretano se realizan las etapas de fijación, deshidratación, inmersión y endurecimiento durante un periodo total de 80 días. Tiempo en el que se calculan las variables de color, peso en gramos, altura y ancho en centímetros. Posteriormente se analiza el cambio morfológico y estructural de los especímenes utilizados realizando un análisis de las variables medibles desde el principio del proyecto y la exposición de variables no medibles como lo fue el olor, la putrefacción y flexibilidad.

Resultados: Se obtuvo como resultado final un espécimen que conservó su morfología inicial con una disminución de tamaño y peso en general que no superó el 6% del total inicial y un porcentaje de contracción menor al 3%. Este permaneció flexible a la

manipulación sin mayor esfuerzo con color marfil, típico del poliuretano, y sin signos de putrefacción.

Conclusiones: La conservación del corazón de cerdo con el uso de poliuretano es posible a través de las etapas de fijación, deshidratación, inmersión y endurecimiento y sin requerir indispensablemente el uso de máquinas al vacío. Es decir sin la utilización de la impregnación forzada. De igual manera se debe seguir investigando el uso de este polímero en la conservación de tejido biológico.

Palabras clave: Educación médica, Anatomía, Corazón, Poliuretanos, Aprendizaje

Conflictos de interés: En el presente estudio, los autores no contamos con ningún conflicto de interés al solo estar encaminados en la búsqueda y participación de la investigación científica.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el estudio de la anatomía humana en muchas escuelas de medicina se ha limitado al uso de herramientas tecnológicas por medio de gráficos 2D-3D que 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).

Actualmente, se intenta encontrar nuevas herramientas para ampliar la educación médica dentro de las cuales se ha planteado uso de modelos artificiales anatómicos de plástico. El planteamiento de nuevos tipos de preservación de órganos es una realidad que perpetúa métodos de

enseñanza debido a sus productos y a la intervención realizada por los estudiantes sobre los órganos que se deseen conservar. Por esto mismo, desde el grupo de investigación surge la pregunta siguiente: ¿Puede el uso de poliuretano ser un método de conservación de órganos?

En el artículo se plantea una propuesta de conservación de órganos como un nuevo método para el desarrollo de la ciencia anatómica a través de la búsqueda de un método de preservación diferente a los tradicionales, del poliuretano y de la variación de algunos pasos básicos utilizados en los proceso de plastinación como técnica ideal establecida por von Hagens, como una alternativa más asequible a la hora de conservar adecuadamente órganos y tejidos humanos. En nuestro caso, se trata de corazones de cerdo para su estudio en laboratorios de anatomía de las diferentes facultades de medicina y de esta forma dar una perspectiva más

real de las proporciones cardíacas y sus componentes para el apoyo del aprendizaje de los estudiantes de anatomía. (6)

Uno de los procesos necesarios para el desarrollo de la conservación de órganos son las resinas de poliéster y las siliconas, las cuales van a dar la contextura final del producto posterior a los pasos de deshidratación. A lo largo de las investigaciones, se ha visto

que la viabilidad del manejo de nuevos polímeros es muy grande, razón por la cual la búsqueda de un nuevo material para la conservación de órganos sigue encaminada junto al grupo de investigación GUESS. Es por esto que esta vez se probará si el uso del poliuretano puede ser viable para una técnica de preservación útil, evidenciando así si este polímero tiene uso en la conservación de especímenes anatómicos.

MARCO TEÓRICO

HISTORIA DE LA PLASTINACIÓN

El proceso de plastinación nace con su creador Gunther von Hagens, 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, siendo publicada por primera vez en 1979, en revista *Anatomical Record: von Hagens G. Impregnation of soft biological specimens with thermosetting resins and elastomers* (8),

para posteriormente en 1981 presentar su patente llamada "*Tejidos Animales y Vegetales Permanentemente Preservados por la Impregnación de Resina Sintética*". Luego, en 1980, Gunther von Hagens crea una empresa llamada *Biodur* 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 funda *Institute for Plastination* (9). Inicia así con la creación y distribución de diferentes especímenes y cortes alrededor del mundo, tanto para su uso académico como para su uso cultural (10).

Es por esto que hoy en día, la Sociedad Internacional para la Plastinación (11) apoyada en editoriales como Merriam webster (12) y el "Oxford English Dictionary" (13), definen 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.

HISTORIA DE LA PLASTINACIÓN EN LA UNIVERSIDAD EL BOSQUE

La plastinación es uno de los temas más antiguos 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 (14). Se encontraron entonces 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, 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 (15).

Durante tres años, la práctica estuvo detenida mientras el grupo GESS se fortalecía en conocimientos para la próxima aplicación de esta técnica, cuya aplicación se reinició en el 2014. A partir de este año, 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. No obstante se observó la persistencia de errores en la conservación de color y tamaño de los especímenes, lo cual dejó en evidencia que los mismos perdían maleabilidad con el paso de los meses (16).

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 (17).

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. (18)

Los poliuretanos se pueden clasificar en 2 tipos: termoestables o termoplásticos. La diferencia principal entre los dos es el grado de entrecruzamiento de sus estructuras (cadenas poliméricas) el cual es un factor estructural crítico que contribuye a que el material adquiera altas propiedades elásticas. Esto deriva en grandes diferencias entre sus características y por lo tanto también en sus usos. En los termoestables, los entrecruzamientos están formados por enlaces covalentes creados durante el

proceso de vulcanización mientras que los termoplásticos contienen entrecruzamientos que se forman a partir de dipolos débiles o de enlaces por puente de hidrógeno. Esto último ocurre solamente en una de las fases del material, haciendo que sean relativamente fáciles de usar, que no requieran de vulcanización para su proceso, que puedan ser utilizados mediante los procesos como inyección, extrusión y soplado y sobre todo que sean reciclables por su característica de entrecruzamiento reversible (19).

Estas son algunas de las propiedades del poliuretano:(18, 19, 20)

- Proveer cobertura total a la superficie en donde se aplique.
- Otorgar duración por tiempo indefinido, con una protección adecuada.
- Ser altamente resistente a la absorción del agua.
- Con las alzas de temperatura volverse flexible y moldeable, sin cambiar sus propiedades iniciales, incluso al realizar este proceso varias veces (ausencia de plastodeformación permanente)
- No permitir el crecimiento de hongos y/o bacterias en el material u objeto donde se aplique este.
- Poseer 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).

- La posibilidad de ser pintados o teñidos con gran facilidad por la mayoría de tipos de tintes.
- La posibilidad de ser usado para el moldeo por inyección.
- La posibilidad de ser manipulado directamente sin ningún tipo de protección.
- Un menor consumo de energía al tratarse del poliuretano termoplástico, cuyas características le permiten ser asequible económicamente y de fácil utilización, haciendo posible tener un control más cercano del producto.
- Ser ideal para aplicaciones o usos en los que se requiere características más finas, suaves al tacto, y que además mejore la resistencia al impacto.
- Poseer un potencial de ser reciclables ya que estos pueden ser moldeados, 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:

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, detendrá el proceso de descomposición tisular y actuará además en el tejido como bactericida. Hay que tener en cuenta que para esta fase, el instituto Gunther von Hagens indica que el formaldehído debe ser inyectando directamente en las arterias y no es solo sumergirlo como se hace en otras técnicas. Después de realizada esta etapa, se puede empezar a disecar el espécimen según lo que necesite el docente, estudiante o persona que vaya a plastinar el tejido u órgano. Según las estructuras que quiera resaltar, usualmente en esta fase se deben retirar tejidos como la piel o el tejido celular subcutáneo que dificultan el enfoque del órgano plastinado. (8,9)

Deshidratación y desengrasar

Esta segunda fase consiste en lograr la deshidratación del espécimen o de los tejidos por medio de un baño acetona enfriada con neveras a temperatura de -25°. Esta fase dura de dos a tres meses dependiendo del tamaño del órgano que luego se deja en temperatura ambiente para que el agua y las grasas se diluyan y luego reemplazarlas por la acetona. Este paso es de gran importancia para lo que será el resultado de la plastinación, puesto que los fluidos del espécimen no se pueden intercambiar con los polímeros, mientras que la acetona si se puede intercambiar con estos, ya que tiene la característica de evaporarse fácilmente. Esto permite el paso a la siguiente fase (8,9).

Posicionamiento de la estructura

En esta tercera fase, el objetivo principal es definir cómo va a quedar el espécimen al final de la conservación. Esta se lleva a cabo antes de la impregnación forzada. Se realiza posicionando cada una de las estructuras del espécimen correctamente o como se deseé, 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 (8,9).

Impregnación forzada

Esta es la cuarta fase del proceso. En esta, se toma el espécimen ya deshidratado y desengrasado y se lleva a una cámara al vacío, en donde la presión se deja llegar a tal punto que la acetona cambia su estado físico que pasa a ser gaseoso. Este gas es bombeado desde la cámara y reemplazado lentamente por el polímero que se seleccionó para usar en la plastinación, lo cual se logra debido a la diferencia de presión que logra 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. Los anteriores polímeros son reactivos, lo cual quiere decir que cuando estos se manipulan con calor, gas o agua, se endurecen. El polímero que se seleccione por quien vaya a realizar la plastinación determina la translucidez, dureza y durabilidad de este (8,9).

Endurecimiento

Por último y como quinta fase de la plastinación tenemos el

endurecimiento, que según el polímero que se haya escogido para este proceso, habrá aplicación de gas, luz o calor para finalmente poder obtener el espécimen con las propiedades del

poliuretano seleccionado y el posicionamiento deseado para que se preserven la mayoría de las características originales del espécimen como tamaño o color (8,9).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales: 2 corazones de cerdo frescos

Técnica de disección

- **Disección de ventrículo derecho:** se inició con una incisión en el tronco pulmonar llegando al cono arteriolar y 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 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 (FiguraNo 1).

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

Fase de limpieza 1. Cambios morfológicos en el proceso de plastinación. 13/09/2016



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

Técnica de plastinación

La técnica que será descrita a continuación se basa en la técnica estandarizada por von Hagens y los descubrimientos expuestos por el grupo GESS (14, 15, 16, 17) en sus anteriores investigaciones.

1. Fase de limpieza I (Tabla 1 y Figura 2)

- Se tomó el corazón que fue lavado con agua sin presión excesiva (agua del lavado) para evitar el daño de

estructuras como vasos y válvulas.

- Se expuso a secado al medio ambiente durante 2 horas, sin utilizar máquinas de secado evitando así lesión térmica del tejido.
- Una vez terminado el secado inicial, se aislaron los corazones en cajas de plástico transparente para la visualización continua.

Fase de limpieza 2. Cambios morfológicos en el proceso de plastinación. 13/09/2016



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

2. Fase de limpieza II (Tabla 1 y Figura 2)

- Iniciamos con solución a base de alcohol etílico 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.

3. Fase de Fijación I (Tabla 2 y Figura 3)

- La fijación del tejido se realizó con una inmersión del corazón en formaldehído 37 % durante 15 días en recipientes de plástico previamente forrados de negro y dejados en una zona oscura, con el fin de evitar el contacto de la luz con los especímenes y la resultante evaporación del aldehído utilizado.



Figura No. 3. Fase de Fijación.

4. Fase de Limpieza III (Tabla 2)

- Luego de los cinco días previos al 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

Para esta fase del proyecto el espécimen y la acetona utilizada persistían con residuos de grasa por lo cual se decidió realizar nuevamente una segunda fase de las etapas de limpieza, fijación y deshidratación.

6. Fase de limpieza IV (Tabla 4)

- Este cuarto y último lavado se realizó exclusivamente con agua

media hora hasta lograr la pérdida de grasa acumulada al interior de los tejidos con agua a 5°C.

5. Fase de deshidratación I (Tabla 3)

- Se inició con concentraciones de acetona al 80% por 10 días, siguiendo con concentración del 100% (Figura No. 4). Al completar el ciclo de 10 días se hizo recambio de la misma durante 20 días en total.

corriente durante 24 horas.

7. Fase de fijación II (Tabla 4)

- Se realizó una segunda inmersión en solución fijadora (Formaldehído a 37 %), con el fin de embalsamar y limpiar los alcoholes usados.

8. Fase de deshidratación II (Tabla 5 y Figura 4)

- Se realizó una 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 líquido

Fase de Deshidratación: **Inmersión en acetona**

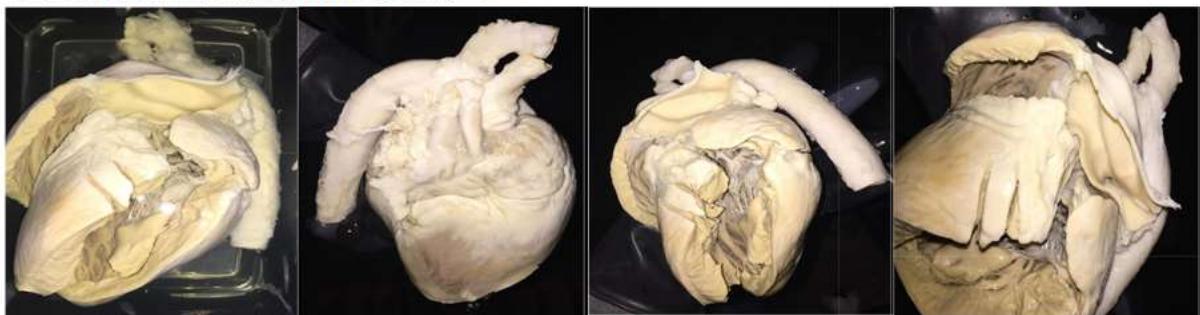


Figura No.4. Fase de deshidratación

9. Posición de la estructura

- En esta fase nos aseguramos de posicionar el corazón de tal manera que las cavidades quedarán 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.

10. Fase de inmersión (Tabla 7)

- Para este último proceso se realizaron 3 inmersiones cada tercer día en poliuretano ESPOL-PRONATE, compuesto por Poliol e Isocianato asegurando una cobertura completa del corazón con el material, luego de cada inmersión el corazón volvía a ser suspendido en el aire

asegurandonos de la movilidad y flexibilidad conservada del material.

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 (21), 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 cardíacas (base cardíaca) y una segunda medida 3 cm por encima del ápex. Ambas fueron tomadas durante las diferentes etapas del proceso de plastinación con el fin de evaluar la variación porcentual de contracción o encogimiento (22) 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 (23): Altura/Ancho total Fase (x) = (Longitud anterior + 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.



Figura No. 5. Impregnación forzada y posicionamiento



Figura No. 6. Producto final

RESULTADOS

De acuerdo a los procedimientos descritos en la sección de materiales y métodos que fueron llevados a cabo en su totalidad, se logró la conservación de un corazón de cerdo utilizando como base teórica la técnica expuesta por von Hagens, con variaciones identificadas a lo largo de las investigaciones realizadas por el grupo GESS, basadas principalmente en el tiempo de exposición al material, temperatura y la no utilización de máquinas al vacío.

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. Hubo 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 8). Además, luego de la fase de inclusión se evidenció un incremento leve de peso de aproximadamente 5 mcg en comparación con el peso obtenido luego de la fase de deshidratación II.

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, con una pérdida de

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 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 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.

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 inclusión del poliuretano (Tabla 8).

Se identificaron otros cambios durante el proceso como fue 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.

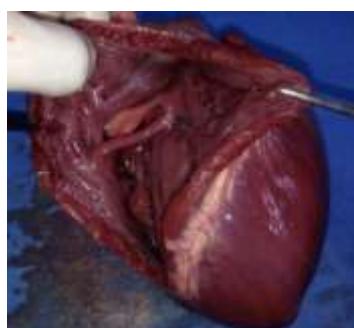
Con respecto al olor del corazón inicialmente tenía un aroma a hierro, típico

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 encontrará, 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, disminuyó en volumen y cantidad lo suficiente como para ser evidente a la vista.

Los cambios aquí descritos, fueron registrados fotográficamente y serán expuestos a continuación teniendo en cuenta la fase en la que se encontraban y las medidas del espécimen:

Resultado fase de Limpieza I y II :



- **Color :** Rojo oscuro
- **Peso:** 250gr
- **Proporciones :** 12cm *8 cm
- **Comentario:** No se encontraran más coágulos o restos grasos al interior de las cavidades ni de los vasos sanguíneo

Tabla No.1. Resultado de Limpieza I y II

Resultados fase de fijación I y fase de limpieza III:



- 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

Resultados fase de deshidratación I:



- Color: Sienna
- Peso: 245 gr
- Proporciones: 11,75 cm *7,85 cm

Tabla No. 3 Resultados de Deshidratación I:

Resultados fase de fijación II y fase de limpieza IV	
	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Color</u>: Café / Grisáceo • <u>Peso</u>: 245 gr • <u>Proporciones</u>: 11,75 cm *7,8 cm • <u>Comentario</u>: Cambio de coloración , con endurecimiento de paredes musculares

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

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

Tabla No. 5. Resultados de Fase de Deshidratación II

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

Tabla No. 6. Resultados de Impregnación

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

Tabla No.7. Resultados de plastinación final

	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 / Grisaceo	Grisáceo/Violáceo	Coral / Marfil
DHT: DESHIDRATACIÓN						
E. UC: Escala tonalidad de colores de Universidad de Columbia						
Producción propia basada en datos recolectados durante el proyecto						

Tabla No. 8. Variables según etapa del proceso de plastinación

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*

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.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que efectivamente el poliuretano es efectivo para la conservación de órganos. 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 cual el tiempo mínimo es de 3 semanas (25). El tiempo establecido en este proyecto está basado en estudios realizados en el año 2002 por M.A Brown en el que el tiempo mínimo efectivo demostrado varía entre 5 y 7 días (26).

Se utilizó acetona a temperatura ambiente a diferencia de la técnica original en la que se utiliza acetona - 10°C, pero 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 en el cual se realizó la etapa de deshidratación con acetona a temperatura ambiente con especímenes cardíacos de hasta 2.5 cm de grosor (27).

En la primera fase del estudio se utilizaron 2 ejemplares cardíacos a los que se les realizaron 2 procedimientos de deshidratación diferentes en cuanto al tiempo de exposición pero sin diferencias en las concentraciones de acetona utilizadas. El 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 (20 días) con el fin de mejorar esta fase en búsqueda de una mejor inclusión 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 en el que el órgano utilizado se deformó notablemente alterando sus características al rotar sobre su propio eje (10). Esta disminución de las dimensiones fue un hallazgo esperado teniendo en cuenta estudios revisados previamente en los cuales se demuestra el papel protagónico de la acetona al tener en cuenta sus propiedades químicas (27).

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% (28). Resultados que soportan los hallazgos encontrados en el resultado final de este estudio, en el cual la grasa periauricular del corazón disminuyó significativamente.

Una forma de disminuir el porcentaje de deformación y contracción del órgano se basa en el uso de maquinaria especial que maneja el espécimen al vacío (29). Con este recurso 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 cuales el promedio de contracción varía entre 4% y 16% (22, 25), alcanzando en este estudio hasta un 11,5 % total de contracción (Tabla 10). No obstante, cabe aclarar 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 que plantean un porcentaje de contracción menor utilizando acetona con respecto al metanol. Sin embargo, el uso de acetona a temperaturas bajas disminuye aún más el porcentaje de contracción (28).

Otra variación importante hallada en este estudio fue el manejo completo y permanente bajo temperatura ambiente que para Bogotá, ciudad donde se realizó todo el proyecto, varía entre los -2º C y los 23º 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 (30), 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 (31).

Lo anterior demuestra y realza una de las características del poliuretano termoflex, utilizado en este proyecto. Razón por la cual fue escogido como materia prima. Entre otras, 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. También ayuda 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. No obstante, el tiempo transcurrido entre la muerte del animal y el inicio del proceso de plastinación no superó las 24 horas si se tiene 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 (32).

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 GEES la mayoría de los órganos utilizados culminaron con un color negro oscuro-pardo (14, 15, 16). Esto se ha asociado fuertemente a la exposición prolongada del tejido utilizado al formol en el proceso de plastinación (20, 33, 34). Además se ha demostrado que el uso de polímeros como el poliuretano no altera el color del órgano utilizado (35).

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, lo cual permite identificar fácilmente las válvulas cardiacas. De la misma forma se logró conservar la movilidad y flexibilidad del espécimen lo necesario para exponer las estructuras internas cardiacas, pero presenta un leve nivel de rigidez en contraste con los estudios realizados previamente por el grupo GEES. En estos estudios, 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 (15,16).

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.

CONCLUSIONES

- En nuestro experimento, la conservación con poliuretano plástico líquido es viable para la conservación de órganos.
- 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.
- No fue necesario el uso de impregnación forzada ni de curado para el proceso de conservación de este órgano como sí lo ha sido en las técnicas de plastinación ya que con la inclusión del poliuretano se logró una conservación de órganos por al menos 2 años.
 - Finalmente se evidencia que el proceso de plastinación debe generar 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.

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.alcaldiaabogota.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_c

ompleta_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&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. Hagens G. Impregnation of soft biological specimens with thermosetting resins and elastomers. The Anatomical Record [Internet]. 1979 [citado 16 Septiembre 2017];194(2):247-255. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ar.1091940206>
9. Bodymobil :: Körperspende zur Plastination [Internet]. Koerperspende.de. 2016 [citado 16 Octubre 2017]. Disponible en: http://www.koerperspende.de/en/the_institute_for_plastination/institute_for_plastination.html
10. Martinez B. "Gunther von Hagens' Plastination Technique". *Embryo Project Encyclopedia* *Embryo Project Encyclopedia* 2012 oct,24.
11. 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
12. Definition of PLASTINATION [Internet]. Merriam-webster.com. 2017 [citado 9 Agosto 2016]. Disponible en: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/plastination>
13. Plastination - definition of plastination in English | Oxford Dictionaries [Internet]. [citado 9 Julio 2016]. Disponible en: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/plastination>
14. 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.
- 15.** 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.
- 16.** 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.
- 17.** Orjuela Pardo LM, Ruiz Rubiano M. Aproximación a la técnica de plastinación en especímenes humanos para la educación médica. Bogotá: Universidad El Bosque; 2016.
- 18.** Poliuretano [Internet]. [Tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/poliuretano.html). 2011 [citado 19 Septiembre 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/poliuretano.html>
- 19.** Juárez Varón D, Balart Gimeno R, Ferrández Bou S, García 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
- 20.** PLÁSTICOS PROTOCOLO Curso de Procesos de Manufactura. 2nd ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería; 2007. Pág. 9-25
- 21.** 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>
- 22.** 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&tlang=en

- 23.** 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.ijopasat.in/yahoo_site_admin/assets/docs/7_IJPAST-217-V8N1.9210721.pdf
- 24.** 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>
- 25.** 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>
- 26.** 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
- 27.** Acetona [Internet]. Documentación IDEAM. 2003 [citado 27 Septiembre 2017]. Disponible en:: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia1.pdf>
- 28.** 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.
- 29.** 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>
- 30.** Shahar, T.; Pace, C. & Henry, R. W. Epoxy plastination of biological tissue: VisDocta EP73

- technique. *J. Int. Soc. Plast.*, 22:46-9, 2007.
31. 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>.
32. 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)
33. 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>
34. Alpár A, Glasz T, Kálmán M. Pastination 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
35. Alpar, A., Glasz, T., and Kalman, M. Plastination of pathological specimens-a continuing challenge. *J. Int. Soc. Plast.* 2005; 20: 8-12