

Análisis de textura de imágenes digitales mediante algoritmos y geometría fractal. Aportes a la criminalística en la identificación de micro huellas de elementos filosos sobre la superficie de huesos.

Atilio Nasti

Resumen

Se presenta una alternativa para el análisis de textura de imágenes de huellas producidas por elementos filosos sobre la superficie de huesos. A partir de imágenes digitales obtenidas con microscopia electrónica, se analiza la textura mediante algoritmos para lograr detectar algunas diferencias morfológicas significativas entre las huellas y así obtener resultados preliminares que prometen ser de gran utilidad en el análisis de huellas producidas por instrumentos de bordes filosos de arma blanca sobre huesos, por lo que esta técnica podría ser desarrollada para ser aplicada en el análisis de evidencias en contextos criminales.

Introducción

La superficie del hueso tiene gran valor como testigo de las actividades que se han realizado sobre él (Botella 1999). Luego de la muerte y mientras los procesos pos depositacionales no alteren su superficie, el hueso conserva mayormente las huellas de los fenómenos que lo han afectado (Guilbau 1989; Aluni Perret 2005).

Esta capacidad biológica convierte al tejido óseo en uno de los objetivos de análisis más valiosos cuando los tejidos blandos ya se han degradado siendo el soporte de indicadores de acción traumática sobre ellos (Botella 1999; Symes 1992, 2010; White 1992;).

Desde hace décadas, los estudios de marcas de corte tanto en restos óseos humanos como animales, han brindado información a los arqueólogos sobre aspectos culturales de poblaciones antiguas, tanto en relación a las actividades económicas como procesamiento de carcasas animales, métodos de caza, etc., como en actividades vinculados a la guerra o al aspecto ritual (Blumenshine et al.1996; Domínguez- Rodrigo 2007; Bunn y Kroll 1986; Capaldo 1997 Gifford-Gonzalez 1991).

En este sentido, si bien los estudios macroscópicos y descriptivos son aplicados con eficacia, los aportes de nuevas tecnologías ofrecen la oportunidad de ampliar el campo de conocimiento en base a nuevas vías analíticas (Dirkmaan et al. 2008; Aluni Perriet 2005; Schnider 2009, Katterwe 1996).

Sin embargo, las marcas de corte mediante instrumentos filosos que son utilizadas como indicadores de traumas perimortem o intentos postmortem de desarticulación, obliga en cierto sentido, a que los resultados no sean ambiguos y al mismo tiempo sean significativos si queremos apoyar argumentos que sean útiles en el ámbito pericial (Symes y Serriman 1989; Symes et al. 2010; Buchs 2009; Izase Peláez 2005).

Si asumimos que las huellas dejadas en el tejido óseo guardan los patrones arquitectónicos de los artefactos que las produjeron, la utilización de imágenes microscópicas y su procesamiento digital podría ser un instrumento valioso para el análisis morfológico y la identificación del artefacto implicado (Silvetti y Delrioux 2008; Symes et al. 2010; Aluni Perret 2005).

El presente estudio parte de la hipótesis de que existiría una relación cuali_cuantitativa entre el filo de un instrumento de corte y la topografía que este produce sobre la superficie del hueso. La utilización de algoritmos para el análisis de Textura, y la aplicación de la Dimensión Fractal es utilizado para evaluar la relación numérica entre esos factores del modelado topográfico y así vincular la característica de los filos de los instrumentos. Por tanto, los objetivos propuestos en este trabajo han sido: a) Determinar los valores de textura de superficie mediante la aplicación de algoritmos (Correlación de Matrices de Niveles de Grises; GMLC) y la Dimensión Fractal (D), b) Comparar estas variables en cuatro muestras realizadas con dos diferentes tipos de filos, y c), determinar la posible correlación entre las diferentes variables.

Presentación del problema.

Las huellas como evidencia directa de actividad humana, continúan siendo un fenómeno plausible de presentar características de equifinalidad ya que su morfología puede ser similar a marcas o huellas producidas por otras actividades antrópicas como el pisoteo (*trampling*) u otros factores de carácter natural, como estriaciones meteóricas o actividad de carnívoros (Fernández-Jalvo et al. 1999; White 1992). Sin embargo, existen algunos indicadores que ayudan a discriminar su etiología como la posición topográfica sobre la superficie del hueso, la orientación, el número de marcas y su micro morfología siendo posible una discriminación no ambigua entre las huellas culturales y las naturales (Wong 2005; Izasa Peláez 2005; Bush et al. 2009; Blau 2016).

Consideramos que toda huella que altere la superficie de un hueso es de etiología traumática, por lo que definimos como trauma esquelético:

“as a modification, and ultimately the failure, of bone at the macro and/or microscopic level in cortical and/or trabecular bone as a result of a slow and/or rapid-loaded impact with an object” (Blau 2016:22)

Desde el punto de vista histológico, el tejido óseo no reacciona fisiológicamente en el contexto perimortem al no producir una reacción apreciable de regeneración celular, por lo que las marcas que se producen en el contexto peri mortem quedan allí, y en general no se alteran, salvo por factores que sean externos al propio hueso (Botella 1973; Duday 1980; Botella y Alemán 1998; 2004; Botella et al. Alemán y Jiménez 1999; Botella et al. 2000).

El traumatismo por instrumento filoso puede incluir huellas de picado, punzado, y corte o incisiones (Duday 1980). Pero se debe diferenciar entre marcas de corte *en el hueso* y marcas de corte *sobre el hueso*. Las primeras son las huellas dejadas como consecuencia del corte de las partes blandas, dejando en muchos casos micro huellas que quedan como testigo luego del proceso de reducción esquelética. A su vez las segundas hacen referencia a las marcas de desollamiento, de descarnar, de raspado y de desarticulación respondiendo a la intencionalidad de cortar los huesos, para reducir el cadáver o para cualquier otra actividad (Potter 2004).

Las marcas de corte con filos sobre los huesos tendrán mayormente una sección en V, cuya profundidad dependerá de la fuerza aplicada y de lo afilado que esté el utensilio utilizado, mientras que la anchura estará en relación directa con el espesor de la hoja. Por tanto, será posible aportar algunas precisiones objetivas acerca del tipo de instrumento que se empleó, así como de la fuerza aplicada y la dirección del corte (Botella et al. 1999; Gilbert et al. 1990).

Si bien existe una amplia literatura forense en relación a las huellas producidas por instrumentos de corte sobre huesos (Symes et al. 2002, 2006; Bailey et al. 2011; Botella et al. 2000; Bush et al. 2009; Guilbeau, 1989, entre otros.) nuestro análisis se centrará en instrumentos de corte de filo metálico de pequeña maza.

Las huellas producidas por filos metálicos presentan una morfología de baja anchura con estrías individuales con sección cruzada en forma de "V" profunda pudiendo presentar micro estrías longitudinales y ausencia de trituración de hueso (Botella et al. 1999). En materia contextual, las marcas de corte se presentan frecuentemente en grupos sub paralelos, en tanto las huellas de raspado marcan campos superficiales orientados paralelamente al eje largo del hueso, frecuentemente con hoyuelos o depresiones (Blumenschine et al. 1996; Bunn et al. 1986; Capaldo 1997; Saville et al. 2006)

En cuanto a la morfología de las huellas con instrumentos de filo dentado, se notan numerosas marcas superficiales en ambos lados de la incisión debido al movimiento repetitivo aparte de la incisión inicial y un ligero efecto de onda en la forma de la incisión, esta última característica es típica y particular del cuchillo dentado (Peláez 2005). Para ambos filos existen ciertas variables que afectan la forma de las marcas dejadas por herramientas sobre el hueso, como la presión, ángulo de aplicación, longitud de la hoja y el movimiento usado durante el corte (Walker y Long 1977).

En trabajos de tipo experimental en restos óseos, Gilbert et al. (1990) han podido determinar que, en armas corto punzantes, el borde cortante es susceptible de dejar en el hueso características individuales que sugieren su identidad. Esto se debe a que el hueso es un elemento apto para la retención precisa de marcas de herramientas debido al equilibrio que éste posee entre rigidez y elasticidad (Botella et al. 2000).

En este mismo sentido, cada cuchillo es único en su construcción, además de poseer irregularidades propias, de su construcción o de su uso, razón por la cual la verificación de que el borde cortante de cada herramienta tiene un único patrón de estrías, similar a una huella digital, es la hipótesis esencial en la técnica de cotejo de

marcas de herramientas. Consecuentemente, la importancia de determinar el tipo de instrumento usado que ha dejado las marcas de corte, radica en la posibilidad de identificar y reunir evidencia sobre el sospechoso de cometer un crimen (Pijoan 1987).

Metodología

Se realizaron 16 huellas de corte en forma experimental entre 10 y 12 mm de largo, sobre el periostio de cuatro fragmentos de costillas de cerdo (*Scrofa sp.*) de 50 x 20 mm con dos tipos de filos, uno continuo (Muestra A1, A2, B1 y B2) y otro con filo aserrado (Muestra C1, C2, D1 y D2), Figura 1. Las huellas fueron examinadas con un Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA XL30, *Fei Quanta 450*). Este modo de operación permite examinar especímenes biológicos húmedos sin que haya una preparación de la muestra, las cuales fueron fijadas sobre un porta objetos usando cinta de carbono de doble cara. Las micrografías fueron capturadas en escala de grises de 610 x 358 píxeles, convertidas a escala de grises de 8 bits y almacenadas en formato TIFF.



Figura 1. Muestras de fragmentos de costillas de *Scrofa sp.* Que constituyen la muestra analizada

Para minimizar las diferencias micro estructurales, el brillo, contraste y demás parámetros ópticos fueron mantenidos constantes para todas las muestras al momento de la adquisición de las imágenes (20.00 kV-119x-HFW 1.76 mm). Las diez y seis huellas experimentales fueron comparadas con dos modelos de huellas, una realizada con filo continuo (Modelo Liso) y la otra aserrada (Modelo Aserrado) sobre la superficie plana de una costilla de cerdo (*Scrofa sp.*) con fines analítico comparativos (Figura 2).

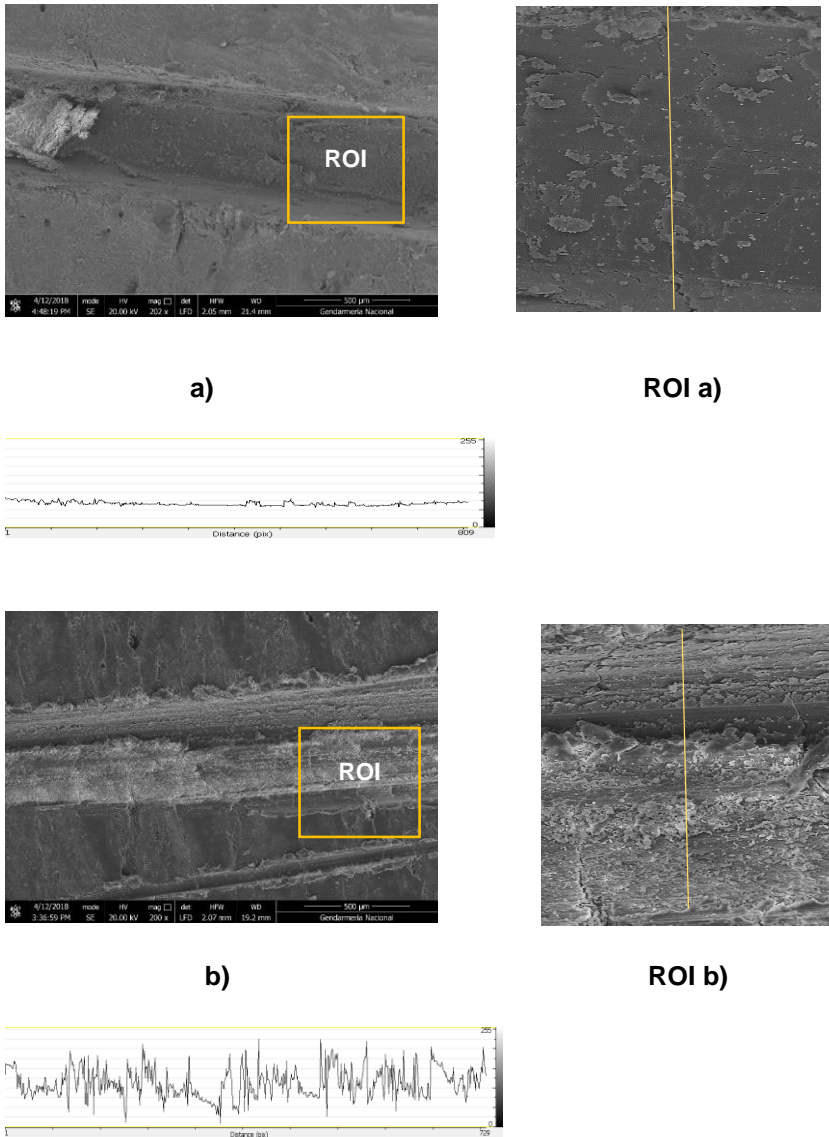


Figura 2. Modelo Liso a) y Modelo Aserrado b). Se muestran secuencias de rugosidad topográfica de la superficie de la huella computada a partir de la línea amarilla

Antes de iniciar el análisis, se aplicó a cada imagen el filtro *Unsharp Mask* para mejorar el enfoque y eliminar regiones de incertidumbre. Se manejan dos parámetros: el radio de desenfoque, que es la desviación estándar del desenfoque gaussiano (se utilizó = 2), y el peso de la máscara que determina la fuerza del filtrado, con posibles valores entre 0,1 y 0,9 (se tomó un valor de 0,6). Por último, se realizó la binarización de la imagen para la determinación de la Dimensión Fractal.

Para proceder al análisis de las huellas se construye una región de interés (ROI) de 100 x 100 píxeles. La creación de ROIs es uno de los primeros pasos en casi todas las operaciones de cuantificación de imágenes ya que constituye una región que se desea evaluar dentro del campo de visión. A cada ROI, se le aplicó el análisis de Textura de Imágenes (ATI) para caracterizar cuantitativamente la microestructura de las superficies de las huellas determinada por el arreglo espacial de los niveles de

grises de los píxeles de la imagen (Du y Sun, 2004). Seguidamente se aplicaron los algoritmos de Matriz de Co-Ocurrencia en Escala de Grises (GLCM-MCEG) con el objetivo de obtener parámetros texturales (Haralick et al.1973; Wen-Shiung et al.2003).

La Matriz de Co-Ocurrencia en Escala de Grises (GLCM, Gray Level Co-Occurrence Matrix) es un algoritmo estadístico de segundo orden que compara dos píxeles vecinos a un determinado tiempo y compila la frecuencia a la cual diferentes niveles de grises pueden ser encontrados dentro de un área restringida (Gosselin et al. 2008). Tres variables son consideradas en este algoritmo: el número de niveles de grises (0 a 255), la distancia entre los píxeles (d) y el ángulo de desplazamiento (θ) de 0° (Haralick et al.1973). Con este el algoritmo se calcularon cinco parámetros texturales: Segundo Momento Angular (SMA), Contraste (C), Correlación (CO), Diferencia Momento Inverso (DMI), y Entropía (E) (Mendoza et al. 2007; Gosselin et al. 2008).

La energía, conocida como segundo momento angular mide la uniformidad textural de la imagen y se considera un parámetro opuesto a la entropía. El contraste es una medida de las variaciones locales de los valores en escala de grises de los píxeles de una imagen. El contraste también es conocido como varianza o inercia y es lo opuesto a la homogeneidad, es decir es una medida de la variación local en una imagen y tiene un valor alto cuando la región dentro de la escala de la ventana presenta un alto contraste. El parámetro de homogeneidad, también llamado como diferencia de momento inverso es una medida similar a la energía la cual también representa la homogeneidad local de la imagen.

Por último, la entropía mide el desorden o aleatoriedad de la imagen y puede ser usado para caracterizar la textura siendo un indicador de la complejidad de la imagen, por lo que, imágenes complejas tendrán altos valores de entropía (Haralick et al.1973; Fernández et al.2005; Mendoza et al. 2007; Falconer 2003).

Aunque la segmentación en imágenes digitales es un tema de gran relevancia dentro del procesamiento de imágenes, los métodos tradicionales basados en operadores diferenciales, podrían resultar poco satisfactorios cuando son utilizados sobre material biológico. En este sentido, y considerando que el tejido óseo se caracteriza por un alto grado de auto similitud, los descriptores fractales podrían resultar más adecuados (Gilbeau 1989).

La Dimensión Fractal (D), se obtuvo utilizando el algoritmo de (*box-counting method*). La dimensión fractal se calcula desde la pendiente de un gráfico del \log de conteo de cajas contra el \log de tamaño de caja con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\log N}{\log (1/r)} \quad D = \log (N(L)) / \log (1/L)$$

Este parámetro es una medida que está directamente relacionada con el grado de rugosidad de la superficie. Para imágenes binarizadas 2D se espera obtener valores entre 1 y 2 de la dimensión fractal por lo que el valor de una superficie rugosa sería mayor que para una superficie lisa (Chanona, 2004, Silveti et al. 2010, Mandelbrot 1983, Haralick et al. 1973; Fernández et al. 2005; Mendoza et al. 2007).

Adicionalmente y como estimación de la rugosidad de las imágenes, se propone la utilización del cociente de los valores de entropía (E), divididos los valores de dimensión fractal (D). Esta relación permite evaluar la complejidad y rugosidad de una imagen de manera simultánea, debido a que frecuentemente una imagen compleja puede estar asociada con una imagen rugosa (Mandelbrot, 1983; Peitgen, 1992; Vazquez 2011; Du y Sun, 2004; Pedreschi et al. 2004). Por lo tanto, altos valores de la relación entropía/dimensión fractal estarán relacionados a imágenes con un alto grado de complejidad y rugosidad, mientras que bajos valores estarían asociados con imágenes simples y lisas (Quevedo et al. 2002; Grau 2006).

Por último, la estimación del exponente de Hurst (H) aparece como una dimensión complementaria a la dimensión fractal (Feder 1988). Esta estimación proporciona una medida para comprender si los datos son aleatorios o tienen tendencias subyacentes (Quintero y Delgado 2011; Álvarez-Ramírez et al. 2008).

El procesamiento de imágenes fue llevando a cabo utilizando el programa libre *Image J* v 1.34s (National Institutes Health, Bethesda, MD, USA). Los cinco parámetros texturales fueron extraídos desde las imágenes obtenidas por las técnicas de microscopía con el *plug-in GLCM Texture* incluido en el programa *Image J*. Para la determinación de la dimensión fractal (*box-counting method*) y el cálculo del exponente de Hurst, se utilizó la aplicación *Fractalyse 2.4d*. Los cálculos estadísticos se obtuvieron con *InfoStat 3,4*.

RESULTADOS

Dado que las variables no cumplían con los criterios de homogeneidad y que el tamaño de la muestra es pequeño, optamos por utilizar pruebas no paramétricas. Se utilizó la prueba de Wilcoxon y el coeficiente de correlación de Pearson para analizar las relaciones entre las variables (ambos con intervalo de confianza del 95% y diferencias significativas consideradas cuando $P < 0.05$).

En la Tabla 1 observamos los resultados del análisis de MCEG aplicados a todas las muestras y a los modelos lisos y aserrado. Podemos observar que los resultados mostrarían que el modelo liso es texturalmente más homogéneo que el aserrado, siendo extensivo este principio a todas las muestras relacionadas.

En cuanto a la dimensión fractal, los resultados no arrojaron diferencias significativas entre los dos grupos de muestras $p < 0,625$, no obstante, obsérvese que cuanto mayor es el valor de la dimensión fractal, esto es, cuanto más se acerca a 2, más relleno es el plano y más homogénea es la imagen.

También se observa para ambos grupos una correspondencia en el exponente de Hurst (H) cuyos valores son inversos a la dimensión fractal, ya que los valores decrecientes se conocen como *ruido rosa* y se relacionan con los procesos de turbulencia (Ver Tabla 1) (Feder 1988; Quintero y Delgado 2011; Álvarez Ramírez et al. 2008).

Muestras	SMA	CON	COR	DMI	E	D	H	r ²
A1	0,133	84,831	4,527	0,874	9,617	1,828	0,369	0,9092
A2	0,209	82,928	0,001	0,863	8,387	1,785	0,367	0,9510
B1	4,410	113,55	4,047	0,194	7,409	1,264	0,339	0,9227
B2	0,154	149,164	5,785	0,841	8,111	1,739	0,226	0,6603
C1	0,121	121,816	4,267	0,844	8,118	1,292	0,333	0,9072
C2	0,040	484,274	5,695	0,473	8,429	1,200	0,268	0,7740
D1	0,026	994,831	4,585	0,411	6,922	1,864	0,241	0,7920
D2	0,001	336,177	8,233	0,165	7,566	1,722	0,230	0,6236
M. Liso	0,002	270,0000	0,002	0,355	7,422	1,828	0,296	0,6540
M. Aserrado	6,009	595,0000	5,336	0,582	9,855	1,816	0,148	-0,286

Tabla 1. Matriz de Co-Ocurrencia en Escala de Grises (GLCM). SMA: Segundo Momento Angular, CON: Contraste, COR: Correlación, DMI: Diferencia Momento Inverso, E: Entropía, D: Dimensión Fractal, H: Exponente de Hurst y r²: Coeficiente de correlación.

En cuanto a la entropía (*E*), los valores del Test de Wilcoxon para ambos grupos experimentales, mostro que las diferencias entre las medias de los dos grupos son significativas, ($p < 0,006$).

En la Figura 3 se muestra la divergencia de las líneas de tendencia logarítmica relacionadas entre la (*D*) y (*E*) para toda la serie experimental (r Pearson -0,501). Nótese que la divergencia aumenta hacia los grupos experimentales donde se esperaba encontrar superficies más rugosas.

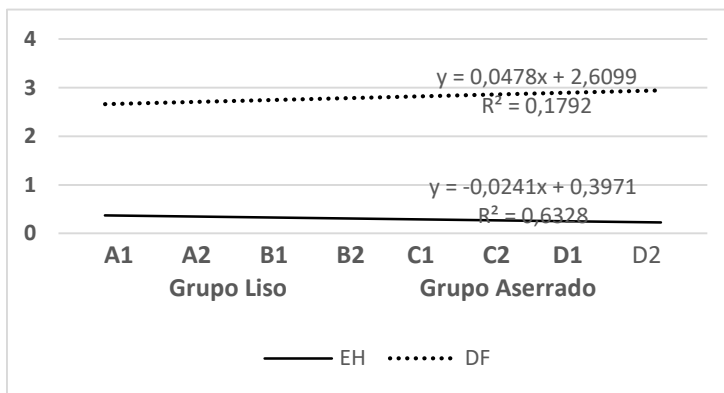


Figura 3. Cociente entre la dimensión fractal (línea discontinua) y el exponente de Hurst (Línea continua).

La Tabla 3 muestra el cociente entre la entropía (*E*) y la dimensión fractal (*D*). Los resultados más elevados se asocian con texturas más complejas y rugosas (C1, C2, D1, D2 y Modelo Aserrado), mientras A1, A2, B1 presenta y Modelo Liso muestran resultados menores. La Figura 4 muestra una línea de tendencia lineal que aumenta hacia las muestras con superficie más rugosa. Si observamos los valores vemos que la muestra B2 presenta un índice elevado distorsionando los valores del grupo experimental de filo liso, aunque el Test de Wilcoxon mostro deferencias significativas entre ambos componentes $p < 0,0017$.

Muestra	Cociente E/D
A1	1,249
A2	1,161
B1	1,223
B2	4,584
C1	6,390
C2	3,150
D1	3,713
D2	4,393
M Liso	1,000
M serrado	1,673

Tabla 3. Cociente entre el Entropía (E) y dimensión fractal (D).

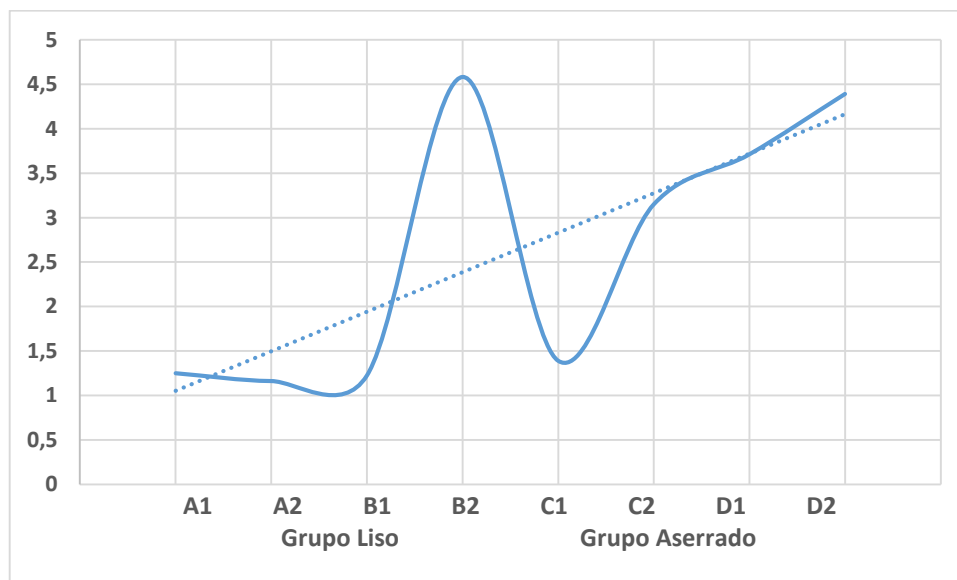


Figura 4: Gráfico del cociente entre E y DF.

CONCLUSION

Se observaron diferencias significativas para la variable entropía (E) entre ambos grupos experimentales en concordancia a las diferencias encontradas entre el modelo liso y aserrado de huellas, mientras que no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las muestras para las variables de la dimensión fractal, (D). Sin embargo, se observaron altas correlaciones inversas entre la dimensión fractal y la entropía ($P < 0,016$) que apoyaría diferencias de texturas entre ambos grupos experimentales. Los resultados obtenidos parecen sugerir que una combinación de algoritmos más que la elección de uno solo, podría aportar información útil para la caracterización de texturas de superficies óseas a partir de imágenes de microscopía electrónica (Ríos Díaz et al. 2009)

Por otra parte, tenemos un conjunto de datos parcialmente sesgados a los cuales hemos aplicado un algoritmo que no puede ser exacto del todo. Es posible pensar que debido a la característica de la muestra, los mejores resultados podrían deberse a relaciones intrínsecas entre los algoritmos utilizados más que a diferencias reales entre los procesos estudiados, en este sentido las correlaciones buenas podrían ser un resultado de índole matemática más que morfológica (Puertas Poveda 2016).

Sin embargo y a modo preliminar, podemos concluir el presente trabajo con las siguientes afirmaciones:

1. Existe una diferencia estadística entre ambos modelos de huellas (lisa y aserrada) a través del análisis de textura mediante cinco variables del algoritmo GLCM.
2. Aunque esta relación, por su complejidad, requiere de estudios con más cantidad de muestras, existiría diferencias significativas entre ambos grupos experimentales en concordancia con las diferencias entre ambos modelos de fillos.
3. Existiría una relación significativa entre los valores de la entropía (E) y la dimensión fractal (D) para toda la serie de huellas experimentales.
4. Como la superficie del hueso tiene regiones curvas, matemáticamente la topografía de la superficie del hueso se ajustaría más a un multifractal cuasi aleatorio que a cualquier otro objeto geométrico, con lo que podríamos afirmar que, de acuerdo con los resultados obtenidos, el factor del relieve que más afecta a la morfología de la superficie es la entropía y el exponente de Hurts.

Se presentó un sistema de análisis de imágenes digitales basado en el análisis de textura y la teoría fractal. Aunque su aplicación está desarrollada fundamentalmente para el procesamiento de imágenes médicas los resultados parecen prometedores para ser aplicados sobre huellas en la superficie de huesos obtenidas mediante imágenes de microscopía electrónica.

En un futuro habría que validar los resultados de las mediciones que realiza la herramienta, con imágenes y conjuntos cuyo espectro puede conocerse teóricamente para permitir una mejor interpretación de las imágenes (Silvetti y Derieaux 2007b; Freas 2006; Blau 2016, Presutti 2004; Silvetti et al. 2010; Saville 2006).

El reconocimiento de situaciones no ambiguas sobre indicadores de acción antrópica sobre restos óseos humanos en contextos criminales es prioritario al momento de interpretar las acciones criminales (Congram 2014). La falta de tejidos blandos como soporte de testigo de heridas de arma blanca fortalece la acción de la antropología y tafonomía forense para interpretar dichos fenómenos. Debemos realizar más experimentación en este sentido, pero también debemos construir instrumentos analíticos que den confianza en nuestras conclusiones y sean potencialmente utilizadas en la justicia (Reichs 1998).

Agradecimientos: Al ingeniero Dr. Claudio Delrieux del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras, Universidad Nacional del Sur, por su valioso comentario sobre la aplicación del análisis multifractal.

Bibliografía

Alunni-Perret, V (2005). Scanning electron microscopy analysis of experimental bone hacking trauma. *Journal of Forensic Sciences* 50 (4): 796-801

Álvarez - Ramírez, J.; Echeverría, J.; Rodríguez, E. (2008). Performance of a high-dimensional R/S method for Hurst exponent estimation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. doi: 10.1016/j.physa.2008.08.014.

Bailey J; Yishi Wang; Frank R. W; Van de Goot; Reza R. R.; Gerretsen (2011). Statistical analysis of kerf mark measurements in bone. *Forensic Sci Med Pathol* (2011) 7:53–62. Doi: 10.1007/s12024-010-9185-6

Blau S. (2016): How traumatic: a review of the role of the forensic anthropologist in the Examination and interpretation of skeletal trauma. *Australian Journal of Forensic Sciences*, doi: 0.1080/00450618.2016.1153715. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1080/00450618.2016.1153715>

Blumenschine R; Curtis W; Marean A; S. D. Capaldo. (1996). Blind Tests of Inter-Analysis Correspondence and Accuracy in the Identification of Cut Marks, Percussion Marks, and Carnivore Tooth Marks on Bone Surfaces *Journal of Archaeological Science* 23, 493–507.

Botella M.; Alemán C; I Jiménez; Sylvia A. (1999). *Los Huesos Humanos: Manipulación y Alteraciones*. Barcelona: Ediciones Bellaterra.

Botella, M. C.; Jiménez, S. A.; Alemán, I., Souich, P. H. du; García, C. J. (2000). Evidencias de canibalismo en el neolítico español. En: *Tendencias actuales de la Antropología Física Española*. Ed. Caro Dobón et al. 2000. Universidad de León, España, pp. 43-56.

Bunn, Henry; KROLL, Ellen M. (1986). Systematic Butchery by Plio-Pleistocene Hominids at Olduvai Gorge, Tanzania En: *Current Anthropology*, Vol. 27, No. 5 (December):431-452. University of Chicago Press.

Bush, Peter; J. Christi; N Rattle (2009). SEM Analysis of Saw Marks in Bone. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences*, Denver, February 19.

Capaldo, Salvatore D. (1997). Experimental determinations of carcass processing by Plio-Pleistocene hominids and carnivores at FLK 22 (Zinjanthropus), Olduvai Gorge, Tanzania: *Journal of Human Evolution*, vol. 33:555-597. Academic Press.

- Chanona, J.; Alamilla, L.; Gutierrez, G. (2001). Caos y geometría de fractales, herramientas auxiliares para evaluar la complejidad del entorno biológico. *Biotecnología*, 5(3): 117-126.
- Chen, W.S.; Yuan, S.Y.; Heieh, C.M. (2003). Two algorithms to estimate fractal dimension of gray-level images. *Opt. Eng.* 42, 2452—2464.
- Congram D. (2014). Deposition and dispersal of human remains as a result of criminal acts: *Homo sapiens sapiens* as a taphonomic agent. In: Pokines J, Symes S, editors. *Manual of forensic taphonomy*. Boca Raton, FL.: CRC Press, 249–285
- Dirkmaat, DC; L. L Cabo; SD Ousley; SA Symes. (2008). New perspectives in forensic anthropology. *Yearbook Phys Anthropol* 51:33-52.
- Dominguez-Rodrigo, M. (1997). Meat-eating by early hominids at the FLK 22 *Zinjanthropus* site, Olduvai Gorge (Tanzania): an experimental approach using cutmark data, *Journal of Human Evolution*, 33: 669-690. Academic Press.
- Du, C.; Sun, D. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science and Technology*, 15: 230–249.
- Falconer, K. (2003). *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*, 2a. ed. John Wiley & Sons.
- Fernández, L.; Castellero, C.; Aguilera, J. M. (2005). An application of image analysis to dehydration of apple discs. *Journal of Food Engineering*, 67: 185-193.
- Freas, L. (2006). Scanning Electron Microscopy of Saw Marks in Bone. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences*, 12: 296.
- Guilbeau, M, G. (1989). The Analysis of Saw Marks in Bone. Master's Thesis, University of Tennessee, 1989. Recuperado de http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/4198.
- Gilbert S; Okolovitch S; Krakow, T; A. Michael. (1990). *The Individual Characteristics of Household Cutting Instruments Upon Fresh and Id Bones*. Washington D.C.: Department of Forensic Sciences, The George Washington University. Recuperado de <http://members.aol.com/SVG2253/bonecuts.htm>.
- Gosselin, R.; Duchesne, C.; Rodrigue, D. (2008). On the characterization of polymer powders mixing dynamics by texture analysis. *Powder Technology*, 183: 177-188.
- Grau, J. (2006). Introduction to multifractal analysis in the environment. *Lectures in environmental turbulence* Babiano A., Fraunie P., Redondo J.M. and Vassilicos J.C ED. CIMNE, Barcelona.

Haralick, R.; Shanmugam, K.; & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC*, 3(6): 610-621.

Izase Peláez, J. (2005). La pertinencia de la Antropología Forense en el estudio de marcas de corte en restos óseos humanos contemporáneos en contexto de violencia. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, departamento de antropología, Medellín, 2005.

Katterwe H. (1996). Modern approaches for the examination of toolmarks and other surface marks. *Forensic Sci Rev* 8(1):46–72

Mandelbrot, B. (1983). *The fractal geometry of Nature* (Freeman, New York, 1983)

Mendoza, F.; Dejmek, P.; Aguilera, J. (2007). Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips. *Food Research International*, 40: 1146

Pentland A. (1984). Fractal-based description of natural scenes. *EEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. Jun;6(6):661-74

Plazas Nossa, M.A; Ávila Angulo, G; Moncada Méndez. (2014). Estimación del exponente de Hurst y dimensión fractal para el análisis de series de tiempo de absorbancia UV-Vis. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24 (2), pp. 133-143.

Potter, Sheridan. (2004). *The Physics of Cutmarks*. Undergraduate Research Symposium, Colorado, Estados Unidos: Colorado State University, Fort Collins. Recuperado de <http://lib.colostate.edu/curc/potter.html>.

Quevedo, R; Carlos, L.-G.; Aguilera, J. M.; Cadoche, L. (2002). Description of food surface and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*, 53, 361- 371.

Quintero, O.; Delgado, J. (2011). Estimación del Exponente de Hurst y la dimensión Fractal de una superficie topográfica a través de la extracción de perfiles. *Geomática UD.GEO*, 5, pp.84-91.

Reichs KJ. (1998). Postmortem dismemberment: Recovery, analysis and interpretation. In: Reichs KJ, editors. *Forensic osteology: Advances in the identification of human remains*. Springfield,MA: Charles C. Thomas; 353–388.

Ríos Díaz J; Caeiro Rey j; Martínez Paya; Dapia Robleda Aledo; Del Baño. (2009). Relación entre las variables morfo estructurales de dimensión fractal, lacunaridad y entropía en el hueso trabecular de la porción proximal del fémur, *REEMO.*;18(1):2-8

Saville, PA; SV Hainsworth; GN Ratty. (2006). Cutting crime: the analysis of the ‘uniqueness’ of saw marks on bone. *Int J Legal Med* 121:349-357.

Silvetti C; Delrieux, M. (2007). Un Método Robusto para Evaluar Dimensión Fractal Local en Imágenes. In *XII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control*, Rio Gallegos, Argentina. RPIC.

Silvetti A; C. Delrieux. (2007). Medición de la Dimensión Fractal en Superficies. In *Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, pag. 81–85, Trelew, Argentina. WICC.

Silvetti, A.; Delrieux, C. (2008). Segmentación en Imágenes 3D utilizando Dimensión Fractal de Auto correlación Local. Presentado en XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computacion, Trelew, Argentina.

Silvetti A, Claudio Delrieux. (2010). Análisis Multifractal Aplicado a Imágenes médicas WICC 2010 - XII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. El Calafate, Santa Cruz, Argentina. XII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, Red de Universidades con Carreras en Informática (Red UNCI). Fecha: 5 y 6 de mayo de 2010. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. ISBN: 978-950-34-0652-6

Schnider J; Thali MJ; Ross L; Oesterhelweg L; Spendlove D; Bolliger SA. (2009). Injuries due to sharp trauma detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): A feasibility study. *Jour Legal Med.*11(1):4–9.

Symes, S.A; HE Berryman. (1989). Dismemberment and mutilation: General saw type determination from cut surfaces of bone. *Paper presented at the 41st Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences*, Las Vegas, NV, February 13-18.

Symes, SA. (1992). Morphology of Saw Marks in Human Bone: Identification of Class Characteristics. Ph.D. Dissertation, Department of Anthropology, University of Tennessee, Knoxville, TN.

Symes, SA; J Williams; E Murray; J Hoffman; T Holland; J Saul, F Saul; E Pope. (2002). Taphonomic context of sharp-force trauma in suspected cases of human mutilation and dismemberment. In: *Advances in Forensic Taphonomy: Method, Theory, and Archaeological Perspectives*. W. Haglund and M. Sorg, eds. Boca Raton, FL: CRC Press, Pp. 403-434.

Symes SA; Kroman AM; Thurston Myster; SM, Rainwater; CW, Matia JJ. (2006). Anthropological saw mark analysis on bone: what is the potential of dismemberment interpretation? *Proc Am Acad For Sci.*12:301.

Symes A; Erin N; Chapman, M.S.; Christopher W; Rainwater, M.S.; Luis L. Cabo, M.S.; Susan M.T. Myster, Ph.D. Knife and Saw Toolmark Analysis in Bone: A Manual Designed for the Examination of Criminal Mutilation and Dismemberment. October 2010. U.S. Department of Justice and prepared the following final report: National Institute of Justice Contract Number #2005-IJ-CX-K016

Gifford-Gonzalez, D. (1991). Bones are not enough: analogues, knowledge, and interpretive strategies in zooarchaeology. *Journal of Anthropological Archaeology* **10**, 215–254.

Vázquez A, I. (2011). Aplicación del análisis de textura de imágenes para la caracterización cuantitativa de superficies biológicas. *Instituto politécnico nacional*.

Escuela nacional de Ciencias Biológicas. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación México, D.F.

Wen-Shiung, C.; Shang-Yuan, Y.; Chih-Ming, H. (2003). Two algorithms to estimate fractal dimension of gray-level images. *Optical Engineering*, 42(8): 2452-2464.

White, Tim D. (1992). *Prehistoric Cannibalism at Mancos 5mtumr-2346*. Princeton: Princeton University, 1.992