

## ANÁLISIS MATEMÁTICO EN EL DOMINIO ESPACIAL Y DE LA FRECUENCIA DE MUESTRAS ANATÓMICAS SOMETIDAS AL PROCESO DE PLASTINACIÓN

Aldana Cesar<sup>1</sup>, Buitrago Elías<sup>2</sup>, Espinel Luis<sup>3</sup>, González Javier<sup>4</sup>,  
Gutiérrez Rafael<sup>5</sup>, Hernández Juan<sup>6</sup>, Lagos José<sup>7</sup>

**Resumen.** En el proceso de plastinación se busca someter muestras anatómicas a un tratamiento para garantizar su conservación. Durante este procedimiento es de gran importancia obtener características objetivas de estas muestras con el fin de determinar su estado y evaluar la calidad del proceso. A través del procesamiento digital de imágenes, se puede realizar un análisis matemático que permite extraer características de las texturas de las muestras anatómicas y obtener las medidas objetivas necesarias para cuantificar los cambios que se pueden en proceso. En este artículo se presentan los resultados del estudio de los cambios de texturas en muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación a través del análisis no lineal en el dominio espacial y análisis en el dominio de la frecuencia de imágenes digitales obtenidas durante este procedimiento.

**Palabras Claves.** Muestras anatómicas, plastinación, procesamiento digital de imágenes, texturas, dominio de frecuencia, análisis no lineal.

### 1. INTRODUCCIÓN

La plastinación es la técnica para llevar a cabo la conservación macroscópica de tejido biológico y es utilizada principalmente en la docencia de la morfología humana de las facultades de ciencias de la salud. La técnica se encuentra basada en la sustitución del agua y las grasas por polímeros como la silicona o la resina poliéster [1, 2, 3,4]. El proceso de plastinación se realiza a través de varias etapas, siendo la primera la fijación en la cual la muestra se almacena en formol, seguidamente se prosigue con la deshidratación en la cual se almacena la muestra en acetona y posteriormente se sigue con la cámara al vacío donde se crea un vacío para extraer los fluidos y ser reemplazados por resinas [5, 6,7]. La evaluación de la calidad de la aplicación de esta técnica se realiza de manera subjetiva debido a la experiencia de quien realiza el proceso y su habilidad para reconocer cambios en las características de los tejidos, lo cual conlleva

a que se obtengan resultados cualitativos que puedan tener deficiencias en la identificación de retracciones o de cambios importantes en las características del color del tejido. Con la finalidad de utilizar las técnicas aportadas por el procesamiento digital de imágenes, se ha realizado este trabajo utilizando el asistente matemático Matlab, para identificar alteraciones en las características de textura, que presentan muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación. El procesamiento digital de imágenes es una técnica en la cual se adquiere, a través de un dispositivo digital de video, una función bidimensional de la intensidad de luz en función del espacio. Cada imagen adquirida se compone de tres matrices, las cuales contiene el valor de intensidad de luz en función de coordenadas de espacio (píxel),  $f(x,y)$ . Para cada matriz se posee la intensidad de cada una de las componentes RGB (rojo, Verde y Azul).

Además del color, la textura es una propiedad innata de todas las imágenes, la cual contiene información importante acerca del ordenamiento estructural y sus relaciones con el ambiente que la rodea. La textura es una importante característica de la imagen y su uso en clasificación digital de imágenes está basado en la necesidad de incluir patrones de variabilidad en el análisis [8].

El tratamiento de texturas en el dominio espacial se puede realizar a través de modelos estadísticos, debido a que muchas texturas no tienen una distribución geométrica regular, por el contrario, presentan variaciones que no pueden ser descritas de un modo satisfactorio mediante las formas y sin embargo, pueden describirse mediante modelos estadísticos [9]. Como técnica para el estudio de texturas en el dominio espacial se cuenta con el cálculo de la entropía que permite distinguir entre intensidades de píxeles muy regulares entre sí, que representan información

<sup>1</sup> Aldana Cesar Augusto, Ingeniero Biomédico. U. Antonio Nariño. Bogotá - Colombia (e\_mail: cscar07@hotmail.com).

<sup>2</sup> Buitrago Elías, Grupo de Investigadores de Sistemas Complejos. Dirección Nacional de Investigaciones. U. Antonio Nariño. Bogotá - Colombia. (e\_mail: elias.buitrago@uan.edu.co).

<sup>3</sup> Espinel Luis Fernando, Químico Farmaceuta. Departamento de Anatomía, Laboratorio de Plastinación. U de Andes (e\_mail: lfespinel@gmail.com).

<sup>4</sup> González Barajas Javier, Facultad de Ing. Electrónica y Biomédica. Universidad Antonio Nariño. Bogotá - Colombia. (e\_mail: javiere\_gonzalez@yahoo.com.mx).

<sup>5</sup> Gutiérrez Salamanca Rafael, Grupo de Investigadores de Sistemas Complejos. Dirección Nacional de Investigaciones. U. Antonio Nariño. Bogotá - Colombia. (e\_mail: director.sistemas.complejos@uan.edu.co)

<sup>6</sup> Hernández Juan David, Médico Anatomista Departamento de Anatomía, Laboratorio de Plastinación. U de Andes (e\_mail: juandah@uniandes.edu.co).

<sup>7</sup> Lagos Sandoval José Arturo. Facultad de Ing. Electrónica y Biomédica. Universidad Antonio Nariño. Bogotá - Colombia (e\_mail: josearturo@yaho.es).

útil de una imagen como texturas y bordes, mientras que intensidades de píxeles aleatorias indican ruido; valores bajos de entropía indican aleatoriedad y valores altos de entropía indican orden [10]. La entropía se puede calcular de varias maneras, para fines de este trabajo se ha contado con el cálculo de la entropía aproximada (EnAp) y Entropía Muestral (EnMu) son dos implementaciones de entropía, que se utilizan para determinar el grado de irregularidad o aleatoriedad de secuencias numéricas de longitud finita. [11,12] En las ecuaciones 1, 2 y 3 se puede observar el cálculo de la EnAp.

$$EnAp(N, m, r) = \Phi^m(r) - \Phi^{m+1}(r) \quad (1)$$

$$\text{Con } \Phi^m(r) = \frac{1}{N-m+1} \sum_{i=1}^{N-m+1} \ln C_r^m(i) \quad (2)$$

$$\text{Y } C_r^m(i) = \frac{N^m(i)}{N-m+1} \quad (3)$$

Por medio de las ecuaciones 3,4 y 5 se puede calcular la EnMu.

$$EnMu = -\log \left[ \frac{A^m}{B^m} \right] \quad (3)$$

$$A_i^m = \frac{1}{N-m-1} A_i \quad \text{y} \quad A(r)^m = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r) \quad (4)$$

$$B_i^m = \frac{1}{N-m-1} B_i \quad \text{y} \quad B(r)^m = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r) \quad (5)$$

En el dominio espectral se puede utilizar el análisis de Fourier y es de gran utilidad para detectar la periodicidad global de una imagen mediante la identificación de picos estrechos de alta energía del espectro [10]. En el dominio de la frecuencia es posible contemplar que si una textura es espacialmente periódica o direccional, su espectro de potencia presentará picos para las correspondientes frecuencias espaciales. Una vía para definir características es buscar en el espacio de Fourier directamente o explorar dicho espacio de forma radial o bien en círculos concéntricos a partir del origen [13,14]. Para efectos del desarrollo de este trabajo se toma una imagen de dimensión cuadrada con una cantidad de  $N^2$  píxeles la cual representa una función de intensidad de grises  $f(x,y)$ . Por lo cual la transformada de Fourier permite tomar la función  $f(x,y)$  y llevarla al dominio de la frecuencia para obtener  $f(u,v)$  como se puede apreciar en la ecuación 6

$$f(u, v) = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/N+vy/N)} \quad (6)$$

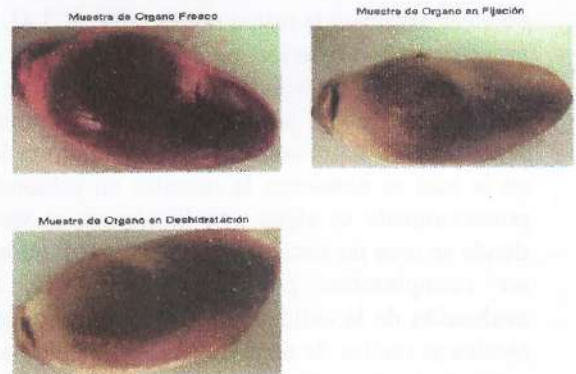
## 2. MATERIALES Y METODOS

### a. Muestras anatómicas

Como material de estudio en este trabajo se utilizaron muestras de corazón fresco de porcino, las cuales un grupo fue sometido al proceso de plastinación en el cual las muestras atraviesan tres etapas: sometimiento a formol (fijación), cetona (deshidratación) y cámara al vacío, que hacen parte de la aplicación de la técnica de plastinación desarrollado en el Departamento de Anatomía de la Universidad de los Andes. El segundo grupo se sometió a refrigeración a  $-25^\circ\text{C}$  de temperatura. En la figura 1 se ilustra un ejemplo de las muestra anatómica en los diferentes estados.

**FIGURA 1**

Análisis matemático en el dominio espacial y de la frecuencia de muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación  
Muestra anatómica en tres diferentes estados: fresco, fijación y deshidratación.



### b. Adquisición de imágenes

Las imágenes digitales capturadas en diferentes fases del proceso mencionado se adquirieron por medio de una cámara digital kodak Easy Share V1073 con sensor CCD de 25,4mm/41,4mm (1 pulg. / 1,63 pulg.), 11.11Mpíxeles reales, zoom óptico de 3 aumentos, zoom digital de 5 aumentos, alcance total del zoom de 15 aumentos, estabilizador de imágenes óptico. Las imágenes digitalizadas poseen un tamaño de 3648x2736 en formato de compresión JPEG. Se realizó una clasificación de las imágenes a partir de la etapa del proceso de plastinación en el cual se encontraba la muestra. Posteriormente se procedió a realizar el recorte de las imágenes llevándolas a la mitad del tamaño inicial, buscando eliminar componentes del fondo, los cuales no son importantes en el análisis.

c. Iluminación

La iluminación se baso en un sistema compuesto por tres lámparas en posición de 120°, para lograr iluminación uniforme, se rodeó el tejido con papel blanco, permitiendo la entrada de luz difusa. En la figura 2, se muestra la imagen del sistema que se utilizó para tal fin.

FIGURA 2

Análisis matemático en el dominio espacial y de la frecuencia de muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación  
Sistema de iluminación diseñado para lograr un ambiente de luz controlado. Esta compuesto por tres lámparas halógenas de 25 Watios de potencia a 110 voltios AC. La distribución es a 120 grados.



d. Análisis matemático

Para el desarrollo del análisis matemático, se han tomado imágenes con los parámetros ya establecidos en resolución e iluminación, para cada muestra anatómica en diferentes etapas del proceso de plastinación. Las imágenes adquiridas y almacenadas en formato JPEG fueron llevadas a imágenes en escala de grises. De cada imagen adquirida se ha tomado un recuadro en el centro de cada una con un radio de 300 píxeles generando matrices de 600 x 600 píxeles.

Para el dominio espacial de los recuadros seleccionados se utilizó el cálculo de la entropía por medio de los algoritmos para EnAp y EnMu, tomando el promedio de los resultados de las filas y de las columnas.

Para el análisis matemático en el dominio de la frecuencia de las imágenes adquiridas se utilizo principalmente la transformada de Fourier expresada en la ecuación 1.

Por medio del cual se pudo obtener una relación entre el avance del proceso y la perdida de componentes de altas frecuencias.

3. RESULTADOS

Las imágenes utilizadas para caracterizar el proceso de plastinación, se organizaron de la siguiente manera:

- Fresco- imagen de muestra en estado fresco.
- Fijación- imagen de muestra en estado de Fijación.
- Deshidratación- imagen de muestra en estado de fijación.

Como complemento experimental se utilizaron imágenes para caracterizar las muestras en congelación y poder compara también sus transformaciones. Se organizaron de la siguiente manera:

- Frescoref1- imagen de muestra en estado fresco.
- Frescoref2- imagen de muestra en estado de congelación.

Para ilustrar los resultados obtenidos por medio del uso del cálculo de la entropía por medio de los algoritmos para EnAp y EnMu se han tabulado los datos obtenidos para los promedios de las filas en la tabla I., utilizando  $m=1$  y  $r=0.2$

TABLA I

Análisis matemático en el dominio espacial y de la frecuencia de muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación  
Valores de Entropía promedio por filas

| Tipo              | Entropía Aproximada*<br>( $m=1, r=0.2$ ) | Entropía Muestral*<br>( $m=1, r=0.2$ ) |
|-------------------|--|--|
| Frescoref1 (C1)   | 0.4237 ± 0.0135                          | 0.1125 ± 0.0543                        |
| Frescoref2 (C1)   | 0.4763 ± 0.0618                          | 0.2113 ± 0.0106                        |
| Fresco (C2)       | 0.5438                                   | 0.1143 ± 0.0321                        |
| Fijacion (C2)     | 0.396 ± 0.0625                           | 0.1034 ± 0.0759                        |
| Deshidratado (C2) | 0.5124                                   | 0.1129 ± 0.0682                        |

C1: corazón 1, C2: corazón 2.

\*Media y desviación estándar de los valores de entropía de cada fila de la imagen.

Posteriormente se procedió con los parámetros  $m=1$  y  $r=0.2$  a calcular los valores promedios de entropía tomando las columnas de las matrices seleccionadas.

**TABLA II**  
Análisis matemático en el dominio espacial y de la frecuencia de muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación  
Valores de Entropía promedio por columnas

| Tipo              | Entropía Aproximada*<br>( $m=1, r=0.2$ ) | Entropía Muestral*<br>( $m=1, r=0.2$ ) |
|-------------------|--|--|
| Frescoref1 (C1)   | 1.1184 ± 0.1058                          | 0.1688 ± 0.1013                        |
| Frescoref2 (C1)   | 1.0123                                   | 0.1303 ± 0.0834                        |
| Fresco (C2)       | 0.3381 ± 0.1399                          | 0.1764 ± 0.0255                        |
| Fijación (C2)     | 0.5069 ± 0.018                           | 0.0843 ± 0.0526                        |
| Deshidratado (C2) | 0.6303 ± 0.0581                          | 0.1541 ± 0.0463                        |

C1: corazón 1, C2: corazón 2.

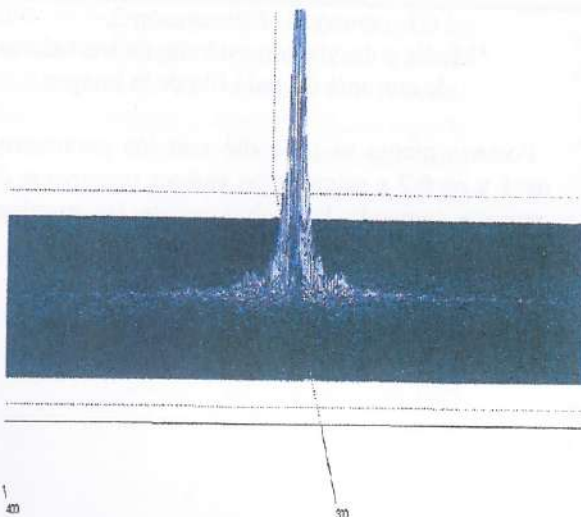
\*Media y desviación estándar de los valores de entropía de cada columna de la imagen.

Cómo se pudo observar en la tabla I y II, cuando la muestra anatómica sometida a congelación representada por las imágenes Frescoref1 y Frescoref2, el valor de la entropía entre el estado fresco y congelado no representa un cambio abrupto, lo que puede indicar desde el punto de vista de la información que en la congelación los tejidos no padecen de mucha pérdida de información.

En el caso de la muestra que ha sido sometida a los estados de fijación y deshidratado, se ha notado que el valor de la entropía puede aumentar.

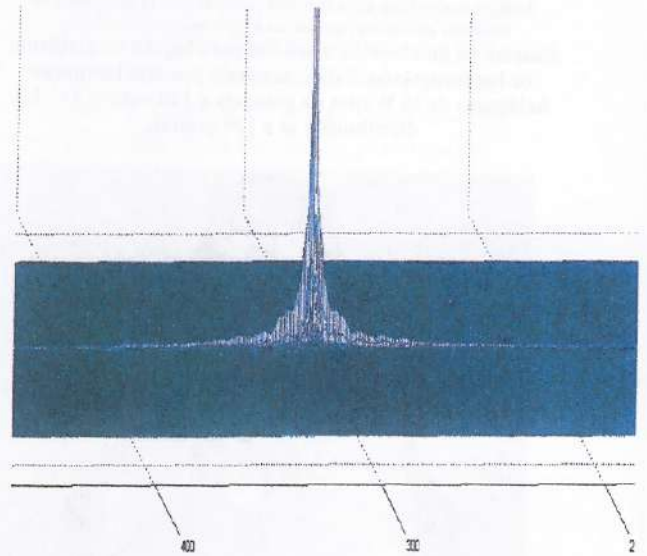
Para poder contar con otro tipo de medida que de indicaciones de los cambios ocurridos en la muestra anatómica sometida a plastinación se ha utilizado la transformada de Fourier descrita en la ecuación 6, por medio de la cual se ha podido visualizar en la figura 3 las componentes espectrales en magnitud del tejido fresco.

**FIGURA 3**  
Análisis matemático en el dominio espacial y de la frecuencia de muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación  
Componentes espectrales en magnitud de una sección de imagen del corazón de porcino en estado fresco



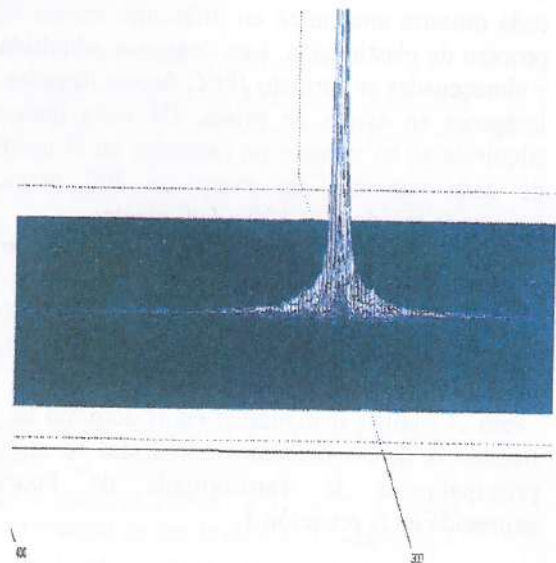
En la figura 4 se puede apreciar el mismo análisis pero aplicado a la imagen del corazón de porcino en la segunda fase del proceso denominado fijación.

**FIGURA 4**  
Análisis matemático en el dominio espacial y de la frecuencia de muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación  
Componentes espectrales de una sección de imagen del corazón de porcino en fijación



En la figura 5 se ilustra las componentes espectrales en magnitud cuando la muestra ha pasado por el proceso de deshidratación.

**FIGURA 5**  
Análisis matemático en el dominio espacial y de la frecuencia de muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación  
Componentes espectrales de una sección de imagen del corazón de porcino en deshidratación



De este estudio preliminar ha quedado evidencia que con el avance del proceso las componentes espectrales en magnitud correspondientes a las altas frecuencias sufren atenuaciones que indican

que los niveles de grises adquieren transiciones lentas que también es sinónimo de un suavizado de las texturas.

#### 4. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo de investigación ha sido el de analizar a través del procesamiento digital de imágenes y la implementación de técnicas no lineales, los cambios de textura que pueden ser causados en la superficie de muestras anatómicas que se someten al proceso de la plastinación. A través del cálculo de la entropía se ha podido contar con un indicador de la aleatoriedad de las texturas de las muestras anatómicas sometidas al proceso de plastinación relacionado con el aumento del valor calculado. En el caso de una disminución el valor de entropía, se podría relacionar con un tejido cuya textura se hace más homogénea. Por medio del

análisis en el dominio de la frecuencia utilizando la transformada de fourier para funciones bidimensionales, se ha podido evidenciar que al someter las muestras anatómicas a la acción de sustancias químicas como el formol y la acetona, se obtienen atenuaciones en las componentes espectrales en magnitud de alta frecuencia.

#### 5. RECONOCIMIENTOS

Este artículo se ha podido realizar gracias a la colaboración del equipo de trabajo conformado el Médico Juan David Hernández y el Químico Farmaceuta Luis Fernando Espinel, los cuales han liderado el proceso de plastinación de muestras anatómicas dentro del laboratorio de plastinación del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad de los Andes, Bogotá DC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

- [1]. UTEHA. (1983). "El hombre, origen y misterios". México, Vol. 2, p. 1443.G.
- [2]. UTEHA. (1983). "El hombre, origen y misterios". México, Vol. 2, p. 193.
- [3]. GOERKE, H. (1986). "300 Años de Historia de la medicina". Barcelona, Gustavo Gilli, p. 11.
- [4]. PALENCIA OYARZÁBAL, C. (1996). "La medicina en la historia". México, Médico Moderno, Vol. 1, p. 84.
- [5]. REYES-AGUILAR, M. E. "Anatomía Humana y Plastinación". Bol Mex His Fil Med 2007; 10(1): 24-39.
- [6]. VON HAGENS, G. (2002). "Bodyworlds". 3a. ed. Heidelberg, Institut für Plastination, p. 19 - 25.
- [7]. BRAVO, H. (2006). "Plastinación, una Herramienta Adicional para la enseñanza de la Anatomía". Santiago de Chile. Int. J. Morphol., 24(3):475-480, 6Págs.
- [8]. GIL, J. Estado Actual de la representación y análisis de textura en imágenes. CENATAV. Ciudad de la Habana. 2008.
- [9]. PAJARES, G. (2002). "Visión por computador. Imágenes digitales y aplicaciones". Alfaomega. Bogotá, 724p.
- [10]. PARKER, G. J. M. SCHNABEL AND BARKER, G. J. (1999). "Nonlinear Smoothing of MR Images Using Approximate Entropy - A Local Measure of Signal Intensity Irregularity", IPMI'99, LNCS 1613, pp. 484-489.
- [11]. PINCUS, S. M. (1991). "Approximate entropy as a measure of system complexity", Proc. Nati. Acad. Sci. USA, Vol. 88, pp. 2297-2301, March,
- [12]. AKAI, M. (2001). "Nonlinear Biomedical Signal Processing, Dynamics Analysis and Modeling", IEEE Press, pp. 73-77.
- [13]. GONZALEZ, R. Y WOODS, R. (1996). "Tratamiento Digital de Imágenes". Editorial Wilmington (Delaware) 548p.
- [14]. GÓMEZ, E. "Taxonomía de la constancia del color". El hombre y la máquina. Cali. 2005. 29-43.
- [15]. JUDD, D. Y WYSZECKI. "Color in business, science and industry". Tercera edición. Editorial John Wiley and Sons. Págs. 29-32.
- [16]. RUIZ, M. (2003). "Propuesta para plastinación de cortes anatómicos, no acetona temperatura ambiente". Revista de la facultad de medicina de la Universidad del Bosque Bogotá D.C, 36-39.