

Evaluación de la utilización de dos reactivos no convencionales comparados con acetona durante el proceso de deshidratación en la técnica de plastinación, como modelo de conservación anatómica en feto bovino (Monografía)

Alison Camila Estupiñán Espinal



**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO FACULTAD DE MEDICINA
VETERINARIA BOGOTÁ, COLOMBIA**

2022

Evaluación de la utilización de dos reactivos no convencionales comparados con acetona durante el proceso de deshidratación en la técnica de plastinación, como modelo de conservación anatómica en feto bovino (Monografía)

Alison Camila Estupiñán Espinal

Propuesta de trabajo de grado presentada como requisito para la obtención del título de Médico Veterinario

Orientado por:

**Juan Carlos Morales Pérez Z. Mv. Esp. Lab. Clin. Vet.
MSc(c)**



**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
BOGOTÁ, COLOMBIA**

2022

Índice

1.	INTRODUCCION.....	1
2.	PIANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3.	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
4.	OBJETIVOS.....	5
	4.1 Objetivo general.....	5
	4.2 Objetivos específicos.....	5
5.	MARCO TEORICO.....	6
	5.1 Historia.....	6
	5.2 Plastinación.....	8
6.	METODOLOGIA.....	12
	6.1. Materiales.....	12
	6.1.1 Ficha técnica de la acetona.....	12
	6.1.2 Ficha técnica isopropílica.....	12
	6.1.3 Ficha técnica formaldehído.....	12
	6.1.4 Ficha técnica thinner.....	12
	6.1.5 Ficha técnica resina epóxica.....	13
	6.2 Base de datos.....	13
	6.2.1 Búsqueda y revisión.....	13
	6.2.2 <i>Definición de los criterios de inclusión de bibliografía</i>	13
	6.2.2.1 <i>Tipos de estudios y medidas de resultados</i>	13
	6.2.2.2 <i>Localizaciones</i>	13
	6.2.3 Definición de criterios de exclusión de bibliografía.....	13
	6.3 Proceso de plastinación.....	14
	6.3.1 Fijación.....	14
	6.3.2 Deshidratación.....	15

6.3.3 Impregnación normal.....	15
6.3.4 Curado.....	17
7. DISCUSION.....	18
8. CONCLUSIONES.....	19
9. BIBLIOGRAFIA.....	20

1. INTRODUCCION

Uno de los métodos más útiles para el estudio de estructuras anatómicas es el uso de preparaciones cadavéricas conservadas en formol, ya que los estudiantes pueden captar y retener la información por mayor tiempo, lo cual es provechoso para el futuro del profesional (Bravo, 2006). A pesar de las ventajas de esta práctica, se buscan alternativas al uso de piezas fijadas con formaldehído, por los vapores que estas emanan y que pueden representar un riesgo para estudiantes y personal veterinario ya que tienen acción irritante, alérgica y probablemente cancerígena (Morales, Pérez y Severiche, 2014).

Por lo cual surgen alternativas como la plastinación para la conservación de componentes anatómicos, que consiste en reemplazar las moléculas de agua por un polímero. Esto se logra en cuatro etapas (fijación, deshidratación, impregnación forzada y curado) (Pashaei, 2010).

El objetivo de esta técnica es conseguir preparaciones libres de la toxicidad de formaldehído, y ofrecer a los estudiantes de grado, postgrado, y la comunidad en general, especímenes que sirvan como fuente de aprendizaje y conocimiento en la anatomía y las ciencias morfológicas (Nicolás. E, Ottone, 2013).

Con base en ello este trabajo pretende recopilar información útil sobre el método estándar alemán de plastinación que emplea la acetona como principal componente deshidratador, comparándolo con el uso de materiales alternativos más económicos como el alcohol isopropílico y el thinner, de la mano de información actualizada que permita inferir ventajas y desventajas en su uso.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el personal de medicina veterinaria, el uso de cadáveres conservados en formol como método de estudio anatómico, pueden implicar ciertos riesgos para la salud, ya que fue catalogado como sustancia cancerígena por la Administración para la Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (OMS, 2004).

El formaldehído es absorbido rápidamente a través de la nariz y de la parte superior de las vías respiratorias y muy pequeñas cantidades se absorben a través de la piel (Programa Nacional de toxicología, Dpto. de salud y servicios humanos, 2021). Generalmente es convertido a una sustancia no tóxica llamada formato, que se excreta en la orina, sin embargo la dosis, tiempo y manera de exposición interfieren en su eliminación, produciendo así irritación de los tejidos, cuando entra en contacto directo con éstos (NTIS, 2017).

Los resultados de varias encuestas del instituto nacional del cáncer entre profesionales con exposición al formaldehído, como anatomistas y embalsamadores, indicaron que estas personas tienen un riesgo mayor de padecer leucemia y cáncer de cerebro que la población general (NIH, 2010).

Otro análisis demostró nuevamente una posible relación entre la exposición al formaldehído y los cánceres de los sistemas linfático y hematopoyético, particularmente, la leucemia mieloide en humanos (Beane. L, Blair. A, Lubin. J, 2009).

Algunas personas son más sensibles que otras a los efectos del formaldehído, los síntomas más comunes son irritación de los ojos, la nariz, la garganta y lagrimeo. Sumado a esto puede producir dolor agudo, vómitos, coma y posiblemente la muerte (Programa Nacional Toxicología , 2011).

En estudios en animales, ratas expuestas a altos niveles de formaldehído en el aire contrajeron cáncer de la nariz. El Departamento de Salud y Servicios Humanos determinó que es razonable predecir que el formaldehído es carcinogénico (ATSDR, 2019). Por tal motivo se han tratado de desarrollar distintos métodos que mejoren el aprendizaje por medio de la manipulación de la pieza anatómica como en este caso la plastinación de estructuras cadavéricas, una técnica creada en Alemania en la década de los setenta por Günter Von Hagens (Valdés, Vega y Valenzuela, 2010).

La plastinación es una técnica de conservación en la cual se usan polímeros como resinas epóxicas, de poliéster y silicona para su realización, que reemplazan en su totalidad el uso de formol (Vanegas et al., 2013).

En la enseñanza de la anatomía, el uso de cadáveres sigue siendo la forma más eficiente para lograr que los estudiantes comprendan y retengan por más tiempo el conocimiento que les será útil en su ejercicio profesional futuro (Bravo y Inzunza, 1995). Por tanto, se desea implementar técnicas como la plastinación, que busca obtener piezas más didácticas y seguras. En 1977 el Dr. Gunter Von Hagens propuso la plastinación como una manera segura de conservar material biológico (Pashaei, 2010).

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los pilares promovidos por la Universidad Antonio Nariño son el bienestar animal, la investigación, la ecología y la salud pública, por tanto, los residuos generados a partir del formol hacen ineludible la búsqueda de alternativas al uso de este, como la plastinación, que permite la conservación de las piezas anatómicas sin generarle un impacto a la salud pública en general. Actualmente, universidades como la Universidad de Antioquia, Universidad de Los Andes, Universidad del Valle y la Universidad Nacional de Colombia están desarrollando técnicas de preservación y mantenimiento de cadáveres, mediante la técnica de plastinación (Arias y López, 2012).

Las piezas anatómicas plastinadas se pueden manipular sin temor a daño a corto y largo plazo, no se necesita ningún tipo de protección adicional (gafas, tapabocas, guantes), además se conservan muy bien en el tiempo, logrando que la comunidad veterinaria no esté expuesta a ningún tipo de sustancia o gas tóxico durante su manipulación (Pashaei, 2010). Tal método puede resultar difícil de realizar por el costo, tiempo y materiales que requiere, sin embargo, este proyecto pretende recopilar información valiosa que permita determinar los puntos críticos en el proceso, y discernir si cabe la posibilidad de usar materiales más accesibles económicamente y que puede dar resultados similares a la plastinación tradicional que usa acetona.

El proceso experimental junto con la recopilación de datos de plastinación de piezas anatómicas será una guía muy útil para que posteriormente, cualquier estudiante que requiera conocer y replicar técnicas de plastinación, no solo en medicina veterinaria sino también en medicina humana, odontología, patología, parasitología y demás puedan utilizar este documento como soporte en la elaboración de dicha técnica.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general.

- Comparar la acetona con sustancias con potencial deshidratante en la técnica de plastinación.

4.2 Objetivos específicos:

- Desarrollar un análisis retrospectivo de la literatura reportada en plastinación con sus distintos métodos de ejecución.
- Comparar la rentabilidad y factibilidad del uso de sustancias alternativas para la deshidratación en la plastinación como el thinner y el alcohol isopropílico.
- Determinar los puntos críticos que permitan buenos resultados en el proceso de plastinación.

5. MARCO TEORICO

5.1 Historia

Antes de la aparición del formaldehído se implementaron diferentes técnicas para conservar los cadáveres. Éstas comprenden el uso de sustancias como aceites, resinas y hasta vino, que retardan el proceso de descomposición de los tejidos (Saeed *et al*, 2001).

Entre esas técnicas el embalsamamiento era un ritual sagrado que requería dedicación y esfuerzo en el antiguo Egipto el cuál era realizado con natrón que era una mezcla de cloruro de sodio, bicarbonato de sodio y carbonato de sodio. Los cadáveres eran envueltos en lino, junto con especias aromáticas desmenuzadas para luego cubrir por todas partes el cadáver con natrón, sin embargo, el salto definitivo se dio con el descubrimiento del formaldehído por el científico alemán William Hoffman en 1868 donde lo uso para la conservación de cuerpos, que luego se perfeccionó al mezclarlo con sales y alcoholes (Jaime. A, Beltrán, 2009).

Sin embargo, la mayoría no permitía mantener adecuadamente las características de los tejidos para el estudio anatómico. El proceso de conservación de los tejidos se basa en el principio de la fijación, ésta consiste en un proceso fisicoquímico gradual que implica la difusión del fijador hacia el interior de los tejidos, así como una serie de reacciones químicas (Thavarajah *et al*, 2011).

Como resultado se producen cambios estructurales que alteran la composición de las proteínas y otras moléculas que finalmente impiden la descomposición. Para este fin se usan sustancias fijadoras, estas deben producir cierto endurecimiento de los tejidos, mínima distorsión de su morfología y prevenir la descomposición. El formaldehído cumple con estos requisitos, por esta razón ha sido la sustancia fijadora más utilizada y estudiada durante décadas (Dixit, 2008). Esta sustancia fue descubierta por Butlerov en 1859, pero fue el

químico Wilhelm Von Hofmann en 1868 quien desarrolló el método para obtenerlo a partir del metanol, e inició el uso de formaldehído en sus procedimientos de conservación (Beltrán, 2009).

Lamentablemente fue catalogado como sustancia cancerígena por la Administración para la Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (OMS, 2004). Tiene efecto tóxico sobre la mucosa de las vías respiratorias y oculares, se ha reportado desde rinitis e irritación ocular hasta cáncer nasofaríngeo.

La exposición crónica a esta sustancia produce genotoxicidad y sensibilización cutánea (Viegas et al., 2008). Actualmente existe una tendencia hacia la reducción de la cantidad de formaldehído utilizado en las soluciones fijadoras-conservadoras (Whitehead & Savoia, 2008).

Se han reportado ensayos con diferentes mezclas de sustancias que permiten conservar de manera óptima los tejidos, éstas contienen pequeñas cantidades de formaldehído acompañado de sustancias que coadyuvan o reemplazan su función como fijador. En algunos estudios las fórmulas de las soluciones fijadoras-conservadoras no contienen formaldehído. Una de estas soluciones está compuesta por vinagre blanco, glicerina, etanol, citrato de sodio y verde malaquita (Muñetón & Ortiz, 2011).

El uso de sustancias con propiedades germicidas es necesario para controlar los microorganismos que causan la descomposición de los tejidos y que representan un riesgo para la salud del personal que utiliza las piezas anatómicas, por ello el objetivo de incorporar este tipo de sustancias para reemplazar el efecto fijador y conservador del formaldehído (Demiryürek *et al*, 2002).

En un estudio realizado en humanos se aplicó una fórmula con bajas concentraciones de formaldehído (1,43%), fenol, glicerina, alcohol isopropílico, grandes cantidades de sal y agua destilada, los resultados fueron buenos desde el punto de vista macroscópico y microscópico (Coleman & Kogan, 1998).

La necesidad de evitar el riesgo sobre la salud de la comunidad investigadora condujo a los anatomistas a la búsqueda de técnicas que permitieran obtener preparaciones más duraderas y con menos riesgos para la salud de los usuarios (Muñetón, Ortiz, 2011). Fue por esta razón que el doctor Gunter Von Hagens creó la técnica de plastinación para conservación de tejido biológico en 1977 (Pashaei, 2010).

El desarrollo de esta técnica comenzó mientras buscaba un método para mejorar la calidad de las preparaciones renales en el laboratorio. Luego de experimentar con diferentes tipos de plástico logró crear las bases del método de plastinación utilizado en la actualidad (Jones & Whitaker, 2009).

5.2 Plastinación

En esta técnica el agua y los lípidos de los tejidos son reemplazados por polímeros, éstos luego son sometidos a un proceso de endurecimiento para dar como resultado una pieza seca, sin olor y perdurable (Pashaei, 2010). La plastinación consta de cuatro etapas: fijación, deshidratación, impregnación forzada y curado.

1. La fijación: en la cual la pieza anatómica se sumerge en formaldehído para que esta no se descomponga, ya que las proteínas se mantienen unidas, además que esta sustancia es antibacteriana evitando así la degradación de los tejidos (Muñetón & Ortiz, 2011).

2. La deshidratación: se realiza cuando se cambia la sustancia en que está inmersa la pieza anatómica, la acetona es la más usada para este fin, ya que permite extraer líquido y grasas contenidos en las células (Jones & Whitaker, 2009).

3. La impregnación forzada: hace uso de cámaras de vacío y resinas que permiten el cambio de la sustancia deshidratante con estas gracias a los diferentes puntos de presión de vapor, para obtener piezas plastificadas y duraderas (Ottone, N. 2013).

4. Curado: esta última etapa consiste en dejar que las muestras anatómicas se ventilen en un ambiente cerrado (Fabio *et al*, 2009).

Gracias a la plastinación se llegan a preservar especímenes biológicos y especialmente blandos como por ejemplo cerebro, corazón, riñón, pulmón, hígado y músculos; además de especímenes y cortes de cuerpos en el campo de la anatomía y la patología, humana y animal, donde se han descrito diferentes tipos de polímeros y procedimientos, cada una con características propias en los que se emplea resina epóxica, resinas de poliéster, con las que se logran cortes ultradelgados secos, sin olor y altamente durables, también el procedimiento con silicona, que por otra parte consigue piezas macroscópicas flexibles (Bickley *et al* 1987).

Posibilita la conservación por tiempo indeterminado de cadáveres completos, es decir, disecados en su totalidad y sin necesidad de cortarlo para separar las distintas regiones anatómicas para un fácil manejo. La posibilidad de tener cadáveres disecados en forma completa, colocados en posición anatómica, y con distintos niveles de disección (de superficial a profunda) es realmente novedosa. Los resultados que se pueden obtener de la plastinación son variados, entre ellos está la posibilidad de mantener al espécimen seco, con volumen y forma naturales; así como también se conserva una textura y coloración muy

aproximadas a lo normal, sin el gran inconveniente de malos olores o los vapores irritantes y altamente tóxicos de los conservadores convencionales (Ottone, 2013).

Tiene una gran ventaja y esta es que retienen el relieve original de su superficie y la identidad celular hasta nivel microscópico además de que ofrece un contraste único entre las fibras y las áreas de los núcleos del encéfalo, algo imposible con las soluciones fijadoras, además permite conservar preparaciones únicas y/o patológicas con variaciones anatómicas, a nivel musculoesquelético y nervioso, como en el caso de la conformación de la médula espinal, variaciones en el sistema circulatorio (Jones & Whitaker, 2009).

La conservación anatómica, color y estructuralmente la integridad de estos especímenes es superior a otros métodos de preservación. Esto, junto con su practicidad, permite varios usos potenciales en la medicina clínica humana y animal, como identificación de diferentes tejidos capas, nervioso y vascular estructuras que se encuentran dentro del límites óseos y ligamentosos del túnel carpiano, las vistas transversales pueden ser estudiados en conjunto con cualquiera tomografía computarizada o magnética siendo así un coadyuvante en la enseñanza de la ortopedia. (Carlos. A, et al., 1989).

En equinos se pudo comparar la anatomía del dígito de equino normal y del dígito de equino con laminitis crónica, se hicieron cortes sagitales de un grosor de 3 milímetros con el método de plastinación tradicional o E -1, en el dígito normal se observó que el aparato suspensor de la falange distal estaba intacto, por otro lado, el dígito con laminitis crónica el aparato suspensor estaba destruido y la falange distal se desprende del casco (Erich et al., 2005).

Existen estudios que comparan a la plastinación hecha de manera tradicional con acetona donde la concentración de los baños de la pieza va del 97% al 100% y los tiempos de fijación son más reducidos en comparación con baños de acetona al 65%, que varían de

manera creciente hasta llegar al 100%, con tiempos de fijación más largos donde la primera técnica presenta mejores resultados en variables como peso, diámetro y largo, además se clasificaron en subgrupos con diferentes métodos de fijación (formalina al 10%, alcohol etílico al 96% y solución fijadora compuesta por alcoholes etílico y propílico) mostrando que la solución fijadora produjo menor retracción (Fabio. *et al*, 2009).

Con referencia a la retracción o encogimiento del tejido en muestras, es quizás una de las pocas desventajas respecto a la plastinación, en cortes de cerebro humano se demostró que existe una diferencia estadísticamente marcada entre los valores de medición iniciales a después de la deshidratación e impregnación con resina de poliéster (Biodur® P40) concluyendo que la deshidratación con bajas temperaturas (-25 °C a 5 °C) permitirá una menor contracción del tejido cómo lo estableció Von Hagens en 1985 (Eduardo. A. Nicolás. O, Marco. G, y Navarro, P. 2020).

La aplicación de la Plastinación a la neuroanatomía es muy importante. El reducido grado de retracción junto con la compatibilidad de técnicas de tinción selectivas, la convierten en un método de elección (Ottone, 2013).

6. METODOLOGIA

6.1 Materiales

6.1.1 Ficha técnica acetona.
Usos recomendados Clasificación según SGA: Inhalación
Efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo)
Presión de vapor (ROTH, 2019).

6.1.2 Ficha técnica alcohol isopropílico.
Usos recomendados Clasificación según SGA: Inhalación
Efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo)
Presión de vapor (Química Universal, LTDA, 2018).

6.1.3 Ficha técnica Formaldehído.
Usos recomendados Clasificación según SGA: Inhalación
Efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo)
Presión de vapor (CORPONOR, 2015).

6.1.4 Ficha técnica thinner.
Usos recomendados Clasificación según SGA: Inhalación
Efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo).
Presión de vapor

(Universidad Javeriana, 2015).

6.1.5 Ficha técnica resina epóxica.

Usos recomendados

Clasificación según SGA:

Inhalación

Efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo)

(PLAINSUR, 2016).

6.2 Bases de datos.

- ❖ Bases de datos científicas como Scielo, Dialnet, Springer, Pubmed, Science Direct, Meiwo Science, DOAJ, entre otras.
- ❖ Buscadores específicos en internet como Google scholar, etc.
- ❖ Libros de técnicas de conservación de tejidos en plastinación.
- ❖ Literatura gris.
- ❖ Memorias y boletines.
- ❖ Artículos de revistas científicas y revisión de divulgación.

6.2.1 Búsqueda y revisión.

Se efectuó una búsqueda y revisión de literatura sobre plastinación a nivel internacional, se indaga en diferentes bases de datos, todas de origen científico con palabras claves.

6.2.2 Definición de los criterios de inclusión de bibliografía.

Se incluyeron estudios descriptivos, estudios observacionales descriptivos, estudios experimentales: reportes con materiales nuevos ya que en sí es una técnica relativamente nueva e innovadora.

6.2.2.1 Tipos de estudios y medidas de resultados.

Reportes donde se compara la técnica estándar alemana, con propuestas hechas por laboratorios y universidades con uso de nuevos materiales y variaciones en constantes como tiempo, concentraciones y aplicación de colores en las diferentes etapas del proceso de plastinación.

6.2.2.2 Localización del estudio.

Revisión de trabajos de grado de diferentes universidades. Búsqueda electrónica o

manual de artículos en revistas, boletines, reportes de laboratorios, instituciones privadas como galerías o gubernamentales.

6.2.3 Definición de criterios de exclusión de bibliografía.

Se aplicaron criterios de exclusión a los artículos encontrados, tales como:

- ❖ Año de publicación se fue mucho más flexible ya que no existe mucha literatura.
- ❖ Duplicación de los estudios.
- ❖ Pertinencia de los reportes encontrados.

6.3 Proceso de plastinación

En el proceso de plastinación, las piezas cadavéricas sufren un proceso físico-químico el cual da como resultado productos conservables en el tiempo y libres de olor (Vanegas et al., 2013). Esta técnica consta de cuatro pasos:

- 1) Fijación con formol al 5%.
- 2) Deshidratación.
- 3) Impregnación forzada.
- 4) Curado o endurecimiento de los polímeros.

Las cualidades finales de la pieza dependen del tipo de polímero empleado (Miranda, 2015).

6.3.1 Fijación.

Se debe realizar un lavado de la pieza, para limpiar de restos de sangre, coágulos y otros materiales biológicos que puedan interferir con la fijación de la misma evitando la descomposición de los tejidos, este proceso lleva alrededor de 3-4 horas, para así realizar la inmersión durante una semana aproximadamente (Miranda, 2015). La cual se puede hacer en diferentes soluciones, las más usadas es el formaldehído al 5% que se emplea en una relación 1:10. Siendo este favorecedor de mantener las estructuras anatómicas intactas, además de evitar la retracción (Valdés, Vega y Valenzuela, 2010). El formaldehído inserta puentes de metileno entre los átomos de nitrógeno de proteínas adyacentes, por lo cual se considera un excelente agente fijador, en ocasiones se han adicionado pigmentos vegetales de la industria

alimentaria local con el fin de darle una apariencia natural (Luis. A, Manuel. R, Juan. V, 2018).

Se utiliza a bajas temperaturas, por debajo de 15° C, por un periodo de 4 a 8 semanas, de acuerdo con el tamaño del órgano y la contextura del cadáver (Reyes, 2007).

6.3.2 Deshidratación.

El proceso posterior a la fijación es la deshidratación que dura en promedio un mes, consiste en extraer y sustituir los fluidos tisulares por un disolvente orgánico. Este solvente debe ser un apropiado disolvente intermediario volátil (acetona o diclorometano) que tenga las propiedades adecuadas para la extracción durante el proceso de impregnación (Sánchez et al., 2012).

Este se realiza sumergiendo la pieza en acetona al 97% y 100% con el fin de eliminar líquidos y grasa, es recomendable que la temperatura descienda a -20° C, con objetivo de evitar la contracción o encogimiento de los tejidos. Cuando la muestra está totalmente deshidratada se sacan del recipiente con acetona a destilar a temperatura ambiente por unos minutos (Valenzuela et al., 2012).

Existen reportes donde como solvente intermediario se utilizó alcohol isopropílico debido a que presentan moléculas con características estructurales y fisicoquímicas similares a los de la acetona o diclorometano. donde se realizó a temperatura de -15 °C, debido a condiciones propias de las instalaciones. Esto difiere de la temperatura recomendada en la técnica estándar alemana, que es de -25 a -20 °C (Luis. A, Manuel. R, Juan. V, 2018).

6.3.3 Impregnación forzada.

Una vez deshidratado se pasa al proceso conocido como impregnación forzada, el cual consiste en suplantar el solvente que ocupa los espacios que anteriormente contenían agua y

grasa por un polímero curable convirtiéndose en el paso principal de la plastinación (Reyes, 2007).

Esta impregnación es forzada con una bomba de vacío; la presión de vacío generada en la cámara, facilita la evaporación del solvente y el ingreso a los tejidos de las moléculas del material seleccionado; debe realizarse por un periodo no menor a 7 días (Pashaei, 2010). Con base en el principio químico donde la acetona posee un bajo punto de ebullición y alta presión de vapor, la extracción es directamente proporcional a la presión de vapor del solvente intermediario, pero es inversamente proporcional a la presión en la cámara de vacío por tanto explica como la acetona es extraída fuera del preparado en forma de burbujas de gas, mientras el polímero se introduce en el tejido (Sánchez et al., 2012).

La impregnación forzada se hace en una cámara de vacío que inicia por extraer los gases aproximadamente por una hora para luego dejar el cuerpo en la cámara por unos días si la pieza es delgada, o por algunos meses si el grosor de esta aumenta, en la técnica estándar alemana, la impregnación forzada finaliza una vez no se observa la extracción del solvente intermediario a presiones de 5 mmHg o inferiores, además la temperatura recomendada para este proceso es igual o menor de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, también se conoce como impregnación en frío (Reyes, 2007).

En la técnica propuesta por la Universidad de Antioquia se decide hacer impregnación forzada en frío de piezas deshidratadas con el alcohol isopropílico donde su resultado no fue satisfactorio, como segunda opción se opta por realizar dos veces la impregnación forzada con alcohol isopropílico (re-impregnación), primero a temperatura de $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ y luego a temperatura ambiente donde se utilizó con una mezcla de Biodur® S10:S3 en una proporción de 100:1 según la descripción original de la técnica (3, 14). Estas impregnaciones

mencionadas se realizaron descendiendo gradualmente la presión donde fue poco satisfactorio ya que la silicona Biodur® S10:S3, al ser expuesta a temperatura ambiente aceleró la reacción de elongación de cadena produciendo el aumento de la viscosidad del polímero, siendo así imposible dar por terminado el proceso (Luis. A , Manuel. R , Juan. V, 2018).

6.3.4 Curado.

Consiste en la vaporización del endurecedor, durante este proceso se produce el endurecimiento de los especímenes previamente impregnados en el baño del polímero, adquiriendo un aspecto firme, seco y de fácil manipulación. Para ello, las preparaciones son colocadas en un recipiente hermético al que previamente se añade un endurecedor en cantidad suficiente para cubrir el fondo del mismo, de forma que éstas no contacten directamente, pues el mismo actúa al evaporarse. El procedimiento de curado se realiza a temperatura ambiente con un polimerizante por cerca de 6 semanas; puede ser acelerado utilizando una bomba de acuario en la cámara por 2 o 3 semanas (Vanegas et al., 2013).

Posteriormente se almacenan no menos de 30 días en bolsas herméticas con lo que se favorece el proceso, esta vez del polímero al interior del espécimen (Luis. A, Manuel. R, Juan.V, 2018).

7. DISCUSIÓN

La plastinación es una técnica muy útil para obtener piezas cadavéricas que facilitan el estudio anatómico, sin embargo es compleja su ejecución, porque además de que existen sustancias de difícil acceso (deshidratadores y fijadores) estas no representan todo el problema, ya que en el proceso se requiere de congeladores muy potentes y cámaras de vacío que llegan a ser muy costosas o no llegan a las presiones necesitadas, en base a esto se siguen buscando opciones que puedan ayudar a replicar la plastinación con procedimientos alternativos y materiales accesibles económicamente.

En la técnica principal se usa la acetona como principal agente deshidratador presentando una presión de vapor de 222 mm Hg a 25°C (ROTH, 2019) por otro lado los deshidratadores usados como el alcohol isopropílico y thinner tienen presiones de vapor muy bajas en comparación que dieron resultados satisfactorios, es decir que podríamos llegar a tener buenos resultados de la mano de sustancias que no necesariamente cumplan con presiones altas.

La solución fijadora compuesta por alcoholes etílico y propílico son una alternativa al uso de acetona ya que presentan moléculas similares a las de la acetona

8. CONCLUSIONES

Comparando los procesos realizados por varias entidades reconocidas internacionalmente en el campo de la plastinación. La gran diferencia en estos procesos está en la etapa de deshidratación con acetona: en Murcia cuentan con refrigeradores que alcanzan los -25 C° difíciles de conseguir. Si bien en las diferentes publicaciones recomendaban ejecutar esta etapa a temperaturas bajas, no se cree en un comienzo que este punto fuese crucial ya que el resultado de no hacer este proceso a esa temperatura es la retracción leve de los tejidos que no afectan de manera drástica la pieza final (Rivera et al., 2009)

Los resultados que se pueden obtener de la plastinación son variados, entre ellos está la posibilidad de mantener al espécimen seco, con volumen y forma naturales; así como también se conserva una textura y coloración muy aproximadas a lo normal, sin el gran inconveniente de malos olores o los vapores irritantes y altamente tóxicos de los conservadores convencionales (formaldehído, fenol) que causan un desagradable aroma en el ambiente, que puede irritar las mucosas, sumado a la comodidad del manejo manual de las piezas y la resistencia de los cuerpos al tacto. Además, a partir de estas preparaciones plastinadas se contribuye a mejorar la investigación de la anatomía por medio de especímenes con este proceso, de tal forma que estructuras que son difíciles de observar porque se colapsan o pierden su lugar puedan ser fácilmente reconocidas, por tanto, permitir la visualización de los tamaños reales de las distintas estructuras anatómicas. Se busca también aumentar la durabilidad de especímenes, cortes y/o órganos utilizados en los trabajos de investigación de Anatomía, debido, por un lado, a la baja durabilidad de los cadáveres conservados en formaldehído.

- En Colombia la acetona es un producto químico de venta controlada, debido a su potencial uso en la fabricación de estupefacientes y sustancias psicotrópicas, por lo

que es de difícil consecución y alto costo. Por esta razón en el laboratorio de plastinación de la FM de la UDEA se decidió reemplazar la acetona por alcohol isopropílico (en adelante cualquiera de estas sustancias serán mencionadas como solvente intermediario). Esta adaptación fue posible debido a que estas moléculas presentan características estructurales y físico-químicas similares.

- En el método propuesto por la UDEA, se utiliza alcohol isopropílico, disolvente intermediario que se caracteriza por su baja presión de vapor, aspecto que dificulta su extracción completa, pues lograrlo requiere presiones más bajas y los equipos utilizados tienen límite de descenso en la presión; cercano a -5 mmHg.
- Consecuentemente se halló que cuando se modifica únicamente el solvente intermediario al método estándar alemán se observa mayor retracción y rigidez respecto a aquellas piezas sometidas al mismo proceso pero deshidratadas con acetona.

9. BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. La OMS considera cancerígeno el formaldehído. Jano On-line. Ediciones Doyma S.L. Publicado el 17/06/2004. Recuperado de: <http://db.doyma.es/cgi-bin/wdbcgi.exe/doyma/press.plantilla?ident=33455>.

ATSDR, 2019 - *Agencia de sustancias tóxicas 2019*. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.html

Beltrán Guerra JA. Historia de la preservación de cadáveres humanos. *Morfología*. 2009; 1(3):5-10

Bickley HC, Conner RS, Walker AN, Jackson RL. Conservación del tejido por impregnación de caucho de silicona. *J Int Soc Plastination* 1987; 1 (1): 30-9.

Bravo, H. & Inzunza, O. Evaluación de algunos programas computacionales en la enseñanza de la anatomía y neuroanatomía de la Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile. *Rev. Chil. Anat.*, 13(1):79-86, 1995.

Bravo, H. (2006). Plastinación, una Herramienta Adicional para la Enseñanza de la Anatomía. *International journal of morphology*, 24(3), 475-480.

Coleman R, Kogan I. An improved low-formaldehyde embalming fluid to preserve cadavers for anatomy teaching. *J Anat* 1998; 192(3):443-446.

CORPONOR, (2015) *Hoja de seguridad del formaldehído*. Recuperado de <http://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/Hojas%20de%20Seguridad/HS%20Formaldehido%202015.pdf>.

Demiryürek D, Bayramoglu A, Ustaçelebi S. Infective agents in fixed human cadavers: a

brief review and suggested guidelines. *Anat Rec* 2002; 269(4):194-197.

Dixit D. Role of standardized embalming fluid Conservación de piezas anatómicas 10 in reducing the toxic effects of formaldehyde. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology* 2008; 2(1): (2008-01 - 2008-06)

Jones DG, Whitaker MI. Engaging with plastination and the Body Worlds phenomenon: A cultural and intellectual challenge for anatomists. *Clin Anat* 2009; 22:770-776

Miranda, F. (2015). La plastinación como método de conservación de tejidos biológicos para docencia e investigación en la anatomía humana. *Peru Med Exp Salud Publica*. 32(4), 819-820.

Morales, J., Pérez, K., y Severiche, C. (2014). Riesgos toxicológicos por la exposición ocupacional al formaldehído en las salas de anatomía patológica. *Ciencia y salud virtual*, 6 (2), 141-152.

Muñetón GC, Ortiz JA. Conservación y elaboración de piezas anatómicas con sustancias diferentes al formol en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Salle. *Rev Med Vet* 2011; 22: 51-55

Pashaei S. (2010) una breve reseña sobre la historia, métodos y aplicaciones de plastinación *Int J Morphol* [Internet]. 2010

PLAINSUR, (2016) *Hoja de seguridad de la resina epóxica*. Recuperado de <http://www.supima.es/recursos/archivos/3e9e22f13158c6caa3c27109e5051ebd.pdf>

Química U,LTDA. (2018) *Hoja de seguridad del alcohol isopropílico*. Recuperado de <http://quimicauniversal.cl/www/wp-content/uploads/2017/06/hds-Alcohol-Isopropi%CC%81lico-H.S..pdf>.

Reyes, M. (2007). Anatomía humana y plastinación. *Boletín Mexicano de Historia y Filosofía de la Medicina*. 10(1): 34-39

ROTH, (2019) *Hoja de seguridad de la acetona*. Recuperado de: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-7328-ES-ES.pdf>

Saeed M, Rufai A, Elsayed S. Mummification to plastination. Saudi Med J 2001; 22 (11):956-959.

Sánchez, C., Andromaco, M., Páez, R., Barello, M., y Pedernera, G. (2012). Estudio de nuevas técnicas para conservación de piezas anatómicas, Plastinación. *Revista de salud pública*, 14(3), 27-32.

Sandoval, J. y Agüera, E. (1987). Manual de anatomía aplicada: caballo, vaca y perro. *Departamento de Anatomía y Embriología. Facultad de Veterinaria Córdoba y León.*

Thavarajah R, Mudimbaimannar VK, Elizabeth J, Rao UK, Ranganathan K. Chemical and physical basics of routine formaldehyde fixation. *J Oral Maxillofac Pathol* 2012; 16(3):400-405.

Universidad Pontificia Javeriana, (2015). *Hoja de seguridad del thinner*. Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015296/THINNER+T.E..pdf/daf8bdb4-9483-4a1e-87f7-7d31503073fc?version=1.0>

Valdés, F., Vega, E., y Valenzuela, M. (2010). Estudio Comparativo de Dos Técnicas de Plastinación. *International journal of morphology*, 28(3), 783-786.

Valenzuela, M., Azocar, C., Werner, K., Vega, E., y Valdés, F. (2012). Experiencia en Plastinación con Resina Poliéster P-4 para Cortes Anatómicos. *International journal of morphology*. 30(3), 810-813.

Vanegas, C., Dalmau, E., Trujillo, C., y Díaz., C. (2013). La técnica de plastinación por corrosión: realidad posible. *Med. Vet. ISSN 0122-9354*, 109-117.

Viegas S, Ladeira C, Nunes C, Malta-Vacas J, Gómez M, Brito M, y col. *Efectos genotóxicos en ocupacional exposición al formaldehído: un estudio en anatomía y laboratorios de patología y producción de resinas de formaldehído*. *J Occup Med Toxicol*. Agosto de 2008.

Whitehead MC, Savoia MC. Evaluation of methods to reduce formaldehyde levels of cadavers in the dissection laboratory. *Clinical Anatomy* 2008; 21:75- 81.

Beane Freeman L, Blair A, Lubin JH, et al. Mortality from lymphohematopoietic malignancies among workers in formaldehyde industries: The National Cancer Institute Cohort. *Journal of the National Cancer Institute* 2009; 101(10):751–761. [PubMed Abstract]

Programa Nacional de Toxicología, Departamento de Salud y Servicios Humanos , 2021 .Recuperado de :<https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/formaldehyde.pdf>
Fabio Valdés; Eduardo Vega & Marcos Valenzuela, *Estudio Comparativo de Dos Técnicas de Plastinación*, 2009, Recuperado de:

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022010000300020

Nicolás Ernesto Ottone, Marco Guerrero, Eduardo Alarcón , Pablo Navarro. (2020).

Statistical Analysis of Shrinkage Levels of Human Brain Slices Preserved by Sheet

Plastination Technique With Polyester Resin. *International Journal of Morphology*, 38(1), 13-16. recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022020000100013>

Nicolas Ernesto Otonne (2013). GUNTHER VON HAGENS, CREADOR DE LA PLASTINACIÓN. RESEÑA HISTÓRICA Y DESARROLLO DE LA TÉCNICA.

Recuperado de: <https://www.revista-anatomia.com.ar/archivos-parciales/2013-2-revista-argentina-de-anatomia-online-f.pdf>

Carlos A. C. Baptista, Philip B. Conran, 1989 PLASTINATION OF THE WRIST: POTENTIAL USES IN EDUCATION AND CLINICAL MEDICINE, *JInt Soc Plastination*, Vol 3:18-21, Recuperado de:

https://www.utoledo.edu/med/depts/neurosciences/pdf/Baptista_18a21.pdf

Jaime Alfonso Beltrán Guerra, 2009, *Historia de la preservación de cadáveres humanos*

Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/morfolia/article/view/10855/11331>

Koning, Hors Erich; Lobos, Alejandro; Probst, Alexander; Schoenberg, Alexander; Polsterer, Eva; Sora, Mircea Constantin , 2005, *Investigaciones con el método de plastinación E-12 en el dígito del equino. Una comparación entre cortes de dígitos normales y de dígitos de equinos con laminitis (Pododermatitis difusa aséptica)*. Recuperado de:

<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?>

[IsisScript=BIBACL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=033323.](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BIBACL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=033323)

Luis Miguel Acevedo-Arroyave, Manuel Andrés Rojas y Juan Manuel Velásquez, 2018, *Técnica de plastinación de la Universidad de Antioquia: una adaptación del método estándar alemán*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/iat/v31n3/0121-0793-iat-31-03-00228.pdf>.