

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA



TESIS DOCTORAL

**El fuego como agente tafonómico: análisis antropológico
forense de marcas de corte relacionadas con el
desmembramiento en restos óseos cremados**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Pilar Mata Tutor

Directoras

**María Benito Sánchez
Nicholas Márquez-Grant**

Madrid

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA



TESIS DOCTORAL

EL FUEGO COMO AGENTE TAFONÓMICO:
Análisis antropológico forense de marcas de corte relacionadas con el desmembramiento en
restos óseos cremados

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Pilar Mata Tutor

DIRECTOR

Dra. María Benito Sánchez
Dr. Nicholas Márquez-Grant

EL FUEGO COMO AGENTE TAFONÓMICO

*ANÁLISIS ANTROPOLÓGICO FORENSE DE MARCAS DE CORTE
RELACIONADAS CON EL DESMEMBRAMIENTO
EN RESTOS ÓSEOS CREMADOS*

Pilar Mata Tutor

Directores de la tesis doctoral:

Dra. María Benito Sánchez

Dr. Nicholas Márquez-Grant

Doctorado en Investigación en Ciencias Médico-Quirúrgicas
Universidad Complutense de Madrid
Facultad de Medicina



Curso 2020-2021

Here's to the fools who dream.

*Si te sientas en el camino, ponte de frente a lo que
aún has de andar y de espaldas a lo que ya has
andado... y no olvides que las tortugas podrían contar
acerca de los caminos más que las liebres.*

Fábula de la Liebre y la Tortuga

AGRADECIMIENTOS

El fin de una tesis doctoral *nunca llega pronto ni tarde, viene exactamente cuando se lo propone*. Esta montaña rusa de emociones que comenzó en mayo del 2018 en forma de trabajo de fin de máster termina ahora en 2021 después de muchas aventuras y desventuras, incluyendo una pandemia mundial, en el que el “teletrabajo forense” ha tomado un nuevo significado. Sin embargo, este logro no es únicamente mío:

En primer lugar, gracias a mis directores de tesis María y Nico. A María por permitirme darle alas a este proyecto tan especial, dejarme investigar a mi gusto y aprender tanto mediante ensayo-error. Al final menos siempre es más, pero me he divertido mucho encontrando el camino correcto. A Nico por su infinito pozo sin fondo de sabiduría sobre restos cremados y su –también infinita– paciencia conmigo, ha sido un placer tenerte como Maestro Jedi de la antropología forense. Muchísimas gracias a ambos por todo.

Millones de gracias a mi directora/tutora particular Cat, la primera en leerse todos mis trabajos y echarme un cable (un gigantesco cable) con la estadística y con los miles de mini-y-no-tan-mini proyectos que han nacido durante el 2020. También a mi compañera Inés por estar ambas tan presentes en esta aventura. Han sido años duros, pero me quedo con las fiestas de Villanueva y sus pijamas, los paseos por Graná, los congresos, la cerveza supuestamente 0.0, el té y las tartitas, las esqueletizaciones y sus pelos y sus pupas, los picnics en sitios insospechados y los eones en hangouts leyendo, redactando, escribiendo, corrigiendo, investigando y publicando todos los datos que encontrábamos perdidos por nuestros ordenadores. Me quedo con eso y ¡El balance es positivo! Trifuerza y triunvirato para todo lo que venga de ahora en adelante.

No tengo palabras para agradecerle a mis mejores amigos todo el apoyo que he recibido estos años. Desde el comienzo en mis andanzas en la facultad de biología de la Complutense, allá por el lejano 2010, habéis estado todos ahí siguiéndome en cada etapa, estuviese aquí en Madrid, en mi queridísimo Santi, en las tierras de las cervezas de un litro y los pretzels o en las tierras de freedom y whisky. Schrödinger, Reaccionarios, Nostálgicos, Eevees, Despojos... A todos y a cada uno de vosotros, y a la magnífica gente que he conocido desde entonces y que han contribuido a hacer de mí una mejor persona y científica, a todos os doy las gracias por hacer que el camino fuese un poquitito más ameno. Esto merece una auténtica celebración de licorka y Arguelles, Troika antigua o Maycar. Os quiero mucho.

Gracias también a mi familia, la natural y la política, por todos los ánimos. He de destacar que esta tesis no habría existido sin la ayuda incondicional de mis padres, a los que quiero y admiro con locura y son ambos un ejemplo a seguir de motivación, aprendizaje y coleccionar más libros de los que objetivamente entran en un apartamento. Me ponéis el listón muy alto. Gracias por hacerme la vida un poquito más fácil este último año para que pudiera escribir el grueso de este trabajo a base de cinta de correr, series de detectives y perrunillas prohibidas. Por supuesto, estos agradecimientos quedarían incompletos si no le agradeciese al señor de la casa, al gatito negro de la buena suerte, el haber aparecido en mi vida en el momento más complicado y alegrarme los días desde entonces.

Y, por último, tengo que darte muchas muchas muchas gracias Danielo, sin ti este trabajo literalmente tampoco existiría. Me has visto querer dejar la carrera, el máster y el doctorado en más ocasiones de las que me gustaría reconocer y todas las veces has conseguido que siguiese mejor, con más fuerza y más ánimos. Al final he conseguido terminarlo todo, pero no podría haberlo hecho sin ti. Has estado ahí desde aquéllos largos paseos por el barrio cuando teníamos 16 años, con muchos sueños y ganas de comernos el mundo, y me has ayudado poquito a poco a cumplir el mío. Eres la persona más inteligente que conozco y es un honor y un privilegio estar compartiendo toda mi vida contigo *aquí al final de todas las cosas*. Esta tesis es tan tuya como mía. Te quiero.

Algo termina, algo comienza. *Creo que estoy preparada para otra aventura.*

ÍNDICE

RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XXI
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Tafonomía forense y modificaciones post-mortem del cadáver.....	3
1.1.1. Alteraciones tafonómicas del cadáver de origen natural	4
1.1.2. Alteraciones tafonómicas del cadáver de origen antrópico	6
Capítulo 2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	17
2.1. Importancia forense.....	19
2.2. Organización de la tesis doctoral.....	20
Capítulo 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	21
3.1. Hipótesis	23
3.2. Objetivos.....	24
3.2.1. Objetivos del estudio retrospectivo de casos de desmembramiento	24
3.2.2. Objetivos del estudio del trauma cortante en cadáveres cremados.....	24
3.2.3. Objetivos del estudio de marcas de corte en huesos quemados	25
Capítulo 4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.1. Material y metodología aplicada al estudio retrospectivo de casos de desmembramiento.....	29
4.1.1. Casos forenses españoles	29
4.1.2. Análisis estadísticos	31
4.2. Material y metodología aplicada al estudio del trauma cortante en cadáveres cremados	32
4.2.1. Modelo humano	32
4.2.2. Traumatismo cortante.....	33
4.2.3. Proceso crematorio	36
4.2.4. Análisis antropológico.....	38
4.2.5. Pruebas de error interobservador	42
4.3. Material y metodología aplicada al estudio de marcas de corte en huesos quemados.....	45
4.3.1. Modelo animal	45
4.3.2. Traumatismo cortante.....	46
4.3.3. Rugosímetro.....	48
4.3.4. Proceso crematorio	50
4.3.5. Análisis estadísticos	51
4.4. Anexos.....	53

4.4.1.	Anexo 4.1: Variables utilizadas para el estudio retrospectivo de casos forenses.....	53
4.4.2.	Anexo 4.2: Hoja de trabajo utilizada para documentar el estudio de trauma cortante en cadáveres cremados	55
4.4.3.	Anexo 4.3: Guía visual obtenida de la Tabla 4 de Mata Tutor et al. [112].....	57
4.4.4.	Anexo 4.4: Prueba de error interobservador 1. Figuras 3 y 4 obtenidas de Mata Tutor et al. [112]	59
4.4.1.	Anexo 4.5: Prueba de error interobservador 2. Figuras 5 y 6 obtenidas de Mata Tutor et al. [112]	61
Capítulo 5.	ESTUDIO RETROSPECTIVO DE CASOS DE DESMEMBRAMIENTO.....	63
5.1.	Resultados	65
5.1.1.	Frecuencia de casos de desmembramiento.....	65
5.1.2.	Alteración post-desmembramiento	66
5.1.3.	Características demográficas y psicológicas de víctima y agresor	67
5.1.4.	Circunstancias de la muerte.....	68
5.1.5.	Desmembramiento.....	69
5.1.6.	Organización del crimen.....	70
5.1.7.	Investigación forense.....	71
5.1.8.	Análisis estadísticos	72
5.2.	Discusión	74
5.2.1.	Frecuencias de casos de desmembramiento.....	74
5.2.2.	Características demográficas y psicológicas de víctima y agresor	76
5.2.3.	Circunstancias de la muerte.....	77
5.2.4.	Desmembramiento.....	78
5.2.5.	Alteración post-desmembramiento	80
5.2.6.	Organización del crimen.....	81
5.2.7.	Investigación forense.....	83
5.3.	Anexos	85
5.3.1.	Anexo 5.1: Datos del grupo 2 “casos alteración post-desmembramiento”. Tabla obtenida del material suplementario de Mata Tutor et al. [146].....	85
Capítulo 6.	ESTUDIO DEL TRAUMA CORTANTE EN CADÁVERES CREMADOS.....	89
6.1.	Resultados	91
6.1.1.	Trauma cortante.....	91
6.1.2.	Proceso crematorio	92
6.1.3.	Análisis antropológico	94
6.1.4.	Supervivencia post-cremación del trauma cortante.....	99

6.1.5.	Pruebas de error interobservador	101
6.2.	Discusión.....	103
6.2.1.	Diferencias entre fracturas inducidas por el fuego y trauma cortante	103
6.2.2.	Supervivencia y detección de marcas de corte.....	110
6.3.	Anexos.....	117
6.3.1.	Anexo 6.1: Peso en gramos de todas las regiones anatómicas de los individuos contemporáneos. Tabla obtenida del material suplementario de Mata Tutor et al. [95].....	117
6.3.2.	Anexo 6.2: Respuestas de los participantes en las pruebas de error interobservador 1 y 2. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [112].....	118
Capítulo 7.	ESTUDIO DE MARCAS DE CORTE EN HUESOS QUEMADOS.....	119
7.1.	Resultados.....	121
7.1.1.	Trauma cortante	121
7.1.2.	Rugosímetro.....	123
7.1.3.	Análisis estadísticos	132
7.2.	Discusión.....	135
7.2.1.	Longitud del corte	136
7.2.2.	Anchura del corte.....	138
7.2.3.	Rugosidad del corte.....	140
7.2.4.	Morfología del corte	142
7.2.5.	Correlación entre instrumentos	143
Capítulo 8.	CONCLUSIONES.....	145
8.1.	Consideraciones finales	147
8.1.1.	Conclusiones del estudio retrospectivo de casos de desmembramiento.....	147
8.1.2.	Conclusiones del estudio del trauma cortante en cadáveres cremados.....	148
8.1.3.	Conclusiones del estudio de marcas de corte en huesos quemados.....	149
Capítulo 9.	LIMITACIONES Y FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN.....	151
9.1.	Estudio retrospectivo de casos de desmembramiento.....	153
9.2.	Estudio del trauma cortante en cadáveres cremados.....	153
9.3.	Estudio de marcas de corte en huesos quemados.....	154
BIBLIOGRAFÍA		155
DIFUSIÓN CIENTÍFICA.....		169
Artículos científicos.....		169
Ponencias y posters en congresos científicos.....		170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Estados de descomposición de seis individuos del Cementerio Sur de Madrid. 1: Saponificación; 2: Esqueletización con putrúlogo blando; 3: Momificación; 4: Esqueletización con putrúlogo seco; 5: Momificación; 6: Esqueletización total. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [24].	5
Figura 1.2. Trauma cortante realizado con dos cuchillos serrados (1 y 3) y un cuchillo de hoja lisa (2). Trauma corto-contundente realizado con un machete (4).	9
Figura 1.3. De hueso intacto a hueso calcinado. Figura obtenida de Pope & Smith [103].	10
Figura 1.4. Ocho tipos de cambios inducidos por el fuego descritos por la literatura.	12
Figura 1.5. Observaciones del trauma pre-cremación. 1: Figura obtenida de Robbins et al. [116], la flecha señala las estriaciones causadas por una sierra; 2: Figura obtenida de Alunni et al. [117], las flechas apuntan a las roturas causadas en la superficie del hueso derivadas de una lesión causada con una hachuela; 3: Figura obtenida de Poppa et al. [118] que muestra un corte realizado con una hachuela; 4: Figura obtenida de Herrmann & Bennet [110] que representa una marca de corte hecha con un bisturí.	13
Figura 2.1. Organización de la tesis doctoral en tres estudios.	20
Figura 4.1. Flujo de trabajo para la obtención de sentencias y procesado de los datos.	30
Figura 4.2. Cuchillo serrado de pan (A) y machete (B) utilizados para el estudio de marcas de corte en cadáveres cremados. Medidas del cuchillo de pan: longitud total: 370 mm, anchura máxima: 30 mm, distancia entre dientes: 9 mm, longitud de los dientes: 3 mm. Medidas del machete: largo: 300 mm, ancho: 45 mm, anchura de filo: 2 mm.	33
Figura 4.3. Hiperextensión de la muñeca y el tobillo. La flecha roja apunta a la región donde se realizaron los cortes.	34
Figura 4.4. Representación visual de las 55 lesiones inducidas antes del proceso crematorio en los tres individuos: 25 con el cuchillo de pan y 30 con el machete.	35
Figura 4.5. Cremación del individuo 2. Se introdujo el cadáver en un ataúd de madera, se transportó hasta el crematorio y se documentó gráficamente el proceso mediante una ventana en la cabecera del horno.	36
Figura 4.6. Temperatura y duración del proceso crematorio en el horno del Cementerio Sur de Madrid. Se puede observar que el proceso duró 85 minutos (± 1.5 DE) y alcanzó una temperatura máxima de 701 °C (± 37.5 DE). El individuo 3 alcanzó temperaturas más bajas que el individuo 1 y 2. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].	37
Figura 4.7. Individuo 2 de Alcubillas con los fragmentos óseos cremados divididos en regiones anatómicas. Puede observarse que el cráneo se conserva mejor que otras zonas.	38
Figura 4.8. Diagrama de flujo para la diferenciación de fracturas inducidas por el fuego y trauma cortante. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [112].	41
Figura 4.9. Ejemplo de la prueba de error interobservador 2. Cada pregunta se encontraba en una hoja A4 en orientación horizontal.	43
Figura 4.10. Tibia de cerdo antes (izquierda) y después (derecha) del proceso de esqueletización y descarnamiento de la muestra previo al traumatismo cortante.	45

- Figura 4.11. Instrumentos utilizados para el experimento de marcas de corte en huesos quemados. A: El cuchillo de pan (BK) tiene una hoja serrada con una distancia entre dientes de 9 mm; B: La sierra (S) tiene una hoja serrada con una distancia entre dientes de 3 mm; C: El cuchillo serrado (SK) tiene una hoja con dentado fino con una distancia entre dientes de 1 mm; D: El machete (M) no tiene el filo serrado, y su hoja mide 2 mm de ancho. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **46**
- Figura 4.12. Diseño del experimento. El hueso se dividió en seis secciones separadas por unos 5 mm aproximadamente. Cada sección incluye cinco repeticiones. Un trazo se define como un movimiento “hacia delante-hacia atrás”. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **47**
- Figura 4.13. Rugosímetro óptico de superficie (TRACEiT, Innowep GMBH). Este dispositivo se encuentra en el Laboratorio de Petrofísica del Instituto de Geociencias-IGEO (CSIC, UCM). Figura obtenida de la página web del laboratorio Equipamiento, Laboratorio Petrofísica (laboratoriopetrofísica.es). **48**
- Figura 4.14. Proceso de obtención de datos de la marca de corte F2S4.19 con el rugosímetro. En primer lugar, se tomaron tres medidas: una en la parte superior (A), otra en la región medial (B) y otra en la región inferior (C). Con el software TRACEiT se midió la anchura máxima en B y se calculó la rugosidad de cada región. Con el software Gwyddion se analizó la morfología del corte. **49**
- Figura 4.15. Muestras durante el proceso crematorio. Los huesos se depositaron en el siguiente orden de delante hacia detrás: Tibia 2 (T2M), Tibia 1 (T1SK), Fémur 2 (F2S), Fémur 1 (F1BK). La primera imagen muestra el inicio del proceso a 39 °C. La combustión de la materia orgánica ocurrió ~30 minutos después y la calcinación después de ~1 hora. Se observaron fracturas inducidas por calor después de la carbonización, partiendo de las lesiones más cercanas a las epífisis. Tras 78 minutos, las muestras alcanzaron su coloración blanquecina definitiva. El proceso crematorio terminó después de 247 minutos y los huesos se dejaron enfriar durante la noche. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **50**
- Imágenes de la prueba 1 (1 α -7 α). 1 α : Transversa; 2 α : Transversa; 3 α : Longitudinal; 4 α : Delaminación; 5 α : Pátina; 6 α : Pátina; 7 α : Curvilínea. **59**
- Imágenes de la prueba 1 (8 α -15 α). 8 α : Curvilínea; 9 α (rojo): Step; 10 α (blanco): Longitudinal; 11 α (rojo): Step; 12 α (blanco): Longitudinal; 13 α : Curvilínea; 14 α : Transversa; 15 α : Curvilínea. **60**
- Imágenes de la prueba 2 (1 β -7 β). 1 β : Transversa; 2 β : Curvilínea; 3 β : *Warping*; 4 β : Trauma pre-cremación; 5 β : Pátina; 6 β : Delaminación; 7 β : Trauma pre-cremación. **61**
- Imágenes de la prueba 2 (8 β -15 β). 8 β : Longitudinal; 9 β : Pátina; 10 β : Step; 11 β : Trauma post-cremación; 12 β : Curvilínea; 13 β : Step; 14 β : Transversa; 15 β : Pátina. **62**
- Figura 5.1. Distribución de desmembramientos por año. El número de desmembramientos en los cuales el cadáver fue posteriormente alterado (color rojo) ha ido aumentando progresivamente desde el año 2006. **65**
- Figura 5.2. Mecanismos utilizados para la alteración adicional del cadáver después del desmembramiento: fuego (15.00 %), productos químicos (7.50 %) y alteración manual (5.00 %). El código R representa el código individual utilizado para cada variable en el análisis multidimensional no métrico. **66**
- Figura 5.3. Correlación entre la alteración post-desmembramiento y las partes del cuerpo encontradas (N = 40). Las tres víctimas de las que únicamente se encontraron trazas biológicas fueron todas alteradas. **72**
- Figura 5.4. Resultado del análisis multidimensional no métrico: correlación entre variables como puntos en un mapa bidimensional. El resaltado rojo señala a la variable “Alteración post-desmembramiento” (BP_ALTERATION). Las variables que se encuentran superpuestas son * “No observable” (BP_NON_OBSERVABLE) y “< 50 % del cadáver” (BP_LESS_50); ** “Sin cadáver ni trazas” (BP_NO_BODY), “Desangrado” (BLEED_CADAVER) y “Objeto contundente” (BLUNT). **73**

Figura 5.5. Número de desmembramientos por comunidad autónoma. El icono negro apunta a las regiones donde ocurrieron los casos de alteración post-desmembramiento: País Vasco (1 caso), Aragón (2 casos), Cataluña (4 casos), Guadalajara (1 caso), Madrid (1 caso) y Andalucía (2 casos). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [146].	75
Figura 5.6. Correlación entre el sexo y la edad de los agresores. La mayoría de los agresores eran hombres de mediana edad.	76
Figura 5.7. Distribución de los tipos de instrumentos utilizados durante el homicidio (izquierda) y el desmembramiento (derecha). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [146].	77
Figura 5.8. Frecuencia de variables relacionadas con el desmembramiento en cadáveres que sufrieron alteración post-desmembramiento (N = 11), y cadáveres no alterados (N = 29). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [146].	78
Figura 5.9. Ampliación del mapa bidimensional en la región de interés: variables correlacionadas con el subtipo agresivo (AGGRESSIVE).	79
Figura 5.10. Ampliación del mapa bidimensional en la región de interés: variables correlacionadas con el subtipo defensivo (DEFENSIVE).	81
Figura 5.11. Ampliación del mapa bidimensional en la región de interés: variables correlacionadas con la alteración post-desmembramiento.	82
Figura 5.12. Frecuencias de los subtipos de desmembramiento en los 35 casos españoles analizados.	83
Figura 6.1. Tejido blando protector. 1: Pelvis (1), muñeca (2) y tobillo (3) del individuo 1.	91
Figura 6.2. Los tres individuos contemporáneos durante el proceso de cremación. 1: Individuo 1 durante el minuto 61 a 637 °C; 2: Individuo 2 durante el minuto 38 a 690 °C; 3: Individuo 3 durante el minuto 75 a 592 °C.	92
Figura 6.3. Restos óseos de los individuos contemporáneos 1, 2 y 3. Los fragmentos del individuo 3 son de mayor tamaño que los del 1 y 2 y los del 2 se encuentran muy fragmentados. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].	94
Figura 6.4. Trauma cortante realizado en el pie derecho del individuo 1 con el cuchillo de pan. La flecha señala la dirección en la que fue realizado el corte (latero-medial). Pueden observarse tres marcas de corte paralelas de profundidad media en toda la superficie superior del astrágalo.	96
Figura 6.5. Comparación de proporciones de cada región anatómica entre los tres individuos. Cabeza: Cráneo+ Mandíbula; Tronco: Columna vertebral+ Costillas+ Esternón+ Cintura escapular + Cintura pélvica; Extremidades: Superior+ Inferior+ Manos+ Pies; No ID: Hueso esponjoso + Fragmentos pequeños (≤ 2mm) + Fragmentos no identificados.	98
Figura 6.6. Marcas de corte pre-cremación detectadas durante el análisis antropológico. 1: Corte realizado por el cuchillo de pan en el muslo (Individuo 1); 2: Corte realizado por el cuchillo de pan en el muslo (Individuo 2); 3: Corte realizado por el cuchillo de pan en la rodilla (Individuo 1); 4: Cortes realizados por el cuchillo de pan en el tobillo (Individuo 1); 5: Corte realizado por el machete en el muslo (Individuo 3). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].	99
Figura 6.7. Porcentaje de marcas de corte encontradas en los tres individuos por región anatómica. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].	100
Figura 6.8. Porcentaje de respuestas correctas de cada participante en las pruebas de error interobservador 1 y 2. 1 y 2: Grupo A; 3 y 4: Grupo B; 5 y 6: Grupo C. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [112].	102

Figura 6.9. Preguntas que causaron confusión en los participantes de las pruebas de interobservador 1 y 2. #4α: Delaminación; #15α y #12β: Curvilínea antes y después del lavado. Figuras obtenidas del Anexo 4.4 y 4.5.
 **103**

Figura 6.10. Preguntas que causaron confusión en los participantes de las pruebas de interobservador 1 y 2. #6α, #9β y #15β: Pátina. Figuras obtenidas del Anexo 4.4 y 4.5. **104**

Figura 6.11. Trauma cortante pre-cremación utilizado en las pruebas de error interobservador 2 y 3. La numeración corresponde a la prueba 2. Figuras obtenidas del Anexo 4.5..... **105**

Figura 6.13. Fractura transversa utilizada en la prueba de error interobservador 1 (#1α) y en la 2 (#14β). Figuras obtenidas del Anexo 4.4 y 4.5..... **108**

Figura 6.14. La figura de la izquierda representa las regiones donde se realizó el trauma cortante inducido con el cuchillo de pan (morado) y el machete (verde) de los individuos 1, 2 y 3 (N = 55). La figura de la derecha representa el trauma cortante detectado durante el análisis antropológico (N = 7). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95]. **110**

Figura 6.15. Trauma cortante realizado con el machete en el fémur izquierdo del individuo 3. Las características del corte han quedado realizadas después de la cremación. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95]...... **111**

Figura 6.16. Trauma cortante realizado con el cuchillo de pan en el pie izquierdo del individuo 1. La flecha apunta a una fractura completa. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95]. **112**

Figura 6.17. Intensa fragmentación de los individuos 1 2 y 3. La fila de arriba representa los fragmentos pequeños y no reconocibles, y la fila de abajo ilustra el polvo de ataúd y las cenizas. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95]. **113**

Figura 6.18. Trauma cortante realizado con el cuchillo de pan en la rodilla izquierda del individuo 1. La flecha apunta a una línea de fractura. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95]. **114**

Figura 6.19. Modificaciones causadas por el calor observadas después del proceso crematorio. 1: Línea de fractura y pátina alrededor del corte realizado por el cuchillo de pan (Individuo 1); 2: Intensa delaminación y deformación del corte realizado por el cuchillo de pan (Individuo 2); 3: Línea de fractura que atraviesa el corte realizado por el cuchillo de pan (Individuo 1). Figuras obtenidas de la figura 6.6. **115**

Figura 7.1. Muestras antes y después del proceso crematorio. Los dos fémures sufrieron intensas modificaciones derivadas del calor que rompieron o modificaron el 90.00 % de las marcas de corte en el fémur 1 (FIBK) y el 83.33 % en el fémur 2 (F2S). **122**

Figura 7.2. Muestras antes (izquierda) y después (derecha) del proceso crematorio. Los huesos se encuentran en el siguiente orden de delante hacia atrás: Tibia 2 (T2M), Tibia 1 (T1SK), Fémur 2 (F2S), Fémur 1 (FIBK). Puede observarse como las dos tibias cercanas a la puerta del horno sufrieron menos fracturas inducidas por el fuego y que todos los huesos presentan una coloración blanquecina. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **123**

Figura 7.3. Fémur cortado con un cuchillo de pan (FIBK) antes del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección del fémur, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **124**

Figura 7.4. Fémur cortado con un cuchillo de pan (FIBK) después del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección del fémur, de la 1 a la 6. La flecha blanca de la lesión FIBK4.16 apunta a un corte no intencionado. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **125**

Figura 7.5. Fémur cortado con una sierra (F2S) antes del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección del fémur, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **126**

- Figura 7.6. Fémur cortado con un cuchillo de pan (F2S) después del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección del fémur, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]..... **127**
- Figura 7.7. Tibia cortada con un cuchillo serrado (TISK) antes del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección de la tibia, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]..... **128**
- Figura 7.8. Tibia cortada con un cuchillo serrado (TISK) después del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección de la tibia, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]..... **129**
- Figura 7.9. Tibia cortada con un machete (T2M) antes del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección de la tibia, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **130**
- Figura 7.10. Tibia cortada con un cuchillo serrado (T2M) después del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección de la tibia, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]..... **131**
- Figura 7.11. Modificaciones causadas por el calor observadas después del proceso crematorio. 1: Fractura longitudinal que divide por la mitad dos cortes preexistentes (TISK2.7-8); 2: Fractura transversa que desprende la parte inferior del corte (FIBK2.8); 3: Ensanchamiento de la marca de corte pre-cremación (TISK3.11); 4: Dos lesiones accesorias no intencionales que se han visto realizadas tras la exposición al fuego (T2M4.20). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]..... **135**
- Figura 7.12. Distribución de la longitud por instrumento y proceso crematorio. Los corchetes negros representan el p valor para la prueba t de Student. Los corchetes rosas representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte pre-cremación. Los corchetes azules representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte post-cremación. *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141]. **137**
- Figura 7.13. Distribución de la anchura por instrumento y proceso crematorio. Los corchetes negros representan el p valor para la prueba t de Student. Los corchetes rosas representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte pre-cremación. Los corchetes azules representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte post-cremación. *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [51]. **139**
- Figura 7.14. Distribución de la rugosidad por instrumento y proceso crematorio. Los corchetes negros representan el p valor para la prueba t de Student. Los corchetes rosas representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte pre-cremación. Los corchetes azules representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte post-cremación. *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [51]. **141**
- Figura 7.15. Morfología de las marcas de corte en vista macroscópica antes del proceso crematorio. 1: Cuchillo de pan; 2: Sierra; 3: Cuchillo serrado; 4: Machete. **143**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Diferencias entre el desmembramiento agresivo y defensivo. Tabla obtenida de Mata Tutor & Villoria Rojas [61].	7
Tabla 1.2. Cambios inducidos por el calor en el hueso. Tabla obtenida de Mata Tutor [105].	11
Tabla 4.1. Datos obtenidos durante la exhumación en junio del 2019. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].	32
Tabla 4.2. Trauma cortante realizado antes del proceso crematorio (número de lesiones). Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95, 112].	34
Tabla 4.3. Características del trauma cortante en hueso quemado descritas en la literatura. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [112].	39
Tabla 4.4. Características del trauma cortante en hueso fresco y hueso seco. Tabla basada en las descripciones encontradas en Coelho & Cardoso [133], Moraitis et al. [134] y Ubelaker & Adams [135].	39
Tabla 5.1. Datos de la víctima. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].	67
Tabla 5.2. Datos del agresor. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].	67
Tabla 5.3. Causa y manera de la muerte. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].	68
Tabla 5.4. Variables relacionadas con el desmembramiento. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].	69
Tabla 5.5. Organización del crimen. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].	70
Tabla 5.6. Variables relacionadas con la investigación forense. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].	71
Tabla 5.7. Resultados de la prueba Chi-cuadrado. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].	72
Tabla 6.1. Datos obtenidos durante la exploración anatómica. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].	91
Tabla 6.2. Proceso crematorio del individuo 1 del minuto 1 al 85. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].	92
Tabla 6.3. Proceso crematorio del individuo 2 del minuto 1 al 83. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].	93
Tabla 6.4. Proceso crematorio del individuo 3 del minuto 1 al 86. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].	93
Tabla 6.6. Trauma cortante inducido antes del proceso crematorio vs marcas de corte detectadas durante el análisis antropológico. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].	100
Tabla 6.7. Resultados del índice de correlación intraclase (ICC) para las tres pruebas de error interobservador.	101
Tabla 7.1. Estadísticas descriptivas. Medidas antes y después del proceso crematorio para cada sección del hueso. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [141].	121
Tabla 7.2. Estadística descriptiva. Prueba t de Student. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [141].	132
Tabla 7.3: Análisis de varianza de un factor. Pruebas Post-hoc. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [141].	133

RESUMEN

Introducción: La antropología forense es un área de conocimiento vinculada a la medicina legal y a la antropología física que se encarga del estudio de los restos óseos sin identificar y de esclarecer las circunstancias que rodean el fallecimiento. Tanto el desmembramiento como la cremación son dos alteraciones tafonómicas que complican el examen antropológico y el análisis e interpretación de evidencias de traumatismo. Su impacto negativo por separado es conocido, pero se han realizado escasas investigaciones para estudiar los efectos de la exposición al fuego en las partes del cuerpo amputadas.

Hipótesis y objetivos: El fuego afecta a la detección e interpretación del traumatismo cortante en casos de desmembramiento. Los objetivos concretos de esta tesis doctoral fueron: (1) Calcular la prevalencia de casos de desmembramiento en relación a los homicidios intencionales, y el número de casos en los cuales los restos desmembrados fueron alterados con fuego; (2) analizar la influencia de la alteración post-desmembramiento en la investigación antropológica; (3) desarrollar una guía visual y un diagrama de flujo para distinguir entre fracturas inducidas por el fuego y trauma cortante y (4) examinar su fiabilidad y repetibilidad; (5) calcular el porcentaje de supervivencia post-cremación de las marcas de corte realizadas y (6) explorar las variables que afectan a su supervivencia; (7) examinar la distorsión que el fuego inflige en la morfología, longitud, anchura y rugosidad de marcas de corte comparando las lesiones antes y después de la cremación; y (8) relacionar estas variaciones con cada tipo de instrumento.

Materiales y métodos: En primer lugar, se realizó un análisis del estado de la cuestión del desmembramiento en España mediante un estudio retrospectivo de casos forenses sucedidos desde el año 1990. 35 casos fueron analizados para obtener 96 variables. A continuación, se efectuó un estudio experimental del trauma cortante en cadáveres cremados. Se seleccionaron 77 individuos cremados de la colección arqueológica del Laboratorio de Antropología y Odontología Forense de la Universidad Complutense de Madrid, y tres individuos embalsamados donados por los Servicios Funerarios de la Comunidad Autónoma de Madrid. Los individuos donados se utilizaron para simular un caso de desmembramiento y posterior incineración de los restos. Se indujeron manualmente 55 lesiones pre-cremación con un machete y un cuchillo de pan en muslo, rodilla, tobillo y muñeca. Posteriormente, se quemaron de manera individual en el horno del Cementerio Sur de Madrid a una temperatura máxima de 701 °C (± 37.5 DE) durante 85 minutos (± 1.5 DE). Se indujeron también 10 cortes post-cremación a cinco huesos largos seleccionados de la colección arqueológica utilizando el cuchillo de pan. Las fracturas inducidas por el fuego y el trauma cortante de todos los individuos se analizaron en base a sus características morfológicas para crear una guía visual y un diagrama de flujo cuya fiabilidad fue examinada mediante tres pruebas de error interobservador, y se realizó un estudio de supervivencia del trauma.

Finalmente, se realizó un estudio experimental de marcas de corte en huesos quemados para evaluar las variaciones que el fuego ocasiona en las dimensiones y morfología de las lesiones. Cuatro huesos largos de cerdo se cortaron con un cuchillo de pan, una sierra, un cuchillo serrado y un machete. Se indujeron 30 lesiones por hueso con cada instrumento. Las muestras se quemaron en un horno eléctrico de laboratorio durante aproximadamente cinco horas alcanzando los 850 °C, y las marcas de corte se analizaron antes y después del proceso con un rugosímetro óptico. Los resultados obtenidos en los experimentos se analizaron mediante pruebas estadísticas como Chi-cuadrado, análisis multivariante no métrico, índice de correlación intraclase y ANOVA utilizando el software SPSS v 25.0 (SPSS inc., Chicago, IL) y R studio v 25.0 para Windows 10.

Resultados y discusión: El desmembramiento en España tiene una incidencia del 0.29 % respecto a los casos totales de homicidio intencional ocurridos del año 1990 al 2016. De 40 cadáveres desmembrados, 27.50 % fueron alterados posteriormente, el 15.00 % con fuego. Ha quedado demostrado que el fuego es el agente tafonómico más utilizado para tal fin. La mutilación del tejido blando fue más habitual en cadáveres que sufrieron alteraciones post-desmembramiento y estos se encontraron con mayor frecuencia incompletos y en un estado de descomposición que no se pudo evaluar. Los agresores frecuentemente adquirieron material después del homicidio, y dispersaron el cuerpo en múltiples lugares. Como resultado, la reconstrucción de los eventos previos a la muerte y la identificación inicial de la víctima se complicó y esto contribuyó a ocultar las evidencias del crimen.

A colación de estos resultados, se hace necesario realizar estudios experimentales para obtener información acerca de las alteraciones causadas por la exposición al fuego tras el desmembramiento. El estudio experimental reveló que los cambios morfológicos resultantes por fuego y por traumatismo se reconocieron correctamente, las tres pruebas de error interobservador arrojaron un resultado positivo (ICC > 0.9). Se concluye que la fiabilidad de la guía visual y el diagrama de flujo propuestos en la presente tesis doctoral es excelente y que las marcas de corte son reconocibles en vista macroscópica incluso para individuos no familiarizados con el análisis de restos cremados. Sin embargo, la fractura de tipo *step* y el plano axial de la transversa son susceptibles de ser confundidas con trauma cortante si los restos se encuentran en mal estado de conservación. Aunque ha quedado demostrado que el trauma cortante es visible y reconocible, no toda la evidencia de este sobrevive al proceso crematorio; de las 55 lesiones inducidas, únicamente siete se detectaron después de la cremación. Múltiples variables influyen en la supervivencia y detección de marcas de corte y contribuyen a ocultar las evidencias del trauma, como la presencia de tejido blando protector, el tipo de instrumento utilizado y la manera en la que se induce la lesión, la fragmentación intencional, y los cambios inducidos por el calor.

Por otro lado, también se ha podido demostrar que la exposición al fuego distorsionó las características morfológicas y dimensiones del trauma cortante, y esta distorsión pudo ser examinada mediante el rugosímetro óptico de forma sencilla y sin destruir la muestra. La longitud disminuyó de tamaño y la rugosidad aumentó de manera constante. La anchura no varió en los cortes con sierra, cuchillo serrado y machete, mientras que las lesiones del cuchillo de pan encogieron. La morfología general y la forma del corte realizadas por los tres cuchillos se alteraron, especialmente las causadas por el cuchillo de pan. El trauma inducido por los tres cuchillos se diferenció de las marcas de sierra en todos los parámetros debido a sus diferentes métricas y morfología. Sin embargo, los cortes realizados por cuchillo serrado y machete fueron indistinguibles entre sí, por lo que son necesarios más estudios para su diferenciación en base estas características.

Conclusión: La presente tesis doctoral ha permitido profundizar en el estudio de cadáveres cremados tras el desmembramiento desde un punto de vista antropológico forense, mediante un análisis retrospectivo de casos españoles y dos estudios experimentales. La hipótesis del trabajo ha sido demostrada en base a los resultados obtenidos: la acción del fuego como agente tafonómico afecta al examen antropológico forense durante la detección e interpretación del traumatismo cortante relacionado con el desmembramiento.

ABSTRACT

Introduction: Forensic anthropology is a field of study associated with Legal Medicine and Physical Anthropology that analyses unidentified human remains and the circumstances surrounding death. Both dismemberment and cremation are two taphonomic alterations that complicate the anthropological examination and the analysis and interpretation of peri-mortem trauma. Their negative impact is suspected, considering the effects that these modifications have on a body separately, but scarce research has been done to study the effects of fire exposure on dismembered body parts.

Hypothesis and objectives: Fire affects the detection and interpretation of sharp force trauma in dismemberment cases. The main objectives of this dissertation were: (1) To calculate the prevalence of dismemberment cases regarding the total number of cases of intentional homicide in Spain, and the number of cases in which the dismembered remains were afterwards altered with fire; (2) to analyse the influence of the post-dismemberment alteration in the anthropological examination; (3) to develop a visual guide and a flowchart to distinguish between heat-induced fractures and sharp force trauma and (4) to examine its validity and reliability; (5) to calculate the post-burning survival ratio of the inflicted cutmarks and (6) to explore the variables that affect its survival; (7) to measure the distortion that fire inflicts in the toolmarks morphology, length, width, and roughness before and after burning; and (8) to correlate the morphological and dimensional variations with each type of tool.

Materials and methods: First, an analysis of the current situation in Spain was conducted through a retrospective study of forensic cases that occurred since 1990. 35 cases were examined to obtain 96 variables. Afterwards, an experimental study of sharp force trauma in burnt cadavers was conducted. 77 cremated individuals from Laboratorio de Antropología y Odontología Forense from Universidad Complutense de Madrid archaeological collection, and three embalmed cadavers donated by the Funerary Services of Madrid were selected. The donated individuals were used to simulate a case in which an attempted dismemberment and burning had occurred. 55 pre-burning injuries were manually induced using a machete and a bread knife in the thigh, knee, ankle, and wrist. The cadavers were cremated in a furnace at Cementerio Sur de Madrid, at a maximum temperature of 701 °C (± 37.5 SD) for 85 minutes (± 1.5 SD). Additionally, 10 cuts were manually inflicted on five long bones from the archaeological collection using a bread knife. Morphological characteristics of heat-induced fractures and sharp force trauma of all individuals were analysed to create a visual guide and a flowchart, examining their reliability through three interobserver tests. Likewise, the post-burning survival of the cutmarks was examined.

Lastly, an experimental study of cutmarks on burnt bone was carried out to evaluate the distortion that fire causes in the dimensions and morphology of lesions. Four porcine long bones were cut with a bread knife, a serrated knife, a butcher machete and a saw. 30 toolmarks per bone were induced with each device. The samples were thus burnt in a chamber furnace for approximately 5 hours reaching 850 °C and the lesions were analysed with an optical roughness-meter before and after the process. The results obtained in the experiments were analysed through statistical tests such as Chi-square, non-metric multivariate analysis, intraclass correlation index and ANOVA using the SPSS v 25.0 (SPSS inc., Chicago, IL) and R studio v 25.0 for Windows 10 software.

Results and discussion: Dismemberment in Spain has an incidence of 0.29 % concerning the total cases of intentional homicide that happened between 1990 and 2016. From 40 dismembered corpses, 27.50 % were altered, 15.00 % with fire. It has been proven that fire is the most used taphonomic agent for this purpose. Soft tissue mutilation was more common in cadavers that suffered post-dismemberment alterations, and these were more frequently found incomplete and in a state of decomposition that could not be evaluated. The offenders frequently acquired material after the murder and dispersed the body in multiple places. As a result, the reconstruction of the events surrounding the death and the initial identification of the victim is challenging, which facilitates the concealment of evidence.

Based on these results, experimental studies were deemed necessary to obtain further information about the alterations caused by fire after dismemberment. The experimental study revealed that all morphological changes resulting from fire and inflicted trauma were correctly recognized, the three validation tests yielded positive results (ICC > 0.9). It was proven that the reliability of the visual guide and the flowchart proposed in this doctoral thesis is excellent and that the cutmarks are indeed recognizable in macroscopic view even for individuals unfamiliar with the analysis of cremated remains. However, features such as the *step* and the transverse fracture can be mistaken with inflicted trauma if the remains are poorly conserved. Even though sharp force trauma is visible and recognizable after burning, not all evidence survives the cremation process; out of 55 induced lesions, only seven were detected after cremation. Several variables influence the post-burning survival and detection of toolmarks and contribute to conceal the evidence of trauma, such as the presence of protective soft tissue, the tool type employed and the way of inducing the lesion, the intentional fragmentation and fire-induced changes.

Moreover, it was successfully shown that fire exposure can distort the signatures of sharp force trauma, and this distortion was successfully examined using an optical roughness-meter in a straightforward and non-destructive way. The length decreased in size and the roughness increased consistently. The width did not vary for the saw, serrated knife and machete toolmarks, while the bread knife lesions slightly shrank. The floor shape morphology varied after burning and this change was more noticeable for the

three knives, especially in the toolmarks generated with the bread knife. Trauma induced by the three knives differed from the saw marks in all parameters due to their different metrics and morphology. Nevertheless, serrated knife and machete cutmarks metrics showed no significant variations and were indistinguishable, thus, additional studies are recommended to distinguish them based on these traits.

Conclusion: This doctoral dissertation has improved the study of cadavers exposed to fire after the dismemberment from a forensic anthropology point of view, through a retrospective analysis of Spanish cases and two experimental studies. The hypothesis of this thesis has been proven based on the results obtained: the action of fire as a taphonomic agent affects the forensic examination during the detection and interpretation of dismemberment-related sharp force trauma.

Capítulo I. INTRODUCCIÓN

Once you eliminate the impossible, whatever remains, no matter how improbable, must be the truth.

Sherlock Holmes (The Sign of the Four)

I.1. TAFONOMÍA FORENSE Y MODIFICACIONES POST-MORTEM DEL CADÁVER

La antropología forense es un área de conocimiento vinculada a la medicina legal y a la antropología física que Stewart [1] definió en 1979 como el estudio de los restos esqueléticos humanos sin identificar que resultan de muertes violentas. Es un campo de estudio multidisciplinar que surgió en la segunda mitad del siglo XX por la creciente necesidad de obtener la mayor información posible sobre un individuo mediante el estudio de sus restos óseos [2]. Los antropólogos forenses aplican metodología de Antropología Física [3] para reconstruir la biografía ante-mortem de la víctima, analizando tanto acerca de su vida mediante patologías óseas, traumatismos que han sanado o marcadores de actividad, como sobre las circunstancias que rodean su fallecimiento, tales como la causa y manera de la muerte [4, 5].

Según Byers [2], el trabajo de un antropólogo forense se basa en los siguientes objetivos principales: Identificar y diferenciar restos óseos humanos de otros artefactos; estimar el perfil biológico del individuo; analizar las evidencias de traumatismo y tratar de descubrir el agente causal para determinar la causa y manera de la muerte; calcular el intervalo post-mortem; y asistir en la localización y recuperación de restos inhumados. Los antropólogos también asisten en casos donde es necesaria la identificación de individuos cuyos rasgos son difíciles de reconocer debido a la destrucción del tejido blando [6], como cadáveres en avanzado estado de descomposición o reducidos a restos óseos [7], cadáveres carbonizados y calcinados [8–10] y cuerpos mutilados que no han sido localizados enteros [11, 12].

Cuando se encuentran restos humanos sin identificar, la capacidad del antropólogo forense de cumplir los objetivos mencionados anteriormente es dependiente de su estado de conservación [5], por lo que es imperativo estar familiarizado con los cambios que pueden acontecer a un cuerpo desde el momento de la muerte hasta su posterior descubrimiento. La ciencia que estudia todos estos cambios se denomina tafonomía, y la tafonomía forense es la disciplina que se encarga del estudio de los cambios acontecidos a cadáveres no identificados que fallecieron por causas violentas [13]. El estudio de estas variaciones puede dividirse en dos grandes grupos de agentes tafonómicos, las alteraciones de origen natural y las alteraciones de origen antrópico.

I.1.1. ALTERACIONES TAFONÓMICAS DEL CADÁVER DE ORIGEN NATURAL

La descomposición es un complejo proceso natural que comienza cuatro minutos después de la muerte y se prolonga hasta que el cadáver queda degradado a componentes bioquímicos más simples que se reciclan de forma gradual al medio ambiente [14]. Es dependiente de variables intrínsecas del propio individuo, como la edad, patologías previas, traumatismos y la causa de la muerte, como también de extrínsecas, donde se incluyen la temperatura, la humedad y la presencia de fauna necrófaga [14–16].

La descomposición experimenta cinco fases de manera continua que han sido categorizadas en función de los cambios observables en el tejido blando: estado fresco, enfisematoso, putrefacción activa o temprana, putrefacción avanzada o tardía y esqueletización. El estado fresco comienza en condiciones normales en el momento de la muerte, cuando la degradación celular y la autólisis causan desequilibrios bioquímicos internos que inician cambios macroscópicos en el cadáver, como el *algor* y el *rigor mortis*. Durante el proceso de putrefacción temprana bacterias pertenecientes principalmente a la región del tracto gastrointestinal comienzan a proliferar y a producir gases. Como resultado, los compuestos volátiles se acumulan y le dan al cadáver un aspecto hinchado. La piel comienza a cambiar de coloración, pasando por tonos verdes, marrones y negros debido a la descomposición de los órganos internos. La rotura de los orificios provoca la transición al estado de putrefacción avanzada, que está relacionado con el metabolismo bacteriano aerobio y exposición del tejido óseo. En la última fase se degrada el cartílago, cabellos y tejido disecado, y se acelera la esqueletización y la desarticulación [7, 13–18].

Estas fases no son una serie de etapas discretas y se suceden de forma continua por lo que, dependiendo de diversos factores bióticos y abióticos, pueden observarse varias a la vez en el mismo cadáver. La influencia de los factores ambientales es quizás la más estudiada por investigadores internacionales, puesto que pueden acelerar, ralentizar e incluso paralizar por completo el proceso de putrefacción [14, 15, 19]. La tasa de descomposición es muy variable dependiendo de las condiciones climáticas externas y de dónde haya sido depositado el cadáver y no sigue el mismo patrón si se encuentra enterrado en un nicho [20, 21], en un banco de agua [22] o al aire libre [23].



Figura 1.1. Estados de descomposición de seis individuos del Cementerio Sur de Madrid. **1:** Saponificación; **2:** Esqueletización con putrilago blando; **3:** Momificación; **4:** Esqueletización con putrilago seco; **5:** Momificación; **6:** Esqueletización total. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [24].

Entre los fenómenos de conservación cadavérica se encuentran la momificación, la saponificación y la corificación. En la momificación el tejido se deseca debido a la pérdida del agua corporal y a la ausencia de humedad. Puede darse tanto en ambientes calurosos y secos como en regiones de frío extremo [25]. La saponificación y generación de adipocira se producen por la hidrólisis e hidrogenación del tejido adiposo, frecuente en zonas muy húmedas [26, 27]. La corificación se da por la interrupción del desarrollo de bacterias aerobias durante la primera etapa de la putrefacción. El cadáver adquiere un aspecto gris con la piel endurecida cuyo análisis requiere de técnicas especiales de laboratorio [26, 28].

1.1.2. ALTERACIONES TAFONÓMICAS DEL CADÁVER DE ORIGEN ANTRÓPICO

Cada cultura entiende el concepto de muerte de forma diferente, aunque siempre significa un final y un comienzo a través de una transformación. El componente cultural es de las variables antrópicas más influyentes en el patrón de descomposición de un cadáver, puesto que los tratamientos mortuorios contribuyen en su preservación o destrucción [24, 29]. Los seres humanos han intentado preservar el cuerpo e impedir la putrefacción desde hace más de 3000 años [30]. El embalsamamiento es una técnica química de desinfección cuyo objetivo es mantener la apariencia externa del cuerpo en buenas condiciones el mayor tiempo posible [13, 30, 31]. La momificación artificial más conocida es la efectuada a los faraones del Antiguo Egipto, que consiste en tratar de conservar el cuerpo del difunto envuelto en vendas y dentro de sarcófagos tras el embalsamamiento [32].

Por otro lado, está la cremación, definida como la acción de quemar y reducir un cuerpo a cenizas [33]. Las culturas antiguas incineraban a sus fallecidos por numerosas razones, incluyendo la purificación y limpieza del alma, la adoración de los dioses del fuego o para detener el proceso de putrefacción [34]. La cremación fue la práctica funeraria más utilizada en Europa desde finales del Neolítico hasta la Edad Media cuando fue sustituida por la inhumación, aunque estas dos prácticas coexistieron durante un periodo de tiempo. En la Península Ibérica las primeras evidencias de este ritual se encuentran a finales de la Edad del Bronce y comienzos de la del Hierro con los campos de urnas [35, 36].

Además de por razones culturales, el *Homo Sapiens Sapiens* también puede actuar como un agente tafonómico depositando, dispersando, alterando y destruyendo los restos humanos debido a actos criminales, como sostiene Congram [29]. En un contexto forense, este comportamiento impacta su recuperación, análisis e interpretación y dificulta el examen antropológico. No es infrecuente que en homicidios y asesinatos el agresor trate de alterar el cadáver tras la muerte para facilitar su transporte, evitar la identificación de la víctima y ocultar pruebas del crimen [37–40].

Dos métodos de destrucción antrópica del cuerpo por motivos criminales conocidos y ampliamente investigados por la literatura son el desmembramiento y la cremación. La mutilación o desmembramiento post-mortem es más común en conflictos armados [41–44], si bien es un área de conocimiento que ha sido muy desarrollado en los últimos años [11, 12, 45]. La cremación es más común en accidentes, incendios forestales y suicidios que en casos forenses [46]. Sin embargo, debido al número de incendios en investigaciones policiales y humanitarias acontecidos recientemente [47, 48], así como en casos individuales [9, 49], es cada vez más necesario profundizar en su estudio con nuevas técnicas que optimicen el estudio de restos óseos cremados.

EL DESMEMBRAMIENTO COMO AGENTE TAFONÓMICO

El desmembramiento es definido por Sanabria-Medina & Osorio Restrepo [43] como la acción de separar las extremidades u órganos mediante un mecanismo de trauma cortante o corto-contundente. La mutilación se define como el daño violento causado a una parte del cuerpo en forma de amputación, desfiguración, evisceración, castración o desollamiento [50, 51]. Estos dos conceptos, cuyas definiciones a menudo se utilizan indistintamente [50], se pueden clasificar de tres formas distintas. Según el modo de desmembramiento, en localizado o generalizado. El modo localizado ocurre cuando únicamente se eliminan regiones anatómicas de identificación, y el generalizado cuando todo el cuerpo se corta en diversas partes [52, 53]. Según el patrón de lesiones y el instrumento utilizado, se divide en desarticulación por superficies articulares y sección transversal del hueso mediante un objeto corto-contundente o mediante una sierra [54]. Y según el comportamiento del agresor, en desmembramiento de subtipo defensivo, agresivo, ofensivo, necromaniaco y de tipo mensaje o comunicación [55, 56].

El subtipo defensivo es el más frecuente en Europa [12, 56–61] y el objetivo principal del agresor que lo comete es encubrir las pruebas del delito y evitar la identificación de la o las víctimas. La mutilación agresiva es la segunda más común y generalmente conlleva ensañamiento, mutilación de tejidos blandos y profanación del cadáver [12, 58–61]. El desmembramiento de tipo comunicación es común en América Central y América Latina, [42, 43], en el que la amputación de las partes del cuerpo se utiliza para enviar un mensaje y como método de intimidación a grupos rivales, no para ocultarlo. El desmembramiento ofensivo, el necromaniaco y el caníbal son infrecuentes en todo el mundo [62–64].

Tabla 1.1. Diferencias entre el desmembramiento agresivo y defensivo. Tabla obtenida de Mata Tutor & Villoria Rojas [61].

Subtipo agresivo	Subtipo defensivo
Mutilación facial	Decapitación
Mutilación genital	Desmembramiento de manos y/o brazos
Mutilación de pechos y región vaginal	Desmembramiento de pies y/o piernas
Partes blandas del cuerpo cortadas aleatoriamente	Cuerpo escondido
Cortes inexpertos	Partes del cuerpo dispersadas

Esta modificación post-mortem influye negativamente en el análisis antropológico forense. Se facilita el transporte del cuerpo, posibilitando la dispersión o el depósito de los restos en lugares de difícil acceso [57, 65]. La identificación del fallecido se complica, ya que la decapitación y el seccionamiento de manos son actos habituales en los desmembramientos defensivos [55, 58] y no siempre se recuperan todas las regiones anatómicas [52, 59]. Además, las marcas de corte pueden confundirse con lesiones peri-mortem, lo que dificulta la determinación de la causa y manera de la muerte [40].

Varios autores han analizado los efectos del trauma cortante y la evisceración sobre la velocidad de descomposición [16, 66, 67]. Según Mann et al. [16], el trauma aumenta la velocidad del proceso, aunque otros autores observaron en sus respectivos estudios que el traumatismo peri-mortem afecta al patrón de descomposición, pero no a la velocidad [66, 67]. Ya sea en velocidad o en patrón, el desmembramiento dificulta la estimación del intervalo post-mortem, ya que la evaluación macroscópica es menos precisa cuando un cadáver incompleto se encuentra en un estado de descomposición avanzado [19, 68].

Debido a las complicaciones anteriormente expuestas, diversos investigadores de todo el mundo han realizado estudios retrospectivos de casos ocurridos en Estados Unidos [52], Colombia [43, 44], Panamá [42, 69], Corea del Sur [70], Suecia [71], Finlandia [56], Alemania [59, 72], Polonia [57], Inglaterra [12, 49, 58] Italia [73] y España [61] para tratar de analizar las características de estos crímenes y encontrar variables comunes en todos los países que influyan negativamente en el análisis forense. En España, se realizó un estudio retrospectivo de 10 casos de desmembramiento sucedidos en la década del 2010 en los que el agresor hubiese sido juzgado por profanación de cadáveres. Se concluyó que los agresores eran en general de sexo masculino y de entre 30 y 49 años; que todas las víctimas conocían o tenían una relación estrecha con él; que las armas utilizadas fueron objetos cotidianos presentes en las casas, como cuchillos de cocina; que dos de 13 cadáveres desmembrados fueron posteriormente cremados; y que el 70 % de los casos fueron defensivos [61]. La incineración posterior al desmembramiento ha sido también documentada por previos autores, como de Matteis et al. [73] en Italia, Konopka et al. [57] en Polonia, Roberts & Baldry [49] en Inglaterra, y Sea & Beauregard [70] en Corea del Sur.

Numerosos investigadores también se han centrado en el análisis de trauma cortante relacionado con el desmembramiento. El arma específica utilizada para cometer el acto generalmente se desconoce, aunque es posible identificar el tipo de instrumento mediante el examen detallado de las marcas dejadas en el tejido óseo [37, 74–76]. Las sierras son consideradas las herramientas más eficientes para seccionar el hueso según la literatura [76, 77], mientras que los cuchillos a menudo se emplean para eliminar el tejido blando circundante antes de intentar cortarlo transversalmente [69]. Según Amadasi et al. [74] y Porta et al. [78] las marcas dejadas por sierras son el defecto más estudiado porque es el tipo de instrumento más utilizado en casos de mutilación criminal, como concluyen previos análisis retrospectivos de casos forenses [12, 37]. Pero el uso de diferentes tipos de cuchillos no es inusual [78] y se ha observado en varios países europeos [57, 59, 61, 72].

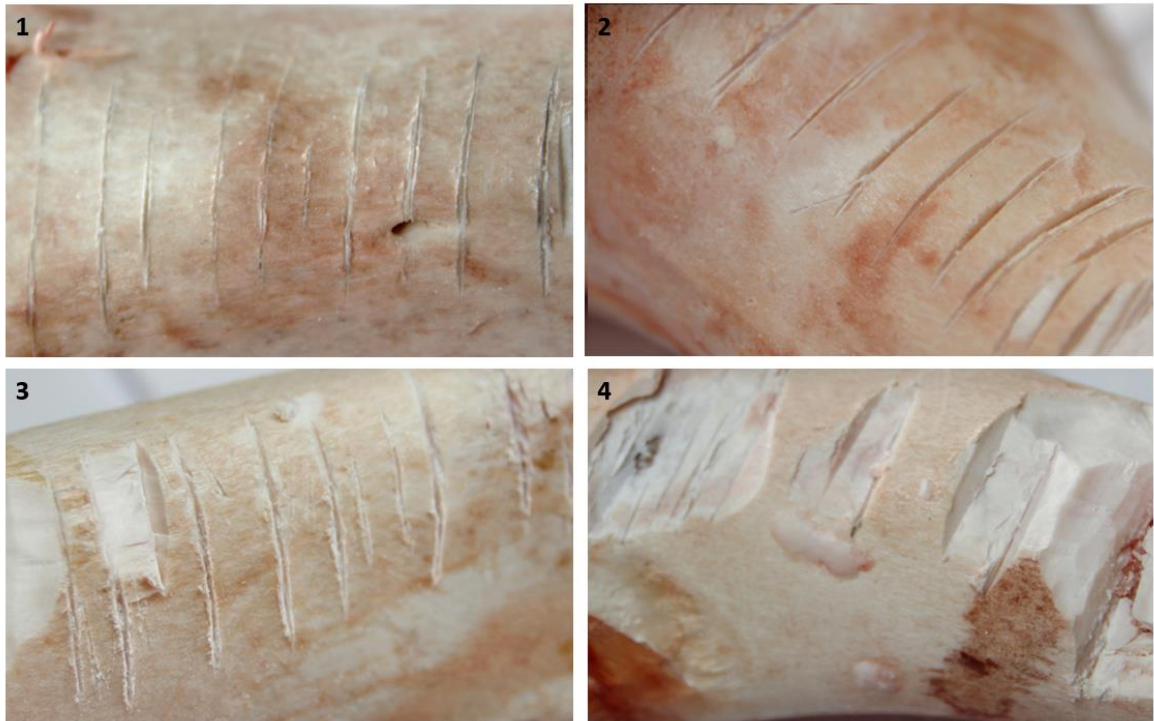


Figura I.2. Trauma cortante realizado con dos cuchillos serrados (1 y 3) y un cuchillo de hoja lisa (2). Trauma corto-contundente realizado con un machete (4).

El trauma cortante es una categoría bien documentada de traumatismo peri-mortem. Es el resultado de fuerzas de compresión dinámicas enfocadas en una superficie estrecha [79]. Las lesiones más investigadas debido a su importancia forense en casos de desmembramiento son las cortantes y las corto-contundentes. Las heridas incisas o cortantes inducidas por un arma blanca son finas líneas en forma de V con bordes limpios, paredes afiladas y bien marcadas, causadas por presión o deslizamiento de la hoja [76, 77, 79–82]. Los cortes de sierra quedan marcados en el hueso debido al movimiento de serrado “hacia delante-hacia atrás” y conservan una forma cuadrada o en U [75–77, 79–81, 83, 84]. Sanabria-Medina & Osorio Restrepo [43] definen el trauma corto-contundente como un traumatismo contundente inducido con una herramienta afilada que utiliza el impulso y la fuerza física del agresor. Deja grabado en el tejido una lesión en forma de V o U estrecha según el grosor de la hoja, con bordes generalmente semi romos [85–87].

Como ha quedado expuesto en esta sección, el desmembramiento es una alteración tafonómica que afecta negativamente al examen antropológico, y esta complicación en el análisis y recuperación de los restos aumenta si es acompañada de más modificaciones adicionales como, por ejemplo, la incineración o carbonización de las partes del cuerpo desmembradas.

EL FUEGO COMO AGENTE TAFONÓMICO

El fuego es un agente tafonómico que puede alterar, dañar y modificar restos biológicos y reducir un cuerpo completo a fragmentos óseos, ocasionando ciertas limitaciones y desafíos durante el examen antropológico [38]. Si bien no destruye completamente el cadáver [88], contribuye a dificultar la identificación de la víctima y a ocultar las evidencias relacionadas con la causa y manera de la muerte [9, 39, 89, 90]. Las temperaturas extremas pueden destruir pruebas incriminatorias, como el ADN [91, 92] o el traumatismo peri-mortem [93–96] y dificultar la estimación del perfil biológico del fallecido [97–100].

Para un correcto análisis antropológico, es fundamental conocer los efectos del fuego sobre el cuerpo. Mayne Correia [39] define cuatro grados de alteración térmica en función de la supervivencia del tejido blando: carbonización, cremación parcial, cremación incompleta y cremación completa. La carbonización es el primer estadio, cuando un cuerpo está expuesto al fuego, pero los órganos internos aún se conservan intactos. La cremación parcial ocurre en situaciones en las que el cuerpo fue sometido a altas temperaturas sin control manual del fuego. En general, los restos se encuentran en la posición original con partes carbonizadas desiguales [46]. La cremación incompleta es usual en ritos funerarios, que emplean una pira equipada cuidadosamente con combustible encendida y manipulada durante horas. Se conservan fragmentos óseos tras el proceso [33, 36, 101]. Finalmente, una cremación se considera completa si únicamente quedan cenizas. Esta solo se da en crematorios modernos, donde las temperaturas extremas, ventilación asistida y destrucción mecánica aseguran la completa destrucción del tejido óseo [102].

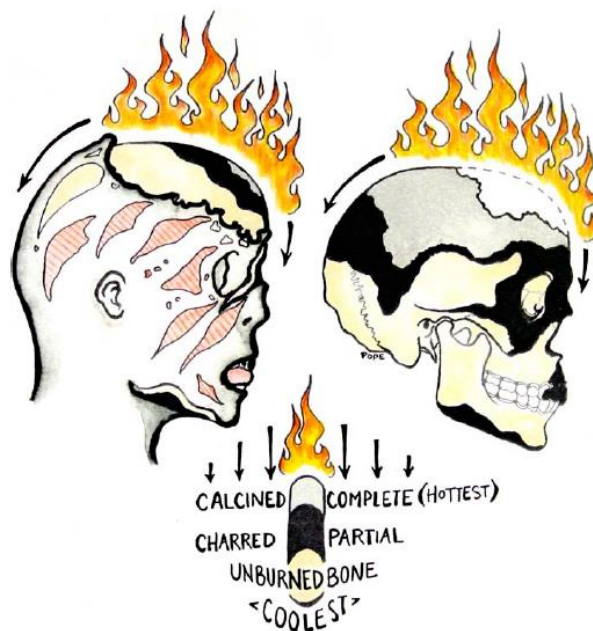


Figura 1.3. De hueso intacto a hueso calcinado. Figura obtenida de Pope & Smith [103].

Según Bohnert et al. [102], el cuerpo adopta la posición pugilística, caracterizada por la flexión de codos, rodillas y cuello y apretar las manos en forma de puño, aproximadamente a los 10 minutos de comenzar la cremación. Se observa en cadáveres quemados debido a la rápida deshidratación, acortamiento, contracción y flexión de los músculos y ligamentos [104]. A los 30 minutos, los huesos de la cara se calcinan y los órganos internos comienzan a carbonizarse. A partir de la hora, tanto los brazos como los muslos se calcinan, de la cabeza únicamente queda visible la base del cráneo y los órganos internos están completamente consumidos. Un cuerpo completo queda reducido a pequeños fragmentos óseos y cenizas después de entre dos y tres horas de exposición.

Tabla 1.2. Cambios inducidos por el calor en el hueso. Tabla obtenida de Mata Tutor [105].

Fase	Cambios morfológicos [89]	Cambios histológicos [39]	Tipo de modificación [104]	Temperatura (°C) [89]	Color [33]
Deshidratación	Roturas en la superficie del hueso y pérdida de biomasa	Pérdida de agua	Carbonización	100-600	De ocre a gris claro
Descomposición	Cambio de coloración, pérdida de biomasa y de elasticidad, cambios en la porosidad	Pirólisis de la materia orgánica	Carbonización	300-800	De marrón oscuro y negruzco a blanco
Inversión	Aumento del tamaño de los cristales de hidroxiapatita	Pérdida de carbonatos	Calcinación	500-1100	De gris claro azulado a blanco
Fusión	Contracción del hueso y disminución del tamaño, aumento del tamaño de los cristales, cambios en la porosidad	Fusión de cristales de hidroxiapatita	Calcinación	700+	Blanco

Una vez que el tejido blando ha sido consumido, las propiedades químicas del hueso se alteran siguiendo cuatro etapas descritas por Thompson [89, 106] y Mayne Correia [39]: deshidratación, descomposición, inversión y fusión (Tabla 1.2.). Los cambios en la organización del hueso conducen a fallos estructurales y fracturas visibles macroscópicamente. Antropólogos físicos y forenses han estudiado estas fracturas y cambios inducidos por el fuego tanto en hueso humano como en modelos animales desde hace décadas [99, 101, 106–110]. Herrmann & Bennet [110] distinguen los defectos según su localización y dirección de propagación entre fracturas longitudinales, que siguen el eje mayor del hueso; curvilíneas, con forma curvada y en arco; transversa recta o *step*, que se extienden del margen de una fractura longitudinal a través del eje del hueso; pátina, finas roturas en la superficie del hueso parecidas a un mosaico; y delaminación, la descamación de la capa superior.

Uno de los sistemas de clasificación más utilizados por antropólogos forenses ha sido resumido por Symes et al. [104]. Describe las mismas fracturas inducidas por el fuego catalogadas por Herrmann & Bennet [110] pero divide la fractura transversa recta en dos: transversa, que es la fractura completa, y *step*, la incompleta. Añade también la fractura línea de quemado, que sigue el límite de la quemadura y separa zona quemada y no quemada. Finalmente, el *warping* es la deformación plástica del hueso [101, 108, 111]. Aunque las definiciones son sencillas y auto explicativas, durante la identificación de fragmentos quemados de pequeño tamaño pueden ser difíciles de aplicar [112].

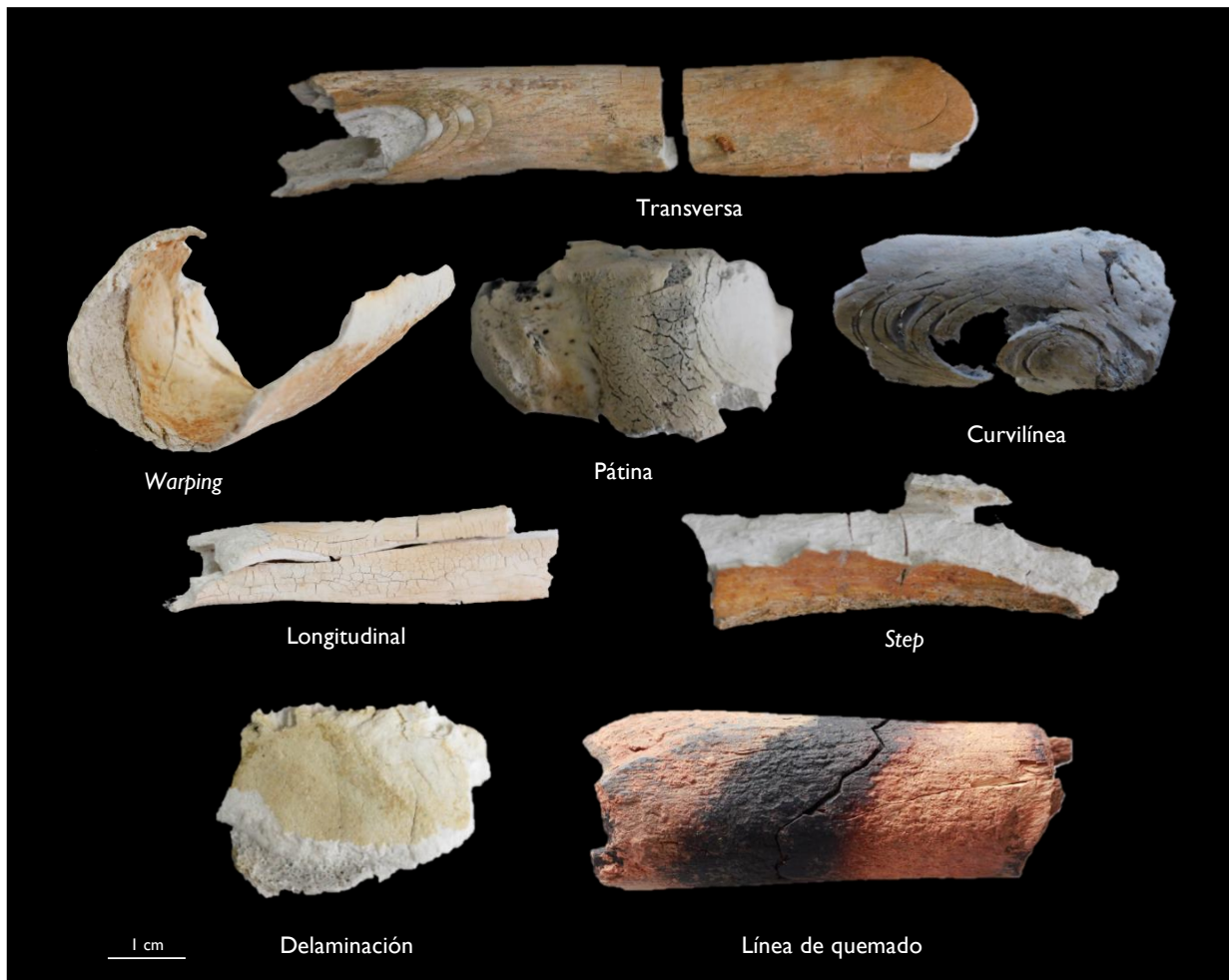


Figura 1.4. Ocho tipos de cambios inducidos por el fuego descritos por la literatura.

En los últimos años, numerosos investigadores han estudiado las modificaciones causadas por el fuego en el trauma peri-mortem. Todos estos experimentos y mejoras en metodología han buscado mejorar las técnicas de análisis para obtener la mayor cantidad de información posible de los restos cremados, de modo que pueda utilizarse en los tribunales de acuerdo con las recomendaciones de Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc [113, 114]. La diferenciación entre trauma peri-mortem y fracturas post-mortem es un reto habitual durante el análisis antropológico [13]. Una lesión peri-mortem es aquella que ocurrió alrededor del momento de la muerte, mientras que una fractura post-mortem tuvo lugar tras el fallecimiento [2, 115], si bien los antropólogos forenses distinguen entre estos periodos de tiempo utilizando la frescura del hueso [5]. En cadáveres incinerados, la identificación e interpretación del trauma plantea un desafío interpretativo adicional, ya que el fuego deforma, fragmenta y altera el tejido óseo [38, 102]. Por lo tanto, es imprescindible estudiar los efectos que tiene el fuego sobre el trauma y reconocer sus características morfológicas para diferenciarlo correctamente de fracturas inducidas por el fuego.

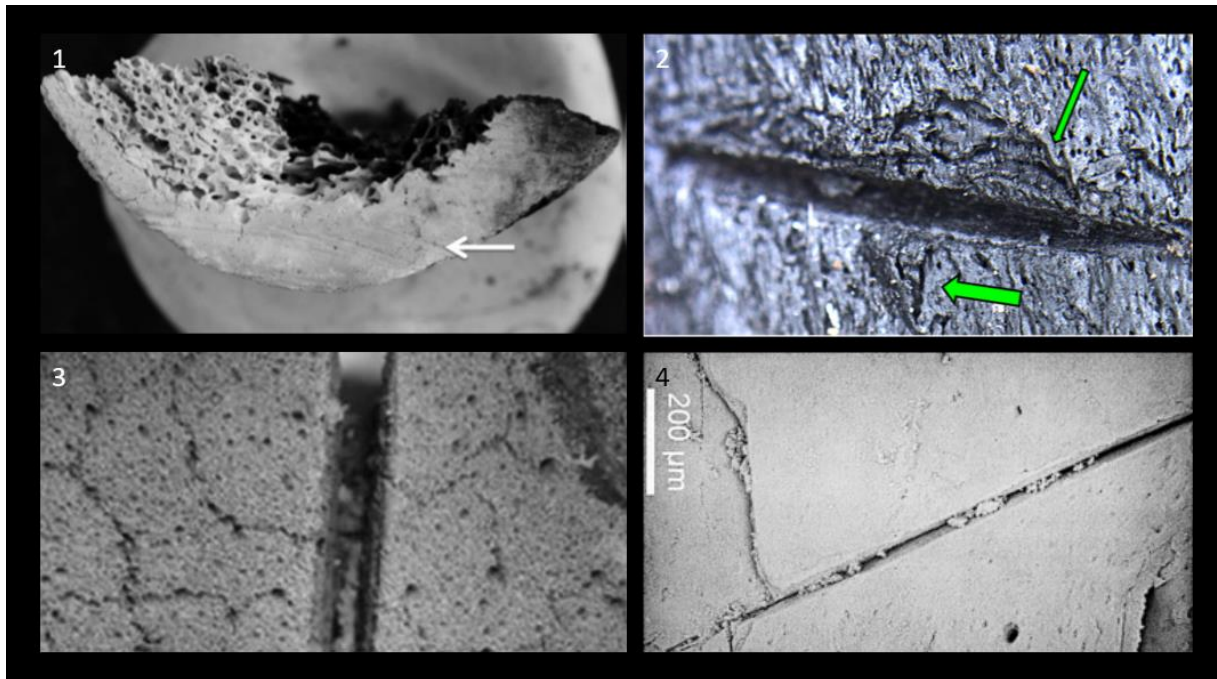


Figura 1.5. Observaciones del trauma pre-cremación. **1:** Figura obtenida de Robbins et al. [116], la flecha señala las estriaciones causadas por una sierra; **2:** Figura obtenida de Alunni et al. [117], las flechas apuntan a las roturas causadas en la superficie del hueso derivadas de una lesión causada con una hachuela; **3:** Figura obtenida de Poppa et al. [118] que muestra un corte realizado con una hachuela; **4:** Figura obtenida de Herrmann & Bennet [110] que representa una marca de corte hecha con un bisturí.

Se han realizado numerosos experimentos para analizar el trauma en hueso quemado [90, 93, 94, 103, 110, 116–124]. En situaciones de desmembramiento y posterior cremación de las partes del cuerpo es imprescindible estar familiarizado con las características de las marcas de corte pre-cremación, por lo que estudios previos se han centrado principalmente en el trauma cortante inducido por cuchillos [93, 94, 103, 119, 121] y sierras [90, 116, 124], y en el corto-contundente [117, 123]. Sin embargo, para la mayoría se emplearon huesos desarticulados de modelos animales en lugar de cadáveres enteros. Pope & Smith [103] utilizaron 40 cabezas no embalsamadas que se sometieron a trauma cortante, contundente y balístico antes que las carbonizaran en una pira al aire libre. Aunque las propiedades del cráneo son diferentes a las de otros huesos poscraneales y sus resultados no pueden extrapolarse a todo el cuerpo [104], se demostró que el trauma cortante es identificable en vista macroscópica en base a una serie de características morfológicas observables. Koch & Lambert [94] utilizaron seis cerdos completos a los que indujeron trauma cortante, contundente y balístico. Su experimento expuso que ciertos cortes son visibles únicamente en el tejido blando y que la evidencia de trauma peri-mortem es susceptible de ocultarse tras la carbonización del tejido.

A pesar de las diferentes metodologías empleadas, todos los autores coinciden en que el trauma cortante puede detectarse y reconocerse mediante la observación macroscópica directa tras la exposición al fuego. Emanovsky et al. [93] afirmaron que la fragmentación es la variable que más influye en la supervivencia y posterior detección del trauma cortante en hueso, puesto que los cortes podrían pasarse por alto durante el análisis o sus rasgos identificativos podrían quedar destruidos durante la cremación. Robbins et al. [116] visualizaron las marcas de corte producidas por diferentes sierras utilizando microscopía electrónica de barrido y concluyeron que, si bien algunas características son más claramente visibles después de la quema, otras pueden perderse debido a la fragmentación del hueso. Herrmann & Bennet [110], de Gruchy & Rogers [123], Marciniak [124], Poppa et al. [118] y Alunni et al. [117], emplearon estereomicroscopios para examinar las características morfológicas del trauma cortante y corto-contundente, llegando a la conclusión de que las marcas de corte presentan unos bordes afilados visibles y detectables. Se observó también que en ciertos casos, tanto en vista macroscópica como en microscópica, la evidencia del trauma se ve realzada por la alteración térmica [93, 116, 117] y que, en ocasiones, es posible identificar el tipo concreto de herramienta utilizada mediante el análisis de las estriaciones y la forma del corte [90, 124] utilizando los rasgos descritos para hueso intacto.

Dado que el hueso sufre una serie de alteraciones morfológicas debido a la exposición al fuego [106], parece plausible que estos cambios estructurales puedan afectar también a las dimensiones de las lesiones inducidas pre-cremación. Se han realizado experimentos utilizando modelo animal porcino con sierras [90, 122], hachuelas [117], machetes de carnicero [123] y cuchillos de cocina [120, 122] para analizar los cambios dimensionales de las lesiones más comunes que se dan en situaciones forenses. Sin embargo, el análisis y la interpretación de cambios métricos tras la cremación arroja resultados escasos y a menudo contradictorios. Symes et al. [90], Waltenberger & Schutkowski [120] y Alunni et al. [117] concluyeron que la alteración térmica no afecta a las marcas de corte. Symes et al. [90] observaron que el fuego no causa ni contracción ni expansión de las marcas de sierra, y Waltenberger & Schutkowski [120] que la profundidad y el ancho de la lesión tampoco se ve modificado. Por el contrario, tanto Vegh & Rando [122] como de Gruchy & Rogers [123] documentaron variaciones en las dimensiones de los cortes realizados. Vegh & Rando [122] afirmaron que, a 1000 °C, tanto la longitud como el ancho de las marcas de corte producidas con cuchillo y sierra sufren variaciones dimensionales, pero únicamente el largo disminuye de tamaño de manera consistente. De Gruchy & Rogers [123] concluyeron tras un análisis macroscópico que las marcas de corte encogen ligeramente en tamaño.

El fuego como agente tafonómico complica el examen antropológico y, en concreto, el análisis e interpretación de evidencias de traumatismo peri-mortem para asistir en la determinación de la causa y manera de la muerte. El impacto negativo del desmembramiento y la cremación es conocido debido a la amplia literatura existente que considera los efectos que estas modificaciones tienen por separado, pero se han realizado escasas investigaciones para estudiar los efectos del fuego tras el desmembramiento. Aunque el estudio del traumatismo pre-cremación ha evolucionado considerablemente, es imprescindible ampliar y mejorar estudios previos para resolver discrepancias y aplicar metodología no destructiva que permita la repetición y validación de los experimentos, así como conocer el estado del arte en cada país en particular.

Capítulo 2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

*The impossible cannot have happened; therefore,
the impossible must be possible in spite of
appearances.*

Hercules Poirot (Murder on the Orient Express)

2.1. IMPORTANCIA FORENSE

El interés por los casos de desmembramiento ha aumentado en los últimos años. A pesar de que son escasos los estudios que mencionan situaciones en los que las partes del cuerpo han sido posteriormente alteradas, el fuego es el agente tafonómico más frecuentemente utilizado para tal fin [49, 57, 61, 70, 73]. El impacto en la investigación antropológica forense del desmembramiento es de sobra conocido [11, 12], así como de la cremación [38, 125]. Sin embargo, los efectos de la alteración tafonómica en las partes del cuerpo amputadas es una temática que no se ha explorado en profundidad. Salvo un estudio preliminar [61], no se han realizado estudios retrospectivos de desmembramientos españoles. Para conocer la frecuencia de estos casos, las armas más comúnmente utilizadas, la cantidad de cuerpos que fueron alterados con fuego tras el desmembramiento y las complicaciones encontradas durante el examen antropológico, se hace cada vez más necesario conocer el estado de la cuestión en España.

Por otro lado, a pesar de los recientes avances en metodología, son escasos los estudios experimentales que analizan el comportamiento de marcas de corte en cadáveres completos [93, 94] y en modelo humano inexistentes. En casos forenses, evaluar correctamente si unos restos quemados tienen evidencias de trauma o únicamente fracturas causadas por el fuego tiene implicaciones legales muy diferentes. El examen antropológico se complica si un cadáver ha sido incinerado a altas temperaturas y sometido a fracturación mecánica, quedando reducido a restos óseos muy fragmentados y deformados de pequeño tamaño [38, 46, 88, 93, 102]. En estas situaciones podrían cometerse errores que durante el estudio macroscópico de un hueso quemado de forma individual no se cometan. A su vez, las variables que influyen en la supervivencia y detección de marcas de corte desde el inicio del desmembramiento no han sido estudiadas. Es debido a ello que son necesarios estudios experimentales con cuerpos completos, para analizar las características morfológicas de las lesiones para su correcta identificación como trauma y calcular el porcentaje de marcas de corte que sobreviven a la exposición del fuego.

Aunque los rasgos identificativos del trauma cortante se han estudiado con diferente metodología, como microscopía electrónica de barrido [116], estereomicroscopios [110, 117, 118, 123, 124] y tomografía axial computarizada [120], los resultados de los cambios métricos en las marcas de corte después de la exposición al fuego son inconclusos. Se ha demostrado que el trauma es visible e identificable en base a rasgos propios del tipo de instrumento, pero el grado de alteración de las dimensiones cuando las marcas de corte han sobrevivido al proceso crematorio y se han identificado como tal no es consistente. Asimismo, únicamente se han evaluado las variaciones en longitud, anchura, y profundidad, los cambios acontecidos en la rugosidad de la lesión no han sido estudiados hasta la fecha y pueden proporcionar una herramienta adicional para detectar diferencias entre instrumentos.

2.2. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL

Por todos los motivos expuestos en esta sección, se planteó la presente tesis doctoral con un enfoque multidisciplinar. En primer lugar, se realizó un análisis del estado de la cuestión del desmembramiento en España mediante un estudio retrospectivo de casos forenses sucedidos desde el año 1990 (Capítulo 5). A continuación, se efectuó un estudio experimental del trauma cortante en cadáveres cremados para determinar las diferencias entre marcas de corte y fracturas inducidas por el fuego y las posibles dificultades encontradas durante el análisis antropológico. Así mismo, se calculó la supervivencia post-cremación de esas mismas marcas de corte (Capítulo 6). Y finalmente, se realizó un estudio experimental para analizar las variaciones que el fuego ocasiona en las dimensiones y morfología de las marcas de corte relacionadas con el desmembramiento utilizando un rugosímetro óptico (Capítulo 7).



Figura 2.1. Organización de la tesis doctoral en tres estudios.

Capítulo 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

No, the journey doesn't end here. Death is just another path, one that we all must take. The grey rain-curtain of this world rolls back, and all turns to silver glass, and then you see it [...] white shores, and beyond, a far green country under a swift sunrise.

Gandalf the White (The Return of the King)

3.1. HIPÓTESIS

La hipótesis del siguiente estudio es que el fuego, al ser un agente tafonómico que daña los tejidos blandos y puede reducir todo el cuerpo a fragmentos óseos, afecta al análisis antropológico forense, especialmente a la detección e interpretación del traumatismo cortante peri-mortem en casos de desmembramiento. Por tanto, se proponen las siguientes hipótesis concretas:

1. El desmembramiento y posterior alteración con fuego y otros agentes tafonómicos tiene un impacto negativo en el análisis antropológico forense.
2. El diseño de una nueva metodología para la diferenciación entre fracturas inducidas por el fuego y trauma cortante va a suponer una mejora en su correcta identificación.
3. No toda la evidencia del traumatismo peri-mortem sobrevive tras el proceso crematorio debido a variables intrínsecas y extrínsecas que influyen desde el comienzo del procedimiento.
4. Las marcas de corte sufren una variación en su morfología y dimensiones durante la exposición al fuego que difieren dependiendo del tipo de instrumento utilizado.

3.2. OBJETIVOS

Para probar las hipótesis planteadas se realizaron tres experimentos, marcándonos los siguientes objetivos concretos:

3.2.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO RETROSPECTIVO DE CASOS DE DESMEMBRAMIENTO

1. Calcular la prevalencia de casos de desmembramiento con relación a los homicidios intencionales ocurridos desde el año 1990 en España, y el número de casos en los cuales los restos biológicos desmembrados fueron posteriormente alterados con fuego, mediante un estudio retrospectivo de sentencias judiciales.
2. Analizar la influencia de la alteración post-desmembramiento en la investigación antropológica forense, examinando la correlación entre las variables relacionadas con la demografía de víctima y agresor, las circunstancias que rodean la muerte de la víctima, el desmembramiento, la posterior alteración del cadáver, la organización del crimen y la investigación antropológica forense.

3.2.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO DEL TRAUMA CORTANTE EN CADÁVERES CREMADOS

3. Desarrollar una guía visual y un diagrama de flujo simples para distinguir entre fracturas inducidas por el fuego y trauma cortante, utilizando las definiciones de Symes et al. [104] y las observaciones macroscópicas de la autora realizadas durante el análisis antropológico, que puedan ser utilizados tanto por profesionales en antropología forense como por estudiantes no familiarizados.
4. Examinar la fiabilidad y repetibilidad de la guía visual y el diagrama de flujo para la identificación de fracturas inducidas por el fuego y causadas por traumatismo cortante, y discutir las posibles causas de los errores cometidos durante el estudio antropológico forense.
5. Calcular el porcentaje de supervivencia después de la cremación de marcas de corte relacionadas con el desmembramiento en diferentes regiones anatómicas, mediante un estudio antropológico forense de individuos quemados en un horno crematorio.
6. Explorar las variables que afectan a la supervivencia del trauma cortante desde el inicio del experimento, analizando desde el comienzo del proceso con el desmembramiento del cadáver, el proceso de cremación y el subsecuente análisis antropológico.

3.2.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE MARCAS DE CORTE EN HUESOS QUEMADOS

- 7.** Examinar la distorsión que el fuego inflige en la morfología, longitud, anchura y rugosidad de marcas de corte inducidas por cuatro instrumentos distintos mediante un rugosímetro óptico, comparando las medidas de las lesiones antes y después del proceso crematorio.
- 8.** Relacionar las variaciones morfológicas y dimensionales de las marcas de corte tras la cremación con cada tipo de instrumento.

Capítulo 4. MATERIALES Y MÉTODOS

*The sword of destiny has two edges. You are one of
them. The other is Death.*

Geralt of Rivia (Sword of Destiny)

4.1. MATERIAL Y METODOLOGÍA APLICADA AL ESTUDIO RETROSPECTIVO DE CASOS DE DESMEMBRAMIENTO

4.1.1. CASOS FORENSES ESPAÑOLES

La muestra fue extraída del Consejo General del Poder Judicial Español, en concreto del Centro de Documentación Judicial (CENDOJ). Se trata de una base de datos pública con sentencias judiciales oficiales que incluyen información estandarizada de casos forenses españoles. Las sentencias de investigaciones actuales o de juicios pendientes no se incluyen hasta que haya finalizado el proceso judicial. Se buscaron en la base de datos los casos de desmembramiento ocurridos en España desde el año 1990 utilizando en el buscador las palabras clave “descuartizar/ado” (28 casos), “desmembrar/ado” (27 casos), “mutilar/ción” (11 casos) y “profanación de cadáveres” (104 casos).

Se seleccionaron 35 que cumplían con los siguientes criterios de inclusión: El crimen fue clasificado como homicidio o asesinato y ocurrió el desmembramiento intencional del cadáver. Se descartaron los casos repetidos, las sentencias en las cuales las palabras clave se incluyeron dentro de delitos de amenazas, los casos no resueltos o no añadidos a la base del CENDOJ, los accidentes y los suicidios. Las 35 sentencias judiciales se analizaron individualmente para obtener 96 variables cualitativas:

- 20 variables que describen las características demográficas y psicológicas de la víctima y del agresor obtenidas de los estudios realizados por Almond et al. [58], Häkkänen-Nyholm et al. [56], Petreca et al. [51], Sea & Beauregard [70], y Wilke-Schalhorst et al. [59].
- 35 variables sobre las circunstancias de la muerte y el posterior desmembramiento de la víctima, basadas en los estudios realizados por Almond et al. [58], Sea & Beauregard [70], Vázquez Guarín et al. [44] y Wilke-Schalhorst et al. [59].
- 11 variables que describen la alteración post-desmembramiento del cadáver obtenidas del análisis realizado por Sea & Beauregard [70], en Corea del Sur del año 1995 al 2011.
- 13 variables sobre la organización del crimen, basadas en el análisis elaborado por Petreca et al. [51] de 100 asesinos en serie de la Serial Killer Database de la Universidad de Florida.
- 17 variables que describen el estado de preservación del cadáver y la investigación antropológica forense, basadas en la información obtenida de las sentencias judiciales, de las definiciones propuestas por Byers [68] y Black et al. [55], y del estudio retrospectivo realizado por Konopka et al. [57] en Polonia del año 1968 al 2005.

Estas variables se obtuvieron de estudios retrospectivos realizados en Europa, Asia y América y pueden encontrarse con más detalle en el Anexo 4.1. Se creó una base de datos en Excel con toda la información obtenida de cada sentencia judicial y se crearon dos grupos. El grupo 1 “casos totales” incluye los datos de los 35 casos. El grupo 2 “casos alteración post-desmembramiento” incluye los casos en los cuales el agresor, después de desmembrar el cadáver, trató de destruirlo intencionalmente mediante agentes tafonómicos, como el fuego o productos químicos, o de forma manual mediante descarnamiento, evisceración y otras formas de mutilación de las partes blandas.

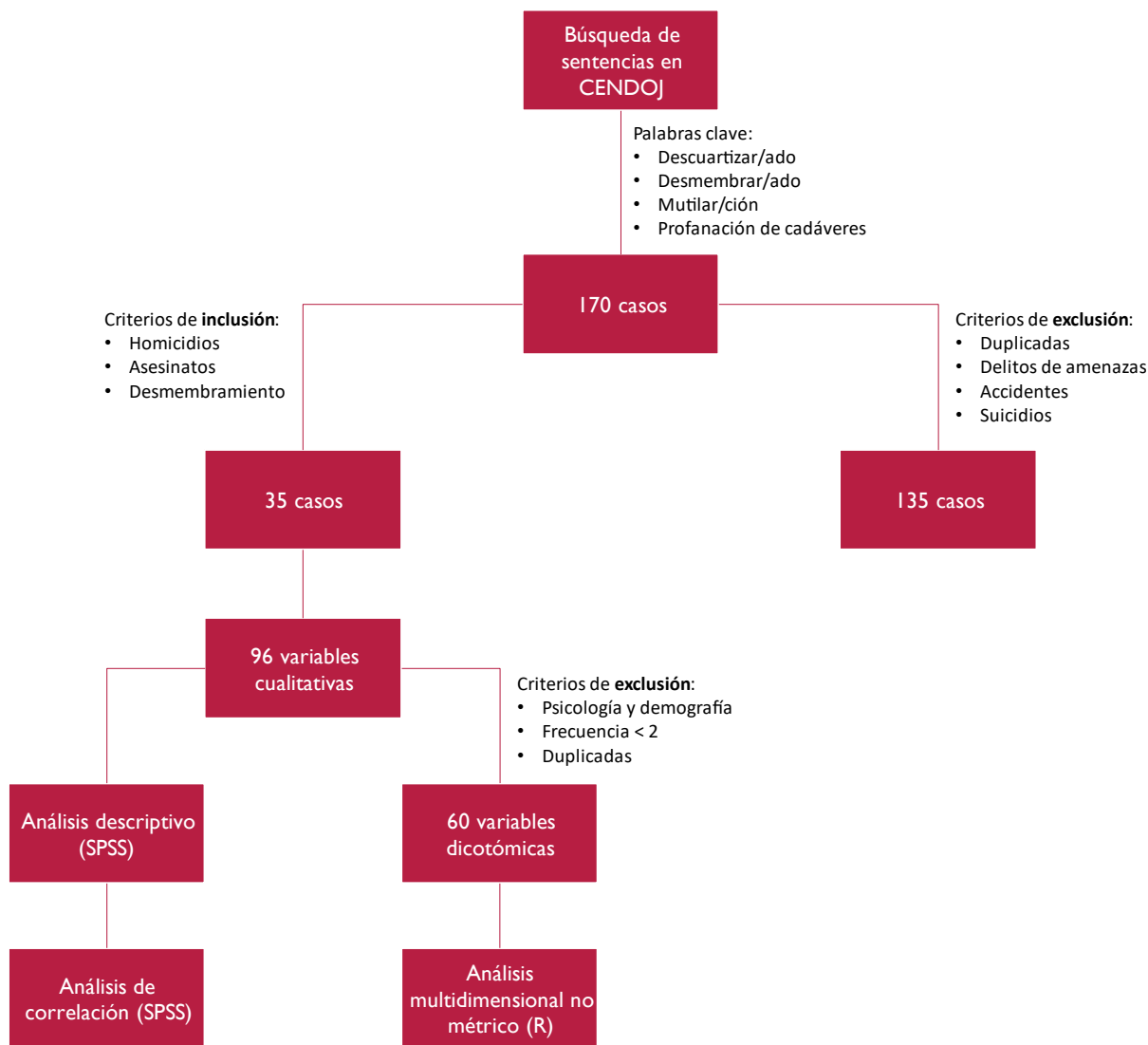


Figura 4.1. Flujo de trabajo para la obtención de sentencias y procesamiento de los datos.

4.1.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para calcular la proporción de desmembramientos ocurridos por cada homicidio, se obtuvo el total de homicidios intencionales ocurridos en España de DatosMacro, una página web que ofrece estadísticas oficiales de crímenes ocurridos en distintos países. La proporción se calculó dividiendo el número de desmembramientos por el total de homicidios hasta el año del último desmembramiento registrado.

$$\frac{N \text{ casos de desmembramiento}}{N \text{ casos de homicidio intencional}} \times 100$$

Se emplearon análisis descriptivos utilizando el software SPSS v 25.0 para Windows 10 (SPSS inc., Chicago, IL) para la obtención de frecuencias de las 96 variables. Se utilizó la prueba de asociación Chi-cuadrado para establecer la correlación entre la variable dicotómica “Alteración post-desmembramiento [sí o no]” y el resto de las variables. Los resultados se consideraron significativos si $p \leq 0.05$. Los coeficientes de correlación Phi y V de Cramer se aplicaron a las variables que arrojaron un resultado estadísticamente significativo en el Chi-cuadrado para comprobar la fuerza de asociación. Se consideró correlación fuerte si el valor era mayor a 0.5.

El análisis multidimensional no métrico es utilizado para explorar la asociación entre variables como distancia en un mapa bidimensional y proporciona una visión general de sus correlaciones. Se consideró un análisis estadístico adecuado para examinar todas las variables del estudio en conjunto. Todas las variables se transformaron manualmente en dicotómicas: sí (1) o no (0). Para simplificar el estudio estadístico, se establecieron dos criterios de exclusión adicionales:

- Se excluyeron las variables relacionadas con la demografía o psicología de las víctimas puesto que el aspecto psicológico se consideró fuera del ámbito de esta tesis doctoral. Exceptuando “Comportamiento violento” y “Conocimientos de anatomía” debido a que se utilizaron en los estudios retrospectivos de Almond et al. [58] y Häkkänen-Nyholm et al. [56] y se consideran relevantes en un contexto antropológico forense.
- Se descartaron variables con una frecuencia menor a dos o que se encuentren incluidas en otras variables.

Se obtuvieron un total de 60 variables que se identificaron con un código individual y se analizaron utilizando el paquete estadístico “smacof” del programa R studio v 25.0 para Windows 10 siguiendo la metodología propuesta por Pecino-Latorre et al. [126]. Al valor obtenido se le aplicó el índice de estrés [stress] de Kruskal para evaluar el ajuste del modelo: de 0, considerado un ajuste perfecto, a 1, considerado un ajuste deficiente [127].

4.2. MATERIAL Y METODOLOGÍA APLICADA AL ESTUDIO DEL TRAUMA CORTANTE EN CADÁVERES CREMADOS

4.2.1. MODELO HUMANO

MODELO HUMANO ARQUEOLÓGICO

Se seleccionaron 77 individuos adultos cremados de época Celtibérica (Siglos VIII a II a. C.) procedentes de tres sitios arqueológicos de Castilla la Mancha: 3 de Alcubillas, 20 de Cerro de las Cabezas y 54 de Checa. Estas cremaciones arqueológicas, pertenecientes al Laboratorio de Antropología y Odontología Forense de la Universidad Complutense de Madrid, se utilizaron como modelo humano para el estudio de los cambios inducidos por el calor puesto que, mediante documentación histórica, información obtenida a través de los arqueólogos encargados de las necrópolis y una exhausta exploración antropológica, se demostró que los individuos no fueron fracturados mecánicamente antes o después del rito funerario y que sus cuerpos fueron quemados frescos [36, 105, 128], por lo que el efecto del fuego en el hueso y la aparición de fracturas inducidas por el calor serían equiparables a un caso actual [46].

MODELO HUMANO CONTEMPORÁNEO

Se utilizaron como modelo humano contemporáneo tres individuos embalsamados donados a la Universidad Complutense a través de un convenio firmado en 2017 con los Servicios Funerarios de la Comunidad Autónoma de Madrid. Los Servicios Funerarios recibieron autorización previa de los familiares, que donaron los individuos al Cementerio Sur de Madrid. Debido a las Leyes de Protección de la Unión Europea del 2018 no se facilitaron todos los datos ante-mortem (Tabla 4.1.). Este experimento se realizó conforme a la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Las exhumaciones de los restos humanos no reclamados se llevaron a cabo en junio del 2019 a los 10 años de la muerte de los individuos acorde a la Ley de Sanidad Mortuoria de la Comunidad de Madrid [129].

Tabla 4.1. Datos obtenidos durante la exhumación en junio del 2019. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Individuo	Sexo	Edad	Causa de la muerte	Técnica de preservación	Ataúd	Sudario
1 (N50)	♂	60-80	Parada cardiorrespiratoria	Embalsamado	Zinc	Plástico
2 (N91)	♂	60-80	Parada cardiorrespiratoria	Embalsamado	Zinc	Plástico
3 (N92)	♂	45	Parada cardiorrespiratoria	Embalsamado	Zinc	Plástico

4.2.2. TRAUMATISMO CORTANTE

TRAUMA CORTANTE PRE-CREMACIÓN

Las herramientas utilizadas para realizar el trauma pre-cremación fueron un cuchillo serrado de pan para inducir lesiones cortantes y un machete para inducir lesiones corto-contundentes [81] (Figura 4.2.). Se utilizaron estos instrumentos debido a que son objetos domésticos habituales y se utilizan frecuentemente en casos forenses europeos [57, 59, 61, 72]. Un análisis estadístico preliminar de 10 casos de desmembramiento y mutilación en España demostró que seis de 13 víctimas fueron desmembradas utilizando únicamente cuchillos [61].



Figura 4.2. Cuchillo serrado de pan (A) y machete (B) utilizados para el estudio de marcas de corte en cadáveres cremados. Medidas del **cuchillo de pan**: longitud total: 370 mm, anchura máxima: 30 mm, distancia entre dientes: 9 mm, longitud de los dientes: 3 mm. Medidas del **machete**: largo: 300 mm, ancho: 45 mm, anchura de filo: 2 mm.

El traumatismo cortante previo a la cremación se realizó en la sala de exploración del Cementerio Sur. Primero, se retiraron los sudarios y la ropa utilizando unas tijeras para destapar el cuerpo y evaluar todas las regiones anatómicas. Se efectuó un examen externo de los tres cuerpos para describir el estado de descomposición y preservación cadavérica, traumatismos existentes y patologías observables. Toda la información se recogió en una hoja de trabajo adjuntada en el Anexo 4.2.

Las lesiones se realizaron para simular un caso de desmembramiento, por lo que no se prestó especial atención a la longitud o a la profundidad de los cortes. Se indujeron 25 cortes con el cuchillo de pan perpendiculares al eje mayor del muslo derecho de los individuos 1 y 2; en los tobillos de los individuos 1 y 2; y en la muñeca izquierda del individuo 1. En el pie, se realizó una hiperextensión para exponer el tobillo a nivel de la epífisis distal de la tibia y el peroné y la zona articular con el astrágalo, y se seccionó toda la parte articular hasta exponer el hueso. En la mano, se realizó una hiperextensión de la muñeca para seccionar la zona cartilaginosa entre los carpos y el cúbito y el radio (Figura 4.3.).

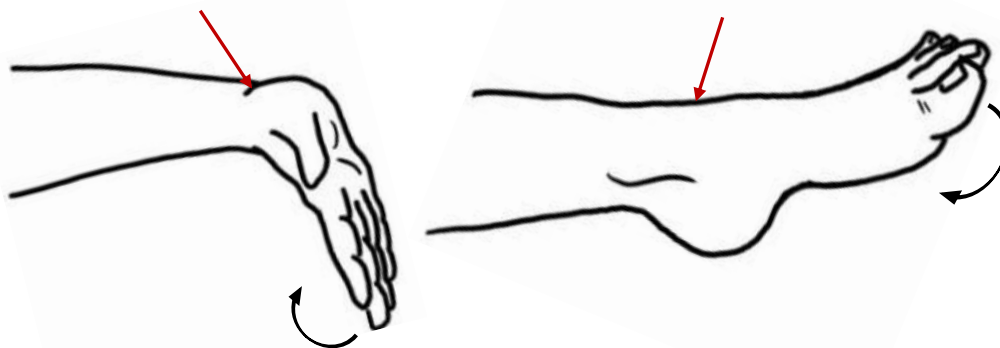


Figura 4.3. Hiperextensión de la muñeca y el tobillo. La flecha roja apunta a la región donde se realizaron los cortes.

30 lesiones corto-contundentes fueron inducidas con el machete en el muslo derecho, a lo largo del eje longitudinal de la pierna empezando desde la porción proximal y en la cresta ilíaca izquierda de los tres individuos.

Tabla 4.2. Trauma cortante realizado antes del proceso crematorio (número de lesiones). Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95, 112].

Instrumento	Región anatómica	Hueso/s afectado/s	1	2	3
Cuchillo de pan	Muslo y Rodilla (D)	Fémur y Rótula	5	5	0
	Tobillo (D & I) *	Tarsos	5	5	0
	Muñeca (I)	Carpos	5	0	0
Machete	Muslo (I)	Fémur	5	5	5
	Pelvis (I)	Coxal	5	5	5

I: Izquierda; D: Derecha; *: Tobillo derecho en el individuo 1 y tobillo izquierdo en el individuo 2.

En total se realizaron 55 lesiones. Las regiones anatómicas, los huesos potencialmente afectados y el número de cortes se encuentran resumidos en la tabla 4.2 y representados en la figura 4.4. En la zona del muslo se emplearon ambos instrumentos. En rodilla, muñeca y tobillo se utilizó únicamente el cuchillo para simular un intento de desmembramiento a través de regiones articulares [69]. La porción ilíaca del coxal fue lesionada únicamente con el machete para simular un intento de seccionar el cadáver por la mitad [43]. Debido al estado de descomposición de los cuerpos, no se pudo realizar el desmembramiento de todas las regiones anatómicas.

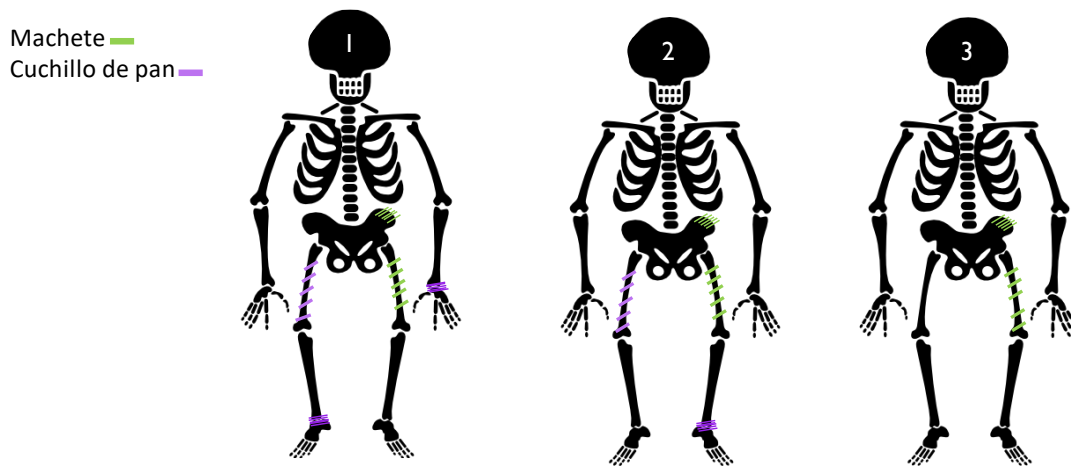


Figura 4.4. Representación visual de las 55 lesiones inducidas antes del proceso crematorio en los tres individuos: 25 con el cuchillo de pan y 30 con el machete.

Para documentar la morfología y el tamaño de las lesiones se realizaron numerosas fotos con escalas junto a los cortes, así como esquemas, notas escritas y dibujos a mano que mostraban la localización exacta de todos los cortes en el cadáver (Anexo 4.2). El trauma se realizó en tejido blando y putrúlagos, por lo que las fotografías mostraron la herida de entrada en el área con una escala.

TRAUMA CORTANTE POST-CREMACIÓN

Se seleccionaron cinco huesos largos de la colección arqueológica del Laboratorio de Antropología y Odontología Forense de la Universidad Complutense de Madrid, mencionada previamente en la sección 4.2.1: un fémur, dos radios, un húmero y un peroné de tres individuos adultos. El trauma post-cremación se indujo utilizando el cuchillo de pan debido a que el hueso incinerado es quebradizo y el trauma cortocontundente reduciría el hueso a fragmentos pequeños e irreconocibles, como demostraron previamente Pope & Smith [103]. En total, se realizaron 10 cortes transversales completos en la diáfisis de cinco huesos largos.

4.2.3. PROCESO CREMATORIO

Según Pope & Smith [103], los estudios experimentales sobre cremaciones deberían realizarse en piras al aire libre por su similitud a casos forenses y para asegurar que el proceso pueda ser monitorizado por completo mediante cámaras de vídeo, como se ha realizado en otros campos de antropología forense [130]. Aunque esto es preferible, no es factible cuando se utilizan cadáveres humanos completos. Este experimento fue realizado en su totalidad en las instalaciones del Cementerio Sur de Madrid en junio del 2019, debido a que la Ley de Sanidad Mortuoria de la Comunidad de Madrid [129] no permite el transporte de cadáveres fuera del cementerio antes del proceso crematorio. Por tanto, se descartaron estudios radiológicos o de imagen.



Figura 4.5. Cremación del individuo 2. Se introdujo el cadáver en un ataúd de madera, se transportó hasta el crematorio y se documentó gráficamente el proceso mediante una ventana en la cabecera del horno.

Una vez que el traumatismo fue realizado y documentado, cada individuo se colocó en un ataúd de madera proporcionado por los técnicos del cementerio. Después, se transportaron al crematorio del Cementerio Sur de Madrid y se depositaron individualmente en el interior del horno. Los hornos instalados en el Crematorio Sur cumplen con todos los requisitos ambientales y disponen del certificado medioambiental EMAS. La cremación fue monitorizada a través de una ventana en la cabecera y el procedimiento fue controlado y supervisado con evidencia fotográfica, anotando la fluctuación de la temperatura cada 5-15 minutos. El técnico del crematorio, además de regular la ingesta de gases y la entrada de oxígeno, manipuló los cuerpos en momentos específicos en los que los restos óseos debían separarse de los restos de materia orgánica.

El proceso de combustión finalizó a los 85 minutos (± 1.5 DE) cuando toda la materia orgánica fue consumida por completo y los restos óseos mostraban un color blanquecino (Figura 4.6.). Al finalizar, el técnico extrajo los restos óseos con un recogedor de metal y los dejó enfriar durante toda la noche. Al día siguiente, se recogieron en tres bolsas separadas y se trasladaron al Laboratorio de Antropología y Odontología Forense de la Universidad Complutense de Madrid.

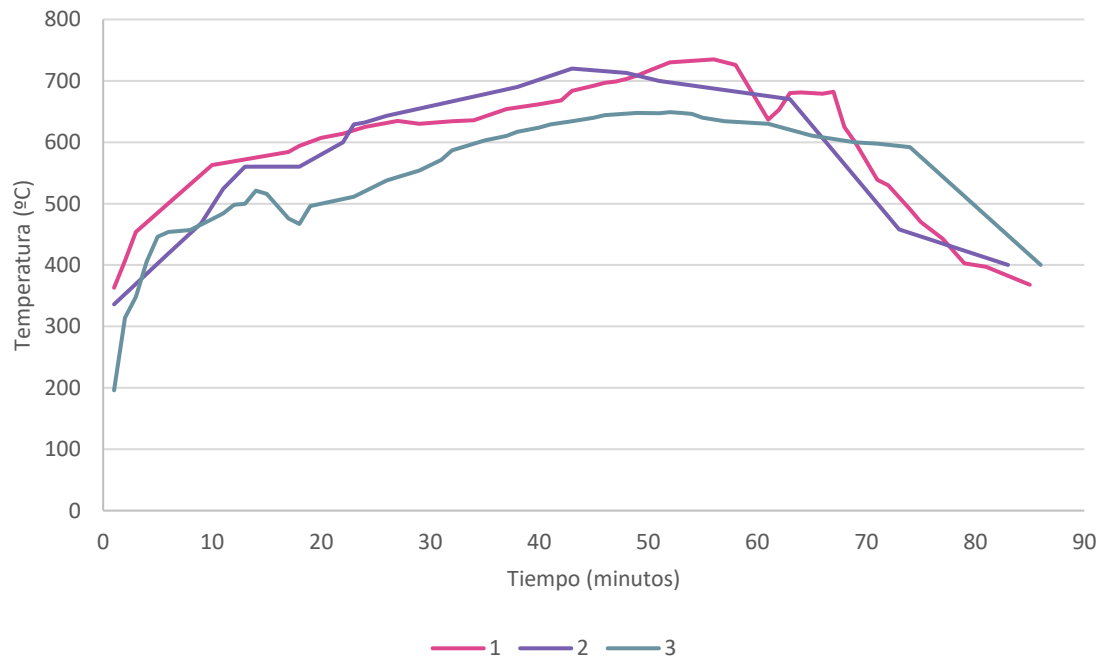


Figura 4.6. Temperatura y duración del proceso crematorio en el horno del Cementerio Sur de Madrid. Se puede observar que el proceso duró 85 minutos (± 1.5 DE) y alcanzó una temperatura máxima de 701 °C (± 37.5 DE). El individuo 3 alcanzó temperaturas más bajas que el individuo 1 y 2. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

4.2.4. ANÁLISIS ANTROPOLÓGICO

Se utilizó el mismo protocolo para el estudio de los 80 individuos, los 77 arqueológicos y 3 contemporáneos. El análisis antropológico se efectuó de acuerdo con la metodología propuesta por Fairgrieve [9]. En primer lugar, se cribaron todos los individuos. Una vez para separar los fragmentos óseos menores a 10 mm, cenizas y polvo, y nuevamente para separar los huesos no identificados y fragmentos menores a 20 mm. A continuación, los restos óseos se separaron individualmente por región anatómica utilizando las directrices de Jaskulska [131] para el estudio de restos cremados. Los fragmentos se pesaron utilizando una balanza electrónica TOPQSC con una precisión de 0.01 g para calcular la preservación general de cada región. La preservación de regiones anatómicas únicamente se analizó en los individuos contemporáneos puesto que algunas cremaciones arqueológicas se encontraban incompletas [105]. Se prestó especial atención a la reconstrucción de fragmentos, de acuerdo a las recomendaciones de Grévin et al. [132]. Una vez que se terminó con la reconstrucción de los individuos, se procedió al examen individual de cada fragmento.



Figura 4.7. Individuo 2 de Alcubillas con los fragmentos óseos cremados divididos en regiones anatómicas. Puede observarse que el cráneo se conserva mejor que otras zonas.

CARACTERÍSTICAS DE LAS FRACTURAS INDUCIDAS POR EL FUEGO

Todos los cambios inducidos por el calor se documentaron siguiendo las definiciones de Symes et al. [104]. Los fragmentos fueron fotografiados y analizados en vista macroscópica. Se identificaron ocho tipos de fracturas: longitudinal, transversal, curvilínea, en escalón [step], pátina, delaminación, línea de quemado y deformación plástica [warping] [108, 111]. Las características morfológicas se encuentran explicadas en detalle en el Capítulo 1.

CARACTERÍSTICAS DEL TRAUMA CORTANTE EN HUESO QUEMADO

Una vez que todas las regiones anatómicas fueron reconstruidas y las fracturas inducidas por el fuego identificadas y analizadas, cada fragmento de las zonas donde se indujo el trauma cortante fue examinado cuidadosamente. Los restos óseos que presentaban características similares a marcas de corte se separaron y examinaron en base a los rasgos típicos descritos en la literatura (Tabla 4.3.). El trauma cortante post-cremación se analizó en base a las observaciones realizadas por Pope & Smith [103] y a las características del trauma post-mortem realizado en hueso seco (Tabla 4.4.).

Tabla 4.3. Características del trauma cortante en hueso quemado descritas en la literatura. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [112]

Artículos científicos	Características del trauma cortante
Herrmann & Bennet [110]	Los cortes y las paredes del trauma corto-contundente son detectables. Las fracturas inducidas por el fuego se propagan por los cortes más profundos.
De Gruchy & Rogers [123]	Los objetos corto-contundentes generan una característica forma en V.
Pope & Smith [103]	El trauma cortante causa líneas uniformes de profundidad variable. Estas marcas de corte no se pueden replicar en hueso calcinado.
Poppa et al. [118]	Se mantiene la forma de corte lineal y los márgenes irregulares.
Kooi & Fairgrieve [119]	El trauma cortante tras la cremación se caracteriza por ser un corte linear en forma de V.
Koch & Lambert [94]	Los márgenes afilados se conservan y son visibles.
Macoveciuc et al. [121]	El trauma cortante mantiene la característica forma en V.

Tabla 4.4. Características del trauma cortante en hueso fresco y hueso seco. Tabla basada en las descripciones encontradas en Coelho & Cardoso [133], Moraitis et al. [134] y Ubelaker & Adams [135].

Hueso fresco	Hueso seco
Patrón radial y redondo de las diáfisis	Fracturas perpendiculares u horizontales
Color homogéneo	Color heterogéneo
Superficie suave	Superficie rugosa
Ángulos obtusos y agudos	Ángulos rectos

SUPERVIVENCIA POST-CREMACIÓN DEL TRAUMA CORTANTE

Todos los fragmentos óseos se examinaron de forma adicional por un observador independiente con amplia experiencia en restos cremados para evitar pasar por alto marcas de corte. Después, se realizó un estudio de supervivencia del trauma. El porcentaje de supervivencia se calculó utilizando la relación entre el número de lesiones inducidas antes de la exposición al fuego y las marcas de corte localizadas después. Se calculó la frecuencia respecto al tipo de instrumento utilizado –cuchillo de pan o machete–, respecto a la región anatómica afectada –pelvis, muslo, tobillo o muñeca– y respecto al total de lesiones inducidas (N = 55).

$$\frac{N \text{ de marcas de corte detectadas}}{N \text{ lesiones inducidas}} \times 100$$

ELABORACIÓN DEL GRÁFICO Y DE LA GUÍA VISUAL

El examen externo y la documentación de las características morfológicas de todos los cambios inducidos por el fuego permitió el diseño de una guía visual basada en las descripciones de Symes et al. [104], Gonçalves et al. [111] y Etxeberria [101]. Además de cambios inducidos por el calor, también se añadieron definiciones sencillas y visuales del trauma cortante pre-cremación y post-cremación. La información fue ampliada con la información obtenida de la literatura internacional mencionada en el Capítulo 1 y las propias observaciones de la autora durante el análisis antropológico de los 80 individuos. Todas las definiciones se complementaron con fotografías detalladas de cada tipo de fractura y trauma cortante. La guía visual traducida puede encontrarse en el Anexo 4.3.

Posteriormente, se seleccionaron rasgos identificables y características macroscópicas observables para crear un diagrama de flujo que complementase la guía visual (Figura 4.8.).

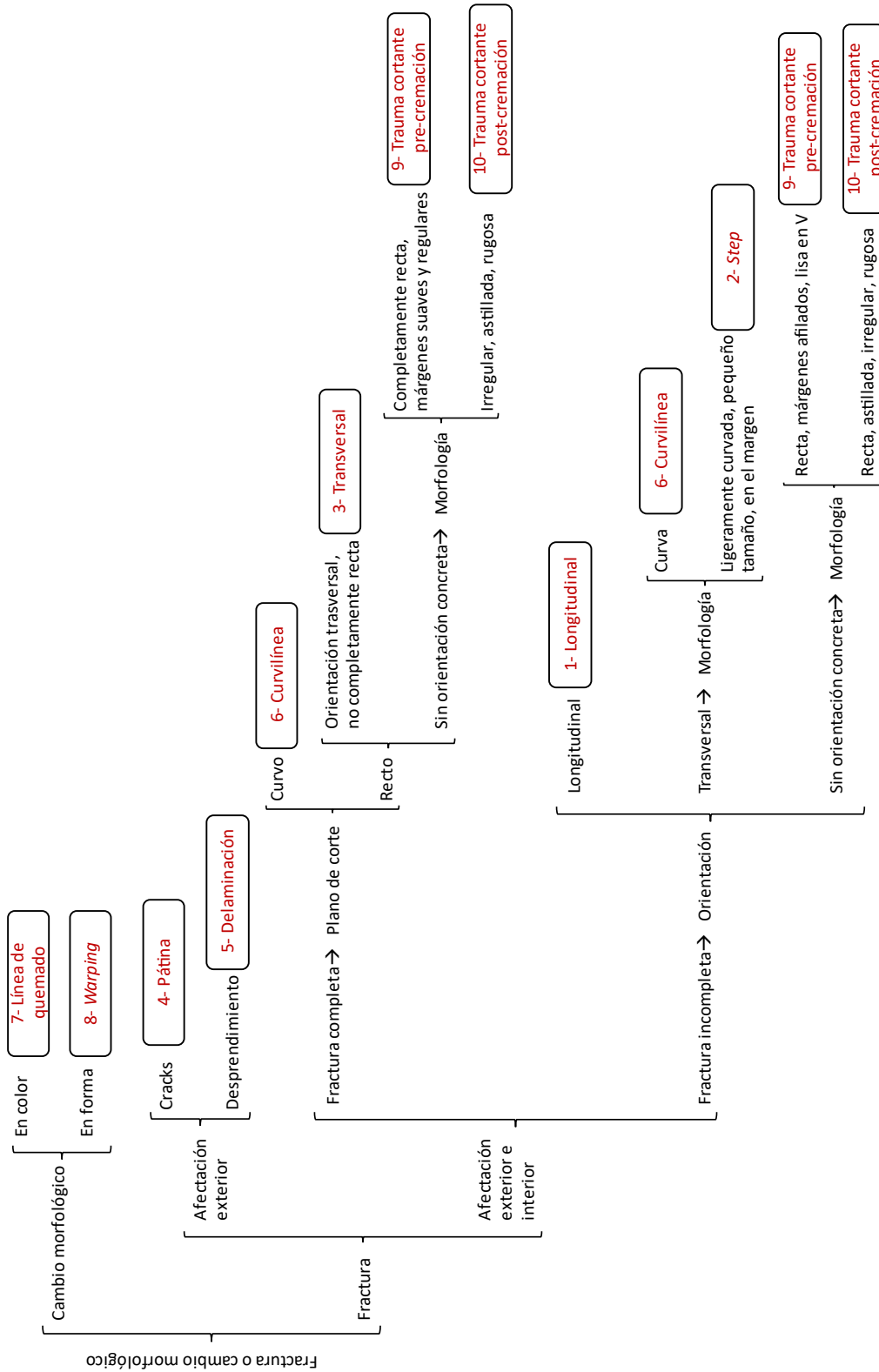


Figura 4.8. Diagrama de flujo para la diferenciación de fracturas inducidas por el fuego y trauma cortante. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [112].

4.2.5. PRUEBAS DE ERROR INTEROBSERVADOR

Todas las pruebas de error interobservador se realizaron con el software SPSS v 25.0 para Windows 10 (SPSS inc., Chicago, IL) utilizando el índice de correlación intraclass mixto (ICC) con un intervalo de confianza del 95 %. Para las dos primeras pruebas, se seleccionaron seis participantes según sus conocimientos en antropología forense:

- Grupo A: Dos profesionales con amplia experiencia previa en antropología forense (un médico y un arqueólogo forenses).
- Grupo B: Dos estudiantes con conocimientos de antropología, arqueología y anatomía (dos estudiantes de postgrado en antropología forense).
- Grupo C: Dos participantes sin conocimientos previos (dos informáticos).

Para la tercera prueba de error interobservador, se seleccionaron únicamente tres profesionales con amplia experiencia en antropología forense y análisis de restos óseos cremados: un médico forense y dos especialistas en antropología forense.

El valor del ICC se valoró según los criterios de Koo & Li [136]: entre 0.75 y 0.90 se considera un resultado bueno y un valor mayor de 0.90 indica una fiabilidad excelente. Los resultados de las pruebas se calificaron según el porcentaje de respuestas correctas utilizando la siguiente guía:

- < 70 % de respuestas correctas se consideró un resultado “pobre”.
- Entre 70-79 % de respuestas correctas se consideró un resultado “aceptable”.
- Entre 80-89 % se consideró un resultado “bueno”.
- ≥ 90 % se consideró un resultado “excelente”.

PRUEBA I: DIFERENCIACIÓN ENTRE FRACTURAS INDUCIDAS POR EL FUEGO

La primera prueba de error interobservador tuvo como finalidad evaluar si los participantes elegidos eran capaces de reconocer y diferenciar entre sí las seis fracturas inducidas por el fuego de Symes et al. [104]: longitudinal, transversal, curvilínea, *step*, pátina y delaminación. Para ello, se les envió en formato PDF la guía visual y el diagrama de flujo. El primer test consistió en analizar 15 imágenes con distintas fracturas elegidas al azar de las encontradas en los 80 individuos. Las fotografías eran de alta calidad y cada una ocupaba una página con la parte específica del hueso a identificar resaltada con la flecha o un círculo rojos. Las muestras utilizadas para la prueba de error interobservador I pueden encontrarse en el Anexo 4.4. Debe tenerse en cuenta que el tamaño de las fotografías se ha reducido para adaptarse al documento.

El objetivo fue examinar las dificultades que pueden encontrarse durante la identificación de fracturas inducidas por el choque térmico y si estas complicaciones pudieran influir en la capacidad de diferenciarlas del trauma cortante.

PRUEBA 2: DIFERENCIACIÓN ENTRE FRACTURAS INDUCIDAS POR EL FUEGO Y TRAUMA CORTANTE

La segunda prueba de error interobservador consistió en evaluar si esos mismos seis participantes eran capaces de diferenciar fracturas y cambios inducidos por el fuego –longitudinal, transversal, curvilínea, *step*, pátina y delaminación incluyendo *warping* y línea de quemado– del trauma cortante. Se analizaron otras 15 imágenes elegidas al azar, algunas presentes en la prueba 1 y otras nuevas, que pueden encontrarse en el Anexo 4.5.



Figura 4.9. Ejemplo de la prueba de error interobservador 2. Cada pregunta se encontraba en una hoja A4 en orientación horizontal.

El propósito de esta prueba fue evaluar la capacidad de los participantes de distinguir entre alteraciones provocadas por el fuego y traumatismo. Así como comprobar si este proceso de identificación es suficientemente comprensible para que observadores no familiarizados con el estudio de restos óseos cremados puedan obtener resultados satisfactorios y fiables con ayuda de la guía visual y el diagrama de flujo.

PRUEBA 3: IDENTIFICACIÓN DE TRAUMA CORTANTE

La tercera prueba de error interobservador consistió en evaluar si las marcas de corte localizadas durante el análisis antropológico de los tres individuos contemporáneos quemados en el horno crematorio eran realmente reconocibles y difíciles de pasar por alto durante una observación macroscópica. Los tres participantes familiarizados en el análisis antropológico de restos cremados realizaron la última prueba con 15 figuras seleccionadas al azar utilizando el mismo protocolo que en las dos primeras. El objetivo fue determinar si el hueso o fragmento representado contenía una marca de corte o no.

Para que la evaluación fuera lo más similar posible a una situación real, los participantes no contaron con tiempo máximo para la realización de las pruebas y estas se hicieron en días diferentes.

4.3. MATERIAL Y METODOLOGÍA APLICADA AL ESTUDIO DE MARCAS DE CORTE EN HUESOS QUEMADOS

4.3.1. MODELO ANIMAL

Cuatro huesos largos de cerdo –dos fémures y dos tibias– que pesaban 0.7 ± 0.1 kg se utilizaron como modelo animal. Estos huesos se donaron al Laboratorio de Antropología y Odontología Forense de la Universidad Complutense de Madrid por una carnicería local en octubre del 2020. Se eligió el cerdo debido a su similitud al modelo humano [137]. Bonney & Goodman [138] demostraron que eran un proxy válido en el análisis de marcas de corte en hueso. Su uso también se ha probado en otras ramas de la antropología forense, como la entomología [139], y numerosos estudios recientes han utilizado el cerdo como modelo en sus experimentos [90, 117, 120, 122, 123].

Se seleccionaron específicamente huesos largos para simular un intento de mutilación post-mortem en el cual el agresor secciona el hueso por la mitad con un cuchillo o una sierra [54, 76, 77], siguiendo el tipo de desmembramiento mediante sección transversal descrito por Rainwater [54].

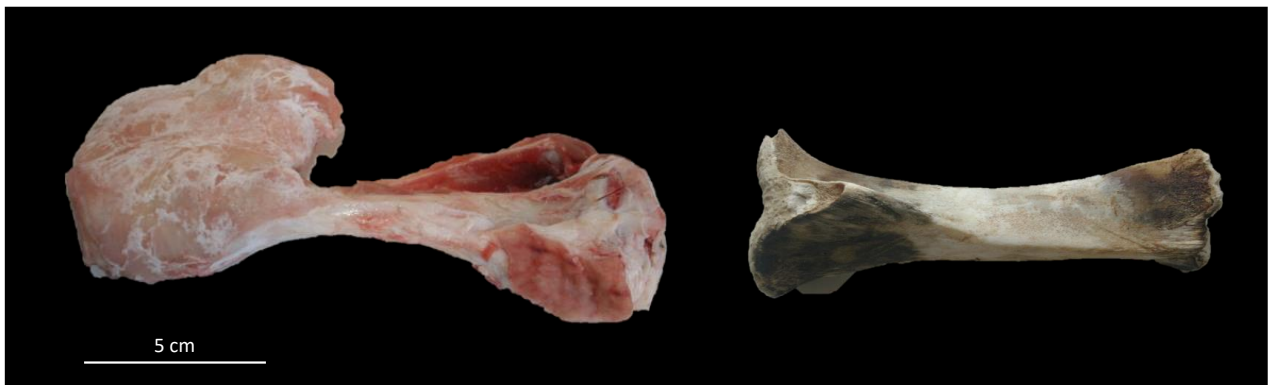


Figura 4.10. Tibia de cerdo antes (izquierda) y después (derecha) del proceso de esqueletización y descarnamiento de la muestra previo al traumatismo cortante.

4.3.2. TRAUMATISMO CORTANTE

Antes de inducir el trauma, cada muestra fue descarnada cuidadosamente, evitando dejar marcas de corte no controladas. Este primer paso se realizó para evitar la influencia protectora que tiene el tejido blando en el hueso, puesto que ha sido demostrado que afecta a la supervivencia de las marcas de corte [93–95]. El descarnamiento previo al trauma es también importante para asegurar uniformidad en la temperatura, ya que el tejido blando y la grasa actúan como combustible natural [140]. El trauma tuvo lugar inmediatamente después de la esqueletización de las muestras.

Para este experimento, se eligieron un cuchillo serrado de pan, un cuchillo serrado, un machete y una sierra (Figura 4.11.). El cuchillo de pan y el machete son los mismos instrumentos que se utilizaron para el estudio de trauma cortante en cadáveres cremados (sección 4.2.2.). Estos objetos se seleccionaron debido a que diferentes cuchillos y sierras se utilizan frecuentemente en casos forenses europeos tanto en conjunto como por separado [55, 57, 59, 61].

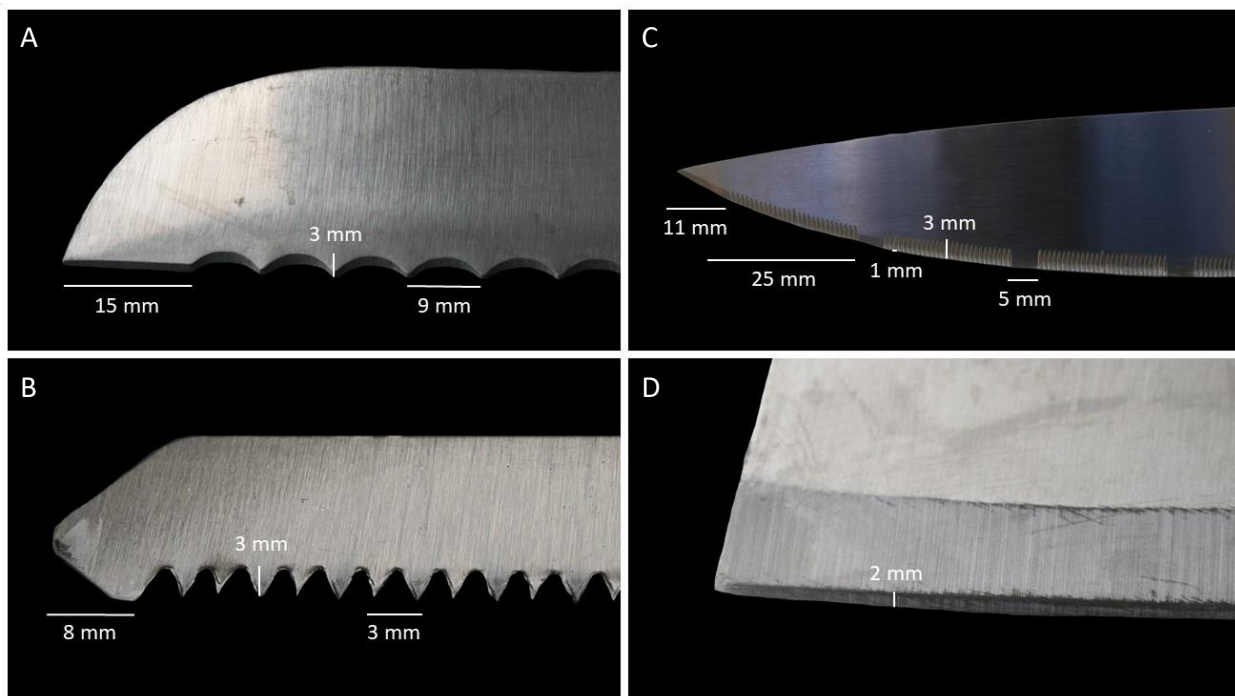
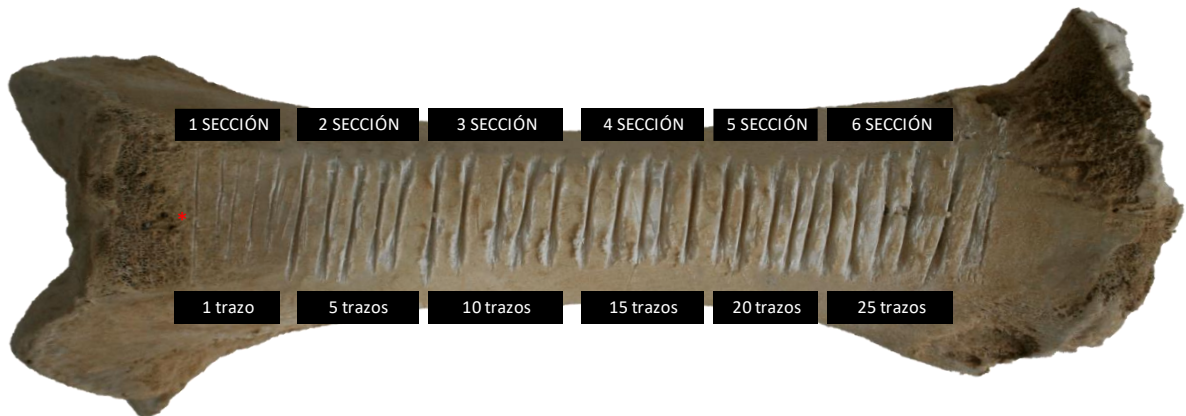


Figura 4.11. Instrumentos utilizados para el experimento de marcas de corte en huesos quemados. **A:** El cuchillo de pan (BK) tiene una hoja serrada con una distancia entre dientes de 9 mm; **B:** La sierra (S) tiene una hoja serrada con una distancia entre dientes de 3 mm; **C:** El cuchillo serrado (SK) tiene una hoja con dentado fino con una distancia entre dientes de 1 mm; **D:** El machete (M) no tiene el filo serrado, y su hoja mide 2 mm de ancho. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

El objetivo fue inducir una serie de marcas de corte de diferentes tamaños y profundidades. Cada herramienta se utilizó en un hueso distinto, el cuchillo de pan y la sierra en dos fémures, mientras que el cuchillo serrado y el machete en dos tibias. Se generaron 30 lesiones en cada hueso con cada instrumento, utilizando la “acción controlada [controlled action]” descrita por Norman et al. [82]. Esta acción consiste en generar un corte recto con un número definido de “trazos [strokes]”. Un trazo se considera un movimiento “hacia delante-hacia atrás [to-and-fro]”. Cada hueso se dividió en seis secciones para realizar marcas de corte de distinta profundidad y se generaron progresivamente con un incremento de 5 trazos: la primera sección con un trazo, la segunda con cinco, la tercera con diez y así sucesivamente. En cada sección se hicieron cinco repeticiones de los cortes (Figura 4.12.).

A cada marca de corte se le asignó un código de identificación con unas siglas que representan el tipo de hueso –fémur 1 o 2 (F) o tibia 1 o 2 (T)–, el tipo de instrumento utilizado –cuchillo de pan (BK), sierra (S), cuchillo serrado (SK) y machete (M)–; y dos números que representan la sección del hueso y el número del corte. Después se midió la longitud máxima de cada lesión con un calibre digital Preciva, con una precisión de 0.001 mm.



F1BK1.1 *
 F1: Fémur 1
 BK: Cuchillo de pan
 1: Primera sección
 .1: Primera marca de corte

Figura 4.12. Diseño del experimento. El hueso se dividió en seis secciones separadas por unos 5 mm aproximadamente. Cada sección incluye cinco repeticiones. Un trazo se define como un movimiento “hacia delante-hacia atrás”. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

4.3.3. RUGOSÍMETRO

El equipo utilizado para el análisis de la anchura máxima, la rugosidad y la morfología del corte fue un rugosímetro óptico de superficie (TRACEiT, Innowep GMBH). Este dispositivo es portátil y no necesita contacto directo con la muestra, por lo que es posible realizar el estudio de la morfología y dimensiones de los cortes antes y después de la incineración sin necesidad de dañar los huesos, asegurando un análisis no destructivo y repetible. El parámetro utilizado para medir las irregularidades en la superficie fue la profundidad de la rugosidad o rugosidad media (R_z), de acuerdo con los estándares DIN EN ISO 4287 [142]. R_z es la media aritmética de todas las medidas individuales, la distancia vertical entre el pico más alto y la zona más profunda [143].



Figura 4.13. Rugosímetro óptico de superficie (TRACEiT, Innowep GMBH). Este dispositivo se encuentra en el Laboratorio de Petrofísica del Instituto de Geociencias-IGEO (CSIC, UCM). Figura obtenida de la página web del laboratorio [Equipamiento, Laboratorio Petrofísica \(laboratoriopetrofisica.es\)](http://laboratoriopetrofisica.es).

Cada lesión se midió en dos o tres áreas, dependiendo de la longitud del corte, para analizar la máxima superficie circundante posible. La primera medida se tomó en la parte superior del corte, en la región distal. La segunda medida se tomó en el medio, en la región más profunda. La tercera medida se tomó en la parte inferior, en la región proximal. Cada medida generaba un mapa topográfico en 3D ($500 \times 500 \mu\text{m}$), ocho imágenes en blanco y negro, y un valor de rugosidad para el eje x y el eje y. El valor R_z cada marca de corte se obtuvo calculando la media aritmética de R_z de cada una de las dos o tres mediciones (Figura 4.14.).

El ancho de cada lesión se calculó utilizando el software propio de TRACEiT para Windows 7. Los mapas topográficos en 3D se procesaron con el programa Gwyddion v 2.43 para Windows 10, un programa modular para la visualización y análisis de imagen. Los mapas topográficos se escalaron y colorearon utilizando un código de color para cada muestra: *Blend2* (FIBK), *Cold* (F2S), *Gwyddion.net* (TISK), y *Sky* (T2M). Los datos obtenidos de los mapas topográficos se utilizaron para analizar la morfología del corte.

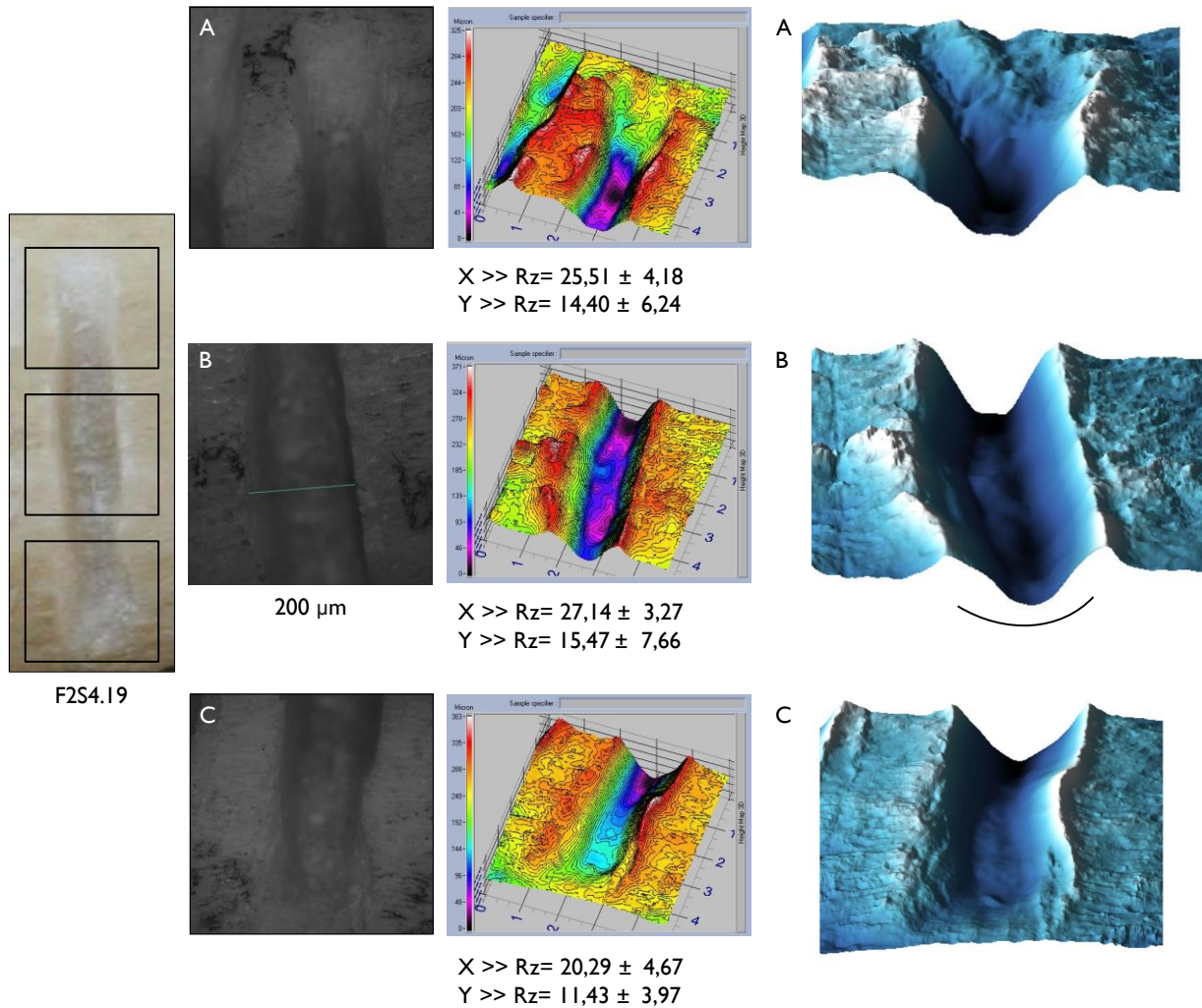


Figura 4.14. Proceso de obtención de datos de la marca de corte F2S4.19 con el rugosímetro. En primer lugar, se tomaron tres medidas: una en la parte superior (A), otra en la región medial (B) y otra en la región inferior (C). Con el software TRACEiT se midió la anchura máxima en B y se calculó la rugosidad de cada región. Con el software Gwyddion se analizó la morfología del corte.

4.3.4. PROCESO CREMATORIO

Para el proceso crematorio se utilizó un horno eléctrico de laboratorio (Carbolite CWF 1200) con una temperatura máxima de funcionamiento de 1100 °C y controles de duración ajustable. Las muestras se colocaron en el interior del horno a 39 °C y se calentaron hasta alcanzar los 850 °C. Siguiendo la metodología utilizada por Macoveciuc et al. [121] y Vegh & Rando [122] en sus respectivos estudios, se dejaron a 850 °C durante 30 minutos para lograr una calcinación completa. La exposición total al calor duró aproximadamente cinco horas. Sin embargo, únicamente durante 195 minutos se superaron los 200 °C, que es la mínima temperatura necesaria para que se produzcan cambios inducidos por el fuego según Thompson [106]. Una vez finalizado el procedimiento, los huesos se dejaron enfriar durante la noche. La longitud, la anchura, la rugosidad y la morfología del corte se analizaron de nuevo después de la cremación. En total, se tomaron más de 600 medidas.



Figura 4.15. Muestras durante el proceso crematorio. Los huesos se depositaron en el siguiente orden de delante hacia detrás: Tibia 2 (T2M), Tibia 1 (T1SK), Fémur 2 (F2S), Fémur 1 (F1BK). La primera imagen muestra el inicio del proceso a 39 °C. La combustión de la materia orgánica ocurrió ~30 minutos después y la calcinación después de ~1 hora. Se observaron fracturas inducidas por calor después de la carbonización, partiendo de las lesiones más cercanas a las epífisis. Tras 78 minutos, las muestras alcanzaron su coloración blanquecina definitiva. El proceso crematorio terminó después de 247 minutos y los huesos se dejaron enfriar durante la noche. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

4.3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Todos los datos obtenidos se registraron en una base de datos en Excel y se procesaron utilizando el programa SPSS v 25.0 para Windows 10 (SPSS Inc., Chicago, IL). Se realizaron estudios descriptivos para obtener las frecuencias, las medias, la desviación estándar y los rangos de longitud, anchura y rugosidad de cada lesión. Después, se efectuaron pruebas de normalidad de todas las variables del experimento mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, concluyendo que todas siguieron una desviación normal ($p > 0.05$).

Para analizar las diferencias entre la longitud, anchura y rugosidad antes y después del proceso crematorio, se realizó una prueba t de Student para muestras independientes. Este test es un tipo de estadística deductiva utilizado para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos. Para el presente estudio, se eligieron los grupos “pre-cremación” y “post-cremación” y se evaluó su grado de correlación.

Para evaluar la relación entre todos los parámetros medidos y los cuatro instrumentos utilizados se realizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA). ANOVA es utilizado para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de tres o más grupos. Se establecieron así cuatro grupos correspondientes a cada herramienta: “Cuchillo de pan”, “sierra”, “cuchillo serrado” y “machete”.

Las pruebas estadísticas se consideraron significativas si $p \leq 0,05$.

4.4. ANEXOS

4.4.1. ANEXO 4.1: VARIABLES UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO RETROSPECTIVO DE CASOS FORENSES

Características demográficas y psicológicas de víctima y agresor [51, 56, 58, 59, 70]	
Número de agresores	Número total de individuos que participaron directa o indirectamente en el crimen.
Número de víctimas	Número total de individuos asesinados y desmembrados.
Edad [51, 58, 59, 70]	Menor (≤ 19), adulto joven (20- 29), adulto, (20-59), adulto maduro (60+).
Sexo [51, 58, 59, 70]	Si el agresor o víctima aparece como individuo masculino o femenino en su documento de identidad.
Nacionalidad [51, 58, 59, 70]	La nacionalidad que aparece en el documento de identidad.
Comportamiento violento del agresor [56]	Si el agresor tenía antecedentes penales, exhibe comportamientos agresivos o ha cometido delitos violentos, como abusos domésticos, que se conocen en el momento del juicio.
Conocimiento de anatomía del agresor [56]	Si el agresor tenía conocimientos de anatomía derivados de su profesión (p. ej. carnicero) o de su educación (p. ej. médico).
Circunstancias de la muerte [43, 44, 59, 144]	
Área geográfica [44]	La zona donde ocurrió el delito: región rural o urbana.
Causa de la muerte [59]	La causa fundamental de la muerte de la víctima: muerte debida a shock hipovolémico (SHV); debida a shock hipovolémico derivado de degüello [43]; debida a traumatismo craneoencefálico (TCE); o debida a asfixia mecánica.
Arma o mecanismo utilizado [59, 144]	El tipo de mecanismo utilizado para dar muerte a la víctima: cuchillo o instrumento cortante; una sierra, un objeto contundente; un arma corto-contundente; o ningún instrumento, el trauma fue realizado de forma manual (p. ej. puñetazos).
Desmembramiento [44, 58, 59, 70]	
Número de instrumentos utilizados durante el desmembramiento	Si se emplearon uno o varios tipos de herramientas durante el desmembramiento de la víctima.
Tipo de instrumentos utilizadas durante el desmembramiento	El tipo de instrumento utilizado para desmembrar a la víctima: cuchillos o instrumentos cortantes, sierras, objetos corto-contundentes (p. ej. machete o hachuela) o cualquier combinación de ellos.
Decapitación	Acción del agresor de cercenar la cabeza al cadáver.
Desmembramiento de las extremidades	Acción del agresor de extirpar, desmembrar o descuartizar las extremidades superiores y/o inferiores del cadáver.
Mutilación del torso	Si el agresor cortó o desfiguró el torso de la víctima.
Desmembramiento de manos	Si el agresor cortó las manos de la víctima de manera específica, no junto a los brazos.
Mutilación del tejido blando	Si el agresor desfiguró, extirpó o destrozó regiones blandas del cuerpo de la víctima que no fuesen las extremidades.
Mutilación de la cara	Si el agresor desfiguró la cara de la víctima.
Mutilación de los pechos	Si el agresor extirpó los pechos de la víctima.
Mutilación de los genitales	Si el agresor desfiguró los genitales de la víctima.
Evisceración	Si los órganos fueron extraídos y las entrañas expuestas o no. Mencionado en la sentencia judicial como una acción que ocurrió de forma adicional al desmembramiento del cuerpo.
Desangramiento	Si el cadáver fue intencionalmente desangrado. Mencionado en la sentencia judicial como una acción que ocurrió de forma adicional al desmembramiento del cuerpo.

Alteración post-desmembramiento [70]	
Agente tafonómico utilizado	Agente tafonómico utilizado para alterar las partes del cuerpo después del desmembramiento: fuego, productos químicos o ningún producto, la alteración fue realizada de forma manual (p. ej. descarnamiento).
Regiones anatómicas alteradas	Regiones de identificación (p. ej. manos, dedos, cara) u otras regiones anatómicas.
Producto utilizado	Materiales y productos utilizados: alcohol, gasolina, cal viva, desatascador, o de forma manual mediante cuchillos.
Organización del crimen [51]	
Premeditación	Si el agresor planeó y organizó detenidamente la forma de cometer el crimen y fue mencionado como tal en la sentencia judicial.
Adquisición de materiales antes o después del crimen	Si el agresor compró o adquirió materiales necesarios para el desmembramiento antes o después de cometer el homicidio.
Limpieza	Si el agresor limpió la escena del crimen de forma metódica.
Destrucción y dispersión de material	Si el agresor destruyó o dispersó el material utilizado durante el desmembramiento o los objetos personales de la víctima.
Recolección del cuerpo	Si el agresor recolectó las partes del cadáver desmembradas en bolsas, mochilas o derivados, o no fue manipulado.
Dispersión del cuerpo	Si el agresor dejó el cadáver en la escena del crimen o lo dispersó en: un banco de agua, una zona boscosa, en contenedores de basura o por diversos lugares.
Investigación forense [55, 57, 68]	
Partes del cadáver encontradas	Si el cadáver fue encontrado completo; si fue encontrado sin alguna región anatómica como la cabeza o alguna extremidad (> 50 %); si fue encontrado sin dos o más regiones anatómicas (< 50 %); si no fue encontrado, pero se recuperaron trazas biológicas (p. ej. sangre o ADN); o si ni trazas biológicas ni regiones anatómicas fueron encontradas.
Estado de descomposición [57, 68]	Si el cadáver o las partes del cuerpo se encontraron en estado de descomposición temprana o avanzada; si el estado de descomposición no pudo ser evaluado debido a la destrucción del tejido blando; o si el cadáver no fue encontrado.
Identificación forense	Metodología utilizada para la identificación inicial de la víctima, como se menciona en la sentencia judicial. No se incluyeron los procedimientos empleados para confirmar la identificación personal: visual, mediante comparación de huellas dactilares, mediante ADN o mediante el testimonio del agresor.
Agresor juzgado por profanación del cadáver	Si el agresor fue juzgado por profanación de cadáveres durante el juicio. La profanación de cadáveres se define como “un delito que consiste en la realización de actos que con ánimo de ultraje respecto de la memoria de los muertos sean irrespetuosos respecto de un cadáver o sus cenizas” (Código penal art. 526).
Tipo de desmembramiento realizado [55]	Defensivo: el objetivo del agresor es deshacerse del cadáver para impedir la identificación de la víctima y encubrir el delito; agresivo: el objetivo del agresor es deshonorar la memoria de la víctima; mixto: se encuentran variables propias de los dos subtipos.

4.4.2. ANEXO 4.2: HOJA DE TRABAJO UTILIZADA PARA DOCUMENTAR EL ESTUDIO DE TRAUMA CORTANTE EN CADÁVERES CREMADOS

Código del individuo:

- Edad:
- Sexo:
- Causa de la muerte:

Posición anatómica:

Trauma y patologías:

- Patologías:
- Autopsia:
- Trauma ante-mortem:
- Trauma pre-cremación:
 - Cortes con el cuchillo de pan:
 - Cortes con el machete:

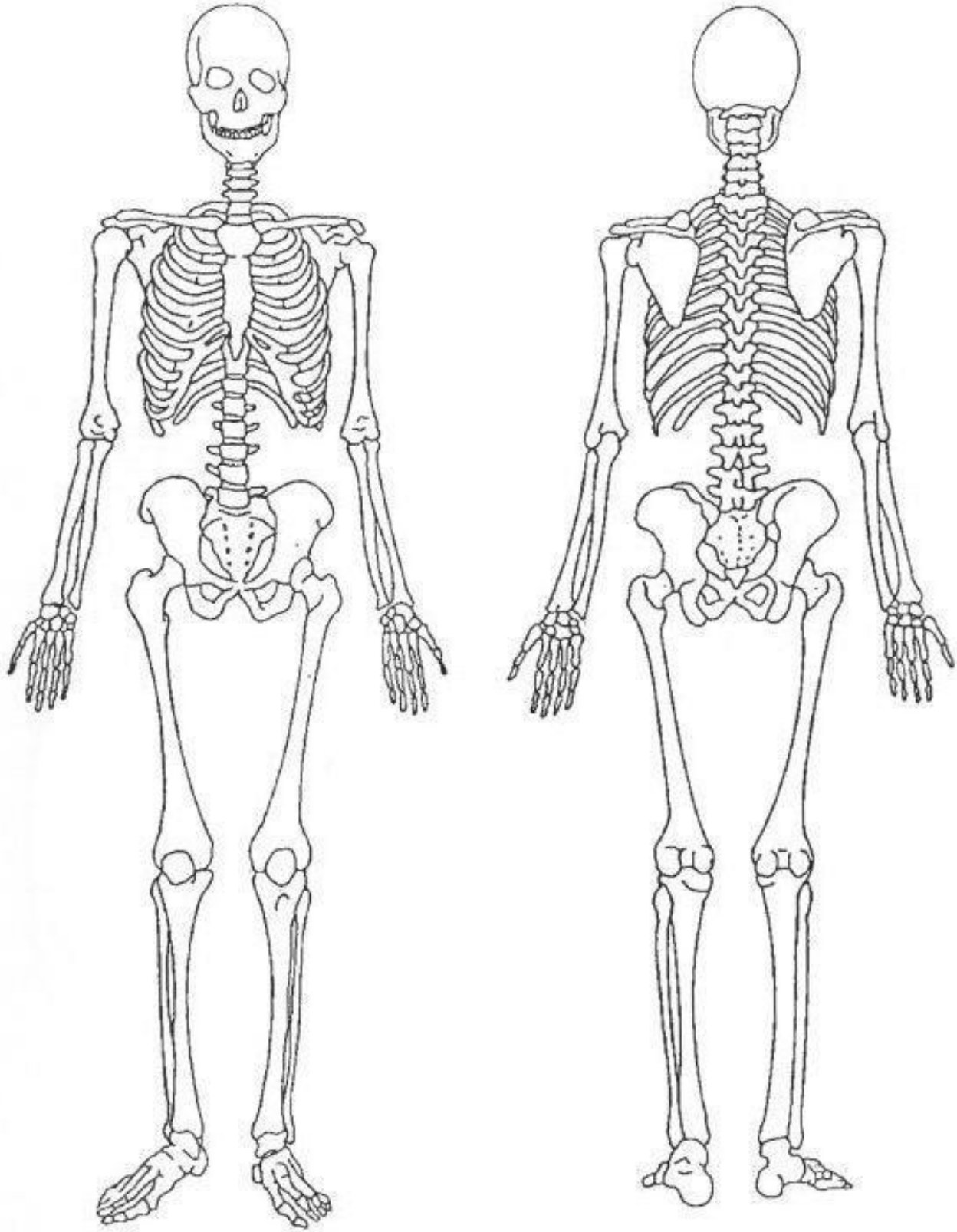
Condición general:

- Estado de descomposición:
- Con/sin ropa:






Cremación:

- Temperaturas (mínima y máxima):
- Tiempo:

Observaciones:

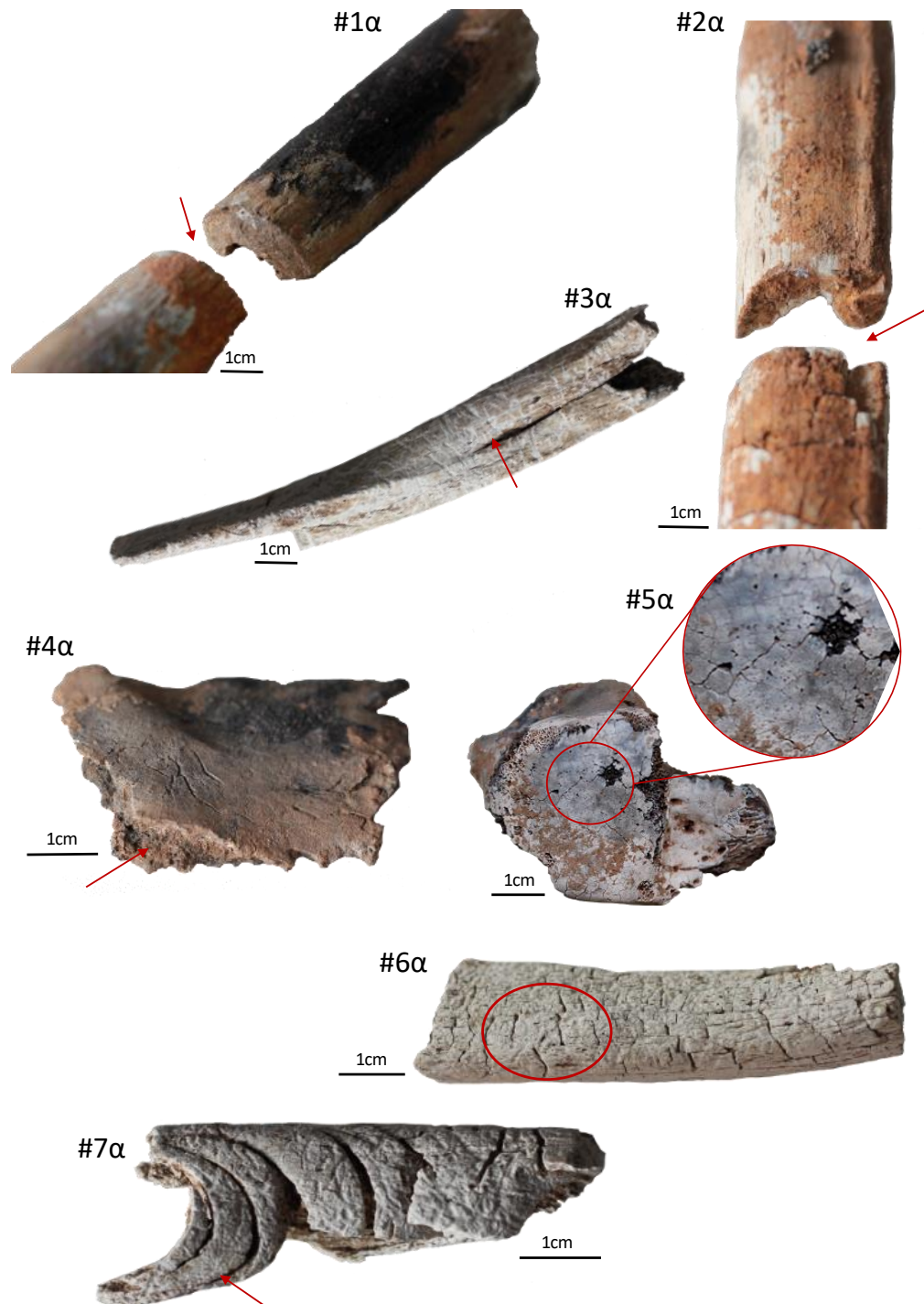


4.4.3. ANEXO 4.3: GUÍA VISUAL OBTENIDA DE LA TABLA 4 DE MATA TUTOR ET AL. [112]

FRACTURAS Y CAMBIOS INDUCIDOS POR EL FUEGO	
Tipo y descripción	Ejemplos
<p>1. Longitudinal [104]: Fractura que sigue el eje mayor del hueso o es paralela al mismo. Ocurre cuando se calienta la diáfisis hasta el punto de desnaturalizar las proteínas de la matriz, provocando su encogimiento y facilitando los fallos estructurales del hueso. Foto: Diáfisis de húmero.</p>	
<p>2. En escalón o step [104]: Fractura transversa incompleta, que no llega a dividir el hueso en dos. Son líneas de ruptura transversales irregulares un poco curvadas a través de la diáfisis que terminan en una fractura longitudinal y, frecuentemente, empiezan también en otra. Foto: Diáfisis de fémur (I) y radio (D).</p>	
<p>3. Transversa [104]: Fracturas perpendiculares al eje longitudinal del hueso que seccionan el conducto de Havers. Son comunes cuando el cuerpo realiza la postura pugilística, ya que una zona de la diáfisis está más expuesta al fuego que la otra y la diferencia puede producir un fallo estructural. Foto: Diáfisis de fémur (I), húmero (D) y fémur (abajo).</p>	
<p>4. Pátina [104]: Fractura superficial que parece finas grietas sobre el hueso, difícil de apreciar, pero suele aparecer en áreas planas que reciben gran cantidad de calor. Correlacionado con la contracción de la cortical. Frecuente en zonas de hueso esponjoso. Foto: Cabeza de fémur (I) y diáfisis de cúbito (D).</p>	
<p>5. Delaminación y astillado [104]: Separado de las capas de cortical en hueso compacto, separado de las caras interior y exterior del cráneo o la exposición del hueso esponjoso en las epífisis. Presente en todas las regiones anatómicas, pero especialmente en cráneo y hueso esponjoso. Foto: Fragmento de cráneo (I) y esternón (D).</p>	

<p>6. Curva transversa, curvilínea o en uña [104]: Las fracturas curvilíneas más comunes son en forma de semilunas concéntricas que suelen aparecer en zonas donde hay presencia de músculos que se encogen durante la cremación. La línea de fractura se rompe y da lugar a una diáfisis con margen redondeado. Más frecuentes en hueso fresco. Foto: Diáfisis de radio (I) y acetábulo (D).</p>	
<p>7. Línea de quemado [104]: Symes et al. [104] describe esta fractura como una línea que divide el hueso quemado en contacto directo con el fuego, la fuente de calor o el combustible, de otra zona no quemada. Foto: Húmero (I) y fémur (D).</p>	
<p>8. Deformación plástica o warping [108, 111]: Modificación severa e irregular del hueso que produce una pérdida de su forma habitual adoptando una apariencia de plástico quemado. Más frecuente pero no limitado a situaciones donde el cadáver se quemó fresco o con restos de tejido. Foto: Radio.</p>	
<p>TRAUMA CORTANTE</p>	
<p>Tipo y descripción</p>	<p>Ejemplos</p>
<p>9. Pre-cremación [93, 94, 103, 116, 118–121, 123, 124, 145]: Se diferencia del <i>step</i> en que la fractura inducida es recta, con márgenes afilados, no termina en una longitudinal y puede haber más de una con distintas direcciones debido al punto de inicio de la lesión [false start]. Es lineal, uniforme y con morfología U o V. El plano de corte es recto y sigue el patrón de color del exterior del hueso. Foto: Tarso, el astrágalo.</p>	
<p>10. Post-cremación [133–135]: El trauma cortante producido después de la cremación tiene las mismas características del post-mortem; plano de corte muy irregular, cortical astillada y, frecuentemente, variación en el color del interior de la diáfisis con respecto al exterior. Foto: Diáfisis de radio (I) y diáfisis de húmero (D).</p>	

4.4.4. ANEXO 4.4: PRUEBA DE ERROR INTEROBSERVADOR I. FIGURAS 3 Y 4 OBTENIDAS DE MATA TUTOR ET AL. [112]

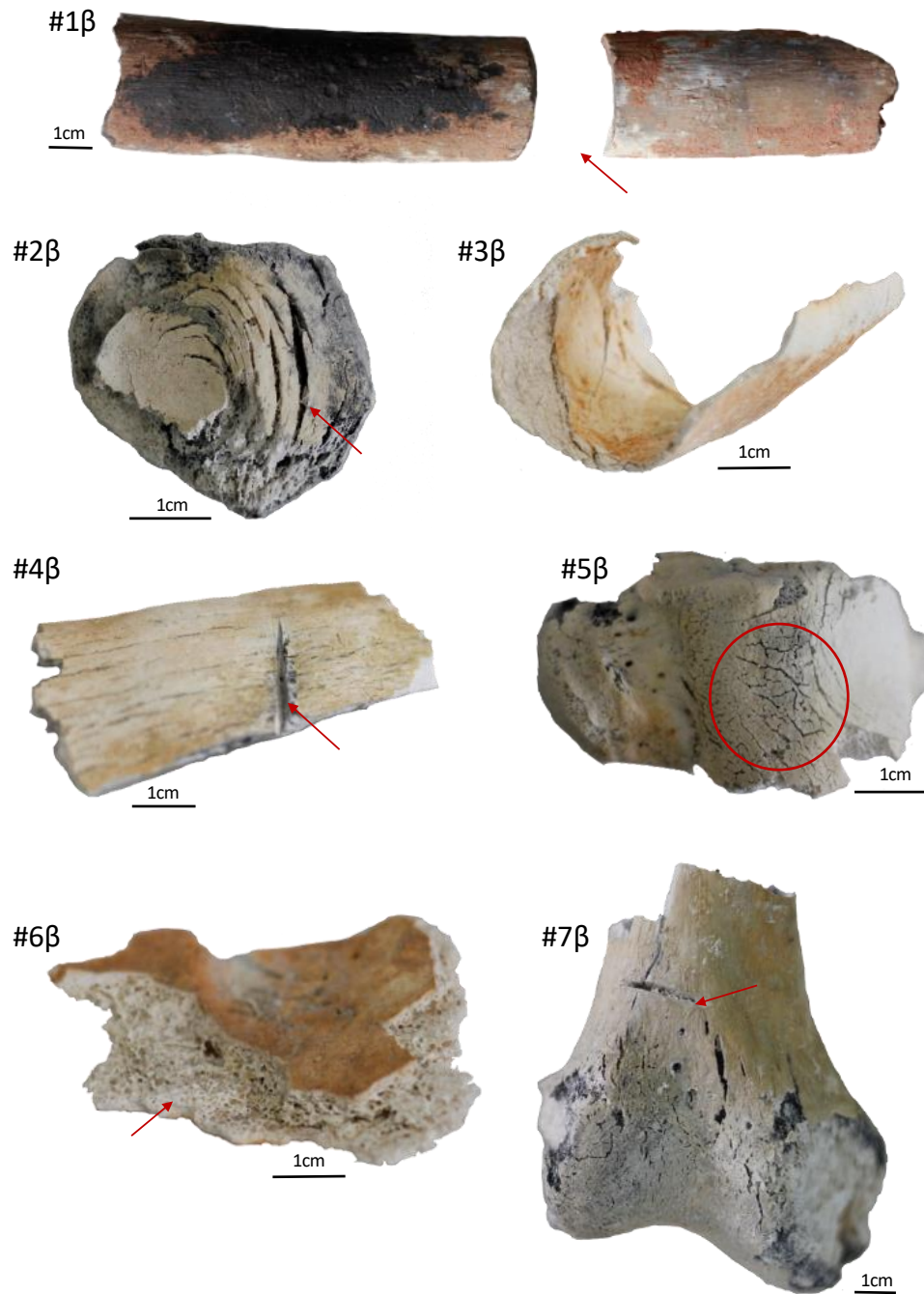


Imágenes de la prueba I (1α -7α). **1α**: Transversa; **2α**: Transversa; **3α**: Longitudinal; **4α**: Delaminación; **5α**: Pátina; **6α**: Pátina; **7α**: Curvilínea.



Imágenes de la prueba I (8α -15α). **8α**: Curvilínea; **9α** (rojo): Step; **10α** (blanco): Longitudinal; **11α** (rojo): Step; **12α** (blanco): Longitudinal; **13α**: Curvilínea; **14α**: Transversa; **15α**: Curvilínea.

**4.4.1. ANEXO 4.5: PRUEBA DE ERROR INTEROBSERVADOR 2. FIGURAS 5 Y 6
OBTENIDAS DE MATA TUTOR ET AL. [112]**



Imágenes de la prueba 2 (1β -7β). **1β**: Transversa; **2β**: Curvilínea; **3β**: *Warping*; **4β**: Trauma pre-cremación; **5β**: Pátina; **6β**: Delaminación; **7β**: Trauma pre-cremación.

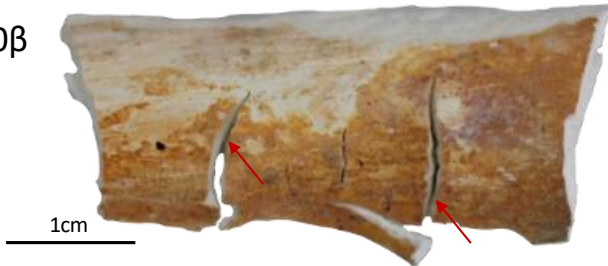
#8β



#9β



#10β



#11β



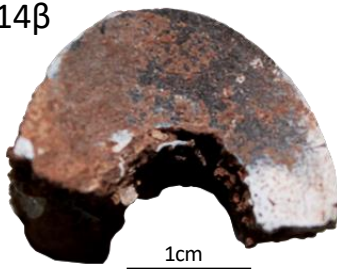
#12β



#13β



#14β



#15β



Imágenes de la prueba 2 (8β -15β). 8β: Longitudinal; 9β: Pátina; 10β: Step; 11β: Trauma post-cremación; 12β: Curvilínea; 13β: Step; 14β: Transversa; 15β: Pátina.

Capítulo 5. ESTUDIO RETROSPECTIVO DE CASOS DE DESMEMBRAMIENTO

*You see, but you do not observe. The distinction is
clear.*

Sherlock Holmes (A Scandal in Bohemia)

5.1. RESULTADOS

5.1.1. FRECUENCIA DE CASOS DE DESMEMBRAMIENTO

El primer caso de desmembramiento registrado en el Centro de Documentación Judicial en el momento del análisis fue en el año 1993 y el último en 2016 (Figura 5.1.). Los desmembramientos (N = 35) tienen una incidencia del 0.29 % respecto a los casos totales de homicidio intencional ocurridos del 1990 al 2016 (N = 12013). Estos casos se encuentran distribuidos de forma bastante equitativa por todo el país, aunque la mayoría ocurrieron en Andalucía y Cataluña: seis y nueve casos respectivamente.

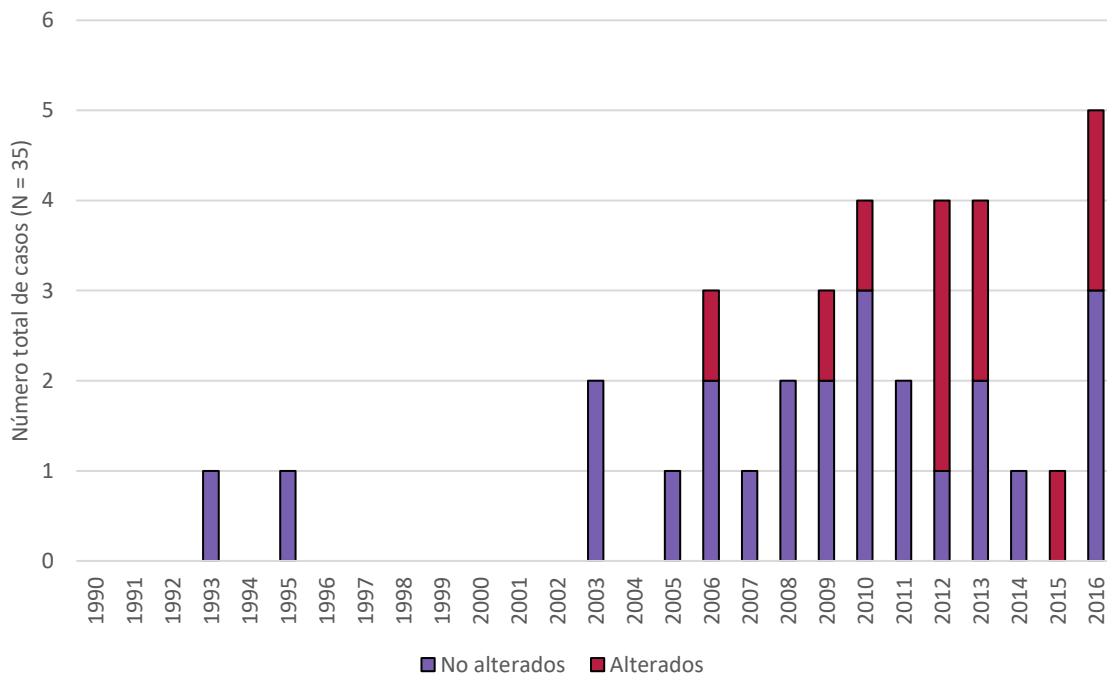


Figura 5.1. Distribución de desmembramientos por año. El número de desmembramientos en los cuales el cadáver fue posteriormente alterado (color rojo) ha ido aumentando progresivamente desde el año 2006.

5.1.2. ALTERACIÓN POST-DESMEMBRAMIENTO

De un total de 40 cadáveres, 11 fueron alterados después del desmembramiento. La figura 5.2. representa los mecanismos utilizados por el agresor para tratar de destruir las partes desmembradas del cuerpo de la víctima. Se puede observar que el fuego es el agente tafonómico utilizado más frecuentemente (15.00 %), seguido por productos químicos en tres ocasiones y por alteración manual en dos. La manipulación de regiones de identificación ocurrió con la misma asiduidad que la destrucción de otras zonas anatómicas del cuerpo.

La información sobre estos 11 casos se encuentra en el Anexo 5.1.

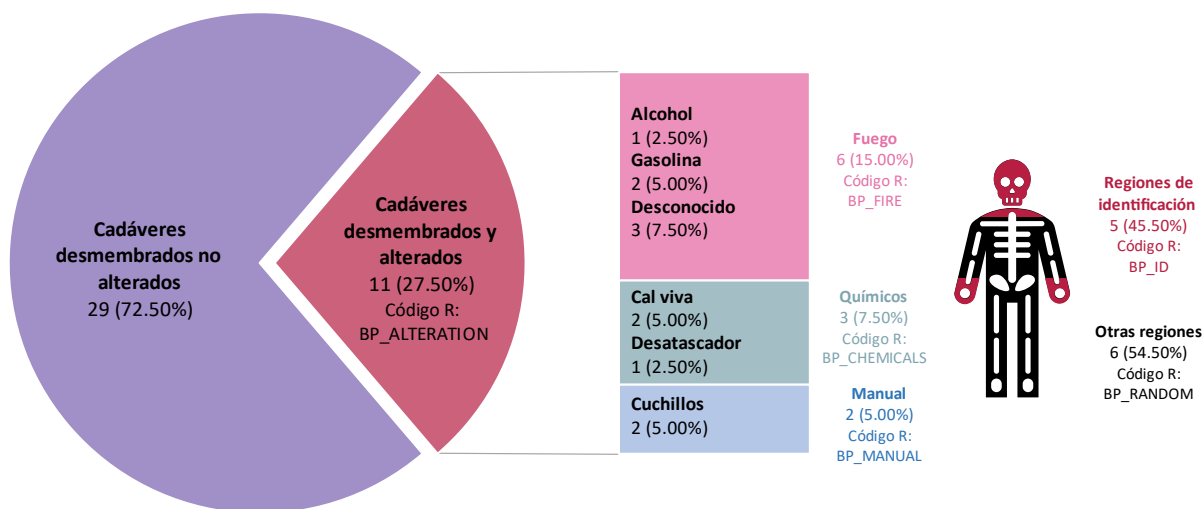


Figura 5.2. Mecanismos utilizados para la alteración adicional del cadáver después del desmembramiento: fuego (15.00 %), productos químicos (7.50 %) y alteración manual (5.00 %). El código R representa el código individual utilizado para cada variable en el análisis multidimensional no métrico.

5.1.3. CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y PSICOLÓGICAS DE VÍCTIMA Y AGRESOR

El número total de víctimas fue 40 y de agresores convictos 41, puesto que hubo tres casos con múltiples víctimas y cinco casos con múltiples agresores. La mayoría de las víctimas fueron mujeres (60.00 %) adultas (67.50 %) de nacionalidad extranjera (55.00 %), mientras que los agresores eran hombres (87.80 %) adultos (68.29 %) españoles (65.85 %).

Tabla 5.1. Datos de la víctima. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Variables	Código R	Grupo 1: Casos totales					Grupo 2: Casos alteración post-desmembramiento				
		N	T	%	T válido	% válido	N	T	%	T válido	% válido
Casos con una víctima	-	32	35	91.43	35	91.43	11	11	100.00	11	100.00
Casos con múltiples víctimas	-	3	35	8.57	35	8.57	0	11	0.00	11	0.00
Perfil biológico											
Menor (≤ 19)	-	2	40	5.00	38	5.26	0	11	0.00	10	0.00
Adulto joven (20-29)	-	5	40	12.50	38	13.16	2	11	18.18	10	20.00
Adulto (30-59)	-	27	40	67.50	38	71.05	7	11	63.64	10	70.00
Adulto maduro (60+)	-	4	40	10.00	38	10.53	1	11	9.09	10	10.00
♀	-	24	40	60.00	40	60.00	8	11	72.73	11	72.73
♂	-	16	40	40.00	40	40.00	3	11	27.27	11	27.27
Víctima española	-	18	40	45.00	37	48.65	6	11	54.55	9	66.67

N: Número de casos; T: Total de casos; T válido: Total de casos disponibles.

Tabla 5.2. Datos del agresor. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Variables	Código R	Grupo 1: Casos totales					Grupo 2: Casos alteración post-desmembramiento				
		N	T	%	T válido	% válido	N	T	%	T válido	% válido
Casos con un agresor	-	30	35	85.71	35	85.71	10	11	90.91	11	90.91
Casos con múltiples agresores	-	5	35	14.29	35	14.29	1	11	9.09	11	9.09
Perfil biológico											
Menor (≤ 19)	-	2	41	4.88	39	5.13	1	11	9.09	11	9.09
Adulto joven (20-29)	-	7	41	17.07	39	17.95	1	11	9.09	11	9.09
Adulto (30-59)	-	28	41	68.29	39	71.79	8	11	72.73	11	72.73
Adulto maduro (60+)	-	2	41	4.88	39	5.13	1	11	9.09	11	9.09
♀	-	5	41	12.20	41	12.20	2	11	18.18	11	18.18
♂	-	36	41	87.80	41	87.80	10	11	90.91	11	90.91
Agresor español	-	27	41	65.85	39	69.23	8	11	72.73	11	72.73
Comportamiento violento	VIOLENT	20	41	48.78	41	48.78	5	11	45.45	11	45.45
Conocimientos de anatomía	ANATOMY	16	41	39.02	29	55.17	6	11	54.55	10	60.00

N: Número de casos; T: Total de casos; T válido: Total de casos disponibles.

5.1.4. CIRCUNSTANCIAS DE LA MUERTE

La muerte por shock hipovolémico causada por puñaladas tanto en diferentes regiones del cuerpo (27.50 %) como en el cuello (22.50 %) fue la causa de muerte mayoritaria en los 35 casos estudiados. En el grupo 2, la causa más frecuente fue el traumatismo craneoencefálico (45.45 %) y todas las muertes por shock hipovolémico fueron por degüello (27.27 %).

Tabla 5.3. Causa y manera de la muerte. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Variables	Código R	Grupo 1: Casos totales					Grupo 2: Casos alteración post-desmembramiento				
		N	T	%	T válido	% válido	N	T	%	T válido	% válido
Región geográfica											
Área urbana	URBAN	20	35	57.14	35	57.14	5	11	45.45	11	45.45
Área rural	RURAL	15	35	42.86	35	42.86	6	11	54.55	11	54.55
Causa de la muerte											
Shock hipovolémico	HVS	11	40	27.50	39	28.21	0	11	0.00	10	0.00
Shock hipovolémico derivado de degüello	CUT_THROAT	9	40	22.50	39	23.08	3	11	27.27	10	30.00
Traumatismo craneoencefálico	HT	13	40	32.50	39	33.33	5	11	45.45	10	50.00
Asfixia	SUFFOCATION	5	40	12.50	39	12.82	2	11	18.18	10	20.00
Otras causas	-	1	40	2.50	39	2.56	0	11	0.00	10	0.00
Arma o mecanismo											
Cuchillo	SHARP	19	40	47.50	39	48.72	3	11	27.27	10	30.00
Arma corto-contundente	-	1	40	2.50	39	2.56	0	11	0.00	10	0.00
Sierra	-	1	40	2.50	39	2.56	0	11	0.00	10	0.00
Objeto contundente	BLUNT	5	40	12.50	39	12.82	2	11	18.18	10	20.00
Manual	MANUAL	5	40	12.50	39	12.82	3	11	27.27	10	30.00
Otros mecanismos	-	8	40	20.00	39	20.51	2	11	18.18	10	20.00

N: Número de casos; T: Total de casos; T válido: Total de casos disponibles

5.1.5. DESMEMBRAMIENTO

Para desmembrar el cadáver se utilizó en la mayoría de los casos un instrumento (57.50 %): cuchillos (32.50 %) o sierras (17.50 %). Si se empleaban varias herramientas, la combinación de ambos (15.00 %) fue la más frecuente. La decapitación y el desmembramiento de extremidades fueron los actos más registrados, mientras que la mutilación de la cara y pechos y el desangrado intencional del cadáver fueron poco habituales.

Tabla 5.4. Variables relacionadas con el desmembramiento. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Variables	Código R	Grupo 1: Casos totales					Grupo 2: Casos alteración post-desmembramiento				
		N	T	%	T válido	% válido	N	T	%	T válido	% válido
Instrumento											
Cuchillo	D_KNIFE	25	40	62.50	38	65.79	6	11	54.55	9	66.67
Objeto corto-contundente	D_CHOP	11	40	27.50	38	28.95	3	11	27.27	9	33.33
Sierra	D_SAW	19	40	47.50	38	50.00	6	11	54.55	9	66.67
Un instrumento	ONE_TOOL	23	40	57.50	38	60.53	4	11	36.36	9	44.44
Cuchillo solo	-	13	40	32.50	38	34.21	2	11	18.18	9	22.22
Corto-contundente solo	-	3	40	7.50	38	7.89	0	11	0.00	9	0.00
Sierra solo	-	7	40	17.50	38	18.42	2	11	18.18	9	22.22
Múltiples instrumentos	TOOL_COMB	15	40	37.50	38	39.47	5	11	45.45	9	55.56
Cuchillo + Corto-contundente	-	3	40	7.50	38	7.89	1	11	9.09	9	11.11
Cuchillo + Sierra	-	6	40	15.00	38	15.79	2	11	18.18	9	22.22
Corto-contundente + Sierra	-	2	40	5.00	38	5.26	1	11	9.09	9	11.11
Todos	-	4	40	10.00	38	10.53	1	11	9.09	9	11.11
Desmembramiento											
Decapitación	BEHEADING	29	40	72.50	38	76.32	8	11	72.73	9	88.89
Desmembramiento extremidades	LIMBS_CUT	34	40	85.00	38	89.47	10	11	90.91	10	100.00
Mutilación torso	TORSO_CUT	11	40	27.50	37	29.73	3	11	27.27	10	30.00
Desmembramiento manos	HANDS_CUT	13	40	32.50	32	40.63	5	11	45.45	8	62.50
Mutilación tejido blando	SOFT_TISSUE_MUT	11	40	27.50	36	30.56	7	11	63.64	10	70.00
Mutilación cara	FACE_MUT	2	40	5.00	34	5.88	1	11	9.09	9	11.11
Mutilación pechos	BREAST_MUT	2	40	5.00	35	5.71	1	11	9.09	9	11.11
Mutilación genital	GENITAL_MUT	5	40	12.50	35	14.29	3	11	27.27	9	33.33
Evisceración	EVISGERATION	6	40	15.00	33	18.18	3	11	27.27	9	33.33
Desangrado	BLEED_CADAVER	3	40	7.50	34	8.82	2	11	18.18	9	22.22

N: Número de casos; T: Total de casos; T válido: Total de casos disponibles

5.1.6. ORGANIZACIÓN DEL CRIMEN

Los casos en los que se adquirió material para el desmembramiento después de dar muerte a la víctima (63.64 %) y que también se dispersaron las partes del cuerpo en múltiples lugares (45.45 %) son más frecuentes en el grupo 2. Tanto la limpieza de la escena del crimen como la dispersión de los materiales y productos utilizados fueron actos que ocurrieron en más de la mitad de los casos totales (60.00 %).

Tabla 5.5. Organización del crimen. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Variables	Código R	Grupo 1: Casos totales					Grupo 2: Casos alteración post-desmembramiento				
		N	T	%	T válido	% válido	N	T	%	T válido	% válido
Premeditación	PREMEDITATION	8	35	22.86	35	22.86	2	11	18.18	11	18.18
Adquisición de material											
Antes del homicidio	MATERIAL_BEFORE	5	35	14.29	33	15.15	1	11	9.09	10	10.00
Después del homicidio	MATERIAL_AFTER	13	35	37.14	31	41.94	7	11	63.64	9	77.78
Limpieza	CLEANING	21	35	60.00	30	70.00	6	11	54.55	10	60.00
Dispersión de materiales	PB_DISPERSION	21	35	60.00	30	70.00	5	11	45.45	9	55.56
Recolección de partes del cuerpo	BP_COLLECTION	31	35	88.57	34	91.18	9	11	81.82	11	81.82
Sin dispersión	BP_INDOORS	9	35	25.71	35	25.71	2	11	18.18	11	18.18
Dispersión del cuerpo	BP_DISPERSAL	26	35	74.29	35	74.29	9	11	81.82	11	81.82
Banco de agua	BP_WATER_BANK	6	35	17.14	35	17.14	0	11	0.00	11	0.00
Zona boscosa	BP_FOREST	3	35	8.57	35	8.57	1	11	9.09	11	9.09
Contenedor	BP_CONTAINER	7	35	20.00	35	20.00	2	11	18.18	11	18.18
Múltiples lugares	BP_MULTIPLE_PLACES	8	35	22.86	35	22.86	5	11	45.45	11	45.45
Otros	-	2	35	5.71	35	5.71	1	11	9.09	11	9.09

N: Número de casos; T: Total de casos; T válido: Total de casos disponibles

5.1.7. INVESTIGACIÓN FORENSE

El 32.50 % de los cadáveres desmembrados se encontraron completos o faltando solo una o dos regiones anatómicas, como la cabeza o una extremidad (42.50 %), y en un estado de descomposición temprano (17.50 %) o avanzado (25.00 %). Los cadáveres que fueron sometidos a alteraciones después del desmembramiento se encontraron a menudo incompletos (36.36 %) y en un estado de descomposición no medible debido a la destrucción de tejidos blandos (36.36 %) o debido a la ausencia del cuerpo (27.27 %). Nueve agresores del grupo 2 fueron juzgados por profanación de cadáveres. El 77.14 % de los casos fueron categorizados como defensivos.

Tabla 5.6. Variables relacionadas con la investigación forense. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Variables	Código R	Grupo 1: Casos totales					Grupo 2: Casos alteración post-desmembramiento				
		N	T	%	T válido	% válido	N	T	%	T válido	% válido
Partes del cadáver encontradas											
Completo	BP_COMPLETE	13	40	32.50	40	32.50	1	11	9.09	11	9.09
> 50 % del cadáver	BP_MORE_50	17	40	42.50	40	42.50	3	11	27.27	11	27.27
< 50 % del cadáver	BP_LESS_50	6	40	15.00	40	15.00	4	11	36.36	11	36.36
Trazas biológicas	BP_TRACES	3	40	7.50	40	7.50	3	11	27.27	11	27.27
Sin cadáver ni trazas	BP_NO_BODY	1	40	2.50	40	2.50	0	11	0.00	11	0.00
Estado de descomposición											
Temprano	BP_EARLY	7	40	17.50	25	28.00	1	11	9.09	9	11.11
Avanzado	BP_LATE	10	40	25.00	25	40.00	1	11	9.09	9	11.11
Sin cadáver	-	4	40	10.00	25	16.00	3	11	27.27	9	33.33
No observable	BP_NON_OBSERVABLE	4	40	10.00	25	16.00	4	11	36.36	9	44.44
Identificación forense											
Visual	ID_VISUAL	12	40	30.00	24	50.00	3	11	27.27	9	33.33
Huellas dactilares	ID_FINGERPRINTS	2	40	5.00	24	8.33	1	11	9.09	9	11.11
ADN	ID_DNA	7	40	17.50	24	29.17	3	11	27.27	9	33.33
Testimonio del agresor	ID_TESTIMONY	3	40	7.50	24	12.50	2	11	18.18	9	22.22
Profanación de cadáveres	CORPSE_DESECRATION	24	41	58.54	41	58.54	9	11	81.82	11	81.82
Tipo de desmembramiento											
Defensivo	DEFENSIVE	27	35	77.14	35	77.14	7	11	63.64	11	63.64
Agresivo	AGGRESSIVE	5	35	14.29	35	14.29	3	11	27.27	11	27.27
Mixto	MIX	3	35	8.57	35	8.57	1	11	9.09	11	9.09

N: Número de casos; T: Total de casos; T válido: Total de casos disponibles

5.1.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

La tabla 5.7 muestra los resultados de la prueba Chi-cuadrado y los coeficientes Phi y V de Cramer para las variables que mostraron una asociación significativa con la alteración post-desmembramiento. Las variables que arrojaron un resultado de p valor menor o igual a 0.05 fueron “Mutilación del tejido blando”, “Partes del cadáver encontradas”, “Estado de descomposición” y “Adquisición de material antes”. Todas las variables excepto “Adquisición de material antes” presentaron un coeficiente de asociación fuerte.

Tabla 5.7. Resultados de la prueba Chi-cuadrado. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Variables	Chi-cuadrado	p valor	Coefficiente V de Cramer	Sig.
Mutilación del tejido blando	10.153	*0.001	**0.531	*0.001
Partes del cadáver encontradas	16.291	*0.003	**0.638	*0.003
Estado de descomposición	14.118	*0.003	**0.751	*0.003
Adquisición de materiales antes	6.691	*0.010	< 0.500	*0.010

* Diferencia estadísticamente significativa si $p \leq 0.05$.

** Asociación fuerte si $p > 0.5$

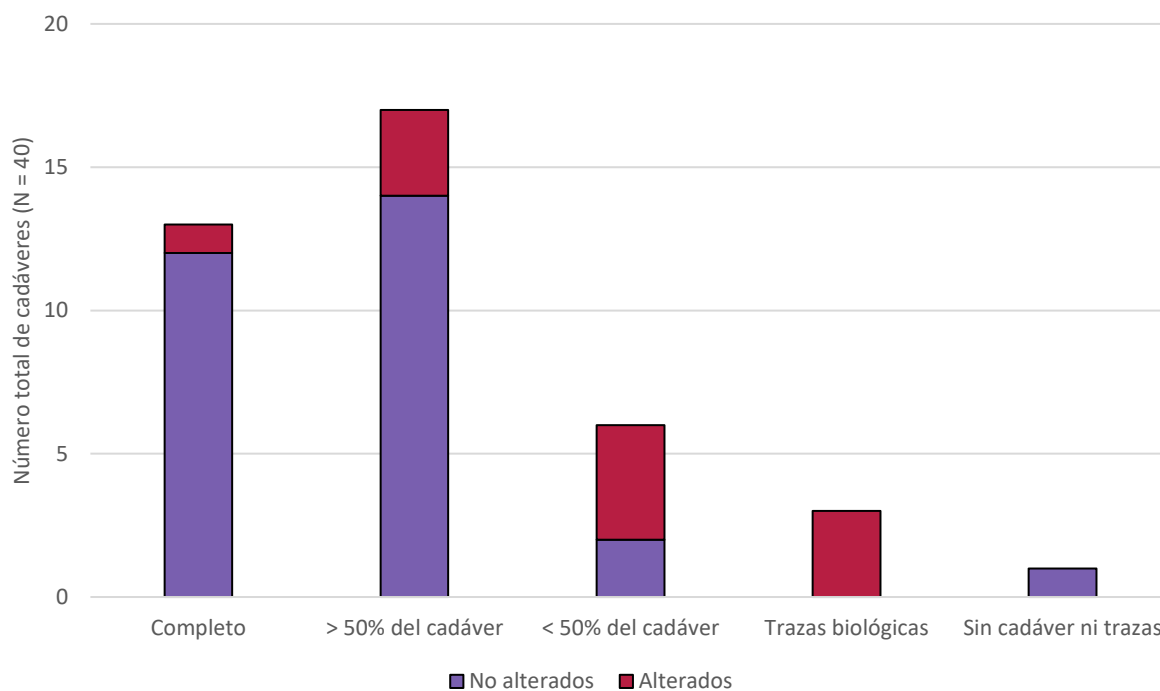


Figura 5.3. Correlación entre la alteración post-desmembramiento y las partes del cuerpo encontradas (N = 40). Las tres víctimas de las que únicamente se encontraron trazas biológicas fueron todas alteradas.

La figura 5.4. muestra el mapa bidimensional. Cada punto corresponde a una de las 60 variables elegidas y ambas dimensiones muestran la similitud entre ellas. La proximidad entre cada punto indica la frecuencia de aparición conjunta. Se obtuvo un índice de estrés de Kruskal de 0.309 en el mapa bidimensional. Según Pecino-Latorre et al. y referencias citadas por ellos [126] se considera un resultado aceptable, puesto que la representación de las variables es concordante con los resultados obtenidos en el análisis descriptivo y permite una interpretación válida de los datos.

La alteración post-desmembramiento (BP_ALTERATION) aparece estrechamente asociada con la dispersión de partes del cuerpo en múltiples lugares (BP_MULTIPLE_PLACES), con menos del 50 % de las partes del cuerpo encontradas (BP_LESS_50) y con un estado de descomposición no evaluable (BP_NON_OBSERVABLE).

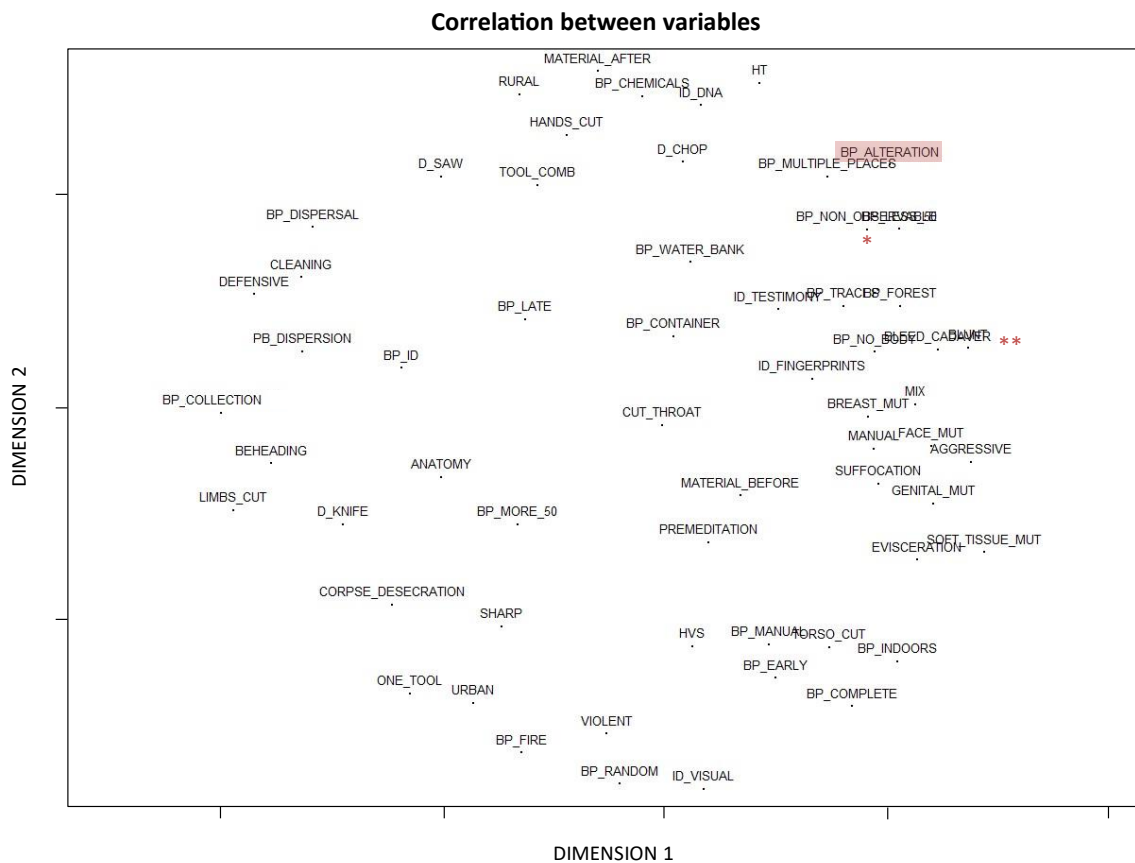


Figura 5.4. Resultado del análisis multidimensional no métrico: correlación entre variables como puntos en un mapa bidimensional. El resaltado rojo señala a la variable “Alteración post-desmembramiento” (BP_ALTERATION). Las variables que se encuentran superpuestas son * “No observable” (BP_NON_OBSERVABLE) y “< 50 % del cadáver” (BP_LESS_50); ** “Sin cadáver ni trazas” (BP_NO_BODY), “Desangrado” (BLEED_CADAVER) y “Objeto contundente” (BLUNT).

5.2. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio retrospectivo fue analizar los casos españoles ocurridos desde el año 1990 en los que se alteraron las partes del cuerpo de la víctima tras el desmembramiento y comprobar si esta alteración tuvo un impacto negativo en la investigación antropológica forense.

De un total de 35 casos sucedidos hasta el año 2016, un 27.50 % de cadáveres fueron alterados tras el desmembramiento: 15.00 % con fuego, 7.50 % con productos químicos y 5.00 % de forma manual con armas blancas. La mutilación del tejido blando fue más frecuente en cuerpos expuestos a estos procesos destructivos posteriores al desmembramiento. Los cadáveres se encontraron con mayor frecuencia incompletos y en un estado de descomposición que no pudo ser evaluado, bien debido a la destrucción de tejidos blandos (p. ej. carbonización) o a la ausencia total del cuerpo. Además, los agresores que realizaron estos actos frecuentemente adquirieron material después del homicidio de la víctima y dispersaron los restos biológicos en múltiples lugares. Todos esos hechos en conjunto contribuyeron a ocultar las evidencias del crimen y a complicar la investigación antropológica forense.

5.2.1. FRECUENCIAS DE CASOS DE DESMEMBRAMIENTO

La gran mayoría de los casos ocurrieron a partir del año 2002, alcanzando un pico en la década de 2010 (Figura 5.1.). Esto podría deberse a un registro incompleto de casos de mutilación antes de la informatización de las bases de datos, como sugiere Quatrehomme [147], por lo que es posible que no todos los casos ocurridos durante la década de los 90 del pasado siglo hayan sido incluidos. Adams et al. [52] documentaron un elevado número de casos de desmembramiento ocurridos en la ciudad de Nueva York del 1996 al 2017, 2.50 casos por año. En el presente estudio, se ha obtenido una incidencia del 0.29 % del 1990 al 2016. Un promedio de 462 homicidios por año y 1.35 casos de desmembramiento durante un periodo de 26 años.



Figura 5.5. Número de desmembramientos por comunidad autónoma. El icono negro apunta a las regiones donde ocurrieron los casos de alteración post-desmembramiento: País Vasco (1 caso), Aragón (2 casos), Cataluña (4 casos), Guadalajara (1 caso), Madrid (1 caso) y Andalucía (2 casos). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [146].

En general, el desmembramiento fue más frecuente en zonas urbanas que en rurales (57.14 %). Vázquez Guarín et al. [44] indicaron que el 66.7 % de los agresores analizados en un análisis de 54 cuerpos desmembrados de Medellín, Colombia, entre el año 2013 y el 2017 procedían de regiones urbanas. Los resultados obtenidos en este estudio coincidieron con la conclusión a la que llegaron Adams et al. [52], en regiones donde la densidad de población complica la eliminación de un cuerpo, es más probable que los agresores realicen amputaciones para facilitar su traslado y ocultación. En la figura 5.5. se ilustra que Cataluña fue la región donde se produjeron la mayoría de los casos. Además, cuatro de los 11 casos de alteración post-desmembramiento tuvieron lugar allí. Cataluña (9 casos) seguida de Andalucía (6 casos) y Madrid (4 casos) fueron las Comunidades Autónomas con más casos. Cataluña y Madrid tienen una mayor densidad demográfica y Andalucía es la segunda comunidad con más población de España, lo que puede explicar la alta incidencia de desmembramientos en estos territorios en comparación con otros.

5.2.2. CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y PSICOLÓGICAS DE VÍCTIMA Y AGRESOR

Acorde a estudios estadísticos realizados previamente en poblaciones europeas [12, 57–59], americanas [42–44, 51, 52] y asiáticas [70], y con los resultados obtenidos en un estudio piloto de 10 casos españoles [61], los agresores fueron mayoritariamente hombres (87.80 %) y las víctimas mujeres (60.00 %). Aunque no es infrecuente que en desmembramientos de tipo mensaje, comunes en Latinoamérica, ambos sean de sexo masculino [42–44, 148]. Esa proporción agresor hombre y víctima mujer se observó también en los casos de alteración post-desmembramiento (90.91 % y 72.73 %). Cabe mencionar que todos los casos con múltiples agresores excepto uno, consistieron en un hombre y una mujer. En estas situaciones, el hombre fue el agresor activo del homicidio y del desmembramiento, mientras que la mujer tuvo un papel indirecto. El agresor del caso #23 fue una mujer que actuó sola durante el homicidio y el proceso de desmembramiento lo cual es inusual, como afirman Di Nunno et al. [40].

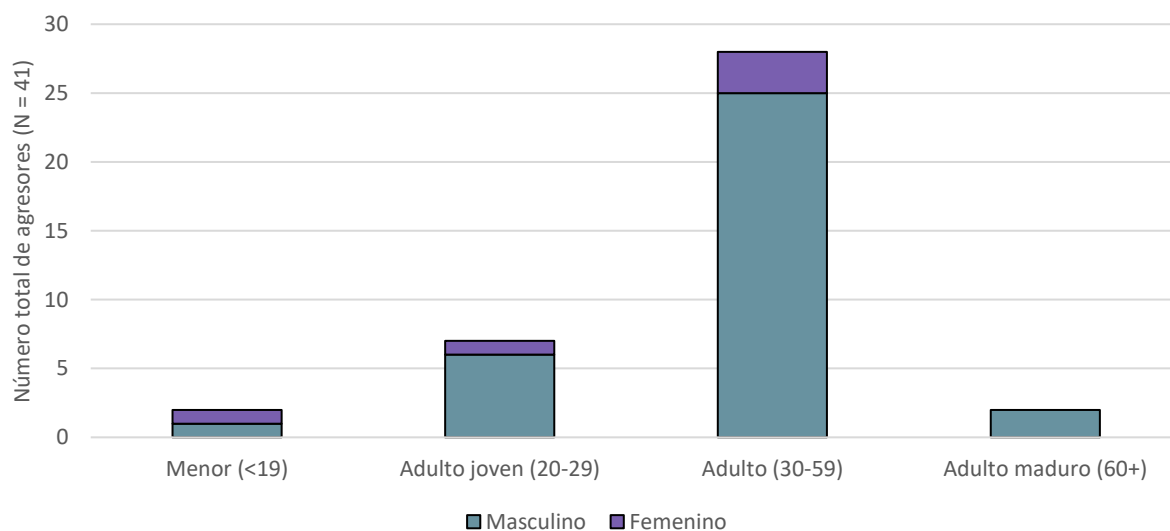


Figura 5.6. Correlación entre el sexo y la edad de los agresores. La mayoría de los agresores eran hombres de mediana edad.

Wilke-Schalhorst et al. [59] realizaron un estudio retrospectivo en 51 casos de desmembramiento que ocurrieron en Hamburgo, Alemania, durante un periodo de 57 años (1959 – 2016). Los investigadores observaron que de 35 agresores conocidos solo seis (7.14 %) eran de sexo femenino. Almond et al. [58] documentaron tres de 52 (5.77 %) en Reino Unido durante un período de 41 años (1975 – 2016). Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con la literatura, cuatro de 41 (12.20 %) agresores eran mujeres.

5.2.3. CIRCUNSTANCIAS DE LA MUERTE

Hubo una gran variabilidad en el uso de las armas utilizadas para dar muerte a la víctima y los instrumentos empleados para el desmembramiento (Figura 5.7.). Los cuchillos mantuvieron una frecuencia mucho más alta que los otros tipos de herramientas en ambas situaciones, en contraste con la observada para las sierras y objetos corto-contundentes, que se usaron durante el desmembramiento, pero no durante el homicidio. En los casos de alteración post-desmembramiento, el uso de las manos (27.27 %) fue tan frecuente como la muerte por puñaladas (27.27 %). Cabe resaltar que las víctimas que fallecieron a causa de un shock hipovolémico fue por degüello, lo que Vidanapathirana & Samaraweera [149] asocian con un crimen emocional.

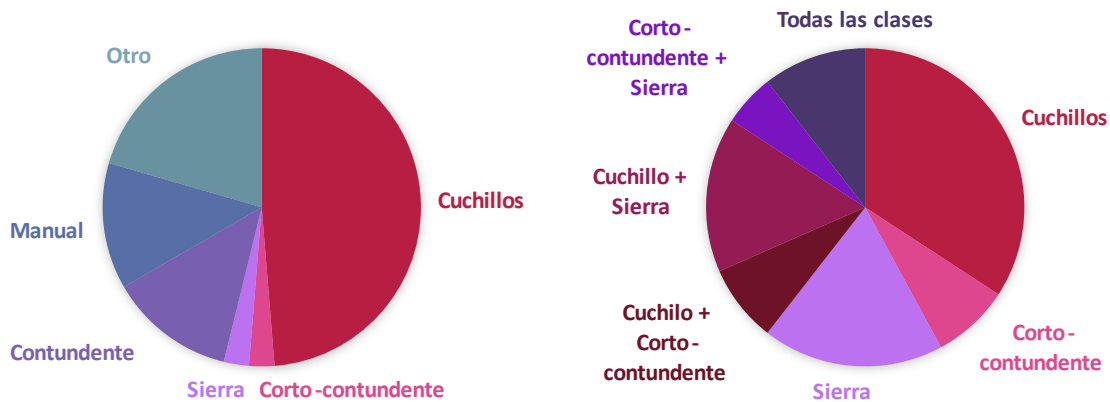


Figura 5.7. Distribución de los tipos de instrumentos utilizados durante el homicidio (izquierda) y el desmembramiento (derecha). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Las sierras se utilizaron para el desmembramiento en 19 ocasiones (47.50 %), seis veces en los casos de alteración post-desmembramiento (54.55 %). Se emplearon para cortar el músculo y tejido blando con un movimiento serrado mientras se seccionaba el hueso [43, 76]. Sierras y objetos corto-contundentes son considerados las armas más eficientes [54, 74–76]. Sin embargo, estos resultados revelan que los cuchillos también son muy utilizados en casos de desmembramiento, 25 veces en total (62.50 %) y seis en los casos de alteración post-desmembramiento (54.55 %). Estos resultados difieren del análisis realizado por Ross et al. [37], en el cual la sierra fue el implemento predominante utilizado por los agresores. No obstante, coincidieron con lo documentado por Wilke-Schalhorst et al. [59], Konopka et al. [57] y Wirth & Schmeling [72]. Este estudio confirma y amplía las conclusiones de Porta et al. [78], que afirmaron que el desmembramiento con armas distintas a las sierras no era infrecuente. Por tanto, ha quedado demostrado que los cuchillos son el tipo de arma más común utilizada para el desmembramiento en España, tanto como arma única como en combinación con una sierra.

5.2.4. DESMEMBRAMIENTO

Las variables relacionadas con el desmembramiento analizadas en este estudio corresponden a rasgos de subtipos defensivo y agresivo descritos por autores internacionales [12, 37, 51, 55, 58]. Según la literatura, los cuerpos divididos en dos partes probablemente fueron decapitados [52]. Adams et al. [52] registraron 20 casos de 30 (66.66 %) con amputación de la cabeza y Konopka et al. [57], 21 de 23 (91.30 %). Los resultados obtenidos en el presente estudio coincidieron con lo reportado por previos investigadores, la decapitación ocurrió en el 72.50 % de los casos.

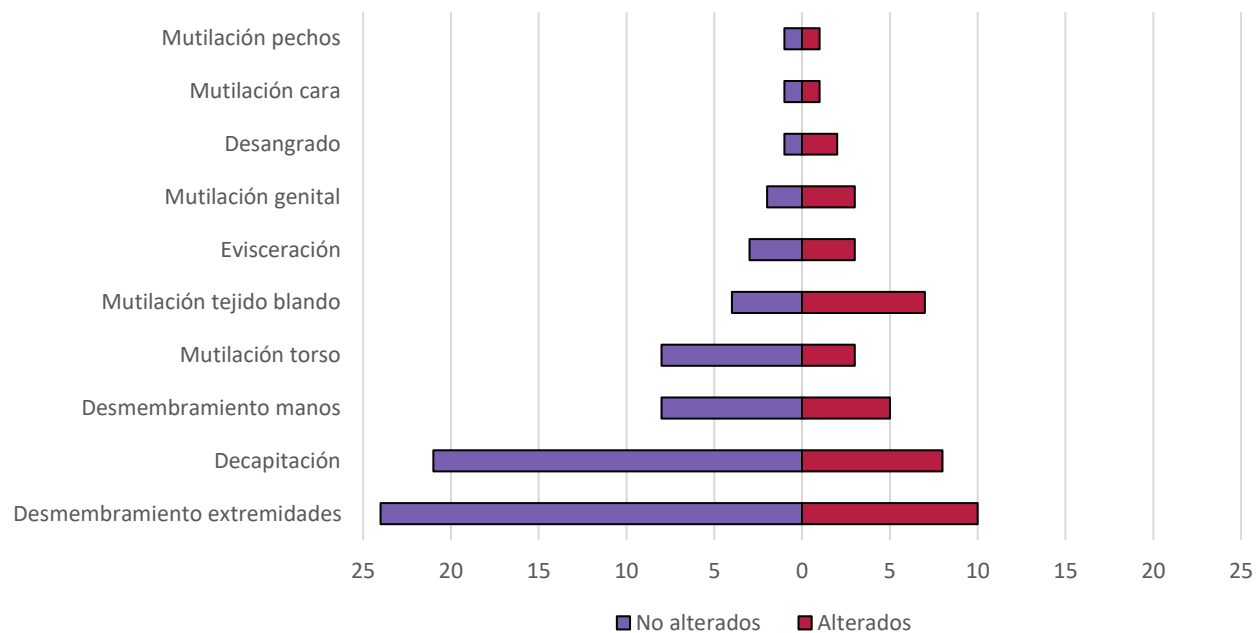


Figura 5.8. Frecuencia de variables relacionadas con el desmembramiento en cadáveres que sufrieron alteración post-desmembramiento (N = 11), y cadáveres no alterados (N = 29). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [146].

Las variables asociadas con desmembramientos agresivos [12, 37] oscilaron entre el 5.00 % y el 27.50 % de los casos totales. Numerosos autores [41, 58, 59, 70, 73] han documentado mutilaciones realizadas en rostro, genitales y tronco, así como evisceración. Por ejemplo, Almond et al. [58] reportaron una frecuencia de 17.2 % para mutilación de pechos, 10.3 % para mutilación facial y 8.6 % para mutilación genital, el doble de los valores de este estudio. Estos rasgos fueron, en general, más comunes en cadáveres que sufrieron alteración post-desmembramiento. La evisceración, la mutilación de los pechos y la cara ocurrieron con la misma frecuencia, pero el desangrado intencional del cuerpo, la mutilación genital y del tejido blando sucedieron con mayor frecuencia en los cadáveres alterados (Figura 5.8.).

Se encontró una asociación fuerte entre la incidencia de mutilación del tejido blando y la alteración post-desmembramiento (chi-cuadrado = 10.153, $p = 0.001$), lo que sugiere que ciertos comportamientos relacionados con el desmembramiento agresivo son frecuentes cuando el agresor intenta deshacerse de las partes desmembradas del cuerpo. Si bien no se encontró correlación entre la mutilación genital y la alteración posterior ($p = 0.058$), se observó que tres de cinco cadáveres en los que se produjo esta desfiguración sufrieron una destrucción adicional. El agresor del caso #23 amputó la pierna derecha, evisceró el cadáver, mutiló los genitales y prendió fuego a la cara y el muslo, provocando quemaduras de tercer grado. El autor del caso #30 mutiló el pecho y los genitales y prendió fuego a la cabeza y miembros inferiores con un material desconocido hasta que quedaron semi calcinados. El cadáver del caso #34 fue eviscerado y los tejidos blandos de la pelvis, el muslo y los genitales fueron mutilados. Además de intentar destruir las evidencias del crimen y dificultar la identificación, los tres agresores también mutilaron el tejido blando. Los cadáveres de las víctimas del caso #23 y #34 se encontraron casi completos en la escena del crimen, aunque severamente descompuestos, ya que los agresores no trataron de dispersar los restos y los dejaron en la escena del crimen. Estos rasgos se agruparon en el mapa bidimensional junto con el subtipo agresivo (AGGRESSIVE) y mixto (MIX), lo que sugiere una asociación, aunque son recomendados más estudios con una muestra ampliada (Figura 5.9).

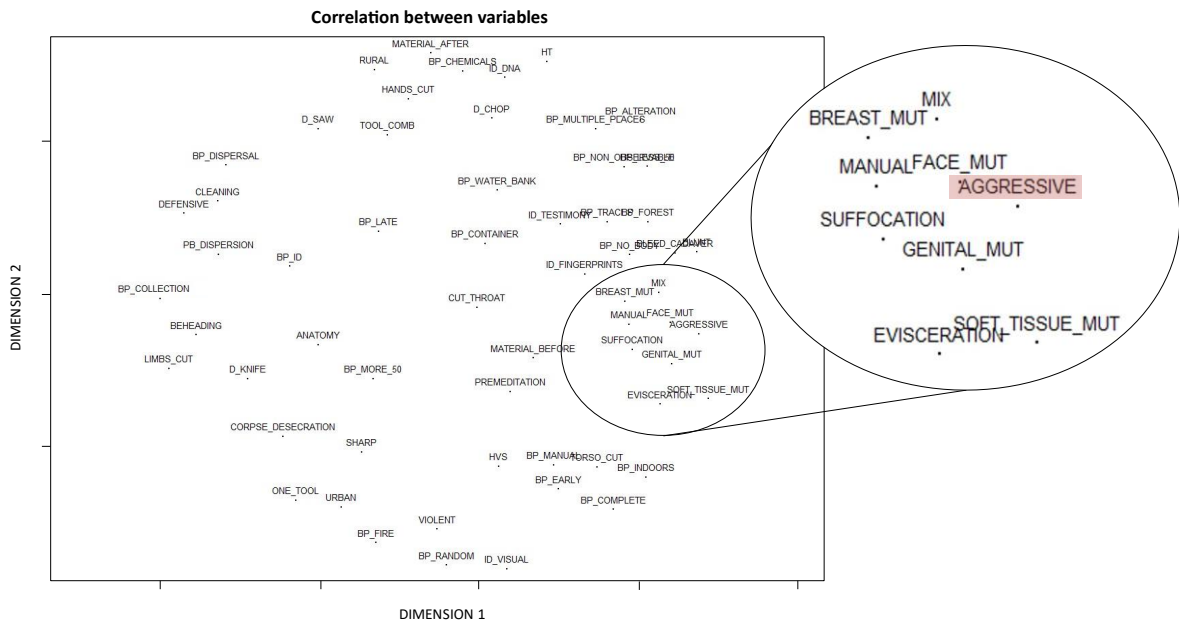


Figura 5.9. Ampliación del mapa bidimensional en la región de interés: variables correlacionadas con el subtipo agresivo (AGGRESSIVE).

5.2.5. ALTERACIÓN POST-DESMEMBRAMIENTO

Después del desmembramiento, 11 (27.50 %) cadáveres fueron alterados (Figura 5.2.) y los productos químicos y el fuego fueron los agentes tafonómicos más utilizados por los agresores para asegurar la destrucción de evidencias del crimen. La cremación y el uso de sustancias químicas fueron alteraciones documentadas por Sea & Beauregard [70] durante el análisis de 65 homicidios en Corea del Sur en un período de 16 años (1995 – 2011). Los agresores utilizaron fuego en el 41.5 % de los cadáveres y productos químicos en el 4.6 %. La cremación post-desmembramiento en este estudio fue inferior al valor reportado por Sea & Beauregard [70], observado únicamente en 6 cadáveres (15.00 %), pero el de químicos fue ligeramente mayor (7.50 %). El uso de productos químicos en partes del cuerpo amputadas también ha sido documentado por otros autores [54, 57]. En un caso examinado por Rainwater [54], el agresor colocó restos de tejido y grasa dentro de botellas de lejía, ácido muriático y desatascador. En el caso #22, el agresor descarnó el tejido blando circundante y trató de destruirlo con desatascador químico en un recipiente de poliuretano.

Según Sea y Beauregard [70], la exposición al fuego se emplea para destruir regiones de identificación específicas, como la cara y los dedos. Sin embargo, ese no fue siempre el objetivo de los agresores analizados en este estudio, ni tampoco del realizado por Konopka et al. [57]. Con frecuencia, hubo un intento de deshacerse del cuerpo entero. En el caso #7, los agresores trataron de ocultar las partes desmembradas quemándolas dentro de la chimenea usando alcohol de 96° como combustible. En el caso #35, el cadáver fue desmembrado de manera desconocida y luego incinerado en un bidón de gasolina durante tres días consecutivos hasta su total consumo. Konopka et al. [57] documentaron cinco casos en los que el agresor quemó los restos completos. En uno, el agresor prendió fuego a la casa y en otro los restos fueron incinerados en una estufa. Por tanto, coincidiendo con los resultados de estudios previos [49, 57, 61, 70, 73], se ha comprobado que el intento de destrucción de todo el cuerpo y no solo de las regiones de identificación no es infrecuente, y que el fuego es el agente tafonómico más utilizado para tal fin en España.

5.2.6. ORGANIZACIÓN DEL CRIMEN

En cuanto a la organización, Petreca et al. [51] diferencia entre desmembramientos organizados (defensivos y ofensivos) y desorganizados (agresivos). El desmembramiento organizado incluye premeditación, adquisición de material, limpieza, conocimientos de anatomía, posterior dispersión del material utilizado y de objetos personales de la víctima, y ocultación de partes del cuerpo. El desmembramiento desorganizado es descuidado y espontáneo, sin dispersión de las partes del cuerpo ni eliminación de los materiales empleados. El mapa bidimensional coincide con lo expuesto por Petreca et al. [51] y reveló que rasgos organizados como limpieza (CLEANING), dispersión de pertenencias personales (PB_DISPERSION), recolección (BP_COLLECTION) y dispersión de partes del cuerpo (BP_DISPERSAL), se encontraban agrupados junto con desmembramiento defensivo (DEFENSIVE) (Figura 5.10.). Asimismo, la variable de destrucción de regiones de identificación (BP_ID) estaba asociada a estas variables organizadas. Estos resultados confirman y amplían las observaciones de Almond et al. [58], Black et al. [55] Petreca et al. [51] y Ross et al. [37]: que el objetivo último del agresor sea impedir la identificación de la víctima para encubrir el delito es característico del subtipo defensivo.

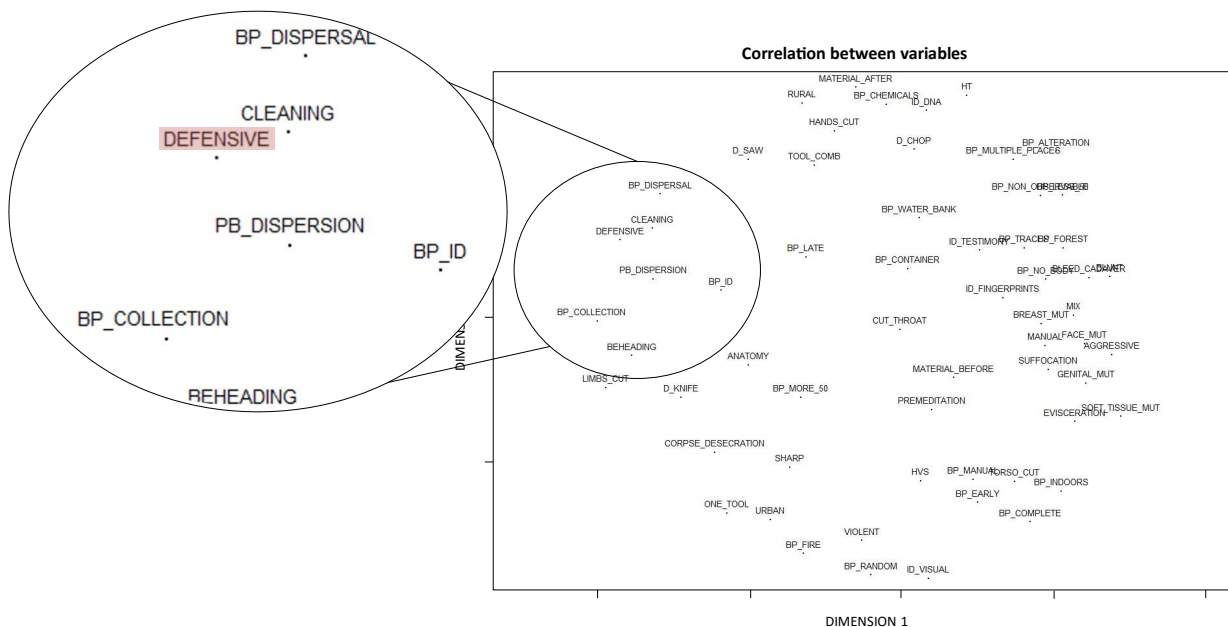


Figura 5.10. Ampliación del mapa bidimensional en la región de interés: variables correlacionadas con el subtipo defensivo (DEFENSIVE).

Se encontró una asociación estadística entre la adquisición de material después de dar muerte a la víctima y la alteración post-desmembramiento. Aunque esta correlación es débil ($p \leq 0.50$), el mapa bidimensional demostró que el uso de productos químicos y la adquisición de material se encontraban estrechamente asociados, lo que confirma una aparición conjunta y no una correlación fruto del azar (Figura 5.11.). El mapa también reveló una asociación entre alteración post-desmembramiento y la dispersión de las partes del cuerpo por múltiples lugares. Sin embargo, no se encontró una relación estadísticamente significativa en la prueba Chi-cuadrado ($p \geq 0.059$) aunque esto podría deberse al número muestral bajo ($N = 8$).

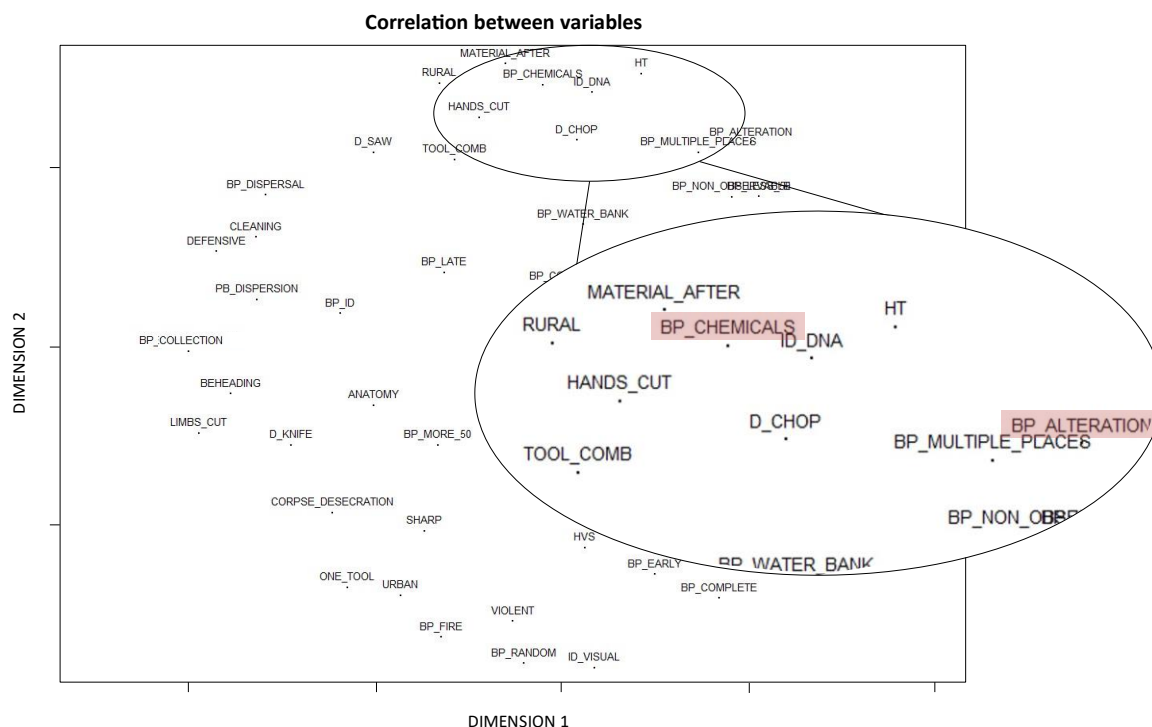


Figura 5.11. Ampliación del mapa bidimensional en la región de interés: variables correlacionadas con la alteración post-desmembramiento.

5.2.7. INVESTIGACIÓN FORENSE

Los resultados mostraron una fuerte asociación entre el estado de descomposición, las partes del cuerpo encontradas y la alteración post-desmembramiento. Los cadáveres que sufrieron alteraciones se encontraron con mayor frecuencia incompletos ($\chi^2 = 16.291$, $p = 0.003$) y en un estado de descomposición que no pudo ser valorado debido a la destrucción de tejidos blandos o porque los restos no se encontraron ($\chi^2 = 14.118$, $p = 0.003$). Estos resultados fueron confirmados por el análisis multidimensional no métrico (Figura 5.4). Únicamente dos cadáveres que sufrieron alteración post-desmembramiento se encontraron en un estado de descomposición medible, los otros no se encontraron o se recuperaron con daño sustancial en el tejido blando.

El efecto negativo de encontrar un cuerpo incompleto se observó en el caso #13, donde únicamente se recuperó un tronco eviscerado en la primera fase de la putrefacción. La sentencia judicial reflejó que, debido a la ausencia del cadáver completo, la causa de la muerte no pudo ser determinada y no se pudo descartar una muerte accidental. Di Nunno et al. [40] afirmó que algunas marcas de corte son susceptibles de confundirse con lesiones peri-mortem y en el caso #13 no se pudo probar si la decapitación fue la causa de la muerte o una modificación post-mortem. Sanabria-Medina & Osorio Restrepo [43] también concluyeron que no se debe descartar la posibilidad de traumatismo en los tejidos blandos antes del desmembramiento y en los casos en los que el tejido blando esté gravemente dañado, la reconstrucción forense de los hechos y la identificación inicial se complica, lo que concuerda con los resultados obtenidos.

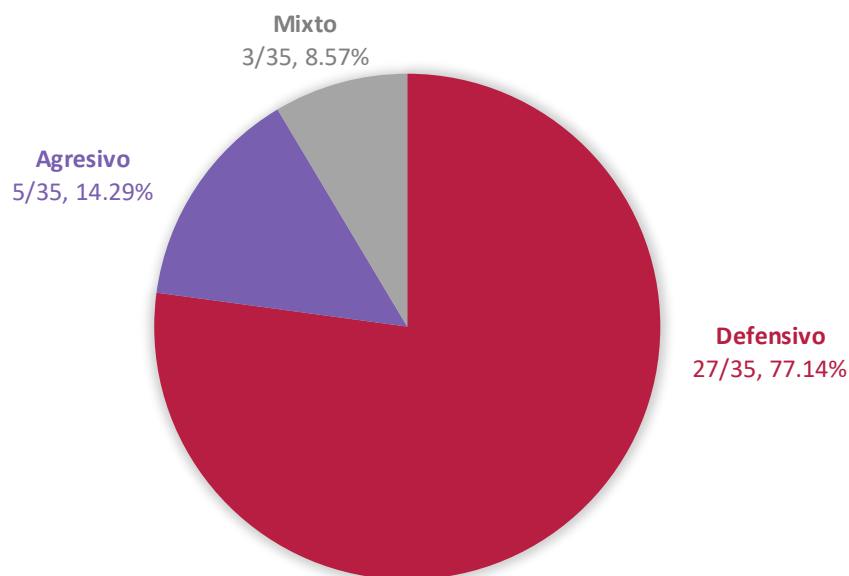


Figura 5.12. Frecuencias de los subtipos de desmembramiento en los 35 casos españoles analizados.

En esta revisión sistemática de casos forenses de desmembramiento españoles se ha observado que la alteración adicional a las partes desmembradas del cuerpo se hizo principalmente para ocultar y destruir la evidencia del crimen. Los agresores lo intentaron esparciendo las partes del cuerpo, desperdigando objetos personales de la víctima, destruyendo regiones anatómicas que podrían ayudar a la identificación, o todo lo anterior. Como se ha discutido en la sección 5.2.6., este comportamiento coincide con un subtipo defensivo [12, 37, 51, 55, 58], el más común en Europa [12, 56–60] y en también en España [61]. En el presente estudio, un 77.17 % de los casos fueron catalogados como defensivos, de acuerdo con la literatura. No obstante, en análisis retrospectivos de casos de desmembramiento realizados en Panamá [42] y Colombia [41, 43, 44], los investigadores coinciden en que muchas veces el objetivo del agresor no es ocultar la identificación de la víctima y deshacerse del cadáver, sino enviar un mensaje. El 27.27 % de los casos de alteración post-desmembramiento analizados en esta tesis doctoral fueron catalogados como agresivos y el 81.82 % de los agresores del grupo 2 fueron juzgados por profanación de cadáveres. Por tanto, si bien la motivación principal es encubrir las evidencias del crimen y facilitar el transporte y ocultación del cuerpo [57, 65], aterrorizar al grupo rival y enviar un mensaje [42] o simplemente querer profanar la memoria del difunto [51, 64, 70] puede ser otras razones para alterar las partes del cuerpo desmembradas.

Los resultados obtenidos en el Capítulo 5 son coherentes con la literatura internacional y con previos análisis retrospectivos; las víctimas son mayoritariamente mujeres y los agresores hombres de mediana edad, que utilizan sobre todo armas cortantes para el homicidio y durante el desmembramiento del cadáver. Actos como deshacerse de los objetos personales y el material utilizado no son infrecuentes, como tampoco la destrucción y dispersión posterior de las partes del cuerpo. Estos resultados demuestran que existe un efecto negativo en las investigaciones antropológicas forenses cuando un cadáver ha sido alterado tras el desmembramiento. Como resultado, la reconstrucción de los eventos previos a la muerte y la identificación inicial de la víctima se complican, puesto que estos actos contribuyen a ocultar las evidencias del crimen.

5.3. ANEXOS

5.3.1. ANEXO 5.1: DATOS DEL GRUPO 2 “CASOS ALTERACIÓN POST-DESMEMBRAMIENTO”. TABLA OBTENIDA DEL MATERIAL SUPLEMENTARIO DE MATA TUTOR ET AL. [146]

N CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y PSICOLÓGICAS DE LA VÍCTIMA Y EL AGRESOR										
	Comunidad autónoma	Año	Víctima			Agresor/es			Comportamiento violento	Conocimientos anatomía
			Edad	Sexo	Nacionalidad	Edad	Sexo	Nacionalidad		
7	Cataluña (rural)	2006	40-49	♀	-	<20	♀	-	No	-
						20-29	♂	-	Sí	-
13	Cataluña (urbana)	2009	30-39	♀	Otra	50-59	♂	Otra	Sí	No
16	Andalucía (urbana)	2009	30-39	♀	Española	30-39	♂	Española	No	No
21	Aragón (rural)	2010	20-29	♀	Española	40-49	♂	Española	No	Sí
22	Aragón (rural)	2010	50-59	♀	Española	50-59	♂	Española	No	Sí
23	Cataluña (rural)	2010	> 80	♂	Española	40-49	♀	Española	No	No
26	Guadalajara (rural)	2010	30-39	♀	Otra	30-39	♂	Española	No	Sí
28	País Vasco (urbana)	2011	40-49	♀	Otra	40-49	♂	Española	Sí	No
30	Cataluña (urbana)	2011	-	♀	-	-	♂	Otra	No	Sí
34	Andalucía (urbana)	2012	50-59	♂	Española	30-39	♂	Española	Sí	No
35	Madrid (urbana)	2012	20-29	♂	Española	30-39	♂	Española	Sí	No

N CIRCUNSTANCIAS DE LA MUERTE				
	Causa de la muerte	Arma o mecanismo utilizado	Nº instrumentos utilizados para el desmembramiento	Instrumentos utilizados para el desmembramiento
7	Shock hipovolémico derivado de degüello	Cuchillo	Uno	Sierra
13	-	-	-	-
16	Traumatismo craneoencefálico	Manual – Puñetazos	Uno	Sierra
21	Shock hipovolémico derivado de degüello	Cuchillo	Múltiple	Todos los tipos
22	Traumatismo craneoencefálico	Otro – Caída	Uno	Cuchillo
23	Asfixia	Manual	Múltiple	Cuchillo + Sierra
26	Traumatismo craneoencefálico	Otro – Caída	Múltiple	Cuchillo + Corto-contundente
28	Traumatismo craneoencefálico	Objeto contundente	Múltiple	Corto-contundente + Sierra
30	Asfixia	Manual	Uno	Cuchillo
34	Traumatismo craneoencefálico	Objeto contundente	Múltiple	Cuchillo + Sierra
35	Shock hipovolémico derivado de degüello	Cuchillo	-	-

N	DESMEMBRAMIENTO				
	Decapitación	Desmembramiento de extremidades	Mutilación del torso	Desmembramiento de manos	Mutilación de tejido blando
7	Sí	Sí	Sí	No	No
13	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
16	Sí	Sí	No	Sí	No
21	Sí	Sí	No	Sí	Sí
22	Sí	Sí	No	-	Sí
23	No	Sí	No	No	Sí
26	Sí	Sí	No	Sí	No
28	-	Sí	No	-	Sí
30	Sí	Sí	No	No	Sí
34	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
35	-	-	-	-	-

N	DESMEMBRAMIENTO (cont.)				
	Mutilación de la cara	Mutilación de los pechos	Mutilación de los genitales	Evisceración	Desangrado
7	No	No	No	No	No
13	No	No	No	Sí	No
16	No	No	No	No	No
21	No	No	No	No	No
22	No	No	No	No	Sí
23	Sí	No	Sí	Sí	No
26	No	No	No	No	No
28	-	-	-	-	-
30	No	Sí	Sí	No	No
34	No	No	Sí	Sí	Sí
35	-	-	-	-	-

N	ALTERACIÓN POST-DESMEMBRAMIENTO DEL CADÁVER		
	Agente tafonómico	Regiones anatómicas alteradas	Producto utilizado
7	Fuego	Todo el cuerpo	Alcohol
13	Ninguno	Entrañas	Ninguno – Arma blanca
16	Fuego	Cabeza y mano	Gasolina de mechero
21	Productos químicos	Todo el cuerpo	Cal viva
22	Productos químicos	Entrañas, grasa y tejido blando	Desatascador
23	Fuego	Entrañas, grasa y tejido blando, quemaduras de tercer grado en cara y muslo	Líquido inflamable desconocido
26	Productos químicos	Todo el cuerpo	Cal viva
28	Fuego	-	-
30	Fuego	Cabeza, manos y extremidad inferior	-
34	Ninguno	Entrañas, grasa y tejido blando	Ninguno – Arma blanca
35	Fuego	Todo el cuerpo	Gasolina

N	ORGANIZACIÓN						
	Premeditación	Adquisición de material	Limpieza de la escena	Dstrucción y dispersión de material	Recolección de partes del cuerpo	Dispersión de partes del cuerpo	Deposición de partes del cuerpo
7	No	Después – Sierra	Sí	Sí – Instrumentos	Sí – Bolsas de basura	Sí	Contenedor de basura
13	No	Después – Pintura	Sí	Sí – Instrumentos	Sí – Sábana	Sí	Diversos lugares
16	No	Después – Pintura, bolsas de basura, gasolina de mechero	Sí	Sí – Ropa y objetos personales de la víctima	Sí – Bolsas de basura	Sí	Contenedor de basura
21	No	Después – Cal viva	-	No	Sí – Bolsas de basura	Sí	Área boscosa
22	No	Después – Desatascador y recipiente de poliuretano	Sí	Sí – Objetos personales de la víctima	Sí – Bolsas de basura	Sí	Diversos lugares
23	No	No	No	No	No	No	Interior
26	No	Después – Cal viva	Sí	-	Sí – Nevera	Sí	Diversos lugares
28	No	-	No	-	Sí – Bolsas de basura	Sí	Diversos lugares
30	Sí	Antes – Cuchillos y maleta	No	No	Sí – Maletas y bolsas de basura	Sí	Diversos lugares
34	No	Después – Pala y azada	No	No	No – Recolección parcial	No	Interior
35	Sí	-	Sí	Sí – Objetos personales de la víctima	Sí – Material desconocido	Sí	Otro – Dispersión de las cenizas

N	INVESTIGACIÓN FORENSE				
	Partes del cadáver encontradas	Estado de descomposición	Identificación forense	Profanación de cadáveres	Tipo de desmembramiento
7	Trazas biológicas	Sin cuerpo	ADN	Sí	Defensivo
13	< 50 %	Temprano	-	Sí	Defensivo
16	< 50 %	No observable – Carbonizado	-	Sí	Defensivo
21	> 50 %	-	ADN	No	Defensivo
22	Trazas biológicas	Sin cuerpo	ADN	Sí	Defensivo
23	Cadáver completo	Avanzado	Visual	Sí	Agresivo
26	< 50 %	No observable – Destrucción alcalina	Testimonio del agresor	Sí	Defensivo
28	< 50 %	No observable – Destrucción parcial y dispersión de partes del cuerpo	Huellas dactilares	No	Agresivo
30	> 50 %	No observable – Semi calcinado	Visual	Sí	Mixto
34	> 50 %	-	Visual	Sí	Agresivo
35	Trazas biológicas	Sin cuerpo	Testimonio del agresor	Sí	Defensivo

Capítulo 6. ESTUDIO DEL TRAUMA CORTANTE EN CADÁVERES CREMADOS

Logic is the beginning of wisdom, not the end.

Spock (Star Trek)

6.1. RESULTADOS

6.1.1. TRAUMA CORTANTE

Los datos de la preservación general del cadáver se encuentran resumidos en la tabla 6.1. Dos cadáveres fueron autopsiados antes del entierro, las costillas y el esternón estaban cortados, aunque el cráneo se encontraba intacto.

Tabla 6.1. Datos obtenidos durante la exploración anatómica. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Individuo	Estado de preservación cadavérica				Trauma o patologías
	Pelvis	Muslo y Rodilla	Tobillo	Muñeca	
1	Saponificación	Saponificación	Saponificación	Saponificación	Autopsia – Costillas y esternón
2	Esqueletización con putrúlagos blandos	Saponificación	Saponificación	Esqueletización con putrúlagos blandos	-
3	Esqueletización con putrúlagos blandos	Esqueletización con putrúlagos blandos	Esqueletización con putrúlagos blandos	Esqueletización con putrúlagos blandos	Autopsia – Costillas y esternón

El tejido blando de los muslos de los individuos 1 y 2 y de la cresta ilíaca del individuo 1, amortiguaron el trauma actuando como protección del tejido óseo (Figura 6.1.). Esto dificultó afectar el hueso mediante un único golpe. Por el contrario, el traumatismo inducido en regiones con menos protección, como la rodilla, la mano y los pies, fueron más sencillos de realizar. El individuo 3 estaba en un estado esqueletizado con remanentes de putrúlagos blandos acumulados en la parte distal del cuerpo. Durante el corte del fémur izquierdo se observó un “efecto peri-mortem” debido al embalsamamiento, que preservó la frescura de hueso incluso cuando no había tejido blando circundante [24, 150].

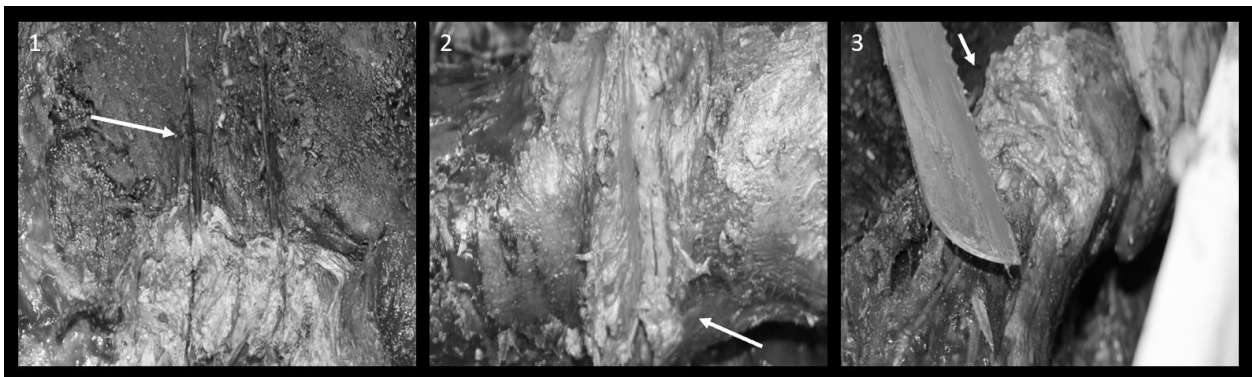


Figura 6.1. Tejido blando protector. I: Pelvis (1), muñeca (2) y tobillo (3) del individuo 1.

6.1.2. PROCESO CREMATORIO

Los cambios morfológicos observados y registrados durante el proceso crematorio de cada individuo se describen en las tablas 6.2-6.4. Los cadáveres se sometieron al mismo patrón de destrucción térmica. El ataúd se destruyó en los primeros 9-17 minutos. La capacidad calorífica de la madera aumentó la temperatura durante los minutos iniciales de la cremación. Posteriormente, la materia orgánica y el líquido de embalsamamiento funcionaron como combustible, alcanzando una temperatura máxima de 649-735 °C en 43-56 minutos. La completa incineración de la materia orgánica finalizó en 83-86 minutos (Capítulo 4, Figura 4.5.).



Figura 6.2. Los tres individuos contemporáneos durante el proceso de cremación. **1:** Individuo 1 durante el minuto 61 a 637 °C; **2:** Individuo 2 durante el minuto 38 a 690 °C; **3:** Individuo 3 durante el minuto 75 a 592 °C.

Tabla 6.2. Proceso crematorio del individuo I del minuto 1 al 85. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Min	°C	Proceso crematorio	Observaciones
1	363	Comienzo de la cremación.	El horno aún conserva calor residual de las cremaciones anteriores.
17	584	Destrucción de la tapa del ataúd.	El fuego envuelve el cadáver.
35	634	Se monitoriza el estado del cuerpo.	La parte superior y las paredes del ataúd se rompen y el cadáver se expone por completo al fuego.
50	716	Aumento de la temperatura.	La materia orgánica y la grasa actúan como combustible natural.
56	735	Temperatura máxima alcanzada.	La materia orgánica remanente y el líquido de embalsamar actúan como combustible natural.
61	637	Se monitoriza el estado del cuerpo.	Remanentes de materia orgánica siguen presentes (Figura 6.2. #1).
67	682	Manipulación de los restos óseos con una herramienta de metal.	Fragmentación intencional de los restos óseos.
77	443	Se monitoriza el estado del cuerpo.	La materia orgánica está completamente consumida.
85	363	Fin de la cremación.	Los restos esqueléticos se encuentran fragmentados y calcinados, pero la mayoría pueden ser reconocidos e identificados (Figura 6.3. #1).

Tabla 6.3. Proceso crematorio del individuo 2 del minuto 1 al 83. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Min	°C	Proceso crematorio	Observaciones
1	336	Comienzo de la cremación.	El horno aún conserva calor residual de las cremaciones anteriores.
6	419	Aumento de la temperatura.	La capacidad calorífica de la madera aumenta la temperatura.
9	468	Destrucción de la tapa del ataúd.	El fuego envuelve el cadáver.
11	524	Aumento de la temperatura.	La combustión de la madera y de la materia orgánica aumenta la temperatura.
38	690	Se monitoriza el estado del cuerpo y se manejan los restos óseos con una herramienta de metal.	Remanentes de materia orgánica siguen presentes (Figura 6.2. #2).
43	720	Temperatura máxima alcanzada.	La materia orgánica remanente y el líquido de embalsamar actúan como combustible natural.
48	713	Descenso de la temperatura.	La carbonización de la materia orgánica disminuye la temperatura.
63	670	Se monitoriza el estado del cuerpo y se manipulan los restos óseos con una herramienta de metal.	La materia orgánica está casi completamente consumida, se procede a la fragmentación intencional de los restos óseos.
83	400	Fin de la cremación.	Los restos esqueléticos se encuentran muy fragmentados y calcinados, mezclados con cenizas de hueso y restos de madera, pero se encuentran fragmentos reconocibles e identificables a simple vista (Figura 6.3. #2).

Tabla 6.4. Proceso crematorio del individuo 3 del minuto 1 al 86. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Min	°C	Proceso crematorio	Observaciones
1	196	Comienzo de la cremación.	El horno crematorio comienza a calentarse.
6	454	La temperatura se estabiliza y comienza a aumentar.	La capacidad calorífica de la madera aumenta la temperatura.
11	484	Destrucción de la tapa del ataúd.	El fuego envuelve el cadáver.
15	521	Aumento de la temperatura.	La combustión de la madera y de la materia orgánica aumenta la temperatura.
38	617	La cabeza se consume.	El neurocráneo se observa intacto.
52	649	Temperatura máxima alcanzada.	La materia orgánica remanente y el líquido de embalsamar actúan como combustible natural.
65	611	Se monitoriza el estado del cuerpo.	Remanentes de materia orgánica siguen presentes.
75	592	Se monitoriza el estado del cuerpo y se manipulan los restos óseos con una herramienta de metal.	La materia orgánica está casi completamente consumida, se procede a la fragmentación intencional de los restos óseos (Figura 6.2. #3). El neurocráneo se fragmenta después de la manipulación.
86	400	Fin de la cremación.	Los restos esqueléticos están menos fragmentados y mejor preservados. La identificación en vista macroscópica es factible y sencilla (Figura 6.3. #3).

6.1.3. ANÁLISIS ANTROPOLÓGICO

Después de la criba, de la identificación de cada fragmento individual y de la reconstrucción de las regiones anatómicas de interés, se procedió al análisis antropológico de cada individuo por separado. Todos los restos esqueléticos presentaban una coloración clara blanquecina, con tonos grisáceos, anaranjados y algunos fragmentos azulados. La conservación fue entre moderada y excelente, siendo el individuo 3 el mejor conservado y el 2 el peor.

Los resultados del peso por región se encuentran en el Anexo 6.1.



Figura 6.3. Restos óseos de los individuos contemporáneos 1, 2 y 3. Los fragmentos del individuo 3 son de mayor tamaño que los del 1 y 2 y los del 2 se encuentran muy fragmentados. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

INDIVIDUO I

Los restos incinerados del individuo I tenían un color blanquecino y pesaban en total 2550 g incluyendo cenizas y polvo de ataúd. Los fragmentos del neurocráneo eran más grandes y resistentes (210 g) que los fragmentos del esplacnocráneo (31 g) que no se pudieron identificar, a excepción de los orbitales. Se observó un color rojizo en la región interna de los fragmentos de la bóveda craneal. Los restos óseos del tórax fueron identificados, pero se encontraban en mal estado de conservación. Todos los fragmentos presentaron un aspecto esponjoso muy deteriorado (85 g). No se detectaron evidencias de la autopsia en las costillas ni en el esternón. La cintura escapular estaba mal conservada (42 g) y solo se pudieron identificar y reconstruir regiones resistentes y rígidas como las coracoides, el acromion y las espinas escapulares. Las extremidades superiores estaban bien preservadas (510 g).

La cintura pélvica se encontraba representada por seis (90-20 mm) restos fragmentados (24 g) de las zonas más robustas: el isquion, la escotadura ciática y la superficie articular del sacro. La cresta ilíaca no se pudo localizar ni identificar y, como resultado, no se encontraron las marcas de corte realizadas en la pelvis del individuo I. Tanto los fémures (132 g) como las rótulas (13 g) se conservaron bien tras la cremación. Las rótulas estaban intactas, pero no se encontraron evidencias de traumatismo cortante. La reconstrucción del fémur derecho reveló dos marcas de corte causadas con el cuchillo de pan, uno en la diáfisis y otro en la epífisis distal. El primer corte medía 8 mm de largo y 1.5 mm de ancho. Estaba fragmentado y mostraba un color más oscuro que el del exterior del hueso, con una forma de U cuadrada. El segundo corte medía 21 mm de largo y 2 mm de ancho con forma afilada en V, ubicado entre los cóndilos del fémur, justo por encima de la articulación con la rótula. Ambas marcas de corte tenían líneas de fractura radiadas asociadas al punto de impacto.

Los huesos del tarso se encontraban muy fragmentados y mal conservados; solo se pudieron identificar nueve tarsos de 14 (21 g). En el astrágalo derecho se identificaron tres cortes paralelos de 20.8 y 21.7 mm de largo y 2 mm de ancho. Estas lesiones se realizaron con el cuchillo de pan en la misma dirección latero-medial, dejando tres cortes lineales con bordes afilados visibles. Dos cortes ocasionaron dos lesiones incompletas y el tercero provocó una fractura completa de la porción distal del astrágalo, que se detectó durante la reconstrucción anatómica (Figura 6.4.). No se encontró evidencia de traumatismo cortante ni en el calcáneo ni en la parte distal de la tibia. Únicamente tres de 16 carpos se localizaron intactos y no se observaron marcas de corte. El resto de los fragmentos no fueron identificados.

Las cinco marcas de corte observadas en este individuo se realizaron con el cuchillo de pan.

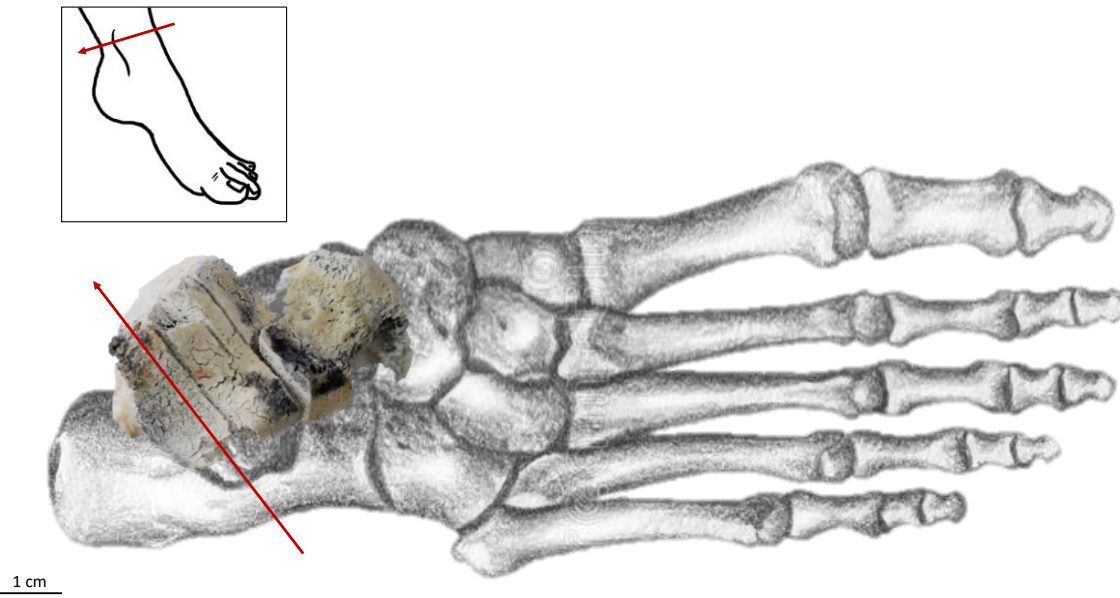


Figura 6.4. Trauma cortante realizado en el pie derecho del individuo I con el cuchillo de pan. La flecha señala la dirección en la que fue realizado el corte (latero-medial). Pueden observarse tres marcas de corte paralelas de profundidad media en toda la superficie superior del astrágalo.

INDIVIDUO 2

Los restos incinerados presentaban diversas tonalidades y pesaban 2967 g incluyendo cenizas y polvo. Los fragmentos del neurocráneo y de los orbitales eran grandes y resistentes (219 g) a diferencia de los restos del esplancocráneo, que eran frágiles y quebradizos (82 g). La mandíbula pudo ser reconstruida (39 g). Las costillas del individuo 2 estaban menos fragmentadas que las de los individuos 1 y 3, pero no se pudo identificar el esternón. La cintura escapular se encontró en mal estado de conservación (42 g), salvo la espina y el acromion que pudieron ser identificados. El miembro superior (157 g) estaba mejor conservado que el miembro inferior (144 g). Se recuperaron pocos fragmentos de la pelvis, ocho de la superficie articular del sacro y el acetábulo (50-10 mm). Se reconocieron dos fragmentos pequeños y frágiles de la cresta ilíaca, pero no se encontró evidencia de traumatismo cortante en ninguno de ellos.

Los fémures estaban compuestos únicamente por ocho fragmentos reconocibles (80-40 mm), de conservación pobre (81 g). Las rótulas estaban fragmentadas (5 g) y sin evidencia de traumatismo precremación. Se localizó una marca de corte en un fragmento de fémur con una longitud de 80 mm y un ancho de 20 mm. Debido a la fragmentación y los cambios inducidos por el fuego, la determinación del instrumento empleado utilizando características visibles del corte no fue posible. Debido a su lateralidad, probable fémur derecho, se estimó que el corte se realizó con el cuchillo de pan en la parte antero-medial del muslo. El corte tenía 8 mm de largo y 3 mm de ancho. No se observaron fracturas radiadas derivadas del punto de impacto.

Se localizaron e identificaron todos los tarsos excepto el astrágalo izquierdo (56 g). No se detectó evidencia del trauma ni en los tarsos ni en la parte distal de la tibia. El astrágalo derecho se destruyó durante el proceso crematorio y se rompió en pequeños fragmentos irreconocibles.

La marca de corte localizada en este individuo se indujo con el cuchillo de pan.

INDIVIDUO 3

Los restos incinerados presentaron un color blanquecino con un peso total de 3089 g incluyendo cenizas y polvo de ataúd. Se observó una excelente conservación del cráneo (321 g). Todos los fragmentos de cráneo se identificaron, pero la reconstrucción no fue factible debido a la pronunciada deformación de los fragmentos. La mandíbula estaba intacta con una fractura longitudinal en la rama mandibular derecha (40 g). Las vértebras se encontraban menos fragmentadas que en los individuos 1 y 2 y el atlas y el axis se encontraron prácticamente enteros. No se detectó evidencia de autopsia en las costillas y el esternón no fue identificado. La cintura escapular estaba mal conservada (55 g), pero se identificaron la fosa glenoidea, un fragmento de coracoides y un acromion. La clavícula derecha se encontró intacta con una fractura longitudinal incompleta en el extremo esternal. Las extremidades se conservaron en un estado excelente y la reconstrucción de las epífisis fue factible. Sin embargo, las diáfisis se encontraban muy deformadas (1151 g).

La cintura pélvica estaba representada por diez (40-10 mm) restos óseos fragmentados, frágiles y de aspecto esponjoso (35 g). No se detectó el traumatismo cortante pre-cremación, ya que únicamente se localizaron dos fragmentos de la cresta ilíaca. Se identificaron los restos óseos de ambos fémures (219 g) y de ambas rótulas (19 g). La reconstrucción de los fragmentos de la diáfisis del fémur izquierdo reveló una marca de corte realizada con el machete en un pequeño fragmento de 31 mm de largo y 22.5 mm de ancho, en la parte anteromedial del fémur. El corte tenía 12 mm de largo y 2 mm de ancho, con un color más oscuro en el interior que el observado en el exterior de la diáfisis y sin fracturas radiadas. La lesión exhibía una evidente forma en V con bordes afilados, realzados y más oscuros tras la exposición al fuego.

La marca de corte detectada en este individuo se efectuó con el machete.

CONSERVACIÓN DE REGIONES ANATÓMICAS

Las proporciones de cabeza (263-361 gr), tronco (151-200 gr) y fragmentos no identificados (708-743 gr) fueron similares entre los tres individuos. Sin embargo, el porcentaje de fragmentos de las extremidades del individuo 3 (1151 gr) fue mayor que en los otros dos y el porcentaje de cenizas y polvo fue menor (634 gr) (Figura 6.5).

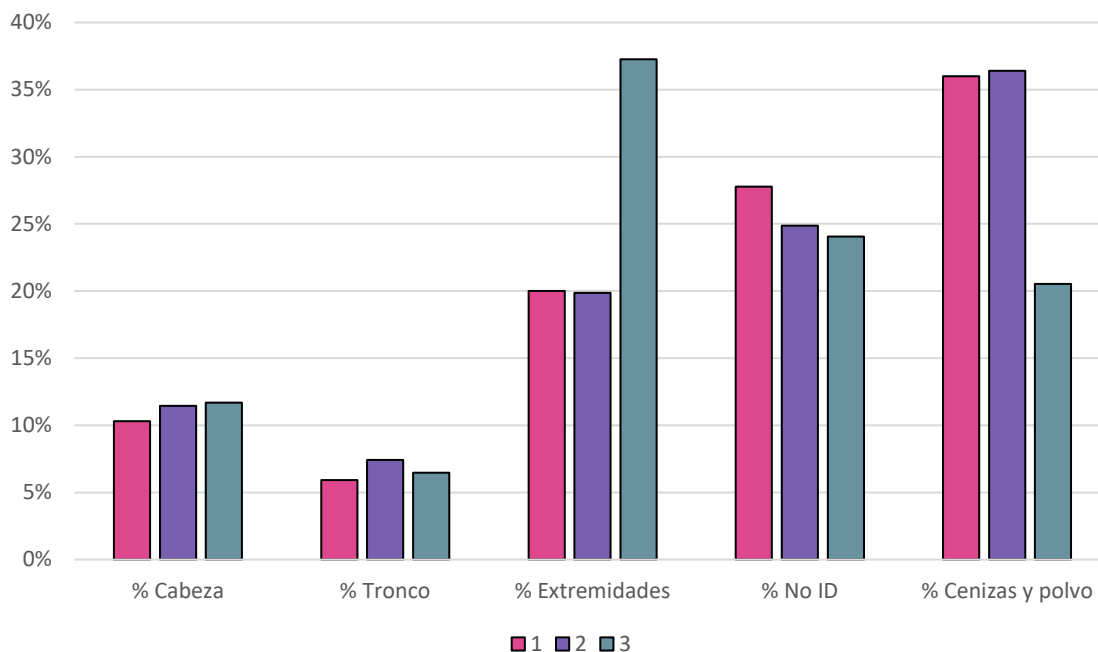


Figura 6.5. Comparación de proporciones de cada región anatómica entre los tres individuos. Cabeza: Cráneo+ Mandíbula; Tronco: Columna vertebral+ Costillas+ Esternón+ Cintura escapular + Cintura pélvica; Extremidades: Superior+ Inferior+ Manos+ Pies; No ID: Hueso esponjoso + Fragmentos pequeños ($\leq 2\text{mm}$) + Fragmentos no identificados.

6.1.4. SUPERVIVENCIA POST-CREMACIÓN DEL TRAUMA CORTANTE

Los resultados del porcentaje de supervivencia después del proceso crematorio se muestran en la tabla 6.6., en la que se proporciona una comparación entre el número de lesiones inducidas pre-cremación y la cantidad de marcas de corte detectadas durante el análisis antropológico. El número total de lesiones inducidas fue 55, 25 con el cuchillo de pan y 30 con el machete. El número total de marcas de corte detectadas durante el examen antropológico fue de siete. Por lo tanto, el trauma cortante se conservó con una proporción del 0.13.

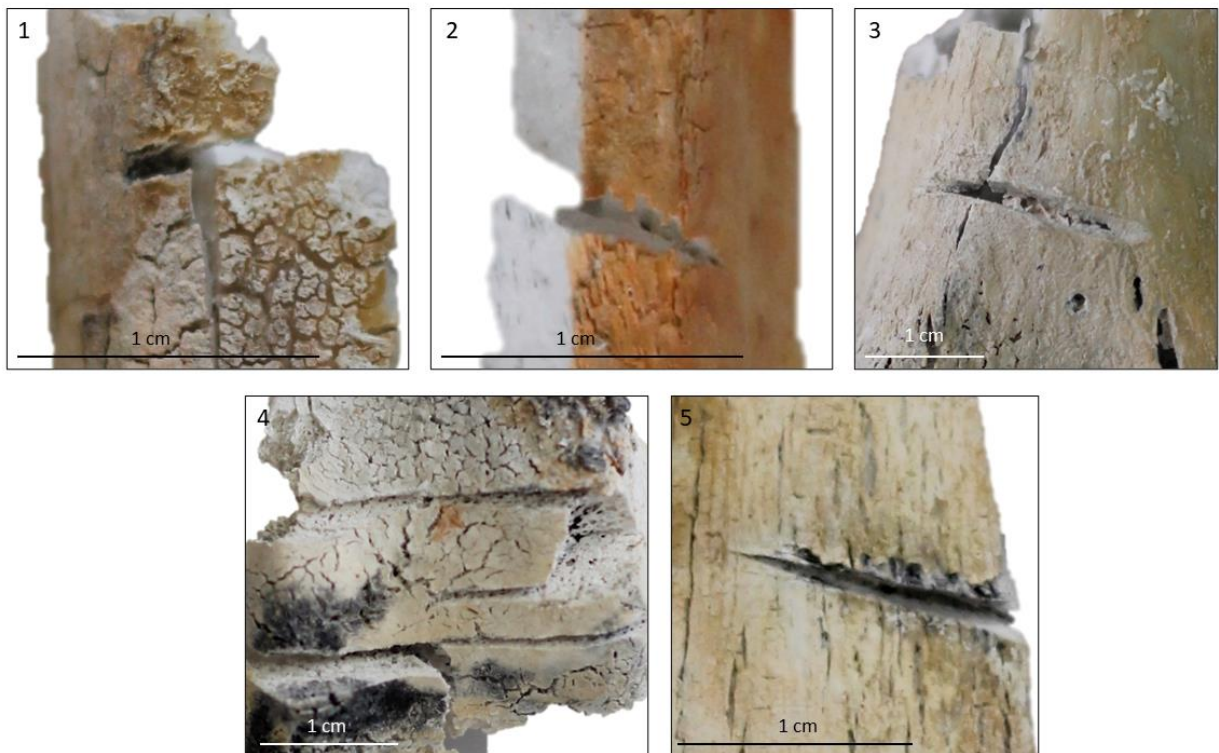


Figura 6.6. Marcas de corte pre-cremación detectadas durante el análisis antropológico. **1:** Corte realizado por el cuchillo de pan en el muslo (Individuo 1); **2:** Corte realizado por el cuchillo de pan en el muslo (Individuo 2); **3:** Corte realizado por el cuchillo de pan en la rodilla (Individuo 1); **4:** Cortes realizados por el cuchillo de pan en el tobillo (Individuo 1); **5:** Corte realizado por el machete en el muslo (Individuo 3).
Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

De los siete cortes, solo uno se indujo con el machete y se localizó en un fragmento de diáfisis de fémur del individuo 3. Las otras seis marcas de corte se realizaron con el cuchillo de pan, tres en el fémur y tres en el astrágalo derecho del individuo 1. No se detectaron marcas de corte ni en la cresta ilíaca ni en los carpos (Figura 6.7).

Tabla 6.6. Trauma cortante inducido antes del proceso crematorio vs marcas de corte detectadas durante el análisis antropológico. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Instrumento	Hueso	SFT	1	2	3	SUM	R	I	T
Cuchillo de pan	Fémur y Rótula	Inducido	5	5	0	10	0.05	0.24	0.13
		Detectado	2	1	0	3			
	Tarsos *	Inducido	5	5	0	10	0.05		
		Detectado	3	0	0	3			
	Carpos	Inducido	5	0	0	5	0		
		Detectado	0	0	0	0			
Machete	Fémur	Inducido	5	5	5	15	0.02	0.03	
		Detectado	0	0	1	1			
	Coxal	Inducido	5	5	5	15	0		
		Detectado	0	0	0	0			

Inducido: Lesiones inducidas pre-cremación; Detectado: Marcas de corte encontradas post-cremación; *: Todas las marcas de corte se encontraban en el astrágalo; SUM: Suma de los cortes; R: Proporción de las marcas de corte detectadas con respecto a las regiones anatómicas; I: Proporción de las marcas de corte detectadas con respecto a los instrumentos utilizados; T: Proporción de las marcas de corte con respecto al total (N=55).

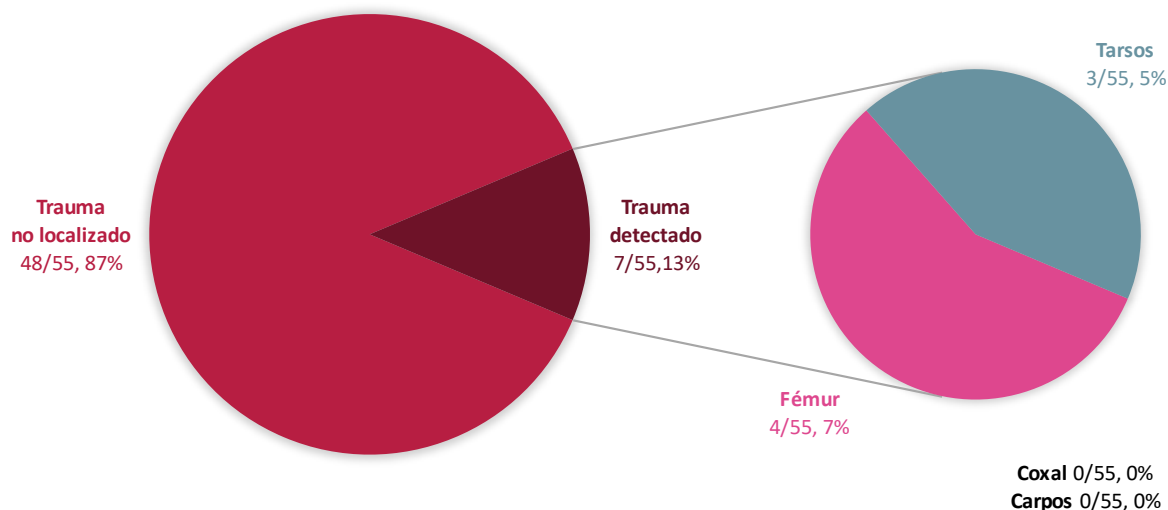


Figura 6.7. Porcentaje de marcas de corte encontradas en los tres individuos por región anatómica. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

6.1.5. PRUEBAS DE ERROR INTEROBSERVADOR

Las imágenes de las dos primeras pruebas se mencionan a lo largo del texto como #Número-prueba. El número corresponde a la muestra a analizar, la letra griega α corresponde a la prueba 1, y β a la prueba 2. Las fracturas analizadas se encuentran en los Anexos 4.4. y 4.5.

La primera prueba de error interobservador arrojó un coeficiente de error intraclase de 0.975. Este resultado indica que la diferenciación entre fracturas inducidas por el fuego con la metodología propuesta es fiable. Los participantes del Grupo B y C obtuvieron un porcentaje de aciertos mayor o igual a 0 %. La clasificación errónea más frecuente se encontró en la imagen #4 α . El segundo análisis estadístico arrojó un resultado de 0.945. Este resultado indica que la diferenciación de fracturas inducidas por el fuego y trauma cortante con la metodología propuesta es factible. En esta prueba, el Grupo A obtuvo la puntuación más alta, pero cabe mencionar que el participante 5 únicamente cometió tres errores. Las clasificaciones erróneas más recurrentes se encontraron en las imágenes #10 β , #11 β , #12 β y #14 β (Figura 6.8.).

El resultado del coeficiente de correlación intraclase para la tercera prueba de error interobservador arrojó un valor de 0.914. Este resultado indica que el trauma cortante detectado en el análisis antropológico fue reconocible en vista macroscópica y la probabilidad de confundirlo por cambios inducidos por el calor era baja. Todos los participantes obtuvieron una puntuación mayor o igual a 85 % y ninguno confundió una marca de corte por una fractura inducida por el fuego.

Tabla 6.7. Resultados del índice de correlación intraclase (ICC) para las tres pruebas de error interobservador.

Prueba error interobservador	ICC	95 % de confianza	
		Límite superior	Límite inferior
1	*0.975	0.990	0.950
2	*0.945	0.980	0.887
3	*0.914	0.996	0.815

*ICC \geq 0.90 indica que la fiabilidad de la prueba es excelente [39].

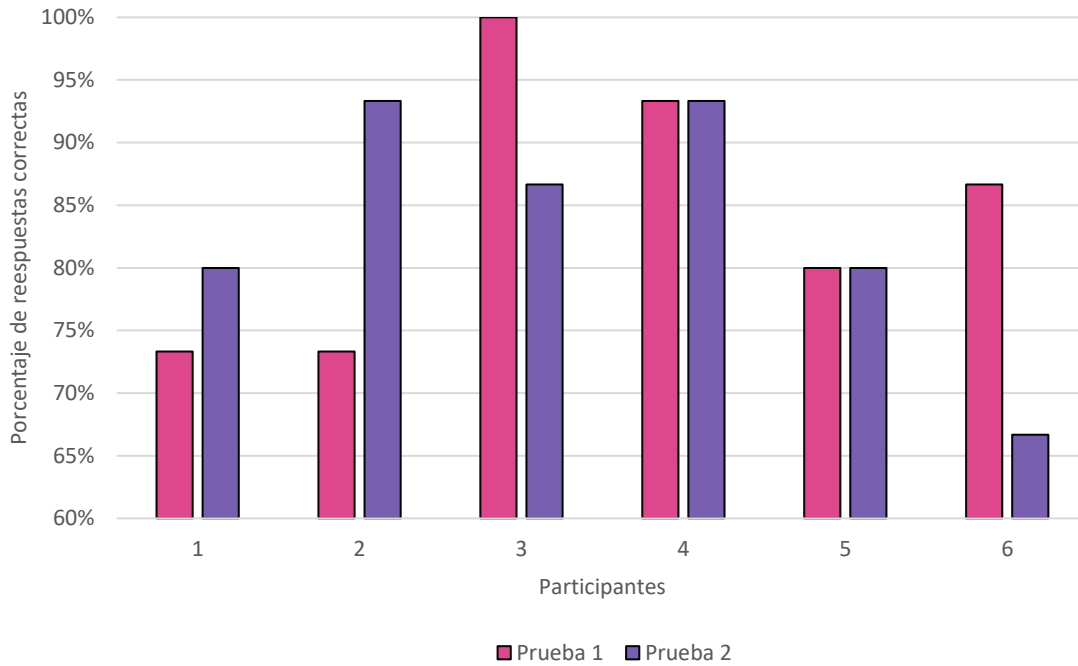


Figura 6.8. Porcentaje de respuestas correctas de cada participante en las pruebas de error interobservador 1 y 2. **1 y 2:** Grupo A; **3 y 4:** Grupo B; **5 y 6:** Grupo C. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [112].

6.2. DISCUSIÓN

6.2.1. DIFERENCIAS ENTRE FRACTURAS INDUCIDAS POR EL FUEGO Y TRAUMA CORTANTE

El primer objetivo del estudio del trauma cortante en cadáveres cremados fue comprobar si la diferenciación entre cambios inducidos por el fuego y trauma es factible utilizando una guía visual y un diagrama de flujo, incluso para estudiantes y participantes no familiarizados con la antropología forense. Las tres pruebas de error interobservador arrojaron un resultado excelente ($ICC > 0.9$), lo que demuestra que todos los cambios morfológicos resultantes por fuego y por traumatismo fueron reconocidos. Sin embargo, surgieron complicaciones durante el proceso de identificación. Aunque las marcas de corte son visibles y reconocibles en vista macroscópica, algunas fracturas inducidas por el fuego son susceptibles de ser confundidas con marcas de corte.

FRACTURAS INDUCIDAS POR EL FUEGO

Los resultados de la primera prueba indican que las fracturas inducidas por el fuego son reconocibles en vista macroscópica y que las descripciones utilizadas para definir las fracturas son muy claras, pero la dificultad aumenta exponencialmente cuando la identificación debe realizarse en un fragmento pequeño en un estado de conservación pobre. El diferenciar correctamente las fracturas entre sí tiene importancia forense y arqueológica, ya que restos óseos fracturados, deformados y calcinados podrían ser confundidos con trauma si no son identificados correctamente como cambios térmicos.



Figura 6.9. Preguntas que causaron confusión en los participantes de las pruebas de interobservador 1 y 2. **#4α:** Delaminación; **#15α** y **#12β:** Curvilínea antes y después del lavado. Figuras obtenidas del Anexo 4.4 y 4.5.

En general, los errores más significativos encontrados en la prueba de error interobservador 1 fueron en la imagen #4 α , en la que se pidió a los participantes que diferenciaron una fractura de tipo delaminación en un fragmento craneal. Este fragmento también presentaba una fractura de tipo pátina en la superficie superior del fragmento, por lo que tres participantes la categorizaron como tal. Las dos respuestas eran correctas, pero “delaminación” se consideró la opción válida ya que la flecha roja apuntaba a esta fractura. El otro ejemplo de delaminación (#6 β) fue identificado correctamente por todos los participantes, por lo que se descarta la posibilidad de que conlleve alguna complicación en su identificación.

La fractura curvilínea #12 β de la prueba de interobservador 2 fue clasificada como *step* por tres participantes. Esta fractura se define como “*transversa incompleta, que no llega a dividir el hueso en dos [...] líneas de ruptura transversales irregulares un poco curvadas [...]*” mientras que la curvilínea como “*semilunas concéntricas [...] con margen redondeado.*” (Anexo 4.3). La imagen #12 β ilustra un fragmento de diáfisis de fémur de unos 450 mm que muestra claramente un borde redondeado, pero también líneas irregulares un poco curvadas. Sin embargo, ese mismo fragmento óseo, pero antes de la limpieza fue utilizado en la prueba 1 (#15 α) y ahí cinco participantes la catalogaron correctamente como curvilínea. Es posible que la limpieza del fragmento expusiera rasgos identificativos ocultos y más fracturas inducidas por el calor, dificultando la distinción entre ambas. Todas las demás preguntas que contenían una fractura curvilínea fueron correctamente identificadas, con una frecuencia de entre 0 y 1 error, descartando la posibilidad de que la identificación no sea factible.



Figura 6.10. Preguntas que causaron confusión en los participantes de las pruebas de interobservador 1 y 2. #6 α , #9 β y #15 β : Pátina. Figuras obtenidas del Anexo 4.4 y 4.5.

Es interesante que *step* se utilizase para catalogar fracturas muy diferentes entre sí. Delaminación de la pregunta #4 α , pátina de las preguntas #6 α , #9 β y #15 β y curvilínea de la #12 β . Pátina se define como “*fractura superficial que parece finas grietas sobre el hueso*” (Anexo 4.3) y como un patrón superficial similar a un mosaico [101, 104, 110]. La definición es sencilla, por lo que todas las preguntas que representaban esta fractura fueron correctamente clasificadas con una frecuencia de entre 0 y 2 errores, rechazando que la identificación de pátina conllevara complicaciones. Estos resultados revelan que es la fractura en *step* la fractura inducida por el fuego que conlleva más dificultad en su diferenciación.

Se obtuvieron resultados estadísticos muy positivos en la primera prueba de error interobservador (ICC= 0.975), lo que indica que la fiabilidad es excelente [39]. Esto demuestra que la identificación de fracturas inducidas por el fuego es factible utilizando la clasificación aceptada por la literatura internacional de Herrmann & Bennet [110] y las definiciones propuestas por Symes et al. [104] complementadas con fotografías detalladas y un diagrama de flujo. Tanto el Grupo B como el C obtuvieron un porcentaje mayor o igual a 80 % de respuestas correctas por lo que, además, se concluye que estas fracturas son reconocibles incluso para individuos no familiarizados con el análisis de restos cremados.

TRAUMA CORTANTE

Los resultados obtenidos en la segunda y la tercera prueba de error interobservador indican que el trauma cortante es identificable en vista macroscópica y que puede distinguirse de los cambios morfológicos inducidos por la exposición al fuego. La capacidad de un investigador de reconocer trauma en hueso quemado mediante un test ciego ha sido demostrada previamente por Herrmann & Bennet [110] y de Gruchy & Rogers [123], y los resultados obtenidos en este estudio confirman y amplían sus conclusiones.

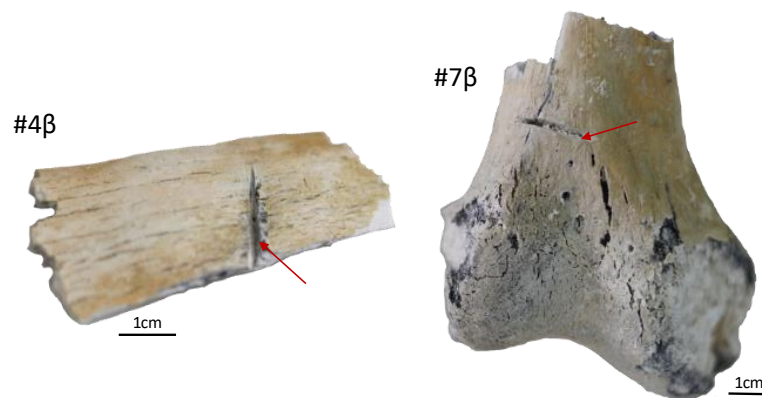


Figura 6.11. Trauma cortante pre-cremación utilizado en las pruebas de error interobservador 2 y 3. La numeración corresponde a la prueba 2. Figuras obtenidas del Anexo 4.5.

El trauma pre-cremación (#4β y #7β) fue identificado correctamente como tal por todos los participantes de las pruebas 2 y 3, ya que muestran las características morfológicas de trauma cortante y corto-contundente descritas por la literatura: la forma en V [119, 121, 123], corte lineal uniforme [118] y bordes afilados [94] (Figura 6.11.). Estos resultados confirman que las lesiones pre-cremación realizadas con cuchillo de pan y machete son reconocibles, incluso cuando los restos óseos son pequeños y se encuentran fragmentados. Los errores más recurrentes en la prueba de error interobservador 2 fueron en las preguntas #10β, #11β y #14β. Los participantes identificaron como trauma pre-cremación una fractura *step* de un fragmento de fémur (#10β), un trauma post-cremación de un fragmento de radio (#11β) y una fractura transversa de un fragmento de húmero (#14β).

Estos resultados exponen que las fracturas de tipo *step* pueden ser confundidas con trauma, como se observó en la pregunta #10β, en la cual dos participantes del Grupo C no reconocieron la fractura y la clasificaron como trauma pre-cremación (Figura 6.12.). De Gruchy & Rogers [123] afirmaron que el éxito en el análisis de restos cremados depende del tamaño y su preservación general y que si estos se han visto reducidos a pequeños fragmentos deformados tras la cremación, puede surgir cierta confusión. El hueso utilizado para la pregunta #10β era pequeño (375 cm) y estaba partido. En tales casos, se recomienda un análisis más detallado para verificar las siguientes características:

- Si la fractura observada es transversal al eje longitudinal del hueso o no tiene orientación específica.
- Si la fractura está ligeramente curvada o si es recta (únicamente aplicable para trauma cortante y corto-contundente, no para incisiones [94, 103, 110, 118, 119, 121, 123]).

En el caso de duda adicional, se recomienda verificar también si el trauma tiene líneas de fractura originadas por la disipación de la fuerza en el punto de impacto y complementar esto con otras características peri-mortem, documentadas para hueso fresco [133–135] y quemado [145]. Sin embargo, estas características varían según el estado de conservación de los restos y la fragmentación y pueden no ser visibles [93, 123].

Este resultado puede explicarse analizando las respuestas de los participantes durante la primera y segunda prueba de error interobservador. La fractura *step* fue identificada erróneamente cuatro veces y se confundió con otras fracturas en seis ocasiones. Parece haber una falta de comprensión generalizada acerca de lo que es una fractura de tipo *step* y, por tanto, fue propensa a errores de identificación. Autores previos coinciden en que esta fractura, también llamada transversa recta, está frecuentemente asociada con fracturas longitudinales, es perpendicular al eje principal del hueso y atraviesa la diáfisis de forma transversal [101, 104, 110]. Si bien Herrmann & Bennet [110] incluyen las fracturas transversa y *step* en la

misma categoría de fracturas rectas [straight transverse], Symes et al. [104] las diferencia en dos tipos diferentes. La fractura en *step* se identificó correctamente en huesos largos bien preservados (#9 α , #11 α y #13 β) con una frecuencia de entre 0 y 2 errores. Sin embargo, la identificación se complicó cuando eran pequeños fragmentos donde la fractura longitudinal no estaba presente debido al estado de conservación pobre de la muestra. En estos casos, surgieron dudas y clasificaciones erróneas. En el presente experimento se ha demostrado que la fractura en *step* es susceptible de ser confundida con trauma cortante, pero también con otros cambios inducidos por el calor cuando los restos óseos se encuentran fragmentados y en mal estado de preservación.



Figura 6.12. Preguntas que causaron confusión en los participantes de la prueba de error interobservador 2. #10 β : *Step*; #11 β : Trauma post-cremación; #14 β : Transversa. Figuras obtenidas del Anexo 4.5.

Los participantes también tuvieron problemas durante la identificación del trauma post-cremación (#11 β) (Figura 6.12.). Dos de seis dejaron la pregunta en blanco, aunque cabe destacar que los dos participantes del Grupo C la clasificaron correctamente. La definición propuesta “*plano de corte muy irregular, cortical astillada*” (Anexo 4.3) fue difícil de evaluar en la imagen, puesto que no se podía analizar la textura manualmente. No obstante, no fue confundido con trauma pre-cremación ni con otras fracturas inducidas por el fuego. Sus características morfológicas eran similares al trauma post-mortem, con apariencia quebradiza y astillada [133–135], por lo que los participantes no la clasificaron erróneamente como trauma pre-cremación, definido como “*fractura [...] recta, con márgenes afilados [...] lineal, uniforme [...]*” (Anexo 4.3). Se ha verificado que el trauma post-cremación, incluso el plano de corte, no se puede confundir con trauma pre-cremación, como confirmaron Pope & Smith [103]. Sin embargo, es necesario realizar más estudios experimentales para proporcionar características morfológicas identificativas que no se basen únicamente en examinar la textura.

La fractura transversa de la pregunta #14 β fue identificada de forma incorrecta como trauma por dos participantes (Figura 6.12.). El participante 3 la catalogó como trauma pre-cremación y el participante 6 como trauma post-cremación. La imagen muestra el plano de corte de una fractura transversa en una diáfisis de húmero. Los resultados obtenidos demuestran que fragmentos bien preservados de fracturas transversas completas pueden parecer trauma cortante si el plano de corte es relativamente plano.

Los restos cremados son frágiles y quebradizos y no es improbable que los cambios producidos por el fuego oculten o destruyan los principales rasgos identificativos del trauma, como las estriaciones y las líneas de fractura [116, 123, 124]. En general, la fractura transversal no es completamente plana, a veces presenta una curvatura más elevada en el borde que puede ser imperceptible a simple vista, lo que hace que los dos fragmentos de diáfisis no encajen a la perfección. Esto se debe al calentamiento y enfriamiento del hueso que provoca un fallo estructural durante la exposición al fuego [101, 104, 106, 151], mientras que cuando se quema un hueso seccionado, el calor afecta a todas las regiones por igual desde el comienzo del proceso. Por el contrario, si se corta por la mitad el hueso una vez quemado el interior no ha sido sometido a las mismas temperaturas que el exterior. Esta variación conlleva unas características morfológicas únicas.

Es conveniente añadir que la misma fractura transversal de húmero se utilizó en la prueba 1 (#1 α), pero dispuesta de forma horizontal y con ambos fragmentos uno al lado del otro. En este caso, fue catalogada correctamente por cinco participantes. Se deduce con estos resultados que es el plano de corte lo que presenta dificultades durante el análisis antropológico, aunque un análisis detallado de los rasgos morfológicos debería ser suficiente para una identificación correcta (Figura 6.13).



Figura 6.13. Fractura transversal utilizada en la prueba de error interobservador 1 (#1 α) y en la 2 (#14 β). Figuras obtenidas del Anexo 4.4 y 4.5.

Los valores estadísticos en la segunda y tercera prueba de error interobservador fueron muy positivos (ICC= 0.945 y ICC = 0.914), lo que indica que la fiabilidad es excelente [39]. Por tanto, se ha demostrado que la diferenciación macroscópica entre cambios inducidos por el fuego y trauma cortante es factible utilizando la guía visual y el diagrama de flujo diseñados, pero es recomendable estar muy familiarizado con todos los cambios tafonómicos producidos por el calor para evitar posibles errores. Todos los participantes de la segunda y la tercera prueba de error interobservador obtuvieron un porcentaje mayor o igual a un 80 % de respuestas correctas, excepto el participante 6 del Grupo C.

Estos resultados son coherentes con la literatura [110, 123], el trauma cortante es reconocible mediante el análisis de sus características macroscópicas. Sin embargo, es esencial que se realice un examen detallado de las fracturas inducidas por el fuego que han demostrado ser propensas a una clasificación errónea. Cambios causados por el calor se confundieron con traumatismo cortante cinco veces en la prueba de error interobservador 2, pero no al revés. Se concluye que el trauma cortante evaluado en el presente estudio fue reconocido correctamente por todos los participantes y, por tanto, se debe prestar especial atención durante la identificación de las fracturas inducidas por la exposición al fuego.

Los resultados obtenidos en este experimento respaldan la conclusión de que la diferenciación macroscópica entre trauma cortante y daño térmico es factible, y que la guía visual y el diagrama de flujo propuestos en esta tesis doctoral pueden utilizarse como una herramienta adicional durante el análisis antropológico, incluso cuando aún no se tienen conocimientos avanzados en el análisis de restos cremados.

6.2.2. SUPERVIVENCIA Y DETECCIÓN DE MARCAS DE CORTE

El segundo objetivo del experimento fue analizar la supervivencia y detección de trauma cortante relacionado con el desmembramiento en un cadáver quemado y todos los factores que contribuyen desde el principio del proceso a ocultar las marcas de corte. Hasta la fecha, no se han realizado experimentos en Europa con cadáveres enteros, por lo que este estudio piloto es pionero en el campo de la antropología forense. Se planteó la hipótesis de que no todas las lesiones realizadas al cadáver serían detectadas tras la cremación debido a numerosos factores intrínsecos y extrínsecos, y esa hipótesis inicial se confirmó con los resultados obtenidos: de las 55 lesiones inducidas, únicamente siete fueron detectadas después de la cremación, un 13 % del total.

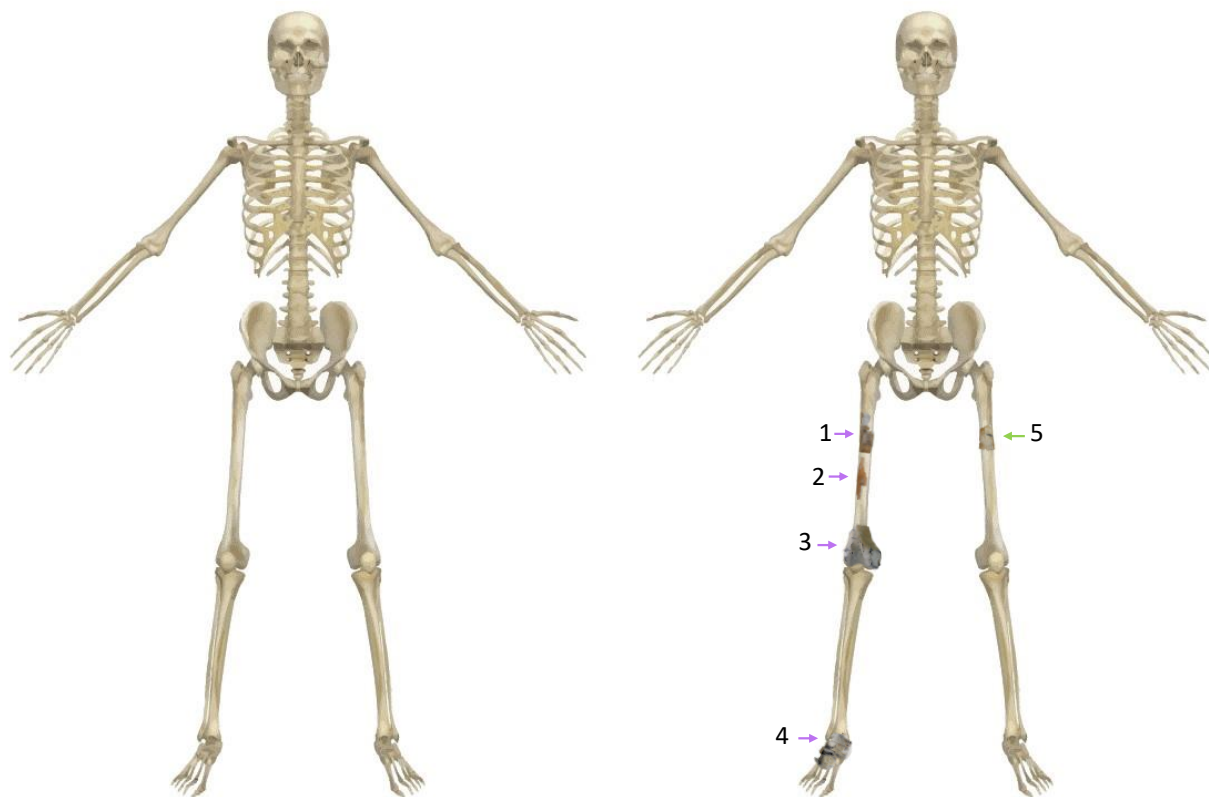


Figura 6.14. La figura de la izquierda representa las regiones donde se realizó el trauma cortante inducido con el cuchillo de pan (morado) y el machete (verde) de los individuos 1, 2 y 3 (N = 55). La figura de la derecha representa el trauma cortante detectado durante el análisis antropológico (N = 7). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

INFLUENCIA DE VARIABLES DURANTE EL TRAUMATISMO CORTANTE

Durante la mutilación y el desmembramiento del cadáver, el trauma podría no detectarse si el impacto ha afectado únicamente al tejido blando, ya que las lesiones inducidas en regiones que contienen tejido protector pueden verse mitigadas [69, 148]. Los resultados obtenidos son concordantes con los hallazgos de Koch & Lambert [94], quienes indicaron que el fuego puede ocultar los cortes superficiales debido a la carbonización de la piel. En el caso de una incineración completa, se pierde todo el daño realizado únicamente en tejido blando, como se ha observado en este experimento. De 25 lesiones realizadas en el muslo y en la rodilla, se localizaron únicamente cuatro cortes.



Figura 6.15. Trauma cortante realizado con el machete en el fémur izquierdo del individuo 3. Las características del corte han quedado realizadas después de la cremación. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Los individuos 1 y 2 conservaban abundante tejido protector en la porción distal del cuerpo y las lesiones inducidas con el machete en estas regiones fueron mitigadas en su mayoría. Esta observación realizada durante el análisis macroscópico del trauma y descrita en la sección 6.1.1., se ve demostrada en los resultados: únicamente una de las marcas de corte en fémur fue inducida con el machete y se realizó en la extremidad inferior del individuo 3, que tenía putrilago blando en lugar de tejido blando compacto (Figura 6.15.). Por el contrario, con el cuchillo de pan resultó más sencillo afectar el hueso y potencialmente desmembrar la región durante la manipulación del cadáver.

Seccionar el cartílago durante el corte de las superficies articulares no presentó mayor dificultad. Esta observación se comprobó durante el análisis antropológico cuando fueron detectadas tres marcas de corte en el astrágalo derecho del individuo I (Figura 6.16.). Sin embargo, no se detectó evidencia del trauma cortante en los carpos, por lo que es probable que como la lesión se indujo con la muñeca hiperextendida y cortando transversalmente, únicamente se seccionara el túnel carpiano y el área cartilaginosa, perdiéndose cualquier evidencia del trauma durante la incineración del tejido blando.

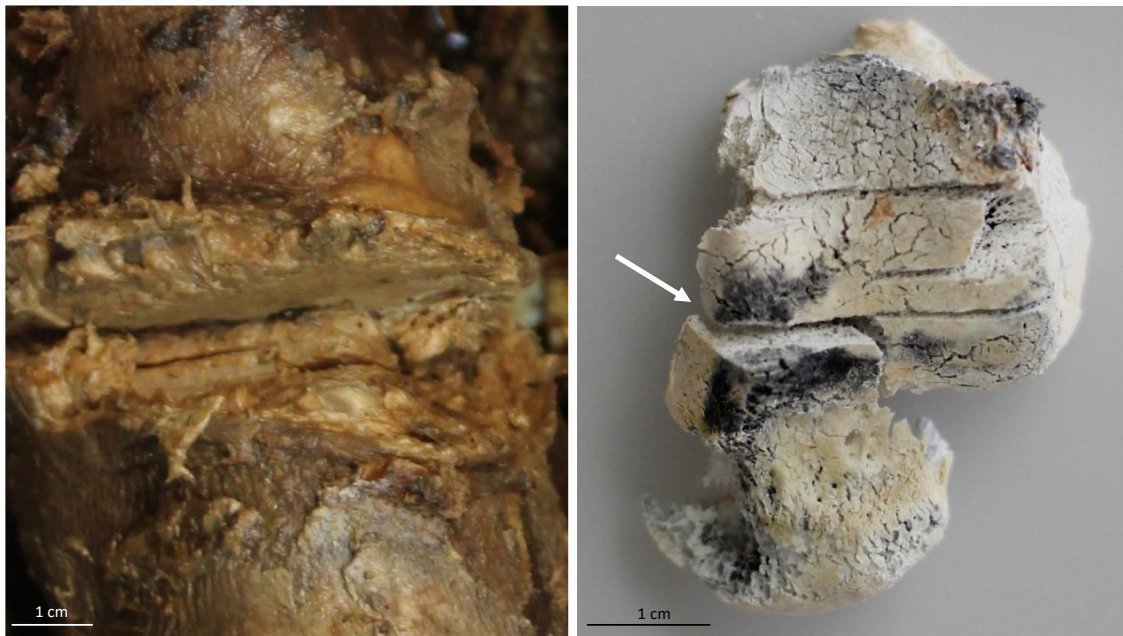


Figura 6.16. Trauma cortante realizado con el cuchillo de pan en el pie izquierdo del individuo I. La flecha apunta a una fractura completa. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Según Pachar Lucio [69], los cuchillos y otros objetos cortantes se emplean en casos de mutilación para descarnar tejido blando y músculos, mientras que las sierras y objetos corto-contundentes se utilizan para cortar en dos el hueso [54, 74–76]. Los resultados obtenidos durante la manipulación de los cadáveres son coherentes con su afirmación, la separación completa del fémur a través del muslo no habría sido posible utilizando el machete de este experimento. Seccionar la pierna sin apartar primero el tejido blando circundante ha demostrado ser ineficaz. Sin embargo, con el cuchillo de pan el tejido se habría cortado al mismo tiempo que el hueso, cercenando el músculo con un movimiento “hacia delante-hacia atrás” como una sierra [43, 76] y facilitando la amputación de la extremidad. Estos resultados obtenidos explican el bajo porcentaje de supervivencia de las lesiones realizadas con el machete en el muslo y sugieren que la supervivencia del trauma depende del tipo de instrumento utilizado y la manera en la que se induce la lesión.

INFLUENCIA DE VARIABLES DURANTE EL PROCESO CREMATORIO

Los cadáveres incinerados a altas temperaturas por largos periodos de tiempo generan restos óseos calcinados muy frágiles que pueden fragmentarse fácilmente durante la recolección, el transporte y el análisis antropológico [9, 38, 46, 102]. Además, las marcas de corte pueden destruirse durante el proceso crematorio si los restos óseos se manipulan agresivamente o si el trauma se realizó en regiones anatómicas menos resistentes al fuego. Los efectos de la fragmentación manual durante la cremación se observan en el individuo 2, que tenía la mayor cantidad de cenizas, polvo y fragmentos pequeños no identificados (Figura 6.5.). Estos restos óseos se encontraban muy fragmentados y calcinados a causa de la intensa manipulación realizada por el técnico en los minutos 38 y 63 de la cremación (Tabla 6.3.). El manejo no fue tan intenso durante la cremación del individuo 3, por lo que los fragmentos fueron de mayor tamaño y estaban mejor preservados.



Figura 6.17. Intensa fragmentación de los individuos 1, 2 y 3. La fila de arriba representa los fragmentos pequeños y no reconocibles, y la fila de abajo ilustra el polvo de ataúd y las cenizas. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

En el presente experimento todos los restos óseos fueron recogidos del horno crematorio, una actividad monitorizada por el técnico. En un caso forense, la evidencia del trauma puede perderse si no se recuperan todos los fragmentos de la escena [93, 116]. La fragmentación y la destrucción de regiones anatómicas frágiles afectan al porcentaje de supervivencia del trauma, como ocurrió con la cintura pélvica de todos los individuos. El coxal quedó reducido a unos pocos huesos quebradizos y fragmentados con apariencia esponjosa y, por ello, las marcas de corte realizadas con el machete no fueron detectadas. El

trauma cortante podría no haber afectado al hueso en el individuo 1 debido al tejido protector, pero en los individuos 2 y 3 en los que se evaluaron y confirmaron las marcas de corte en la región ilíaca, la pérdida de las evidencias del trauma fue resultado de la destrucción del coxal.

Respecto al porcentaje de supervivencia del trauma realizado a través de regiones articulares, únicamente se detectaron una marca de corte en la rodilla (Figura 6.18.) y tres en el astrágalo (Figura 6.16.) del individuo 1. La buena preservación de los huesos de la extremidad inferior contribuyó a su supervivencia. Por el contrario, los restos óseos del individuo 2 quedaron muy dañados y fragmentados tras la intensa manipulación acontecida durante la cremación, lo que pudo enmascarar la evidencia del trauma. Tanto la epífisis del fémur como el astrágalo del individuo 2 estaban rotos en fragmentos de pequeño tamaño que se mezclaron con los restos óseos no identificados, por lo que no se detectaron evidencias de las lesiones realizadas en rodilla derecha y pie izquierdo.

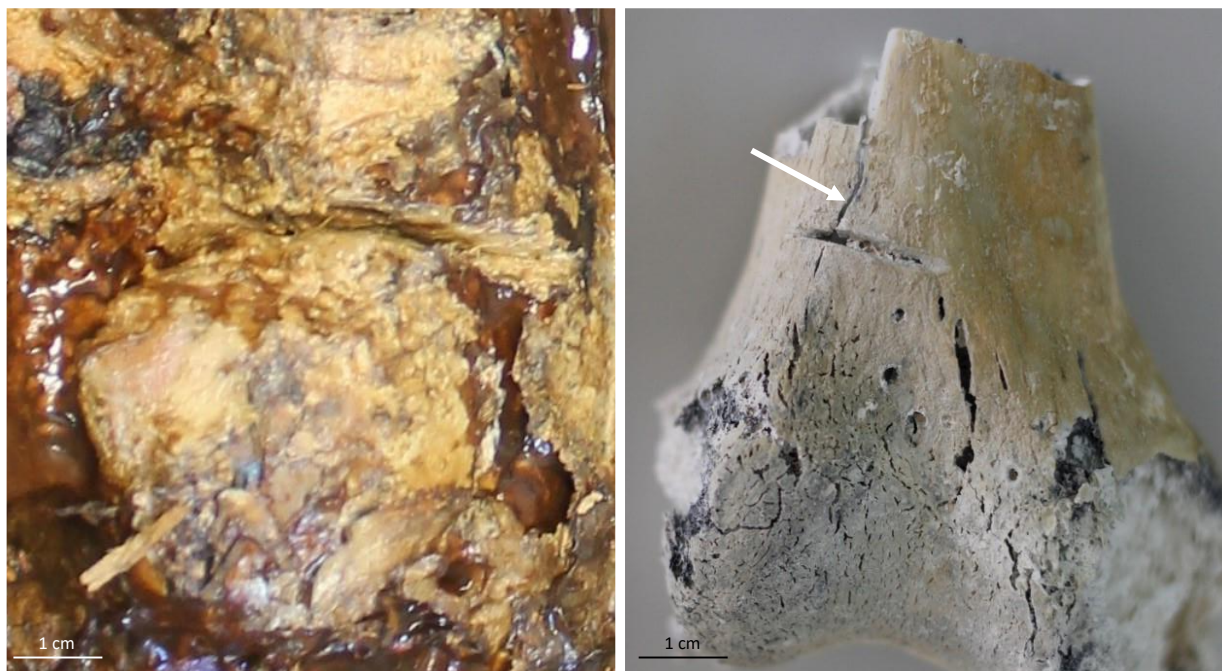


Figura 6.18. Trauma cortante realizado con el cuchillo de pan en la rodilla izquierda del individuo 1. La flecha apunta a una línea de fractura. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [95].

Ha quedado demostrado que la fragmentación es una de las variables más influyentes en la detección post-cremación del trauma, confirmando y ampliando las conclusiones de Emanovksy et al. [93]. Debe considerarse que las variables intrínsecas del individuo influyen también en la resistencia al fuego. Patologías óseas, menopausia, avanzada edad y otros factores interpersonales tienen un impacto considerable en la firmeza del hueso [38].

INFLUENCIA DE VARIABLES DURANTE EL ANÁLISIS ANTROPOLÓGICO

Una vez observadas, las marcas de corte eran visibles en vista macroscópica y no fueron confundidas con fracturas inducidas por el fuego, como mostraron las pruebas de error interobservador 2 y 3. El descubrimiento de traumatismo durante la reconstrucción anatómica requiere de un conocimiento avanzado de restos cremados, puesto que la identificación de fragmentos es un paso crucial durante el análisis antropológico para evitar pasar por alto evidencias del trauma cortante [132]. En el caso de una lesión que cause una fractura completa en el hueso, la reconstrucción de los fragmentos puede resultar en la detección de una marca de corte, como ocurrió en el astrágalo del individuo 1 (Figura 6.16). Estas pautas también se aplican al hueso intacto, pero es fundamental para el análisis de restos cremados.

Este estudio preliminar expone la importancia de estar familiarizado con los cambios tafonómicos inducidos por el fuego y con la anatomía ósea. Se enfatiza la habilidad del antropólogo de localizar e identificar rasgos morfológicos para reconocer fragmentos esqueléticos, ya que brindan información valiosa sobre los eventos previos a la cremación. Diferenciar trauma en regiones vitales —costillas o cervicales [152, 153]— de lesiones relacionadas con la mutilación y el desmembramiento —marcas de corte en regiones articulares y diáfisis de hueso largo [37, 41, 69]— es información imprescindible a tener en cuenta al analizar el trauma cortante en un contexto forense [75, 76, 81].

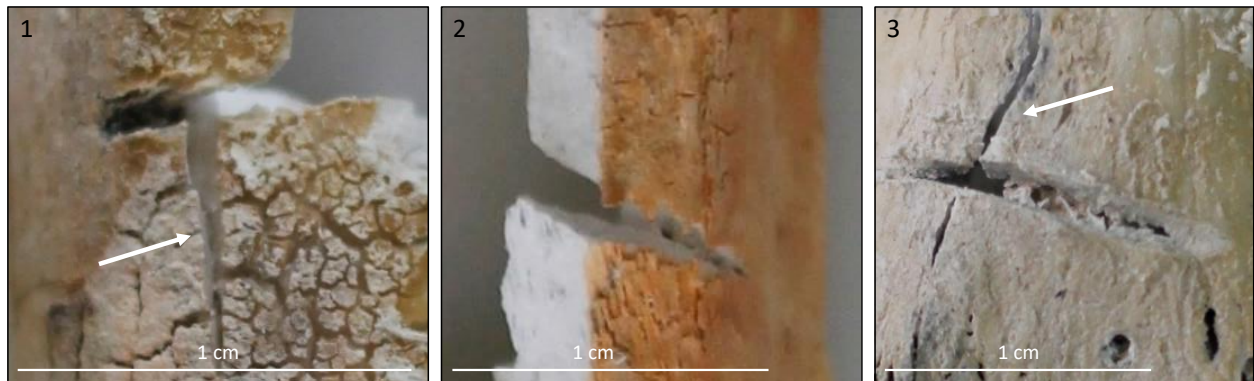


Figura 6.19. Modificaciones causadas por el calor observadas después del proceso crematorio. **1:** Línea de fractura y pátina alrededor del corte realizado por el cuchillo de pan (Individuo 1); **2:** Intensa delaminación y deformación del corte realizado por el cuchillo de pan (Individuo 2); **3:** Línea de fractura que atraviesa el corte realizado por el cuchillo de pan (Individuo 1). Figuras obtenidas de la figura 6.6.

Los huesos quemados sufren una deformación pronunciada y fragmentación intensa y la identificación del hueso específico y su reconstrucción puede no ser obvia a primera vista, como sostienen Alunni et al. [46], Fairgrieve [24] y Jaskulska [25]. Las características morfológicas del trauma cortante se reconocieron durante el análisis antropológico y algunas fueron incluso más claramente visibles tras la cremación, como demostraron previamente Robbins et al. [116] y Macoveciuc et al. [121] en sus respectivos estudios. Las líneas de fractura causadas por el punto de impacto se ampliaron por la acción térmica (Figura 6.19. #1 y #3) y en la marca de corte inducida por el machete en el individuo 3 se observó un color negrozco que realzó su forma (Figura 6.15.). Sin embargo, el análisis antropológico se complicó notablemente cuando los rasgos identificativos del trauma se encontraban enmascarados debido a cambios inducidos por la exposición al fuego. Las características de la marca de corte en el fémur del individuo 2 se modificaron debido a la delaminación y a la fragmentación, lo que complicó su identificación (Figura 6.19. #2).

El trauma inducido con el machete fue sencillo de reconocer por la forma de V y los bordes afilados que quedaron más visibles tras el proceso crematorio (Figura 6.15.). Por el contrario, el cuchillo de pan causó lesiones con diferentes características morfológicas. La lesión de la diáfisis del fémur del individuo 1 claramente mostraba una forma en U cuadrada más típica de las marcas de sierra [75, 116, 124] (Figura 6.19. #1), mientras que el corte de la epífisis tenía una forma de V ancha (Figura 6.19. #3). Estos resultados son concordantes con las conclusiones de Amadasi et al. [74], los cuchillos pueden producir cortes con características ambiguas y patrones inusuales dependiendo de la manera en la que se realice el traumatismo. Por tanto, estos resultados demuestran que el trauma cortante es detectable en vista macroscópica, pero debe extremarse la precaución al analizar las características identificativas para determinar el tipo de instrumento utilizado.

La capacidad de distinguir marcas de corte de las fracturas inducidas por el fuego y su importancia forense se ha tratado en la sección 6.2.1. y en esta se ha demostrado que el análisis de las variables que influyen negativamente en la supervivencia del trauma es esencial para dilucidar el comportamiento de las lesiones durante la cremación. El presente estudio ha confirmado que, si bien el trauma cortante es visible y reconocible, no toda la evidencia sobrevive a la exposición al fuego. Las marcas de corte pueden verse mitigadas, modificadas, destruidas o pasadas por alto desde el inicio del procedimiento debido a múltiples factores como la presencia de tejido blando protector durante el desmembramiento, el tipo de instrumento utilizado, la manera de inducir la lesión y la región anatómica donde se realice, las condiciones del proceso crematorio, la fragmentación intencional de los restos óseos durante o después de la cremación y los cambios inducidos por el calor. Todas estas variables influyen en la supervivencia post-cremación y en la detección de traumatismo cortante y contribuyen a ocultar las evidencias del trauma.

6.3. ANEXOS

6.3.1. ANEXO 6.1: PESO EN GRAMOS DE TODAS LAS REGIONES ANATÓMICAS DE LOS INDIVIDUOS CONTEMPORÁNEOS. TABLA OBTENIDA DEL MATERIAL SUPLEMENTARIO DE MATA TUTOR ET AL. [95]

Regiones anatómicas		1	2	3
Cráneo	Neurocráneo	210	219	219
	Esplacnocráneo	31	82	102
	Mandíbula	22	39	40
Columna vertebral		57	125	88
Costillas		25	25	32
Esternón		3	0	0
Cintura escapular y cintura pélvica	Clavículas	17	14	12
	Escápulas	25	28	33
	Coxal	24	23	35
	Sacro	0	5	0
Extremidad superior	Húmeros	73	90	92
	Cúbitos	37	33	91
	Radios	26	34	28
Extremidad inferior	Fémures	132	81	219
	Tibias	27	42	221
	Peronés	13	16	39
	Rótulas	13	5	19
Huesos largos no identificados		142	190	255
Manos y pies	Dedos	24	37	80
	Carpos	2	5	12
	Tarsos	21	56	95
Hueso esponjoso		8	18	23
Fragmentos pequeños (≤ 2 mm) y no identificados		700	720	720
Cenizas y polvo del ataúd		918	1080	634
Total restos óseos identificados		932	1167	1735
Total		2550	2967	3089

6.3.2. ANEXO 6.2: RESPUESTAS DE LOS PARTICIPANTES EN LAS PRUEBAS DE ERROR INTEROBSERVADOR I Y 2. TABLA OBTENIDA DE MATA TUTOR ET AL. [112]

Prueba 1							
N	1	2	3	4	5	6	Resultado
1	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1
4	5	5	6	4	5	6	6
5	5	5	5	5	5	5	5
6	2	5	5	5	4	5	5
7	3	3	3	3	3	3	3
8	2	3	3	3	3	3	3
9	4	4	4	4	4	4	4
10	1	2	1	1	1	1	1
11	4	6	4	4	2	4	4
12	1	2	1	1	1	1	1
13	3	3	3	3	3	2	3
14	3	2	2	2	2	2	2
15	3	3	3	3	3	6	3
Total grupo	73 %	73 %	100 %	93 %	80 %	87 %	

Prueba 2							
N	1	2	3	4	5	6	Resultado
1	2	2	2	2	2	10	2
2	3	3	3	3	3	3	3
3	8	6	8	8	8	8	8
4	9	9	9	9	9	9	9
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	9	9	9	9	9	9	9
8	1	1	1	1	1	1	1
9	5	5	5	5	5	4	5
10	4	4	4	4	9	9	4
11	999	10	999	10	10	10	10
12	4	3	3	4	5	4	3
13	4	4	4	4	4	4	4
14	2	2	9	2	2	10	2
15	3	5	5	5	4	5	5
Total grupo	80 %	93 %	87 %	93 %	80 %	67 %	

1: Longitudinal; 2: Transversa; 3: Curvilínea; 4: Step; 5: Pátina; 6: Delaminación; 7: Línea de quemado; 8: *Warping*; 9: Trauma pre-cremación; 10: Trauma post-cremación. Grupo A: 1 y 2; Grupo B: 3 y 4; Grupo C: 5 y 6; Resultado: Respuesta correcta; 999: Respuesta en blanco.

Capítulo 7. ESTUDIO DE MARCAS DE CORTE EN HUESOS QUEMADOS

*Many that live deserve death and some that die
deserve life. Can you give it to them? Then do not be so
eager to deal out death in judgement. For even the wise
cannot see all ends.*

Gandalf the Grey (The Fellowship of the Ring)

7.1. RESULTADOS

7.1.1. TRAUMA CORTANTE

Las medidas tomadas antes y después del proceso crematorio junto con el número de fracturas inducidas por el calor que afectaron a las marcas de corte en cada sección del hueso se encuentran en la tabla 7.1. El cuchillo de pan indujo las lesiones más largas y la sierra las más anchas. Este patrón se conservó después de la incineración. La rugosidad promedio en hueso intacto se mantuvo constante para todas las herramientas, mientras que después del proceso crematorio varió sustancialmente.

Tabla 7.1. Estadísticas descriptivas. Medidas antes y después del proceso crematorio para cada sección del hueso. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [141].

Instrumento	S	Pre-cremación			Post-cremación			
		Longitud (mm)	Anchura (µm)	Rugosidad (µm)	Longitud (mm)	Anchura (µm)	Rugosidad (µm)	FIF
Cuchillo de pan	1	15.55 ± 2.41	33.20 ± 6.21	25.12 ± 4.48	13.13 ± 1.99	44.20 ± 9.22	23.16 ± 9.30	4/5
	2	17.12 ± 1.24	78.50 ± 15.15	23.48 ± 1.56	13.93 ± 1.85	63.60 ± 10.27	28.84 ± 7.30	3/5
	3	16.31 ± 0.68	99.40 ± 24.15	24.68 ± 0.75	11.23 ± 1.57	81.50 ± 10.74	35.40 ± 6.67	5/5
	4	15.40 ± 0.54	113.80 ± 25.04	22.65 ± 1.22	9.85 ± 1.02	91.70 ± 6.66	37.28 ± 1.72	5/5
	5	15.53 ± 0.53	118.80 ± 11.39	24.74 ± 1.47	10.00 ± 0.51	93.90 ± 11.07	38.25 ± 2.39	5/5
	6	18.45 ± 1.91	136.00 ± 12.60	20.51 ± 1.33	16.11 ± 1.09	93.38 ± 9.19	40.53 ± 6.09	5/5
Sierra	1	12.04 ± 2.05	127.25 ± 15.52	16.24 ± 4.78	9.56 ± 1.26	128.80 ± 14.82	27.75 ± 4.63	2/5
	2	13.99 ± 0.17	185.60 ± 16.04	17.48 ± 3.30	11.14 ± 1.01	152.25 ± 10.16	25.74 ± 3.53	5/5
	3	13.55 ± 0.22	185.40 ± 13.26	17.95 ± 1.69	10.21 ± 0.45	169.60 ± 11.67	27.97 ± 3.00	5/5
	4	13.23 ± 0.66	204.60 ± 5.31	18.08 ± 0.97	9.74 ± 0.71	183.20 ± 12.62	29.98 ± 3.49	5/5
	5	12.95 ± 0.57	203.40 ± 16.16	23.49 ± 3.26	9.27 ± 1.27	180.40 ± 14.51	31.06 ± 3.57	5/5
	6	17.74 ± 0.61	214.50 ± 2.86	39.77 ± 9.17	15.16 ± 0.75	212.67 ± 11.15	26.87 ± 4.10	3/5
Cuchillo serrado	1	7.76 ± 1.79	19.50 ± 2.85	9.45 ± 2.60	5.92 ± 0.97	41.80 ± 4.79	26.21 ± 3.44	2/5
	2	7.80 ± 0.55	61.30 ± 16.58	19.07 ± 3.60	6.04 ± 0.98	65.90 ± 9.43	37.90 ± 3.41	5/5
	3	8.00 ± 0.68	91.40 ± 5.05	20.85 ± 2.46	6.27 ± 0.85	77.30 ± 19.39	39.86 ± 4.97	1/5
	4	8.82 ± 0.55	85.70 ± 7.70	20.85 ± 6.05	7.33 ± 0.31	72.90 ± 10.11	37.24 ± 3.70	0/5
	5	8.95 ± 0.78	116.50 ± 19.93	15.02 ± 2.17	7.71 ± 0.74	89.10 ± 15.75	39.85 ± 3.22	0/5
	6	9.78 ± 0.33	103.10 ± 5.08	13.48 ± 1.23	8.51 ± 0.45	104.20 ± 12.94	44.79 ± 2.68	0/5
Machete	1	6.15 ± 0.50	25.90 ± 3.44	22.39 ± 0.61	5.21 ± 0.43	56.80 ± 4.63	33.19 ± 1.27	0/5
	2	7.77 ± 1.51	58.20 ± 14.33	17.82 ± 2.83	6.21 ± 1.52	60.25 ± 4.10	34.45 ± 4.96	5/5
	3	7.79 ± 0.58	70.00 ± 9.88	16.60 ± 1.30	6.50 ± 0.29	85.90 ± 23.35	49.03 ± 5.26	0/5
	4	7.97 ± 0.38	86.10 ± 19.34	17.58 ± 1.06	5.97 ± 0.32	92.20 ± 15.35	50.50 ± 5.75	0/5
	5	7.38 ± 1.41	79.80 ± 16.80	19.16 ± 2.16	6.88 ± 0.87	79.60 ± 21.88	44.54 ± 2.78	3/5
	6	9.55 ± 0.43	83.10 ± 16.54	19.47 ± 1.60	8.16 ± 0.23	101.80 ± 25.65	35.62 ± 2.41	0/5

S: Sección del hueso; FIF: Número de fracturas inducidas por el fuego que afectan a las marcas de corte.



Figura 7.1. Muestras antes y después del proceso crematorio. Los dos fémures sufrieron intensas modificaciones derivadas del calor que rompieron o modificaron el 90.00 % de las marcas de corte en el fémur 1 (FIBK) y el 83.33 % en el fémur 2 (F2S).

7.1.2. RUGOSÍMETRO

Las figuras 7.3-7.10 muestran los resultados morfológicos del rugosímetro para cada instrumento utilizado, la barra de color representa la profundidad de cada marca de corte. La rugosidad promedio aumentó después del proceso crematorio y algunas características del trauma se volvieron más evidentes debido al color negrozco que rodeaba las lesiones de los cuchillos. La morfología general y la forma del corte variaron. Las marcas de corte del cuchillo de pan exhibieron formas irregulares (Figuras 7.3 y 7.4), las del cuchillo serrado bordes más afilados (Figuras 7.7 y 7.8) y las del machete formas cada vez más redondeadas (Figuras 7.9 y 7.10). Las cortes de sierra conservaron la forma en U (Figuras 7.5 y 7.6).

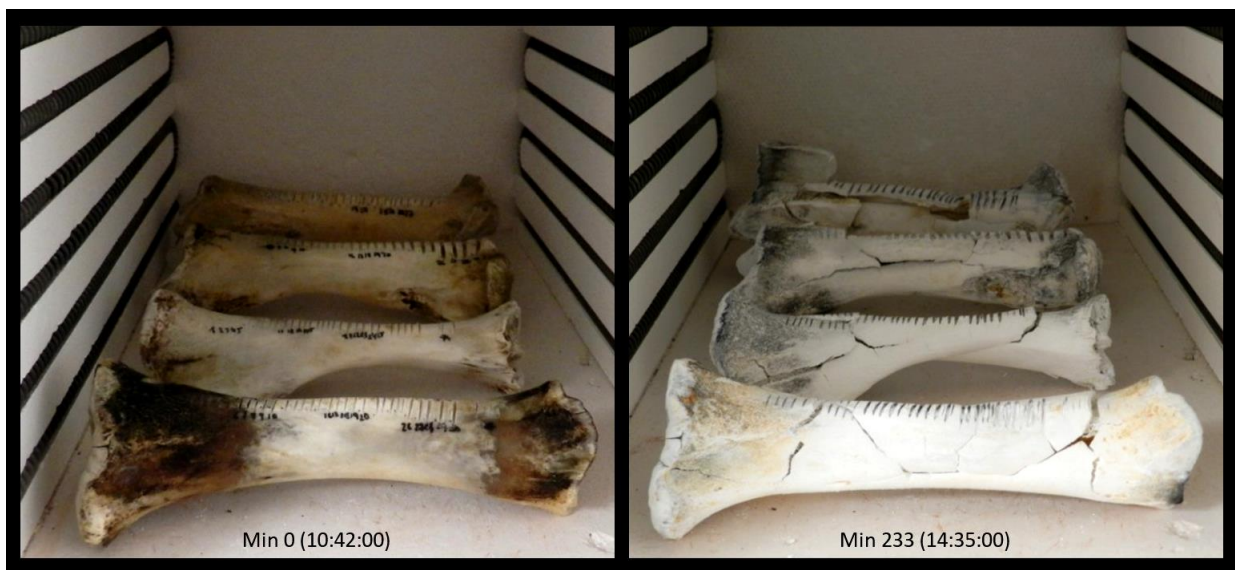


Figura 7.2. Muestras antes (izquierda) y después (derecha) del proceso crematorio. Los huesos se encuentran en el siguiente orden de delante hacia detrás: Tibia 2 (T2M), Tibia 1 (T1SK), Fémur 2 (F2S), Fémur 1 (F1BK). Puede observarse como las dos tibias cercanas a la puerta del horno sufrieron menos fracturas inducidas por el fuego y que todos los huesos presentan una coloración blanquecina. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

CUCHILLO DE PAN

Pre-cremación

Todos los cortes superficiales de las primeras secciones del hueso que fueron realizados con pocos trazos mostraban una morfología en V con bordes muy afilados y unas paredes levantadas generalmente más altas en el lado derecho. A medida que aumentaba el número de trazos, a partir de la sección 3, la morfología del corte comenzó a redondearse y a mostrar una forma en U estrecha.

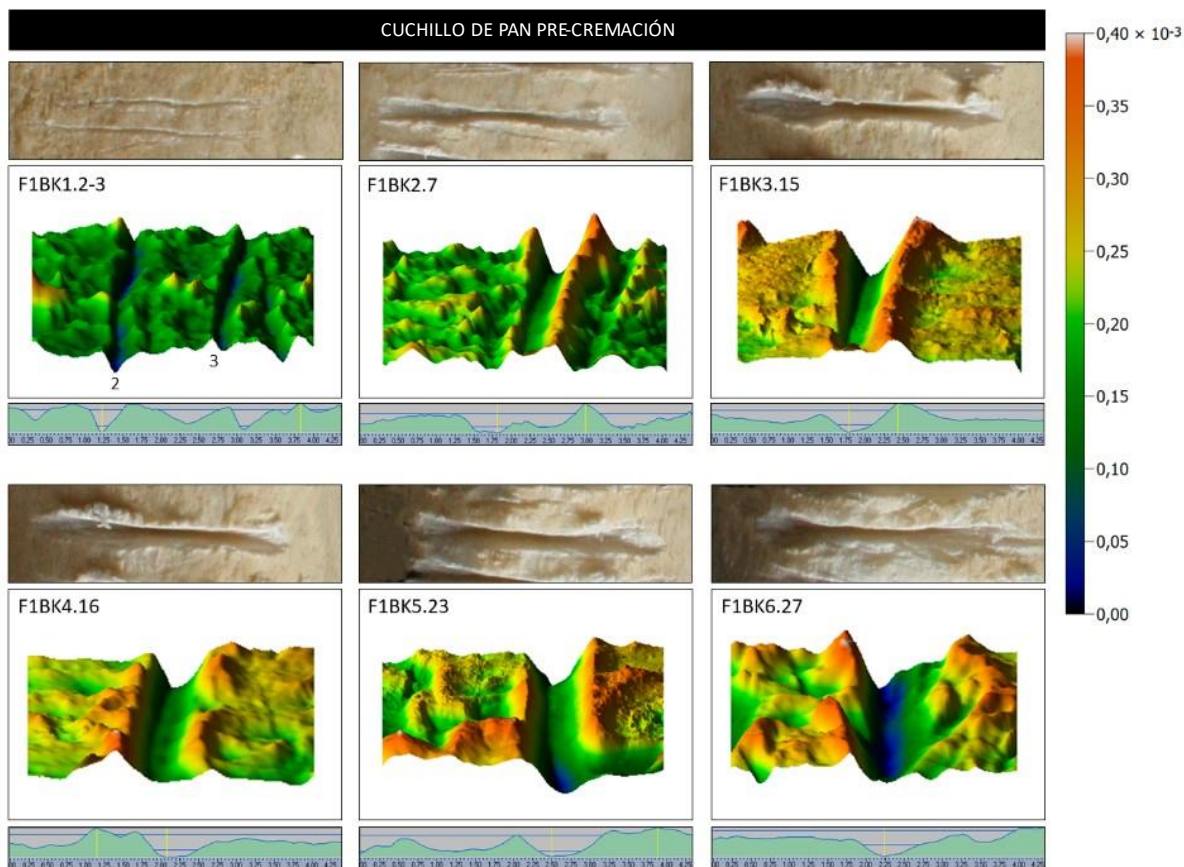


Figura 7.3. Fémur cortado con un cuchillo de pan (FIBK) antes del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección del fémur, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

Post-cremación

Después del proceso crematorio, las marcas de corte mostraron un color negruzco muy vistoso que permitió su identificación. Las lesiones exhibieron formas irregulares en V, W y U y un notable incremento de su rugosidad superficial. Las características morfológicas de un corte realizado de forma no intencionada [false start [76]] junto a la lesión FIBK4.16 se realzaron tras la incineración. La mayoría de los cortes fueron afectados por fracturas longitudinales inducidas por el fuego y quedaron seccionados por la mitad, especialmente notable en el corte FIBK6.27.

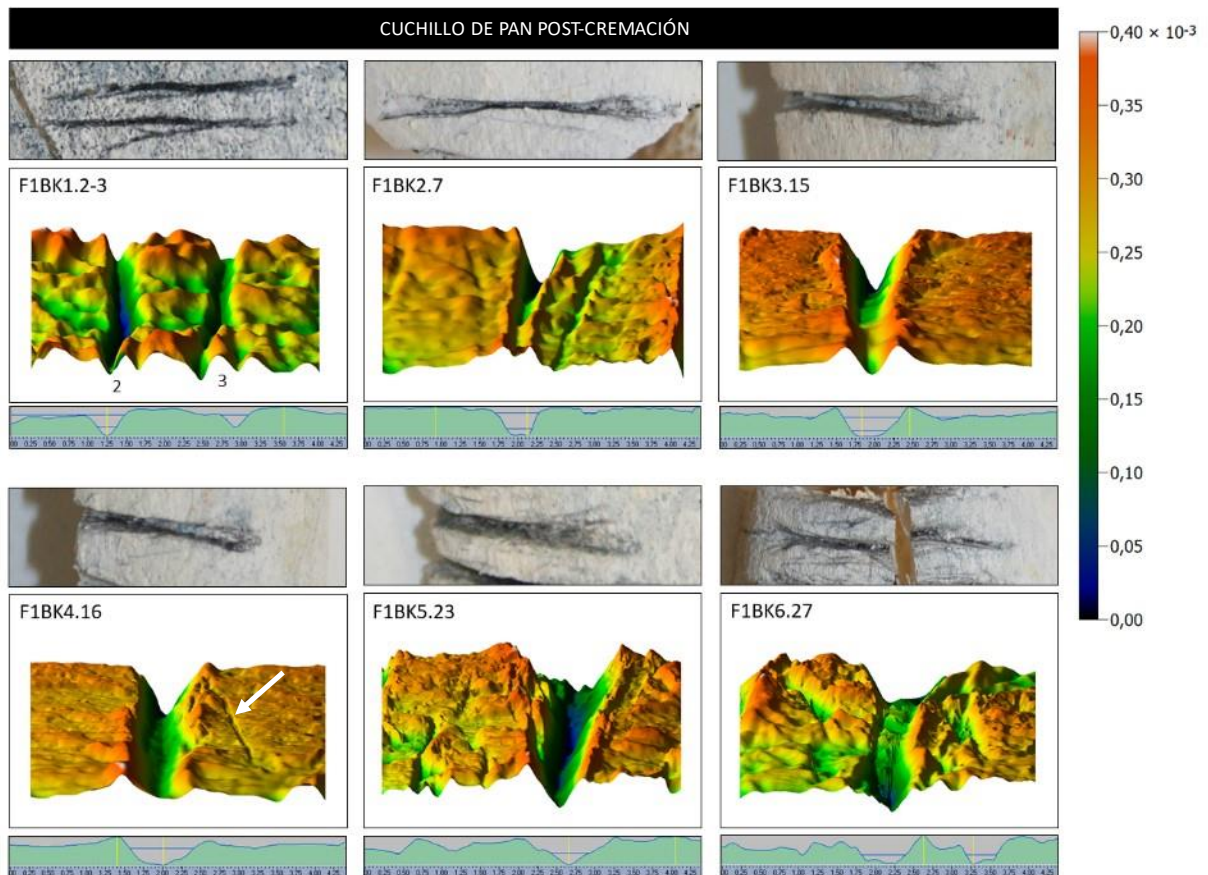


Figura 7.4. Fémur cortado con un cuchillo de pan (FIBK) después del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección del fémur, de la 1 a la 6. La flecha blanca de la lesión FIBK4.16 apunta a un corte no intencionado. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

SIERRA

Pre-cremación

Los cortes superficiales de las primeras secciones del hueso exhibían una forma en W, mientras que los cortes más profundos una morfología en U ancha. La sierra generó cortes limpios con poca destrucción de las paredes laterales, las lesiones presentan una ligera curvatura en la región medial del corte y son paralelas entre sí.

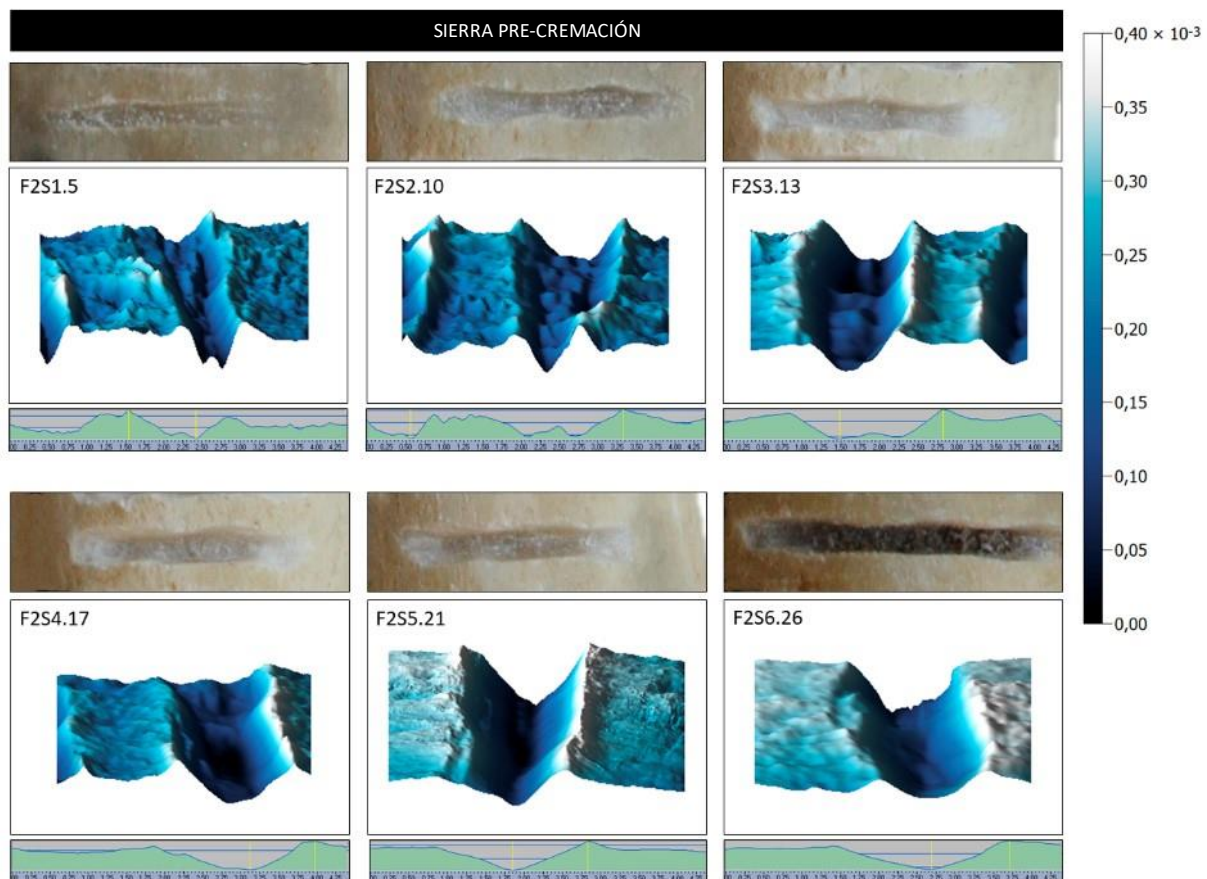


Figura 7.5. Fémur cortado con una sierra (F2S) antes del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección del fémur, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

Post-cremación

Tras la cremación, aumentó la rugosidad superficial alrededor de las marcas de sierra, pero se conservó el patrón morfológico del corte observado en los huesos intactos: cortes superficiales en W y cortes profundos en U. Todas las lesiones seleccionadas para el estudio se encontraban partidas por la mitad debido a una fractura longitudinal, excepto el corte F2S6.26 que se conservó entero.

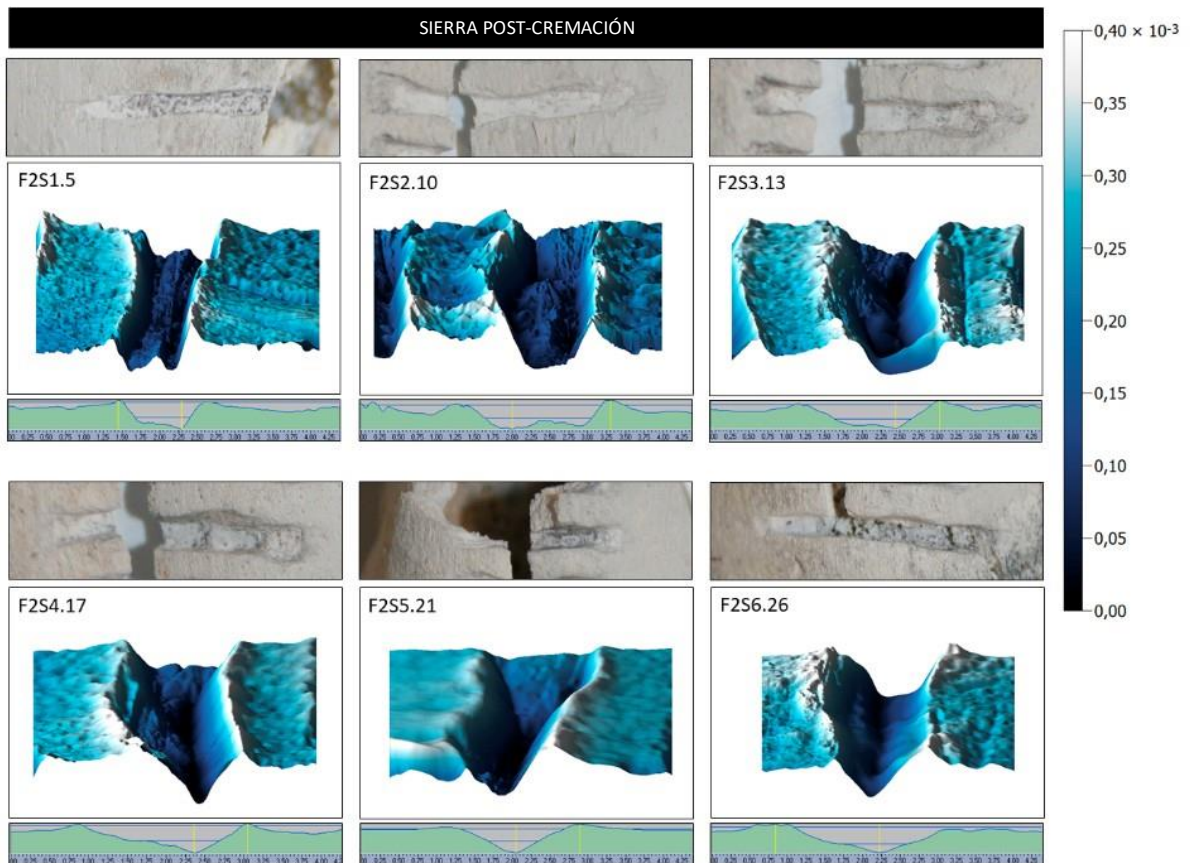


Figura 7.6. Fémur cortado con un cuchillo de pan (F2S) después del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección del fémur, de la I a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

CUCHILLO SERRADO

Pre-cremación

Todos los cortes inducidos con el cuchillo serrado exhibieron una marcada forma en V muy evidente en lesiones superficiales, pero apreciable también en los cortes profundos. Cabe destacar que los extremos laterales de las marcas de corte a partir de la sección 2 sobresalían ligeramente por el lado izquierdo.

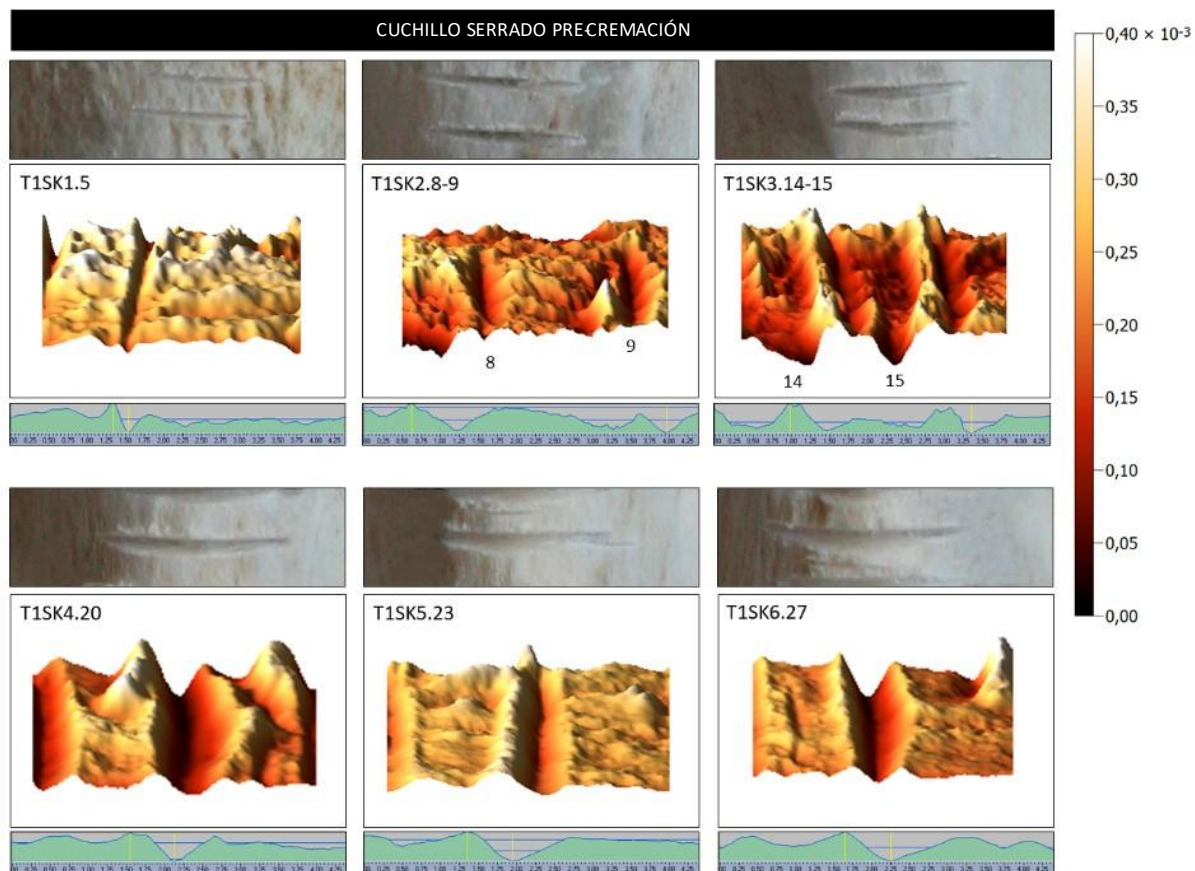


Figura 7.7. Tibia cortada con un cuchillo serrado (TISK) antes del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección de la tibia, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

Post-cremación

La rugosidad de la superficie circundante a las marcas de corte aumentó tras la cremación, hecho que puede apreciarse comparando la textura de los mapas topográficos de la figura 7.7. con la de la figura 7.8. La morfología en V se conservó, pero los bordes se afilaron en vista microscópica y se tiñeron de un color grisáceo, ensalzando las características típicas de cortes realizados por cuchillos. Una fractura longitudinal partió por la mitad las lesiones TISK2.8-9.

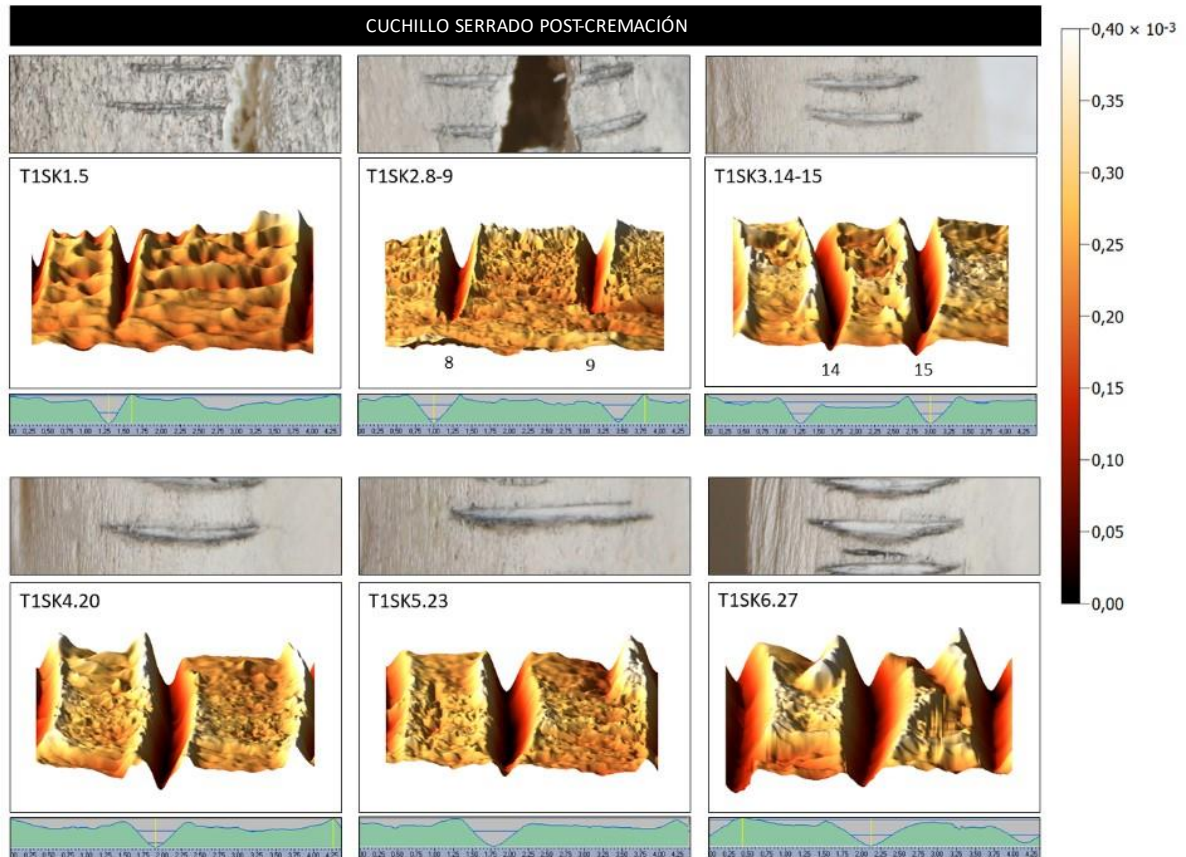


Figura 7.8. Tibia cortada con un cuchillo serrado (TISK) después del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección de la tibia, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

MACHETE

Pre-cremación

Las marcas de corte inducidas con el machete exhibieron una forma de V que se volvió progresivamente más redondeada conforme aumentaba el número de trazos en las últimas secciones del hueso (4-6). Se generaron numerosas marcas de corte no intencionadas accesorias a las lesiones controladas a partir de la tercera sección que, aunque son apreciables en vista macroscópica, son muy obvias en microscópica.

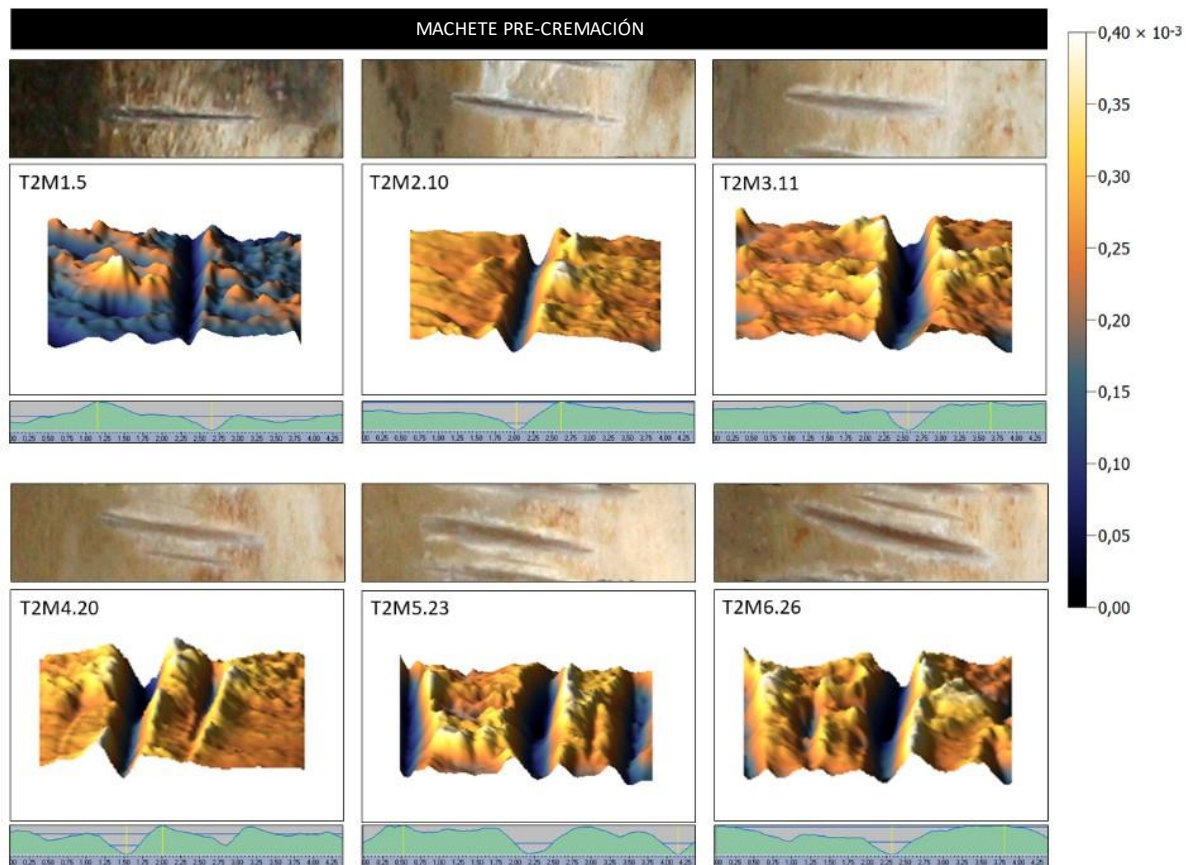


Figura 7.9. Tibia cortada con un machete (T2M) antes del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección de la tibia, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

Post-cremación

La rugosidad superficial aumentó sustancialmente tras la incineración de las muestras. La morfología del corte se conservó en V, pero con la base más redondeada que en hueso intacto incluso en lesiones superficiales. Las marcas de corte accesorias no intencionales aumentaron su visibilidad post-cremación, exhibiendo un color negruzco en los bordes laterales y en los extremos. Las fracturas inducidas por el fuego afectaron la morfología y a la solución de continuidad tanto TISK2.10 como de T2M5.23.

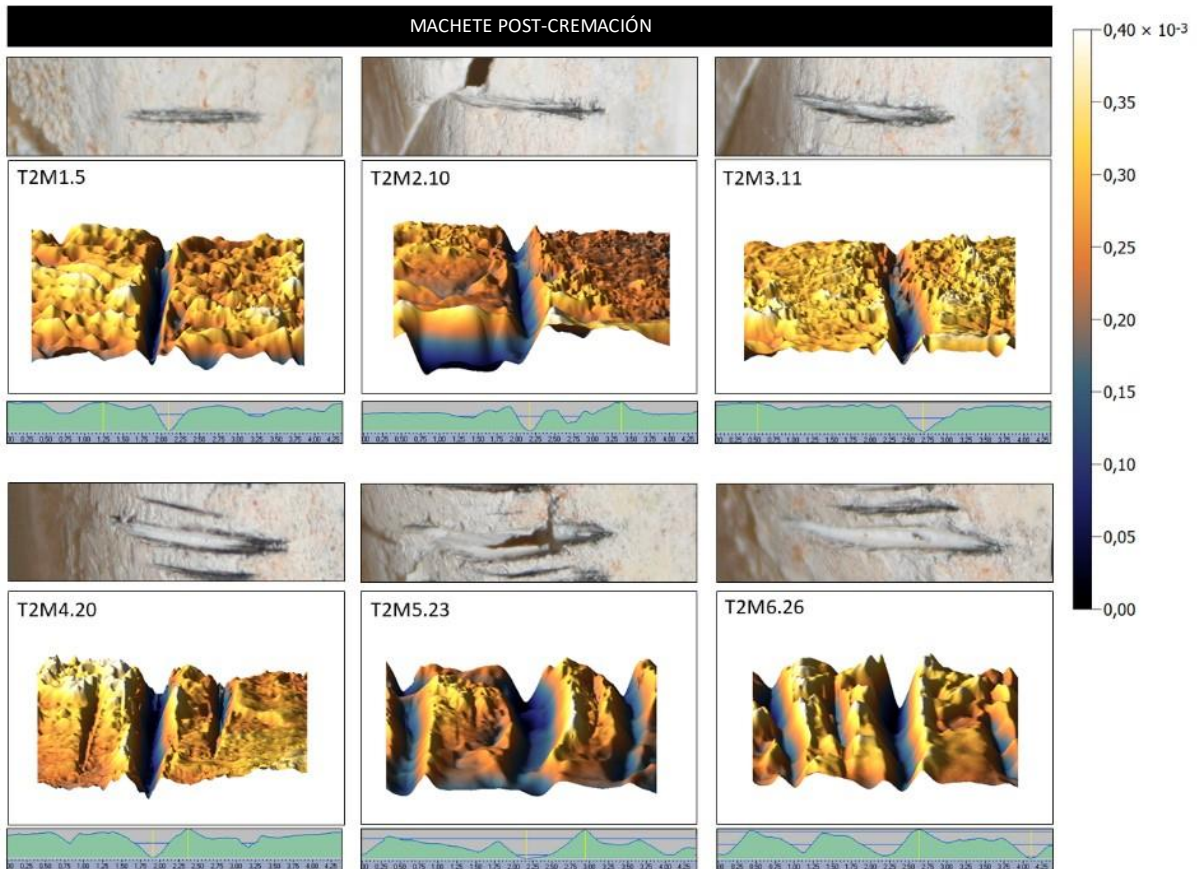


Figura 7.10. Tibia cortada con un cuchillo serrado (T2M) después del proceso crematorio. Morfología y rugosidad de una marca de corte seleccionada al azar de cada sección de la tibia, de la 1 a la 6. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

7.1.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se obtuvo un resultado significativo ($p \leq 0.001$) en todos los niveles de la prueba t de Student para la longitud media y la rugosidad de todas marcas de corte. Los resultados indican que estas dimensiones de la lesión varían después del proceso crematorio: la longitud disminuyó tras la exposición al fuego, mientras que la rugosidad aumentó sustancialmente. La anchura media mostró un resultado significativo de $p \leq 0.05$ en los cortes inducidos con el cuchillo de pan.

Tabla 7.2. Estadística descriptiva. Prueba t de Student. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [141].

Instrumento	Variabes	Proceso crematorio	N	Media	Min	Max	SD	Sig.
Cuchillo de pan	Longitud (mm)	Pre-cremación	30	16.393	12.880	20.440	1.820	*0.000
		Post-cremación	30	12.376	8.630	17.360	2.711	
	Anchura (μm)	Pre-cremación	30	96.617	25.000	159.000	38.198	*0.022
		Post-cremación	29	77.517	32.000	110.000	21.258	
	Rugosidad (μm)	Pre-cremación	30	23.529	18.130	31.580	2.745	*0.000
		Post-cremación	30	33.912	12.898	48.258	8.343	
Sierra	Longitud (mm)	Pre-cremación	28	13.642	8.640	18.530	1.860	*0.000
		Post-cremación	28	10.538	6.950	16.120	2.009	
	Anchura (μm)	Pre-cremación	28	184.813	102.000	233.000	32.055	0.055
		Post-cremación	27	168.778	104.000	222.000	28.418	
	Rugosidad (μm)	Pre-cremación	28	20.910	11.385	52.735	8.268	*0.000
		Post-cremación	28	28.326	19.402	36.015	4.226	
Cuchillo serrado	Longitud (mm)	Pre-cremación	30	8.517	5.870	10.730	1.192	*0.000
		Post-cremación	30	6.964	4.370	9.220	1.243	
	Anchura (μm)	Pre-cremación	30	79.583	15.000	144.000	34.311	0.567
		Post-cremación	30	75.200	37.000	121.000	23.677	
	Rugosidad (μm)	Pre-cremación	30	16.452	6.700	27.110	5.480	*0.000
		Post-cremación	30	37.640	20.035	49.415	6.836	
Machete	Longitud (mm)	Pre-cremación	30	7.769	4.960	9.980	1.388	*0.000
		Post-cremación	30	6.490	4.520	8.490	1.204	
	Anchura (μm)	Pre-cremación	30	67.183	23.000	124.500	25.622	0.055
		Post-cremación	29	80.086	51.500	132.000	24.865	
	Rugosidad (μm)	Pre-cremación	30	18.835	14.290	22.920	2.599	*0.000
		Post-cremación	26	40.594	26.085	58.160	8.239	

* $p \leq 0.05$, la prueba t de Student muestra una significancia elevada entre la longitud y la rugosidad pre-cremación y post-cremación; SD: Desviación estándar; Sig.: Significancia (p valor).

Se obtuvo un p valor menor a 0.05 en el ANOVA, lo que indica que existe una diferencia significativa entre los instrumentos utilizados y longitud, anchura y rugosidad. Algunas de estas correlaciones variaron después del proceso de cremación. Las pruebas de Bonferroni para los cuatro grupos de instrumentos no encontraron diferencias significativas entre las marcas de corte de cuchillo serrado y machete en ninguna de las tres medidas tomadas. Las dimensiones de las marcas de corte inducidas por sierra continuaron siendo diferentes a las lesiones de otras herramientas después de la cremación.

Tabla 7.3: Análisis de varianza de un factor. Pruebas Post-hoc. Tabla obtenida de Mata Tutor et al. [141].

(A) Pruebas de efectos entre grupos

Variable dependiente	Media al cuadrado	F	Sig.
Longitud pre-cremación	510.335	203.045	0.000 ^{ab}
Longitud post-cremación	240.304	66.971	0.000 ^{ab}
Anchura pre-cremación	80896.522	74.833	0.000 ^{ab}
Anchura post-cremación	57404.163	94.794	0.000 ^{ab}
Rugosidad pre-cremación	271.437	9.884	0.000 ^{ab}
Rugosidad post-cremación	768.325	15.220	0.000 ^{ab}

(B) Comparaciones múltiples

I	J	Longitud pre-cremación					Longitud post-cremación				
		I-J	Std. error	Sig.	95 % int. confianza		I-J	Std. error	Sig.	95 % int- confianza	
					Lim. Sup.	Lim. Inf				Lim. Sup.	Lim. Inf
BK	S	2,7512	0.41659	0.000	1.63265	3.86978	1,8382	0.49775	0.002	0.50167	3.17466
	SK	7,8760	0.40934	0.000	6.77689	8.97511	5,4120	0.48909	0.000	4.09875	6.72525
	M	8,6240	0.40934	0.000	7.52489	9.72311	5,8857	0.48909	0.000	4.57241	7.19892
S	BK	-2,7512	0.41659	0.000	-3.86978	-1.63265	-1,8382	0.49775	0.002	-3.17466	-0.50167
	SK	5,1248	0.41659	0.000	4.00622	6.24335	3,5738	0.49775	0.000	2.23734	4.91033
	M	5,8728	0.41659	0.000	4.75422	6.99135	4,0475	0.49775	0.000	2.71100	5.38400
SK	BK	-7,8760	0.40934	0.000	-8.97511	-6.77689	-5,4120	0.48909	0.000	-6.72525	-4.09875
	S	-5,1248	0.41659	0.000	-6.24335	-4.00622	-3,5738	0.49775	0.000	-4.91033	-2.23734
	M	0,7480	0.40934	0.422 ^c	-0.35111	1.84711	0,4736	0.48909	1.000 ^d	-0.83959	1.78692
M	BK	-8,6240	0.40934	0.000	-9.72311	-7.52489	-5,8857	0.48909	0.000	-7.19892	-4.57241
	S	-5,8728	0.41659	0.000	-6.99135	-4.75422	-4,0475	0.49775	0.000	-5.38400	-2.71100
	SK	-0,7480	0.40934	0.422 ^c	-1.84711	0.35111	-0,4736	0.48909	1.000 ^d	-1.78692	0.83959

^a ANOVA arrojó un p valor de ≤ 0.05 , indicando que existe una diferencia significativa entre instrumentos y longitud.

^b $p \leq 0.05$, es necesario determinar si el tipo de instrumento influye en la longitud mediante una prueba Post-hoc.

^c $p > 0.05$, no existen diferencias significativas entre cuchillo serrado y machete con respecto a la longitud pre-cremación.

^d $p > 0.05$, no existen diferencias significativas entre cuchillo serrado y machete con respecto a la longitud post-cremación.

(B) Comparaciones múltiples (cont.)

		Anchura pre-cremación					Anchura post-cremación				
		95 % int. confianza					95 % int. confianza				
I	J	I-J	Std. error	Sig.	Lim. Sup.	Lim. Inf	I-J	Std. error	Sig.	Lim. Sup.	Lim. Inf
BK	S	-88,1958	8.63956	0.000	-111.39371	-64.99795	-91,2605	6.58105	0.000	-108.93963	-73.58144
	SK	17.0333	8.48929	0.283 ^c	-5.76107	39.82774	2.31724	6.40838	1.000 ^d	-14.89801	19.53249
	M	29,4333	8.48929	0.004	6.63893	52.22774	-2.56897	6.46246	1.000 ^d	-19.92949	14.79156
S	BK	88,1958	8.63956	0.000	64.99795	111.39371	91,2605	6.58105	0.000	73.58144	108.93963
	SK	105,2292	8.63956	0.000	82.03129	128.42705	93,5778	6.52795	0.000	76.04132	111.11423
	M	117,6292	8.63956	0.000	94.43129	140.82705	88,6916	6.58105	0.000	71.01247	106.37067
SK	BK	-17.0333	8.48929	0.283 ^c	-39.82774	5.76107	-2.3172	6.40838	1.000 ^d	-19.53249	14.89801
	S	-105,2292	8.63956	0.000	-128.42705	-82.03129	-93,5778	6.52795	0.000	-111.11423	-76.04132
	M	12.4000	8.48929	0.881 ^c	-10.39441	35.19441	-4.8862	6.40838	1.000 ^d	-22.10146	12.32904
M	BK	-29,4333	8.48929	0.004	-52.22774	-6.63893	2.56897	6.46246	1.000 ^d	-14.79156	19.92949
	S	-117,6292	8.63956	0.000	-140.82705	-94.43129	-88,6916	6.58105	0.000	-106.37067	-71.01247
	SK	-12.4000	8.48929	0.881 ^c	-35.19441	10.39441	4.8862	6.40838	1.000 ^d	-12.32904	22.10146

^a ANOVA arrojó un p valor de ≤ 0.05 , indicando que existe una diferencia significativa entre instrumentos y anchura.
^b $p \leq 0.05$, es necesario determinar si el tipo de instrumento influye en la anchura mediante una prueba Post-hoc.
^c $p > 0.05$, no existen diferencias significativas entre cuchillo de pan y cuchillo serrado, y entre cuchillo serrado y machete con respecto a la anchura pre-cremación.
^d $p > 0.05$, no existen diferencias significativas entre cuchillo de pan, machete y cuchillo serrado, y entre cuchillo serrado y machete respecto a la anchura post-cremación.

		Rugosidad pre-cremación					Rugosidad post-cremación				
		95 % int. confianza					95 % int. confianza				
I	J	I-J	Std. error	Sig.	Lim. Sup.	Lim. Inf	I-J	Std. error	Sig.	Lim. Sup.	Lim. Inf
BK	S	2.6185	1.37703	0.358 ^c	-1.07886	6.31602	5,5859	1.86698	0.021	0.56968	10.6021
	SK	7,0770	1.35308	0.000	3.44384	10.71010	-3.72822	1.83450	0.267 ^d	-8.65718	1.20074
	M	4,6937	1.35308	0.004	1.06056	8.32683	-6,6814	1.90375	0.004	-11.79640	-1.56635
S	BK	-2.6185	1.37703	0.358 ^c	-6.31602	1.07886	-5,5859	1.86698	0.021	-10.60209	-0.56968
	SK	4,4584	1.37703	0.009	0.76095	8.15583	-9,3141	1.86698	0.000	-14.33031	-4.29790
	M	2,0751	1.37703	0.808 ^c	-1.62233	5.77255	-12,2673	1.93506	0.000	-17.46640	-7.06811
SK	BK	-7,0770	1.35308	0.000	-10.71010	-3.44384	3.72822	1.83450	0.267 ^d	-1.20074	8.65718
	S	-4,4584	1.37703	0.009	-8.15583	-0.76095	9,3141	1.86698	0.000	4.29790	14.33031
	M	-2.3832	1.35308	0.485 ^c	-6.01641	1.24985	-2.95315	1.90375	0.742 ^d	-8.06817	2.16187
M	BK	-4,6937	1.35308	0.004	-8.32683	-1.06056	6,6814	1.90375	0.004	1.56635	11.79640
	S	-2,0751	1.37703	0.808 ^c	-5.77255	1.62233	12,2673	1.93506	0.000	7.06811	17.46640
	SK	2.3832	1.35308	0.485 ^c	-1.24985	6.01641	2.95315	1.90375	0.742 ^d	-2.16187	8.06817

^a ANOVA arrojó un p valor de ≤ 0.05 , indicando que existe una diferencia significativa entre instrumentos y anchura.
^b $p \leq 0.05$, es necesario determinar si el tipo de instrumento influye en la anchura mediante una prueba Post-hoc.
^c $p > 0.05$ no existen diferencias significativas entre cuchillo de pan y sierra, entre sierra y machete, y entre cuchillo serrado y machete con respecto a la rugosidad pre-cremación.
^d $p > 0.05$, no existen diferencias significativas entre cuchillo de pan y cuchillo serrado, y entre cuchillo serrado y machete con respecto a la rugosidad post-cremación.

7.2. DISCUSIÓN

El objetivo de este experimento fue obtener una mayor comprensión de los cambios dimensionales y morfológicos que sufren las marcas de corte durante el proceso crematorio. Después de la incineración, todas las lesiones permanecieron visibles e identificables, aunque ambos fémures sufrieron intensas modificaciones inducidas por el fuego en la diáfisis del hueso rompiendo por la mitad más del 80 % de las lesiones (Figura 7.1.). Este resultado coincide con los hallazgos reportados por previos autores [93, 94, 96] y por los resultados obtenidos en el Capítulo 6, que demostraron la susceptibilidad del trauma a ser destruido al entrar en contacto con altas temperaturas (Figura 7.11.).

Diversos autores han demostrado que el hueso encoge durante el proceso de cremación [38, 39, 89, 106, 154] y esta reducción de tamaño se ha observado también en la longitud de las marcas de corte, de acuerdo con los estudios realizados por de Gruchy & Rogers [123] y Vegh & Rando [122]. Sin embargo, no se detectó una alteración significativa en la anchura de los cortes realizados por sierra, de acuerdo con Symes et al. [90] o por cuchillo serrado y machete, coincidiendo con Waltenberger & Schutkowski [120].



Figura 7.11. Modificaciones causadas por el calor observadas después del proceso crematorio. **1:** Fractura longitudinal que divide por la mitad dos cortes preexistentes (T1SK2.7-8); **2:** Fractura transversa que desprende la parte inferior del corte (F1BK2.8); **3:** Ensanchamiento de la marca de corte pre-cremación (T1SK3.11); **4:** Dos lesiones accesorias no intencionales que se han visto realizadas tras la exposición al fuego (T2M4.20). Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

7.2.1. LONGITUD DEL CORTE

Los resultados obtenidos amplían las conclusiones de previos autores. Symes et al. [90] no reportó cambios en la longitud de las marcas de sierra y Waltenberger & Schutkowski [120] no evaluaron estadísticamente la longitud de las puñaladas realizadas en su análisis. De Gruchy & Rogers [25] observaron que los cortes inducidos con un cuchillo de carnicero y quemados en una pira al aire libre durante tres horas no se vieron afectados en gran medida por la cremación, aunque la contracción del hueso redujo ligeramente su tamaño. Y Vegh & Rando [122] documentaron una contracción constante de las lesiones quemadas a 1000 °C durante 20 minutos. A 800 °C, solo las marcas de corte realizadas con una sierra de madera mostraron un coeficiente de contracción del 10 %, aunque las marcas realizadas por el cuchillo de cocina y la sierra de arco también encogieron levemente. Por el contrario, Alunni et al. [117] no documentaron variaciones significativas en las dimensiones de las lesiones.

Los resultados obtenidos en este experimento exponen que la longitud de los cortes disminuyó de manera consistente ($p \leq 0.001$) y las marcas de sierra fueron las más afectadas en cuanto a disminución de tamaño (Figura 7.12.). La notable contracción observada puede también deberse a la fragmentación extrema provocada por las fracturas longitudinales que rompieron la diáfisis del fémur. Estos resultados contradictorios se pueden explicar debido a la diferente metodología y al tiempo total de exposición al calor. Mientras que en el presente estudio y en el de de Gruchy y Rogers [123] las muestras se quemaron durante largos períodos de tiempo de más de tres horas dando lugar a una notable reducción de la longitud del corte, Alunni et al. [117] y Vegh & Rando [122] extrajeron los huesos tras unos 20 minutos de exposición al fuego, no observándose contracción alguna [117] y una contracción menor [122].

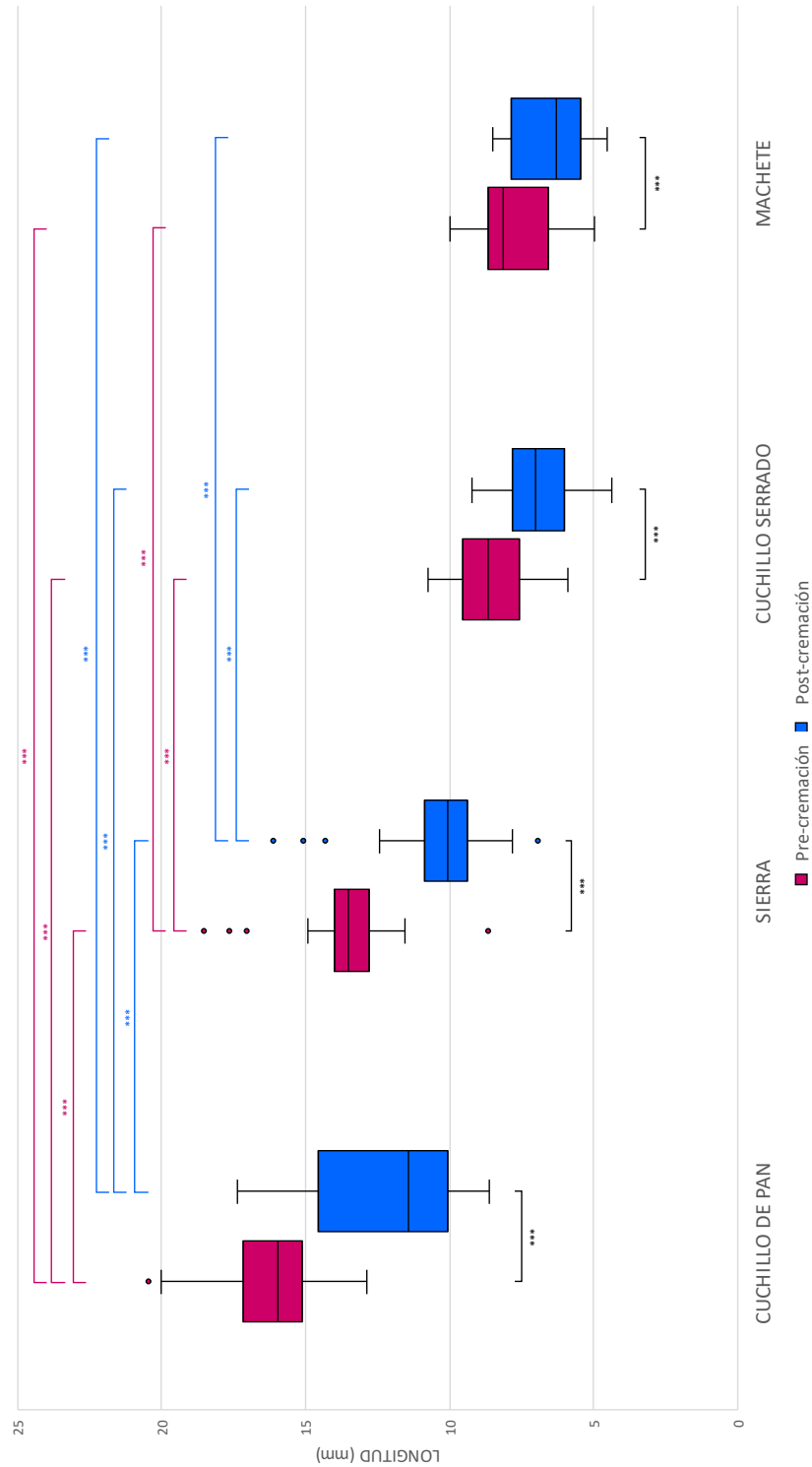


Figura 7.12. Distribución de la longitud por instrumento y proceso crematorio. Los corchetes negros representan el p valor para la prueba t de Student. Los corchetes rosas representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte pre-cremación. Los corchetes azules representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte post-cremación. *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [141].

7.2.2. ANCHURA DEL CORTE

En cuanto al ancho, no se encontró una variación significativa en el tamaño antes y después del proceso de cremación en las lesiones de sierra, cuchillo serrado y machete ($p > 0.05$) (Figura 7.13.). Estos resultados son coherentes con los hallazgos previos de Symes et al. [90] y Waltenberger & Schutkowski [120]. Symes et al. [90] concluyeron que la alteración térmica no afecta las características del corte y, por lo tanto, conservan su valor diagnóstico. En el presente estudio, si bien los cortes de la sierra disminuyeron en longitud debido al daño térmico, su anchura no se vio modificada y se conservaron sus características morfológicas. Waltenberger & Schutkowski [120] afirmaron que el fuego no influyó significativamente en las dimensiones de las puñaladas inducidas con un cuchillo de hoja lisa. Sus conclusiones concuerdan con los resultados obtenidos, la anchura de las marcas de corte realizadas con cuchillo serrado y machete no varió y las lesiones se conservaron de manera excelente tras la exposición al fuego.

Las lesiones causadas por el machete ensancharon ligeramente de manera no significativa después de la incineración. Vegh & Rando [122] observaron en su estudio experimental que la rotura de las paredes del hueso durante la acción cortante se suaviza durante la cremación, lo que expone la superficie del corte en escala microscópica y da una falsa sensación de aumento en ancho. Este fenómeno no fue detectado en las otras herramientas y concuerda también con la observación macroscópica. El machete produjo una destrucción severa en la diáfisis de la tibia, incluso realizando una acción de corte en lugar de un traumatismo corto-contundente [86].

Se detectó una sutil contracción en las marcas de corte realizadas con el cuchillo de pan ($p \leq 0.05$). Este resultado concuerda con lo documentado por Vegh & Rando [122], las marcas inducidas por un cuchillo de cocina durante su estudio experimental se contrajeron tanto a 800 como a 1000 °C. Se ha demostrado en el Capítulo 6 que el trauma puede tener un porcentaje de supervivencia post-cremación diferente dependiendo del arma utilizada [95], hecho que se ha observado también en este experimento (Figura 7.1.). Aunque la reducción en la anchura difiere de los hallazgos de Symes et al. [90] y Waltenberger & Schutkowski [120], sugiere tentativamente que los cambios dimensionales de las marcas de corte son también dependientes del instrumento empleado.

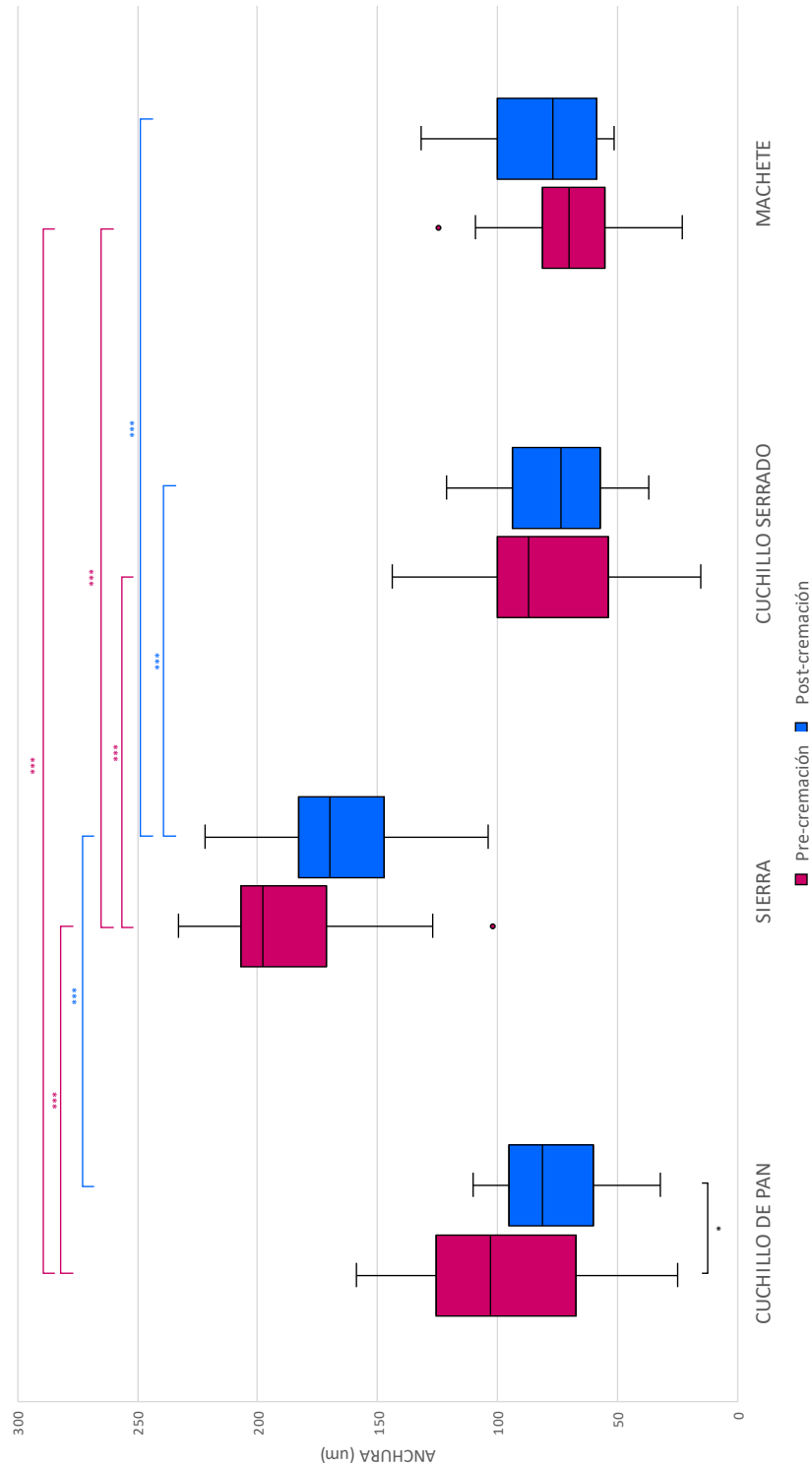


Figura 7.13. Distribución de la anchura por instrumento y proceso crematorio. Los corchetes negros representan el p valor para la prueba t de Student. Los corchetes rosas representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte pre-cremación. Los corchetes azules representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte post-cremación. *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [51].

7.2.3. RUGOSIDAD DEL CORTE

El análisis de la rugosidad superficial se ha utilizado en otros campos científicos como la odontología [155], la geología [142, 143] y la arqueología [156]. El objetivo es comparar los cambios antes y después de realizar un tratamiento químico o tafonómico. Hasta la fecha, ningún estudio ha intentado emplear la rugosidad superficial como herramienta forense para analizar las variaciones de las lesiones inducidas con diferentes armas antes y después de la incineración, por lo que no es posible establecer comparaciones con experimentos anteriores. Sin embargo, los resultados obtenidos concuerdan con los cambios morfológicos inducidos por el fuego que experimentan los huesos cuando se someten a altas temperaturas.

Cuando el hueso se expone directamente al calor, pasa por cuatro fases documentadas por Thompson [89, 106] y Mayne Correia [39]: deshidratación, descomposición, inversión y fusión. Thompson [89] demostró que la recristalización a 500 °C afecta la superficie y la porosidad del hueso. Los resultados obtenidos indican que la rugosidad aumentó de manera consistente ($p \leq 0.001$) (Figura 7.14.). Por lo tanto, se ha demostrado que los cambios inducidos por el fuego aumentan la irregularidad y la aspereza, variación que es observable microscópicamente y medible con un rugosímetro óptico (Figuras 7.3-7.10.). La superficie de cada marca de corte se tornó más irregular tras la cremación. En concreto, la rugosidad de las lesiones causadas por cuchillo serrado y machete aumentaron de forma considerable, a comparación de las realizadas por los otros dos instrumentos. Estas diferencias encontradas podrían utilizarse como herramienta forense adicional en futuros estudios para contribuir en la identificación del tipo de instrumento o del arma específica que causó el traumatismo.

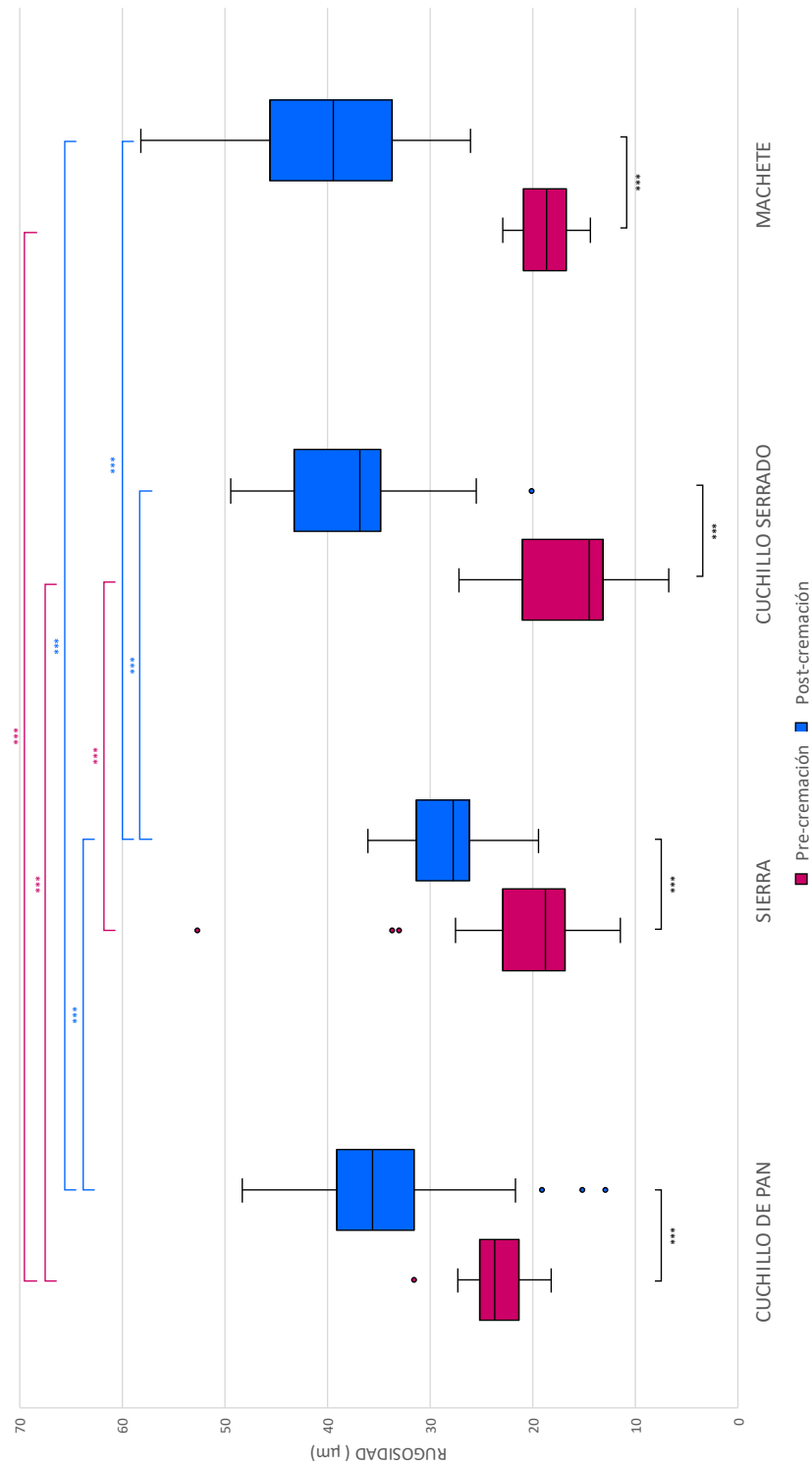


Figura 7.14. Distribución de la rugosidad por instrumento y proceso crematorio. Los corchetes negros representan el p valor para la prueba t de Student. Los corchetes rosas representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte pre-cremación. Los corchetes azules representan los resultados Post-hoc para las marcas de corte post-cremación. *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$. Figura obtenida de Mata Tutor et al. [51].

7.2.4. MORFOLOGÍA DEL CORTE

La morfología de las marcas de corte coincidió con lo reportado por la literatura tanto en huesos intactos [43, 75–77, 79–84] como quemados [90, 93, 94, 103, 110, 116–124]. La sierra dejó una amplia forma en U en la superficie del hueso que se mantuvo después de la cremación. Contrario a las conclusiones de Marciniak [124] y Symes et al. [90], quienes afirmaron que ciertos cortes conservan evidencias de un arma en particular, las lesiones realizadas en el fémur 2 (F2S) del presente estudio presentaron únicamente características generales comunes a todas las sierras. La preservación de estriaciones identificativas es dependiente de cómo se realicen los movimientos cortantes y del tipo de sierra utilizada [75, 77, 81, 83, 84]. Asimismo, Marciniak [124] y Symes et al. [90] seccionaron las muestras por la mitad y las quemaron a una temperatura menor a 500 °C, mientras que los huesos de este experimento se cremaron enteros a un máximo de 850 °C alcanzando la incineración. Por tanto, temperaturas elevadas y diferentes maneras de inducir el trauma tienen el potencial de borrar las características identificativas de los cortes realizados por sierras.

Los tres cuchillos exhibieron una obvia forma en V especialmente evidente en lesiones superficiales. Estas marcas de corte eran reconocibles e identificables en vista macroscópica y exhibían características del tipo de instrumento bien preservadas, algunas incluso más visibles tras el proceso crematorio [93, 95, 116, 117]. Se detectó un color negruzco alrededor de estas lesiones que no estaba presente en las marcas de sierra. Sin embargo, la diferenciación entre los tres cuchillos basada en la morfología microscópica del corte fue complicada. El cuchillo serrado y el machete dejaron una visible forma de V en todas las secciones del hueso antes y después de la incineración, y la sierra una característica forma en U. Por otro lado, el cuchillo de pan generó lesiones irregulares con morfologías en W, U y V. Este patrón errático se acentuó tras la cremación. Conviene destacar que en el estudio de trauma cortante en cadáveres cremados (Capítulo 6) este mismo cuchillo generó marcas de corte que eran susceptibles de ser confundidas con otros instrumentos por sus características morfológicas [95]. Amadasi et al. [74] concluyó que los cuchillos serrados a veces se comportan de manera arbitraria, induciendo formas extrañas que pueden complicar la identificación del tipo de instrumento utilizado. Esto podría deberse al movimiento de serrado inducido por un cuchillo con dientes separados y gruesos, que mimetiza a una sierra y corta el hueso por compresión en la dirección en la que se mueve el filo [43, 76]. Por tanto, los resultados obtenidos en este experimento son concordantes con lo reportado por la literatura sobre hueso humano intacto [74] y quemado [95].

7.2.5. CORRELACIÓN ENTRE INSTRUMENTOS

Las marcas de corte inducidas por los tres cuchillos eran diferenciables de las marcas de sierra debido a sus diferentes métricas y morfología, de acuerdo con previos autores [77, 80, 81]. Los cortes con sierra conservaron las características macroscópicas y microscópicas y eran reconocibles como tal. La prueba de Bonferroni no encontró diferencias entre el cuchillo de pan y el cuchillo serrado respecto a la rugosidad, si bien estos resultados no son sorprendentes teniendo en cuenta las características de los instrumentos. Tanto el cuchillo de pan como el serrado tienen filo dentado mientras que el machete no, por lo que algunas diferencias entre ellos eran esperables [157, 158]. A pesar de que la morfología de las lesiones causadas con el cuchillo de pan pueda ser errática [74, 95] como ha quedado expuesto en la sección 7.2.4. y en el Capítulo 6, sus dimensiones son similares a los cortes inducidos por los otros dos cuchillos, lo que contribuye a su diferenciación.

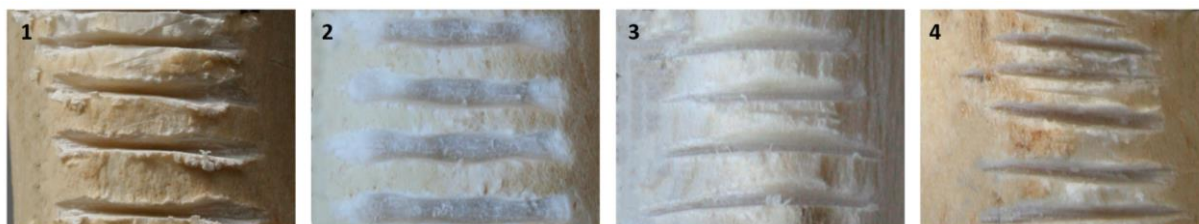


Figura 7.15. Morfología de las marcas de corte en vista macroscópica antes del proceso crematorio. **1:** Cuchillo de pan; **2:** Sierra; **3:** Cuchillo serrado; **4:** Machete.

Los resultados obtenidos revelaron que tanto en morfología como en métrica los cortes de cuchillo serrado y machete fueron indistinguibles entre sí tras la cremación. Las marcas de corte del machete se redondearon ligeramente, mientras que las paredes de las lesiones del cuchillo serrado se afilaron. Sin embargo, todas las lesiones preservaron una marcada forma en V tanto en vista macroscópica como en microscópica. Además, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las medidas durante la prueba de Bonferroni ($p > 0.05$). En estos casos, un examen adicional de las estriaciones dejadas por el filo del cuchillo podría ser útil para distinguir entre estos dos instrumentos [82, 157], puesto que los cambios dimensionales no tienen valor diagnóstico. Sin embargo, al igual que Alunni et al. [117] y Kooi & Fairgrieve [119] en sus respectivos experimentos, no se detectaron estriaciones en ninguna marca de corte, ni en los huesos intactos ni en los quemados. Amadasi et al. [74] concluyeron que el movimiento cortante de un cuchillo serrado puede eliminar las marcas que deja el filo serrado en las paredes del hueso y confundirse con un cuchillo de hoja lisa, coincidiendo estos resultados obtenidos con sus observaciones.

En el Capítulo 6 se expuso que el trauma cortante es visible y reconocible tras la exposición al fuego, si bien su supervivencia y su correcta diferenciación como trauma depende de factores intrínsecos y extrínsecos y del estado de conservación de los restos óseos. Los resultados obtenidos en el Capítulo 7 amplían las conclusiones alcanzadas y demuestran que también existe una variación en las características del trauma cortante después del proceso crematorio. Esta distorsión se ve influida por múltiples variables que influyen en los cambios dimensionales y morfológicos de cada marca de corte. La preservación de las características identificativas del instrumento depende directamente del arma empleada, la forma en que se induce el trauma y las condiciones del proceso de combustión, incluido el tiempo de exposición y la temperatura máxima alcanzada.

Capítulo 8. CONCLUSIONES

*There is no such thing as Death, really, you know,
only Change.*

Hercules Poirot (The Complete Short Stories)

8.1. CONSIDERACIONES FINALES

La presente tesis doctoral ha permitido profundizar en el estudio de cadáveres cremados post-desmembramiento desde un punto de vista antropológico forense mediante un análisis retrospectivo de casos españoles y dos estudios experimentales. La hipótesis fundamental del trabajo se ha demostrado en base a los resultados obtenidos: la acción del fuego como agente tafonómico afecta al examen antropológico durante la detección e interpretación del traumatismo cortante relacionado con el desmembramiento.

A continuación, se presentan las principales conclusiones a las que se ha llegado después del análisis de los resultados.

8.1.1. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO RETROSPECTIVO DE CASOS DE DESMEMBRAMIENTO

1. El desmembramiento en España tiene una incidencia del 0.29 % respecto a los casos totales de homicidio intencional ocurridos entre el año 1990 y el 2016. De 40 cadáveres desmembrados, 11 (27.50 %) fueron alterados posteriormente, 6 (15.00 %) con fuego. Con estos datos se demuestra que el fuego es el agente tafonómico más utilizado para tal fin.
2. La mutilación del tejido blando fue más habitual en cadáveres que sufrieron alteraciones post-desmembramiento. Estos cadáveres fueron encontrados con mayor frecuencia incompletos y en un estado de descomposición que no se pudo evaluar. Además, los agresores frecuentemente adquirieron material después del homicidio y dispersaron las partes del cuerpo en múltiples lugares. Por tanto, la reconstrucción de los eventos previos a la muerte y la identificación inicial de la víctima se complicó, lo que contribuyó a ocultar las evidencias del crimen.

8.1.2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DEL TRAUMA CORTANTE EN CADÁVERES CREMADOS

3. El examen externo y la documentación de las características morfológicas de los cambios inducidos por el fuego ocurridos en todos los individuos permitió la creación de una guía visual y un diagrama de flujo, que permite precisar con mayor exactitud qué fracturas son debidas a la acción del calor y cuáles a un objeto cortante.
4. Todos los cambios morfológicos resultantes por fuego y por traumatismo fueron reconocidos correctamente durante el estudio antropológico forense. Por tanto, se demuestra que la fiabilidad del protocolo es excelente y que las marcas de corte son reconocibles en vista macroscópica, incluso para individuos no familiarizados con el análisis de restos cremados. Sin embargo, la fractura de tipo *step* y el plano axial de la transversa son susceptibles de ser confundidas con trauma cortante, por lo que se recomienda prestar especial atención durante el análisis.
5. De las 55 lesiones inducidas, únicamente siete se detectaron después de la cremación, cuatro en el fémur y tres en el astrágalo. Aunque ha quedado demostrado que el trauma cortante es visible y reconocible, solo un 13% se detectó tras el proceso crematorio. Esto implica que no toda la evidencia de traumatismo sobrevive a la exposición al fuego.
6. Tras el estudio del trauma cortante en cadáveres cremados se concluye que las variables que más influyen en la supervivencia y detección de lesiones son: la presencia de tejido blando protector, el tipo de instrumento utilizado y la manera en la que se induce la lesión, la región anatómica donde se realice el trauma, las condiciones del proceso crematorio, la fragmentación intencional de los restos óseos y los cambios inducidos por el calor.

8.1.3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MARCAS DE CORTE EN HUESOS QUEMADOS

7. El análisis de las características morfológicas y dimensiones del trauma cortante mediante el rugosímetro óptico indicó que la longitud disminuyó de tamaño y la rugosidad aumentó sustancialmente. La anchura no varió en los cortes realizados con sierra, cuchillo serrado y machete, mientras que las lesiones del cuchillo de pan encogieron. La morfología y la forma del corte realizadas por los tres cuchillos se vieron modificadas, especialmente en las lesiones causadas por el cuchillo de pan que exhibieron formas irregulares.
8. El trauma inducido por los tres cuchillos se diferenció de las marcas de sierra en todos los parámetros debido a sus diferentes métricas y morfología. Sin embargo, los cortes realizados por cuchillo serrado y machete fueron indistinguibles entre sí, lo que demuestra que son necesarios más estudios para su diferenciación en base a estas características.

Capítulo 9. LIMITACIONES Y FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN

Coś się kończy, coś się zaczyna
[Something ends, something begins]
Geralt of Rivia (The Wild Hunt)

9.1. ESTUDIO RETROSPECTIVO DE CASOS DE DESMEMBRAMIENTO

Se debe tener en cuenta al analizar los resultados que, para la presente tesis doctoral, no se utilizaron casos no resueltos y casos no incluidos aún en la base de datos en CENDOJ en el momento del estudio y esto puede haber afectado los porcentajes y correlaciones del análisis estadístico. Asimismo, no toda la información disponible acerca de cada caso fue añadida en su totalidad en las sentencias judiciales, como el informe completo de la autopsia o la metodología empleada para confirmar la identificación de la víctima. La relación entre víctima y agresor, sus problemas mentales, adicción al alcohol o a drogas y otros factores de su conducta se consideraron fuera del alcance de este proyecto.

A pesar de ello, este estudio retrospectivo acerca de mutilación y desmembramiento es el primero realizado en España junto con un estudio piloto de 10 casos de Mata Tutor & Villoria Rojas [61]. Los efectos de la alteración post-desmembramiento en una investigación antropológica no se habían estudiado hasta la fecha y ofrecen información interesante en el campo de las ciencias forenses. Se recomienda ampliar este estudio aumentando el tamaño muestral, utilizando informes de autopsias y con un enfoque multidisciplinar que combine metodología de antropología forense con un análisis del comportamiento del agresor.

9.2. ESTUDIO DEL TRAUMA CORTANTE EN CADÁVERES CREMADOS

Los tres cadáveres utilizados para realizar el experimento de trauma cortante fueron embalsamados y procedían de un cementerio, lo que puede haber influido en el porcentaje de supervivencia de las marcas de corte. Asimismo, la temperatura y la disponibilidad de oxígeno son factores limitantes en piras al aire libre y en el presente experimento no han supuesto un problema debido a que el horno crematorio mantenía estas variables constantes y controladas.

A pesar de las limitaciones, la información y los resultados obtenidos en este trabajo son valiosos para el campo de la antropología, puesto que las diversas condiciones tafonómicas constituyen una variable importante en todo caso forense. Los resultados obtenidos en este experimento abren una nueva línea de investigación sobre la tasa de supervivencia post-cremación de las marcas de corte inducidas con distintos tipos de instrumentos. Son necesarios más estudios experimentales que repliquen este análisis preliminar, incrementando el tamaño muestral de individuos y herramientas con el fin de comparar la morfología de las marcas de corte y su porcentaje de supervivencia y analizar más variables que influyan desde el comienzo del procedimiento. También se recomienda ampliar la guía visual y el diagrama de flujo para añadir más tipos de traumatismo y validar el traumatismo cortante mediante un comité de expertos.

9.3. ESTUDIO DE MARCAS DE CORTE EN HUESOS QUEMADOS

El material utilizado para este experimento fueron huesos de cerdo desarticulados que se descarnaron antes de realizar el trauma cortante, lo que ha podido influir en la morfología de las lesiones y en las variaciones dimensionales tras la cremación. Estos huesos se quemaron en un horno eléctrico de laboratorio en lugar de en una pira al aire libre y esta diferencia en el proceso crematorio podría haber influido en la conservación de las marcas de corte.

Sin embargo, los resultados obtenidos son coherentes con la literatura internacional y con las observaciones del estudio del trauma cortante en cadáveres cremados. Este experimento amplía y confirma las conclusiones de otros autores y aporta información relevante para el campo la antropología forense. Además, se ha demostrado que el rugosímetro óptico es un dispositivo portátil sencillo de utilizar que puede complementar el examen de las lesiones sin dañar la muestra, proporcionando un análisis de superficie detallado. En el futuro, se aconseja repetir el experimento aumentando el tamaño muestral y quemando los huesos a distintas temperaturas y tiempos, así como examinar las diferencias métricas y morfológicas existentes entre las marcas de corte realizadas por cuchillos lisos y serrados. Asimismo, se recomienda realizar una prueba de error interobservador para evaluar si las diferencias encontradas en la presente tesis doctoral son suficientes para discriminar entre tipos de instrumentos, y elaborar una nueva metodología que combine el análisis de imágenes del rugosímetro con inteligencia artificial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Stewart TD (1979) *Essentials of forensic anthropology: especially as developed in the United States*. Charles C. Thomas, Springfield, IL
2. Byers SN (2016) *Introduction to forensic anthropology*, 4th ed. Taylor & Francis
3. Iscan M (1981) Integral Forensic Anthropology. *Pract Anthropol* 3:13–30. <https://doi.org/10.17730/praa.3.4.61520502t9mv7600>
4. Krogman WM, Iscan M (1986) *Human Skeleton in Forensic Medicine*, 2nd ed. Charles C. Thomas, Springfield, IL
5. Blau S (2017) How traumatic: a review of the role of the forensic anthropologist in the examination and interpretation of skeletal trauma. *Aust J Forensic Sci* 49:261–280. <https://doi.org/10.1080/00450618.2016.1153715>
6. Black S, Ferguson E (2011) *Forensic Anthropology: 2000 to 2010*. CRC Press
7. Wescott DJ (2018) Recent advances in forensic anthropology: decomposition research. *Forensic Sci Res* 3:278–293. <https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1488571>
8. Van Deest TL, Warren MW, Bolhofner KL (2012) Advances in the Anthropological Analysis of Cremated Remains. In: Dirkmaat DC (ed) *A Companion to Forensic Anthropology*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp 418–431
9. Fairgrieve SI (2008) *Forensic cremation: Recovery and analysis*. CRC Press, Boca Raton, Florida
10. Schmidt CW, Symes SA (2015) *The Analysis of Burned Human Remains*. Academic press
11. Cunha E, Ross AH (2018) *Dismemberments: Perspectives in Forensic Anthropology and Legal Medicine*, 1st ed. Academic press
12. Black S, Rutty G, Hainsworth S, Thomson G (2017) *Criminal Dismemberment*, 1st ed. CRC Press, Boca Raton
13. Pokines JT, Symes SA (2013) *Manual of Forensic Taphonomy*. CRC Press, Boca Raton, London, New York
14. Vass AA, Bass WM, Wolt JD, et al (1992) Time Since Death Determinations of Human Cadavers Using Soil Solution. *J Forensic Sci* 37:1331–1337. <https://doi.org/10.1520/JFS13311J>
15. Janaway RC, Percival SL, Wilson AS (2009) Decomposition of Human Remains. In: Percival SL (ed)

- Microbiology and Aging: Clinical Manifestations. Humana Press, Totowa, NJ, pp 1–345
16. Mann RW, Bass WM, Meadows L (1990) Time Since Death and Decomposition of the Human Body: Variables and Observations in Case and Experimental Field Studies. *J Forensic Sci* 35:12806]. <https://doi.org/10.1520/JFS12806J>
 17. Finley SJ, Benbow ME, Javan GT (2015) Microbial communities associated with human decomposition and their potential use as postmortem clocks. *Int J Legal Med* 129:623–632. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1059-0>
 18. Chee Hau T, Hamzah NH, Hing HL, Amir Hamzah SPA (2014) Decomposition Process and Post Mortem Changes: Review. *Sains Malaysiana* 43:1873–1882. <https://doi.org/10.17576/jsm-2014-4312-08>
 19. Megyesi MS, Nawrocki SP, Haskell NH (2005) Using Accumulated Degree-Days to Estimate the Postmortem Interval from Decomposed Human Remains. *J Forensic Sci* 50:1–9. <https://doi.org/10.1520/JFS2004017>
 20. Ferreira MT, Cunha E (2013) Can we infer post mortem interval on the basis of decomposition rate? A case from a Portuguese cemetery. *Forensic Sci Int* 226:298.e1–298.e6. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.01.006>
 21. Pokines JT, Zinni DP, Crowley K (2016) Taphonomic Patterning of Cemetery Remains Received at the Office of the Chief Medical Examiner, Boston, Massachusetts. *J Forensic Sci* 61:S71–S81. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12902>
 22. Heaton V, Lagden A, Moffatt C, Simmons T (2010) Predicting the Postmortem Submersion Interval for Human Remains Recovered from U.K. Waterways. *J Forensic Sci* 55:302–307. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01291.x>
 23. Galloway A, Birkby WH, Jones AM, et al (1989) Decay rates of human remains in an arid environment. *J Forensic Sci* 34:607–16
 24. Mata Tutor P, Villoria Rojas C, Benito Sánchez M (2021) Late stage decomposition of embalmed cadavers: Taphonomy from Cementerio Sur de Madrid. *Archaeol Environ Forensic Sci* 2:49–60. <https://doi.org/http://www.doi.org/10.1558/aefs.17953>
 25. Ubelaker DH (1997) Taphonomic Applications in Forensic Anthropology. In: Sorg MH, Haglund WD (eds) *Forensic Taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains*. CRC Press, pp 77–90
 26. Sáez AS, Albarrán MSR, Juan MEA (2006) Fenómenos de conservación cadavérica. Saponificación.

- Rev la Esc Med Leg 27–36
27. Fiedler S, Graw M (2003) Decomposition of buried corpses, with special reference to the formation of adipocere. *Naturwissenschaften* 90:291–300. <https://doi.org/10.1007/s00114-003-0437-0>
 28. Gentile G, Andreola S, Bilardo G, et al (2020) Technical note—stabilization of cadaveric corified and mummified skin thanks to prolonged temperature. *Int J Legal Med* 134:1797–1801. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02258-4>
 29. Congram D (2013) Deposition and Dispersal of Human Remains as a Result of Criminal Acts. In: Pokines JT, Symes SA (eds) *Manual of Forensic Taphonomy*. CRC Press, pp 249–285
 30. Shrestha S, Bhattarai S, Mahat S, et al (2019) Embalming – History to its Recent Advancements. *Eur J Med Sci* 1:62–68. <https://doi.org/10.46405/ejms.v1i1.15>
 31. Balta JY, Cronin M, Cryan JF, O'Mahony SM (2015) Human preservation techniques in anatomy: A 21st century medical education perspective. *Clin Anat* 28:725–734. <https://doi.org/10.1002/ca.22585>
 32. Öhrström L, Tekin A, Biedermann P, et al (2020) Experimental mummification—In the tracks of the ancient Egyptians. *Clin Anat* 33:860–871. <https://doi.org/10.1002/ca.23568>
 33. Gómez Bellard F (1996) El análisis antropológico de las cremaciones. *Complutum Extra* 6:55–64
 34. Thompson TJU (2015) *The Archaeology of Cremation: Burned human remains in funerary studies*, 8th ed. Oxbow Books, Oxford
 35. Cerdeño ML, Sagardoy T (2016) La necrópolis de Herrería I y II. Las fases culturales del bronce final II-III. La Ergástula Ediciones, Madrid
 36. Trancho GJ (2010) Análisis antropológico de las necrópolis de cremación. *Rev Española Antropol Física* 31:205–232
 37. Ross AH, Humphries A, Cunha E (2019) The Pattern of Violence and Aggression. In: *Dismemberments*. Elsevier, pp 183–194
 38. Ubelaker DH (2009) The forensic evaluation of burned skeletal remains: A synthesis. *Forensic Sci Int* 183:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.09.019>
 39. Mayne Correia P (1996) Fire Modification of Bone. In: Haglund WD, Sorg MH (eds) *Forensic Taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains*. CRC Press
 40. Di Nunno N, Costantinides F, Vacca M, Di Nunno C (2006) Dismemberment. *Am J Forensic Med*

- Pathol 27:307–312. <https://doi.org/10.1097/01.paf.0000188170.55342.69>
41. Morcillo-Méndez MD, Campos IY (2012) Dismemberment: cause of death in the Colombian armed conflict. *Torture* 22 Suppl 1:5–13
 42. Pachar Lucio JV (2019) Postmortem Criminal Mutilation in Panama. In: *Dismemberments*. Elsevier, pp 63–68
 43. Sanabria-Medina C, Osorio Restrepo H (2019) Dismemberment of Victims in Colombia. In: *Dismemberments*. Elsevier, pp 7–41
 44. Vásquez Guarín C, García Ospina J, Molina Castaño CF (2020) Factores asociados a la identificación de cuerpos descuartizados o desmembrados en Medellín (Colombia). *Rev Española Med Leg* 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.reml.2019.12.001>
 45. Brickley M, Ferllini R (2007) *Forensic Anthropology: Case studies from Europe*, 1st ed. Charles C. Thomas
 46. Alunni V, Grevin G, Buchet L, Quatrehomme G (2014) Forensic aspect of cremations on wooden pyre. *Forensic Sci Int* 241:167–172. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.05.023>
 47. Ubelaker DH, Owsley DW, Houck MM, et al (1995) The Role of Forensic Anthropology in the Recovery and Analysis of Branch Davidian Compound Victims: Recovery Procedures and Characteristics of the Victims. *J Forensic Sci* 40:13784J. <https://doi.org/10.1520/JFSI3784J>
 48. Lunetta P, Ranta H, Cattaneo C, et al (2003) International collaboration in mass disasters involving foreign nationals within the EU. *Int J Legal Med* 117:204–210. <https://doi.org/10.1007/s00414-003-0366-7>
 49. Roberts J, Baldry A (2021) Disposal of a homicide victim by dismemberment and burning: the contribution of forensic anthropology and archaeology in reconstructing the crime. *Archaeol Environ Forensic Sci* 2:39–48. <https://doi.org/10.1558/aefs.18070>
 50. Tidrick M, Brucato G, Petreca V, et al (2020) The insanity defense in cases of homicide involving post-mortem dismemberment. *Forensic Sci Int Mind Law* 1:100033. <https://doi.org/10.1016/j.fsimpl.2020.100033>
 51. Petreca VG, Burgess AW, Stone MH, Brucato G (2020) Dismemberment and Mutilation: A Data-Driven Exploration of Patterns, Motives, and Styles. *J Forensic Sci* 65:888–896. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14274>
 52. Adams BJ, Rainwater CW, Yim A, Alesbury HS (2019) A Retrospective Study of Intentional Body

- Dismemberment in New York City: 1996–2017. *J Forensic Sci* 64:1012–1016. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14012>
53. Reichs KJ (1998) Postmortem dismemberment: recovery, analysis and interpretation. In: Reichs KJ (ed) *Forensic osteology: advances in the identification of human remains*. Charles C. Thomas, pp 353–388
 54. Rainwater CW (2015) Three modes of dismemberment: disarticulation around the joints, transection of bone via chopping, and transection of bone via sawing. In: *Skeletal trauma analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp 222–245
 55. Black S, Rutty G, Hainsworth S, Thomson G (2017) Introduction to criminal human dismemberment. In: Black S, Rutty G, Hainsworth S, Thomson G (eds) *Criminal Dismemberments*, 1st ed. CRC Press, Boca Raton, pp 1–6
 56. Häkkänen-Nyholm H, Weizmann-Henelius G, Salenius S, et al (2009) Homicides with Mutilation of the Victim's Body. *J Forensic Sci* 54:933–937. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01094.x>
 57. Konopka T, Strona M, Bolechała F, Kunz J (2007) Corpse dismemberment in the material collected by the Department of Forensic Medicine, Cracow, Poland. *Leg Med* 9:1–13. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2006.08.008>
 58. Almond L, Pell C, McManus M (2018) Body Part Removal: A Thematic Exploration of U.K. Homicide Offenses. *J Interpers Violence* 1–20. <https://doi.org/10.1177/0886260518814268>
 59. Wilke-Schalhorst N, Schröder AS, Püschel K, Edler C (2019) Criminal corpse dismemberment in Hamburg, Germany from 1959 to 2016. *Forensic Sci Int* 300:145–150. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.04.038>
 60. Püschel K, Koops E (1987) Dismemberment and mutilation. *Arch Für Kriminologie* 180:88–100
 61. Mata Tutor P, Villoria Rojas C (2020) Vayamos por partes - Desmembramiento y mutilación en España en los últimos 10 años. *V Anu Int Criminol y Ciencias Forenses, SECCIF* 5:165–185
 62. Keppel RD, Weis JG, Brown KM, Welch K (2005) The Jack the Ripper murders: a modus operandi and signature analysis of the 1888-1891 Whitechapel murders. *J Investig Psychol Offender Profiling* 2:1–21. <https://doi.org/10.1002/jip.22>
 63. Petreca VG, Brucato G, Burgess AW, Dixon E (2020) Criminal cannibalism: An examination of patterns and styles. *Aggress Violent Behav* 56:101531. <https://doi.org/10.1016/j.avb.2020.101531>
 64. Mata Tutor P, Villoria Rojas C (2021) La huella de Jack el Destripador: Dos casos de

- desmembramiento criminal necromaniaco en España. *Quad Criminol* 52:16–20
65. Duhig C, Martinsen N (2007) Many layers of taphonomy: Dismemberment and other body processing. In: Brickley M, Ferlini R (eds) *Forensic Anthropology: Case Studies From Europe*, 1st ed. Charles C. Thomas, pp 86–99
 66. Smith AC (2014) The Effects of Sharp-Force Thoracic Trauma on the Rate and Pattern of Decomposition. *J Forensic Sci* 59:319–326. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12338>
 67. Baigent C, Agan C, Connor M, Hansen ES (2020) Autopsy as a form of evisceration: Implications for decomposition rate, pattern, and estimation of postmortem interval. *Forensic Sci Int* 306:110068. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.110068>
 68. Byers SN (2016) Estimating Postmortem Interval. In: Byers SN (ed) *Introduction to forensic anthropology*, 4th ed. Taylor & Francis, pp 109–129
 69. Pachar Lucio JV (2015) Abordaje médico forense de los cuerpos mutilados criminalmente. *Med Leg Costa Rica* 32:41–50
 70. Sea J, Beauregard E (2019) Mutilation in Korean Homicide: An Exploratory Study. *J Interpers Violence* 34:2863–2877. <https://doi.org/10.1177/0886260516663898>
 71. Rajs J, Lundström M, Broberg M, et al (1998) Criminal Mutilation of the Human Body in Sweden—A Thirty-Year Medico-Legal and Forensic Psychiatric Study. *J Forensic Sci* 43:16183]. <https://doi.org/10.1520/JFS16183J>
 72. Wirth I, Schmeling A (2017) *Kriminelle Leichenzerstückelung*, 1st ed. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
 73. De Matteis M, Giorgetti A, Viel G, et al (2020) Homicide and concealment of the corpse. Autopsy case series and review of the literature. *Int J Legal Med*. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02345-6>
 74. Amadasi A, Mazzarelli D, Oneto C, et al (2019) Dismemberment and Toolmark Analysis on Bone. In: *Dismemberments*. Elsevier, pp 113–131
 75. Ross AH, Radisch D (2019) Toolmark Identification on Bone. In: *Dismemberments*. Elsevier, pp 165–182
 76. Symes SA, Williams J, Murray E, et al (2001) Taphonomic Context of Sharp-Force Trauma in Suspected Cases of Human Mutilation and Dismemberment. In: Haglund WD, Sorg MH (eds) *Advances in Forensic Taphonomy: Method, Theory, and Archaeological Perspectives*. CRC Press,

- Boca Raton, Fla, pp 403–434
77. Symes SA, Chapman EN, Rainwater CW, et al (2010) Knife and Saw Toolmark Analysis in Bone: A Manual Designed for the Examination of Criminal Mutilation and Dismemberment. Pennsylvania Mercyhurst Coll 142
 78. Porta D, Amadasi A, Cappella A, et al (2016) Dismemberment and disarticulation: A forensic anthropological approach. *J Forensic Leg Med* 38:50–57. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2015.11.016>
 79. Byers SN (2016) Sharp and Miscellaneous Trauma. In: Byers SN (ed) *Introduction to forensic anthropology*, 4th ed. Taylor & Francis, pp 320–335
 80. Love JC (2019) Sharp force trauma analysis in bone and cartilage: A literature review. *Forensic Sci Int* 299:119–127. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.03.035>
 81. Kimmerle EH, Baraybar JP (2008) Sharp Force Trauma. In: Taylor & Francis Inc (ed) *Skeletal trauma: identification of injuries resulting from human rights abuse and armed conflict*. CRC Press, Boca Raton, pp 263–314
 82. Norman DG, Watson DG, Burnett B, et al (2018) The cutting edge — Micro-CT for quantitative toolmark analysis of sharp force trauma to bone. *Forensic Sci Int* 283:156–172. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.12.039>
 83. Saville PA, Hainsworth S V., Rutty GN (2007) Cutting crime: the analysis of the “uniqueness” of saw marks on bone. *Int J Legal Med* 121:349–357. <https://doi.org/10.1007/s00414-006-0120-z>
 84. Love JC, Derrick SM, Wiersema JM, Peters C (2015) Microscopic Saw Mark Analysis: An Empirical Approach. *J Forensic Sci* 60:S21–S26. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12650>
 85. Alunni-Perret V, Borg C, Laugier J-P, et al (2010) Scanning Electron Microscopy Analysis of Experimental Bone Hacking Trauma of the Mandible. *Am J Forensic Med Pathol* 31:326–329. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e3181e2ed0b>
 86. Humphrey JH, Hutchinson DL (2001) Microscopic Characteristics of Hacking Trauma. *J Forensic Sci* 46:228–233. <https://doi.org/10.1520/JFS14955J>
 87. McCardle P, Stojanovski E (2018) Identifying Differences Between Cut Marks Made on Bone by a Machete and Katana: A Pilot Study. *J Forensic Sci* 63:1813–1818. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13754>
 88. Bass WM (1984) Is it possible to consume a body completely in a fire? In: Rathbun TA, Buiskra JE (eds) *Human identification: Case studies in Forensic Anthropology*. Charles C. Thomas, Springfield,

Illinois, pp 159–167

89. Thompson TJU (2004) Recent advances in the study of burned bone and their implications for forensic anthropology. *Forensic Sci Int* 146:S203–S205. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.09.063>
90. Symes SA, Dirkmaat DC, Ousley S, et al (2012) Recovery and Interpretation of Burned Human Remains. *BiblioGov* 236
91. Karni M, Zidon D, Polak P, et al (2013) Thermal Degradation of DNA. *DNA Cell Biol* 32:298–301. <https://doi.org/10.1089/dna.2013.2056>
92. Rubio L, Sioli JM, Gaitán MJ, Martín-de-las-Heras S (2018) Dental color measurement to predict DNA concentration in incinerated teeth for human identification. *PLoS One* 13:e0196305. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196305>
93. Emanovsky P, Hefner JT, Dirkmaat DC (2002) Can Sharp Force Trauma To Bone Be Recognized After Fire Modification? An Experiment Using *Odocoileus virginianus* (White-Tailed Deer) Ribs. *Proc from Annu Meet Am Acad Forensic Sci* 8:214–215
94. Koch S, Lambert J (2017) Detection of Skeletal Trauma on Whole Pigs Subjected to a Fire Environment. *J Anthropol Reports* 02:1–7. <https://doi.org/10.35248/2684-1304.17.2.113>
95. Mata Tutor P, Márquez-Grant N, Villoria Rojas C, et al (2020) Through fire and flames: post-burning survival and detection of dismemberment-related toolmarks in cremated cadavers. *Int J Legal Med* 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02447-1>
96. Franceschetti L, Mazzucchi A, Magli F, et al (2021) Are cranial peri-mortem fractures identifiable in cremated remains? A study on 38 known cases. *Leg Med* 49:101850. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101850>
97. Gonçalves D, Thompson TJU, Cunha E (2013) Osteometric sex determination of burned human skeletal remains. *J Forensic Leg Med* 20:906–911. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2013.07.003>
98. Ochôa Rodrigues C, Ferreira MT, Matos V, Gonçalves D (2020) “Sex change” in skeletal remains: Assessing how heat-induced changes interfere with sex estimation. *Sci Justice* 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2020.09.007>
99. Gonçalves D, Cunha E, Thompson TJU (2013) Weight References for Burned Human Skeletal Remains from Portuguese Samples. *J Forensic Sci* 58:1134–1140. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12167>

100. Veselka B, Hlad M, Wolfe Steadman D, et al (2020) Estimating age-at-death in burnt adult human remains using the Falys–Prangle method. *Am J Phys Anthropol* ajpa.24210. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24210>
101. Etxeberria Gabilondo F (1994) Aspectos macroscópicos del hueso sometido al fuego: Revisión de las cremaciones descritas en el País Vasco desde la arqueología. *Munibe Ciencias Nat* 111–116
102. Bohnert M, Rost T, Pollak S (1998) The degree of destruction of human bodies in relation to the duration of the fire. *Forensic Sci Int* 95:11–21. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(98\)00076-0](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(98)00076-0)
103. Pope EJ, Smith OC (2004) Identification of Traumatic Injury in Burned Cranial Bone: An Experimental Approach. *J Forensic Sci* 49:1–10. <https://doi.org/10.1520/JFS2003286>
104. Symes SA, Rainwater CW, Chapman EN, et al (2015) Patterned Thermal Destruction in a Forensic Setting. In: Schmidt C, Symes SA (eds) *The Analysis of Burned Human Remains*. Academic press, pp 17–59
105. Mata Tutor P (2018) The uses of archaeological cremains in Forensic Sciences: Anthropological study of Celtiberian cremated remains in Checa, Guadalajara. Universidad Complutense de Madrid (Master Thesis)
106. Thompson TJU (2005) Heat-induced Dimensional Changes in Bone and their Consequences for Forensic Anthropology. *J Forensic Sci* 50:1–8. <https://doi.org/10.1520/JFS2004297>
107. Keough N, L'Abbé EN, Steyn M, Pretorius S (2015) Assessment of skeletal changes after post-mortem exposure to fire as an indicator of decomposition stage. *Forensic Sci Int* 246:17–24. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.10.042>
108. Gonçalves D, Cunha E, Thompson TJU (2015) Estimation of the pre-burning condition of human remains in forensic contexts. *Int J Legal Med* 129:1137–1143. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1027-8>
109. Schurr MR, Hayes RG, Cook DC (2015) Thermally Induced Changes. In: Schmidt C, Symes SA (eds) *The Analysis of Burned Human Remains*. Academic press, pp 105–118
110. Herrmann NP, Bennett JL (1999) The Differentiation of Traumatic and Heat-Related Fractures in Burned Bone. *J Forensic Sci* 44:1449J. <https://doi.org/10.1520/JFS1449J>
111. Gonçalves D, Thompson TJU, Cunha E (2011) Implications of heat-induced changes in bone on the interpretation of funerary behaviour and practice. *J Archaeol Sci* 38:1308–1313. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.01.006>

112. Mata Tutor P, Benito Sánchez M, Villoria Rojas C, et al (2021) Cut or burnt? – Categorizing morphological characteristics of heat-induced fractures and sharp force trauma. *Leg Med* 50:101868. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101868>
113. Page M, Taylor J, Blenkin M (2011) Forensic Identification Science Evidence Since Daubert: Part I- A Quantitative Analysis of the Exclusion of Forensic Identification Science Evidence. *J Forensic Sci* 56:1180–1184. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01777.x>
114. Lesciotto KM (2015) The Impact of Daubert on the Admissibility of Forensic Anthropology Expert Testimony. *J Forensic Sci* 60:549–555. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12740>
115. Wheatley BP (2008) Perimortem or Postmortem Bone Fractures? An Experimental Study of Fracture Patterns in Deer Femora. *J Forensic Sci* 53:69–72. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00593.x>
116. Robbins SC, Fairgrieve SI, Oost TS (2015) Interpreting the Effects of Burning on Pre-incineration Saw Marks in Bone. *J Forensic Sci* 60:S182–S187. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12580>
117. Alunni V, Nogueira L, Quatrehomme G (2018) Macroscopic and stereomicroscopic comparison of hacking trauma of bones before and after carbonization. *Int J Legal Med* 132:643–648. <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1649-8>
118. Poppa P, Porta D, Gibelli D, et al (2011) Detection of Blunt, Sharp Force and Gunshot Lesions on Burnt Remains. *Am J Forensic Med Pathol* 32:275–279. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e3182198761>
119. Kooi RJ, Fairgrieve SI (2013) SEM and Stereomicroscopic Analysis of Cut Marks in Fresh and Burned Bone. *J Forensic Sci* 58:452–458. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12050>
120. Waltenberger L, Schutkowski H (2017) Effects of heat on cut mark characteristics. *Forensic Sci Int* 271:49–58. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.12.018>
121. Macoveciuc I, Márquez-Grant N, Horsfall I, Zioupos P (2017) Sharp and blunt force trauma concealment by thermal alteration in homicides: An in-vitro experiment for methodology and protocol development in forensic anthropological analysis of burnt bones. *Forensic Sci Int* 275:260–271. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.03.014>
122. Vegh EI, Rando C (2018) Effects of Heat as a Taphonomic Agent on Kerf Dimensions. *Archaeol Environ Forensic Sci* 1:105–118. <https://doi.org/10.1558/aeefs.35927>
123. de Gruchy S, Rogers TL (2002) Identifying Chop Marks on Cremated Bone: A Preliminary Study. *J*

- Forensic Sci 47:15506J. <https://doi.org/10.1520/JFSI15506J>
124. Marciniak S-M (2009) A Preliminary Assessment of the Identification of Saw Marks on Burned Bone. *J Forensic Sci* 54:779–785. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01044.x>
 125. Thompson TJU, Gonçalves D, Squires K, Ulguim P (2017) Thermal Alteration to the Body. In: *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp 318–334
 126. Pecino-Latorre, Pérez-Fuentes, Patró-Hernández, Santos-Hermoso (2019) Expressiveness and Instrumentality of Crime Scene Behavior in Spanish Homicides. *Int J Environ Res Public Health* 16:4526. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224526>
 127. Mair P, Borg I, Rush T (2016) Goodness-of-Fit Assessment in Multidimensional Scaling and Unfolding. *Multivariate Behav Res* 51:772–789. <https://doi.org/10.1080/00273171.2016.1235966>
 128. Naranjo Martínez PJ, Torre JI de la (2012) Castil de Griegos y Puente de la Sierra: Un Modelo de poblamiento celtibérico en el Alto Tajo. VII Simp sobre los celtiberos Nuevos Hallazgos, Nuevas Interpret Daroca, 20-22 Marzo 2012 20–22
 129. Decreto 124/1997, del 9 de octubre, de la Comunidad Autónoma de Madrid
 130. Wilson A, Serafin S, Seckiner D, et al (2019) Evaluating the utility of time-lapse imaging in the estimation of post-mortem interval: An Australian case study. *Forensic Sci Int Synerg* 1:204–210. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2019.08.003>
 131. Jaskulska E (2020) *Analysis of Human Cremains*, 1st ed. Institute of Archaeology, University of Warsaw, Warsaw
 132. Grévin G, Bailet P, Quatrehomme G, Ollier A (1998) Anatomical reconstruction of fragments of burned human bones: a necessary means for forensic identification. *Forensic Sci Int* 96:129–134. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(98\)00115-7](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(98)00115-7)
 133. Coelho L, Cardoso HFV (2013) Timing of blunt force injuries in long bones: The effects of the environment, PMI length and human surrogate model. *Forensic Sci Int* 233:230–237. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.09.022>
 134. Moraitis K, Eliopoulos C, Spiliopoulou C (2009) Fracture characteristics of perimortem trauma in skeletal material. *Internet J Biol Anthropol* 3:1–8
 135. Ubelaker DH, Adams BJ (1995) Differentiation of Perimortem and Postmortem Trauma Using Taphonomic Indicators. *J Forensic Sci* 40:13818J. <https://doi.org/10.1520/JFSI13818J>

136. Koo TK, Li MY (2016) A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 15:155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
137. Pearce A, Richards R, Milz S, et al (2007) Animal models for implant biomaterial research in bone: A review. *Eur Cells Mater* 13:1–10. <https://doi.org/10.22203/eCM.v013a01>
138. Bonney H, Goodman A (2020) Validity of the use of porcine bone in forensic cut mark studies. *J Forensic Sci* 1556-4029.14599. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14599>
139. Matuszewski S, Hall MJR, Moreau G, et al (2020) Pigs vs people: the use of pigs as analogues for humans in forensic entomology and taphonomy research. *Int J Legal Med* 134:793–810. <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02074-5>
140. Ellingham STD, Thompson TJU, Islam M, Taylor G (2015) Estimating temperature exposure of burnt bone — A methodological review. *Sci Justice* 55:181–188. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2014.12.002>
141. Mata Tutor P, Villoria Rojas C, Márquez-Grant N, et al (2021) Measuring dimensional and morphological heat alterations of dismemberment-related toolmarks with a Rugosimeter. *Int J Legal Med*. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02627-7>
142. Vazquez-Calvo C, Alvarez de Buergo M, Fort R, Varas-Muriel MJ (2012) The measurement of surface roughness to determine the suitability of different methods for stone cleaning. *J Geophys Eng* 9:S108–S117. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/9/4/S108>
143. Miller AZ, Rogerio-Candelera MA, Dionísio A, et al (2012) Evaluación de la influencia de la rugosidad superficial sobre la colonización epilitica de calizas mediante técnicas sin contacto. *Mater Construcción* 62:411–424. <https://doi.org/10.3989/mc.2012.64410>
144. Kimmerle EH, Baraybar JP (2008) Differential Diagnosis of Skeletal Injuries. In: Taylor & Francis Inc (ed) *Skeletal trauma: identification of injuries resulting from human rights abuse and armed conflict*, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, pp 21–87
145. Galtés I, Scheirs S (2019) Differentiation between perimortem trauma and heat-induced damage: the use of perimortem traits on burnt long bones. *Forensic Sci Med Pathol* 15:453–457. <https://doi.org/10.1007/s12024-019-00118-1>
146. Mata Tutor P, Márquez-Grant N, Villoria Rojas C, et al (Under Review) Cadaver dismemberment and posterior destructive alteration as a method of body disposal in Spanish forensic cases. *J Forensic Leg Med*

147. Quatrehomme G (2007) A strange case of dismemberment. In: Brickley M, Ferllini R (eds) *Forensic Anthropology: Case Studies from Europe*, 1st ed. Charles C. Thomas, pp 99–120
148. Breglia GA (2018) Descuartizamiento criminal. Estudio medicolegal del lugar del hecho y de la víctima. A propósito de un caso. *Gac Int Ciencias Forenses* 27:63–87
149. Vidanapathirana M, Samaraweera JC (2016) Homicidal Cut Throat: The Forensic Perspective. *J Clin Diagnostic Res* 10:GD01–GD02. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/17997.7411>
150. Keaton MA (2012) Effect of Embalming on the Decomposition of Pigs. Louisiana State University (Master Thesis)
151. Thompson TJU, Chudek JA (2007) A novel approach to the visualisation of heat-induced structural change in bone. *Sci Justice* 47:99–104. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2006.05.002>
152. Hernández Mier C, Ortega Madrid A (2016) Reporte De Caso: Decapitación Y Desmembramiento Del Cuerpo; Lesiones Postmortem Con Sierra De Cinta. *Gac Int Ciencias Forenses* 19:17–21
153. Winskog C, Byard RW (2016) Decapitation: a rare form of postmortem mutilation. *Forensic Sci Med Pathol* 12:98–100. <https://doi.org/10.1007/s12024-015-9714-4>
154. Ellingham S, A. Sandholzer M (2020) Determining Volumetric Shrinkage Trends of Burnt Bone Using Micro-CT. *J Forensic Sci* 65:196–199. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14150>
155. Báez Calderón A (2018) Aplicación de peróxido de hidrógeno al 40% con o sin activadores y su efecto sobre esmalte, estudio in vitro al rugosímetro. Universidad Central del Ecuador (Bachelor Thesis)
156. Casanova X, Roldán M, Subirà ME (2020) Analysis of cut marks on ancient human remains using confocal profilometer. *J Hist Archaeol Anthropol Sci* 5:18–26. <https://doi.org/10.15406/jhaas.2020.05.00213>
157. Thompson TJU, Inglis J (2009) Differentiation of serrated and non-serrated blades from stab marks in bone. *Int J Legal Med* 123:129–135. <https://doi.org/10.1007/s00414-008-0275-x>
158. Stanley SA, Hainsworth S V., Rutty GN (2018) How taphonomic alteration affects the detection and imaging of striations in stab wounds. *Int J Legal Med* 132:463–475. <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1715-2>

DIFUSIÓN CIENTÍFICA

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

- **Mata Tutor, P.**, Villoria Rojas, C., Márquez-Grant, Álvarez de Buergo Ballester, M., Pérez Ema, N. & Benito Sánchez, M. (2021). Measuring dimensional and morphological heat alterations of dismemberment-related toolmarks with an Optical Roughness-meter. *International Journal of Legal Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02627-7>
- **Mata Tutor, P.**, Márquez-Grant, N., Villoria Rojas, C., Muñoz García, A., Pérez Guzmán, I. & Benito Sánchez, M. (2021). Cut or burnt? – Categorizing morphological characteristics of heat-induced fractures and sharp force trauma. *Legal Medicine*, 50:101868. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101868>
- **Mata Tutor, P.**, Benito Sánchez, M., Villoria Rojas, C., Muñoz García, A., Pérez Guzmán, I. & Márquez-Grant, N. (2020). Through fire and flames: post-burning survival and detection of dismemberment-related toolmarks in cremated cadavers. *International Journal of Legal Medicine*, 1-15- <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02447-1>
- **Mata Tutor, P.** & Villoria Rojas, C. (2020). Vayamos por partes - Desmembramiento y mutilación en España en los últimos 10 años. V Anuario Internacional de la Sociedad Española de Criminología y Ciencias Forenses (SECCIF), Valladolid.
- **Mata Tutor, P.**, Villoria Rojas, C., Márquez-Grant, N., Herreros, B. & Benito Sánchez, M. (Under review). Cadaver dismemberment and posterior destructive alteration as a method of body disposal in Spanish forensic cases. *Journal of Forensic and Legal Medicine* from 4/03/2021.

PONENCIAS Y POSTERS EN CONGRESOS CIENTÍFICOS

- **Mata Tutor, P.** et al. (2020). Cadaveric alteration through fire as a method of body concealment. British Association for Forensic Anthropology Virtual Winter Conference.
- **Mata Tutor, P.** & Villoria Rojas, C. (2020). Trauma cortante en hueso largo: Estudio comparativo de marcas de corte realizadas por distintos tipos de cuchillos. XII Reunión de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense.
- **Mata Tutor, P.** et al. (2020). Destrucción y ocultación de cadáveres: Marcas de corte relacionadas con el desmembramiento en cuerpos incinerados. XII Reunión de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense.
- **Mata Tutor, P.** (2020). Desmembramiento, mutilación y profanación de cadáveres en España. PhDay Facultad de Medicina.
- **Mata Tutor, P.** & Villoria Rojas, C. (2020). Aportaciones de la arqueología a las ciencias forenses: Estudio de lesiones relacionadas con el desmembramiento. VIII Congreso Internacional de Criminología y Criminalística.
- **Mata Tutor, P.** et al. (2019). Incidencia de trauma cortante en cadáveres cremados: Estudio preliminar. XI Reunión de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense.
- **Mata Tutor, P.**, Benito Sánchez, M. & Villoria Rojas, C. (2019) Fuego & Color: Distribución proporcional del color en cadáveres cremados como herramienta forense. XI Reunión de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense.
- **Mata Tutor, P.** et al. (2019). Cremación en la Península Ibérica: Estudio comparado de rituales funerarios. XXI Congreso de la Sociedad Española de Antropología Física.
- **Mata Tutor, P.** et al. (2019). Identificación forense de restos cremados - Análisis antropológico del individuo PI I de la necrópolis íbera de Alcubillas (2019). II Jornadas de la Escuela de Medicina Legal y Forense.
- **Mata Tutor, P.** & Benito Sánchez, M. (2018). Fire as a taphonomic agent: Heat induced fractures found in archaeological contexts. Bones, Bodies and Disease.
- **Mata Tutor, P.** et al. (2018). El fuego como agente tafonómico. X Reunión de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense.