



Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>

Estudio de los efectos tafonómicos observados en los restos cadavéricos de *Sus scrofa domestica*

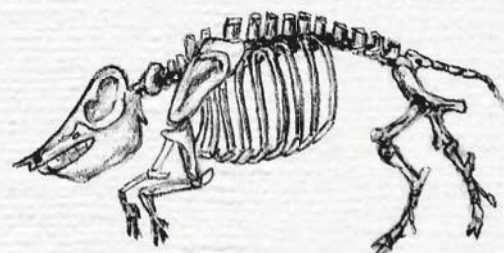
TESIS DOCTORAL

Doctorado en Biodiversidad

Aida Gutiérrez Galiacho

DIRECCIÓN

Dra. Núria Armentano i Oller
Dra. Assumpció Malgosa Morera
Dra. Dominika Nociarová





Universitat Autònoma de Barcelona

Unitat d'Antropologia Biològica
Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia
Doctorado en Biodiversidad

**Estudio de los efectos tafonómicos
observados en los restos cadavéricos de
*Sus scrofa domestica***

Aida Gutiérrez Galiacho

Tesis Doctoral
2021

Estudio de los efectos tafonómicos observados en los restos cadavéricos de *Sus scrofa domestica*

Memoria presentada por **Aida Gutiérrez Galiacho** para optar al título de Doctora en el programa de Biodiversidad, Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia por la Universitat Autònoma de Barcelona.

Directoras:

Dra. Núria Armentano i Oller, Profesora asociada de la Unitat d'Antropologia Biològica del Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Dra. Assumpció Malgosa Morera, Catedrática en Antropología Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Dra. Dominika Nociarová, Profesora asociada de la Unitat d'Antropologia Biològica del Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Tutora:

Dra. Assumpció Malgosa Morera, Catedrática en Antropología Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Dra. Núria Armentano i
Oller

Dra. Assumpció Malgosa
Morera

Dra. Dominika Nociarová

Aida Gutiérrez Galiacho

Luciarentzat,
Zientzia zure bizitzan ere izan dadin

Agradecimientos



Resumen



La Tafonomía permite entender los procesos que sufren los cuerpos *post mortem*. El objetivo de la presente Tesis Doctoral es relacionar los efectos tafonómicos observados en diferentes enterramientos con los posibles agentes y procesos tafonómicos que los causaron. Para ello, se crearon las instalaciones Taphos-m con 26 estructuras funerarias de distintas características constructivas (espacio vacío *vs.* espacio colmatado) y reproduciendo enterramientos con cal y envoltura de tela. En ellas fueron enterrados ejemplares de *Sus scrofa domestica* de características biológicas conocidas. Se realizó un seguimiento continuado de las instalaciones y entre 3 y 6 años después del inicio del proyecto se analizaron todos los enterramientos. El paso del tiempo modificó de manera considerable el estado de las instalaciones: la vegetación creció de forma abundante cubriendo por completo las estructuras funerarias; se produjeron depresiones del terreno de las fosas simples que se mantuvieron en el tiempo; y el desprendimiento del montículo próximo a las instalaciones colmató de sedimento y dañó algunas estructuras funerarias provocando la pérdida de la hermeticidad de todas ellas. En cada intervención se valoró el estado cadavérico de las carcasas, la distribución espacial ósea, las modificaciones en la superficie cortical de los huesos y la fragmentación ósea, y se intentaron relacionar con los posibles responsables, entre ellos, la fauna cadavérica y los hongos asociados a los enterramientos. La tipología de la estructura funeraria determinó el estado cadavérico de las carcasas y dio lugar a distintos patrones de distribución espacial ósea, desde articulado estricto a desplazado. Los cambios en la superficie cortical de los huesos (cambios de coloración, manchas, perforaciones, exfoliación, etc.) y la fragmentación ósea fueron ocasionadas por distintos agentes y procesos tafonómicos, en su mayoría de naturaleza biológica. Además, se identificaron diferentes grupos de insectos en los enterramientos de Taphos-m: necrófagos, necrófilos, omnívoros y especies oportunistas que colonizaron las carcasas pre- y post-deposición de los cerdos en las estructuras funerarias. La falta de un protocolo de trabajo estandarizado para el muestreo y estudio de las colonias fúngicas asociadas a los enterramientos supuso el diseño de distintas estrategias de trabajo para Taphos-m. El muestreo con placas de contacto RODAC con un medio de cultivo con antibiótico garantizó el crecimiento y posterior estudio de las colonias en el laboratorio. Aunque la mayoría de colonias identificadas ya habían sido relacionadas con cuerpos en descomposición, 14 géneros no se habían vinculado nunca a este tipo de sustrato. En conclusión, en las estructuras de espacio vacío se conservaron más los tejidos blandos y la tela de algodón, las carcasas se desarticulaban, los huesos presentaron una coloración más oscura y con manchas por los líquidos de la descomposición, hubo mayor acceso de la fauna cadavérica colonizadora post-deposición y en los enterramientos con cal se observó la costra de cal rodeando la carcasa. En cambio, en las estructuras colmatadas, las carcasas estaban esqueletizadas y, en general, mantuvieron la distribución espacial ósea, la coloración de los huesos fue más clara por el contacto prolongado con el sedimento, el acceso de la fauna cadavérica estuvo limitado y solo se observaron pequeños residuos de cal.

Abstract



Taphonomy helps to understand the issues related to changes of the cadaveric remains. The aim of this PhD is to relate the taphonomic effects observed in different type of burials with its probable causative agents and taphonomic processes. Therefore, the Taphos-m experimental project was born. It consisted of 26 funerary structures with different burial types (“empty space” vs. simple fosses), reproducing burials with lime and cotton cloth. In these facilities, 26 samples of *Sus scrofa domestica* were buried, whose *ante mortem* information was known. The Taphos-m facilities were monitored and 3-6 years after the burials, all the funerary structures were opened. There were several changes in the facilities produced by the growth of vegetation, the presence of depression of the grave fill and the detachment of the mound near the facilities, causing the loss of the impenetrability of the burials. In every intervention, the cadaveric state of the carcasses, the articulation pattern, the modification in the cortical surface of the bones and the bone fragmentation were analysed, and it was tried to relate them with the possible cause, such as insects and fungi. The type of the funerary structure determined the cadaveric state of the carcasses and the different articulation patterns. Changes in the cortical surface of the bones (for example, discoloration, staining, perforation and exfoliation) and the bone fragmentation were caused by different taphonomic agents and processes, mostly biological. Different groups of insects were identified in the Taphos-m burials that colonized pig carcasses pre- and post-deposition. Protocols and different sampling strategies were designed for the study of fungi, due to the lack of standardized work methods. Sampling with RODAC contact plates with antibiotic culture medium was the best sampling strategy, since it guaranteed the growth of the colonies in the laboratory. Even though the most of the colonies identified in the Taphos-m burials had already been related to cadavers, it was the first time for 14 genera. In conclusion, in the “empty space” burials, the soft tissues and the cotton cloth were better conserved; the carcasses were disarticulated; the bones presented a darker coloration and stains appeared because of the decomposition liquids; there was greater access for the insects; and lime plates around the pig carcass were observed. Nevertheless, in the simple fosses, the carcasses were skeletonized and articulated; the coloration of the bones was clearer due to prolonged contact with the sediment; the access of the fauna was limited; and only small residues of lime were observed.

Índice de contenidos



Resumen	ix
Abstract	xi
Listado de Figuras	xv
Listado de Tablas	xix
CAPÍTULO I. Introducción	1
1.1. Tafonomía	3
1.2. Historia tafonómica	4
1.3. Instalaciones experimentales	8
1.4. Modelo animal	10
1.5. Agentes, procesos y efectos tafonómicos.....	11
1.5.1. Fauna cadavérica como agente tafonómico biológico.....	17
1.5.2. Hongos como agentes tafonómicos biológicos.....	18
1.5.3. La cal como agente tafonómico químico.....	24
CAPÍTULO II. Objetivos	25
CAPÍTULO III. Material y Métodos	31
3.1. Proyecto experimental Taphos-m.....	33
3.2. Fase I: Creación de las instalaciones Taphos-m.....	34
3.2.1. Documentación oficial.....	34
3.2.2. Localización de las instalaciones	34
3.2.3. Construcción de las estructuras funerarias.....	35
3.2.4. Enterramiento de los animales	37
3.3. Fase II: Apertura de las estructuras funerarias y estudio de las carcasas	38
3.3.1. Evolución de las instalaciones, protocolos de actuación y documentación	38

3.3.2. Estado de las carcasas y efectos tafonómicos observados.....	41
3.3.3. Estudio de los enterramientos con cal: 10-21, 12-20, 13-19, 14-24, 15-25 y 16-23	43
3.3.4. Estudio de los enterramientos de animales envueltos en tela de algodón: 19-10 y 21-16. 44	
3.4. Fase III-a: Estudio de la fauna cadavérica asociada a los enterramientos.....	45
3.4.1. Muestreo de la fauna cadavérica.....	45
3.4.2. Procedimiento en el laboratorio.....	46
3.5. Fase III-b: Estudio de los hongos asociados a los enterramientos	46
3.5.1. Estrategias de muestreo y procedimiento en el laboratorio.....	46
3.5.2. Muestras control.....	49

CAPÍTULO IV. Resultados y Discusión 51

4.1. Evolución del estado de las instalaciones	53
4.1.1. Climatología de Taphos-m.....	53
4.1.2. Crecimiento de la vegetación.....	55
4.1.3. Depresiones del sedimento de las fosas simples.....	57
4.1.4. Desprendimiento del montículo adyacente a las instalaciones.....	57
4.2. Excavación y apertura de las estructuras funerarias	58
4.2.1. Intervalos post-enterramiento.....	58
4.2.2. Proceso de excavación y apertura de las estructuras funerarias	59
4.3. Efectos tafonómicos de los enterramientos.....	63
4.3.1. Estado cadavérico de las carcasas.....	63
4.3.2. Modificaciones en la distribución espacial ósea.....	71
4.3.3. Modificaciones en la superficie cortical de los huesos	79
4.3.4. Fragmentación ósea	88
4.4. Estudio de los enterramientos con cal	88
4.5. Estudio de los enterramientos con envoltura de algodón	93
4.6. Patologías y traumatismos óseos	94
4.7. Fauna cadavérica asociada a los enterramientos	96
4.8. Hongos asociados a los enterramientos.....	102
4.8.1. Estrategias de muestreo: técnica óptima	103
4.8.2. Procedimiento en el laboratorio: medio de cultivo ideal	104
4.8.3. Hongos de los enterramientos de Taphos-m	105

CAPÍTULO V. Consideraciones finales..... 115

CAPÍTULO VI. Conclusiones.....	121
CAPÍTULO VII. Bibliografía	127
ANEXOS	147
Anexo I: Instalaciones Taphos-m.....	149
Documentación de los animales seleccionados para el proyecto Taphos-m	149
Plano de las instalaciones Taphos-m.....	150
Anexo II: Trabajo de campo	151
Ficha <i>ante mortem</i>	151
Ficha de registro de la evolución del estado de las instalaciones y estructuras funerarias.....	155
Protocolos de actuación	158
Protocolo para la recogida de muestras entomológicas	161
Protocolo para la recogida de muestras micológicas	166
Cadena de custodia.....	170
Ficha <i>post mortem</i>	173
Ficha valoración Bradford score (Schotsmans et al., 2012)	182
Resumen de los datos recogidos en las fichas <i>post mortem</i> (Tabla Anexo II).....	183
Anexo III: Artículos publicados ¹	187
Gutiérrez, A., Nociarová, D., Malgosa, A. y Armentano, N. (2016). Comparación de los efectos tafonómicos observados en dos estructuras funerarias de espacio vacío. <i>Revista Española de Medicina Legal</i> , 42(3), 98-104. https://doi.org/10.1016/j.reml.2016.03.002	187
Gutiérrez, A., Nociarová, D., Malgosa, A. y Armentano, N. (2017). Taphos-m, a taphonomical research using <i>Sus scrofa domestica</i> model in an experimental facility. <i>Archaeological and Environmental Forensic Science</i> , 1(1), 33-48. https://doi.org/10.1558/aefs.32473	195
Gutiérrez, A., Guardia, L., Nociarová, D., Malgosa, A. y Armentano, N. (2021). Taphonomy of experimental burials in Taphos-m: the role of fungi. <i>Revista Iberoamericana de Micología</i> . En prensa	211

¹ Las revistas han dado permiso para la reproducción de los artículos en la presente Tesis Doctoral.

Listado de Figuras



Figura 1. Esquema del proceso continuo de la muerte y sus diferentes fases.....	5
Figura 2. Momentos <i>post mortem</i> en los cuales ocurren las modificaciones tafonómicas: fase necrológica, fase pre-entierro y fase post-entierro	7
Figura 3. Esqueleto del cerdo (imagen modificada de Museum of Veterinary Anatomy FMVZ USP recuperada de www.commonswikimedia.org)	11
Figura 4. Ubicación de las instalaciones del proyecto Taphos-m en Lleida, Cataluña (estrella naranja).....	35
Figura 5. Estructuras funerarias reproducidas en Taphos-m: (a) fosa simple, (b) estructura de tejas, (c) estructura de piedras con cubierta de madera, (d) estructura de piedras con cubierta de piedras y (e) estructura de tejas a dos aguas (tipo <i>tegulae</i>)	35
Figura 6. Características de algunos de los enterramientos reproducidos: (a) cerdo 12-20 cubierto por completo con cal; (b) cerdo 15-25 enterrado con un poco de cal; (c) base de 10 cm de sedimento en la estructura de tejas 04-17 y (d) cerdo 21-16 envuelto en tela de algodón y atado con cuerdas de plástico	37
Figura 7. Evolución y el estado de las instalaciones Taphos-m con el paso del tiempo (fotografías panorámicas): (a) noviembre de 2015, (b) marzo de 2016, (c) julio de 2016, (d) enero de 2017 y (e) marzo de 2017	54
Figura 8. Crecimiento de la vegetación en las estructuras funerarias de Taphos-m (fotografías tomadas en marzo de 2015): (a) fosa simple 22-18, (b) estructura de tejas a dos aguas o <i>tegulae</i> 23-15, (c) estructura de tejas 19-10, (d) estructura de piedras 25-22 y (e) estructura de piedras con cubierta de madera 05-26. El intervalo de tiempo desde la fecha del enterramiento hasta la toma de las fotografías fue de 3 años en cada caso	56
Figura 9. Crecimiento de la vegetación en las estructuras funerarias con sedimento (fotografías tomadas en marzo de 2015): (a) fosa simple 11-07, (b) fosa simple con cal 13-19, (c) fosa simple con poca cantidad de cal 15-25 y (d) estructura tipo <i>tegulae</i> 26-11. El intervalo de tiempo desde la fecha del enterramiento hasta la toma de las fotografías fue de 3 años en cada caso.....	56
Figura 10. Depresión del sedimento en las fosas simples (fotografías tomadas en noviembre de 2012): (a) fosa simple 22-18 con depresión primaria, (b) fosa simple con cal 15-25 con depresiones primaria y secundaria y (c) fosa simple 20-04 con depresión secundaria. Los intervalos de tiempo desde la fecha de los enterramientos hasta la toma de las fotografías fue de 9, 8 y 12 meses respectivamente.....	57

Figura 11. Consecuencias del desprendimiento del montículo: (a) capa de hasta 14 cm de sedimento (detalle) sobre la cubierta de la estructura de tejas 03-06, (b) piedras sobre la cubierta de la estructura 12-20, (c) colmatación secundaria de las partes anatómicas posteriores de la carcasa 17-09 y (d) colmatación secundaria prácticamente total de la carcasa 09-13.....	58
Figura 12. Oscurecimiento del sedimento (a) en la fosa simple 15-25 y (b) en la estructura de espacio vacío 04-17 (con 10 cm de sedimento en la base).....	59
Figura 13. Deterioro de las cubiertas de las estructuras de espacio vacío con el paso del tiempo: (a-b) separación entre las tejas de la cubiertas de las estructuras 17-09 y 21-16 respectivamente y (c) separación entre las piedras de la cubierta de la estructura 25-22	60
Figura 14. Evidencias de las filtraciones de agua en las estructuras de teja (flechas naranjas): (a) tejas laterales de la estructura funeraria 14-24 húmedas y con marcas de agua, (b) agujeros en el sedimento de la base de la estructura funeraria 04-17, (c) grietas en el sedimento de la base de la estructura funeraria 09-13 y (d) espacios vacíos de puparios y huesos movidos por el agua en la estructura funeraria 19-10	61
Figura 15. Evidencias de la presencia de fauna en distintas estructuras funerarias (círculo y flechas naranjas): (a) caracoles en la estructura funeraria 25-22, (b) almendra roída por ratones recuperada en la estructura funeraria 05-26, (c) sapo entre la vegetación que cubría la fosa simple 02-03 y (d) serpiente entre el sedimento de la fosa simple 22-18.....	62
Figura 16. Recuperación de varios crotales de los animales: (a) sobre la base de la estructura de tejas 03-06 y (b) entre el sedimento de la fosa simple con cal 15-25	62
Figura 17.1. Estado cadavérico de las carcasas: esqueletización total en 01-01, 02-03, 04-17, 07-05 y 09-13, esqueletización con putrúlogo seco y desecación parcial en 03-06, 06-08 y 08-12 y momificación en 05-26.....	66
Figura 17.2. Estado cadavérico de las carcasas: esqueletización total en 11-07, 12-20, 13-19, 15-25, 16-23, 17-09 y 18-02 y esqueletización con putrúlogo seco y desecación parcial en 10-21 y 14-24	67
Figura 17.3. Estado cadavérico de las carcasas: esqueletización total en 20-04, 22-18 y 23-15, esqueletización con putrúlogo seco y desecación parcial en 19-10, 24-14 y 25-22 y esqueletización con putrúlogo húmedo en 21-16 y 26-11.....	68
Figura 18. Patrones de la distribución espacial ósea (flechas naranjas): (a) articulación estricta de la extremidad posterior de la carcasa 09-13, (b) articulación laxa entre escápula y húmero derechos de la carcasa 03-06, (c) desarticulación de la extremidad anterior izquierda de la carcasa 17-09 y (d) desplazamiento de las costillas derechas por encima de la escápula derecha de la carcasa 23-15	72
Figura 19. Ejemplos de la distribución espacial ósea de algunas carcasas de Taphos-m: (a) articulación estricta de las vértebras lumbares de la carcasa 11-07, (b) desarticulación de las costillas de la carcasa 20-04 y (c) desplazamiento de acetábulo y fémur derechos de la carcasa 17-09.....	73
Figura 20. Ejemplos del mantenimiento de algunas articulaciones (flechas naranjas): (a) articulación del esqueleto en la fosa simple 11-07, (b) articulación del esqueleto en la estructura de tejas 04-17 con base de sedimento, (c) articulación de las extremidades posteriores de 05-26 por la colmatación del sedimento procedente del montículo, (d) articulación de las extremidades anteriores de 12-20 por la limitación de espacio provocada por la costra de cal, (e) articulación de un autópodo de 10-21 por la conservación del tejido desecado y (f) articulación de las vértebras lumbares de 19-10 bajo el tejido desecado.....	76

Figura 21. Ejemplos de la desarticulación ósea (flechas naranjas): (a) desarticulación ósea generalizada de la carcasa 23-15 enterrada en una estructura funeraria de espacio vacío, (b) desarticulación de las extremidades posteriores de 17-09 pese a la colmatación del sedimento procedente del montículo, (c) desarticulación de las extremidades posteriores de 13-19 por la falta de espacio provocada por la costra de cal, (d) desarticulación y desplazamiento óseo de las extremidades posteriores de 12-20 por el peso de las placas de cal, (e) desarticulación del autópodo anterior derecho durante la excavación de la fosa simple 15-25, (f) desplazamiento de la rótula derecha y desarticulación de las vértebras lumbares patológicas de 03-06, (g) desplazamiento de una costilla derecha y desarticulación de la escápula izquierda de 17-09 y (h) desarticulación de los huesos de ambos autópodos derechos de 19-10	78
Figura 22. Notación Munsell (1940) para la descripción de la coloración de las escápulas: (a) 5YR 7/3 en la escápula derecha 01-01, (b) 7.5YR 7/8 en la escápula izquierda 01-01, (c) 7.5YR 7/6 en la escápula derecha 13-19, (d) 7.5YR 6/4 en la escápula izquierda 17-09, (e) 7.5YR 4/6 en la escápula izquierda 03-06, (f) 10YR 7/8 en la escápula derecha 20-04, (g) 10YR 7/6 en la escápula derecha 16-23, (h) 10YR 7/4 en la escápula izquierda 12-20, (i) 10YR 6/8 en la escápula izquierda 07-05, (j) 10YR 6/6 en la escápula derecha 15-25, (k) 10YR 5/8 en la escápula izquierda 04-17, (l) 10YR 5/6 en la escápula derecha 05-26, (m) 10YR 4/6 en la escápula izquierda 25-22, (n) 10YR 3/6 en la escápula izquierda 21-16, (ñ) 10YR 3/4 en la escápula derecha 19-10 y (o) 10YR 3/3 en la escápula derecha 23-15	80
Figura 23. Manchas en la superficie cortical de las escápulas (flechas naranjas): (a) pigmentación del hueso con los líquidos de la descomposición, (b) pigmentación del hueso con los líquidos de la descomposición, concreciones de sedimento y fragmentación de la espina dorsal, (c) pigmentación verdosa por los crotales, (d) impresiones de puparios y (e) de huevos de moscas y (f) manchas oscuras ramificadas provocadas por raíces	84
Figura 24. Manchas blancas en los restos cadavéricos producidas por colonias de hongos: (a) costillas de la carcasa 18-02 y (b) tejido desecado de la carcasa 19-10	85
Figura 25. Marcas lineales en forma de garabato (flechas naranjas): (a) escápula derecha 11-07 y (b) escápula izquierda 03-06.....	86
Figura 26. Perforación de la superficie cortical: (a) escápula derecha 06-08 y (b) escápula izquierda 26-11	86
Figura 27. (a) Grieta y leve descamación en escápula derecha 04-17, (b) grieta en la escápula izquierda 07-05 y (c) exfoliación y fragmentación de la espina dorsal en la escápula izquierda 22-18.....	86
Figura 28. Exposición de las carcasas enterradas con cal hidratada: costra de cal rodeando las carcasas y placas de cal en 10-21, 12-20 y 13-19 (flechas naranjas) y residuos blancos de cal en 14-24 y 15-25 (flechas verdes)	92
Figura 29. Enterramiento con cal 12-20: (a) costra de cal conservada tras la exhumación de los restos cadavéricos y (b) placa de cal con pelos del cerdo adheridos	92
Figura 30. Exposición de las carcasas envueltas en tela de algodón: conservación de la tela de algodón (flechas naranjas) y cuerdas (flechas azules) en los enterramientos 19-10 y 21-16.....	94
Figura 31. Traumatismos óseos: (a) periostitis e involucro en los metatarsos III y IV de 04-17, (b) fracturas en la tibia y peroné izquierdos de 17-09 y (c) fractura reabsorbida en el frontal de 24-14.....	95
Figura 32. Vértebras lumbares de 03-06 con signos de artrosis	95
Figura 33. Patología del calcáneo izquierdo del cerdo 06-08	96

Figura 34. Varios ejemplares de la fauna cadavérica asociada a los enterramientos de Taphos-m: (a) mosca Sarcophagidae, (b) exoesqueleto de escarabajo Cleridae, (c) exoesqueleto de <i>Necrobia ruficollis</i> , (d) escarabajo Scarabaeidae, (e) escarabajo Staphylinidae, (f-g) exoesqueletos de escarabajos Dermestidae, (h) cochinilla Porcellionidae, (i) muda de cochinilla Porcellionidae, (j) cochinilla Armadillidae, (k) funda de polilla, (l) hormiga, (m) hormiga alada, (n) avispa y (ñ) araña.....	96
Figura 35. Ubicación de la fauna cadavérica en las estructuras de espacio vacío (flechas naranjas): (a) puparios de mosca en la base de la estructura de tejas y junto a los restos cadavéricos de 06-08 y (b) puparios de mosca en la base de la estructura de tejas y junto a los restos cadavéricos y especies oportunistas en la pared lateral de la estructura de tejas 19-10....	100
Figura 36. Puparios de mosca en los enterramientos de Taphos-m: (a) pupario abierto de forma natural al salir la mosca y (b) pupario perforado en el lateral por una avispa parasitoide.....	100
Figura 37. Hongos identificados en las muestras control: (a) <i>Absidia</i> , (b) esporas de <i>Acremonium-Fusarium</i> , (c) <i>Aspergillus</i> , (d) esporas de <i>Cladosporium</i> , (e) esporas de <i>Mucor</i> , (f) <i>Penicillium</i> y (g) <i>Rhizopus</i>	106
Figura 38. Varios ejemplares de hongos identificados en las muestras experimentales: (a) esporas de <i>Alternaria</i> , (b) esporas de <i>Clonostachys</i> , (c) <i>Cunninghamella</i> , (d) <i>Cylindrocarpon</i> , (e) <i>Geomyces</i> , (f) <i>Geotrichum-Chrysonilia</i> , (g) esporas de <i>Pythium</i> , (h) <i>Scopulariopsis</i> , (i) <i>Stachybotrys</i> , (j) <i>Trichoderma</i> , (k) <i>Verticillium</i> y (l) <i>Zygorhynchus</i>	108

Listado de Tablas



Tabla 1. Fases de la triada mortis.....	5
Tabla 2. Fases de la putrefacción o descomposición avanzada	5
Tabla 3. Estados cadavéricos que puede presentar un cuerpo	7
Tabla 4. Listado de instalaciones para la experimentación con humanos (2020)	9
Tabla 5. Relación entre los agentes, procesos y efectos tafonómicos observados en los restos cadavéricos (revisión bibliográfica)	13
Tabla 6. Hongos identificados en los cuerpos humanos en descomposición (revisión bibliográfica)	20
Tabla 7. Características de las estructuras funerarias reproducidas en Taphos-m	36
Tabla 8. Resumen de los datos recogidos en las fichas <i>ante mortem</i> . Abreviaturas: IRA = insuficiencia respiratoria aguda; ICA = insuficiencia cardiaca aguda; EN = enfermedad neurológica; SS = shock séptico; Ext. = extremidad; I = izquierda.....	39
Tabla 9. Características específicas de los enterramientos con cal de Taphos-m. Abreviaturas: ICA = insuficiencia cardiaca aguda; IRA = insuficiencia respiratoria aguda; SS = shock séptico	44
Tabla 10. Conservación de las muestras entomológicas.....	46
Tabla 11. Composición de los medios de cultivo utilizados en el laboratorio.....	48
Tabla 12. Valores medios de las variables climatológicas por años.....	55
Tabla 13. Tiempo transcurrido entre los enterramientos y las aperturas de las estructuras funerarias de Taphos-m.....	59
Tabla 14. Estado cadavérico de las carcasas y factores extrínsecos e intrínsecos que pudieron afectarlo. Abreviaturas: IPE = intervalo post-enterramiento; E = esqueletizado; EPSDP = esqueletizado con putrúlogo seco y desecación parcial; M = momificado; EPH = esqueletizado con putrúlogo húmedo; No Eco = alimentación no ecológica; Eco = alimentación ecológica; IRA = insuficiencia respiratoria aguda; ICA = insuficiencia cardiaca aguda; EN = enfermedad neurológica; SS = shock séptico	64
Tabla 15. Valoración del patrón de la distribución espacial ósea de 728 articulaciones. Abreviaturas: AE = articulación estricta; AL = articulación laxa; DA = desarticulación; D = desplazamiento; N.O. = no observable; CR = cráneo; CVC = cuerpos vertebrales cervicales; CVD = cuerpo vertebrales dorsales; CVL = cuerpos vertebrales lumbares; SAC = sacro; ILI = ilion; SP = sínfisis púbica; CO = cola; ESC = escápula; HUM = húmero; CUB = cúbito; RAD = radio; AD = autópodo delantero; ACE = acetábulo; FEM = fémur; ROD = rodilla; TIB = tibia; PER = peroné; AT = autópodo trasero; COS = costillas; d = derecha; i = izquierda	73

Tabla 16. Relación entre la tipología de la estructura funeraria, el estado cadavérico y el patrón general de la distribución espacial ósea de las carcasas de Taphos-m. <i>Abreviaturas: AE = articulación estricta; AL = articulación laxa; DA = desarticulación</i>	74
Tabla 17. Coloración de las escápulas. <i>Abreviaturas: D = derecha; I = izquierda</i>	81
Tabla 18. Efectos tafonómicos observados en la superficie cortical de las escápulas. <i>Abreviaturas: D = derecha; I = izquierda; x = presencia</i>	83
Tabla 19. Relación entre los efectos tafonómicos observados en las carcasas de Taphos-m y los agentes y procesos que los causaron	89
Tabla 20. Valoraciones cualitativas y cuantitativa del estado de las carcasas enterradas con cal en Taphos-m.....	90
Tabla 21. Fauna cadavérica identificada en las instalaciones Taphos-m. <i>Abreviaturas: TE = tipo de estructura; EC = estado cadavérico; EP = estructura de piedras; ET = estructura de tejas; FS = fosa simple; M = momificado; EPSDP = esqueletizado con putrúlagos seco y desecación parcial; E = esqueletizado; NG = necrófago; NL = necrófilo; OM = omnívoro; OP = oportunista</i>	97
Tabla 22. Crecimiento de las colonias fúngicas muestreadas con distintos materiales e incubadas a 22-24°C	104
Tabla 23. Hongos identificados en las muestras control a 22-24°C. <i>Abreviaturas: x = presencia; - = ausencia; FS = fosa simple; Z = filo Zygomycota sensu lato; A = filo Ascomycota</i>	105
Tabla 24. Hongos identificados en las muestras experimentales a 22-24°C. <i>Abreviaturas: x = presencia; - = ausencia; FS = fosa simple; ET = estructura de tejas; ETC = estructura de tejas con cal; FSC = fosa simple con cal; Te = estructura tipo Tegulae; E = esqueletizado; EPSDP = esqueletizado con putrúlagos seco y desecación parcial; EPH = esqueletizado con putrúlagos húmedo; Z = filo Zygomycota sensu lato; A = filo Ascomycota</i>	107
Tabla 25. Relación de los hongos identificados en las muestras experimentales a 22-24°C y el tipo de sustrato muestreado. <i>Abreviaturas: x = presencia; - = ausencia</i>	109
Tabla 26. Relación de los hongos identificados en las muestras experimentales a 22-24°C y el tipo de estructura funeraria. <i>Abreviaturas: x = presencia; - = ausencia</i>	111

CAPÍTULO I



Introducción

“No le tengo miedo a la muerte, a lo que sí le tengo miedo es al trance, el ir hacia allá. Confieso que tengo curiosidad por saber de qué se trata.”

Atahualpa Yupanqui



La muerte es el efecto terminal más inquietante. En algunas culturas, como en Indonesia, las familias conviven con sus difuntos durante años hasta que celebran el ritual de defunción *Ma'neme*, momento en el que lavan, alimentan, momifican y visten a sus difuntos, preparándolos para su nueva vida. En México, la celebración del *Día de Muertos* es el momento en el que los difuntos “regresan a la vida” junto a sus familiares, encargados de prepararles un altar y hacerles ofrendas para que las disfruten. Esta tradición es un referente en la práctica del duelo en público. En otros casos, el ritual incluye la cremación del cuerpo. Aunque parezca que las incineraciones son rituales modernos, en poblaciones de India, Nepal y América es una práctica ancestral que nada tiene que ver con las incineraciones comerciales, ya que se practican al aire libre y son gestionadas por la familia. A pesar de estas diferencias entre culturas y poblaciones, el enterramiento es la práctica mortuoria más común, sobre todo en Europa. El tipo varía en función de la organización social de las poblaciones: individuales o colectivos, en contacto directo con el sedimento (p. ej. cultura musulmana) o en estructuras funerarias prefabricadas como nichos, tumbas o panteones, y con ataúd (p. ej. cultura occidental). En muchos aspectos, la ritualización del entierro supone numerosas actuaciones relacionadas con la tradición, la religión y el *status* social de la familia (Duday, 1990; Doughty, 2017; Stutz y Stutz, 2018). Pero ***¿qué ocurre tras la muerte?***

1.1. Tafonomía

La **Tafonomía** (del griego *taphos*, «enterramiento», y *nomos*, «ley») fue descrita por primera vez en 1940 por Efremov, quien la definió como el estudio de la “*transición de los cuerpos animales desde la biosfera a la litosfera*”. Los conceptos de la Tafonomía son utilizados en distintas disciplinas y cada una adapta esta definición a su objetivo. En Arqueología se define como los procesos ocurridos a los restos cadavéricos desde la deposición hasta su recuperación (Renfrew y Bahn, 1991). La Paleobiología la define como el estudio de los procesos

de preservación y cómo ellos afectan a la información recuperada (Behrensmeyer y Kidwell, 1985; Lyman, 1994; Lyman 2000). En el ámbito forense los análisis tafonómicos se utilizan para estimar el tiempo transcurrido tras la muerte (intervalo *post mortem*), reconstruir las circunstancias ocurridas antes o después de la muerte, diferenciar los efectos producidos por los humanos de los producidos por otros sistemas y aportar soluciones a problemas como la búsqueda de cadáveres o enterramientos clandestinos (Haglund y Sorg, 1997; Haglund y Sorg, 2002; Schotsmans et al., 2017). Recientemente se utiliza el término de Tafonomía funeraria como el estudio de los efectos tafonómicos que pueden ayudar a interpretar estas prácticas; es decir, el análisis tafonómico también puede aportar información sobre las prácticas mortuorias y el tratamiento de la muerte (Nociarová et al., 2014a; Nociarová et al., 2014b; Eliopoulos et al., 2011; Knüsel y Robb, 2016). Desde el punto de vista de la Antropología, y de la presente Tesis Doctoral, **la Tafonomía es el estudio de todos los procesos biológicos, físicos, geológicos y/o químicos ocurridos en un cuerpo desde el momento de su muerte.**

1.2. Historia tafonómica

La **historia tafonómica** de un individuo empieza con la muerte del mismo, pero, aunque el individuo muera (muerte somática), no todas sus células lo hacen al mismo tiempo (muerte celular), porque la muerte, como la vida, es un proceso. Sin embargo, es habitual definir el proceso de la muerte por fases (Figura 1) que varían dependiendo del autor. Pocos minutos después de la muerte se inicia la **autolisis** celular: la autodigestión y degradación de las células y órganos mediante las enzimas intracelulares. En las primeras 48 horas *post mortem*, todos los cuerpos sufren los cambios de la **triada mortis** (Tabla 1). La duración de estos cambios dependerá de las características propias del individuo y del lugar del depósito. Posteriormente, durante la **putrefacción** o descomposición avanzada (Tabla 2), ocurren otra serie de fases anaeróbicas producidas por las bacterias intrínsecas que pueden llevar al cuerpo a la reducción esquelética y destrucción ósea. La putrefacción, aunque se define como un proceso posterior a la autolisis, ocurre de manera simultánea en distintas regiones corporales. Los **factores extrínsecos** (temperatura, humedad ambiental, presencia de fauna cadavérica, hongos y/o bacterias, tipo de depósito, presencia de ropa o envoltorio, etc.) e **intrínsecos** (sexo, edad, causa de la muerte, etc.) determinarán si un cuerpo continuará la putrefacción hasta la reducción esquelética o si sufrirá otro tipo de cambios producidos por los fenómenos de conservación (Figura 1). Sin embargo, los cuerpos conservados son alterables y pueden llegar también a la esqueletización (Reverte-Coma, 1991; Haglund y Sorg, 1997; Prieto et al., 2004; Forbes et al., 2005; David, 2008; Janaway et al., 2009; Ferreira y Cunha, 2013; Schotsmans et al., 2017). A medida que el cuerpo se descompone, la pérdida de agua, carbono y otros elementos

Introducción

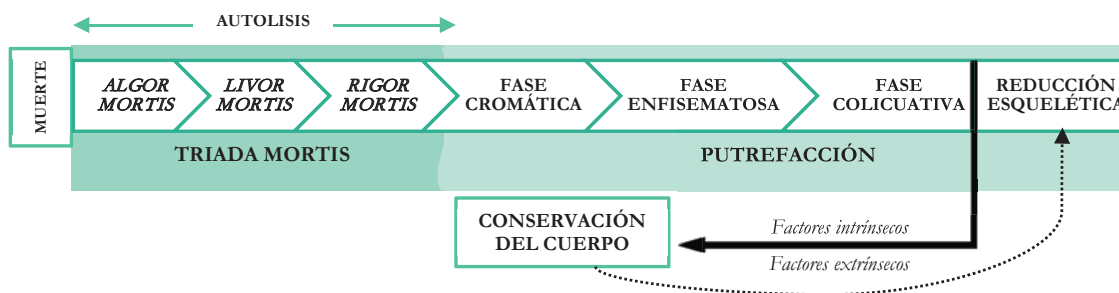


Figura 1 • Esquema del proceso continuo de la muerte y sus diferentes fases.

Tabla 1 • Fases de la triada mortis.

FASE	DEFINICIÓN
Enfriamiento ' <i>algor mortis</i> '	Disminución progresiva de la temperatura corporal durante las primeras 10-12h <i>post mortem</i> . Fases: (1) equilibrio térmico, (2) enfriamiento progresivo y (3) enfriamiento de pies, manos, cara, extremidades, tórax, dorso, abdomen y cuello. En ciertas condiciones la temperatura corporal puede aumentar en vez de disminuir o el cuerpo se puede llegar a congelar. Existen fórmulas para estimar el intervalo <i>post mortem</i> teniendo en cuenta la pérdida de la temperatura corporal.
Livideces ' <i>livor mortis</i> '	Cambios de coloración corporal (normalmente azul-violeta) producidos por el cese y deposición gravitacional del riego sanguíneo. Fases: (1) se inicia 20-30 min <i>post mortem</i> , (2) a las 2h <i>post mortem</i> las livideces están marcadas, pero no fijadas y (3) a las 8-12h las livideces están marcadas y fijadas. El riego sanguíneo se puede reubicar si el cuerpo se manipula antes de la fijación de las livideces, una vez marcadas y fijadas no.
Rigidez ' <i>rigor mortis</i> '	Contracción muscular producida por la falta de ATP. Fases: (1) relajación, (2) instauración de la rigidez (3-24h <i>post mortem</i>), (3) estado rígido (14-36h <i>post mortem</i>) y (4) resolución. No ocurre en todos los músculos a la vez; empieza en los que tienen mayor actividad metabólica (p. ej. el corazón) y depende del tipo de musculatura (lisa o estriada). Las altas temperaturas aceleran la instauración y la resolución de la rigidez.

Tabla 2 • Fases de la putrefacción o descomposición avanzada.

FASE	DEFINICIÓN
Cromática	La degradación de la hemoglobina y la formación de compuestos con azufre y hierro provocan una coloración verdosa que comienza en el colon (zona con mayor flora bacteriana) y que irá cambiando hacia una coloración cada vez más oscura.
Enfisematosa	El cuerpo se hincha por las regiones de tejidos laxos (abdomen, párpados y tórax) a causa del gas producido por la degradación de las moléculas corporales. Los gases emergen por los orificios naturales desprendiendo mal olor. Este proceso también ocurre en los órganos internos.
Colicuativa	El tejido blando se transforma en putrilago. Este proceso también ocurre en los tejidos internos salvo en el tejido conectivo que mantiene su estructura.
Reducción esquelética	Pérdida del tejido blando quedando sólo los huesos. La fauna cadavérica y otros animales favorecen la esqueletización y en caso de enterramiento, las condiciones del mismo determinan si los huesos finalmente se fosilizan o se destruyen con el tiempo.

del cuerpo producen cambios físicos, químicos y biológicos que afectan a la integridad y al estado de la zona donde está depositado el cuerpo, es decir, la **isla de descomposición cadavérica**. La interacción de los insectos, plantas y hongos, entre otros, también altera las características de esta zona. Conocer las modificaciones que ocurren en el suelo y la relación entre este y la descomposición del cuerpo contribuye, por ejemplo, a la localización de las fosas clandestinas (Rodríguez y Bass, 1985; Wilson et al., 2007; Tibbett y Carter, 2008; Perrault y Forbes, 2016; Szelecz et al., 2018). Por lo tanto, el **estado cadavérico** de un cuerpo indica la circunstancia en la cual se encuentra el mismo y el fenómeno cadavérico sufrido (Tabla 3). Un cuerpo puede presentar uno o varios estados cadavéricos a la vez y estos pueden evolucionar o cambiar con el tiempo, como consecuencia de los cambios ambientales del lugar del depósito (Tibbett y Carter, 2008; Fitzgerald y Oxenham, 2009). Es por ello que es habitual utilizar estados intermedios para describir el estado cadavérico de un cuerpo: esqueletización con putrúlogo húmedo, esqueletización con putrúlogo seco y desecación parcial o saponificación con putrúlogo húmedo (Nociarová, 2016). En este punto cabe diferenciar los términos de conservación y preservación: el estado cadavérico de un cuerpo define la *conservación* del mismo y la *preservación* hace referencia a la parte proporcional del cuerpo que se mantiene intacta (Safont et al., 1999).

Los procesos tafonómicos pueden ocurrir en **distintos momentos *post mortem*** (Figura 2): durante el tratamiento del cuerpo (p. ej. autopsia y/o tanatopraxia); antes, durante o después del entierro; durante el tiempo de exposición o de enterramiento; durante la excavación y/o levantamiento de los restos cadavéricos; en el embalaje y el traslado; en el estudio de los restos cadavéricos en el laboratorio; y/o en su almacenaje. Por eso, el estudio de los procesos tafonómicos se divide en las fases de pre-entierro (Bioestratinomía), post-entierro (Diagénesis) y, algunos autores, mencionan una fase previa (Fase necrológica) referente al proceso de la muerte del individuo o de una parte del mismo (Behrensmeyer y Kidwell, 1985; Denys, 2002). **Todas las modificaciones observadas en los restos cadavéricos deben ser consideradas como tafonómicas, a pesar de tratarse de modificaciones producidas durante el estudio de los restos cadavéricos** (exhumación, autopsia, reconstrucción, etc.).

Aunque cada vez son más las publicaciones sobre los efectos tafonómicos observados en los restos cadavéricos (p. ej. Andrews y Fernández-Jalvo, 2003; Armentano et al., 2012a; Nociarová et al., 2014a; Nociarová et al., 2014b; Pokines, 2016; Yucha et al., 2017), en ocasiones no existe suficiente información para poder interpretarlos. Por ello, es necesario realizar **estudios experimentales** para poder crear una **base de datos universal** sobre efectos tafonómicos (Denys,

Introducción

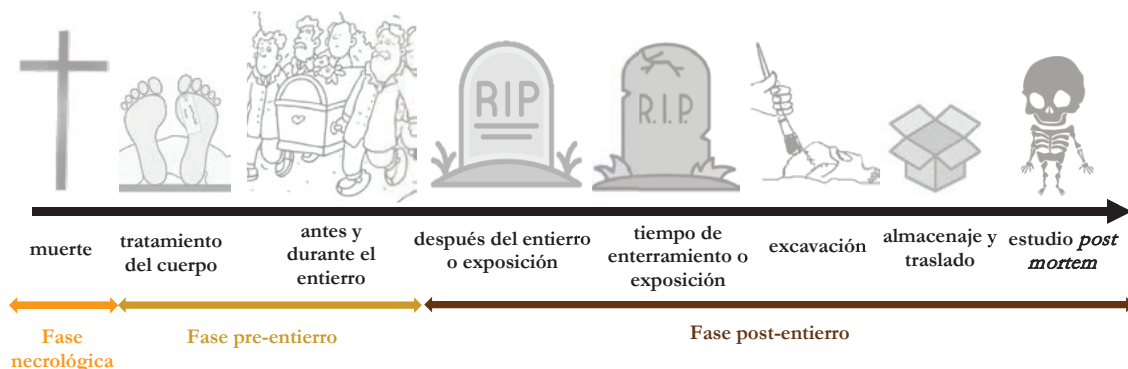


Figura 2 • Momentos *post mortem* en los cuales ocurren las modificaciones tafonómicas: fase necrológica, fase pre-entierro y fase post-entierro.

Tabla 3 • Estados cadavéricos que puede presentar un cuerpo.

ESQUELETIZACIÓN

Destrucción del tejido blando del cuerpo dejando visibles los huesos y dientes. La duración de este proceso depende de las condiciones ambientales y del lugar de depósito del cuerpo. Existen diferencias en el tiempo de esqueletización entre un cuerpo depositado en la superficie, enterrado o sumergido en agua. A pesar de ser un estado final e irreversible, el esqueleto también puede sufrir una serie de modificaciones como consecuencia de la *diagénesis* e incluso desaparecer.

MOMIFICACIÓN

MOMIFICACIÓN NATURAL: en condiciones secas o ventiladas, en ambientes calurosos o fríos y con una baja proliferación bacteriana, los cuerpos tienden a desecarse de forma natural. La momificación no siempre supone la desecación completa del cuerpo; puede ocurrir sólo en ciertas regiones anatómicas (p.ej. extremidades) y puede afectar también a los órganos internos. En condiciones adecuadas y constantes puede ser de larga duración, pero la acción de los organismos o el cambio del ambiente pueden llevar a la destrucción del tejido desecado. Es habitual en adultos delgados y/o con problemas de hidratación. La momificación natural no se debe confundir con la momificación intencional o artificial en las cuales se utilizan distintos métodos para momificar los cuerpos (acciones antrópicas). Estas prácticas eran habituales en poblaciones antiguas como en Egipto. *En la presente Tesis Doctoral el término momificación se utiliza para referirse a la momificación natural.*

CORIFICACIÓN: en condiciones anaeróbicas la acción bacteriana está limitada y sólo actúan las bacterias anaerobias. En esta situación se produce un tipo de momificación más flexible. Es habitual en cuerpos en ataúdes de zinc o plomo.

CONGELACIÓN: en condiciones frías extremas se produce la congelación o liofilización del cuerpo. Un cuerpo congelado no pierde el contenido de agua, por lo que, el cambio de temperatura permite el descongelamiento y posterior degradación del cuerpo. La liofilización supone la evaporación del agua corporal y ocurre cuando un cuerpo se encuentra en un ambiente alto y con baja presión atmosférica.

BOG BODIES: en condiciones húmedas y ácidas, como en los pantanos, se reduce la actividad microbiana por la escasez de oxígeno y, por lo tanto, no ocurre la descomposición del cuerpo.

SAPONIFICACIÓN

SAPONIFICACIÓN NATURAL: en condiciones húmedas y ambientes anaerobios como lagos, ríos y mares, las grasas corporales se transforman en sustancias jabonosas endurecidas de color blanco o gris. Es más habitual en individuos subadultos o adultos obesos, adultos femeninos, en casos de intoxicaciones etílicas y en cuerpos conservados en bolsas de plástico.

MACERACIÓN: reblandecimiento de los tejidos blandos como los fetos fallecidos en el interior de la bolsa amniótica, sin acción bacteriana.

2002; Schotsmans et al., 2017). Con este interés, en 2009 se creó el **Taphonomic Working Group** (TWG)¹; un foro en el cual se comunican los resultados de las investigaciones llevadas a cabo y se fomenta la colaboración multidisciplinar en la investigación tafonómica.

1.3. Instalaciones experimentales

Desde 1981, con la creación de la **Anthropology Research Facility (ARF)**, por el Dr. Bass de la Universidad de Tennessee (en Knoxville, Estados Unidos), se experimenta al aire libre con cuerpos humanos donados a la Ciencia (p. ej. Rodriguez y Bass, 1983; Rodriguez y Bass, 1985). Desde su creación, las instalaciones de Knoxville han servido para experimentar en las distintas Ciencias forenses (Antropología, Arqueología, Medicina forense, etc.), como campo de prácticas y aprendizaje para distintos colectivos e instituciones (p. ej. Cuerpos de Policía) y como modelo a seguir para la creación de nuevas infraestructuras (Williams et al., 2019). Actualmente, existen un total de **10 instalaciones** de estas características, 8 de ellas se encuentran en distintos estados de Estados Unidos, 1 en Australia y otra en Europa (Tabla 4). En estas instalaciones se realizan estudios experimentales y observacionales, los cuales permiten reproducir distintos escenarios y condiciones para estudiar la descomposición humana y, entre otros, poder crear métodos para el cálculo del intervalo *post mortem* o poner en práctica las técnicas de localización de restos humanos. Sin embargo, algunos científicos no están a favor de estas instalaciones experimentales, ya que el tamaño muestral suele ser reducido, los microclimas creados en las instalaciones no son lo suficientemente reales (Simmons, 2017; Williams et al., 2019) y la mala prensa o el rechazo social han perjudicado el mérito científico de los estudios que se llevan a cabo (Black, 2017). Por eso, cada vez son más los estudios de Tafonomía realizados en laboratorios, donde es posible aislar y controlar mejor las variables de interés. Por ejemplo, en el **Laboratorio de Ensayos Tafonómicos (LET)**² del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, disponen de un amplio equipamiento para realizar ensayos ambientales y mecánicos donde simulan condiciones altamente controladas que pueden afectar a los restos óseos y fósiles (Fernández-Jalvo y Andrews, 2016). Para evitar crear condiciones artificiales que no reflejen realmente los procesos naturales, también se realizan **estudios de duración determinada en el campo**, sin la necesidad de crear una instalación como las anteriormente mencionadas (p. ej. Adlam y Simmons, 2007; Wilson et al., 2007; Cáceres et al., 2009; Jagers y Rogers, 2009; Rogers, 2010; Szelec et al., 2018).

¹ <https://taphonomyworkinggroup.wordpress.com/twg/>

² <https://www.mncn.csic.es/es/investigación/servicios-cientifico-tecnicos/laboratorio-de-ensayos-ambientales-leaet>

Introducción

Tabla 4 • Listado de instalaciones para la experimentación con humanos (2020).

INSTALACIÓN EXPERIMENTAL	UBICACIÓN	AÑO CREACIÓN	WEB
Anthropology Research Facility (ARF)	Tennessee Estados Unidos	1981	http://fac.utk.edu/collections-and-research/
Forensic Osteology Research Station (FOREST)	Carolina del norte Estados Unidos	2006	http://www.westerncarolinian.com/2012/09/26/inside-the-forensic-osteology-research-station-at-wcu/
Forensic Anthropology Research Facility (FARF)	Texas Estados Unidos	2008	https://www.txstate.edu/anthropology/facts/labs/farf.html
Southeast Texas Applied Forensic Science (STAFS) Applied Anatomical Research Center (AARC)	Texas Estados Unidos	2009	https://www.shsu.edu/centers/aarc/
Complex for Forensic Anthropology Research (CFAR)	Illinois Estados Unidos	2012	https://cola.siu.edu/anthro/cfar/
Forensic Investigation Research Station (FIRS)	Colorado Estados Unidos	2012	https://www.coloradomesa.edu/forensic-investigation-research-station/index.html
Australian Facility for Taphonomic Experimental Research (AFTER)	Sídney Australia	2016	https://scholars.uow.edu.au/display/grant117103
Florida Forensic Institute for Research, Security and Tactical Training (FIRST)	Florida Estados Unidos	2017	http://floridafirsttraining.org/#/home
Forensic Research Outdoor Station (FROST)	Michigan Estados Unidos	2017	https://www.nmu.edu/frost/home
Amsterdam Research Initiative for Subsurface Taphonomy and Anthropology (ARISTA)	Ámsterdam Países Bajos	2018	https://www.medischebiologie.nl/oostra-group/

La experimentación con cuerpos humanos tiene ciertas limitaciones: depende de las características de los cuerpos donados, a menudo no hay posibilidad de selección previa ni acceso a los datos *ante mortem*, puede suponer problemas ético-culturales y existen restricciones dependiendo del país donde se lleve a cabo la experimentación (Stokes et al., 2013; Simmons, 2017; Williams et al., 2019; Miles et al., 2020). Es por ello que es frecuente utilizar modelos animales como objeto de estudio, como en el **Taphonomic Research in Anthropology: Centre for Experimental Studies** (TRACES)³, creado en 2009 por la Universidad de Central Lancashire (Cross et al., 2009) o el proyecto experimental de Antropología y Tafonomía **Taphos-m**, objeto de estudio de la presente Tesis Doctoral (*capítulo 3*). La utilización de modelos animales en experimentos tafonómicos ofrece ciertas ventajas relacionadas con la posibilidad de replicar los estudios experimentales, obtener un tamaño muestral más amplio y de características deseadas

³ <http://www.uclan.ac.uk/research/explore/groups/traces.php>

y conocidas y minimizar los problemas éticos y culturales que supone la experimentación con humanos (Stokes et al., 2013; Williams et al., 2019; Matuszewski et al., 2020; Miles et al., 2020). No obstante, los experimentos con animales no siempre resultan útiles para realizar estudios comparativos (Connor et al., 2018; Dautartas et al., 2018; Matuszewski et al., 2020). Cabe destacar que el volumen de estudios existentes sobre la descomposición de modelos animales es tal que en lugar de estudios comparativos, la investigación está dirigida al propio conocimiento de la descomposición de los animales (Cockle y Bell, 2015). Sin embargo, los estudios experimentales con animales son necesarios en aquellos lugares donde la experimentación humana no sea posible y/o cuando el objetivo del estudio no sea comparativo (Williams et al., 2019; Matuszewski et al., 2020), como en la presente Tesis Doctoral.

1.4. Modelo animal

El modelo animal más utilizado en los estudios de descomposición es el **cerdo doméstico** (*Sus scrofa domestica*, Linnaeus 1758) de raza *large white*. Es un animal cuadrúpedo de periodo gestacional corto (120 días) y camadas muy numerosas (8-10 crías por parto), alimentación omnívora y utilizado en la industria de la alimentación. Su esqueleto lo forman un total de 223 huesos (Figura 3), menos porosos que los humanos y con mayor cantidad de grasa (Schotsmans, 2013). El *cráneo* está compuesto por los huesos premaxilar, maxilar, nasal, lagrimal, cigomático, frontal, parietal, occipital, temporal, hueso petroso, esfenoides y palatino que, como en los humanos, presentan suturas que van fusionando en la edad adulta. La *mandíbula* está formada por dos huesos mandibulares. El *tronco* está formado por 7 vértebras cervicales, 13-16 vértebras torácicas, 5-7 vértebras lumbares, 4 vértebras sacras y la cola (formada por 20-23 huesos). El número de *costillas* depende del número de vértebras torácicas presentes en el cuerpo, ya que se unen a ellas mediante cartílagos. Por último, en la zona medial, el *esternón* está compuesto por 4 metámeros. Los huesos de las *extremidades* se dividen en tres partes: estilópodo (articula con escápula o coxal), zeugópodo y autópodo; este último, a su vez, se divide en basípodo (carpos y tarsos), metápodo (metacarpos y metatarsos) y acrópodo (falanges). Los metápodos III y IV son de mayor tamaño en comparación con los metápodos II y V y solo apoyan en el suelo las últimas falanges de los acrópodos III y IV (Krahmer et al., 1979; Illescas et al., 2012; Gil et al., 2017).

El inicio de la utilización de los cerdos como modelos animales fueron los estudios de sucesión faunística. A partir de ese momento, numerosos estudios experimentales utilizan el cerdo como modelo animal por su similitud con el cuerpo humano en la anatomía interna y la microbiota, el tipo de dieta y el sistema digestivo, la relación entre grasa y musculatura, la densidad y estructura de los tejidos, la densidad y distribución corporal del vello y la microestructura

ósea (Schoenly et al., 2006; Miles et al., 2020). Además, la dificultad para conseguir cuerpos humanos donados y las contradicciones éticas y culturales comentadas, favorecen la utilización de este modelo animal. No obstante, la experimentación con cerdos adultos no es habitual ya que son los ejemplares destinados a la industria ganadera. Por ello, se suelen utilizar cerdos jóvenes (Schotsmans, 2013) que a pesar de ser sexualmente maduros (Illescas et al., 2012), osteológicamente no lo son (Zeder et al., 2015). Sin embargo, el cerdo no es el único animal que se ha utilizado como modelo en estudios de descomposición (Matuszewski et al., 2020); también se utilizan, entre otros, ejemplares de aves (Cambra, 2006), ciervos (Cáceres et al., 2009), conejos (Adlam y Simmons, 2007; Dautartas et al., 2018), ovejas (Coard, 1999), perros (Coard, 1999) y primates (Coard, 1999).

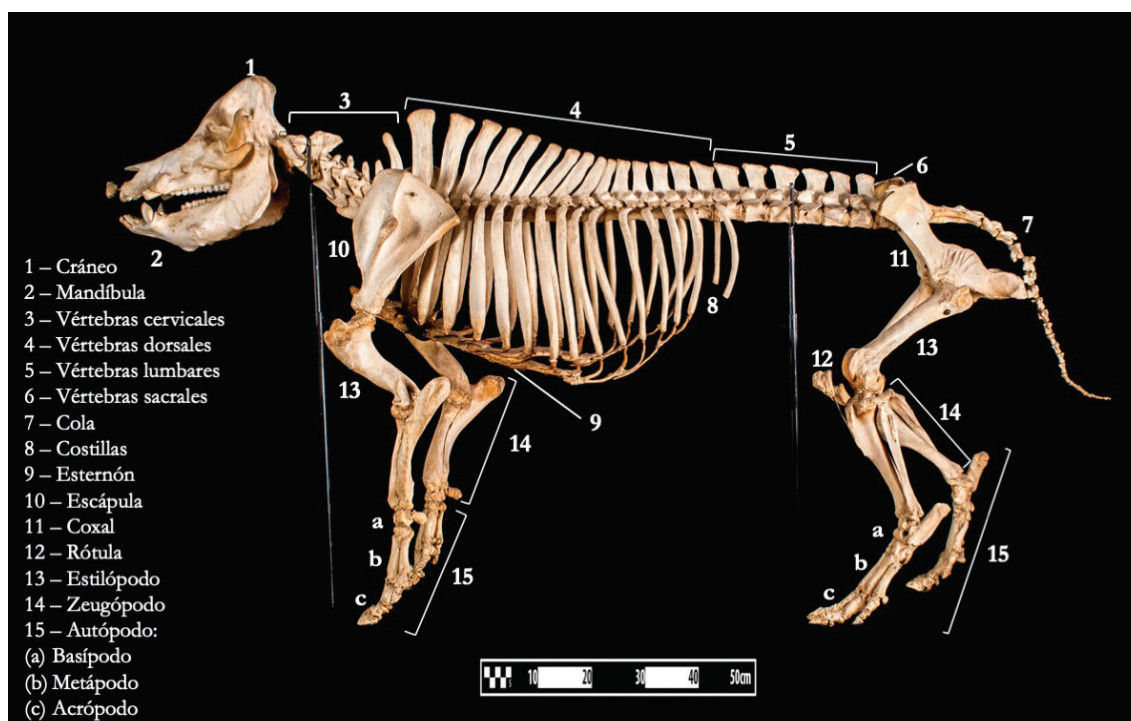


Figura 3 • Esqueleto del cerdo (imagen modificada de Museum of Veterinary Anatomy FMVZ USP recuperada de www.commons.wikimedia.org).

1.5. Agentes, procesos y efectos tafonómicos

El objetivo del análisis tafonómico es **reconstruir la historia tafonómica** de los restos cadavéricos, es decir, mediante la valoración de los efectos tafonómicos, intentar identificar los agentes y procesos causantes de las modificaciones observadas. La correcta identificación de los procesos y agentes tafonómicos dependerá de la precisión con la que se describan los efectos (Fernández-Jalvo y Andrews, 2016). Es posible diferenciar los efectos tafonómicos de las características “normales” (p. ej. modificaciones óseas del crecimiento), “anormales” (patologías)

y las producidas por los cambios culturales; reconocer las modificaciones óseas que han ocurrido antes, durante y después de las prácticas mortuorias; diferenciar los enterramientos primarios de los secundarios; e interpretar cuestiones vinculadas directamente con la muerte del individuo y su posterior tratamiento, deposición o abandono. Sin embargo, algunas modificaciones son confusas y puede resultar difícil entender qué es lo que les ha sucedido a los restos cadavéricos. Por ello, los estudios experimentales, como el que se presenta en este trabajo, facilitan la identificación de los agentes y procesos tafonómicos y ayudan a interpretar los enterramientos.

A pesar de que se han elaborado diversas clasificaciones para identificar y diferenciar los agentes y procesos tafonómicos responsables de las modificaciones óseas (Haglund y Sorg, 1997; Andrews y Fernández-Jalvo, 2012; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Schotsmans et al., 2017), en la presente Tesis Doctoral se considera que la clasificación más práctica es diferenciar los agentes tafonómicos por su **naturaleza** biológica, física, geológica o química. En la Tabla 5 se relacionan los distintos agentes, procesos y efectos tafonómicos descritos en la bibliografía existente. Como se puede observar, un efecto tafonómico no tiene por qué ser provocado por un único agente o proceso, sino que puede ser consecuencia de varios. Asimismo, la naturaleza de los agentes tafonómicos varía en función del tipo de proceso que realice; por ejemplo, el sedimento (generalmente definido como agente geológico) ejerce de agente físico en la descomposición de los cuerpos en espacios colmatados (proceso tafonómico) porque limita el espacio del cuerpo y, en consecuencia, provoca el mantenimiento de la distribución espacial ósea (efecto tafonómico).

Probablemente los agentes tafonómicos más conocidos y frecuentes sean los **agentes biológicos**, entre ellos, los humanos, ya que están relacionados con el canibalismo; utilizan técnicas de cocción para alimentarse de otros animales; se encargan de la gestión de los difuntos (levantamiento del cadáver, acondicionamiento del difunto, prácticas de tanatopraxia, traslado, entierro o incineración, etc.); y realizan técnicas para conservar los cuerpos (momificación artificial). El efecto antrópico también existe de manera involuntaria como, por ejemplo, la fragmentación de los restos cadavéricos semienterrados por la presión que ejercen las pisadas humanas sobre la tierra que los cubre; las actividades agrícolas; y/o las marcas que se pueden producir en los restos cadavéricos durante las excavaciones (Cook, 1986; Roberts et al., 2002; Andrews y Fernández-Jalvo, 2003; Botella et al., 2010; Congram, 2013). La fauna cadavérica y los hongos que aparecen en los cadáveres y enterramientos también son agentes biológicos importantes, responsables de los cambios de coloración y de la pérdida de la articulación corporal entre otros (*capítulos 1.5.1. y 1.5.2.*). Los agentes de naturaleza física, geológica y química también son responsables de muchas de las modificaciones óseas que se observan en los enterramientos (Tabla 5). La meteorización

Tabla 5 • Relación entre los agentes, procesos y efectos tafonómicos observados en los restos cadavéricos (revisión bibliográfica).

NATURALEZA	AGENTES TAFONÓMICOS	PROCESOS TAFONÓMICOS	EFECTOS TAFONÓMICOS	REFERENCIAS
Animales	Animales	Transporte	Dispersión ósea	Mann et al., 1990; Coard, 1999; Denys, 2002; Cáceres et al., 2009; Andrews y Fernández-Jalvo, 2012
Animales (pájaros)	Animales (pájaros)	Acción pico-lengua	Marcas lineales superficiales en forma de U	Fernández-Jalvo y Andrews, 2016
Animales (tiburones)	Animales (tiburones)	Mordedura	Puntos con o sin fragmentación asociada - Estriación - Surcos	Stock et al., 2017
Animales (herbívoros)	Animales (herbívoros)	Osteofagia	Epítesis con forma de Y ("Y-fork") - Picaduras	Pokines y Tersigni-Tarrant, 2017
Animales (insectos) - Algas	Animales (insectos) - Algas	Perforación del hueso	Marcas lineales internas en forma de U - Estrías	Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Lloveras et al., 2016
Animales - Plantas	Animales - Plantas	Digestión	Grietas - Descamación - Degradación de la cortical con márgenes finos - Superficie cortical esculpida - Puntos y perforaciones	Denys, 2002; Fernández-Jalvo y Tarrant, 2017; García-Morato et al., 2019
Humanos	Humanos	Canibalismo	Líneas rectas transversales, sagitales, paralelas o perpendiculares - Líneas débiles, múltiples, agrupadas, numerosas e irregulares - Sección en forma de V - Marcas de corte - Marcas lineales en forma de V (< 10mm) - Desmembramientos - Dispersión ósea	Cook, 1986; Andrews y Armour-Chelu, 1998; Botella et al., 2000; Andrews y Fernández-Jalvo, 2003; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Waltenberger y Schutkowski, 2017
Humanos	Humanos	Manipulación de los restos cadavéricos (p. ej. autopsia, tanatopraxia, entierro, excavación, etc.)	Dispersión ósea - Marcas de corte - Fragmentación - Presencia de restos de ropa - Color ocre	Congram, 2013; Ríos et al., 2013; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Kontopoulos et al., 2016; Nociarová, 2016
Humanos	Humanos	Preparación de alimentos	Marcas de corte - Fragmentación - Superficie cortical quemada	Roberts et al., 2002
Humanos - Animales	Humanos - Animales	Pisoteo (<i>trampling</i>)	Marcas lineales en forma de V - Agujeros - Perforaciones - Redondeo - Pulido - Dispersión ósea	Andrews y Armour-Chelu, 1998; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016
Humanos - Animales	Humanos - Animales	Raspado (<i>scraping</i>)	Marcas lineales en forma de V	Fernández-Jalvo y Andrews, 2016

Biológica

Tabla 5 • Continuación.

NATURALEZA	AGENTES TAFONÓMICOS	PROCESOS TAFONÓMICOS	EFECTOS TAFONÓMICOS	REFERENCIAS
	Humanos - Animales	Serrado (<i>sawing</i>)	Marcas lineales en forma de V	Fernández-Jalvo y Andrews, 2016
	Humanos - Animales (carroñeros, carnívoros o herbívoros)	Mordedura con caninos, premolares o molares	Marcas lineales en forma de U/V - Depresiones - Marcas de arrastre/agarre - Puntos y perforaciones - Pérdida ósea (epifisis) - Desmembramientos - Surcos - Bordes redondeados - Estrias - Fragmentación - Imitación traumatisms - Pulido - Dispersión ósea	Cáceres et al., 2009; Colard et al., 2015 Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Lloveras et al., 2016; Pokines y Tersigni-Tarrant, 2017; Young, 2017
Biológica	Humanos - Animales (roedores)	Roedura con incisivos (<i>gnawing</i>)	Marcas lineales en forma de U - Agujeros - Perforaciones - Depresiones - Marcas de arrastre	Cáceres et al., 2009; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Lloveras et al., 2016; Pokines y Tersigni-Tarrant, 2017
	Plantas - Algas - Bacterias	Crecimiento del organismo	Agujeros - Perforaciones - Canales - Color rosado - Color amarillo pálido - Color negro - Color marrón - Color blanco - Color verde - Marcas lineales - Fragmentación - Grietas - Raíces - Exfoliación	Nicholson, 1996; Botella et al., 2000; Schultz et al., 2003; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Lloveras et al., 2016; Amadasi et al., 2017
	Ataúd - Ropa - Rocas - Tejido blando conservado	Descomposición en espacio limitado	Mantenimiento de la distribución espacial ósea	Hill y Behrensmeier, 1984; Duday, 1990; Duday et al., 1990; Armentano et al., 2012a; Congram, 2013; Nociarová, 2016; Castex y Blaizot, 2017
	Estructura de espacio vacío	Descomposición en espacio vacío	Dispersión ósea	Duday, 1990; Duday et al., 1990
Física	Estructura de espacio colmatado (sedimento de las fosas simples)	Descomposición en espacio colmatado	Mantenimiento de la distribución espacial ósea	Duday, 1990; Duday et al., 1990; Cambra, 2006
	Sol - Fuego - Sedimento - Ambientes alcalinos	Meteorización	Grietas longitudinales y paralelas - Descamación - Redondeo - Cambios de coloración - Fragmentación - Exfoliación - Desecación - Fisuras	Behrensmeier, 1978; Andrews y Armour-Chelu, 1998; Janjua y Rogers, 2008; Cunningham et al., 2011; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Lloveras et al., 2016; Pokines, 2016

Tabla 5 • Continuación.

NATURALEZA	AGENTES TAFONÓMICOS	PROCESOS TAFONÓMICOS	EFECTOS TAFONÓMICOS	REFERENCIAS
Geológica	Agua - Aire - Glaciar - Rocas - Sedimento	Movimiento del agente	Marcas lineales - Agujeros - Perforaciones - Dispersión ósea - Exfoliación - Degradación de la superficie cortical - Fragmentación - Desecación - Congelación - Signos de abrasión (redondeo y/o abrillantamiento de los huesos)	Gifford-González, 1991; Coard, 1999; Andrews y Fernández-Jalvo, 2016; Pilloud et al., 2016; García-Morato et al., 2019
	Ambiente frío (p. ej. glaciares)	Exposición a ambientes fríos	Grietas microscópicas: transversales y de osteonas - Márgenes alterados - Formación de adipocera	Pilloud et al., 2016; Turpin, 2017
	Factores ambientales - Sedimento	Exposición de los cuerpos en la superficie	Deshidratación - Blanqueamiento - Descamación - Fragmentación - Pérdida de materia orgánica - Exfoliación - Destrucción total del hueso	Botella et al., 2000; Pokines, 2016
	Ambientes ácidos o básicos - Plantas - Hongos - Bacterias	Disolución química	Canales - Marcas lineales en forma de U - Hoyos producidos por hongos del sedimento ácido - Exfoliación - Color oscuro - Disolución o degradación del hueso	Nicholson, 1996; Christensen y Myers, 2011; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Amadasi et al., 2017
	Sedimentos ácidos	Pigmentación	Color oscuro	Huculak y Rogers, 2009
	Sedimentos básicos - Fuego	Pigmentación	Color amarillo pálido	Cortês, 2005; Huculak y Rogers, 2009
Química	Carbonato de calcio (caliza) - Óxido de manganeso - Sulfatos - Carbón - Agua oxigenada - Ácidos orgánicos - Metales - Sedimentos no drenados	Deposición de los materiales del sedimento	Concreciones o manchas - Color negro - Color marrón - Color rojo - Color blanco	Etxeberria et al., 2014; Botella et al., 2000; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Yucha et al., 2017; Pollock et al., 2018
	Fuego - Humanos	Exposición al fuego - Cremación	Color ocre (200-250°C) - Color marrón (250-300°C) - Color negro (300-350°C) - Color gris (550-600°C) - Color blanco (>650°C) - Deformación - Encogimiento - Fragmentación longitudinal, transversal, recta o laminada - Marcas de corte	Etxeberria, 1994; Denys, 2002; Roberts et al., 2002; Cortês, 2005; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Wältenberger y Schuttkowski, 2017; Yucha et al., 2017
	Hemoglobina (hemólisis) - Fuego	Pigmentación	Color rojo	Cortês, 2005; Pollock et al., 2018

Tabla 5 • Continuación.

NATURALEZA	AGENTES TAFONÓMICOS	PROCESOS TAFONÓMICOS	EFECTOS TAFONÓMICOS	REFERENCIAS
	Hierro	Pigmentación	Color rojo, ocre, rosa o naranja	Schultz et al., 2003; Huculak y Rogers, 2009; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Pollock et al., 2018
	Plantas - Algas verdes - Hierro - Cobre - Latón	Pigmentación	Color verde	Huculak y Rogers, 2009; Yucha et al., 2017
Química	Productos químicos - Animal - Plantas - Hongos - Algas - Bacterias - Cuevas - Sedimento	Corrosión	Pérdida de tejido - Bordes finos y afilados - Color marrón	Fernández-Jalvo y Andrews, 2016
	Sedimento - Materia orgánica - Fuego - Deposition de carbón - Agua	Pigmentación	Color negro o marrón	Etxeberria, 1994; Schultz et al., 2003; Cortesão, 2005; Huculak y Rogers, 2009; Pokines et al., 2015; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016
	Sol	Pigmentación	Color gris o blanco	Etxeberria, 1994; Schultz et al., 2003; Cortesão, 2005; Huculak y Rogers, 2009

de los huesos es uno de los procesos tafonómicos más estudiados, generalmente producido por el sedimento, en este caso, como **agente físico**. En 1978 Behrensmeyer definió los distintos estadios de meteorización en los cuales podrían encontrarse los restos cadavéricos de mamíferos grandes. Posteriormente, distintos autores redefinieron y/o ampliaron las características de cada estadio: Miller (1975) describió la meteorización ósea en los ambientes desérticos, Andrews (1990) definió las modificaciones óseas que sufren los mamíferos pequeños como consecuencia de la meteorización, y Ross y Cunningham (2011) adaptaron los estadios definidos inicialmente (Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Schotsmans et al., 2017). Los efectos tafonómicos más habituales producidos por la meteorización son la erosión, la exfoliación, la descamación y el agrietamiento de la superficie cortical de los huesos. Por otro lado, cuando un cuerpo se deposita en la superficie queda expuesto a numerosos **agentes geológicos**, como los factores ambientales (exposición solar, temperatura, etc.), que producen la deshidratación y el blanqueamiento de los huesos (Botella et al., 2000; Pokines, 2016). Por último, los **agentes químicos**, como la cal utilizada en muchos enterramientos antiguos, son responsables de la decoloración y de la adherencia de estas sustancias a los restos cadavéricos (*capítulo 1.5.3*).

1.5.1. Fauna cadavérica como agente tafonómico biológico

El conjunto de insectos y otros artrópodos que se alimentan de los cadáveres se conoce como fauna cadavérica. Un cuerpo en descomposición es un entorno cambiante y sus distintas fases atraen a diversas comunidades de insectos (Gennard, 2007; Anderson, 2011; Vanin y Huchet, 2017). Por ello, se han realizado numerosos estudios experimentales con humanos (p. ej. Rodríguez y Bass, 1983) y con modelos animales como los cerdos (p. ej. Payne, 1965; Anderson, 2011; Altarriba y Saloña, 2019) para conocer los distintos insectos asociados a los cadáveres durante la descomposición: necrófagos (principalmente dípteros y coleópteros que se alimentan del cuerpo en descomposición), necrófilos o predadores (parásitos de los necrófagos), omnívoros (se alimentan del cuerpo en descomposición y de las especies que habitan el mismo) y especies oportunistas (el cadáver forma parte de su ambiente). Los dípteros son los primeros en acceder al cuerpo, algunos incluso antes de la muerte, los siguen los coleópteros y, finalmente, acceden los grupos de necrófilos, omnívoros y oportunistas. Aunque su presencia no esté relacionada con la descomposición, estudiar la fauna oportunista permite conocer el lugar en el cual se encontraron los restos cadavéricos, ya que la presencia de los insectos depende de la localización geográfica, el ambiente (temperatura, lluvia y estación del año), el tipo de depósito (en superficie, enterrado, en interior, en exterior, oculto, etc.), la presencia de ropa, lesiones, la causa de la muerte, etc. (Mégnin, 1894; Bourel et al., 2004; Gennard, 2007; Dadour y Harvey, 2008; Janaway et al., 2009; Simmons et al., 2010; Anderson, 2011; Byrd y Castner, 2010; Carles-Tolrá et al., 2012; Vanin y Huchet, 2017; Baumjohanny y Benecke, 2019).

Habitualmente, el interés de estudiar la fauna asociada a los cadáveres del contexto legal (*Entomología forense*) se relaciona con cuestiones como el cálculo del intervalo *post mortem*, la localización del lugar de los hechos y la manipulación o movimiento del cuerpo (Gennard, 2007; Byrd y Castner, 2010; Flores Pérez et al., 2017). Es una disciplina estandarizada y sus protocolos de trabajo (p. ej. Arnaldos et al., 2001b; Byrd y Castner, 2010; Gil et al., 2014; Vanin y Huchet, 2017) son utilizados por investigadores de distintas instituciones. Por otro lado, la *Arqueoentomología funeraria* estudia la fauna (principalmente dípteros) asociada a los restos humanos del contexto arqueológico o histórico, con el objetivo de interpretar la historia tafonómica de los enterramientos: saber la época del año en la que se produjo (si aparece fauna cadavérica estacional), conocer las prácticas mortuorias llevadas a cabo (si el cuerpo estuvo un tiempo en exposición previo al enterramiento o si hubo manipulación o movimiento del cuerpo) y entender las modificaciones observadas en los restos cadavéricos (Huchet, 1996; Huchet y Greenberg, 2010; Miquel et al., 2017; Huchet, 2014; Vanin y Huchet, 2017). Además, la ubicación de la fauna cadavérica en el lugar del depósito permite conocer el momento en el que ocurrió la colonización: los insectos que colonizan un cuerpo *pre-deposición* se encuentran en los límites de las estructuras funerarias de espacio vacío o en los límites del ataúd (aunque este se haya desintegrado), mientras que los colonizadores *post-deposición* suelen aparecer sobre el cadáver (Huchet, 1996; Huchet, 2014; Vanin y Huchet, 2017).

Son pocos los estudios que analizan los efectos tafonómicos producidos por la fauna cadavérica, ya que el interés de la mayoría de los trabajos sobre Entomología forense es conocer la sucesión faunística de los insectos presentes en los cadáveres para estimar el intervalo *post mortem* (p. ej. Payne, 1965; Castro et al., 2019). Entre la fauna cadavérica que accede a los cuerpos (incluso enterrados), solo algunos son capaces de impactar en los huesos y/o consumir la queratina de los cuerpos: isópteros (p.ej. termitas), coleópteros (escarabajos), dípteros (moscas), himenópteros (p. ej. abejas) y lepidópteros (p. ej. polillas). A pesar de no haber muchos registros, los efectos tafonómicos más habituales provocados por la fauna cadavérica son las modificaciones óseas y del tejido blando, los desmembramientos y la desarticulación ósea, sobre todo de las regiones anatómicas con lesiones (Ururahy-Rodrigues et al., 2008; Huchet et al., 2013; Huchet, 2014; Vanin y Huchet, 2017; Solari et al., 2020).

1.5.2. Hongos como agentes tafonómicos biológicos

Un cuerpo en descomposición supone una fuente de materia orgánica importante también para los hongos (Forbes et al., 2005; Janaway et al., 2009) y, por ello, aunque son menos conocidos o estudiados, también se deben considerar como agentes tafonómicos. Los hongos están globalmente distribuidos en el ambiente natural, son eucariotas, heterótrofos, la mayoría crecen en el substrato y

su mecanismo reproductivo se basa en la dispersión de esporas sexuales o asexuales, las cuales son útiles en la identificación de la especie. Actualmente los hongos verdaderos se clasifican en los filos *Ascomycota*, *Basidiomycota* y *Mucoromycota* y *Zoopagomycota* (antes incluidos en el grupo polifilético *Zygomycota*), y entre los hongos más ancestrales y flagelados están los filos *Chytridiomycota* y *Blastocladiomycota* (antes incluidos en un único filo *Chytridiomycota*). En la presente Tesis Doctoral los hongos se han clasificado en los filos *Ascomycota*, *Basidiomycota* y *Zygomycota sensu lato* con el fin de simplificar la presentación de los resultados. Teniendo en cuenta su relación con el ambiente, se pueden diferenciar entre los hongos mutualistas (líquenes o micorrizas), saprófitos y parásitos (Domsch et al., 2007; Samson et al., 2004; Spatafora et al., 2016; O'Hanlon, 2018).

Por lo general, el estudio de los hongos vinculados a los cadáveres del contexto legal (*Micología forense*) se relaciona con intoxicaciones por ingesta de especies venenosas o micosis (Illana-Esteban, 2013), aunque también son útiles para estimar el intervalo *post mortem*, el intervalo post-enterramiento o en exposición y localizar el lugar del enterramiento (Tibbett y Carter, 2003; Hawksworth y Wiltshire, 2011; Illana-Esteban, 2013; Hawksworth y Wiltshire, 2015; Chandel et al., 2018; Tranchida y Cabello, 2019). Pero, a diferencia de la fauna cadavérica, no se conocen muy bien los grupos de hongos que aparecen en los cadáveres. Algunos estudios experimentales han clasificado varios géneros como hongos de la post-putrefacción (PPF), divididos en dos grupos en sucesión fúngica: los hongos de la fase temprana que aparecen en los primeros 10 meses de la descomposición (la mayoría corresponden al filo *Ascomycota*) y los hongos de la fase tardía que crecen a partir del primer año *post mortem* hasta 4 años después (sobre todo los pertenecientes al filo *Basidiomycota*) (Carter y Tibbett, 2003; Tibbett y Carter, 2003; Sagara et al., 2008; Illana-Esteban, 2013). Sin embargo, los trabajos más actuales no tienen en cuenta esta clasificación a la hora de presentar sus resultados, porque encuentran discrepancias en los géneros clasificados en cada grupo. La Tabla 6 recoge los géneros y especies de hongos relacionados, hasta la fecha, con los cuerpos en descomposición. Se han estudiado los hongos asociados a varias momias antiguas (Čavka et al., 2010; Palla et al., 2011), a restos cadavéricos de personajes históricos (Pangallo et al., 2013; Piñar et al., 2013; Šimonovičová et al., 2015), a cadáveres de casos forenses (Hitosugi et al., 2006; Ishii et al., 2006; Sidrim et al., 2009; Tranchida et al., 2014; Bellini et al., 2015; Calduch et al., 2018; Di Piazza et al., 2018) y a monumentos emblemáticos (Urzi y De Leo, 2001). Pero pocos trabajos interpretan los efectos tafonómicos producidos por los hongos. La mayoría aparecen en la superficie de los cuerpos (huesos o tejido desecado) en forma de colonia o fruto y pocos son capaces de penetrar en otros tejidos (son microorganismos aerobios). El establecimiento de los micelios en los restos cadavéricos, como proceso tafonómico, supone el cambio de aspecto (Hitosugi et al., 2006; Piñar et al., 2013; Calduch et al., 2018) y/o coloración de los cadáveres (Ishii et al., 2006; Piñar et al., 2013), así como la degradación de la superficie cortical de los huesos (Rogers, 2010; Illana-Esteban, 2013; Kendall et al., 2017; Turner-Walker, 2019).

Los métodos utilizados para examinar e identificar las colonias y cuantificar su representación en un ambiente en concreto son numerosos, pero, a diferencia de los estudios entomológicos, no se ha establecido un protocolo de trabajo común. En la bibliografía se describen distintos materiales para el muestreo de hongos sobre los restos cadavéricos: agujas (Ishii et al., 2006), bisturí y fórceps (Piñar et al., 2013; Sidrim et al., 2009; Tranchida et al., 2018), cintas adhesivas (Urzi y Leo, 2001; Pangallo et al., 2013; Šimonovičová et al., 2015), cucharas (Tranchida et al., 2014), hisopos estériles (Čavka et al., 2010; Palla et al., 2011; Pangallo et al., 2013; Bellini et al., 2015; Šimonovičová et al., 2015; Caldusch et al., 2018; Di Piazza et al., 2018; Tranchida et al., 2018), pinceles (Palla et al., 2011), pinzas (Sidrim et al., 2009; Tranchida et al., 2018) y placas de contacto (Piñar et al., 2013). Así como la utilización de distintos medios de cultivo para el crecimiento de las colonias en el laboratorio. Sin embargo, no se ha determinado el medio de cultivo ideal para el crecimiento e identificación morfológica de las colonias obtenidas a partir de los restos cadavéricos.

Tabla 6 • Hongos identificados en los cuerpos humanos en descomposición (revisión bibliográfica).

GÉNERO/ESPECIE	IDENTIFICADO EN	REFERENCIAS
<i>Acremonium</i> sp.	Pelo - Mucosas - Ropa - Piel	Sidrim et al., 2009; Illana-Esteban, 2013; Piñar et al., 2013
<i>Alternaria</i> sp.	Ropa - Restos cadavéricos momificados	Pangallo et al., 2013; Čavka et al., 2010
<i>Arthrinium arundinis</i>	Cadáver descompuesto	Tranchida et al., 2018
<i>Aspergillus candidus</i>	Restos cadavéricos momificados y esqueletizados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Aspergillus calidoustus</i>	Restos cadavéricos momificados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Aspergillus chevalieri</i>	Restos cadavéricos momificados y esqueletizados	Ishii et al., 2006
<i>Aspergillus flavus</i>	Pelo - Piel - Mucosas - Hueso - Pulmones - Ropa	Sidrim et al., 2009
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Piel - Restos cadavéricos momificados - Ropa	Gradišar et al., 2000; Šimonovičová et al., 2015; Čavka et al., 2010; Pangallo et al., 2013
<i>Aspergillus nidulans</i>	Restos cadavéricos momificados	Čavka et al., 2010
<i>Aspergillus niger</i>	Pelo - Piel - Mucosas - Hueso - Pulmones - Ropa - Sedimento - Cadáver fresco y descompuesto	Sidrim et al., 2009; Šimonovičová et al., 2015; Tranchida et al., 2018
<i>Aspergillus pseudodeflectus</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Aspergillus puniceus</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Aspergillus repens</i>	Restos cadavéricos momificados y esqueletizados	Ishii et al., 2006
<i>Aspergillus rubrum</i>	Restos cadavéricos momificados y esqueletizados	Ishii et al., 2006
<i>Aspergillus sepultus</i>	Enterramientos en suelo	Tuthill y Christensen, 1986

Introducción

Tabla 6 • Continuación.

GÉNERO/ESPECIE	IDENTIFICADO EN	REFERENCIAS
<i>Aspergillus</i> sp.	Estructuras de espacio vacío - Pelo	Piñar et al., 2013
<i>Aspergillus sydowii</i>	Ropa - Restos cadavéricos momificados	Pangallo et al., 2013; Šimonovičová et al., 2015
<i>Aspergillus terreus</i>	Piel - Restos cadavéricos momificados y esqueletizados - Cadáver fresco y descompuesto	Hitosugi et al., 2006; Šimonovičová et al., 2015; Chandel et al., 2018; Tranchida et al., 2018
<i>Aspergillus tubingensis</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Aspergillus ustus</i>	Restos cadavéricos momificados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Aspergillus venenatus</i>	Restos cadavéricos momificados y esqueletizados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Aspergillus versicolor</i>	Restos cadavéricos momificados y esqueletizados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Aspergillus westerdijkiae</i>	Restos cadavéricos momificados y esqueletizados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Beauveria bassiana</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Botryotinia</i>	Restos cadavéricos momificados	Piñar et al., 2013
<i>Candida albicans</i>	Pelo - Piel - Mucosas - Pulmones - Ataúdes	Sidrim et al., 2009
<i>Candida parapsilosis</i>	Pelo - Piel - Mucosas - Pulmones	Sidrim et al., 2009
<i>Candida</i> sp.	Cadáver fresco	Chandel et al., 2018
<i>Candida guilliermondii</i>	Mucosas - Cadáver fresco y descompuesto	Sidrim et al., 2009 - Tranchida et al., 2018
<i>Candida lypolytica</i>	Cadáver descompuesto	Tranchida et al., 2018
<i>Chrysosporium</i> sp.	Restos cadavéricos momificados - Piel	Čavka et al., 2010; Illana-Esteban, 2013
<i>Chrysosporium merdarium</i>	Cadáver fresco	Tranchida et al., 2018
<i>Cladosporium</i> sp.	Cadáver fresco - Restos cadavéricos momificados	Šimonovičová et al., 2015; Ventura et al., 2016; Chandel et al., 2018
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	Sedimento bajo cadáveres - Cadáver fresco y descompuesto	Tranchida et al., 2014; Di Piazza et al., 2018; Tranchida et al., 2018
<i>Coniosporium</i>	Restos cadavéricos momificados	Piñar et al., 2013
<i>Coprinellus xanthothrix</i>	Ropa - Restos cadavéricos momificados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Coprinus</i>	Restos cadavéricos momificados	Piñar et al., 2013
<i>Devriesia</i> sp.	Ropa	Piñar et al., 2013
<i>Dichotomomyces cejpaii</i>	Sedimento bajo cadáveres - Cadáver fresco	Tranchida et al., 2014; Chandel et al., 2018
<i>Didymella</i>	Restos cadavéricos momificados	Piñar et al., 2013
<i>Doratomyces microsporus</i>	Piel	Gradišar et al., 2000
<i>Eupenicillium</i> sp.	Pelo	Piñar et al., 2013
<i>Eurotium repens</i>	Restos cadavéricos momificados y esqueletizados	Ishii et al., 2006; Šimonovičová et al., 2015

CAPÍTULO I

Tabla 6 • Continuación.

GÉNERO/ESPECIE	IDENTIFICADO EN	REFERENCIAS
<i>Eurotium chevalieri</i>	Restos cadavéricos esqueletizados	Ishii et al., 2006
<i>Eurotium cristatum</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Fusarium</i> sp.	Restos cadavéricos momificados - Mucosas - Cadáver fresco	Sidrim et al., 2009; Piñar et al., 2013; Chandel et al., 2018
<i>Geotrichum candidum</i>	Cadáver fresco - Piel	Hawksworth y Wiltshire, 2011; Hawksworth y Wiltshire, 2015
<i>Geotrichum</i> sp.	Pelo - Cadáver fresco	Sidrim et al., 2009; Chandel et al., 2018
<i>Gibberella</i>	Restos cadavéricos momificados	Piñar et al., 2013
<i>Gliocladium</i> sp.	Restos cadavéricos esqueletizados	Ishii et al., 2006
<i>Gymnoascoideus</i> sp.	Pelo	Piñar et al., 2013
<i>Microsporum</i> sp.	Piel	Gradišar et al., 2000; Illana-Esteban, 2013
<i>Monilinia</i> sp.	Restos cadavéricos momificados	Čavka et al., 2010
<i>Mortierella</i> sp.	Cadáver fresco	Chandel et al., 2018
<i>Mucor corticola</i>	Hueso	Bellini et al., 2015
<i>Mucor hiemalis</i>	Hueso - Piel	Bellini et al., 2015 - Hawksworth y Wiltshire, 2015
<i>Mucor</i> sp.	Pelo - Piel - Mucosas - Hueso	Sidrim et al., 2009
<i>Myriodontium keratinophilum</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Neosartorya fischeri</i>	Restos cadavéricos momificados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Penicillium brevicompactum</i>	Ropa - Piel - Estructuras de espacio vacío	Pangallo et al., 2013; Hawksworth y Wiltshire, 2015; Piñar et al., 2013
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Cadáver fresco - Ropa - Restos cadavéricos momificados y esqueletizados - Estructuras de espacio vacío	Simonovicová et al., 2015; Bellini et al., 2015; Piñar et al., 2013
<i>Penicillium commune</i>	Restos cadavéricos momificados - Ropa	Šimonovičová et al., 2015; Pangallo et al., 2013
<i>Penicillium crocicola</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Penicillium crustosum</i>	Ropa - Restos cadavéricos momificados	Pangallo et al., 2013; Šimonovičová et al., 2015
<i>Penicillium expansum</i>	Ropa - Cadáver fresco - Estructuras de espacio vacío	Pangallo et al., 2013; Di Piazza et al., 2018; Piñar et al., 2013
<i>Penicillium frequentans</i>	Sedimento bajo cadáveres	Tranchida et al., 2014
<i>Penicillium griseofulvum</i>	Restos cadavéricos momificados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Penicillium hordei</i>	Restos cadavéricos momificados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Penicillium pancosmium</i>	Hueso	Bellini et al., 2015
<i>Penicillium piceum</i>	Pelo - Piel - Mucosas - Sedimento - Ropa	Sidrim et al., 2009

Introducción

Tabla 6 • Continuación.

GÉNERO/ESPECIE	IDENTIFICADO EN	REFERENCIAS
<i>Penicillium polonicum</i>	Ropa - Restos cadavéricos momificados - Cadáver fresco	Šimonovičová et al., 2015; Di Piazza et al., 2018
<i>Penicillium purpurascens</i>	Sedimento bajo cadáveres	Tranchida et al., 2014
<i>Penicillium radicum</i>	Hueso	Piñar et al., 2013
<i>Penicillium restrictum</i>	Sedimento bajo cadáveres	Tranchida et al., 2014
<i>Penicillium roseopurpureum</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Penicillium rubrum</i>	Cadáver fresco	Di Piazza et al., 2018
<i>Penicillium rugulosum</i>	Pelo - Piel - Mucosas - Pulmones	Sidrim et al., 2009
<i>Penicillium spinulosum</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Penicillium</i> sp.	Pelo - Piel - Pulmones - Hueso - Restos cadavéricos momificados - Sedimento bajo cadáveres - Ropa - Cadáver fresco	Hitosugi et al., 2006; Sidrim et al., 2009; Tranchida et al., 2014; Čavka et al., 2010; Chandel et al., 2018
<i>Penicillium verruculosum</i>	Hueso	Sidrim et al., 2009
<i>Penicillium waksmanii</i>	Cadáver fresco	Ventura et al., 2016
<i>Phialophora</i> sp.	Ropa	Piñar et al., 2013
<i>Phialosimplex caninus</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013
<i>Phialosimplex</i> sp.	Piel - Músculo - Pelo	Piñar et al., 2013
<i>Pleosporales</i> sp.	Pelo	Piñar et al., 2013
<i>Rhizopus</i> sp.	Restos cadavéricos momificados - Pelo	Čavka et al., 2010; Piñar et al., 2013
<i>Rhizopus stolonifer</i>	Ropa	Šimonovičová et al., 2015
<i>Sagenomella</i> sp.	Piel - Músculo	Piñar et al., 2013
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	Restos cadavéricos momificados - Cadáver descompuesto	Calduch et al., 2018; Šimonovičová et al., 2015; Tranchida et al., 2018
<i>Scopulariopsis hibernica</i>	Restos cadavéricos momificados	Šimonovičová et al., 2015
<i>Talaromyces flavus</i>	Sedimento bajo cadáveres - Restos cadavéricos esqueletizados - Cadáver fresco	Tranchida et al., 2014; Šimonovičová et al., 2015; Chandel et al., 2018
<i>Talaromyces</i> sp.	Sedimento bajo cadáveres - Cadáver fresco	Tranchida et al., 2014; Chandel et al., 2018
<i>Talaromyces tranchyspermus</i>	Sedimento bajo cadáveres - Cadáver fresco	Tranchida et al., 2014; Chandel et al., 2018
<i>Trichocomaceae</i> sp.	Piel - Músculo - Pelo	Piñar et al., 2013
<i>Trichoderma</i> sp.	Hueso - Pelo - Pulmones	Sidrim et al., 2009
<i>Trichophyton</i> sp.	Piel	Gradišar et al., 2000
<i>Trichosporon</i> sp.	Pelo - Mucosas - Hueso	Sidrim et al., 2009
<i>Tritirachium</i>	Restos cadavéricos momificados	Piñar et al., 2013
<i>Verticillium</i>	Restos cadavéricos momificados	Piñar et al., 2013
<i>Xenochalara juniperi</i>	Ropa	Pangallo et al., 2013

1.5.3. La cal como agente tafonómico químico

La cal es un compuesto alcalino que puede aparecer de diferentes formas, siendo las más habituales la caliza (CaCO_3), la cal viva (CaO) y la cal hidratada (Ca(OH)_2). Estos tres compuestos están relacionados entre sí en el ciclo de la cal: durante el proceso de calcinación, la caliza (CaCO_3) se expone a más de 800°C y se obtiene CO_2 y cal viva (CaO); al hidratarse la cal viva (CaO), se crea cal hidratada (Ca(OH)_2) y, en presencia de aire (CO_2), esta pierde agua y se convierte de nuevo en caliza (CaCO_3). La roca caliza y sus variantes siempre se han utilizado en diferentes sectores como en la agricultura y en la industria y, aunque no siempre se conoce el objetivo real de su utilización, también se ha utilizado en los enterramientos. Históricamente, se consideraba que la cal aceleraba el proceso de la descomposición y reducía el olor de la putrefacción. Por ello, se ha utilizado en numerosos casos forenses para hacer desaparecer el cadáver, en enterramientos clandestinos como los de la Guerra Civil española, en casos de plagas para evitar la propagación de la enfermedad *post mortem* y en enterramientos de fallecidos en grandes catástrofes (Schotsmans, 2013; Etxeberria et al., 2014; Schotsmans et al., 2015; Schotsmans et al., 2016; Schotsmans et al., 2019). Por otro lado, se creía que la cal favorecía la conservación de los cuerpos, ya que en pH alcalinos la acción bacteriana se minimiza y, por ello, este compuesto también se utilizaba en técnicas de momificación artificial o intencional (Schotsmans, 2013). Schotsmans y sus colaboradores han realizado numerosos estudios experimentales sobre la utilización de la cal y su efecto en los enterramientos, y han demostrado que la cal, como agente tafonómico, sí retrasa el proceso de la descomposición, pero no la inhibe: aunque la actividad bacteriana externa se vea afectada por la alcalinidad, la descomposición bacteriana interna continúa (Schotsmans et al., 2012; Schotsmans et al., 2014a; Schotsmans et al., 2014b; Schotsmans y Van de Voorde, 2017; Schotsmans et al., 2020).

CAPÍTULO II



Objetivos

“We owe respect to the living. To the dead we owe only the truth.”

Voltaire



En ocasiones, durante el estudio de los restos cadavéricos, pueden surgir ciertas dudas que no siempre son fáciles de resolver, como por ejemplo: ¿cómo fueron enterrados originalmente estos restos cadavéricos?, ¿por qué tienen ese color?, ¿por qué en algunos enterramientos aparecen puparios junto a los restos cadavéricos y en otros no? o ¿por qué hay huesos que se encuentran fuera de su localización anatómica? Los estudios experimentales ofrecen la oportunidad de analizar todas estas cuestiones y aportar algunas respuestas. De hecho, la creación de instalaciones experimentales ha permitido conocer con más detalle cómo se produce la descomposición de los cuerpos humanos y animales y ha mostrado que esta varía en función de determinados factores, como la causa de la muerte o la climatología del lugar. Gracias a estos estudios es posible estimar mejor el intervalo *post mortem* y/o conocer los agentes y procesos tafonómicos responsables de los efectos observados en los restos cadavéricos. A pesar de ello, en Europa no existen muchas instalaciones de estas características, probablemente debido a los inconvenientes logísticos o de espacio para crearlas, y/o por las cuestiones éticas y legales que existen sobre la experimentación con cuerpos humanos. Sin embargo, sí está permitida la experimentación con modelos animales. De modo que existen varias instalaciones europeas en las cuales se estudian, sobre todo, cuestiones vinculadas a la Tafonomía. Una de ellas es la del proyecto experimental **Taphos-m** en Cataluña, objeto de estudio de la presente Tesis Doctoral, en el cual se trabaja con ejemplares de cerdo doméstico (*capítulo 3*). Partiendo de que se conocen las características constructivas de los enterramientos (estructuras de espacio vacío vs. estructuras colmatadas; uso de piedras, tejas y/o cal; envoltura en tela, etc.) y las características biológicas de los animales enterrados (información *ante mortem*), en Taphos-m es posible analizar los efectos tafonómicos observados en los huesos animales e interpretar la historia tafonómica de los enterramientos reproducidos experimentalmente (Armentano et al., 2012b; Gutiérrez, 2015; Gutiérrez et al., 2016 - *Anexo III*; Gutiérrez et al., 2017 - *Anexo III*).

El estudio e interpretación de las modificaciones *post mortem* en los restos cadavéricos permite reconstruir la historia tafonómica de los enterramientos y conocer los agentes y procesos tafonómicos que los provocaron. Esa práctica resulta de mayor importancia y, sin embargo, se realizan pocos trabajos vinculando los agentes, procesos y efectos tafonómicos, en parte, debido a la insuficiente información experimental que existe en estos momentos. Por ello, la presente Tesis Doctoral tiene como finalidad **relacionar los efectos tafonómicos observados en diferentes tipos de estructuras funerarias utilizadas en la antigüedad, con los posibles agentes y procesos que pudieron actuar en las instalaciones Taphos-m.**

Con todo lo expuesto, se plantea la siguiente **hipótesis**: *las carcasas enterradas en el mismo tipo de estructura funeraria sufren las mismas modificaciones tafonómicas y estas difieren de las modificaciones que sufren las carcasas enterradas en otro tipo de estructura funeraria.* Para contrastar la hipótesis planteada se definen los siguientes **objetivos específicos**:

1. Identificar los cambios físicos de las instalaciones Taphos-m como consecuencia del paso del tiempo y determinar cómo afectaron estos cambios a los enterramientos recreados.
2. Analizar e identificar los efectos tafonómicos de los distintos enterramientos y relacionarlos con los procesos y agentes que los causaron.
 - 2.1. Determinar los factores que intervinieron en el estado cadavérico de las carcasas.
 - 2.2. Analizar las modificaciones en la distribución espacial ósea de las carcasas, las modificaciones en la superficie cortical de los huesos y la fragmentación ósea, y determinar los agentes responsables de esas modificaciones.
 - 2.3. Comprobar si la utilización de la cal como agente tafonómico favorece un estado cadavérico en concreto y los efectos que puede provocar su uso en los enterramientos.
 - 2.4. Comprobar el efecto de envolver el cuerpo de los animales en tela de algodón en la descomposición.
3. Identificar la fauna cadavérica asociada a los enterramientos de Taphos-m y vincularla como agente tafonómico a los efectos observados en las carcasas de los cerdos.
 - 3.1. Identificar los grupos de fauna cadavérica y diferenciarlos de los insectos no relacionados con la descomposición.
 - 3.2. Determinar el momento de la colonización de los dípteros en los distintos enterramientos.

Objetivos

- 3.3. Comprobar si se detectan los mismos grupos de insectos en las carcasas de mismo estado cadavérico y/o en las estructuras funerarias de tipología constructiva similar.
4. Identificar los hongos asociados a los enterramientos de Taphos-m y vincularlos como agentes tafonómicos a los efectos observados en las carcasas de los cerdos.
 - 4.1. Establecer la metodología óptima para el muestreo de hongos sobre las carcasas.
 - 4.2. Comprobar la necesidad de realizar cultivos en el laboratorio para la identificación de las colonias y, en caso afirmativo, identificar el mejor medio de cultivo.
 - 4.3. Comprobar si se detectan los mismos grupos de hongos en las carcasas de mismo estado cadavérico y/o en las estructuras funerarias de tipología constructiva similar.

CAPÍTULO III



Material y Métodos

“Qu’est ce que c’est la taphonomie ? Un outil.
Que peut-on faire d’un outil ? Tout.
Cela dépend du chercheur, de son objet d’étude et des buts recherchés”



3.1. Proyecto experimental Taphos-m

Taphos-m es el nombre del proyecto experimental, pionero en el estado español, cuyo objetivo principal es identificar y entender las modificaciones óseas observadas en los cuerpos enterrados en distintas estructuras funerarias. Se creó en 2011 como un espacio experimental, recreando distintas estructuras funerarias individuales, similares a las utilizadas a lo largo de la Historia (Duday et al., 1990; Armentano y Malgosa, 2003) en las cuales se enterraron 26 ejemplares de cerdo doméstico. La mayoría de las estructuras funerarias permitieron el contacto directo del cuerpo del animal con el sedimento, pero también se reprodujeron estructuras de espacio vacío revestidas con distintos materiales (piedras, tejas y/o madera) en las cuales el cuerpo del animal no tenía ningún contacto con el sedimento. El proyecto se dividió en varias fases: la **Fase I** supuso la construcción de las estructuras funerarias y los enterramientos de los animales (2011-2012); la **Fase II** correspondió a la apertura de las estructuras funerarias y al estudio de los restos cadavéricos (2015-2020); y en la **Fase III** se llevaron a cabo los estudios complementarios de las muestras entomológicas y micológicas recuperadas (2015-2018).

La dirección del proyecto Taphos-m la asumió la Dra. Núria Armentano (Museu d'Arqueologia de Catalunya y Universitat Autònoma de Barcelona) y el *Grup de Recerques de les Terres de Ponent* (GRTP) se responsabilizó de la planificación y construcción de las instalaciones experimentales, siendo el sr. Miquel Torres (codirector de la Fase I y en representación del GRTP) el propietario de las mismas. En el proyecto también participaron la *Unitat d'Antropologia Biològica* de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), bajo la dirección de la Dra. Assumpció Malgosa, y el *Institut d'Estudis Illerdencs* de Lleida, siendo el sr. Joan Ramon González (director del Servei d'Arqueologia de la Diputació de Lleida) el contacto responsable.

3.2. Fase I: Creación de las instalaciones Taphos-m

3.2.1. Documentación oficial

Para la **construcción de las instalaciones** se solicitó al Ayuntamiento de Sant Martí de Riucorb (Lleida, Cataluña) la autorización de obra y construcción (expediente con número 8/11) en el terreno seleccionado (*capítulo 3.2.2.*). Simultáneamente, se solicitó al Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya permiso para la **utilización de cadáveres animales** para el proyecto, y se concretó la tramitación de subproductos animales de categoría 2 (cadáveres de cerdo) con fines docentes y de investigación. Como información complementaria se diseñó una ficha de trazabilidad incluyendo toda la información correspondiente a cada animal seleccionado para el proyecto, ya que no existía ningún modelo en la administración. Los datos recogidos en las 26 fichas que se entregaron (una por cada animal seleccionado para el proyecto) fueron los siguientes: nombre, objetivo y responsable del proyecto, relación social, lugar de origen y de destino de cada animal, datos del transportista, datos de utilización y un apartado con la declaración de conformidad (*Anexo I*). El proyecto se inscribió y fue autorizado con el número oficial CAT/DAR/LL081. Una vez iniciado el proyecto, desde Serveis Territorials d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de Lleida (Generalitat de Catalunya) realizaron **inspecciones anuales** a las instalaciones Taphos-m y modificaron el número oficial del proyecto a **actividad SANDACH** (subproductos de origen animal no destinados al consumo humano) con el número S25902001 del Registre del Sector de l'alimentació animal y de l'àmbit dels subproductes animals i productes derivats no destinats al consum humà. El proyecto Taphos-m también fue presentado al Servei d'Arqueologia de Catalunya, que siguió todo el proceso de creación y las distintas fases del mismo. Además, el arqueólogo Josep Gallart (Serveis Territorials del Departament de Cultura de les Terres de Ponent) realizó varias visitas a las instalaciones Taphos-m.

3.2.2. Localización de las instalaciones

Las características del proyecto exigían que las instalaciones estuviesen lejos de zonas pobladas, lo suficientemente aisladas y protegidas tanto del público como de los animales de la zona. Es por ello que las instalaciones Taphos-m se situaron a las afueras de Sant Martí de Maldà, en Lleida, Cataluña (Figura 4). Constan de un área de 120m², junto a un pequeño montículo, vallado con protección metálica y con dos puertas de acceso (*Anexo I*). Las instalaciones se señalaron con un cartel informativo donde constan el nombre, el objetivo inicial y los colaboradores del proyecto. Otros aspectos que se consideraron favorables para situar las instalaciones en St. Martí de Maldà fueron su proximidad a las zonas de producción animal y la colaboración de las entidades locales. La economía de la zona gira en torno a la ganadería, hecho que facilitó la obtención de los ejemplares animales con las características que se consideraron imprescindibles para el desarrollo del proyecto. En cuanto al

clima de la zona, es mediterráneo-continental: la temperatura media anual oscila entre los 13-14°C, aunque las temperaturas invernales son más bajas (entre los 3-5°C en enero) y las precipitaciones son escasas, siendo las precipitaciones anuales acumuladas inferiores a los 500mm.

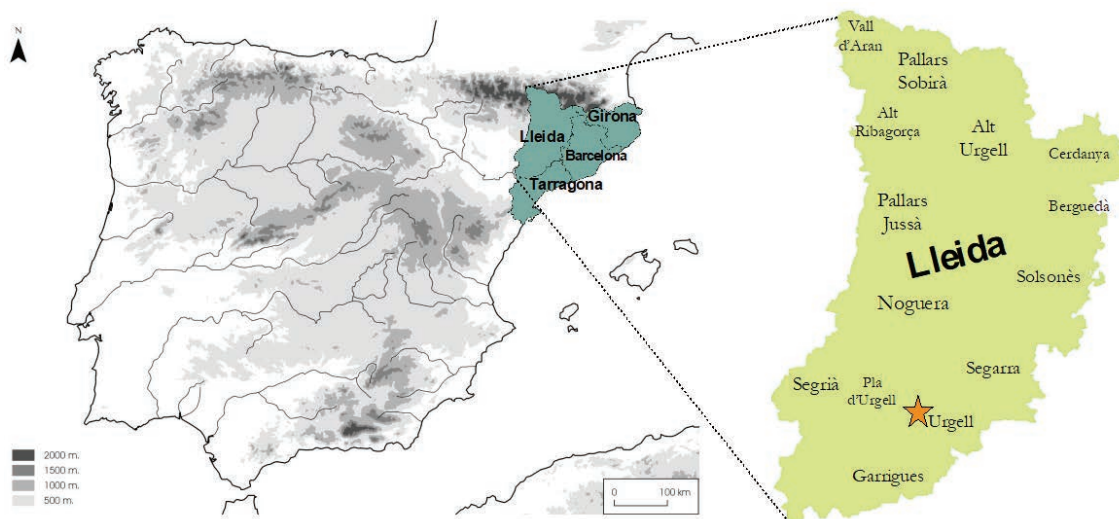


Figura 4 • Ubicación de las instalaciones del proyecto Taphos-m en Lleida, Cataluña (estrella naranja).

3.2.3. Construcción de las estructuras funerarias

Las instalaciones están formadas por 26 enterramientos controlados y de distinta tipología constructiva (Figura 5) que, en términos generales, se diferenciaron por ser enterramientos en **espacio colmatado** o en **espacio vacío** (Duday, 1990; Duday et al., 1990; Armentano, 2012b). A cada estructura funeraria se le dio un **código único** compuesto por dos cifras: la primera corresponde al orden de la estructura funeraria según la posición dentro de las instalaciones y la segunda indica el orden de entierro. Por ejemplo, la estructura funeraria 12-20, corresponde a la estructura nº 12 de las instalaciones y al cerdo nº 20 enterrado. En la presente Tesis Doctoral esta nomenclatura es utilizada para referirse tanto a la estructura funeraria en cuestión como a los animales enterrados.

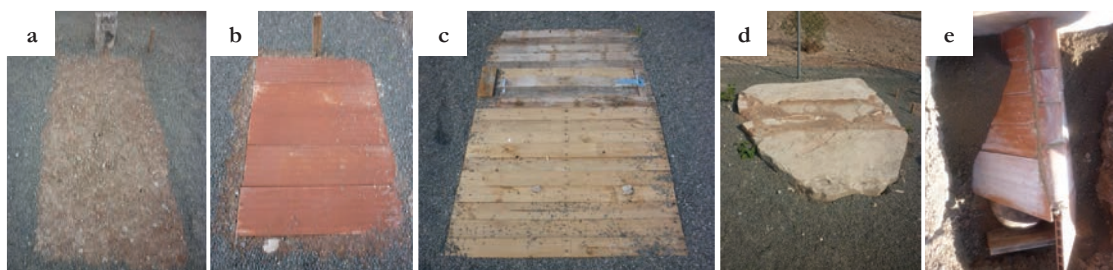


Figura 5 • Estructuras funerarias reproducidas en Taphos-m: (a) fosa simple, (b) estructura de tejas, (c) estructura de piedras con cubierta de madera, (d) estructura de piedras con cubierta de piedras y (e) estructura de tejas a dos aguas (tipo *tegulae*).

Todas las estructuras funerarias se reprodujeron bajo tierra, con unas **dimensiones** aproximadas de 180 cm de largo, 100-120 cm de ancho y 60-70 cm de profundidad, y con una distancia media de 50 cm entre ellas (Tabla 7). Los límites de las estructuras funerarias fueron señalizados con listones de madera o con los materiales de las cubiertas (Figura 5). Se reprodujeron enterramientos en **fosas simples** (38%), en las cuales el cuerpo del animal estaba en contacto directo con el sedimento extraído al cavar el hoyo en el estrato natural y reintroducido posteriormente (enterramiento colmatado). Dos de estas estructuras funerarias (07-05 y 11-07) se reforzaron con materiales de construcción por uno de los laterales para evitar desprendimientos de la tierra. Por otro lado, se recrearon distintos tipos de enterramientos en espacio vacío (62%), cubriendo fosas simples con distintos materiales de construcción para evitar al máximo filtraciones al interior de las estructuras. Así, se reprodujeron estructuras funerarias de tejas, tipo *tegulae* y de piedras. Para reproducir las **estructuras de tejas** se revistieron 12 fosas simples con tejas planas y cemento por los laterales y la base, creando una estructura hermética. Una vez depositados los animales en el interior, las estructuras de teja se cerraron utilizando el mismo material del revestimiento a modo de cubierta. En las 2 estructuras tipo *tegulae* se colocaron tejas planas a dos aguas sobre el animal, se unieron utilizando tejas simples y cemento y se cubrieron completamente con sedimento. Por último, las 2 **estructuras de piedras** recreadas eran fosas simples revestidas solo por los laterales con piedras de la zona, manteniendo el suelo original de sedimento y, a modo de cubierta, se utilizaron piedras (a fin de simular un sepulcro megalítico) o listones de madera. A parte de estas diferencias constructivas, cada enterramiento tenía otras peculiaridades (Tabla 7; Figura 6): en 2 estructuras de tejas (04-17 y 09-13) se incluyeron 10 cm de sedimento en la base de la estructura antes de depositar los animales, en 6 enterramientos (10-21, 12-20, 13-19, 14-24, 15-25 y 16-23) se utilizó cal hidratada para cubrir los animales, y en otros 2 enterramientos (19-10 y 21-16) los animales se enterraron envueltos en tela de algodón y fueron atados con cuerdas de plástico.

Tabla 7 • Características de las estructuras funerarias reproducidas en Taphos-m.

TIPOLOGÍA	DIMENSIONES	TOTAL	ORIENTACIÓN	OTRAS CARACTERÍSTICAS
Fosa simple	Largo 180 cm Ancho 100 cm Profundidad 70 cm	10 (38%)	3 N-S 7 E-O	Revestimiento de teja en el lateral de 2 estructuras 2 enterramientos con cal
Estructura de tejas	Largo 180 cm Ancho 120 cm Profundidad 60 cm	12 (46%)	5 N-S 6 E-O 1 NE-SE	10 cm de sedimento en la base de 2 estructuras 4 enterramientos con cal 2 animales envueltos en tela de algodón y atados con cuerdas
Estructura de tejas a dos aguas (<i>tegulae</i>)	Largo 180 cm Ancho 120 cm Profundidad 60 cm	2 (8%)	1 E-O 1 NE-SO	No
Estructura de piedras	Largo 180 cm Ancho 120 cm Profundidad 60 cm	2 (8%)	1 N-S 1 NE-SO	No



Figura 6 • Características de algunos de los enterramientos reproducidos: (a) cerdo 12-20 cubierto por completo con cal; (b) cerdo 15-25 enterrado con un poco de cal; (c) base de 10 cm de sedimento en la estructura de tejas 04-17 y (d) cerdo 21-16 envuelto en tela de algodón y atado con cuerdas de plástico.

3.2.4. Enterramiento de los animales

Previos enterramientos, se crearon fichas *ante mortem* (*Anexo II*) donde se recogieron todos los datos biológicos de cada animal, la estación del año y los datos climatológicos del día del enterramiento, y la tipología de la estructura funeraria en la cual iba a ser enterrado (Tabla 8). Los cerdos seleccionados para el proyecto provenían de 3 granjas distintas, todas ellas cercanas a las instalaciones Taphos-m. Los códigos de las granjas colaboradoras fueron 106:BP, 106:DC y 106:DI de Sant Martí de Maldà. Los ejemplares aportados para el proyecto fueron seleccionados sin criterio específico y cumplían la normativa establecida por el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya para ser utilizados en el proyecto. El 92% de los cerdos eran procedentes de la ganadería intensiva industrial, mientras que 2 de los ejemplares pertenecían a la ganadería ecológica (04-17 y 24-14). Los animales procedentes de las granjas de ganadería intensiva industrial (24 del total) estaban medicados (medicación base obligatoria) contra la enfermedad de Aujeszky (herpesvirus) y, en caso de enfermedad, infección y/o lesión, se les suministraron antibióticos (Amoxicilina y/o Bencilpenicilina) y/o antiinflamatorios (Dexametasona). Entre los animales que recibieron medicación, 6 de ellos (01-01, 12-20, 13-19, 18-02, 20-04 y 26-11) fueron medicados durante los últimos 2-3 meses antes de morir. Los animales ecológicos, en cambio, no estaban medicados con el tratamiento base obligatorio ni se les suministró ningún tipo de medicamento en caso de

enfermedad. Los cerdos tenían entre 2 y 24 meses (entre 20 y 140 kg), siendo la mayoría de entre 6 y 7 meses (todos cerdos juveniles). La distribución por sexos fue de 17 machos (65%) y 9 hembras (35%). Las causas de muerte de los animales fueron diversas, pero todas ellas muerte natural. Para una gestión de datos más ágil, las causas de muerte se agruparon en las siguientes: enfermedad neurológica, insuficiencia cardiaca aguda, insuficiencia respiratoria aguda y shock séptico. En concreto, el 38% de los animales seleccionados para el proyecto murieron a consecuencia de un shock séptico producido por distintos tipos de infecciones, el 31% por enfermedades neurológicas, el 15% por insuficiencias cardíacas agudas y el 15% restante por insuficiencias respiratorias agudas.

Los enterramientos se realizaron entre noviembre de 2011 y marzo de 2012: 9 cerdos se enterraron en el otoño de 2011 (21 septiembre – 21 diciembre), 15 en el invierno de 2011 a 2012 (21 diciembre – 21 marzo) y solo 2 carcasas en la primavera de 2012 (21 marzo – 21 junio). Entre el fallecimiento del animal y el enterramiento nunca se superaron las 48h y, a diferencia de otros estudios tafonómicos con cerdos (p.ej. Bugajski et al., 2011; Christensen y Myers, 2011), en Taphos-m no se congelaron los animales previo enterramiento para no retardar el proceso natural de la descomposición. Siguiendo lo descrito en otros estudios experimentales (Schotsmans, 2013; Schotsmans et al., 2014b), todos los cerdos se enterraron en decúbito lateral izquierdo, con la pata anterior derecha por delante de la izquierda y la pata posterior derecha por detrás de la izquierda. En marzo de 2012 se realizó el último enterramiento y, desde ese momento hasta el inicio de la Fase II, se evitó cualquier tipo de interrupción y/o manipulación antrópica en las instalaciones.

3.3. Fase II: Apertura de las estructuras funerarias y estudio de las carcasas

3.3.1. Evolución de las instalaciones, protocolos de actuación y documentación

Desde 2015 a 2018 se realizaron un total de 12 visitas a Taphos-m en las cuales se valoró el **estado general** de las instalaciones y de las estructuras funerarias, con el objetivo de tener un informe histórico de la evolución de las mismas. Para ello, se realizó un registro fotográfico completo (cámara Canon IXUS 190) de las instalaciones y de las estructuras funerarias de manera individual y se recogieron, en una ficha creada para ello (*Anexo II*), los datos del volumen y localización de la vegetación y la presencia/ausencia de la depresión del terreno en las fosas simples.

Siguiendo los estándares metodológicos de Arqueología forense (Dupras et al., 2006), se crearon distintos **Protocolos de actuación** (*Anexo II*) para la excavación de las fosas simples y para

Material y Métodos

Tabla 8 • Resumen de los datos recogidos en las fichas *ante mortem*. Abreviaturas: IRA = insuficiencia respiratoria aguda; ICA = insuficiencia cardíaca aguda; EN = enfermedad neurológica; SS = shock séptico; Ext. = extremidad; I = izquierda.

CÓDIGO	SEXO	EDAD (mes)	PESO (Kg)	CAUSA DE MUERTE	LESIONES	ESTACIÓN	ESTRUCTURA FUNERARIA
01-01	♂	6	60	IRA	No	Otoño	Fosa simple
02-03	♀	5,5	100	ICA	Superficiales y cola	Otoño	Fosa simple
03-06	♂	6,5	80	IRA	No	Otoño	Tejas
04-17*	♂	18	70	EN	Cabeza y ext. posterior I.	Invierno	Tejas (sedimento base)
05-26	♂	6,5	100	SS	Cabeza y cola	Primavera	Piedras y cubierta de madera
06-08	♀	6,5	92,5	EN	Cabeza y ext. posterior I.	Otoño	Tejas
07-05	♂	4,5	77,5	ICA	Superficiales	Otoño	Fosa simple reforzada
08-12	♂	6,5	80	EN	Cabeza	Invierno	Tejas
09-13	♂	6,5	80	EN	Cabeza	Invierno	Tejas (sedimento base)
10-21	♂	4,5	50	ICA	Superficiales	Invierno	Tejas. Cal
11-07	♂	4,5	62,5	EN	No	Otoño	Fosa simple reforzada
12-20	♀	4	32,5	IRA	No	Invierno	Tejas. Cal
13-19	♂	4	32,5	IRA	No	Invierno	Fosa simple. Cal
14-24	♀	6	90	ICA	Superficiales	Invierno	Tejas. Cal
15-25	♀	6,5	97,5	SS	No	Primavera	Fosa simple. Cal
16-23	♀	6	100	SS	No	Invierno	Fosa simple. Cal
17-09	♂	6	55	EN	Cabeza y ext. posterior I.	Otoño	Tejas
18-02	♂	2	20	EN	No	Otoño	Fosa simple
19-10	♂	2,5	35	SS	No	Invierno	Tejas. Tela de algodón
20-04	♀	6	60	SS	No	Otoño	Fosa simple
21-16	♂	3,5	32,5	IRA	No	Invierno	Tejas. Tela de algodón
22-18	♀	4	50	IRA	No	Invierno	Fosa simple
23-15	♀	3	42,5	IRA	No	Invierno	<i>Tegulae</i>
24-14*	♂	24	140	EN	Cabeza	Invierno	Tejas
25-22	♂	6	95	SS	No	Invierno	Piedras
26-11	♂	8	85	IRA	Ext. posterior I.	Invierno	<i>Tegulae</i>

*animales ecológicos y no medicados.

la apertura de las distintas estructuras de espacio vacío. El orden de apertura de las estructuras funerarias fue establecido siguiendo el tiempo transcurrido desde la muerte y enterramiento de los animales y teniendo en cuenta las características de cada animal. Es decir, los cerdos de características biológicas similares enterrados en estructuras funerarias distintas, fueron intervenidos el mismo día para poder hacer comparaciones *in situ* de distintos enterramientos con intervalos post-enterramiento similares. Las excavaciones y aperturas de las estructuras funerarias se realizaron en un total de **13 días** (desde marzo 2015 a agosto 2018) y, en algunos casos, se contó con la participación de distintos miembros de las entidades colaboradoras del proyecto y de la Unitat Central d'Inspeccions Oculars, Divisió de Policia Científica. En cada intervención se abrieron entre 2 y 3 estructuras funerarias, dependiendo de la complejidad metodológica y de la dificultad para acceder a ellas. Se llevó a cabo un registro fotográfico y videográfico (cámara digital Canon IXUS 190) completo desde el inicio de cada actuación, registrando lo siguiente: las instalaciones en general; la estructura funeraria a intervenir; detalles como el estado de la cubierta, la vegetación y la presencia de animales; todo el proceso de la excavación o apertura; y los detalles de la carcasa del animal y de la recogida de muestras.

Durante la excavación de las fosas simples, se retiró el sedimento por capas (con pico y pala) y se cribó fuera de las instalaciones. El análisis del pH del sedimento de las fosas simples se realizó *in situ* utilizando tiras de pH (Labbox Labkem). Para la apertura de las estructuras funerarias de espacio vacío, se retiraron los materiales de la cubierta de forma manual o con maquinaria (retroexcavadora), evitando que cayeran fragmentos dentro de la estructura funeraria. En el caso de las estructuras tipo *tegulae*, se retiró el sedimento que las cubría, luego las tejas simples y después las tejas dispuestas a dos aguas. Cuando las carcasas estaban expuestas, se realizó el registro fotográfico y descriptivo necesario (ficha *post mortem*) y se tomaron las muestras que, posteriormente, serían analizadas en el laboratorio. La **ficha *post mortem*** (*Anexo II*) incluyó un resumen de los datos recogidos en la ficha *ante mortem*, un apartado para los datos relacionados con el proceso de excavación o apertura, otro para las características de la carcasa expuesta (descripción general, estado cadavérico, efectos tafonómicos, presencia/ausencia de fauna cadavérica y/u hongos y tipología y localización de lesiones *ante mortem* y/o *peri mortem* de las carcasas) y otro para los datos relacionados con el muestreo. Se solicitaron los datos climatológicos del día de la intervención y de los días anteriores (monitorización ambiental mediante la estación meteorológica) al Servei Meteorològic de Catalunya y también se anotaron en la ficha. La Tabla del *Anexo II* resume todos los datos recogidos en las fichas *post mortem*. En los casos en los cuales se requería la experiencia de expertos en otras disciplinas para el estudio de las muestras recuperadas, se solicitó formalmente y se rellenó el documento de la **Cadena de custodia** (*Anexo II*), diseñado

también expresamente para el proyecto Taphos-m. Una vez finalizada la recogida de las muestras, se exhumaron los restos cadavéricos y se depositaron en bolsas de plástico individuales para ser eliminados, siguiendo las indicaciones del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya.

3.3.2. Estado de las carcasas y efectos tafonómicos observados

El **estado cadavérico** de las carcasas se valoró utilizando la clasificación cualitativa de Nociarová (2016): (1) esqueletización total, (2) esqueletización con putrúlogo húmedo, (3) esqueletización con putrúlogo seco y desecación parcial, (4) momificación y (5) saponificación. Se consideró que las carcasas de los cerdos están formadas por 5 partes anatómicas (cabeza, extremidades anteriores, tórax, abdomen y extremidades posteriores). Por lo tanto, las carcasas estaban totalmente esqueletizadas, momificadas o saponificadas cuando 4 de esas 5 partes anatómicas estaban esqueletizadas, momificadas o saponificadas respectivamente. En caso contrario, se definieron los estados intermedios de esqueletización con putrúlogo húmedo o esqueletización con putrúlogo seco y desecación parcial. En las fosas simples también se registró el estado de conservación (clasificación cualitativa) según la Ley de Mueller (Gisbert-Calabuig, 2004): entre 2-4 años *post mortem* aparece una capa de hongos cubriendo el cuerpo, las partes blandas desaparecen a los 3-4 años *post mortem*, los cartílagos y los ligamentos a partir de los 5 años *post mortem*, la grasa entre los 5-10 años *post mortem*, los huesos empiezan a degradarse entre los 10-15 años *post mortem* y el hueso es más poroso a partir de los 50 años *post mortem*.

Los resultados del estado cadavérico de las carcasas se analizaron estadísticamente utilizando el **programa SPSS** versión 19.0. (IBM Corp.® 2010), considerando un nivel de significancia (valor de p) de 0,05. El estudio estadístico se basó en la afectación de los factores extrínsecos e intrínsecos en el estado cadavérico de las carcasas y se utilizó el modelo de **Regresión logística multinomial**. Para ello, la variable dependiente (“estado cadavérico”) se transformó en variable dicotómica nominal y las carcasas se diferenciaron entre (1) *esqueletizadas* y (2) *no esqueletizadas* (grupo que incluyó las carcasas esqueletizadas con presencia de putrúlogo húmedo, putrúlogo seco o desecación parcial y las carcasas momificadas). Las variables independientes (correspondientes a los factores extrínsecos e intrínsecos) también se transformaron en variables nominales: *estructura funeraria* (1: colmatada; 2: espacio vacío), *estación del año* (1: otoño; 2: invierno; 3: primavera) y *causa de muerte* (1: IRA; 2: ICA; 3: EN; 4:SS).

Los **efectos tafonómicos macroscópicos** a valorar se clasificaron en: (1) modificaciones en la distribución espacial ósea (Duday et al., 1990; Andrews y Fernández-Jalvo, 2012; Armentano et al., 2012a; Nociarová, 2016; Castex y Blaizot, 2017), (2) modificaciones en la superficie cortical del hueso (Andrews y Fernández-Jalvo, 2012; Armentano et al., 2012a; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016) y (3) fragmentación ósea (Andrews y Fernández-Jalvo, 2012; Armentano et al., 2012a). A continuación, se especifica la metodología llevada a cabo para la evaluación de cada uno de ellos.

(1) Modificaciones en la distribución espacial ósea. Para la descripción de la distribución espacial ósea de las carcacas, se utilizó el manual desarrollado por Nociarová (2016). Se recogieron los datos de los huesos que presentaban el patrón de articulación estricto (*AE*), laxo (*AL*), desarticulado (*DA*) o desplazado (*D*). Se valoraron los siguientes huesos y articulaciones (28 en cada carcaca): cráneo, vértebras cervicales, vértebras dorsales, vértebras lumbares, vértebras lumbares con sacro, sacro con coxales, sínfisis púbica, cola, escápulas con húmeros, húmeros con cúbitos y radios, cúbitos y radios con los autópodos anteriores, huesos que componen los autópodos anteriores, acetábulos con fémures, rodillas, tibias y peronés con los autópodos posteriores, huesos que componen los autópodos posteriores y costillas. En algunos casos, la valoración de la distribución espacial ósea no pudo realizarse porque los animales no tenían todas las epífisis de los huesos fusionadas. En estos casos, la distribución espacial ósea se consideró no observable (*NO*). Se analizó el patrón de la distribución espacial ósea más repetido en cada hueso y/o articulación y se contabilizó el tipo de patrón más repetido para definir el estado general de cada carcaca. Es decir, si una carcaca presentaba un mayor número de huesos y articulaciones de patrón desarticulado, la carcaca se consideró desarticulada; aunque, por ejemplo, presentase algunos huesos bien articulados. Finalmente, se infirieron los posibles agentes y procesos causantes de todas estas modificaciones.

(2) Modificaciones en la superficie cortical de los huesos. Se recogieron los datos de presencia/ausencia de los siguientes efectos tafonómicos observables en la superficie cortical de los huesos: fisuras, grietas, erosión, descamación, exfoliación, hongos y/o vegetación, marcas de fauna, manchas y cambios de coloración. La coloración de los huesos se diferenció *in situ* como oscura (negro, marrón oscuro) o clara (beige, marrón claro). Una vez realizadas las observaciones generales de cada carcaca, se recogieron las escápulas y se depositaron en bolsas de plástico debidamente codificadas para trasladarlas al laboratorio de la Unitat d'Antropologia de la UAB (periodo no superior a 24 horas) y realizar allí el estudio detallado de las modificaciones de la superficie cortical de esos huesos. Al tratarse de un hueso plano, la escápula tiene mayor superficie para que sucedan diferentes procesos tafonómicos. Además, por la posición lateralizada de los

animales en las estructuras funerarias, se podrían observar diferencias entre ambas escápulas por el hecho de estar una en exposición y otra en contacto directo con la base de la estructura.

En el laboratorio se repitió la valoración de la coloración de las escápulas siguiendo los mismos criterios utilizados en la valoración *in situ* y se valoró si el color era homogéneo en ambas caras del hueso o no. Para una valoración más detallada, se utilizó la escala de color Munsell Soil Color Charts (1994), útil en Arqueología para describir el color de los sedimentos (Tibbett y Carter, 2008) y cada vez más empleada para la descripción del color de los huesos en los estudios tafonómicos (Huculak y Rogers, 2009; Jagers y Rogers, 2009). La determinación de colores según la escala Munsell consiste en dos sistemas complementarios: la notación Munsell y el nombre del color. La notación Munsell consiste en los valores de las notaciones *Hue*, *Value* y *Chroma*. La notación *Hue* indica la relación del color (de 0-color más cercano al rojo, a 10-color más cercano al amarillo) con dos de los colores del arcoíris (R-rojo; YR-amarillo rojo; Y-amarillo), la notación *Value* indica el tono del color (de 0-negro a 10-blanco) y la notación *Chroma* la desviación del color frente al color neutro del mismo tono (de 0-color neutro a 20-color absoluto). Los nombres de los colores están relacionados con las notaciones Munsell. Por ejemplo, la notación Munsell del color *pale brown* es 10YR 6/3 (Hue: 10YR; Value: 6; Chroma 3). Por otro lado, se repitió el registro de la presencia/ausencia de los efectos tafonómicos descritos anteriormente y se añadieron otros utilizados por Fernández-Jalvo y Andrews (2016): marcas lineales, puntos y perforaciones. La valoración de los efectos tafonómicos se realizó antes y después de la limpieza, estando los huesos completamente secos. El grado de meteorización de las escápulas se valoró siguiendo los estadios (0-5) descritos por Behrensmeyer (1978). Una vez descritos todos los efectos tafonómicos observados en la superficie cortical de los huesos, y en especial de las escápulas, se infirió en los posibles agentes y procesos que los pudieron ocasionar.

(3) Fragmentación ósea. Por lo general, la fragmentación (quebrantamiento o “fracturas *post mortem*”) se caracteriza por tener una coloración distinta al hueso, márgenes delimitados y fáciles de reconstruir; aunque en función del proceso tafonómico sufrido, los fragmentos pueden ser irreconocibles (Armentano et al., 2012a; Armentano et al., 2014). Se describieron los huesos fragmentados de cada carcasa y se infirió en los posibles agentes y procesos responsables.

3.3.3. Estudio de los enterramientos con cal: 10-21, 12-20, 13-19, 14-24, 15-25 y 16-23

Para estudiar la influencia de la cal en el estado cadavérico de las carcasas, de manera aleatoria, se eligieron 6 estructuras funerarias (Tabla 9). La mitad de los animales se cubrieron por completo con cal y para cubrir la otra mitad de los animales se utilizó menos cantidad

de cal (Figura 6a-b). Los experimentos de Schotsmans y colaboradores (2012) demostraron que la cal viva y la cal hidratada tienen el mismo efecto sobre los cuerpos. De modo que en los enterramientos de Taphos-m, se utilizó cal hidratada (Ca(OH)₂) marca *pachs*[®]; también por cuestiones de accesibilidad, ya que fue proporcionada por una de las granjas que aportó animales al proyecto.

Tabla 9 • Características específicas de los enterramientos con cal de Taphos-m. Abreviaturas: ICA = insuficiencia cardiaca aguda; IRA = insuficiencia respiratoria aguda; SS = shock séptico.

CÓDIGO	SEXO	EDAD (MESES)	CAUSA DE MUERTE	ESTRUCTURA FUNERARIA	CUBIERTO POR COMPLETO
10-21	♂	4,5	ICA	Tejas	Sí
12-20	♀	4	IRA*	Tejas	Sí
13-19	♂	4	IRA*	Fosa simple	Sí
14-24	♀	6	ICA	Tejas	No
15-25	♀	6,5	SS	Fosa simple	No
16-23	♀	6	SS	Fosa simple	No

* Suministro de medicamentos los últimos meses antes de morir.

El estudio de los restos cadavéricos enterrados con cal se basó en: (1) la valoración cualitativa y cuantitativa del estado de las carcasas en el momento de la exposición de las mismas; (2) la observación de la presencia/ausencia de la costra de cal (*lime cast*) que se crea en las primeras fases de la descomposición; (3) el análisis de pH del sedimento con cal (con tiras de la marca Labbox Labkem); (4) el estudio de los efectos tafonómicos; y (5) el estudio de los hongos asociados a los enterramientos 10-21, 12-20, 13-19 y 15-25. La evaluación cualitativa del estado de las carcasas se realizó utilizando las clasificaciones cualitativas de Nociarová (2016) y Mueller (Gisbert-Calabuig, 2004) y la evaluación cuantitativa del estado de las carcasas mediante el **Bradford score**, el cual indica el cambio degenerativo total de las carcasas (Schotsmans et al., 2012). Para ello, en las fichas *post mortem* de estos enterramientos se adjuntó la plantilla de valoración del Bradford score (*Anexo II*).

3.3.4. Estudio de los enterramientos de animales envueltos en tela de algodón: 19-10 y 21-16

Para analizar el efecto del envoltorio de tela en el estado cadavérico de las carcasas, en 2 enterramientos aleatorios (19-10 y 21-16) los animales se enterraron envueltos en tela de algodón y atados con cuerdas de plástico (Tabla 8; Figura 6d). El estudio de estos enterramientos incluyó: (1) la valoración cualitativa del estado cadavérico de las carcasas según Nociarová

(2016) y Mueller (Gibert-Calabuig, 2004); (2) el registro de las zonas con presencia/ausencia de la tela y de las cuerdas; (3) el estudio de los efectos tafonómicos observados; y (4) el estudio de la fauna cadavérica y de los hongos asociados al enterramiento 19-10.

3.4. Fase III -a: Estudio de la fauna cadavérica asociada a los enterramientos

3.4.1. Muestreo de la fauna cadavérica

Siguiendo el plan de excavaciones establecido y teniendo en cuenta el intervalo post-enterramiento de Taphos-m, se estudió la fauna cadavérica asociada a las primeras 4 estructuras funerarias intervenidas (05-26, 06-08, 18-02 y 19-10). En este **estudio piloto** se contó con la colaboración de la Dra. Marta Saloña, experta entomóloga de la Euskal Herriko Unibertsitatea/ Universidad del País Vasco. En el “*Protocolo de actuación para la recogida, registro y conservación de muestras entomológicas en el proyecto experimental Taphos-m*” (Anexo II), basado en los protocolos de trabajo en Entomología forense utilizados en el país (Arnaldos et al., 2001b; Gil et al., 2014), se detallaron los materiales de muestreo necesarios, el tipo de etiquetado a realizar y, adaptado al tipo de muestra, se describieron los métodos de recogida, conservación y traslado al laboratorio para su posterior identificación morfológica. Solo se recolectaron las muestras entomológicas visibles (adultos, puparios, mudas, ejemplares vivos y muertos) y de fácil acceso (tanto de las carcassas como de las estructuras funerarias), sin dañar ni alterar los restos cadavéricos. El muestreo de la fauna cadavérica se realizó en varias campañas entre 2015 y 2016 y varió en función de la tipología constructiva de la estructura funeraria. Así, en el caso de la fosa simple 18-02, se cribó el sedimento extraído durante la excavación. La criba se realizó fuera de las instalaciones y se recuperaron las evidencias entomológicas presentes. En las estructuras de espacio vacío (05-26, 06-08 y 19-10), para recoger las muestras entomológicas voladoras se utilizó una manga entomológica (Byrd y Castner, 2010; Altarriba y Saloña, 2019). Una vez abiertas las estructuras funerarias, se procedió a la recogida de los insectos visibles sobre las carcassas y en los orificios naturales de los animales (lugares donde los insectos tienden a concentrarse). Las muestras no voladoras e inmaduras observadas sobre las carcassas de los cerdos y en los márgenes y bases de las estructuras funerarias se recogieron con unas pinzas de plástico. Se llevó a cabo un registro con la relación de muestras entomológicas tomadas, especificando el tipo de muestra (adulto, larva, huevo, vivo o muerto) y su ubicación dentro de la estructura funeraria y sobre la carcassa. Este registro también se llevó a cabo en el resto de las intervenciones de Taphos-m, aunque no se recolectaron ni estudiaron los ejemplares en el laboratorio. La conservación de las muestras recolectadas se realizó teniendo en cuenta las indicaciones de la Tabla 10 y todas se trasladaron al laboratorio de la Unitat d'Antropologia Biològica de la UAB. En total se recolectaron 36 muestras: 8 muestras del enterramiento 05-26,

12 muestras del enterramiento 06-08, 6 muestras del enterramiento 18-02 y 10 muestras del enterramiento 19-10.

Tabla 10 • Conservación de las muestras entomológicas.

INSECTOS	CONSERVACIÓN
Adultos voladores	Congelación a -20°C (30') + tubo de plástico con etanol de 70°
Adultos no voladores	Tubo de plástico con etanol de 70°
Larvas	<p><i>Campo:</i> tubo de plástico con acceso de oxígeno.</p> <p><i>Laboratorio:</i> larvas de dípteros – hervir (3') + tubo de plástico con etanol de 80°. larvas de coleópteros – tubo de plástico con etanol de 70°.</p>
Huevos	Tubo de plástico con etanol de 70°

3.4.2. Procedimiento en el laboratorio

Para el estudio e identificación morfológica de las muestras entomológicas recogidas de las estructuras funerarias y de las carcacas de Taphos-m, se utilizaron distintos manuales y claves dicotómicas (Perrier, 1968; Smith, 1986; Stehr, 2005). Los ejemplares adultos se depositaron en placas Petri con etanol de 70°, se visualizaron bajo una lupa de aumento (Olympus SZ2) y se describieron morfológicamente. Los ejemplares inmaduros se depositaron en tubos Falcon cubiertos con una tela porosa y se dejaron madurar a temperatura de laboratorio (25°C) durante 32 días. Una vez maduros, se visualizaron y describieron morfológicamente, pero, en este caso, sobre una placa Petri en seco. Se describieron las características morfológicas de cada insecto recolectado, se identificaron hasta el nivel de familia y se fotografiaron con una cámara digital (Olympus C-5060). Una vez finalizado el estudio, los ejemplares estudiados fueron eliminados.

3.5. Fase III -b: Estudio de los hongos asociados a los enterramientos

3.5.1. Estrategias de muestreo y procedimiento en el laboratorio

Teniendo en cuenta que no existe un procedimiento estandarizado sobre cómo muestrear los hongos sobre los cadáveres, se diseñó el “Protocolo de actuación para la recogida, registro y conservación de muestras micológicas en el proyecto experimental Taphos-m” (Anexo II). Se seleccionaron un total de 13 carcacas para el estudio de los hongos asociados a los enterramientos de Taphos-m y se pusieron en práctica 4 estrategias de muestreo distintas (Gutiérrez et al., 2021 - Anexo III). Se llevó a cabo un registro de las muestras micológicas tomadas y la técnica empleada para ello. Para el crecimiento de las colonias se utilizaron tres medios de cultivo (LIOFILCHEM, Italia): Malt Extract Agar (MEA), Rosa Bengala Agar (RBA) y Brain Heart Infusion (BHI). Los

dos primeros contienen los nutrientes necesarios y esenciales (peptona) para el crecimiento de hongos y levaduras, y el medio RBA contiene también agentes antibacterianos (cloranfenicol y Rosa de Bengala). El medio de cultivo BHI, en cambio, está compuesto por materia orgánica de origen animal (Tabla 11). En este estudio se contó con la colaboración del Dr. Josep Girbal y la Dra. Laia Guàrdia, expertos micólogos de la Universitat Autònoma de Barcelona.

**Estrategia 1 (2015):
muestreo *in situ* mediante el raspado con espátula**

Las colonias fúngicas visibles sobre el tejido desecado de la carcasa 06-08 fueron muestreadas mediante el raspado con una espátula previamente desinfectada, se depositaron en un tubo Falcon correctamente etiquetado y se trasladaron al laboratorio de Micología de la Unitat de Botànica de la UAB (tiempo estimado <24h).

**Estrategia 2 (2016):
recogida, muestreo mediante el raspado con espátula y cultivo en el laboratorio**

Los restos óseos de la carcasa 18-02 y el tejido desecado de la carcasa 19-10 fueron trasladados (en bolsas de plástico y tubos Falcon correctamente etiquetados) al laboratorio de Micología (tiempo estimado <24h) y, allí, se obtuvieron las muestras fúngicas visibles mediante el raspado del material con una espátula previamente desinfectada. Las muestras se sembraron en 28 medios de cultivo (MEA y RBA) y se mantuvieron a temperatura de laboratorio (22-24°C).

**Estrategia 3 (2017):
muestreo *in situ* con hisopos estériles y placas de contacto RODAC y cultivo en el laboratorio**

Para el muestreo de las carcasas 02-03, 03-06, 10-21, 12-20, 13-19, 15-25 y 24-14 se desarrolló una estrategia de muestreo más sistemática: en cada carcasa se muestrearon mínimo tres zonas – cabeza, tórax y extremidades posteriores – utilizando hisopos estériles y placas de contacto RODAC con los medios de cultivo MEA y RBA. El muestreo se realizó fuera o no la colonia visible en el substrato (hueso o tejido desecado) y se efectuó siguiendo siempre el mismo orden, para evitar la contaminación del antibiótico del medio de cultivo RBA al medio de cultivo MEA: (1) hisopo estéril, (2) placa de contacto RODAC con medio de cultivo MEA y (3) placa de contacto RODAC con medio de cultivo RBA. En los enterramientos con cal (10-21, 12-20, 13-19 y 15-25) también se muestrearon las costras de cal con hisopos estériles. Todas las muestras correctamente etiquetadas se conservaron en un contenedor refrigerado a 5°C hasta el traslado al laboratorio de Micología (tiempo estimado <48h). Una vez en el laboratorio, las muestras obtenidas con hisopos estériles se sembraron en medios de cultivo MEA y RBA. Las

muestras obtenidas con las placas de contacto RODAC ya disponían de esos medios de cultivo desde el momento del muestreo. Todos los medios de cultivo (70 en total) se mantuvieron a temperatura de laboratorio (22-24°C).

**Estrategia 4 (2018):
muestreo *in situ* con placas de contacto RODAC y cultivo en el laboratorio**

Las carcasas 07-05, 20-04 y 26-11 se muestrearon solo con placas de contacto RODAC con los medios de cultivo MEA, RBA y BHI. Las zonas de muestreo y los substratos fueron los mismos que en 2017 y el orden del procedimiento fue el siguiente: (1) placa de contacto RODAC con medio de cultivo BHI, (2) placa de contacto RODAC con medio de cultivo MEA, (3) placa de contacto RODAC con medio de cultivo MEA y (4) placa de contacto RODAC con medio de cultivo RBA. El muestreo con las placas de contacto RODAC con medio de cultivo MEA fue doble para poder estudiar el crecimiento de las colonias a distintas temperaturas (22-24°C vs. 35°C). Todas las muestras recogidas estaban correctamente etiquetadas y se trasladaron al laboratorio de Micología en una cámara frigorífica a 5°C (tiempo estimado <48h). Las 36 placas de contacto (con sus respectivos medios de cultivo) se incubaron a distintas temperaturas: 27 medios de cultivo se mantuvieron a temperatura de laboratorio (22-24°C) y 9 medios de cultivo (réplicas de las placas de contacto RODAC con medio de cultivo MEA) se incubaron en cámara de cultivo a 35°C.

Tabla 11 • Composición de los medios de cultivo utilizados en el laboratorio.

MALT EXTRACT AGAR (MEA)		ROSA BENGALA AGAR (RBA)		BRAIN HEART INFUSION AGAR (BHI)	
		Cloranfenicol	0,1g	Infusión de cerebro y corazón	8g
Maltosa	12,75g	Dextrosa	10g	Digerido péptido de tejido animal	5g
Dextrosa	2,75g	Fosfato monopotásico	1g	Digerido pancreático de caseína	16g
Glicerol	2,35g	Peptona de soja	5g	Cloruro sódico	5g
Peptona	0,78g	Rosa de Bengala	0,05g	Glucosa	2g
Agar agar	15g	Sulfato de magnesio	0,5g	Fosfato disódico de hidrógeno	2,5g
		Agar agar	15,5g	Agar agar	13,5g

Con todas las muestras obtenidas mediante las distintas estrategias se crearon un total de **134 medios de cultivo**. La observación del crecimiento de las colonias en los medios de cultivo se realizó a diario durante tres semanas. Se recogieron datos sobre el crecimiento de las colonias (diámetro, color y aspecto macroscópico) y se llevó a cabo un registro fotográfico completo. A medida que avanzaba el crecimiento de las colonias en los medios de cultivo

originales (MEA, RBA o BHI), se realizaron siembras en nuevos medios de cultivo MEA, para obtener colonias puras y poder proceder a la identificación. En algunos casos, el crecimiento de las colonias fue muy rápido y masivo y los medios de cultivo se tuvieron que introducir en una cámara frigorífica a 5°C para frenar el crecimiento de las colonias y no perderlas antes de la identificación. Para la identificación microscópica de las colonias, se depositaron muestras de las colonias de los cultivos puros sobre un portaobjetos con *Tween*, se cubrieron con un cubre y se analizaron bajo un microscopio óptico (ZEISS Axio Scope.A1). Se utilizaron distintos manuales y clave dicotómicas (Gravesen et al., 1994; De Hoog et al., 2000; Samson et al., 2004; Domsch et al., 2007; O'Hanlon, 2018) y se contó con la ayuda y asesoramiento de los expertos para describir morfológicamente las colonias e identificarlas hasta la categoría de género. Las colonias de los géneros de *Acremonium*, *Fusarium*, *Geotrichum* y *Crhysonilia*, no se pudieron diferenciar entre sí ya que son grupos morfológicamente muy similares. Por ello, en este estudio dichas colonias se identificaron como pertenecientes a los grupos de *Acremonium-Fusarium* o de *Geotrichum-Crhysonilia*. Las colonias de hongos identificadas se fotografiaron utilizando una cámara (Jenoptik ProgRes C3 Captur) integrada en un microscopio óptico (Leitz DMRB). Los cultivos de las colonias analizadas se destruyeron una vez finalizado el estudio en el laboratorio.

3.5.2. Muestras control

Se recogieron un total de 6 muestras control: 1 muestra de sedimento de alrededor de las instalaciones recogida con espátula y depositada en una bolsa de plástico, 3 muestras del sedimento (sin contacto con los restos cadavéricos) de las paredes laterales de las fosas simples 02-03, 13-19 y 15-25 muestreadas con hisopos estériles, y 2 muestras de sedimento de la base de las fosas simples 07-05 y 20-04 recogidas con una pala y depositadas en bolsas de plástico. Todas las muestras fueron correctamente etiquetadas y trasladadas al mismo laboratorio que las muestras experimentales. En el laboratorio, las muestras de sedimento fueron diluidas en distintas cantidades de agua estéril (1:10, 1:100 y 3:100) y sembradas en medios de cultivo MEA y RBA. En cambio, las muestras control recogidas con hisopos estériles fueron sembradas en medios de cultivo MEA y RBA. Los **16 medios de cultivo control** se mantuvieron a temperatura de laboratorio (22-24°C) y el procedimiento llevado a cabo para la identificación de las colonias fue el mismo utilizado para las muestras experimentales.

CAPÍTULO IV



Resultados y Discusión

“The death of the organism is the beginning of a creative process of biological and physical transformation”

Behrensmeyer 1984



4.1. Evolución del estado de las instalaciones

Desde el fin de los enterramientos en 2012 (Fase I) hasta el día de la última intervención en 2018 (Fase II), se realizaron una serie de visitas a las instalaciones Taphos-m para recoger datos y registrar fotográficamente el estado de las instalaciones y de las estructuras funerarias. Durante esos años, se observaron modificaciones en el recinto de las instalaciones y en el estado exterior de las estructuras funerarias (Figura 7) como consecuencia de distintos factores que se describen a continuación: cambios climáticos, crecimiento de la vegetación, depresiones del sedimento y desprendimiento del montículo adyacente a las instalaciones. Todos estos imprevistos que afectaron a los enterramientos pudieron suponer un cambio drástico en las condiciones de los mismos y de los restos cadavéricos y, en consecuencia, en las interpretaciones que se hacen a *posteriori*.

4.1.1. Climatología de Taphos-m

La Tabla 12 resume las **variables climatológicas**¹ anuales (desde los enterramientos en 2011 hasta finalizar las excavaciones en 2018) de la estación meteorológica más próxima a las instalaciones Taphos-m. Los datos meteorológicos de los meses que duró la fase de los enterramientos (desde otoño de 2011 a primavera de 2012) indicaron que fue una época fría (6,98°C de media), con muy pocas precipitaciones (0,86 mm de media), humedad relativa media del 76,45%, irradiación solar global media de 9,45 MJ/m² y viento suave (3,93 m/s). Durante los años de enterramiento, las temperaturas (TM), la humedad relativa (HRM) y la irradiación solar global (RS24h) fueron bastante constantes, siendo el 2015 (inicio de las exhumaciones) el año más lluvioso (PPT) y con rachas de viento (VVM2) muy superiores a la media. Estos cambios climatológicos no solo pudieron afectar a la descomposición de los cuerpos (*capítulo 4.3.*), sino que también pueden modificar el estado inicial del lugar del depósito (Ferreira y Cunha, 2013;

¹ Datos proporcionados por el Servei Meteorològic de Catalunya (<https://www.meteo.cat>).

CAPÍTULO IV

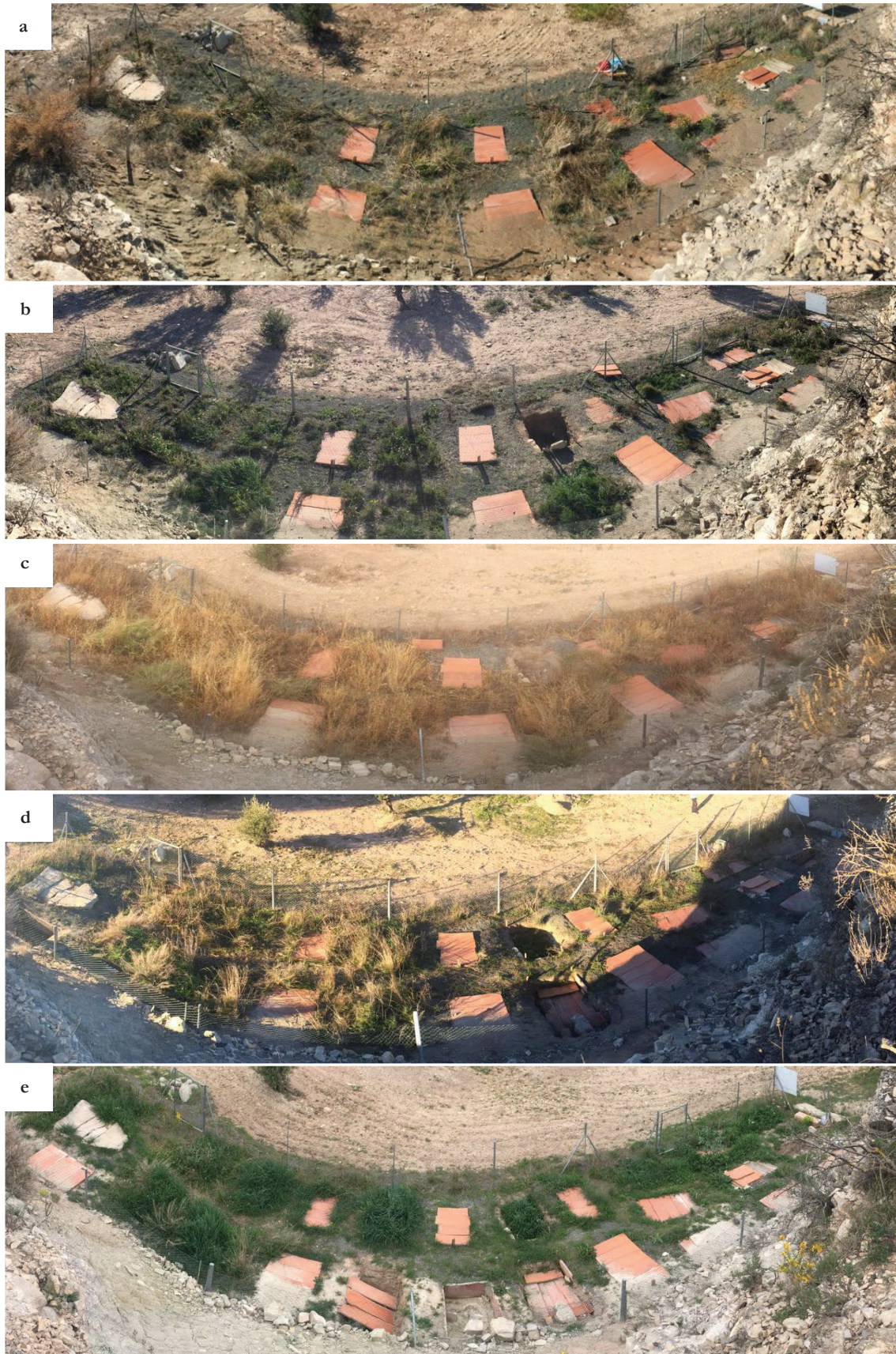


Figura 7 • Evolución y estado de las instalaciones Taphos-m con el paso del tiempo (fotografías panorámicas): (a) noviembre de 2015, (b) marzo de 2016, (c) julio de 2016, (d) enero de 2017 y (e) marzo de 2017.

Junkins y Carter, 2017). De hecho, las fluctuaciones de la temperatura y las lluvias registradas a lo largo de los años, deterioraron las cubiertas de las estructuras funerarias (*capítulo 4.2.2.*). De modo que también de manera indirecta las variables climatológicas influyeron en el estado de las carcasas en el momento de la intervención.

Tabla 12 • Valores medios de las variables climatológicas por años¹.

AÑO	TM (°C)	PPT (mm)	HRM (%)	RS24h (MJ/m ²)	VVM2 (m/s)
2011	14,46	0,95	66,66	16,54	1,90
2012	14,11	0,87	62,23	17,02	1,94
2013	13,35	1,06	66,10	16,64	2,03
2014	14,45	1,26	67,66	16,10	1,95
2015	14,26	2,14	59,72	15,46	18,01
2016	14,02	0,96	66,78	16,70	1,88
2017	14,34	0,85	66,15	17,17	1,90
2018	14,34	1,27	70,96	16,00	1,90

4.1.2. Crecimiento de la vegetación

Uno de los cambios más llamativos observado en las instalaciones Taphos-m fue el **crecimiento de la vegetación** entre las distintas estructuras funerarias, en el sedimento que cubría las fosas simples y las estructuras tipo *tegulae*, y en los límites de las cubiertas de las estructuras de tejas y de pierdas (Figura 8). Las especies de flora identificadas correspondieron a cardos, hierba y flora típica de zonas de la agricultura de secano como son *Calendula*, *Diploaxis*, *Pisum* y *Euphorbia* (Gutiérrez, 2015). En primavera y verano, el crecimiento masivo de la vegetación dificultó el acceso a las instalaciones y, aunque los límites de las estructuras funerarias estaban señalizados, resultó difícil diferenciarlas entre la maleza. Por ello, la localización de las estructuras funerarias se realizó mediante la búsqueda visual a pie en línea, técnica utilizada en Arqueología y en investigaciones forenses para la localización de enterramientos o cuerpos en superficie (Dupras et al., 2006). En alguna ocasión incluso se tuvo que retirar la vegetación de los pasillos para poder acceder a las estructuras funerarias.

Respecto a las estructuras funerarias con sedimento, en las fosas simples el animal se enterró en contacto directo con el sedimento y la vegetación creció en abundancia cubriendo la superficie por completo, tal y como se observó en otros estudios experimentales (Rodríguez y Bass, 1985; Rogers, 2010). En cambio, en las fosas simples con cal y en las estructuras tipo *tegulae*, en las cuales los animales estaban protegidos por una capa de cal o por las tejas dispuestas a dos

aguas, el crecimiento de la vegetación fue menor (Figura 9). Aunque cabe destacar que la cara interna de las tejas de la estructura tipo *tegulae* 26-11 estaba cubierta completamente por raíces. El aporte nutricional producido por un cuerpo enterrado en contacto directo con el sedimento (fosas simples) promueve un mayor crecimiento de la vegetación; pero, si entre el cuerpo y el sedimento hay una barrera (en este caso cal o tejas), el aporte nutricional disminuye y, por lo tanto, también el crecimiento de la vegetación (Dupras et al., 2006; Tibbet y Carter, 2008).

En Taphos-m, la evolución y el crecimiento de la vegetación se observó durante años. Uno de los primeros trabajos experimentales sobre enterramientos de cadáveres manifestó que el crecimiento de la vegetación en el lugar del depósito de un cuerpo permanece años (Rodríguez y Bass, 1985). Los resultados del crecimiento de la vegetación en las instalaciones Taphos-m contribuyen al conocimiento sobre el estado cambiante del lugar del depósito a lo largo de los años, ofreciendo información útil, por ejemplo, para la localización de las fosas clandestinas.

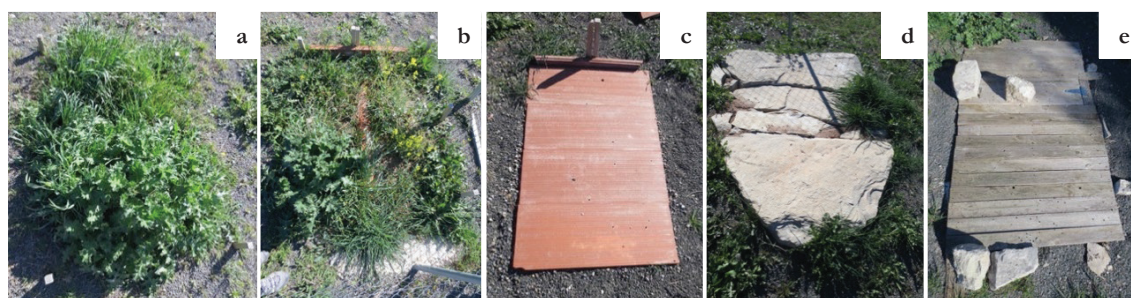


Figura 8 • Crecimiento de la vegetación en las estructuras funerarias de Taphos-m (fotografías tomadas en marzo de 2015): (a) fosa simple 22-18, (b) estructura de tejas a dos aguas o *tegulae* 23-15, (c) estructura de tejas 19-10, (d) estructura de piedras 25-22 y (e) estructura de piedras con cubierta de madera 05-26. El intervalo de tiempo desde la fecha del enterramiento hasta la toma de las fotografías fue de 3 años en cada caso.

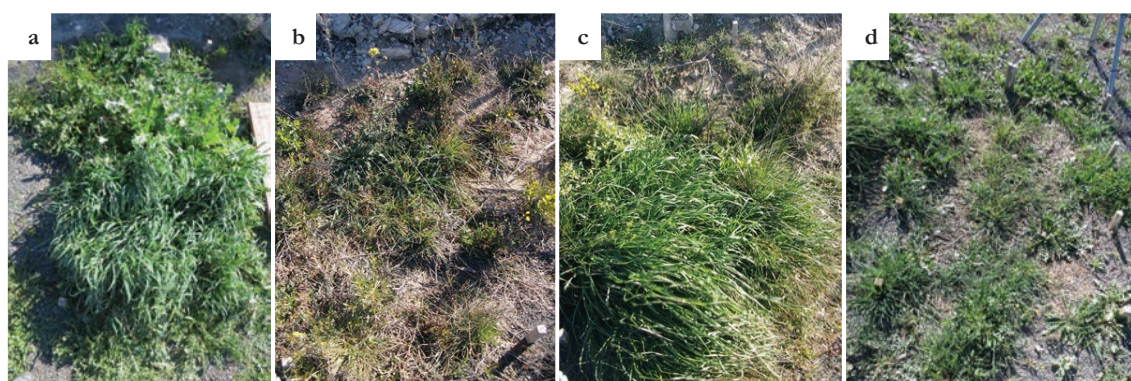


Figura 9 • Crecimiento de la vegetación en las estructuras funerarias con sedimento (fotografías tomadas en marzo de 2015): (a) fosa simple 11-07, (b) fosa simple con cal 13-19, (c) fosa simple con poca cantidad de cal 15-25 y (d) estructura tipo *tegulae* 26-11. El intervalo de tiempo desde la fecha del enterramiento hasta la toma de las fotografías fue de 3 años en cada caso.

4.1.3. Depresiones del sedimento de las fosas simples

En todas las fosas simples de Taphos-m se observaron las habituales **depresiones primarias** del terreno por la compactación del mismo a medida que el sedimento relleno se asienta. Además, en las fosas 07-05, 11-07, 13-19, 15-25, 16-23 y 20-04 se observó otro tipo de depresión, una **depresión secundaria** de forma circular y de hasta 20 cm de profundidad en el centro de fosas (Figura 10), causada por la compresión de la tierra alrededor del cuerpo tras la fase enfisematosa de la descomposición. Estas depresiones del sedimento afectan y modifican la isla de descomposición cadavérica, ya que las depresiones profundas eliminan la barrera de sedimento que protege los cuerpos de los cambios meteorológicos, se permite el intercambio de gases (Dupras et al., 2006; Forbes et al., 2016) y es posible el acceso de los animales al interior de la fosa, alterando el estado de los restos cadavéricos. Aunque se considera que con el tiempo estas depresiones se vuelven más sutiles (Haglund y Sorg, 2002), en Taphos-m no fue así, ya que incluso a los 6 años post-enterramiento las depresiones del terreno fueron visibles. El hecho de que las depresiones del terreno se mantengan durante años también ayuda a la identificación y localización de enterramientos clandestinos.

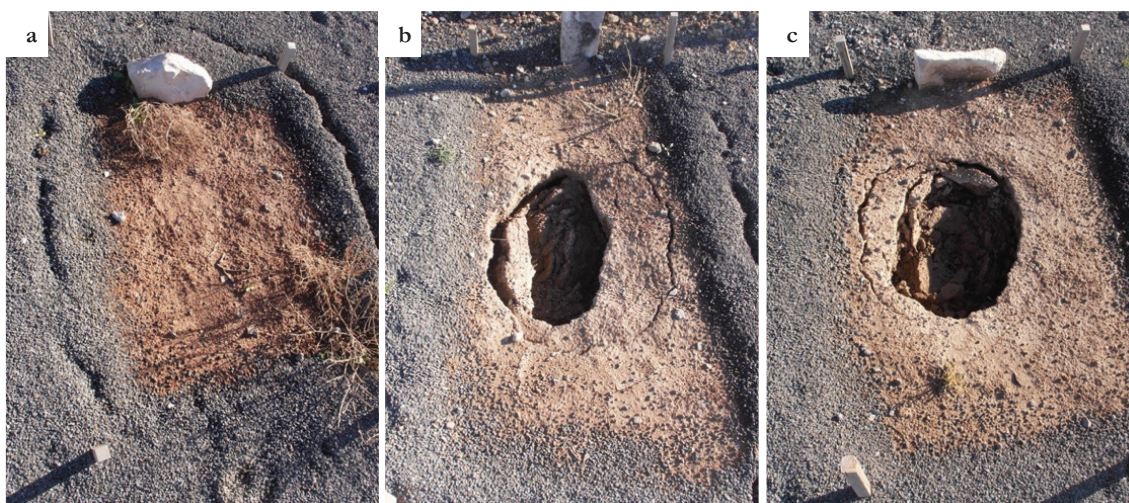


Figura 10 • Depresión del sedimento en las fosas simples (fotografías tomadas en noviembre de 2012): (a) fosa simple 22-18 con depresión primaria, (b) fosa simple con cal 15-25 con depresiones primaria y secundaria y (c) fosa simple 20-04 con depresión secundaria. Los intervalos de tiempo desde la fecha de los enterramientos hasta la toma de las fotografías fue de 9, 8 y 12 meses respectivamente.

4.1.4. Desprendimiento del montículo adyacente a las instalaciones

Las estructuras funerarias 03-06, 06-08, 09-13, 10-21, 11-07, 12-20, 13-19, 14-24, 15-25, 16-23 y 24-14 fueron las más afectadas por el paso del tiempo, ya que el **desprendimiento paulatino del montículo** (observado desde noviembre de 2015) las cubrió casi por completo con sedimento y piedras (Figura 7). Por ello, previa apertura de las cubiertas de las estructuras de tejas 03-06, 09-13, 12-20, 14-24 y 24-14 fue necesario retirar una capa de hasta 14 cm

de sedimento (Figura 11a). En la zona central de las instalaciones, el desprendimiento del montículo colapsó y dobló la valla metálica, dificultando más aún el acceso a las estructuras funerarias de esa zona. De hecho, en 2016 se observó una piedra de grandes dimensiones sobre la estructura de tejas 12-20 (Figura 11b) fragmentando algunas de las tejas de la cubierta que tuvieron que ser reemplazadas para conservar la integridad de la estructura y no dañar los restos cadavéricos enterrados. Sin embargo, varios fragmentos de teja cayeron al interior de la estructura y cubrieron las extremidades posteriores del animal. Estos fragmentos no se retiraron hasta el momento de la apertura oficial de la estructura en 2017 para evitar manipular el enterramiento. Además, como se describe más adelante (*capítulo 4.2.2.*), en el interior de las estructuras 03-06, 05-26, 09-13, 10-21, 12-20, 14-24, 17-09, 23-15, 24-14 y 25-22 se observó sedimento procedente del montículo cubriendo ciertas partes anatómicas de las carcasas (Figuras 11c-d). Por lo tanto, las estructuras de tejas, de piedras y tipo *tegulae* no fueron tan herméticas como se esperaba.



Figura 11 • Consecuencias del desprendimiento del montículo: (a) capa de hasta 14 cm de sedimento (detalle) sobre la cubierta de la estructura de tejas 03-06, (b) piedras sobre la cubierta de la estructura 12-20, (c) colmatación secundaria de las partes anatómicas posteriores de la carcasa 17-09 y (d) colmatación secundaria prácticamente total de la carcasa 09-13.

4.2. Excavación y apertura de las estructuras funerarias

4.2.1. Intervalos post-enterramiento

Las aperturas y excavaciones de las 26 estructuras funerarias (Fase II) se realizaron en un total de 13 días entre 2015 y 2018, cumpliendo con un **intervalo de 3 a 6 años** (Tabla 13). A pesar de que el tiempo transcurrido entre la muerte de los cerdos y los enterramientos nunca superó las 48 horas, todos los resultados se presentan y discuten teniendo en cuenta los intervalos post-enterramiento porque el interés del proyecto es entender las modificaciones de las carcasas desde el momento del enterramiento de los animales.

Tabla 13 • Tiempo transcurrido entre los enterramientos y las aperturas de las estructuras funerarias de Taphos-m.

TIEMPO TRANSCURRIDO	FOSAS SIMPLES	ESTRUCTURAS DE TEJAS	ESTRUCTURAS DE PIEDRAS	TEGULAE
3 años	-	06-08	05-26	-
4 años	02-03 / 11-07 13-19 / 18-02	03-06 / 10-21 / 12-20 17-09 / 19-10 / 24-14	-	-
5 años	15-25 / 16-23 / 22-18	04-17 / 14-24 / 21-16	-	-
6 años	01-01 / 07-05 / 20-04	08-12 / 09-13	25-22	23-15 / 26-11

4.2.2. Proceso de excavación y apertura de las estructuras funerarias

En cada intervención llevada a cabo se siguieron las indicaciones de los Protocolos de actuación diseñados, teniendo en cuenta la tipología de la estructura funeraria que se iba a intervenir (*Anexo II*). Previa **excavación de las fosas simples**, se retiró toda la vegetación que cubría la superficie. A medida que avanzaba la excavación, se observaron raíces de las plantas y cambios de textura y de color en el sedimento, sobre todo en las fosas simples 01-01, 15-25, 16-23 y 22-18. El pH del sedimento fue de valores próximos al 7, mientras que el pH del sedimento junto a los restos cadavéricos fue 6. La tierra de los niveles más superficiales se encontraba más compactada, pero, a medida que se rebajaba el nivel en la excavación, era más fácil retirar el sedimento ya que el terreno no era tan compacto como en la superficie. Además, en algunos enterramientos (p. ej. 22-18) se observaron espacios de aire entre los huesos y el sedimento. Bajo las carcasas 01-01, 02-03, 07-05, 11-07, 13-19, 15-25, 16-23, 18-02, 20-04 y 22-18 (algunas de ellas con cal) se apreció un oscurecimiento del sedimento o “mancha negra” (Figura 12a); también en las estructuras de espacio vacío con base de sedimento (Figura 12b). Estos cambios de coloración del sedimento ocurren como consecuencia de las modificaciones que sufre la isla de descomposición cadavérica durante la descomposición activa de los cuerpos, y se mantiene en el tiempo porque los restos cadavéricos no se han manipulado hasta el momento de la excavación (Tibbett y Carter, 2008; Perrault y Forbes, 2016), como ocurrió en Taphos-m.



Figura 12 • Oscurecimiento del sedimento (a) en la fosa simple 15-25 y (b) en la estructura de espacio vacío 04-17 (con 10 cm de sedimento en la base).

La **apertura de las estructuras de espacio vacío** supuso la retirada de los materiales dispuestos a modo de cubierta, evitando al máximo su caída al interior de la estructura y, en consecuencia, evitando la modificación y el daño de las carcasas. Previa retirada de las tejas dispuestas a dos aguas de las estructuras tipo *tegulae* y de las cubiertas colmatadas por el sedimento del montículo, se retiró el sedimento que las cubría. Varias cubiertas estaban agrietadas y, las tejas, piedras o listones de madera que las componían estaban separadas entre sí (Figura 13), como consecuencia del empeoramiento de las instalaciones a lo largo de los años (*capítulo 4.1.*). Esto provocó la pérdida de hermeticidad de las estructuras funerarias y que el sedimento procedente del montículo se filtrase y colmatase varias regiones anatómicas de los animales (Figuras 11c-d). En estos casos, tras la retirada de las cubiertas, se excavó el sedimento para poder observar la carcasa en su totalidad.

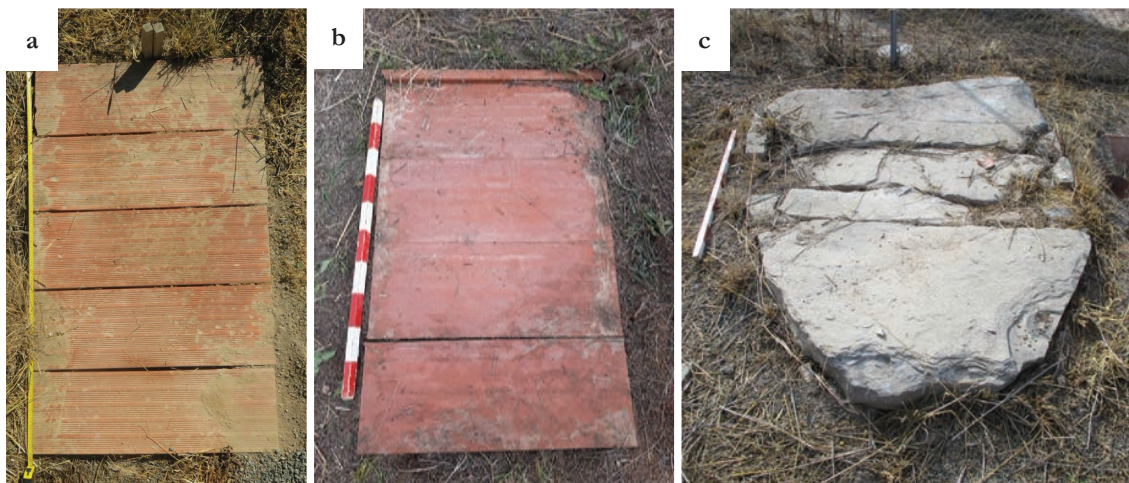


Figura 13 • Deterioro de las cubiertas de las estructuras de espacio vacío con el paso del tiempo: (a-b) separación entre las tejas de la cubiertas de las estructuras 17-09 y 21-16 respectivamente y (c) separación entre las piedras de la cubierta de la estructura 25-22.

La pérdida de hermeticidad también permitió que ocurrieran filtraciones de agua de la lluvia en el interior de las estructuras de tejas 03-06, 04-17, 08-12, 09-13, 10-21, 14-24, 17-09, 19-10, 21-16 y 24-14. En ellas se observaron marcas de humedad en las tejas laterales, agujeros y/o grietas en las bases de sedimento y movimiento de puparios y huesos pequeños arrastrados por el agua (Figura 14). En consecuencia, se perdió la distribución espacial original de las carcasas (*capítulo 4.3.2.*) y el ambiente húmedo que se creó hizo que muchos huesos se mantuviesen húmedos hasta el día de la intervención.



Figura 14 • Evidencias de las filtraciones de agua en las estructuras de tejas (flechas naranjas): (a) tejas laterales de la estructura funeraria 14-24 húmedas y con marcas de agua, (b) agujeros en el sedimento de la base de la estructura funeraria 04-17, (c) grietas en el sedimento de la base de la estructura funeraria 09-13 y (d) espacios vacíos de puparios y huesos movidos por el agua en la estructura funeraria 19-10.

Además, se facilitó el acceso de animales pequeños al interior de las estructuras funerarias, incluidos ejemplares de la fauna cadavérica (*capítulo 4.7.*). Durante las excavaciones de las fosas simples 02-03, 07-05 y 16-23 y en las aperturas de las estructuras de tejas 08-12, 09-13 y 10-21, estructuras de piedras 05-26 y 25-22 y estructura tipo *tegulae* 26-11, se observó la presencia de caracoles vivos y muertos entre el sedimento y junto a las carcasas (Figura 15a). Se detectó la presencia de ratones en la fosa simple 02-03, en las estructuras de piedras 05-26 y 25-22 y en la estructura de tejas 09-13 por la aparición de unas almendras roídas junto a los restos cadavéricos (Figura 15b). Asimismo, se identificó un sapo al retirar la vegetación que cubría la fosa simple 02-03 (Figura 15c) y una serpiente entre el sedimento de la fosa simple 22-18 (Figura 15d). Pero, no se detectaron perturbaciones que indicasen la presencia de grandes animales (p. ej. carnívoros) como se describió en otros estudios de enterramientos de cerdos en fosas simples (Wilson et al., 2007).

A pesar de que los enterramientos de Taphos-m superaban los 3 años, en las estructuras funerarias de teja 14-24, 21,16 y 24-14 y la estructura tipo *tegulae* 26-11 se apreció el olor a descomposición. Otros autores también describieron la presencia de olor en los enterramientos,

pero los intervalos post-enterramiento eran inferiores a los de Taphos-m (Forbes et al., 2016). Probablemente, la presencia de olor años después de los enterramientos esté vinculada con el estado cadavérico de las carcasas y con la relativa hermeticidad de las estructuras funerarias. Es por ello que la mayoría de estudios experimentales de estas características se realizan en áreas rurales como las de Taphos-m, y no en zonas urbanizadas (Anderson, 2011). Por último, en algunas estructuras funerarias colmatadas y de espacio vacío (03-06, 15-25 y 18-02) se recuperaron los crotales o pendientes de identificación de los animales (Figura 16).



Figura 15 • Evidencias de la presencia de fauna en distintas estructuras funerarias (círculo y flechas naranjas): (a) caracoles en la estructura funeraria 25-22, (b) almendra roída por ratones recuperada en la estructura funeraria 05-26, (c) sapo entre la vegetación que cubría la fosa simple 02-03 y (d) serpiente entre el sedimento de la fosa simple 22-18.

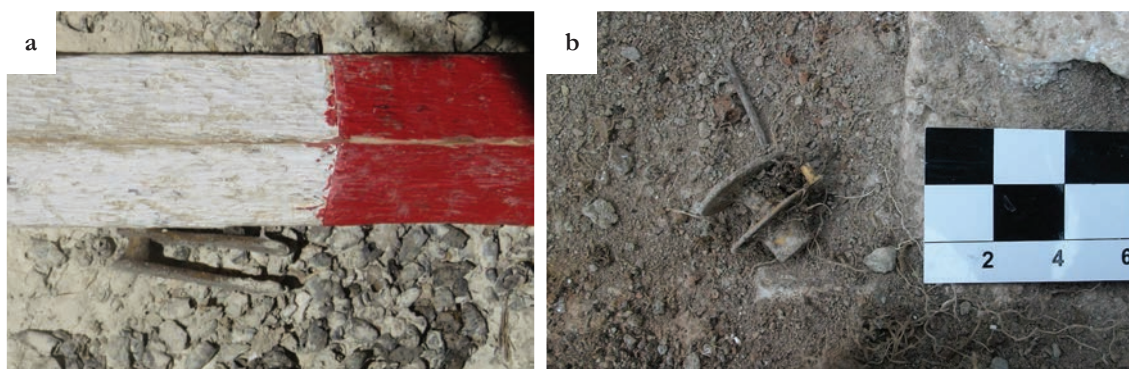


Figura 16 • Recuperación de varios crotales de los animales: (a) sobre la base de la estructura de tejas 03-06 y (b) entre el sedimento de la fosa simple con cal 15-25.

4.3. Efectos tafonómicos de los enterramientos

4.3.1. Estado cadavérico de las carcasas

Previa manipulación de los restos cadavéricos se realizó la valoración tafonómica de cada una de las carcasas expuestas. Las 26 carcasas presentaron **distintos estados cadavéricos** (Figuras 17; Tabla 14): 15 estaban totalmente esqueletizadas (57,7%), 8 presentaban desecación parcial (30,8%), 2 tenían putrúlagos húmedos (7,7%) y 1 estaba momificada (3,8%). Algunas de las carcasas que conservaron tejido desecado o húmedo también conservaron pelos y pezuñas (p. ej. la 05-26). En los estudios experimentales es más habitual utilizar los estadios de Payne (1965) o clasificaciones similares para definir el estado en el cual se encuentran los cuerpos. Pero estas descripciones solo se ajustan a los cambios que sufren los cuerpos durante las primeras fases de la descomposición (Tablas 1-2) y no a las modificaciones de los cuerpos que llevan años descomponiéndose. Por ello, el estado cadavérico de las carcasas de Taphos-m se determinó utilizando las descripciones de Nociarová (2016) ya que se adecúan más al objetivo del estudio.

El estado cadavérico de un cuerpo depende de una serie de factores relacionados entre sí (*capítulo 1.2.*). De modo que no existe un solo motivo que explique el estado en el cual se han encontrado los restos cadavéricos. Sin embargo, es posible que uno de esos factores sea el que mayor influencia haya tenido (Mann et al., 1990; Prieto et al., 2004). Entre los **factores extrínsecos** que pudieron afectar al estado cadavérico de las carcasas de Taphos-m, se consideraron los siguientes (Tabla 14): la estación del año en la cual se enterró el animal, la tipología de la estructura funeraria, el intervalo post-enterramiento y la presencia de cal en el enterramiento o de tela envolviendo el cuerpo del animal. El estado cadavérico de las carcasas enterradas en la misma **estación del año** fue diferente: de los 9 cerdos enterrados en otoño, 7 estaban totalmente esqueletizados y 2 presentaban desecación parcial; de los 15 cerdos enterrados en invierno, 7 estaban totalmente esqueletizados, 6 presentaban desecación parcial y 2 putrúlagos húmedos; y de los 2 cerdos enterrados en primavera, 1 estaba esqueletizado y el otro momificado. Generalmente, las condiciones climáticas del lugar del depósito provocan modificaciones en los cuerpos durante las primeras fases de la descomposición. En las estaciones frías y húmedas, la descomposición de los cuerpos enterrados es más lenta y los cuerpos tienden a conservarse; mientras que en las estaciones cálidas y secas la descomposición avanza más rápido (Rodríguez y Bass 1985; Mann et al., 1990; Prieto et al., 2004; Janaway et al., 2009; Cockle y Bell, 2015). En Taphos-m las carcasas enterradas en distintas estaciones del año presentaron estados cadavéricos similares y la única carcasa que se conservó momificada correspondió a un animal enterrado en primavera. Por lo tanto, **aunque las condiciones climáticas del momento del enterramiento pudieron afectar al inicio de la descomposición de las carcasas, el estado cadavérico que presentaron en el momento de la intervención no estuvo determinado solo**

Tabla 14 • Estado cadavérico de las carcasas y factores extrínsecos e intrínsecos que pudieron afectarlo. *Abreviaturas: IPE = intervalo post-enterramiento; E = esquelizado; EPSDP = esquelizado con putrilago seco y desecación parcial; M = momificado; EPH = esquelizado con putrilago húmedo; No Eco = alimentación no ecológica; Eco = alimentación ecológica; IRA = insuficiencia respiratoria aguda; ICA = insuficiencia cardíaca aguda; EN = enfermedad neurológica; SS = shock séptico.*

CÓDIGO	ESTADO CADAVERÍCO	ESTACIÓN	ESTRUCTURA FUNERARIA	IPE (AÑOS)	CAL	TELA	SEXO	EDAD (MESES)	ALIMENTACIÓN	MEDICACIÓN	CAUSA MUERTE	HERIDAS
01-01	E	Otoño	Fosa simple	6	No	No	♂	6	No Eco	Sí	IRA	No
02-03	E	Otoño	Fosa simple	4	No	No	♀	5,5	No Eco	Sí	ICA	Sí
03-06	EPSDP	Otoño	Tejas	4	No	No	♂	6,5	No Eco	Sí	IRA	No
04-17	E	Invierno	Tejas (sedimento base)	5	No	No	♂	18	Eco	No	EN	Sí
05-26	M	Primavera	Piedras y cubierta de madera	3	No	No	♂	6,5	No Eco	Sí	SS	Sí
06-08	EPSDP	Otoño	Tejas	3	No	No	♀	6,5	No Eco	Sí	EN	Sí
07-05	E	Otoño	Fosa simple reforzada	6	No	No	♂	4,5	No Eco	Sí	ICA	Sí
08-12	EPSDP	Invierno	Tejas	6	No	No	♂	6,5	No Eco	Sí	EN	Sí
09-13	E	Invierno	Tejas (sedimento base)	6	No	No	♂	6,5	No Eco	Sí	EN	Sí
10-21	EPSDP	Invierno	Tejas	4	Sí	No	♂	4,5	No Eco	Sí	ICA	Sí
11-07	E	Otoño	Fosa simple reforzada	4	No	No	♂	4,5	No Eco	Sí	EN	No
12-20	E	Invierno	Tejas	4	Sí	No	♀	4	No Eco	Sí	IRA	No
13-19	E	Invierno	Fosa simple	4	Sí	No	♂	4	No Eco	Sí	IRA	No
14-24	EPSDP	Invierno	Tejas	5	No	No	♀	6	No Eco	Sí	ICA	Sí
15-25	E	Primavera	Fosa simple	5	Sí	No	♀	6,5	No Eco	Sí	SS	No
16-23	E	Invierno	Fosa simple	5	Sí	No	♀	6	No Eco	Sí	SS	No
17-09	E	Otoño	Tejas	4	No	No	♂	6	No Eco	Sí	EN	Sí

Tabla 14 • Continuación.

CÓDIGO	ESTADO CADAVERÍCO	ESTACIÓN	ESTRUCTURA FUNERARIA	IPE (AÑOS)	CAL	TELA	SEXO	EDAD (MESES)	ALIMENTACIÓN	MEDICACIÓN	CAUSA MUERTE	HERIDAS
18-02	E	Otoño	Fosa simple	4	No	No	♂	2	No Eco	Sí	EN	No
19-10	EPSPD	Invierno	Tejas	4	No	Sí	♂	2,5	No Eco	Sí	SS	No
20-04	E	Otoño	Fosa simple	6	No	No	♀	6	No Eco	Sí	SS	No
21-16	EPH	Invierno	Tejas	5	No	Sí	♂	3,5	No Eco	Sí	IRA	No
22-18	E	Invierno	Fosa simple	5	No	No	♀	4	No Eco	Sí	IRA	No
23-15	E	Invierno	<i>Tegulae</i>	6	No	No	♀	3	No Eco	Sí	IRA	No
24-14	EPSPD	Invierno	Tejas	4	No	No	♂	24	Eco	No	EN	Sí
25-22	EPSPD	Invierno	Piedras	6	No	No	♂	6	No Eco	Sí	SS	No
26-11	EPH	Invierno	<i>Tegulae</i>	6	No	No	♂	8	No Eco	Sí	IRA	Sí

CAPÍTULO IV

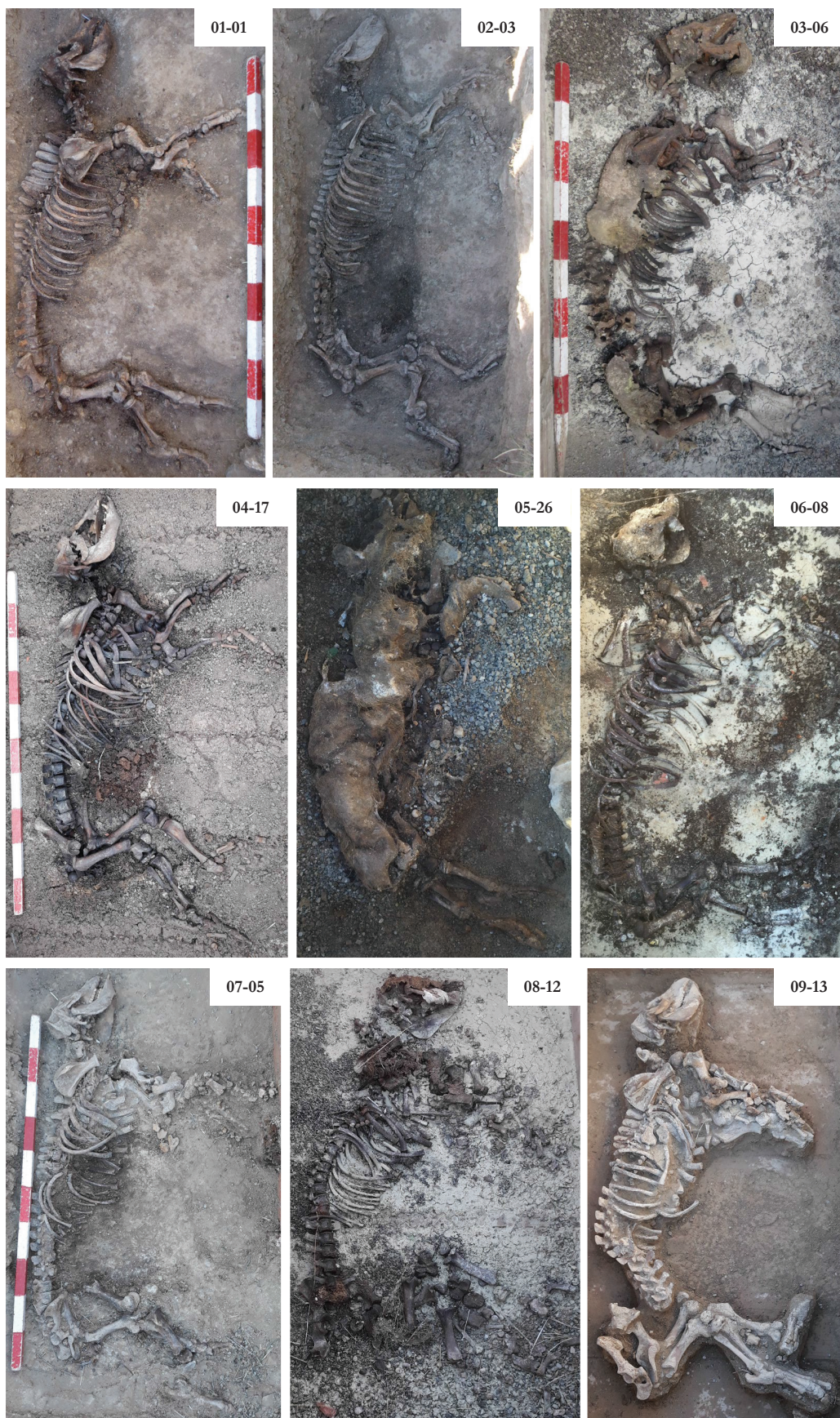


Figura 17.1 • Estado cadavérico de las carcasas: esqueletización total en 01-01, 02-03, 04-17, 07-05 y 09-13, esqueletización con putrilago seco y desecación parcial en 03-06, 06-08 y 08-12 y momificación en 05-26.

Resultados y Discusión



Figura 17.2 • Estados cadavéricos de las carcasas: esqueletización total en 11-07, 12-20, 13-19, 15-25, 16-23, 17-09 y 18-02 y esqueletización con putrilago seco y desecación parcial en 10-21 y 14-24.

CAPÍTULO IV

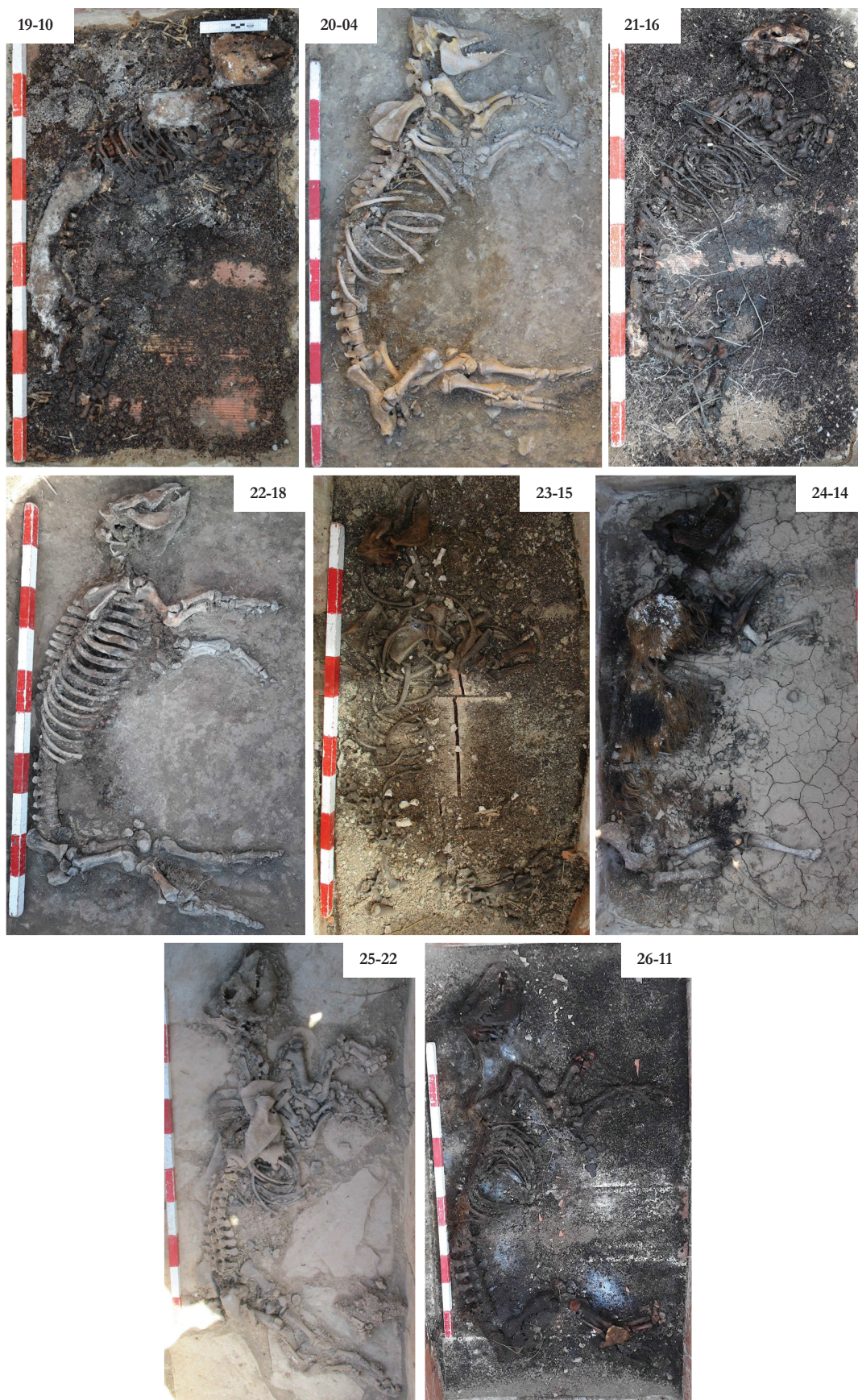


Figura 17.3 • Estado cadavérico de las carcasas: esqueletización total en 20-04, 22-18 y 23-15, esqueletización con putrilago seco y desecación parcial en 19-10, 24-14 y 25-22 y esqueletización con putrilago húmedo en 21-16 y 26-11.

por estos primeros cambios *post mortem*. Sin embargo, las condiciones climáticas sí afectaron a la integridad de las estructuras funerarias ocasionando filtraciones (*capítulos 4.1.1. y 4.2.2.*), que pudieron perjudicar, de manera indirecta, en el estado cadavérico de las carcasas y en otros aspectos tafonómicos en el momento de la intervención.

En relación al **tipo de estructura funeraria**, todas las carcasas enterradas en las fosas simples (10 en total) estaban en fase de reducción esquelética, sin partes blandas, ligamentos ni cartílagos, igual que los cuerpos humanos enterrados durante 4-6 años (Ley de Mueller; Gisbert-Calabuig, 2004). En cambio, el estado cadavérico varió entre las carcasas enterradas en las estructuras de espacio vacío: en las estructuras de tejas, 7 carcasas presentaban desecación parcial, 4 estaban totalmente esqueletizadas y 1 presentaba putrúlogo húmedo; en las estructuras de tejas a dos aguas, 1 carcasa estaba completamente esqueletizada y la otra presentaba putrúlogo húmedo; y en las estructuras de piedras, 1 carcasa estaba momificada y la otra presentaba desecación parcial (Tabla 14). Es decir, **las carcasas enterradas en contacto directo con el sedimento** (en fosas simples o en estructuras de espacio vacío con base de sedimento) **estaban totalmente esqueletizadas y las carcasas enterradas en las estructuras de espacio vacío conservaron el tejido blando desecado o húmedo**. Los cuerpos enterrados tienden a descomponerse más lentamente que los cuerpos expuestos en la superficie porque en los enterramientos la actividad animal y el acceso del oxígeno están limitados (Rodríguez y Bass, 1985; Haglund y Sorg, 1997; Ferreira y Cunha, 2013). En Taphos-m todas las estructuras funerarias se construyeron bajo tierra (a una profundidad superior a los 30 cm) para mantener una temperatura estable, evitando la difusión de gases y limitando el acceso de animales y plantas (Rodríguez y Bass, 1985; Haglund y Sorg, 1997; Rogers, 2005; Janaway et al., 2009). Sin embargo, la pérdida de la hermeticidad de las estructuras funerarias de espacio vacío (*capítulo 4.2.2.*) y las profundas depresiones del terreno de las fosas simples (*capítulo 4.1.3.*) expusieron las carcasas al ambiente exterior y favorecieron la esqueletización de la mayoría de ellas, aunque algunas conservaron zonas con tejido blando desecado o húmedo.

Respecto al **intervalo post-enterramiento** (Tabla 13), a los 3 años, 1 carcasa aún presentaba parte de tejido desecado y otra estaba momificada; a los 4 años, 6 carcasas estaban esqueletizadas y 4 presentaban parte de tejido desecado; a los 5 años, 4 carcasas estaban esqueletizadas, 1 presentaba parte de putrúlogo húmedo y otra tejido desecado; y a los 6 años, 5 carcasas estaban esqueletizadas, 2 presentaban parte de tejido desecado y otra putrúlogo húmedo (Tabla 14). Estos resultados indicaron que en Taphos-m **el tiempo mínimo de enterramiento para la esqueletización de las carcasas fue de 4 años**. Teniendo en cuenta la proporción de tejido blando desecado o húmedo que conservaron el 38,5% de las carcasas, se consideró que si el intervalo post-enterramiento de estas

hubiese sido mayor, se hubiesen encontrado también en esqueletización total. Sin embargo, otros estudios demostraron que la esqueletización de los cuerpos es posible en 2 meses (Prieto et al., 2004), 8 meses (Rogers, 2010) o 1 año (Rodríguez y Bass, 1985). Estas diferencias de tiempo para la esqueletización de los cuerpos indican que **no solo el tiempo determina el estado cadavérico de un cuerpo**, a pesar ser uno de los factores más influyentes (Rogers, 2005; Nociarová, 2016).

En los **6 enterramientos con cal**, 4 carcasas estaban totalmente esqueletizadas y 2 presentaban parte de tejido desecado y, de los 2 animales **envueltos en tela de algodón**, 1 presentaba tejido blando desecado y el otro húmedo (Tabla 14). Los resultados en relación a la influencia de la cal y del envoltorio de tela en el estado cadavérico de las carcasas se discuten en los *capítulos 4.4. y 4.5.* respectivamente.

Por otro lado, los **factores intrínsecos** que pudieron afectar al estado cadavérico de las carcasas fueron las características biológicas de los animales (el sexo, la edad, el tipo de alimentación y medicación suministrada y las lesiones presentes) y la causa de la muerte. Generalmente, en los estudios tafonómicos no es habitual considerar el **sexo** ni la **edad** de los individuos como factores determinantes de las modificaciones tafonómicas (Schotsmans, 2013; Nociarová, 2016) y los experimentos con modelos animales siempre utilizan ejemplares juveniles y de sexo indeterminado (p. ej. Huculak y Rogers, 2009; Forbes et al., 2016; Connor et al., 2018; Dautartas et al., 2018). Además, es la primera vez que un estudio experimental con modelos animales menciona el **tipo de alimentación** de los mismos en sus resultados, por lo que no se ha encontrado bibliografía con la cual poder discutir los resultados de este estudio. Por ello, se presentan y discuten solo los resultados del estado cadavérico de las carcasas en relación a la causa de la muerte de los animales, al hecho de haber sido medicados en vida y a la presencia de heridas. Entre los animales que fallecieron a consecuencia de una insuficiencia respiratoria aguda, 5 estaban esqueletizados, 2 presentaban putrúlogo húmedo y 1 desecación parcial; entre los animales que murieron de insuficiencia cardiaca aguda, 2 estaban esqueletizados y los otros 2 presentaban desecación parcial; entre los animales que murieron por una enfermedad neurológica, 5 estaban esqueletizados y 3 presentaban desecación parcial; y entre los animales que fallecieron por sepsis, 2 estaban esqueletizados, 2 presentaban desecación parcial y 1 desecación total (Tabla 14). En general, las enfermedades infecciosas, como la sepsis, algunas insuficiencias respiratorias (pulmonía) y/o lesiones neurológicas (meningitis) favorecen la esqueletización de los cuerpos porque el aumento de la temperatura corporal, permite que los agentes infecciosos (virus o bacterias) aceleren la descomposición (Janaway et al., 2009; Ferreira y Cunha, 2013). Pero estos resultados, igual que los publicados en otros estudios experimentales (Nociarová, 2016), no confirman este hecho, ya que **el estado cadavérico varió**

entre los animales que fallecieron por la misma causa de muerte. Además, 6 de estos animales fueron **medicados** durante los últimos meses de vida y los estados cadavéricos que presentaron fueron los siguientes: 5 estaban esqueletizados y 1 conservaba putrúlogo húmedo (Tabla 14). Hayman y Oxenham (2015) determinaron que la utilización de diferentes tratamientos médicos *peri mortem* deceleran la descomposición de los cuerpos, pero los resultados observados en Taphos-m parece que no lo confirman. Por último, algunos animales presentaron diferentes tipos de **heridas superficiales** en el momento del enterramiento (Tabla 8). Aunque otros autores confirman que la presencia de heridas favorece la esqueletización de los cuerpos por la acción de la fauna cadavérica (Mann et al., 1990; Prieto et al., 2004), no todas las carcasas que presentaron heridas superficiales se encontraron en esqueletización total (Tabla 14). Lo cual indica que en Taphos-m **la presencia de heridas tampoco fue determinante en el estado cadavérico de las carcasas.** Sin embargo, su presencia también puede ocasionar otro tipo de modificaciones tafonómicas (Prieto et al., 2004; Flores Pérez et al., 2017), como se describe más adelante.

En Taphos-m se registraron tanto las variables relacionadas con el tipo de enterramiento como las variables *ante mortem* de cada uno de los animales enterrados (Tabla 14). De este modo, ha sido posible inferir qué factores influyeron en el estado cadavérico de las carcasas y cuál fue el más determinante. Sin embargo, el tamaño muestral de los enterramientos reproducidos en Taphos-m era pequeño y, teniendo en cuenta que la mayoría de variables registradas aparecían en pocos animales, para el **análisis estadístico** solo se consideraron las variables de estación del año (otoño, invierno y primavera), tipo de estructura funeraria (espacio vacío *vs.* espacio colmatado) y causa de la muerte (insuficiencia respiratoria aguda, insuficiencia respiratoria cardiaca, shock séptico y lesión neurológica). El *test de Regresión logística multinominal* determinó que **la variable que más influyó en el estado cadavérico de las carcasas de Taphos-m fue la tipología de la estructura funeraria** ($X^2=14,203$ con un valor de $p<0,01$), estando esqueletizadas las carcasas enterradas en las fosas simples y conservando algo de tejido blando las carcasas enterradas en las distintas estructuras de espacio vacío.

4.3.2. Modificaciones en la distribución espacial ósea

Todas las carcasas se mantuvieron en decúbito lateral izquierdo, tal y como se habían enterrado, pero con ciertas **modificaciones en la distribución espacial ósea.** La valoración de la distribución espacial ósea de las carcasas se realizó utilizando los criterios de Nociarová (2016), permitiendo de una manera rápida determinar el patrón de cada hueso y articulación: articulado estricto o laxo (dependiendo de la amplitud del movimiento óseo), desarticulado o desplazado (Figura 18).

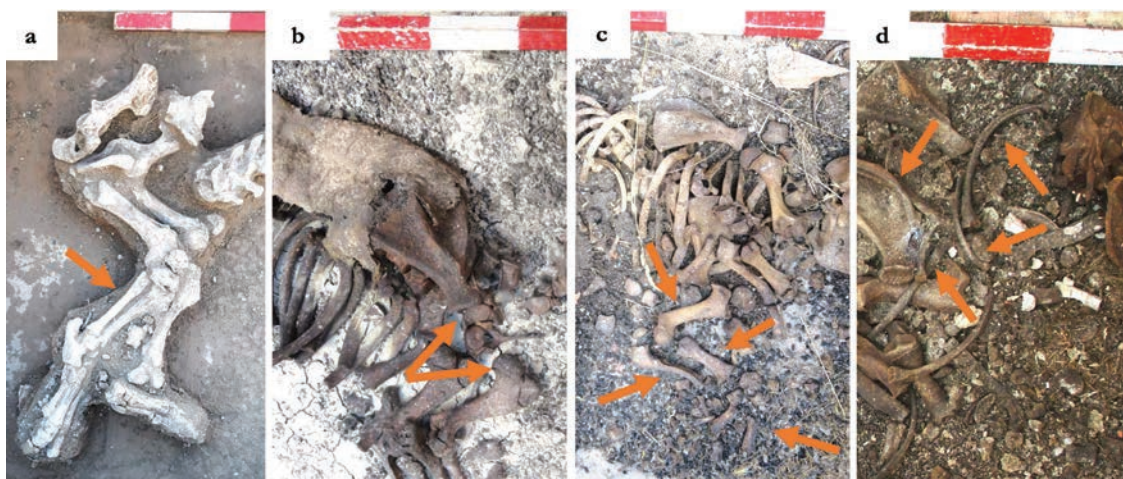


Figura 18 • Patrones de la distribución espacial ósea (flechas naranjas): (a) articulación estricta de la extremidad posterior de la carcava 09-13, (b) articulación laxa entre escápula y húmero derechos de la carcava 03-06, (c) desarticulación de la extremidad anterior izquierda de la carcava 17-09 y (d) desplazamiento de las costillas derechos por encima de la escápula derecha de la carcava 23-15.

En cada carcava se valoró el patrón de 28 articulaciones, lo que supuso un total de 728 articulaciones estudiadas (Tabla 15). En base a ello, se determinó el patrón general de cada carcava (Tabla 16). La valoración se realizó a partir de la observación de las diáfisis de los huesos largos porque la mayoría de los animales eran juveniles y no tenían todos los elementos óseos fusionados por completo. Esto supuso una dificultad a la hora de realizar las valoraciones, incluso impidió determinar el patrón de alguna de las articulaciones (“no observables”). Del total (728), 345 articulaciones estaban articuladas de manera estricta (47,4%), 202 desarticuladas (27,7%), 89 articuladas de manera laxa (12,2%), 69 articulaciones no se pudieron valorar (9,5%) y 23 estaban desplazadas (3,2%). En detalle, las *vértebras lumbares* (en el 92,3% de las carcavas) y las *vértebras dorsales* (en el 84,6% de las carcavas) fueron las mejor articuladas (Figura 19a). En cambio, las *costillas de ambos lados* (Figura 19b) y las *sínfisis púbicas* fueron las más desarticuladas (en el 54% y 65,4% de las carcavas respectivamente), la *articulación de acetábulo y fémur derecho* (Figura 19c) fue la más desplazada (en el 11,5% de las carcavas) y en la mayoría de las carcavas (73%) no se observó la *cola* (muchos de los animales se enterraron sin ella a consecuencia de las peleas entre los animales en las granjas). Por lo tanto, 17 carcavas presentaron el patrón general de distribución espacial ósea de tipo articulado estricto (65,4%), 8 carcavas el patrón desarticulado (30%) y 1 carcava el patrón articulado laxo (3,8%).

A la hora de inferir en los motivos por los cuales se mantuvo o no la distribución anatómica de las carcavas y, para una exposición más sencilla de los resultados, el patrón de la distribución espacial ósea se diferenció entre “articulado” (incluyendo las variantes estricto y laxo) y “no articulado” (incluyendo las variantes desarticulado y desplazado). El **patrón articulado**



Figura 19 • Ejemplos de la distribución espacial ósea de algunas carcasas de Taphos-m: (a) articulación estricta de las vértebras lumbares de la carcasa 11-07, (b) desarticulación de las costillas de la carcasa 20-04 y (c) desplazamiento de acetábulo y fémur derechos de la carcasa 17-09.

Tabla 15 • Valoración del patrón de la distribución espacial ósea de 728 articulaciones. *Abreviaturas:* AE = articulación estricta; AL = articulación laxa; DA = desarticulación; D = desplazamiento; N.O. = no observable; CR = cráneo; CVC = cuerpos vertebrales cervicales; CVD = cuerpo vertebrales dorsales; CVL = cuerpos vertebrales lumbares; SAC = sacro; ILI = ilion; SP = sínfisis púbica; CO = cola; ESC = escápula; HUM = húmero; CUB = cúbito; RAD = radio; AD = autópodo delantero; ACE = acetábulo; FEM = fémur; ROD = rodilla; TIB = tibia; PER = peroné; AT = autópodo trasero; COS = costillas; d = derecha; i = izquierda.

ARTICULACIÓN	AE	AL	DA	D	N.O.
CR-CVC	9	2	13	1	1
CVC	15	1	10	0	0
CVD	22	3	1	0	0
CVL	24	0	2	0	0
CVL-SAC	19	3	3	0	1
SAC-ILI	10	4	9	0	3
SP	4	4	14	1	3
CO	2	0	4	1	19
ESCd - HUMd	5	7	12	2	0
HUMd - CUBd+RADd	14	4	7	1	0
CUBd+RADd - ADd	10	6	7	1	2
ADd	11	2	10	2	1
ACEd - FEMd	8	3	11	3	1
RODd	7	6	10	2	1
TIBd - PERd	9	6	5	1	5
TIBd+PERd - ATd	10	2	9	1	4
ATd	15	4	3	2	2
COSd	4	5	17	0	0
ESCi- HUMi	10	6	2	1	7
HUMi - CUBi+RADi	19	4	3	0	0
CUBi+RADi - ADi	14	1	6	0	5
ADi	13	1	9	1	2
ACEi - FEMi	19	3	1	1	2
RODi	17	3	6	0	0
TIBi - PERi	18	2	3	0	3
TIBi+PERi - ATi	17	2	4	0	3
ATi	15	1	6	2	2
COSi	5	4	15	0	2
Total	345	89	202	23	69

CAPÍTULO IV

Tabla 16 • Relación entre la tipología de la estructura funeraria, el estado cadavérico y el patrón general de la distribución espacial ósea de las carcasas de Taphos-m. *Abreviaturas: AE = articulación estricta; AL = articulación laxa; DA = desarticulación.*

CÓDIGO	TIPOLOGÍA ESTRUCTURA FUNERARIA	ESTADO CADAVÉRICO	PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL ÓSEA
01-01	Fosa simple	Esqueletización	AE
02-03	Fosa simple	Esqueletización	AE
03-06	Estructura de tejas	Esqueletización con putrúlagos seco y desecación parcial	DA
04-17	Estructura de tejas con base de sedimento	Esqueletización	AE
05-26	Estructura de tejas con cubierta de madera y base de sedimento	Momificación	AE
06-08	Estructura de tejas	Esqueletización con putrúlagos seco y desecación parcial	DA
07-05	Fosa simple	Esqueletización	AE
08-12	Estructura de tejas	Esqueletización con putrúlagos seco y desecación parcial	DA
09-13	Estructura de tejas con base de sedimento	Esqueletización	AE
10-21	Estructura de tejas. Animal cubierto con cal	Esqueletización con putrúlagos seco y desecación parcial	DA
11-07	Fosa simple	Esqueletización	AE
12-20	Estructura de tejas. Animal cubierto con cal	Esqueletización	DA
13-19	Fosa simple. Animal cubierto con cal	Esqueletización	AE
14-24	Estructura de tejas. Animal cubierto con poca cantidad de cal	Esqueletización con putrúlagos seco y desecación parcial	AE
15-25	Fosa simple. Animal cubierto con poca cantidad de cal	Esqueletización	AE
16-23	Fosa simple. Animal cubierto con poca cantidad de cal	Esqueletización	AE
17-09	Estructura de tejas	Esqueletización	DA
18-02	Fosa simple	Esqueletización	AE
19-10	Estructura de tejas. Tela de algodón	Esqueletización con putrúlagos seco y desecación parcial	AL
20-04	Fosa simple	Esqueletización	AE
21-16	Estructura de tejas. Tela de algodón	Esqueletización con putrúlagos húmedo	AE
22-18	Fosa simple	Esqueletización	AE
23-15	Estructura de tejas a dos aguas (<i>tegulae</i>)	Esqueletización	DA
24-14	Estructura de tejas	Esqueletización con putrúlagos seco y desecación parcial	DA
25-22	Estructura de piedras con base de sedimento	Esqueletización con putrúlagos seco y desecación parcial	AE
26-11	Estructura de tejas a dos aguas (<i>tegulae</i>)	Esqueletización con putrúlagos húmedo	AE

(estricto o laxo) se observó en 434 ocasiones (Tabla 15) y los agentes y procesos responsables del mantenimiento de las articulares fueron los siguientes:

- El enterramiento del cuerpo en **posición lateralizada** comportó que algunos huesos (p. ej. columna vertebral y huesos del lado izquierdo) se mantuvieran articulados por estar en contacto con la base de la estructura funeraria (Figuras 20a-b), independientemente de la tipología constructiva (Hill y Behrensmeyer, 1984; Dудay, 1990; Dудay et al., 1990; Armentano et al., 2012a; Congram, 2013). De forma general, las posiciones lateralizadas favorecen el solapamiento de los huesos, manteniéndolos articulados (Cambra, 2006). Sin embargo, como se explica más adelante, en las carcacas de Taphos-m la superposición ósea favoreció la desarticulación de los huesos.
- El **contacto directo del cuerpo con el sedimento**, ya fuera total (fosas simples) o parcial (estructuras funerarias de espacio vacío con base de sedimento), favoreció el mantenimiento de las articulaciones (Figuras 20a-b). Además, las regiones anatómicas que se colmataron *a posteriori* con el sedimento procedente del montículo también se mantuvieron articuladas (Figura 20c). El sedimento ocupa los espacios que el tejido blando deja a medida que el cuerpo se va descomponiendo, manteniendo así la articulación del esqueleto (Dудay, 1990; Dудay et al., 1990; Cambra, 2006). Por lo tanto, la colmatación secundaria de las carcacas que se mantuvieron articuladas bajo este sedimento ocurrió en los primeros momentos de la descomposición de los animales, cuando aún tenía tejido blando.
- La **costra de cal que rodeó las carcacas** de los animales cubiertos completamente con cal limitó el movimiento de algunas articulaciones durante la descomposición, manteniéndolas en su posición anatómica original (Figura 20d). Este mismo efecto se observó en los estudios experimentales de Schotsmans y colaboradores (2012; 2014b). En algunos enterramientos antiguos es habitual encontrar rocas rodeando el esqueleto y estabilizando las articulaciones (Castex y Blaizot, 2017), provocando una situación similar a la ocurrida en estos enterramientos de Taphos-m.
- El **tejido blando desecado o húmedo** que se conservó en varias carcacas (p. ej. 05-26, 10-21 y 26-11) ayudó al mantenimiento de las articulaciones que cubrían (Figura 20e), dado que los tejidos blandos no permiten la desarticulación de los huesos por la limitación de espacio, incluso en los enterramientos colectivos (Armentano et al., 2012a).

- En las 2 carcasas envueltas en algodón (19-10 y 21-16) se conservaron **fragmentos de tela** que contribuyeron al mantenimiento de las articulaciones que cubrían (Figura 20f). La presencia de ropa o envoltura limita el espacio de movimiento de las articulaciones, también en espacios vacíos (Nociarová, 2016). Cabe destacar que los fragmentos de tela conservados cubrían regiones anatómicas con tejido blando desecado. Por lo tanto, las articulaciones se pudieron mantener por la conservación de la tela, del tejido blando o de ambas.

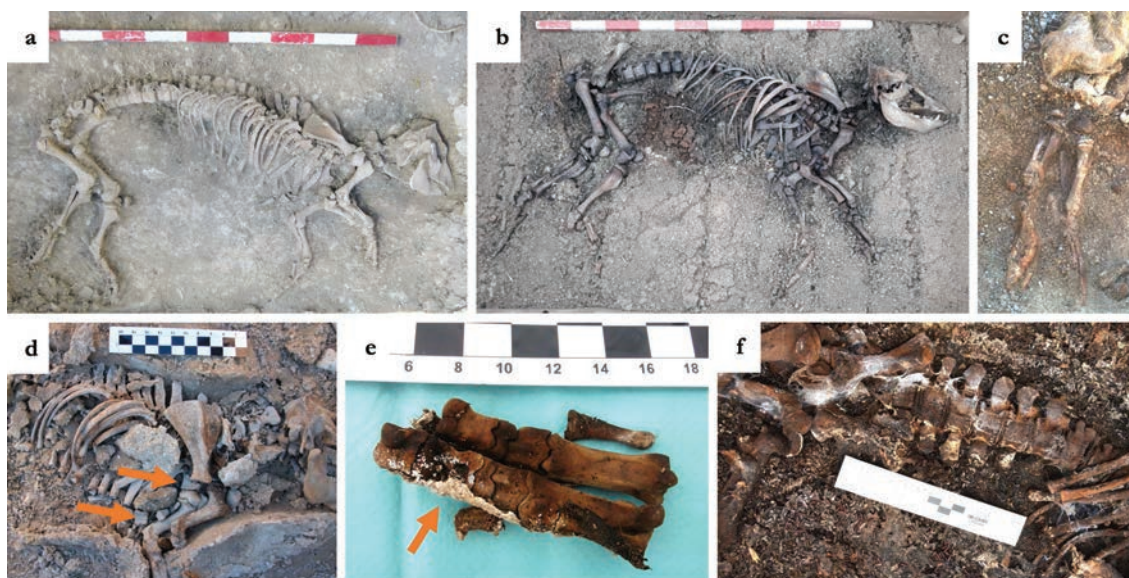


Figura 20 • Ejemplos del mantenimiento de algunas articulaciones (flechas naranjas): (a) articulación del esqueleto en la fosa simple 11-07, (b) articulación del esqueleto en la estructura de tejas 04-17 con base de sedimento, (c) articulación de las extremidades posteriores de 05-26 por la colmatación del sedimento procedente del montículo, (d) articulación de las extremidades anteriores de 12-20 por la limitación de espacio provocada por la costra de cal, (e) articulación de un autópodo de 10-21 por la conservación del tejido desecado y (f) articulación de las vértebras lumbares de 19-10 bajo el tejido desecado.

Por otro lado, el patrón **no articulado**, incluyendo los patrones desarticulado y desplazado, se observó en 225 ocasiones (Tabla 15) y los agentes y procesos responsables fueron los siguientes:

- **La descomposición en espacio vacío** favoreció la desarticulación y el desplazamiento de los huesos, sobre todo a nivel de las costillas de ambos lados (Figura 21a). Durante la descomposición en espacio vacío, los cuerpos tienden a desarticularse, principalmente por efecto de la gravedad y, en algunos casos, es posible que se fragmenten (Duday, 1990; Duday et al., 1990; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Castex y Blaizot, 2017). Algunos huesos de las carcasas 07-05, 13-19, 16-23, 20-04 y 22-18 también estaban desarticulados, a pesar de estar enterradas en contacto directo con el sedimento (fosas simples). La desarticulación de estas carcasas ocurrió en las zonas del sedimento con bolsas de aire (producto de la descomposición), donde los huesos no estaban en contacto directo con el sedimento. Así, la descomposición de

estas regiones anatómicas ocurrió como en los espacios vacíos y las articulaciones perdieron su distribución espacial original. Por último, las extremidades inferiores de la carcasa 17-09, que también fueron cubiertas a *posteriori* por sedimento procedente del montículo no aparecieron articuladas como otras carcasas que sufrieron este tipo de filtraciones (Figura 21b). Esto se debió a que la colmatación de estas extremidades ocurrió después de la descomposición, cuando las extremidades ya estaban desarticuladas por haberse descompuesto en espacio vacío.

- La **costra de cal** que rodeó las carcasas de los animales cubiertos completamente con cal y que en general favoreció la articulación del esqueleto, también provocó la desarticulación de la tibia y el peroné derechos de la carcasa 13-19 por falta de espacio (Figura 21c). Además, las **placas de cal** que se formaron y que se depositaron sobre los huesos de la carcasa 12-20 provocaron su desarticulación por el peso de las mismas (Figura 21d).
- El proceso de **excavación** de las fosas simples y del sedimento filtrado en las estructuras funerarias de espacio vacío, provocó la desarticulación de los huesos de menor tamaño como, por ejemplo, los autópodos (Figura 21e). Esto ocurre porque la disposición del cuerpo después de la excavación no es la misma que en el momento de la deposición (Duday, 1990; Duday et al., 1990). Además, durante la valoración de la distribución espacial ósea de las carcasas, se manipularon algunos huesos que estaban superpuestos (p. ej. autópodos, sínfisis púbicas y articulación de acetábulo-fémur derechos) para poder realizar una mejor observación.
- El **acceso de los animales y las filtraciones de agua** dentro de las estructuras funerarias (*capítulo 4.2.*) provocaron la pérdida del mantenimiento de algunos huesos y articulaciones: la rótula derecha de la carcasa 03-06 estaba desplazada hacia el centro de la estructura funeraria (Figura 21f), una de las costillas derechas de la carcasa 17-09 se encontró por encima del cráneo, la escápula izquierda del mismo animal apareció entre las costillas de ambos lados (Figura 21g) y varios huesos de las extremidades posteriores de las carcasas 04-17 y 19-10 fueron desplazados (Figura 21h). El efecto de los animales y del agua en la desarticulación, transporte y desplazamiento de los huesos, sobre todo los de menor tamaño, ha sido descrito por diferentes autores (Coard, 1999; Denys, 2002; Cáceres et al., 2009; Andrews y Fernández-Jalvo, 2012).
- Las regiones anatómicas que presentaron **lesiones** (*capítulo 4.6.*) se encontraron desarticuladas (Figura 21f) por la acción de la fauna cadavérica: un cuerpo con lesiones

ofrece un punto de acceso extra (a parte de los orificios naturales) para la fauna cadavérica (Flores Pérez et al., 2017), provocando la desarticulación y/o el desplazamiento de los huesos afectados (Mann et al., 1990).



Figura 21 • Ejemplos de la desarticulación ósea (flechas naranjas): (a) desarticulación ósea generalizada de la carcasa 23-15 enterrada en una estructura funeraria de espacio vacío, (b) desarticulación de las extremidades posteriores de 17-09 pese a la colmatación del sedimento procedente del montículo, (c) desarticulación de las extremidades posteriores de 13-19 por la falta de espacio provocada por la costra de cal, (d) desarticulación y desplazamiento óseo de las extremidades posteriores de 12-20 por el peso de las placas de cal, (e) desarticulación del autópodo anterior derecho durante la excavación de la fosa simple 15-25, (f) desplazamiento de la rótula derecha y desarticulación de las vértebras lumbares patológicas de 03-06, (g) desplazamiento de una costilla derecha y desarticulación de la escápula izquierda de 17-09 y (h) desarticulación de los huesos de ambos autópodos derechos de 19-10.

La valoración de las modificaciones de la distribución espacial ósea permite reconocer las prácticas funerarias llevadas a cabo en distintos contextos y reconstruir la secuencia de inhumaciones en los enterramientos colectivos (Duday, 1990; Duday et al., 1990; Armentano et al., 2012a; Armentano et al., 2014; Nociarová, 2016). Pero esta relación entre el patrón de la distribución espacial ósea y el tipo de enterramiento no es siempre directa. Por ello, los trabajos experimentales, como el de Taphos-m (con enterramientos en estructuras funerarias de características conocidas) permiten identificar los agentes y procesos causantes de las modificaciones en la distribución espacial ósea de los cuerpos. A pesar de que existen numerosos trabajos sobre el patrón de desarticulación de distintos animales (Hill, 1979; Hill y Behrensmeier, 1984; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016), en este estudio se consideró más práctico utilizar los criterios de Nociarová (2016) para entender la historia tafonómica de cada enterramiento reproducido. **En las carcasas de Taphos-m se observaron los 4 patrones de distribución espacial ósea** (articulado estricto, articulado laxo, desarticulado y desplazado), **siendo los más repetidos el patrón articulado estricto y el desarticulado** (Tabla 15). Las articulaciones

que se consideraron como no observables se debieron a la falta de fusión de los huesos que no permitieron entender la distribución espacial ósea. En función de estas observaciones, las carcacas se consideraron como articuladas estrictas, articuladas laxas o desarticuladas (Tabla 16). Los agentes y procesos encargados del mantenimiento o no mantenimiento de las articulaciones fueron diversos y aparecen resumidos en la Tabla 19. Es importante tener en cuenta que **no es posible comparar la distribución espacial ósea de las carcacas de animales con la de los restos cadavéricos humanos, dado que las diferencias anatómicas hacen que los procesos y agentes causantes de los movimientos óseos sean distintos en cada caso.**

4.3.3. Modificaciones en la superficie cortical de los huesos

En términos generales, **la coloración de los huesos de las carcacas** se diferenció entre clara y oscura, dependiendo del tipo de estructura funeraria donde habían sido enterrados los animales. Los huesos de tonos claros (como el beige y el marrón claro) correspondieron a los animales enterrados en las fosas simples y los huesos de tonos más oscuros (como el marrón oscuro y el negro) a los de las estructuras funerarias de espacio vacío. Estas diferencias de coloración se debieron a que los huesos adquieren el color del medio en el cual han estado expuestos. Por ello, la coloración de los esqueletos permite diferenciar el tipo de enterramiento, las deposiciones primarias de las secundarias, establecer la secuencia de eventos *post mortem* y diferenciar entre cuerpos de distintos contextos (Schultz et al., 2003; Huculak y Rogers, 2009; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Pollock et al., 2018). En los enterramientos en contacto directo con el sedimento, el pH también provoca diferencias de coloración en los huesos, siendo más oscuros los huesos enterrados en sedimentos ácidos y más claros (p. ej. amarillo palo) los enterrados en sedimentos básicos (Amadasi et al., 2017). En Taphos-m el pH del sedimento era de valores próximos al 7 y la coloración de los huesos enterrados en las fosas simples presentó tonalidades de colores similares, siempre más claras que los huesos enterrados en espacios vacíos. En el **estudio detallado de las escápulas** también se observaron estas diferencias de coloración entre las escápulas enterradas en las fosas simples y en las estructuras de espacio vacío. Considerando la escala de color Munsell Soil Color Charts (1994), la notación *Hue* (relación del color respecto al rojo y amarillo) más representada fue la 10YR, correspondiente a los colores más próximos al amarillo (Figura 22; Tabla 17). Las escápulas inhumadas en contacto directo con el sedimento (en fosas simples o en estructuras de teja con una base de sedimento) eran de coloración clara (notación *Value* >5 y notación *Chroma* >4), mientras que las escápulas inhumadas en estructuras de espacio vacío (estructuras de tejas o de tejas a dos aguas) eran más oscuras (notación *Value* <5 y notación *Chroma* <4). Independientemente de la tipología de la estructura funeraria en la

cual estaban enterradas, el 59,6% de las escápulas (13 derechas y 18 izquierdas) presentaban una coloración homogénea (de tonalidades similares y con pocas manchas) y el 40,4% (13 derechas y 8 izquierdas) eran heterogéneas (con colores muy diferentes o manchas). No se observaron diferencias de coloración entre la cara interna y la externa de los huesos, pero sí pequeñas diferencias entre las escápulas de cada lado (Tabla 17): **las escápulas izquierdas** (en contacto con el sedimento o con la base) **eran de color más oscuro que las derechas** en exposición (notación *Value* <5). Estas diferencias se debieron a que los líquidos de la descomposición se depositan en la base de las estructuras funerarias de espacio vacío o se van filtrando por el sedimento de las fosas, estando en contacto durante más tiempo con los huesos de la base, en este caso las escápulas izquierdas, y pigmentándolos (Pokines, 2016; Pollock et al., 2018).

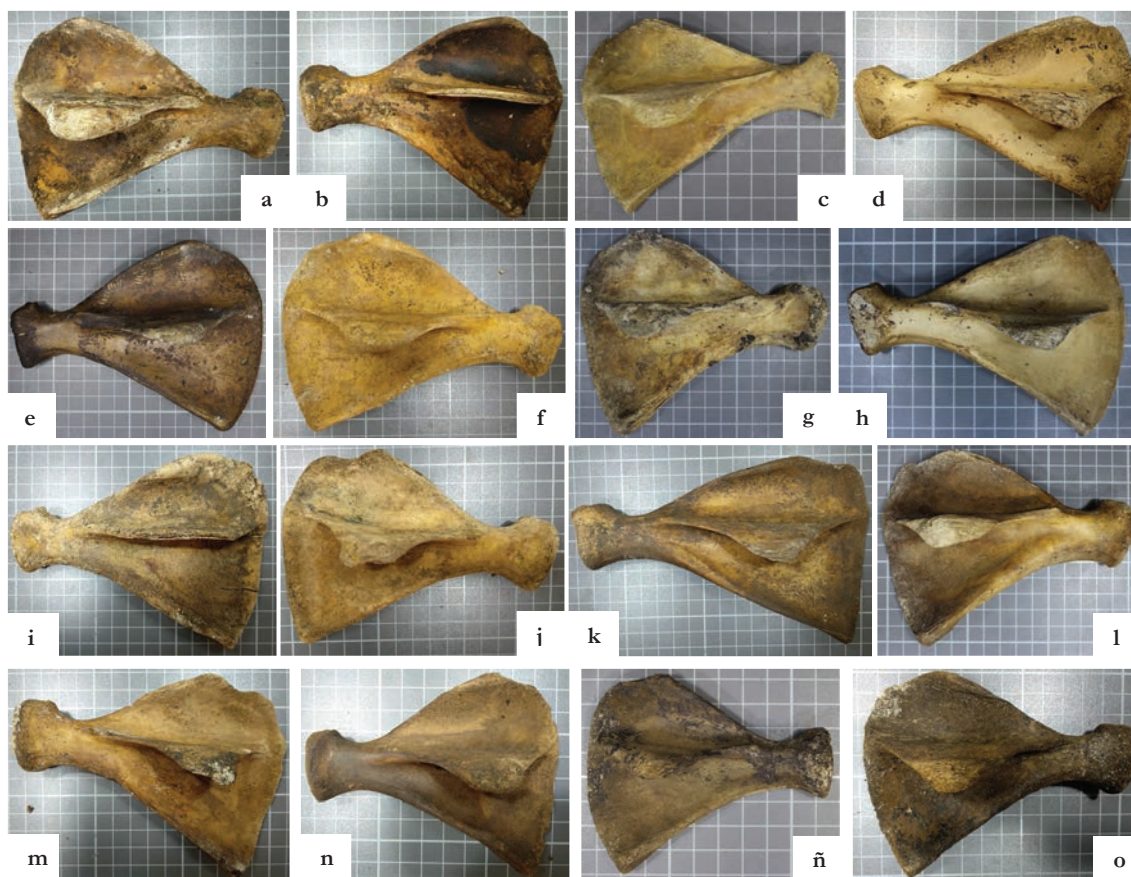


Figura 22 • Notación Munsell (1940) para la descripción de la coloración de las escápulas: (a) 5YR 7/3 en la escápula derecha 01-01, (b) 7.5YR 7/8 en la escápula izquierda 01-01, (c) 7.5YR 7/6 en la escápula derecha 13-19, (d) 7.5YR 6/4 en la escápula izquierda 17-09, (e) 7.5YR 4/6 en la escápula izquierda 03-06, (f) 10YR 7/8 en la escápula derecha 20-04, (g) 10YR 7/6 en la escápula derecha 16-23, (h) 10YR 7/4 en la escápula izquierda 12-20, (i) 10YR 6/8 en la escápula izquierda 07-05, (j) 10YR 6/6 en la escápula derecha 15-25, (k) 10YR 5/8 en la escápula izquierda 04-17, (l) 10YR 5/6 en la escápula derecha 05-26, (m) 10YR 4/6 en la escápula izquierda 25-22, (n) 10YR 3/6 en la escápula izquierda 21-16, (ñ) 10YR 3/4 en la escápula derecha 19-10 y (o) 10YR 3/3 en la escápula derecha 23-15.

Resultados y Discusión

Tabla 17 • Coloración de las escápulas. *Abreviaturas: D = derecha; I = izquierda.*

CÓDIGO	NOTACIÓN MUNSELL	COLOR MUNSEL
01-01 D	5YR 7/3	<i>pink</i>
01-01 I	7.5YR 7/8	<i>reddish yellow</i>
02-03 D	10YR 6/8	<i>brownish yellow</i>
02-03 I	10YR 4/6	<i>dark yellowish brown</i>
03-06 D	10YR 5/8	<i>yellowish brown</i>
03-06 I	7.5YR 4/6	<i>strong brown</i>
04-17 D	10YR 5/8	<i>yellowish brown</i>
04-17 I	10YR 5/8	<i>yellowish brown</i>
05-26 D	10YR 5/6	<i>yellowish brown</i>
05-26 I	10YR 3/4	<i>dark yellowish brown</i>
06-08 D	10YR 3/4	<i>dark yellowish brown</i>
06-08 I	10YR 3/4	<i>dark yellowish brown</i>
07-05 D	10YR 6/8	<i>brownish yellow</i>
07-05 I	10YR 6/8	<i>brownish yellow</i>
08-12 D	10YR 3/6	<i>dark yellowish brown</i>
08-12 I	10YR 3/6	<i>dark yellowish brown</i>
09-13 D	10YR 4/6	<i>dark yellowish brown</i>
09-13 I	10YR 5/8	<i>yellowish brown</i>
10-21 D	10YR 4/6	<i>dark yellowish brown</i>
10-21 I	10YR 4/6	<i>dark yellowish brown</i>
11-07 D	10YR 7/4	<i>very pale brown</i>
11-07 I	10YR 7/4	<i>very pale brown</i>
12-20 D	10YR 7/4	<i>very pale brown</i>
12-20 I	10YR 7/4	<i>very pale brown</i>
13-19 D	7.5YR 7/6	<i>reddish yellow</i>
13-19 I	10YR 7/4	<i>very pale brown</i>
14-24 D	10YR 3/4	<i>dark yellowish brown</i>
14-24 I	10YR 3/3	<i>dark brown</i>
15-25 D	10YR 6/6	<i>brownish yellow</i>
15-25 I	10YR 5/8	<i>yellowish brown</i>
16-23 D	10YR 7/6	<i>yellow</i>
16-23 I	10YR 4/6	<i>dark yellowish brown</i>
17-09 D	7.5YR 6/4	<i>light brown</i>
17-09 I	7.5YR 6/4	<i>light brown</i>
18-02 D	10YR 6/6	<i>brownish yellow</i>
18-02 I	10YR 6/8	<i>brownish yellow</i>
19-10 D	10YR 3/4	<i>dark yellowish brown</i>
19-10 I	10YR 3/4	<i>dark yellowish brown</i>
20-04 D	10YR 7/8	<i>yellow</i>
20-04 I	10YR 6/8	<i>brownish yellow</i>
21-16 D	10YR 3/6	<i>dark yellowish brown</i>
21-16 I	10YR 3/6	<i>dark yellowish brown</i>
22-18 D	10YR 7/4	<i>very pale brown</i>
22-18 I	10YR 7/4	<i>very pale brown</i>
23-15 D	10YR 3/3	<i>dark brown</i>
23-15 I	10YR 3/3	<i>dark brown</i>
24-14 D	10YR 4/6	<i>dark yellowish brown</i>
24-14 I	10YR 3/6	<i>dark yellowish brown</i>
25-22 D	10YR 5/8	<i>yellowish brown</i>
25-22 I	10YR 4/6	<i>dark yellowish brown</i>
26-11 D	10YR 3/4	<i>dark brown</i>
26-11 I	10YR 3/4	<i>dark brown</i>

Por otro lado, se registraron **distintos efectos tafonómicos macroscópicos** sobre la superficie cortical de los huesos y, en especial, de las escápulas (Tabla 18). A continuación, se describen estos efectos y los distintos agentes y procesos que los causaron. Todas las escápulas presentaron distintos tipos de **manchas**: (1) manchas oscuras por la pigmentación de los líquidos de la descomposición que provocaron la coloración heterogénea de los huesos (Figuras 23a-b); (2) manchas verdes por el contacto con algún objeto metálico (Figura 23c); (3) manchas marrones de sedimento adherido (Figura 23b); (4) manchas blancas de cal adherida; (5) manchas de las impresiones de puparios y de huevos de moscas (Figuras 23d-e); (6) manchas amarillas y blancas provocadas por distintas colonias de hongos (Figura 24); y (7) manchas oscuras ramificadas como consecuencia del crecimiento de la vegetación alrededor o sobre las estructuras funerarias (Figura 23f). Las manchas que se observan en los huesos no siempre están relacionadas con las prácticas funerarias, como se ha descrito en varias ocasiones (Botella et al., 2000; Pokines et al., 2015), ya que la exposición permanente a diferentes agentes tafonómicos también provoca cambios de coloración en los huesos (Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Yucha et al., 2017; Pollock et al., 2018). En este estudio, las manchas más grandes y oscuras fueron consecuencia del contacto continuo de los huesos con los líquidos de la descomposición y las manchas verdosas se debieron al contacto con objetos metálicos (Pokines, 2016; Pollock et al., 2018) como los cotrales que llevaban algunos de los animales en el momento de ser enterrados en Taphos-m. Por otro lado, es habitual que los huesos presenten adherencias de las sustancias con las cuales han estado en contacto (Fernández-Jalvo y Andrews, 2016), en este caso de sedimento y cal. Sin embargo, las escápulas enterradas con cal no mostraron los habituales signos de deshidratación ósea que produce este compuesto químico (Botella et al., 2000). Asimismo, aunque es habitual encontrar puparios y huevos junto a los restos cadavéricos en distintos contextos (Nociarová, 2016), es la primera vez que se describen sus impresiones en la superficie cortical de los huesos. Las manchas relacionadas con el crecimiento de algunas colonias fúngicas eran similares a las descritas en otros casos de cuerpos esqueléticos y momificados (p. ej. Ishii et al., 2006; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016), aunque no fueron tan llamativas ni provocaron cambios en el aspecto o cambios de coloración completa como se observó en otros casos (Hitosugi et al., 2006; Janaway et al., 2009; Piñar et al., 2013; Calduch et al., 2018). Las colonias de hongos también fueron visibles en otros huesos (p. ej. costillas), sobre el tejido blando desecado de algunas carcasas y en los fragmentos de la tela de algodón conservada (Figura 24). El crecimiento de la vegetación en Taphos-m fue evidente y se reflejó dentro de las estructuras funerarias, donde las raíces crecieron alimentándose de los nutrientes del sedimento y de las carcasas en descomposición, modificando la superficie cortical de sus huesos (Botella et al., 2000; Schultz et al., 2003; Pokines et al., 2015; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Pollock et al., 2018). Sin embargo, el efecto producido por el crecimiento de las plantas no fue muy agresivo y se limitó a unas pequeñas manchas oscuras ramificadas en la superficie cortical de las escápulas.

Resultados y Discusión

Tabla 18 • Efectos tafonómicos observados en la superficie cortical de las escápulas. *Abreviaturas: D = derecha; I = izquierda; x = presencia.*

REFERENCIA	MANCHAS	MARCAS LINEALES	PUNTOS PERFORACIONES	DESCAMACIÓN	AGRIETAMIENTO	TOTAL
01-01 D	x			x		2
01-01 I	x					1
02-03 D	x			x		2
02-03 I	x					1
03-06 D	x					1
03-06 I	x	x				2
04-17 D	x			x	x	3
04-17 I	x					1
05-26 D	x					1
05-26 I	x			x		2
06-08 D	x		x			2
06-08 I	x					1
07-05 D	x			x		2
07-05 I	x				x	2
08-12 D	x					1
08-12 I	x					1
09-13 D	x	x		x		3
09-13 I	x					1
10-21 D	x					1
10-21 I	x					1
11-07 D	x	x				2
11-07 I	x					1
12-20 D	x					1
12-20 I	x				x	2
13-19 D	x				x	2
13-19 I	x					1
14-24 D	x				x	2
14-24 I	x			x		2
15-25 D	x					1
15-25 I	x					1
16-23 D	x			x		2
16-23 I	x					1
17-09 D	x					1
17-09 I	x					1
18-02 D	x					1
18-02 I	x					1
19-10 D	x					1
19-10 I	x					1
20-04 D	x					1
20-04 I	x					1
21-16 D	x				x	2
21-16 I	x				x	2
22-18 D	x					1
22-18 I	x			x		2
23-15 D	x					1
23-15 I	x					1
24-14 D	x				x	2
24-14 I	x				x	2
25-22 D	x			x		1
25-22 I	x			x		2
26-11 D	x			x	x	3
26-11 I	x		x		x	3
Total	52	3	2	12	11	

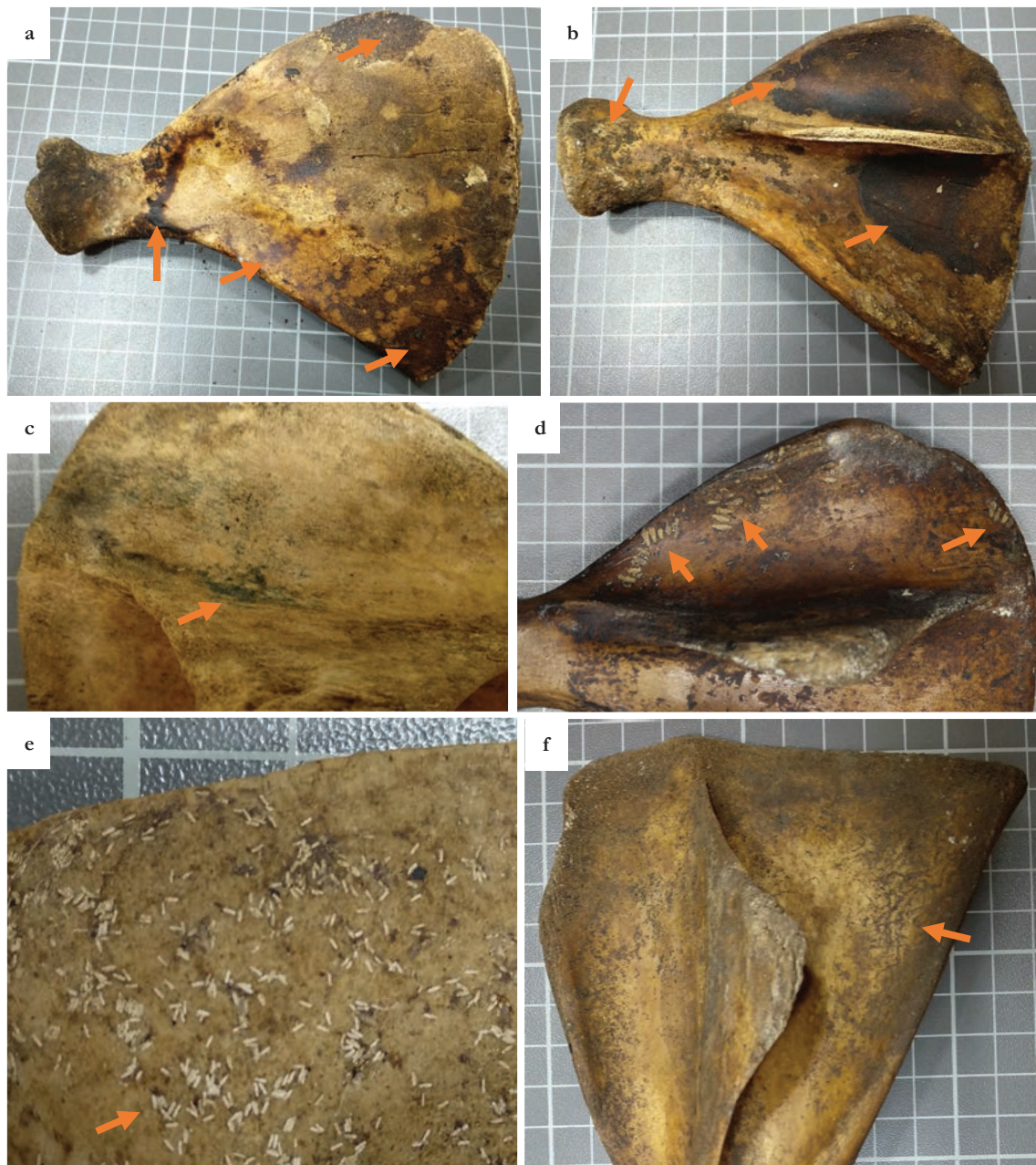


Figura 23 • Manchas en la superficie cortical de las escápulas (flechas naranjas): (a) pigmentación del hueso con los líquidos de la descomposición, (b) pigmentación del hueso con los líquidos de la descomposición, concreciones de sedimento y fragmentación de la espina dorsal, (c) pigmentación verdosa por los crotales, (d) impresiones de puparios y (e) de huevos de moscas y (f) manchas oscuras ramificadas provocadas por raíces.

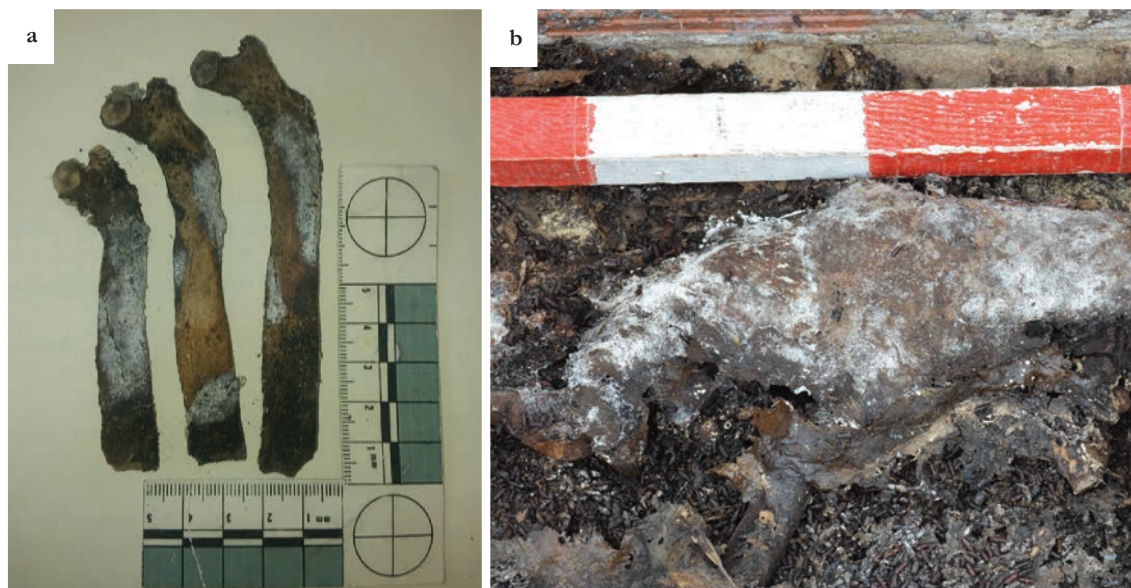


Figura 24 • Manchas blancas en los restos cadavéricos producidas por colonias de hongos: (a) costillas de la carcasa 18-02 y (b) tejido desecado de la carcasa 19-10.

Se observaron **marcas lineales en forma de garabato** en las escápulas derechas 09-13 y 11-07 e izquierda 03-06 que podrían vincularse con la acción de algún animal (Figura 25), aunque no se han encontrado evidencias similares en la bibliografía. Por ello, también se podrían considerar como impresiones de los vasos sanguíneos. Es habitual dudar a la hora de interpretar las marcas lineales de los huesos, sobretodo si pertenecen a individuos no adultos. De hecho, en otros trabajos confundieron las típicas marcas de vascularización con marcas de cortes (Haglund y Sorg, 2002).

En la escápula derecha 06-08 y en la escápula izquierda 26-11 se observaron **perforaciones** producidas por distintas herramientas utilizadas durante la apertura y excavación de las estructuras funerarias (Figura 26a). Este daño óseo se vinculó a la experiencia (Haglund y Sorg, 2002; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016) que pudieran tener los participantes de las distintas intervenciones en Taphos-m.

En 12 escápulas se identificaron signos de **descamación** (Figura 27a), probablemente por el contacto prolongado de la superficie cortical de los huesos con el sedimento. La escápula izquierda 14-24 estaba enterrada en una estructura de tejas sin base de sedimento y también presentó signos de descamación, en este caso, provocados por el contacto continuo del hueso con las tejas. La descamación importante de la superficie cortical también puede provocar la perforación de los huesos (Pokines et al., 2015), como ocurrió en algunas escápulas de Taphos-m (Figura 26b).

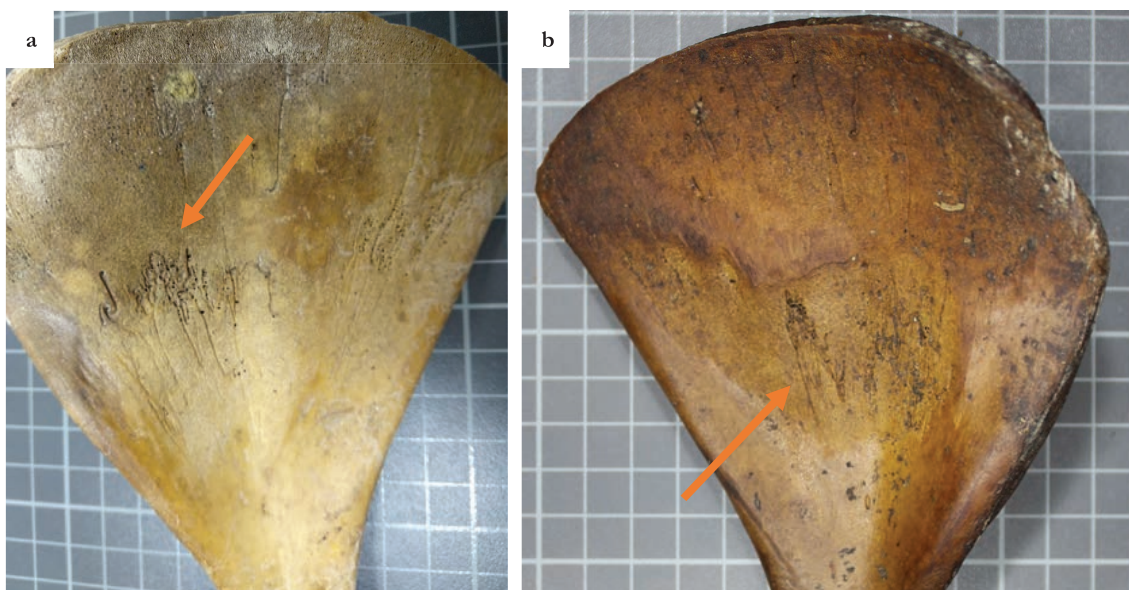


Figura 25 • Marcas lineales en forma de garabato (flechas naranjas): (a) escápula derecha 11-07 y (b) escápula izquierda 03-06.

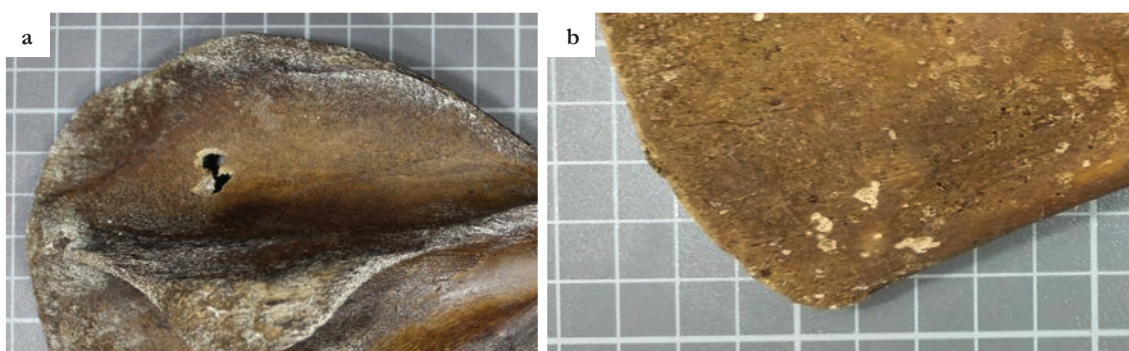


Figura 26 • Perforación de la superficie cortical: (a) escápula derecha 06-08 y (b) escápula izquierda 26-11.

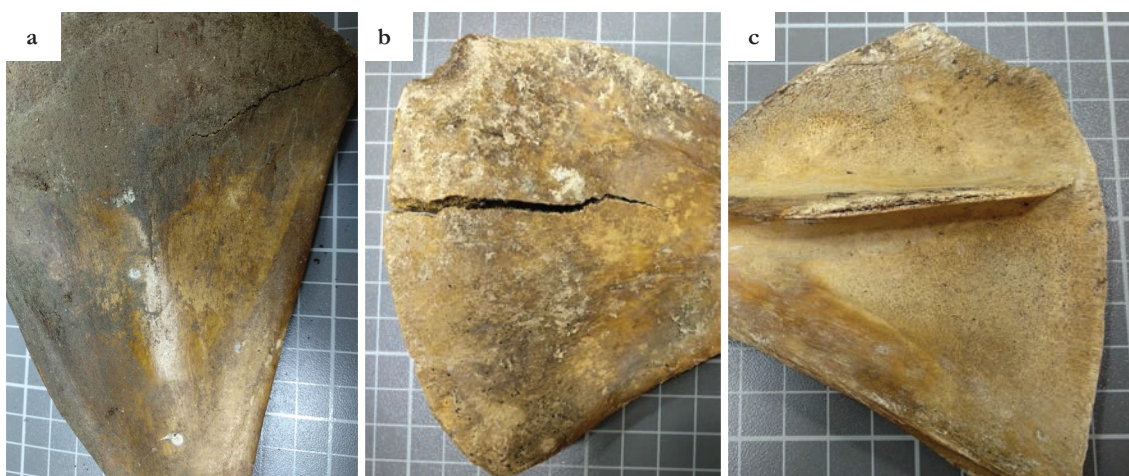


Figura 27 • (a) Grieta y leve descamación en la escápula derecha 04-17, (b) grieta en la escápula izquierda 07-05 y (c) exfoliación y fragmentación de la espina dorsal en la escápula izquierda 22-18.

El **agrietamiento** de la superficie cortical fue visible en 11 escápulas (Figura 27b), 10 de las cuales se enterraron en fosas simples. Estas grietas pudieron ocasionarse como consecuencia de la presión del sedimento sobre los restos cadavéricos (Fernández-Jalvo y Andrews, 2016) y/o durante la excavación, ya que se observaron más escápulas derechas que izquierdas agrietadas.

Todas las escápulas presentaron mínimos síntomas de **exfoliación** (Figura 27c) causados por el contacto permanente de los huesos con la base de las estructuras funerarias de sedimento, tejas o piedras. El nivel de exfoliación de los huesos era compatible con el daño óseo observable en los esqueletos enterrados durante 3-6 años (Behrensmeyer, 1978; Fernández-Jalvo y Andrews, 2016; Schotsmans et al., 2017). Varios estudios del contexto cementerial describieron modificaciones similares en la superficie cortical de ciertos huesos (*coffin wear*) como consecuencia del contacto del cuerpo en decúbito supino (puntos de presión) con el ataúd (Eliopoulos et al., 2011; Nociarová, 2016).

Todas estas modificaciones (agrietamiento, exfoliación, descamación y conservación de tejido desecado) coincidieron con los cambios óseos típicos de **los estadios 0-2 de la escala de meteorización de Behrensmeyer (1978)**, correspondientes a un periodo de enterramiento entre 0 y 6 años. Todas las carcasas estaban enterradas en estructuras funerarias bajo tierra, bastante protegidas de los agentes externos. Por ello, a pesar del tiempo prolongado de los enterramientos (más de 3 años), el daño óseo fue mínimo. De hecho, la mayoría de las escápulas sólo presentaron un efecto tafonómico en la superficie cortical (Tabla 18). Estos resultados confirmaron que el **lugar del depósito no solo afecta a la distribución espacial ósea de los restos cadavéricos** (Duday, 1990; Duday et al., 1990; Nociarová, 2016), sino que también **produce una serie de modificaciones en la superficie cortical de los huesos** (aunque sean mínimos), **permitiendo interpretar el contexto y los procesos tafonómicos ocurridos** (Fernández-Jalvo y Andrews, 2016). Es muy importante describir con precisión los efectos tafonómicos observados en los restos cadavéricos para así evitar **errores en la interpretación de los resultados** (Fernández-Jalvo y Andrews, 2016). Teniendo en cuenta los agentes y procesos responsables de los distintos efectos tafonómicos observados en las carcasas y en las escápulas (Tabla 19), sería interesante realizar estudios histológicos, tanto de hueso como de tejido blando desecado, para conocer en detalle la afectación producida por cada uno de ellos.