



José Yravedra Sainz de los Terreros

TAFONOMÍA APLICADA  
A ZOOARQUEOLOGÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

## CAPÍTULO 8

# LOS PROCESOS DE ALTERACIÓN BIOLÓGICOS



## 8.1. LOS CARNÍVOROS

Ya se han comentado algunas cosas sobre la alteración que producen los carnívoros en las acumulaciones óseas, de hecho no sólo alteran de forma determinante la representación esquelética, sino que también las trazas que puedan haber hecho otros agentes previos como los humanos, así lo reflejan Maltby (1985) y Grayson (1988) al decir que las marcas de diente pueden destruir las de corte o Liessau Von Lettow-Vorbeck (1998)

Los carnívoros influyen en la desaparición y enmascaramiento de las marcas de corte igual que la acción postdeposicional, la erosión, las concreciones y la abrasión.

Por esta razón, es importante conocer como son las alteraciones que producen los carnívoros sobre el registro ya que pueden confundirse con las marcas de percusión como ya se señaló anteriormente. Su desconocimiento puede provocar que determinados patrones producidos por los carnívoros sean asociados a la intervención humana. Así, D'Errico & Vila (1997 a, b, 1998), Villa & Bartram (1996, 1997) o D'Errico *et al.* (1998) han mostrado que gran cantidad de objetos óseos interpretados como elementos simbólicos en realidad son fruto de la acción de estos agentes. Igualmente, etnográficamente también se ha documentado como determinadas marcas de diente no se deben a la acción natural sino a la antrópica (Oliver, 1993), pero salvo excepciones como ésta, lo normal es que pertenezcan a los carnívoros, los roedores o los herbívoros.

Entre los carnívoros, el agente más destructivo es la hiena, pero todos los carnívoros producen marcas de dientes. Los primeros análisis de alteraciones realizadas por carnívoros comenzaron en el siglo XIX y principios del XX (Bouckland, 1823; Tourmel, 1833; Morlot, 1861; Wyman, 1868; Martin, 1907-10; Avebury, 1913), pero no será hasta los años 80 con los trabajos de Binford (1981) y Brain (1981) cuando empiecen a ser analizadas de manera sistemática las trazas producidas por estos agentes.

Las marcas de diente son de aspecto sinuoso de sección roma y obtusa (López González *et al.*, 1997), tienen sección en forma de U, fondo plano, bordes redondeados y una longitud variable (Bunn, 1981; Binford, 1981; Shipman, 1983; Eichkoof & Herman 1985; Reisach, 1986; Solomon & David, 1990; Blasco, 1992; Martínez Moreno, 1993; Blumenschine *et al.*, 1996). Para algunos autores como Haynes (1983 a) cada diente muestra una forma peculiar presentando cada una forma diferenciada, así en otro trabajo Solomon & David (1990) indican que las incisiones suelen producirlas con los incisivos, los *scores* o surcos los caninos y el *pitting* o mordisqueo las muelas carniceras. La anchura de los surcos de las marcas de diente son mayores que las de marcas de corte, la anchura media de la marca de un diente es de 0,70 mm (0,05-3 mm) frente las de corte en sílex de 0,23 mm (0,05-4,2 mm) (Bunn, 1981), las marcas de dientes no tiene surcos internos y presentan fondos sinuosos y una sección redondeada. Los surcos son alargados anchos, profundos y de sección en U, pero la anchura es mayor que la profundidad y su orientación suele ser transversal al hueso (Binford, 1981; Haynes, 1983; Reisach, 1986).

Como los diferentes procesos de alteración humana las marcas de diente también se pueden dividir en diferentes tipos. Así Crader (1983) y gran variedad de autores han identificado depresiones, punciones, canales y otras alteraciones que a continuación se exponen.

Las *Chattering Marcks* (Blasco, 1992, Liessau Von Lettow-Vorbeck, 1998) son el negativo de las mordeduras de los carnívoros, es la típica forma de picos y valles que dan sensación de aserramiento, también se lo ha llamado *stteping* o dentellada que se caracteriza por mostrar una superficie ósea dentada.

*Rewaging* (Binford, 1981) es el colapso de la epífisis y luego de la diáfisis en dirección de las fibras de colágeno

*Chipping* o microdenticulados (Martin, 1907-10; Blasco, 1992) son astillas, de bordes apuntados y se suelen confundir con productos de utilidad humana por eso se los llama pseudoútiles y se los ha calificado como compresores o percutores (Bordes, 1961).

*Punctures* (Sutcliffe, 1970 a, b; Shipman, 1981 a, b; Binford, 1981; Horwith & Smith, 1988; Solomon & David, 1990; Blasco, 1992; Fernández Rodríguez, 1992-93; Fisher, 1995; Liessau Von Lettow-Vorbeck, 1998; Costamagno, 1999; Giacoboni & Patou Mathis, 2002, figs. 26-27) también llamadas perforaciones (Domínguez, 1994 b) son perforaciones y depresiones circulares que colapsa la cortical y que no tienen porque ir asociados a otros tipos de marcas, resultan de la presión de los dientes sobre el tejido esponjoso, mostrando el negativo del diente y pueden presentar tejido óseo machacado en su interior. Muestran lo que se ha llamado puntos de impacto (*Chipped bones*) y bordes semicirculares acanalados (*Crematulated edges*) y bordes irregulares (Giacoboni & Patou Mathis, 2002). Puede ir asociado a *Scores* y a veces produce fracturas en espiral. A principios de siglo los rodeó cierta polémica al confundirse con silbatos (Lartet & Christy 1865-75; Martin, 1907-1910) o útiles óseos. En esta categoría se incluye los *Punctures Hole* o *Punch* (agujero de punción) (Bonnichsen, 1973; Horwitz & Smith, 1988, fig. 3 a; Fernández Rodríguez, 1992-93; D'Errico & Vila, 1990). Para Hill (1980) tiene un diámetro de 5-10 mm y para Horwith & Smith de hasta 11 mm. Son perforaciones redondas y profundas con sección en U, con cierto astillamiento en la periferia fruto del resquebrajamiento y hundimiento del hueso por el efecto de la presión de los dientes, para Bonnichsen es el atributo más característico de los carnívoros. Fruto de la perforación los bordes son aserrados y almenados. Para Binford es el resultado directo del consumo de carne, llegan atravesar la superficie ósea y son diferentes de los *Shallow pitting* en el sentido de que se producen en las diáfisis o metadiáfisis llegando a perforar el hueso. Esto ha provocado que algunos restos óseos sean confundidos con objetos musicales y otros útiles vinculados a la manipulación antrópica, lo cual ha sido ampliamente discutido por

D'Errico & Vila (1997 a, b, 1998) y D'Errico *et al.* (1998). En algunos casos la propia alteración química que producen los procesos digestivos pueden provocar *holes* (D'Errico & Vila 1997 a, b 1998), aunque Brain (1970) usó este término para referirse a las perforaciones que presentan los cráneos de *Australopithecus* producidos por la mordedura de los carnívoros.

*Shallow pitting* (Maguire *et al.*, 1980; Salomon & David, 1990; Lyman, 1994) son perforaciones redondeadas que no llegan a travesar el hueso cuando se trata de tejido esponjoso. Para Shipman (1981 a: 366) es cualquier cúspide de un diente, y sobre esto, Fisher (1995) y Maguire *et al.* (1980, p. 88) dicen que son difíciles de distinguir las marcas de diente humanas de las que producen las hienas, ya que entre los hotentotes se han documentado marcas de diente antrópicas.

*Pitts* (Binford, 1981; Haynes, 1983; Johnson, 1985; Reisach, 1986; Salomon & David, 1990; Blasco, 1992) o depresiones (Domínguez, 1994 b) es el *Gnagwing* o mordisqueo generalizado. No llega a colapsar la cortical aunque para Eickoff & Herman (1985) sí suele ir asociado a depresiones lineales y circulares, y otras marcas. Para Horwitz & Smith (1988, fig. 1 c) son pequeños agujeros poco profundos con márgenes gruesos y para Costamagno (1999 b) son pequeñas depresiones circulares poco profundas presentes sobre zonas compactas de huesos resistentes a la acción de los dientes.

*Scores* (Bonnichsen, 1973; Binford, 1981; Costamagno, 1999; Selvaggio, 1994 a; Giacoboni & Patou Mathis, 2002, figs. 17-18) o surcos (Reisach, 1986; Domínguez, 1994 b) o scratches (Giacoboni & Patou Mathis, 2002) son depresiones lineales en forma de canal producidos por el arrastre de dientes sobre las diáfisis y también sobre las epífisis que suelen ser al menos tres veces más largo que su ancho, no colapsa la cortical y va asociado a depresiones circulares y a diferencia de las marcas de corte no se estrechan en los bordes y se mantienen de manera uniforme.

Los *Furrows* o *Furrowing* (Sutcliffe, 1970; Maguire *et al.*, 1980; Binford, 1981; Haynes, 1980 a, fig. 2-16, b, 1983; Horwith & Smith, 1988, fig. 1 a; Blasco, 1992; Fernández Rodríguez, 1992-1993; Lyman 1994; Domínguez, 1994 b) son el mordisqueo de



epífisis, depresiones circulares que llegan a colapsar la cortical, va asociado a depresiones lineales y *Scores*. Puede producir la desaparición de las epífisis y formar los llamados *cilinde Channeled bones* de Haynes (1980, fig. 2), Horwitz & Smith (1988) y Fernández Rodríguez (1992-1993) diferencia el *furrowing* de los *furrows*. El primero es el roído de los tejidos óseos blandos y el segundo se da sobre las diáfisis y metadiáfisis, son incisiones de carácter profundo y anchos situados transversalmente al eje longitudinal del hueso y se relacionan con el colapso de la epífisis, presentado los bordes superficies irregulares. El *furrow* puede producir lo que se han llamado los *windows* (Singer, 1956; Sutcliffe, 1970; Fernández Rodríguez, 1992-93) que es cuando el *furrow* produce agujeros en la diáfisis. El *Furrowing* excesivo produce el *scooping out*, el *channeled bones*, *tooth notches* y el *chipping back* que es el mordisqueo desde las superficies externas y puede ocasionar superficies redondeadas (Bonnichen & Will, 1980; Binford, 1981; Brain, 1981; Bunn, 1981, 1989; Bunn *et al.*, 1980). Dentro de esta categoría se podría incluir el *crushing* (Binford, 1981; Haynes, 1983) que es la pérdida de tejido esponjoso dejando a la vista el tejido trabecular. El *Ragged-edged chewing* (Maguire *et al.*, 1980; Binford, 1981; Lyman, 1994) es lo que aparece en los extremos proximales de las diáfisis al ser colapsada o el asechado que llaman Capaldo & Blumenschine, 1994).

*Tooth scratches* (Shipman 1981 a 365; Haynes, 1980 a, fig. 1, 7, 1983; Reisach, 1986; Pérez Ripoll, 1987, 1992; Blasco, 1992; Liessau Von Lettow-Vorbeck, 1998), *scoring* (Binford, 1981), *striations* (Fernández Rodríguez, 1992-93), acanaladuras (Fernández Rodríguez, 1992-93) o *gouge marks* (Maguire *et al.*, 1980; Brain, 1981; Horwitz & Smith, 1988) son estrechas y cortas líneas de marcas paralelas o transversales en forma de rayado. Aparece en las cañas de los huesos largos y tiende a seguir la superficie ósea, presentan el fondo rugoso y van en dirección transversal a la diáfisis y pueden desarrollarse de forma paralela. Se producen por el arrastre que hace los carnívoros de sus dientes para afilarlos.

Las *Groves* (Blumenschine & Selvaggio, 1988; Marshack, 1991; White, 1992; Fisher, 1995; D'Errico & Vila, 1997 a) son marcas

con sección en U, y parecen como valles abiertos en su sección con un eje redondeado y alargado.

La acidez de digestión (Kitching, 1963; Sutcliffe, 1970 a; Brain, 1981; Denys *et al.*, 1987; Salomon & David, 1990; Schmith & Juel, 1994; D'Errico & Vila, 1997 a, b, 1998; Vila & Bartram, 1996, 1997; Liessau Von Lettow-Vorbeck, 1998) es el resultado de la regurgitación en el que se combina la acción de las encimas y la acidez del estómago, suelen presentar bordes agudos y redondeados, adelgazamiento de los bordes, porosidad en el tejido óseo, pulidos, perforaciones, brillo y agujeros. Los *Hole* (D'Errico & Vila, 1997 a) son agujeros elípticos, circulares o con circunferencia incompleta o completa y microconcauidades de 12 mm como máximo. En Bois Rouge pueden llegar alcanzar el diámetro de 0,4 y 9,1 mm y pueden producirse en todos los elementos aunque se suelen concentrar sobre los elementos compactos igual que en Lunel Viel. Payne & Munson (1986) ven que las corrosiones producidas por perros dejan superficies corroídas brillantes y los bordes rotos muy delgados y agudos. También pueden presentar cierto redondeamiento (Schmitt & Juel, 1994), gran corrosión y cambio de coloración producida por la acción ácida de los jugos gástricos, aunque en función de la densidad y del tipo de hueso, la acción de estos fenómenos puede ser mayor o menor, de forma que los elementos menos densos como la pelvis o la escápula sufren una acción química mayor que los más densos.

Por último, habría que incluir las alteraciones salivares (Cáceres, 2002) producidas por las encimas salivares al morder el hueso, las cuales producen pulidos, redondeamientos y depresiones de pequeñas proporciones en los bordes de fractura.

Junto a los carnívoros las aves también pueden producir estas alteraciones, pero en un grado menor (Denys *et al.*, 1987; Stallibras, 1990; Gautier, 1993; Hocket, 1996). De esta forma, Denys *et al.* (1987) ha diferenciado las alteraciones químicas que sufren los restos de micromamíferos en egagrópilas y coprolitos y ha visto, que en las egagrópilas la fragmentación es menor, de forma que pueden estar representados todos los elementos anatómicos siendo el porcentaje de elementos completos del 0 al 43% y no hay elementos craneales.

TABLA 8.1  
*Resumen de los patrones de alteración ósea de carnívoros*

Denominación	Descripción	Situación	Función
Pitts, depresiones, Groves.	Marcas de cúspides, aspecto circular de sección en U, fondo plano y bordes redondeados.	Diáfisis, metadiáfisis y epífisis.	Sujetar el hueso.
Scores, surcos, scratches, Tooth scratches.	Marcas alargadas, anchas y profundas con bordes redondeados sección en U y fondo plano.	Metadiáfisis y diáfisis.	Arrastre de dientes.
Scoring, gouge marks, striations, acanaladuras.	Estrechas y cortas líneas de marcas paralelas o transversales en forma de rayado.	Diáfisis y metadiáfisis.	Afilado de dientes.
Furrows o Furrowing Pitting, Gnawing, revawing Mordisqueo, scooping out, el channeled bones, tooth notches y el chipping back, crushing, Ragged-edged chewing.	Es el roído de huesos. El furrowing se refiere a epífisis y furrow a diáfisis.	Epífisis y elementos axiales.	Mordisqueo, colapso de epífisis puede crear los cilindros (furrowing) o windows (furrow).
Punctures, perforaciones, Shallow pitting lleva asociado los chipped bones y crematulated edges.	Son depresiones de aspecto circular resultado de la presión del diente sobre la epífisis. No llega a atravesar la cortical.	Epífisis y elementos axiales.	Sujeción del hueso y colapso de la cortical.
Puncture Hole, puncion holes o Punch.	Es igual pero atraviesa la cortical.	Metadiáfisis y diáfisis.	
Hole.	Perforación producida por acción química.	Elementos esponjosos.	Procesos digestivos.
Chattering Marcks o Stteping. Chipping.	Bordes aserrados. Astillas.	Bordes de diáfisis. Diáfisis.	Fracturar el hueso.



FIGURA 8.1. Furrowing producido por cánidos.



FIGURA 8.2. Furrowing producido por cánidos.



FIGURAS 8.3 Y 8.4. Furrowing producido por cánidos, figura 8.4 muestra además colapso total de la epífisis.

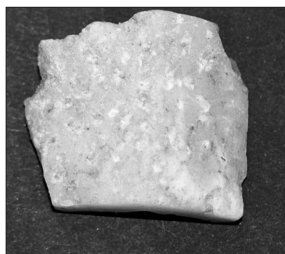


FIGURA 8.5. Pitts y pitting.



FIGURA 8.6. Pitts, colapso de la epífisis y scores.



FIGURA 8.7. Scores.



FIGURA 8.8. Scores, pits y Punction hole.

La acción química de estos procesos presenta similares características, produciendo en ambos casos la eliminación de tejidos esponjosos, agujeros, cúpulas y crestas erosivas, pulidos de epífisis, descamaciones de las superficies rugosas, craquelados, etc., con la diferencia que con los coprolitos todos estos procesos se agudizan.



FIGURA 8.9. Punction o Puncture Hole *de zorro sobre tibia de cabra*.  
*Colección personal de referencia.*



FIGURA 8.10. Punction o Puncture Hole *de zorro sobre tibia de cabra*.  
*Colección personal de referencia.*

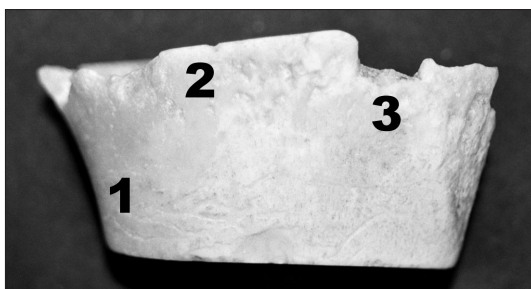


FIGURA 8.11. 1. Score; 2. Pit; 3. Punctures. *Colección personal.*

Stallibras (1990) ha diferenciado también las alteraciones químicas que presentan los huesos de los coprolitos de zorros y pequeños félidos. En ambos la acción destructiva es muy alta. Las epífisis de los coprolitos de zorros a veces resisten la actividad destructiva, aunque cuando lo hacen presentan agujeros. En los felinos tienen un aspecto más redondeado. En cualquier caso destaca en ambos el alto nivel de corrosión que tienen tanto los dietes como los huesos.

Mondini (2000) también estudia los conjuntos escatológicos producidos por zorros y observa fenómenos similares a los de Stallibras, así los elementos craneales y axiales suelen estar muy alterados y tan sólo en el 4% de los restos presentan conexiones anatómicas, en el estudio de Mondini (2000), la fragmentación también es muy alta y se ve que la identificación se reduce a medida que aumenta la talla del animal, ya que la fragmentación aumenta. El nivel de corrosión no es demasiado alto, sólo un 8%, pero en algunos casos la corrosión no sólo afecta a las caras externas de los huesos, sino que también a las medulares de los huesos largos. Como en los estudios antes referidos, los procesos digestivos provocan junto a la corrosión, pulidos superficies brillantes y bordes de fractura redondeados.

Dentro de las marcas de diente, diferentes autores han tratado de distinguir el agente responsable en función del tamaño de la marca, de esta forma diferentes autores ofrecen bastantes medidas. El primero de ellos fue Martín (1906, 1907-10) que habla de que las marcas de cánidos son de hasta 5 mm, después Brain (1970) y Guthie (1990) tratan de medir la distancia entre los caninos de diferentes carnívoros y compararlos con la distancia existente entre los *holes* o perforaciones que presentaban los cráneos de bisonte (Guthie, 1990) y *Australopithecus africanus* (Brain, 1970). Así obtienen que en el caso del bisonte murió por la acción de un félido grande y en el del homínido por un leopardo.

En lo referente a las medidas de las marcas propiamente dichas, hay varios trabajos como los de Haynes (1983), Solomon & David (1990) y Pickering & Walis (1997) pero conducen a cierta equifinalidad. En el caso de Haynes (1983) al referirse a las alteraciones que hacen hienas y lobos, y en los otros sólo al referirse a los *Scores* de chimpancés, dingos, hienas y chacales. Lo cual según

TABLA 8.2  
*Distancia en mm entre los caninos de diferentes carnívoros*  
 (Brain, 1970; Guthie, 1990)

<b>Distancia en mm entre caninos</b>		
	<b>Maxilar</b>	<b>Mandíbula</b>
Mangosta (Brain 1970)	10-13 mm	9-13 mm
Zorro (Brain 1970)	14-19 mm	11-16 mm
Chacal (Brain 1970)	21-28 mm	21-26 mm
Leopardo (Brain 1970)	30-50 mm	30-41 mm
Hiena (Brain 1970)	40-60 mm	42-57 mm
Dientes de Sable (Brain 1970)	50-70 mm	–
León (Brain 1970)	60-80 mm	53-69 mm
Lobo (Guthie, 1990)	40 mm	
Dientes de sable americanos (Guthie, 1990)	Hasta 85 mm	
Grizzly (Guthie, 1990)	60 mm	

se muestra en Domínguez & Piqueras (2003) al comparar los *scores* de hiena, papión, oso, chacal, león y perro no es una alteración diagnóstica para definir tipos de carnívoros, ya que el rango de variabilidad que producen es muy amplio (tabla 2 de Domínguez & Piqueras, 2003).

En este trabajo al que nos referimos y en otro de Selvaggio & Wilder (2001) se ofrecen las medidas de *pits* de diferentes carnívoros, las cuales ofrecen un amplio margen de variabilidad según el estudio tratado. De todas formas y en función del tamaño de los *pits*, es posible diferenciar el tipo de carnívoro. Así, Domínguez & Piquetas (2003) tras establecer una correlación entre la longitud y la anchura establecen que las marcas menores a 4 mm las pueden producir todos los carnívoros, pero los chacales, leopardos y guepardos no sobrepasaran los 4 mm. Cuando el tamaño es entre 4 y 6 mm la producirán todos los carnívoros de tamaño medio a excepción de los félicos menores antes referidos, y destacaran en este rango las marcas producidas por oso, perro y babuino. Por último las que superen los 6 mm sólo podrán realizarlas los leones o las hienas.



TABLA 8.3  
*Medidas en mm de carnívoros actuales a partir de Selvaggio & Wilder, (2001) y Domínguez & Piqueras (2003)*

<b>Selvaggio &amp; Wilder (2001) longitud en mm pitts</b>				
<b>Carnívoro</b>	<b>Cortical</b>		<b>Epífisis</b>	
Hiena	2,4	5	21,5	
Guepardo	1,4	4,5	3,2	
Leopardo	2,2	3,2	6,7	
León	5,5	20	18	
Chacal	0,3			
<b>Domínguez &amp; piqueras (2003) en mm pitts</b>				
	<b>Epífisis</b>		<b>Diáfisis</b>	
	<i>Long</i>	<i>Anch</i>	<i>Long</i>	<i>Anch</i>
Hiena	7,4	5,3	3,2	2,4
Babuino	4,6	3,5	2,5	1,5
Chacal	3,5	3,5	1,5	1
Oso pardo	5,2	3,7	3	2
Perro	4,9	3,3	3,8	3,4
León	6,5	4	3,5	2
<b>Domínguez &amp; Piqueras (2003) en mm scores</b>				
	<b>Epífisis</b>		<b>Diáfisis</b>	
	<i>Long</i>	<i>Anch</i>	<i>Long</i>	<i>Anch</i>
Hiena	13,4	5	7	1
Babuino	4,5	3,5	8	1
Chacal			3,4	0,4
Oso pardo	10,6	2	11	1,6
Perro	13	2	13	1,5
León	23,7	5	8	2

Siguiendo otro tipo de planteamiento algunos autores tratan de diferenciar el agente responsable en función de la morfología y

los perfiles que produce cada carnívoro. Así Domínguez (1994 b) muestra diferentes patrones (tabla 8.4) y los trabajos Haynes (1983 a) también llega a ciertas conclusiones

En primer lugar, se ve que todos los carnívoros consumen preferentemente los mismos tipos de huesos y las mismas partes, pero los porcentajes de representación de marcas que deja cada carnívoro difiere de unos a otros, siendo la hiena el agente más importante. El grado de prominencia que dejan las marcas es mayor en los osos seguido de las hienas, los canidos y los félidos. Las medidas que ofrece para las marcas son para el lobo de 2-3 mm de ancho por 1 mm de profundidad, en el oso la variabilidad abarca desde 1,5 mm a 9 mm, y para las hienas de 3.5 mm por 3,5 mm de profundidad. Por último, distingue el tipo de impresión como es de aspecto rectangular en el caso del oso y redondeado en los demás. En otro trabajo, Solomon & David (1990) estudian los

TABLA 8.4

*Alteraciones producidas por carnívoros según Domínguez (1994 b)*

Tipos	León	Leopardo	Guepardo	Hiena	Hiena Cubil
Perforación o <i>Puncture.</i>	Raro en cráneo, pelvis y costilla.	Se da en cráneo, íleon y vértebras.	Raro, sólo en pelvis.	Sólo en el cráneo.	Sólo en el cráneo.
Surcos o <i>Pitt.</i>	Cuando el consumo es poco intenso no es corriente, cuando lo es aparece sobre epífisis.	Aparece sobre mandíbula, pelvis y metadiáfisis de huesos largos.	A veces en extremidades.	Aparece en metadiáfisis.	Aparece en todas las extremidades y en cualquier parte.
Mordisqueo o <i>Pitting.</i>	Asociación con surcos es raro y cuando aparece lo hace sobre húmero y fémur.	Raro, sólo en la tibia a veces.	Disposición aislada cuando aparece.	Suele estar asociado a surcos.	Es bastante frecuente.
Extracción del tejido óseo o <i>Furrowing.</i>	Es bastante intenso, especialmente en vértebras.	Frecuente en vértebras, íleon y epífisis.	Vértebras y pelvis.	Frecuente en epífisis y esqueleto axial.	Frecuente en epífisis y esqueleto axial.

patrones dejados por los dingos y observan los mismos patrones que Haynes para los lobos, así destruyen los mismos huesos, como las costillas, las vértebras y las epífisis de los elementos largos. Las medidas de los *scores* son de 2-2,55 mm de longitud por 0,8-1,2 mm de ancho, en el caso de sus impresiones son de aspecto oval y suelen dejar todos los tipos de marcas descritos.

Junto a las marcas producidas por los grandes carnívoros se pueden añadir las realizadas por otros agentes como la de pequeños carnívoros, roedores, herbívoros, reptiles y otros animales (Gautier, 1993). Antes de referimos a los pequeños carnívoros, se podría hablar de las alteraciones que producen algunos animales como los cocodrilos, que no dejan de ser grandes carnívoros. Sobre sus alteraciones no hay muchos trabajos publicados, tan sólo se puede recoger una cita de Davidson & Solomon (1990) en relación con las marcas de diente que presenta el cráneo de OH 7 con una serie de marcas alargadas de hasta 0,4 cm de grosor, poco profundas de 1 mm a 1,5 mm, y de longitud bastante variable oscilante entre 12 mm y 4,5 cm y anchos de hasta 5,3 mm. También, Blumenschine ha mostrado algunas de las marcas que producen, las cuales son sucesiones de marcas alargadas y bastante anchas. Davidson & Solomon (1990) nos indican, además, que los huesos comidos no tienen por que fragmentarse pero suelen presentar fuertes descalcificaciones. Entre los huesos ingeridos se suelen consumir todos excepto los que son muy largos o los curvados como la cabeza. La morfología de las marcas que producen son los mismos tipos a los que nos hemos referido.

Por último, habría que referirse a las marcas que hacen los primates. El motivo de que se hayan incluido entre los carnívoros es porque producen los mismos tipos que éstos. Así en un trabajo de Pickering & Walis (1997) muestran como los chimpancés producen *scores*, *pits* (Pickering & Walis, 1997, figs. 1, 4) y *punctures* (fig. 5). La masticación producida por chimpancés incluyen además de estas alteraciones también *Crenaluted edges* (Muguire *et al.*, 1980; Binford, 1981; Brain, 1981) que es cuando se muerden los bordes de las epífisis o los huesos espinosos. Produce los *Step Fractures* (Binford, 1981; Shipman *et al.*, 1981; Johnson, 1985; Marshall, 1989), que es cuando se parten los huesos por tensión horizontal

como muestra la figura 2 a de Pickering & Walis (1997). El *Peeling* (White, 1992) que se produce sobre los extremos de las costillas (fig. 2 b y 3 de Pickering & Walis, 1997). Las *pits* y *Shallow pits* (Pickering & Walis, 1997, figs. 1, 3, 4b y 5b). Destaca en este sentido la asociación de *pits* y *scores* en un 90% de los casos de los huesos que presentan *pits*, así de un total de 38 huesos con *pits*, 34 tienen *scores*, algo que también es normal entre los carnívoros. Los *scores* aparecen en 39 restos lo que equivale al 54%, la diferencia de los *scores* de los chimpancés frente a las de otros carnívoros es que son más anchos, como refleja el rango de anchura de entre 0,23 mm y 3,1 mm teniendo una media de 1,33 mm frente a los carnívoros que es en chacal 0,55 mm o 0,48 en hienas, lo cual puede deberse a la morfología diferencial de los molares de carnívoros y chimpancés (Pickering & Walis, 1997). Otras alteraciones que producen son el *Chipping beck* y el *puncturing* o *crushing* de morfología similar a la de los carnívoros.

## 8.2. LOS PEQUEÑOS CARNÍVOROS

Las marcas producidas por los carnívoros de pequeña talla no difieren mucho de las que se acaban de comentar, la diferencia es que en estas el grado de alteración es menor y no se producen tantos tipos como entre los grandes carnívoros, además los índices de fragmentación en las madrigueras de los pequeños carnívoros no son tan altos como en la de los grandes carnívoros, así, entre el 0 y el 42% de los restos aportados están intactos (Denys *et al.*, 1987). Comparando las alteraciones químicas de los pequeños carnívoros con las que producen otros agentes como las rapaces en sus egagrópilas, la fragmentación de las egagrópilas es menor (Denys *et al.*, 1987). De hecho, Andrews (1983, 1991) y Andrews & Evans (1983) establecen que la representación anatómica de las acumulaciones de pequeños carnívoros es más el resultado de las posibilidades de conservación de cada hueso que de la acción de los carnívoros, de forma que en ocasiones es muy posible no encontrar huesos completos. La actividad digestiva de los vivérridos suele producir un alto rodamiento pero una baja corrosión,

en los mustélidos la erosión y la corrosión es moderada y en los cánidos alta (Andrews & Evans, 1983).

Con la mangosta aumenta la fragmentación y sólo los huesos más resistentes perduran. La superficie de los huesos digeridos se muestra redondeada, pulida y algo corroída, siendo la corrosión mayor sobre las epífisis, los extremos de los huesos y sobre los individuos juveniles o infantiles. La jineta presenta unos patrones anatómicos en los que aumenta la representación del cráneo frente al apendicular, al contrario de lo que ocurre con la mangosta. La acción digestiva no es muy grande y suele afectar más a los dientes y la mandíbula, los huesos largos presentan fracturas en espiral con los bordes redondeados y en ambos el porcentaje de marcas de diente es muy bajo (Andrews, 1983, 1991 y Andrews & Evans, 1987). En el caso de los mustélidos, no se suelen comer los huesos, pero si realizan alteraciones, así según el tipo pueden producir una mayor o menor fragmentación, corrosiones y demás alteraciones químicas. En animales como el turón (Arribas, 1995) se han documentado perforaciones circulares de un diámetro aproximado de 4 mm. En la marta, las alteraciones que producen no son muy intensas así no causan corrosión aunque sí redondeo de bordes.

El caso del zorro ha sido ampliamente estudiado. Sobre sus alteraciones ya se ha comentado algo cuando nos referíamos a los carnívoros y concretamente a los cánidos. Los patrones de marcas que producen son similares a los que dejan los demás carnívoros aunque su grado de incidencia es menor. Según Sanchis (2000) y mi propia experiencia suele centrarse en los elementos axiales pero también en los elementos epifisarios, de forma que he podido documentar *punctures*, *rewaging*, *microdenticulados*, *pitting*, *scores* y *furrows*. Otros trabajos que han analizado los patrones de alteración realizados por zorro sobre lagomorfos y fauna americana son los de Estévez & Mameli (2000), Mondini (2000), Guillén (2002), Pérez Ripoll (1993, 2002), los cuales describen tanto patrones de marcas, como de fracturación y de alteración química producida por los jugos digestivos, que indican una elevada fragmentación y un alto índice de corrosión. En la siguiente tabla se muestra un resumen de todas estas alteraciones.

TABLA 8.5  
*Características de las alteraciones producidas por pequeños  
 mamíferos a partir de Andrews & Evans, (1983)*

Taxón	Fractura	Pérdida de eltos esqueléticos	Rodamiento y pulido	Corrosión	Marcas de diente	Presencia de epífisis	Tamaño presas
Mangosta	Grande	Cráneo	Moderada	Poca	Poco	Poco	Hasta 1 kg
Jineta	Moderada	Poca	Moderada-grande	Poca-normal	Poco	Poco	Hasta 1 kg
Cánidos	Muy grande	Cráneo y pies	Grande	Grande	Normales	Poco	Hasta 5 kg
Mustélidos	Grande	Cráneo	Moderada	Moderada	Poco	Si	Hasta 5 kg
Felinos pequeños	Extrema		Grande	Extrema			

Dentro de este apartado habría que referirse a las observaciones de Miller (1994) sobre las alteraciones realizadas por reptiles que tras regurgitar los animales que previamente se comen producen una gran alteración ósea, de forma que no todos los huesos sobreviven, algunos presentan descalcificación y los demás rasgos típicos de los huesos regurgitados por los carnívoros. En algunos casos su acción es tan intensa que incluso pueden llegar a disolver los dientes como ocurre con los cocodrilos o incluso a no sobrevivir, como sucede con las serpientes (Miller, 1994).

### 8.3. LOS ROEDORES

El primero en estudiar las alteraciones que producían los roedores fue Weigelt (1927) que mostró como manipulaban los huesos y Pey (1938) que fue el primero en describir las marcas de estos agentes viendo que eran surcos profundos de fondo plano y ancho, cortos paralelos y reiterativos en forma radial o en abanico formando estriaciones paralelas con bordes rugosos y paralelos.

Pero cuando empezó a darse un mayor interés por este tipo de alteraciones fue a raíz de los trabajos de Hughes (1954), Dart

(1957), Bouchud (1974) y Brain (1980, 1981) en los que se documentaban las marcas producidas por erizo y las acumulaciones que producían dejando porcentajes próximos al 75% de los restos en algún yacimiento (Maguire, 1976; Domínguez, 1993 b) con oscilaciones según Brain (1981) del 20 al 100%. Según Brain (1981) su acción suele concentrarse en elementos craneales, mandibulares, axiales y epifisarios, pero pueden actuar sobre todo el conjunto, así en Brain (1980), se muestra una acumulación de 1712 restos correspondiente a 106 individuos con partes de todo el cuerpo.

Después, siguieron los estudios de Hoffman & Heys (1987), Hockett (1989), Maguire *et al.* (1980), Dixon (1984); Fisher (1995, fig. 11) y Gaultier (1993) para rata y otros roedores.

Las marcas que producen las ardillas y los erizos son surcos de fondo plano y ancho, paralelo o subparalelo de poca profundidad (Bunn, 1981; Andrews, 1990). A veces después de repetir varias veces la misma acción puede provocar una línea incisa que atraviese los surcos, pero presentan unas características propias que los hacen inconfundibles, así tiene lo que Shipman & Rose (1983 a) llaman *fan-shaped*, punto común de confluencia de distintos surcos desplegados en forma de abanico. Los erizos y lagomorfos suelen actuar sobre huesos secos (Brain, 1981; Gautier, 1983; Reischach, 1986) y también sobre elementos esponjosos en estado fresco (Eickoff & Herman, 1985, p. 265) aunque Reischach (1986) dice que no suelen dejar marcas de diente sobre las epífisis. Por otro lado, en una experimentación de Rabinovitch & Horwitz (1994) han visto como los erizos consumen tanto los huesos secos, como los frescos, la madera, e incluso los residuos cárnicos que poseían los huesos frescos. De igual forma, se observa también sus preferencias por los elementos esponjosos y sobre las epífisis proximales frente a las distales.

En líneas generales las marcas de los roedores según indican Giacoboni & Patou Mathis (2002) son pequeñas incisiones paralelas y simétricas de longitud, de tamaño variable según el roedor y suelen aparecer sobre bordes, crestas o extremos de huesos. Las marcas del ratón son con una orientación caótica y desordenada. En ocasiones debido a la dureza diferencial del hueso pueden crear lo que se ha llamado castañateo o *chattermarks* (pequeñas

aristas longitudinales al surco). Junto a las marcas que hacen es importante también su acción destructiva, así Hoffman & Hays (1987) en una experimentación con ratas solo pudieron recoger el 55% de los huesos originales, y además observaron como a la destrucción que producen hay que unir las alteraciones espaciales, ya que casi todos los restos fueron movidos tanto lateral como verticalmente.

#### 8.4. LOS HERBÍVOROS

Sobre las alteraciones producidas por los herbívoros no hay una gran bibliografía disponible, los principales trabajos relacionadas con este proceso llamado osteofagia son los trabajos de Sutcliffe (1970 b, 1973 b), Brothwell (1976), Gordon (1976), Krossman & Bissonette (1977), White (1982), Bowyer (1983), Johnson (1985), Johnson & Haynes (1985), Warrick & Krossman (1986), Miller (1994), Cáceres (2002) y Fernández Laso (2002).

La observación de estas alteraciones la pueden realizar todos los ungulados, de tal manera que las producidas por oveja las ha visto Brothwell (1976), las de camello Warrick & Krossman (1986), las de caribú (Sutcliffe, 1970, 1973 b), las de ciervo (Miller, 1994), las de gamo y ciervo (Cáceres, 2002; Fernández Laso, 2002) y las de suido (Greenfield, 1988; Spenneman, 1990).

El mordisqueo que realizan los ungulados se suele dar sobre astas y huesos largos, llegando a ser, incluso, sobre las astas de desmogue de un mismo año (Sutcliffe 1973 b; Brothwell, 1976; Gordon, 1976; Miller, 1994; Cáceres, 2002), lo que puede deberse a la necesidad de estos animales por adquirir fósforo u otras sales que en su dieta vegetariana no suelen tomar (Johnson, 1985). Las alteraciones que ocasionan, son surcos curvos de crestas y valles agudos muy irregulares, reflejo de los dientes selodontos (Brothwell, 1976) que en ocasiones se han llegado a confundir con útiles óseos como indica Gautier (1993). Miller (1994) dice que sus marcas son trazos profundos, múltiples con sección en V y que a veces puede presentar superposiciones de unas sobre otras e incluso pueden presentar formas en zigzag (Sutcliffe, 1973 b, figs. 2-3; Johnson,



1985; Cáceres, 2002, fig. 3.2.4, Fernández Laso, 2002). Este tipo de marcas las producen cuando sujetan el hueso longitudinalmente respecto al eje mayor del hueso y realizan movimientos en zigzag con su mandíbula dejando superficies aplanadas y extremos apuntados. Junto a los zigzag pueden ocasionar también aserramientos y marcas en forma de horquilla (Cáceres, 2002, fig. 3.2.4).

En las observaciones de Greenfield (1988) sobre las alteraciones producidas por suidos se ve que prefieren los huesos de animales pequeños que grandes. Así de un conjunto original tras su actuación solo se recogen el 10% de los huesos de oveja frente al 90% de los huesos de vaca. De todas maneras todos los huesos son mordidos de forma extensiva y preferencialmente por las epífisis y elementos ricos en grasa, de hecho el 10% de los huesos de vaca que desaparecen son principalmente vértebras. En la morfología de sus marcas este autor destaca la ausencia de perforaciones y la morfología de las marcas suelen ser largos surcos en forma de pala, es lo que llama «*Long Shovel-type Marks*» que los producirían los incisivos.

## 8.5. ALTERACIONES PRODUCIDAS POR AVES

En los últimos años, el estudio de las alteraciones que producen las aves se ha ido incrementando gracias a algunos análisis como los de Dobson & Wexlar (1979), Andrews (1983, 1990), Geering (1990), Hockett (1993, 1996), Martínez Valle (1995), Saavedra & Simoneti (1998), Sanchis (2000), Avery (2002), Hockett & Haws (2002), Bournery (2003) e Yravedra (en prensa a) sobre los patrones producidos por varios tipos de rapaces. Como es de suponer por la talla de las aves generalmente las presas son animales pequeños, por lo que las alteraciones que se van a definir aquí se refieren a las realizadas sobre micromamíferos y especialmente sobre lagomorfos (Hockett, 1993, 1996; Martínez Valle, 1995; Sanchis, 2000; Hockett & Haws, 2002; Bournery 2003; Yravedra en prensa a). En su análisis Sanchis (2000) muestra un patrón de edades variado en el que según la acumulación predominan más los adultos, los infantiles o los juveniles, lo que puede

variar según la estación de cría o el momento de nidificación y, por tanto, de las estaciones de cría. De forma que durante las estaciones otoñales e invernales haya una mayor representación de adultos frente a las primaverales o veraniegas en las que abundaran los infantiles y juveniles.

En los perfiles esqueléticos tanto Sanchis como Andrews (1990) proponen que el mayor consumo de los cuartos traseros aumenta la fragmentación de los traseros sobre los delanteros, que en muchos casos dado su menor contenido alimenticio no son consumidos. Sin embargo, en Yravedra (en prensa) se muestra como en bastantes ocasiones los cuartos traseros sólo sufren un consumo cárnico, pero no óseo, sin ingerirse los huesos a diferencia de los delanteros que si aparecen entre las egagrópilas, por lo que en este caso son los delanteros los más consumidos, aunque no los más numerosos. En el estudio experimental de Hockett (1993) también son los cuartos traseros los más representados, aunque según el experimento la proporción de delanteros y traseros varía. En otro trabajo en el que se compara la representación de los cuartos por diferentes rapaces y mamíferos se ve que los lobos consumen los lagomorfos completamente, pero las águilas, búhos, linceos y zorros sólo hacen consumos parciales predominando siempre los cuartos traseros.

Entre los patrones de fracturación descritos por estos autores, se dan unos porcentajes variados según la acumulación, así Sanchis (2000) ofrece un 95-100% para elementos pélvicos o escapulares, entre un 5-85% para las vértebras, los apendiculares posteriores un 75-85% y para los anteriores entre un 25-40%. En Yravedra (en prensa) se ofrece unos patrones similares en los que tanto la pelvis como la escápula suele fragmentarse, las vértebras según los tipos y el apendicular también. Aunque en este caso, los cuartos traseros son menos alterados que los delanteros. También Hockett (1993) muestra como todos los elementos son fragmentados.

En Bournery (2003) se diferencian las acumulaciones sobre lagomorfos realizadas por aves, carnívoros, fenómenos naturales y humanos. En ellas se ve, que en los fenómenos naturales son frecuentes las conexiones anatómicas, que aparecen representadas todas las edades con predominio de juveniles y no hay grandes

alteraciones óseas. Sin embargo, en las que producen aves, los huesos pueden aparecer con marcas, aunque lo normal es que sólo aparezcan sobre una de las caras del hueso frente a los carnívoros que suelen hacerlo por las dos caras. En el caso de aves y carnívoros hay ciertos huesos que suelen ser bastante alterados como son los coxales, fémures, epífisis proximal del húmero, el sacro y las vértebras lumbares. Las aves suelen acumular más miembros anteriores, y en cuanto a las edades, suelen predominar los juveniles y subadultos, aunque el búho real también caza adultos. En cuanto a los patrones de fractura, todos los agentes pueden producir cilindros, pero las aves suelen respetar una de las dos epífisis dejando patrones menos fragmentados.

Junto a estas alteraciones también hay que destacar las marcas que hacen, las cuales son en este caso perforaciones tanto sobre elementos pélvicos como apendiculares y mandibulares producidas por la acción mecánica del pico sobre el hueso (Hockett, 1993; Sanchis 2000; Yravedra, en prensa a).

Igualmente en estos trabajos también se da cuenta de las alteraciones químicas y las corrosiones causadas durante la digestión,

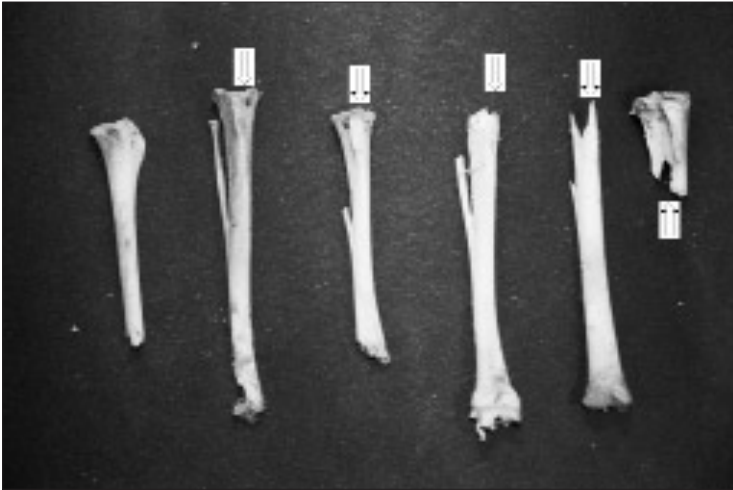


FIGURA 8.12. Huesos con marca de pico de búho.

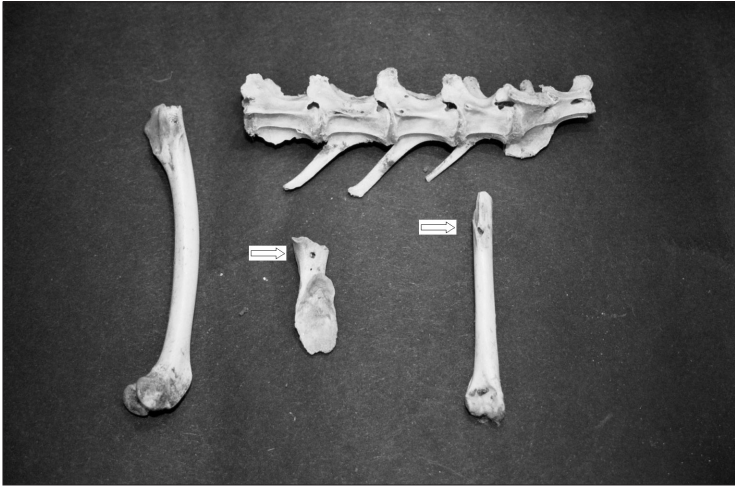


FIGURA 8.13. Huesos con marca de pico de Búho y patrones de fractura.

las cuales muestran pulidos y corrosiones pero en un grado menor que las alteraciones realizadas por los carnívoros. Junto a estos, otros autores como Dauphin *et al.* (1988) han visto que los efectos químicos de las alteraciones producidas durante la digestión varían de unas regiones a otras y Geering (1990) muestra que sólo el 50% de los huesos ingeridos son regurgitados en *Tyto novarhollandiae*.

En otros estudios, como el de Saavedra & Simoneti (1998) se analizan los patrones de fractura que produce otro tipo de búho (*Tyto alba*) y se ve como entre sus presas predomina el esqueleto posterior sobre el anterior y que en muchas ocasiones el esqueleto apendicular esta sin fracturar a diferencia del axial o la mandíbula, algo que como se ha indicado también se produce en algunos individuos de los estudios de Geering (1990), Sanchis (2000) e Yravedra (en prensa). Muchas de estas observaciones también las han visto Dobson & Wexlar (1979) que analizan las alteraciones y los patrones de fracturación de tres tipos de búhos de diferente tamaño. Estos autores observan que independientemente del tamaño, los patrones son los mismos. Observan que el fémur es el elemento menos fragmentado, y que por el contrario la escápula y

la pelvis son los más. En lo referente a las egagrópilas dicen que sólo han recuperado el 50% de los huesos ingeridos.

En relación con otras rapaces Klein & Cruz Uribe (1993), y Cruz Uribe & Klein (1998) han estudiado el comportamiento del águila y observa que sus acumulaciones suelen presentar un predominio de los cuartos traseros. Hockett (1996) estudia las egagrópilas de águila y concluye que la alteración que produce en los huesos es mayor que las realizadas por las aves nocturnas. Zbigniew *et al.* (1997) analizan los patrones de fracturación que efectúan las águilas imperiales y las comparan con las que realizan búhos y halcones. Tras su análisis llega a la conclusión de que los patrones de fracturación que hacen las águilas son mayores que los que cusan los búhos, pero menor que el de los halcones. También Andrews (1983) indica que la fragmentación que producen las aves diurnas es mayor que el de las nocturnas, pero el carácter de sus acumulaciones es distinto. Así entre las nocturnas hay una mayor representación de elementos craneales frente a los apendiculares, los cuales son más abundantes en las acumulaciones producidas por aves nocturnas. En la tabla 8.6 que sigue se puede observar como varía el porcentaje de huesos sin fragmentar según las acumulaciones producidas por distintos tipos de aves y mamíferos.

TABLA 8.6  
*Patrones de Huesos sin fragmentar en acumulaciones actuales a partir de Andrews (1983)*

<b>Taxón responsable % hueso sin fragmentar</b>	<b>Húmero</b>	<b>Fémur</b>	<b>Ulna</b>	<b>Tibia</b>
Búho	73-96	65-36	100	100
Águila	67-98	40-50	100	100
Mangosta	20	25	8	37
Zorro	26	3	57	10
Jineta	45	17	54	54
<b>Diferencias por secciones</b>				
Mamíferos	+Ep Dist vs Prox	+Ep Dist vs Prox		+Ep Dist vs Prox
Aves	+ Ep Prox vs dist			Equilibrados ambos

Por último, y aunque nos hemos referido a presas de pequeño tamaño, en algunas ocasiones determinadas aves pueden causar alteraciones sobre macromamíferos. De esta forma, Berger & Clarke (1995) han mostrado perforaciones producidas por águilas sobre pequeños monos y australopitecos infantiles, de la misma forma sería interesante realizar un estudio tafonómico de las acumulaciones producidas por águilas reales o buitres sobre macromamíferos que cazan en el caso de las primeras y que carroñean en el de las segundas. A este respecto, Cáceres (2002, fig. 5.37) ha observado las marcas que realizan los buitres con sus garras y picos produciendo surcos de fondo plano, liso y redondeado de aspecto ancho. De la misma forma, Robert & Vigne (2002), han visto los patrones de fractura que pueden generar los buitres. Destacando que la fragmentación de los huesos largos no es muy intensa, pero que en ocasiones pueden darse patrones denticulados, de la misma forma y al igual que en las otras aves también producen alteraciones digestivas causando perforaciones.

## 8.6. LAS VERMICULACIONES O *ROOT MARCKS*

Se producen cuando un proceso de disolución química de la superficie ósea entra en contacto con la acción de los ácidos vegetales principalmente ácidos carbónicos y cítricos que tiene la raíz (Morlan 1980; Grayson, 1988; Fisher, 1995; Giacoboni & Patou Mathis, 2002). Son de aspecto sinuoso, anárquico e irregular, se distribuyen de forma caótica llegando a presentar ciertas ramificaciones, tienen un fondo ancho, plano y de sección en forma de U, pueden mostrar una coloración oscura (Miller, 1994; Fisher, 1995, fig. 12; Giacoboni & Patou Mathis, 2002, figs. 15-16). En ocasiones pueden llegar a colapsar la cortical ósea eliminando marcas anteriores. Algunos autores han visto que si aparece sobre los bordes de fractura es porque el hueso estaba ya roto antes de que actuara la raíz (White, 1952).

Este tipo de alteraciones puede aumentar la vulnerabilidad del hueso, al facilitar la penetración de determinadas partículas en la superficie ósea. De igual forma el ataque de las raíces también

puede provocar fracturas en el hueso al introducirse por las porosidades del hueso aumentando la fragmentación (Villalain, 1992). Otra alteración que puede ocasionar es la deformación de las superficies mostrando un aspecto parecido al de las patologías (Villalain, 1992). Suelen producirse cuando el hueso esta enterrado pero en ocasiones los hongos, líquenes y musgos también pueden provocarlas sin que el hueso se haya enterrado.



FIGURA 8.14. *Vermiculaciones*.

## 8.7. MICROORGANISMOS, BACTERIAS E INSECTOS

La observación de este tipo de marcas empezó a darse a principios del siglo pasado, cuando Smith (1908), Derry (1911) y Weigelt (1927) documentaron alteraciones de insectos producidas sobre los huesos (Piepembrink, 1986). Pero como en el caso de todas las alteraciones comentadas hasta ahora su estudio detallado y sistematización no comenzó hasta los años ochenta.

Las alteraciones realizadas por microorganismos son consecuencia de la biodegradación y la descomposición. Generalmente, los diferentes organismos descomponedores actúan sobre las partes blandas ejerciendo una fuerza erosiva por medio de ácidos orgánicos, enzimáticos etc. y principalmente son bacterias, larvas, algas, nematodos, necrófagos, hongos, protozoos, detritívoros, plantas saprofitas etc. La descomposición de los restos orgánicos se tiene que producir en condicionantes aeróbicas y la actividad

descomponedora puede implicar dos procesos la fermentación que se lo relaciona con la descomposición de los glúcidos y la putrefacción que afecta más a las proteínas (Fernández López, 1995). De esta forma, Nielsen-Marsch & Hedges (2000 a) han mostrado como la acción microbiológica es más intensa en los huesos con mayor contenido proteínico

Entre las proteínas están las fibras de colágeno (es el tejido fibroso del hueso), la queratina (material epidérmico, el pelo, las uñas etc), las secreciones de las glándulas mucosas llamadas glaco-proteínas, las condoproteínas responsables del tejido cartilaginoso, la esponjina o los lípidos. Entre los glúcidos están los polisacáridos complejos como la quitina, la tectina, la celulosa, la pectina.

La acción de estos agentes reducen la densidad ósea y aumentan la porosidad. Entre las alteraciones producidas por microorganismos destacan las de las bacterias, en forma de agujeros redondeados y ovalados, con bordes salientes y tienden a concentrarse sobre las epífisis de los huesos (Badon *et al.*, 1986; Gilbert *et al.*, 1989) y su diámetro oscila entre la 5 y 30 micras (Boud, 1982) o entre los 2 y 4 mm Miller (1994). Pueden llegar a desfigurar parcialmente el hueso, desarrollando superficies irregulares donde anteriormente existían superficies lisas por descomposición del tejido óseo en un microambiente de PH ácido debido a la putrefacción de las partes blandas (Arribas, 1995). En ocasiones el aspecto de sus alteraciones puede parecerse al que realizan las raíces (Miller, 1994). Diferentes autores como Morchifava *et al.* (1974), Haeckett (1981), Piepembriick (1986), Garland (1987, 1988), Garland *et al.* (1988), Hanson & Buikstra (1987), Miller (1994) o Nicholson (1998) han enumerado distintos estadios de destrucción protagonizado por microorganismos como los llamados túneles (Piepembriick, 1986).

Los hongos saprofitos producen gran cantidad de ácido orgánico que provoca una activa disolución de fosfatos de calcio en los tejidos óseos formando canales y galerías de perforación microscópica de diámetro entre 3 y 8 micras (Baud, 1982; Piepembriick, 1986) e incluso pueden llegar hacer perforaciones (Villalain, 1992) o surcos (Andrews, 1995).

Las marcas realizadas por insectos son pequeñas perforaciones de fondo liso (Andrews, 1995) que pueden llegar atravesar la



superficie del hueso y producir confusiones, ya que los *holes* producidos por el género *Dermestetes* pueden ser de 0-6 mm y el de los escarabajos de 8 a 10 mm (D'Errico & Vila, 1997 a). En un trabajo de 1918 de Dupuy de Lome & Fernández de Caleyá se hace referencia a las alteraciones causadas por los necrófagos y en el de Weigelt (1927) se hace a los *bore holes* producidos por escarabajos sobre los huesos de rinoceronte. En referencia a trabajos tafonómicos relacionados con alteraciones hechas por otros insectos como hormigas se pueden destacar el de Behrensmeyer (1978), sobre larvas el de Shipman & Walker (1980), y el de Rodríguez & Boas (1983) y Payne (1965) que para necrófagos ven como su acción se retarda más en invierno que en verano. Más análisis relacionados con las alteraciones producidas por escarabajos son los de Smith (1908), Hilderbead (1968) y Hefti *et al.* (1980). Watson & Abbey (1986) indican que las termitas australianas son atraídas por el nitrógeno de los huesos frescos. De esta forma, West & Martín (1997) documentan que las galerías que pueden llegar a producir suelen hacerlas sobre el cráneo, las escápulas y el tejido esponjoso cuando el hueso esta en estado fresco y lo hacen para buscar proteínas y colágeno. Igualmente este autor ha mostrado también como determinados insectos son capaces de localizar animales muertos ya enterrados. Por último, hay que comentar la acción abrasiva que pueden producir los gasterópodos al arrastrarse por la superficie de los huesos (Morel, 1986; Costamagno, 1999).

Hay que decir que la actuación microbiológica depende también de los medios en los que el animal muere. Así, Sillen (1989) y Nielsen-Marsch & Hedges (2000 a) observan que la acción se reduce en los ambientes secos y en los de gravas, margas, bancos de arena y arenas, y aumenta en los lugares que tienen una humedad constante como las cuevas, los clastos, los medios acuáticos y los paleocanales.



## CAPÍTULO 9

# LAS ALTERACIONES DE CARÁCTER NATURAL NO BIOLÓGICAS



Aunque ya se ha hecho mención al tipo de alteraciones que van a tratarse en esta sección, se empezará por mostrar el *trampling* o pisoteo que indirectamente está relacionadas con la acción de seres vivos o la de otros agentes naturales no biológicas ya que se producen como consecuencia del arrastre del material óseo y también lítico sobre la matriz sedimentaria bien por medio del pisoteo o del transporte.

### 9.1. TRAMPLING O PISOTEO

El *trampling* o marcas de pisoteo, son un tipo de alteración que puede confundirse con las marcas de descarnado (Behrensmeyer *et al.*, 1986; Behrensmeyer, 1989; Fiorillo, 1989; Haynes, 1988 a; Oliver, 1989; Andrews, 1995). Suelen aparecer en elementos planos como costillas o en diáfisis y se produce por el roce o la frotación de las partículas sedimentarias sobre la superficie ósea (Brain, 1967, 1981; Hayness, 1988).

Pueden hacerse tanto por movimientos verticales (Gifford González *et al.*, 1985) como horizontales (Olsen & Shipman, 1988) o por rotación, fruto del contacto que ejerce el rozamiento de la matriz sedimentaria, la cual no tiene porque implicar grandes desplazamientos (Shipman, 1988; Andrews & Cook, 1985; Giacoboni & Patou Mathis, 2002). Aunque en ocasiones, como en los procesos bioturbadores puede implicar mezcla de materiales de niveles diferentes (Armourt-Cheli & Andrews, 1990).

Su acción puede llegar a fragmentar el hueso (D'Errico & Giacoboni, 1986; Haynes, 1991). Lo cual puede estar influenciado por el grosor de la cortical (Andrews & Cook, 1985; Olsen & Shipman, 1988) o el estado fresco o seco del hueso (observación personal). Myers *et al.* (1980) han mostrado que el pisoteo puede causar fragmentación longitudinal sobre huesos secos y la experimentación personal ha permitido comprobar este hecho y ver como la fragmentación por *trampling* es más probable en una matriz gruesa que en otra fina. De esta forma, se experimentó sobre huesos de oveja en dos tipos sedimentarios diferentes. El primera se refería a un medio arenoso, mientras que el segundo, era más compacto, al final de la experimentación se vio que en los huesos de la matriz fina se enterraban más fácilmente y no se fracturaban, por el contrario los de la matriz gruesa, casi no eran enterrados y en los casos del húmero, la tibia y el fémur eran fragmentados en 3, 6 y 4 trozos cada uno, ofreciendo patrones trasversales en el caso de la tibia, espirales en el del húmero y longitudinales y trasversales en el del fémur.

Dada la confusión que pueden producir las marcas de pisoteo con las de corte según se ha visto a partir de los trabajos de Behrensmeyer *et al.* (1986), Behrensmeyer (1989), Fiorillo (1986, 1989), el contexto puede ser un buen criterio de diferenciación, ya que en determinadas circunstancias como ausencias de gravas o arenas no se produce *trampling*. Andrews & Cook (1985), Shipman (1988) y Olsen & Shipman (1988 b) han hecho un estudio para diferenciar el *trampling* de las marcas de corte. Los criterios que utilizan Olsen & Shipman (1988) son:

- Morfología y profundidad de las marcas.
- Frecuencia que presentan los elementos óseos con algún tipo de marca.
- Número de marcas con cada resto fósil.
- Localización y orientación de las estrías.
- Asociación de las estrías con un posible pulimento de los fósiles.

Además podría añadirse una observación de Giacoboni & Patou Mathis (2002) que indican como el perfil de la marca por *trampling*

no es homogénea en su desarrollo a diferencia de las marcas de corte. Las marcas de pisoteo son finos y leves surcos de poca profundidad, que suelen ser cortos y organizados de forma irregular y anárquica sin una tendencia u orientación clara, pudiendo aparecer de manera aislada o en grupos tanto en la superficie externa del hueso como en la cavidad medular (Brain, 1967, 1981), tienen el fondo plano y no presentan microestriaciones.

Olsen & Shipman (1986, 1988) experimentan sobre gravas, arenas gruesas y finas, limos con caliza y sedimentos con cerámicas y sílex y observan que algunas partes de los huesos son más propicias que otras para presentar estas marcas como las áreas convexas, redondeadas y planas. De la misma forma, observa que no en todos los sedimentos se producen estas marcas. Además, las marcas producidas por *trampling* suelen ir asociadas a otras marcas, la direccionalidad de éstas es bastante alta pudiendo presentar diferentes aspectos y orientaciones, tanto longitudinales, como oblicuas, transversales o curvadas. No suelen ser muy largas y pueden aparecer entrecortadas. Otros factores que pueden condicionar el *trampling* puede ser la compactación del sedimento, el peso y las dimensiones del objeto, ya que cuanto más pequeño más probabilidades tiene de ser enterrado, la fuerza y la intensidad del pisoteo y la rigidez del enterramiento. De esta forma determinados tipos de sedimentos como los limos o los medios sueltos de arena seca son más favorables para el *trampling* que las gravas.

D'Errico & Giacoboni (1986) han descrito como la incidencia del pisoteo sobre los restos óseos está relacionada con la matriz sedimentaria en la que se encuentran. De esta forma, el pisoteo puede ser más o menos profundo, puede mostrar estrías rectas y cortas con orientaciones variables, superposiciones, pulimentos, disposición anárquica, circular etc. Igualmente su longitud y desarrollo dependerán de la intensidad de la acción con que se haga el *trampling* (Giacoboni & D'Errico, 2002).

En el experimento personal al que antes se hacía alusión, se probó como el *trampling* podía alterar el registro óseo en ambientes sedimentarios diferentes. Por un lado, se ha hablado de un medio arenoso suelto y de otro más compacto. En el primero tras realizar el pisoteo los huesos eran enterrados y no se fragmentaban,

por el contrario en el otro medio, el enterramiento era más tardío y algunos elementos apendiculares eran fragmentados.

En lo que se refiere a las marcas, todos los elementos de cada experimento (húmero, fémur, radio, cúbito, tibia, metacarpo, metatarso, escápula, pelvis y mandíbula) eran marcados, a excepción de la pelvis, que en ninguno de los dos casos mostró ningún tipo de alteración. Por otro lado, se vio que en los elementos del primer experimento, las marcas de pisoteo eran mucho más leves y someras que las del segundo, que presentaba las marcas más profundas y también una cantidad mayor. Además, la longitud de las marcas también era mayor con máximos de hasta 1,5 cm de longitud, aunque lo normal es que no sobrepasaran los 5 u 8 mm. Por el contrario, en el experimento hecho sobre el medio arenoso no suele superar los 5 mm. La orientación de las marcas es en ambos casos similares, ya que se dan de forma oblicua, inclinada, transversal, longitudinal etc. El aspecto es variado y en ocasiones rectilíneo o curvado. Las marcas del experimento realizado en el sedimento duro son mayores y a veces presentan bifurcaciones en uno de sus extremos y en otras se entrecorta el trazo, para continuar después. Por último, hay que destacar que la disposición de las marcas también es variada de forma que en los huesos del medio duro la mayor parte de las marcas están asociadas a otras, en cambio las que se producen en el medio arenoso aparecen de forma aislada.

En conclusión, se ha visto como los huesos sobre matriz fina se entierran y casi no dejan marcas, en cambio sobre matriz más gruesa deja marcas e incluso pueden sufrir fragmentación, teniendo una mayor cantidad de marcas. El espesor de éstas dependerá de la matriz del sedimento en la que se encuentre el hueso. Así sobre el sedimento compacto la acción de la matriz sedimentaria es mayor que en el arenoso seco. Si se experimenta con este tipo de sedimento, pero mojado el *trampling* no deja marcas y la sedimentación es más rápida. En la siguiente tabla se resumen las principales características de este experimento.

También el tipo de hueso puede influir en una mayor o menor acción del *trampling* ya que se comportan de diferentes maneras. Los huesos largos giran en torno a su eje longitudinal mostrando esta alteración en la diáfisis, la costilla permanece estable y presenta



las marcas en el centro de su curvatura, la escápula en las alas y las vértebras en las apófisis, cuellos y superficies articulares (Andrews & Cook, 1985). Como en el trabajo de Shipman (1988) se ha visto que el las marcas de pisoteo que se dan en los huesos largos no suelen producirse en las epífisis ni en las metadiáfisis sino en las diáfisis (Yravedra 2005, anexo).

TABLA 9.1  
*Conclusiones Sobre Experimento de Trampling*

<b>Trampling</b>	<b>Sedimento duro de matriz gruesa</b>	<b>Sedimento arenoso</b>
<b>Fracturación</b>	Si	No
<b>Marcas</b>	Si	Si
<b>Cantidad por hueso</b>	Abundantes	Pocas
<b>Asociación a otras marcas</b>	Lo normal es que sí	50 % de los casos
<b>Longitud</b>	3-8 mm	1-3 mm
<b>Longitud Máxima</b>	1,5 cm	1 cm
<b>Distribución</b>	Por todo el hueso	Parte media de las Diáfisis.
<b>Orientación</b>	Todos los sentidos	Todos los sentidos
<b>Observaciones</b>	Suelen ser superficiales, estrechas y cortas	Son superficiales y muy cortas

Blasco (1992) ha diferenciado el *trampling* indirecto cuando el hueso esta enterrado pero no a mucha profundidad, de forma que cuando se pisa el propio sedimento altera la superficie ósea, y el *trampling directo*, que produce un efecto similar, pero la acción del que pisa queda reflejada en la superficie del hueso y en el lado contrario. Esto mismo, pero con otra terminología, es lo que D'Errico & Giacoboni (1986) han llamado «*Trampling en Comité*» y «*Trampling en Fuseau*». Ambas se producen en medios abrasivos, pero en el primer caso el *trampling* lo producen partículas sedimentarias móviles que se deslizan por el hueso y se caracteriza por tener

un extremo redondeado continuado por un trazo que se va adelgazando. Las *fuseau* las produce el hueso al arrastrarse sobre partículas sedimentarias más estables que no sufren el desplazamiento, son alargadas subparalelas y muy abundantes.



FIGURA 9.1. *Marcas de Pisoteo indicadas por las flecha.*

## 9.2. LA ALTERACIÓN SUBAÉREA (*WEATHERING*)

El *weathering* es una desecación resultado de una combinación de procesos físicos y químicos que termina por provocar la exfoliación, la descomposición, degradación y desintegración del hueso. El *weathering* se produce por la descomposición del colágeno y la destrucción de la hidroxiapatita (White & Hannus, 1983). La desecación progresiva y la pérdida de humedad post-mortem del hueso causa unas líneas de fisura que desembocan en grietas y en la fragmentación del hueso, siendo estas líneas similares a las que se hacen en otros procesos como la descalcificación (Tapen, 1969; Tapen & Peske, 1970).

Gracias a los estudios de Behrensmeyer (1978) y Andrews (1990) se puede medir de manera aproximada el tiempo que un resto tarda en ser enterrado, ya que al ser un proceso histórico este puede medirse. Se la ha definido como la destrucción mecánica y química que sufre el hueso consecuencia de la desecación. Antes que estos autores, Weigelt (1927-1989-18) ya lo documentó, al ver que los huesos expuestos al aire se desintegran a mayor velocidad que los que son enterrados en arenas o clastos. De hecho Weigelt

indica que la descomposición no comienza hasta que la desecación tiene lugar, la cual disminuye cuando el oxígeno es mínimo.

El análisis de Behrensmeyer (1978) se centró en mamíferos grandes de peso superior a 5 kg, pero sólo es válido para superficies abiertas donde se produce la exposición subaérea. Para cuevas se desconoce su utilidad al influir otros factores, como transporte fluvial, el eólico, la humedad, la temperatura o el hielo a través de procesos como la solifluxión o la gelivación. Por otro lado, Arribas (1995) ha documentado que en las superficies cársticas se dan similares procesos al *weathering*, pero a diferencia de la exposición subaérea no es un proceso histórico y, por tanto, no puede medirse. El estudio de Behrensmeyer (1978) permite saber si la deposición fue lenta o rápida en medios abiertos y si su incidencia es muy elevada puede ser una de las causas que explique la ausencia de otras trazas, ya que como han mostrado Behrensmeyer (1978) y Moltby (1985 a, b) pueden causar la destrucción de otros tipos de marcas como las de corte.

La definición que ofrece Behrensmeyer (1978:153), establece que se trata de un proceso por el que los componentes orgánicos del hueso son separados y destruidos por agentes físicos y químicos que intervienen en el hueso. El *weathering* incluye la descomposición y la destrucción de los restos óseos. Los huesos compactos, las falanges y los metapodios son más resistentes a estos procesos, por lo que un hueso de este tipo con alteraciones diagenéticas grandes indicaría una fuerte destrucción de los otros huesos.

La presencia de distintos estadios revela que la acumulación se ha producido en diferentes momentos y por tanto en un episodio de acumulación lento. La degradación similar de una acumulación grande revela la atricionalidad de la representación taxonómica. Los huesos que llevan más de 15 años expuestos desaparecen, pero si presentan pocas alteraciones indicarán que su enterramiento fue temprano. En las tablas 9.2 y 9.3 se exponen los diferentes estadios que atraviesan los huesos según pase el tiempo de exposición.

A pesar de la utilidad que pueden tener este tipo de análisis, para White (1992), las alteraciones de los huesos quemados pueden confundirse con el *weathering*, y además el fuego puede alterar su tipo. En otros trabajos como el de Arribas (1995) y Martínez

Moreno (1998) se documentan agrietamientos similares a los de Behrensmeyer, sin embargo, la causa de esto no son la acción diagenética de la exposición subaérea sino los procesos de gelivación y los cambios de humedad que se produjeron en el interior de la cueva u otros medios que producen el mismo fenómeno. De hecho, los diferentes estadios por los que pasan los huesos cuando están expuestos a la alteración subaérea se deben a la pérdida de humedad. En las cuevas o abrigos muy protegidos las condiciones de humedad y temperatura pueden mantenerse constantes, pero cuando de repente cambian pueden producir los efectos del *weathering* como el agrietamiento. Aykinson (1957) y Miller (1975:217) indican que el *weathering* se refiere a los efectos que producen sobre los huesos la saturación, la desecación y los cambios de temperatura.

El agrietamiento ocurre por el cambio drástico del contenido de agua del sedimento, este es un fenómeno característico de yacimientos en cavidades que tienen sedimentos detríticos arcillosos, relacionado con alternancia de periodos secos y húmedos (López González *et al.*, 1997). En las zonas más arcillosas, los huesos están

TABLA 9.2  
*Behrensmeyer (1978) Weathering para animales  
de peso superior a 5 kg*

Estadio	Alteraciones	Años
0	Sin modificación.	0-1
1	Fracturas paralelas a la estructura fibrosa, epífisis con fracturas en mosaico.	0-3
2	Lascados concéntricos asociados a fracturas. Pérdida parcial de tejido cortical.	2-6
3	Rodamiento homogéneo con alteración de tejido compacto con textura fibrosa. Penetración ligera (1-1,5 mm).	4-15
4	Fibra granulosa y superficie rugosa. Fractura y pérdida de superficie cortical. Weathering penetra en las cavidades.	6-15
5	El hueso colapsa in situ. Astillas largas alrededor y muy frágil.	6-15

TABLA 9.3  
*Weathering para mamíferos pequeños (Andrews 1990)*

Estadio	Alteraciones	Años
0	Sin modificación.	0-2
1	Ligeras fracturas en paralelo de la estructura fibrosa del os, y en los dientes pérdida de entina, los dientes presentan modificaciones a los 2 años con cierta contracción y pérdida de dentina, en el cráneo se separan las suturas.	1-5
2	Las fracturas se hacen más extensivas y en los dientes comienza la pérdida de parte de la corona.	3-5+
3	Se agudiza todos estos efectos y se producen un esquirlamiento acusado de los restos.	4-5+

bajo un nivel de humedad más constante que en otros donde la proporción de arenas es mayor y por tanto más permeables, puede dar pie por tanto a la confusión con el *Weathering* subaéreo. Dentro de esta categoría estarían también las fracturas transversales y longitudinales explicados por Arribas (1995). Las fracturas transversales son típicas de los huesos mineralizados, lo que indica que no se han producido roturas en la fosildiagénesis, ni procesos de reelaboración tafonómica, sino que se deben a las constantes alteraciones de humedad que sufre el hueso. Las grietas suelen ser paralelas al eje longitudinal del hueso. Estas grietas pueden ser atribuidas a la insolación, mecanismo de la meteorización y a la desecación (Behrensmeyer, 1978 y Behrensmeyer & Boaz, 1980). Según éstos el mayor o menor desarrollo de estas estrías es función directa del tiempo de exposición bajo los rayos solares, pudiendo ocasionar la rotura total del hueso cuando el tiempo de exposición es muy largo. Estas grietas pueden tener un origen diverso, pueden producirse por la insolación y la exposición subaérea en el exterior de la cavidad o por procesos de cambios drásticos del contenido de agua en los suelos de las cavidades con sedimento detrítico y arcilloso provocando procesos de compresión-distensión en los huesos a diferencia de los medios arenosos. Estas grietas también se pueden hacer cuando el enterramiento tiene lugar en un momento

temprano, cuando aún, tienen los tejidos blandos y se da la putrefacción y se verifican períodos de desecación del sedimento o en superficies calcáreas insolubles (White & Hannus, 1983).

Otros problemas que presenta el análisis de Behrensmeyer (1978) y Andrews (1990) es que no evalúa como puede el *weathering* actuar de manera diferencial según la cara ósea que este más expuesta, así mi propia observación y la de Frison & Todd (1986) han mostrado como este puede variar. También Gifford González (1989 a, 192) ha visto que el fuego acelera los procesos del *weathering* ya que la pérdida de humedad y de los contenidos orgánicos del hueso se acrecientan.

Hay otros trabajos que indican diferentes estadios al de Behrensmeyer, Sanders (1977:104) ofrece cuatro estadios «*unweathered, slight, moderate, severe*» y Littleton (2000) basándose en Behrensmeyer propone tres que son, el primero, correspondiente al 0 de Behrensmeyer, el segundo al 1.º, 2.º y 3.º, y el tercero con el 4.º y 5.º. También Lyman & Fox (1989) y Gifford (1981) en alusión a Behrensmeyer (1978) y Todd *et al.* (1987) se definen diferentes estadios de *weathering* en función de las partes anatómicas que puede deberse a la densidad diferencial de unos elementos frente a otros. Por otro lado, no se sabe con seguridad que elementos sufren un *weathering* más rápido ni tampoco como cambia según las zonas, por lo que Lyman & Fox (1989) concluyen que el *weathering* no es diagnostico de la velocidad de sedimentación de un yacimiento. Desde un punto de vista taxonómico también se ha observado cierta diferenciación, así en los équidos es más lento que en los bóvidos (Gifford, 1981) y en los adultos que en los jóvenes o infantiles (Behrensmeyer, 1978). La densidad y la porosidad del hueso influyen en el *weathering* (Lyman, 1994), también se ha visto que el medio de deposición influye, así el experimento de Behrensmeyer (1978) puede ser válido para medios y ambientes diferentes, pero la periodicidad de los cambios varía de lugares abiertos a otros sobre cueva o abrigo como muestra la buena conservación de los huesos del estudio de Ruiter & Berger (2000) o la de los lugares de mayor vegetación. Así Gifford (1981) indica que en función de esto y de la insolación el *weathering* puede aumentar o disminuir. De todas formas, aunque los datos de Behrensmeyer

son útiles, deben ser tratados con precaución, ya que se ha visto como esta sujeto a grandes variantes. De la misma forma, Frostick & Reith (1983) y Littleton (2000) observan procesos de reactivación subaérea que indican que el *weathering* no es una variable temporal muy fiable.

Otros efectos que puede presentar la degradación atmosférica es el agrietamiento en mosaico (Blasco, 1992) o los cambios en la estructura molecular del hueso (Piepembrink, 1986). Además de esta autora, Ortner *et al.* (1972), Baud (1982), Von-Endt & Ortner (1984) y Piepembrick (1986) han documentado otros fenómenos atmosféricos, así Ortner *et al.* (1972) muestra que la tierra, el agua, la salinidad y el PH pueden reducir los efectos de la temperatura y acelerar la pérdida de ciertos componentes como el nitrógeno.



FIGURA 9.2. Weathering sobre fémur y tibia de ovicáprido.

### 9.3. PROCESOS HIDRÁULICOS Y EÓLICOS

Las alteraciones que ahora van a describirse son las correspondientes a los efectos de las corrientes hídricas. Las corrientes pueden influir en la conservación y la representación de los restos

ya que según su fuerza pueden mover y transportar los restos óseos. Por ejemplo, dentro de los diferentes procesos edáficos que intervienen en la sedimentación de los yacimientos sobre terraza, Auguste (1994 b) ha descrito que no todas las posiciones de la terraza son favorables para la conservación. De manera que divide las terrazas en tres zonas, borde interno, que es la parte más próxima a la corriente del río, el externo, que es el más alejada y la parte media. De éstas, la más favorable es el borde externo al estar menos expuesto al transporte fluvial. Por lo tanto, las corrientes hídricas son unos condicionante más de la conservación y, como los demás agentes que intervienen en el registro también dejan evidencias físicas sobre los restos óseos en forma de pulidos, abrasiones y otras señales.

El transporte que provoca sobre los diferentes restos es vertical, horizontal y lateral, así en medios subacuáticos, el movimiento suele ser vertical (Fernández López, 1995), a diferencia de otros procesos como el pisoteo que favorece la inclinación de los restos y la acción gravitatoria del medio de carga puede potenciar los movimientos laterales. En medios arenosos de contextos aluviales, el transporte puede ser vertical u horizontal (Frostick & Reith, 1983). Las corrientes también pueden ocasionar este transporte lateral, que según Fernández López (1995) afecta más a los elementos de mayor flotabilidad. La movilidad de los restos dependerá de dos factores, las características de la corriente y las de los restos, así a menor tamaño y menor densidad más probabilidad de ser transportado, la flotabilidad del hueso facilita su transporte por el contrario la existencia de prominencias lo dificulta.

Los huesos que son transportados por una fuerte corriente quedan posicionados en una orientación paralela al eje de la corriente y si las aguas son profundas pueden quedar en una orientación perpendicular a dicho eje (Behrensmeyer, 1990 y observación personal). Para Hanson (1980) el eje longitudinal del hueso quedará dirigido en el sentido de la corriente. En otros casos cuando los objetos son cónicos se desplazan de forma paralela a la corriente y si son cilíndricos tienden a moverse con su eje orientado perpendicularmente a la corriente (Fernández López, 1995). Aunque dicha orientación e inclinación puede variar en función



de la fuerza de la corriente (Kreutzer, 1988; Fernández López, 1995) y la profundidad a la que esta sumergida el hueso (Voorhies, 1969). Así los huesos largos se orientan paralelos al eje de la corriente cuando están sumergidos totalmente, pero sí sólo lo está parcialmente, su orientación será de forma perpendicular (Voorhies, 1969). Gracias a esto, Boaz (1982) puede reconocer el origen de la corriente gracias a la orientación de los restos óseos, aunque frente a éstos en otros casos se ha mostrado como la orientación de los huesos difiere de unos elementos a otros (Conard, 1999).

Entre los huesos no todos tienen las mismas posibilidades de resistir las corrientes hídricas, así el tamaño, la forma, la densidad del hueso o su situación articulada o desarticulada influyen en el transporte (Voorhies, 1969; Behrensmeyer, 1975, 1982, 1988; Koth, 1979; Gifford, 1981; Speth, 1983; Badam *et al.*, 1986; Hanson, 1990; Conard & Denell, 1995; Conard, 1999). Por ejemplo, los huesos de menor densidad tienen más probabilidades de ser transportados que los otros. De esta forma los huesos que más facilidades tienen de ser transportados según el potencial hidrodinámico propuesto por Voorhies son las costillas, las vértebras, el sacro y el esternón, en un segundo subgrupo del primero están la escápula, las falanges y el cúbito, en un segundo todos los huesos largos y la pelvis, en tercer lugar la rama mandibular y finalmente el cráneo y la mandíbula (Voorhies, 1969; Behrensmeyer, 1975, 1982). De esta forma, si en una concentración aparecen los restos del primer y segundo grupo indicarán que la fuerza de la corriente no ha sido muy fuerte, frente el grupo segundo que sería más moderado o el tercero que sería más fuerte.

Por el contrario, en otro trabajo Conard (1999) ha visto como los huesos con más problemas de sufrir transporte son aquellos que tienen una mayor superficie, destacando el cráneo, el húmero, la escápula, el radio y el cúbito frente a la mandíbula y los metapodios. Otro ejemplo de esto a lo que nos venimos refiriendo es el hecho de que Boaz & Behrensmeyer (1979) alcanzaron conclusiones distintas a las de Voorhies, pero a diferencia de Voorhies trabajan con huesos fragmentados. Por otro lado, estos autores dicen que en el transporte puede influir el estado fresco o seco del hueso o el estado de articulación.

Conard & Dennell (1995) y Conard (1999) han visto que los huesos secos articulados son los más susceptibles de sufrir transporte acuático, debido a que al estar articulados su superficie es mayor. Por otra parte, Hanson (1980) dice que el transporte no está condicionado por la forma o las características del hueso, sino por la fuerza de la corriente y la capacidad de rodamiento de los huesos, lo cual según mi experiencia es mayor en elementos como los metapodios o el radio y menor, en otros como la mandíbula o las costillas. Por otro lado, según Hanson (1980) en los medios de baja energía como los deltas, dice que habrá una representación de todos los elementos incluidos los más proclives al transporte. Por el contrario, en aquellos medios de alta energía como los canales aparecerán sobrerrepresentados los elementos más resistentes al transporte, algo que ha observado Badam *et al.* (1986) entre los perfiles esqueléticos de una acumulación producida en este medio, la cual no presenta elementos como falanges o ulnas de mayor flotabilidad que los huesos largos, que sí aparecen.

En función de la matriz sedimentaria y el tipo de depósito fluvial en el que se integran los restos óseos, Behrensmeyer (1988) ha observado que en depósitos de canal de escasa y alta energía, el transporte y las alteraciones óseas varían. Así, se observa que en canales de agua de baja o reducida energía pueden formarse intercanales de pequeño tamaño o también restos de canales mayores tipo abrevaderos. En dichos contextos se preservan más los huesos largos y los dientes, se produce abrasión, rodamiento de los ejes y la fragmentación puede variar pero con frecuencia es alta, no suelen darse conexiones anatómicas y la orientación de los huesos va en el sentido de la corriente. En yacimientos tipo canales de mayor energía los huesos no suelen estar rodados y presentan bordes frescos, la fragmentación es variable y la orientación depende de la matriz y la corriente, así en depósitos de barro carecen de orientación clara.

Junto al transporte las corrientes hídricas también pueden ocasionar otro tipo de alteraciones. Como fuerza erosiva pueden producir erosión física y disolución química (Behrensmeyer *et al.*, 1989). La acción física puede ocasionar pérdida de la superficie externa, estriaciones (Behrensmeyer, 1991), pulidos, lustre (Brett,

1990), redondez del hueso y pérdida de la cortical (Parssons & Brett, 1990) y abrasiones (Brugal, 1994), las cuales pueden medirse según Martill (1990).

La abrasión fluvial es el fenómeno más frecuente hecho por el agua y ha sido observado tanto experimentalmente (Olsen & Shipman, 1988; Behrensmeyer *et al.*, 1986; Fiorillo, 1989), como arqueológicamente (Shipman & Rose, 1983 b; Andrews & Cook, 1985; Badam *et al.*, 1986; Haynes 1988, 1991; Oliver, 1989; Behrensmeyer *et al.*, 1989; Fisher, 1992).

La abrasión es el resultado de la presión que sufren los huesos cuando están expuestos en un líquido con abundancia de sedimento y puede producirse antes y después del enterramiento (Behrensmeyer, 1975 b, 1987; Korth, 1978; Bromage, 1984; Brugal, 1994). La abrasión o desgaste mecánico es el desgaste de los elementos transportados por el agua, el viento o bien el rozamiento entre las partículas que son removidas (Brugal, 1994; Fernández López, 1995) o lo que es lo mismo, el resultado del desgaste producido en la superficie ósea por medio de una fuerza física (Boaz, 1982; Shipman & Rose, 1988). El tamaño del grano de las partículas sedimentarias que son transportadas con los huesos, la composición de dichas partículas y la presencia o ausencia de tejidos blandos en el hueso pueden condicionar el grado de acción de la corriente hídrica, pudiendo causar la desaparición de tejido óseo o de otras marcas anteriores. También la condición y las características del hueso, roto o completo, fresco o seco, alterado térmicamente etc, pueden influir en el grado de alteración, de esta forma Shipman & Rose (1988) han observado como los restos rotos son más abrasionados que los completos. De la misma manera, la duración del evento, la distancia del transporte, la velocidad de la corriente, su grado de acción y el sedimento sobre el que se produzca pueden ser otros condicionantes.

Por ejemplo el sedimento angular altera más la cortical ósea que el que es redondeado y las superficies convexas se alteran más que las cóncavas (Andrews, 1990). Shipman & Rose (1988) han visto como los loess y los medios volcánicos son los más abrasivos y Auguste (1994) ha visto que la conservación de los loess es inferior de la que se produce en los medios fluviales.

La abrasión es el resultado del rozamiento que producen las partículas sedimentarias y su grado de acción, dependerá de toda una serie de factores relacionadas con las propias características del hueso y de la corriente. Aunque en determinados contextos sobre zonas húmedas o pantanosas la abrasión también puede producirse, así el contacto prolongado de las superficies óseas sobre corrientes hídricas de baja o escasa energía puede provocar la abrasión (Behrensmeyer, 1987; Gutiérrez, 2001). Badam *et al.* (1986) muestra como en medios de canal en los que la abrasión es moderada puede deberse a que las aguas son poco profundas.

En los apéndices del Lyman (1994) se recogen varias definiciones sobre el término abrasión. Estas son (Lyman, 1994 502: Abrasion). (1) «*the result of any agent that erodes the bone surface through the application of physical force*» (Bromage 1984:173); (2) «*the removal of bone material caused by the impact of sedimentary particles*» (Shipman & Rose, 1988: 323); (3) «*removal of edges and/or surfaces of animal remains by physical erosion (as opposed to chemical dissolution)*» (Behrensmeyer *et al.*, 1989); (4) «*physical grinding and polishing, resulting in rounding of skeletal elements and loss of surficial details*» (Brett, 1990 a: 224); (5) «*The wearing down of skeletons due to their differential movement with respect to sediments*» (Parsons & Brett, 1990:38); (6) «*The loss of external surfaces and projections through physical or chemical erosion*» (Behrensmeyer 1991: 309).

La abrasión también puede ser de origen eólico, fruto del bombardeo continuo de pequeñas partículas alterando sólo la superficie ósea (Brain, 1967) y a veces también los ejes en las diáfisis. Littleton (2000) ha comparado la erosión eólica y la hídrica sobre unos restos óseos en unos contextos de medios semiáridos de Australia y ha visto como en los medios con una erosión eólica importante, se produce una alteración del conjunto óseo mayor que la de los medios de erosión hídrica. De manera que los movimientos verticales de los restos, su dispersión y el cambio de su posición original se produce más en los contextos eólicos, al producirse en estos medios más episodios de redeposición, además, en ellos la incidencia del *weathering* es mayor y la fragmentación también. Por otro lado, la abrasión eólica, solo altera la parte

del hueso que está expuesta y el grado de acción esta relacionado con el tipo y tamaño de partículas sedimentarias que actúan, el estado del hueso y la fuerza del viento. Así por ejemplo Fernández Jalvo (1992) ha visto como los huesos secos tienden a sufrir más la acción abrasiva de las partículas que los huesos frescos. De la misma forma, el tipo de sedimento es otro factor importante, así mientras las gravas y arenas son altamente abrasivas, los limos y arcillas sólo pueden redondear, pero no pulir.

Dentro de la abrasión podría incluirse la propia acción sedimentaria, que para Olsen & Shipman (1988) puede aumentar la estriación y como ya se ha explicado, es consecuencia del deslizamiento de la matriz sobre el hueso que terminan por desgastar la cortical.

El desgaste que produce la abrasión puede ser de varios tipos según la forma en que se produzca. Müller en (Fernández López, 1995) distingue anclaje, rodamiento y deslizamiento. El anclaje es cuando los objetos están fijos al substrato y son expuestos a la acción de algún agente abrasivo que se desliza sobre los objetos, sería la abrasión producida en aquellos medios de baja energía. En ocasiones una corriente unidireccional puede alterar solo el lado con el que esta en contacto. Cuando el objeto sufre movimiento por causa del transporte se lo llama deslizamiento.

Dentro de la abrasión los efectos del agua también pueden provocar redondez del hueso, que en función de su intensidad puede dividirse en varios tipos, así Martínez Moreno (1993) distingue varios grados, 0 (no observable), 1 (no rodado), 2 (ligero rodamiento) y 3 (muy rodado). En función de esto, Cáceres reconoce 3 estados, el primero (no rodado), el segundo (solo los bordes) y el tercero (muy rodado). El rodamiento puede producir superficies lisas y redondeadas con ciertos brillos y lustres que también puede crearlos el fuego y la abrasión (Shipman & Rose, 1983; Fisher, 1995). Como la abrasión este fenómeno puede ocurrir antes, después o durante el enterramiento (Behrensmeyer, 1984) y puede verse macro y microscópicamente.

El rodamiento se produce por la combinación del movimiento del agua a través de todas las partículas que transporta (Shipman & Rose, 1983), pero también puede causarla la acción digestiva de

los carnívoros (Haynes & Stanford, 1984; Oliver, 1994) o la erosión química que puede redondear los bordes (Fisher, 1995). Los pulidos son consecuencia de los movimientos verticales u horizontales (Johnson, 1985) y como el rodamiento algún autor ha diferenciado varios estadios, así Cáceres (2002) distingue 4 estadios, el 0 (no hay), 1 (sólo en los bordes), 2 (bordes y superficie brillante) y 3 (totalmente pulido).

El pulimento es el brillo que presenta una superficie ósea como resultado de determinada acción ejercida sobre el hueso y, puede deberse tanto a la acción acuática como a la eólica (Bouchud, 1974; Shipman & Rose, 1983 a, 1988). La patina producida por los diferentes agentes físicos presenta cierto cambio de coloración hacia tonos más blanquecinos y aspecto brillante (Esteban, 1996).



FIGURA 9.3. Alteraciones hídricas. Rodamiento y pulido.

#### 9.4. CAÍDA DE BLOQUES

Otro proceso de alteración que puede alterar las corticales óseas es la caída de bloques, la cual suele producirse en cuevas o abrigos. Es un proceso mecánico que puede aumentar la fragmentación,

destruir alteraciones anteriores y crear otras como estrías, impactos, o lascas concoidales (Oliver, 1989; Fisher, 1995), su problema es que puede confundirse con las marcas de percusión.

## 9.5. PROCESOS DE SOLIFLUXIÓN Y ACCIÓN DE HIELO

La soliflujión es un proceso escasamente documentado, se produce en contextos fríos y sin cobertura vegetal. El suelo congelado superior penetra sobre el inferior en forma de cuña y cuando se descongela pasa a un estado semilíquido sufriendo un desplazamiento gravitacional de deslizamiento afectando a los huesos mediante trazas de tipo mecánico, provocando gran variedad de alteraciones como abrasión, estrías, *trampling*, rodamiento, fracturas, arrastres, fracturas, estallidos lascas concoidales e irregulares (Torzón & Gutierrez, 1984; Auguste, 1994 b; Fisher, 1995). En realidad es el mismo proceso que hace el transporte hídrico ya que los elementos óseos son transportados con la materia sedimentaria durante los procesos de soliflujión y, en función de este transporte, los bordes son erosionados al igual que las corticales, que por el roce con las partículas sedimentarias de la matriz son abrasionadas.

Los episodios de congelación que rodean a los procesos de soliflujión tienen, además, otros efectos sobre los restos óseos. Si el proceso de congelación es poco intenso no tiene porque causar grandes efectos, si por el contrario lo es, pueden darse procesos de crioturbación y de mezcla de materiales de épocas diferentes (Auguste, 1994 b). Por otro lado, la acción del hielo o las heladas pueden provocar descamaciones, desconchamientos y fracturación del hueso, pulimentos y abrasiones cuando hay desplazamientos de hielo, o si se da nieve o hielo sobre el suelo pueden aumentar la humedad de los huesos (Auguste, 1994 b) y producir las alteraciones que acompañan a estos procesos como descamaciones, exfoliaciones, pulidos o abrasiones.

En los trabajos experimentales de Guadelli & Orouf (1994, 2000) se trata de ver que incidencia tienen los procesos de soliflujión y el hielo sobre el hueso y se observa que este es un importante agente de fracturación, de forma que cuanto más aumenta su

intensidad mayor es su influencia. Así, en unos primeros momentos, la gelificación produce grietas, fisuras, pliegues y un aumento de la fragmentación de las partes esponjosas. Después y a medida que aumenta la intensidad de la acción del hielo, su acción origina resquebrajamiento, esquirlamiento y fisuras tanto en huesos como en dientes, separación de epífisis y diáfisis, fracturas longitudinales sobre diáfisis etc. Concluyendo, por tanto, que la acción del hielo es otro factor de alteración que debe tenerse en cuenta, sobretodo en la fragmentación. En el trabajo de Dari (1998, foto 5) se muestra algún ejemplo de fracturación por deshielo.

## 9.6. LAS ALTERACIONES FÍSICO QUÍMICAS

Dentro de esta categoría se integra una gran cantidad de procesos que pueden causar multitud de alteraciones. Entre estas se puede destacar las producidas por la disolución química que esta relacionada con la estabilidad de sus componentes minerales primarios y secundarios.

La descomposición de los tejidos pueden iniciar la desmineralización y la destrucción del colágeno, al igual que la acción del agua puede provocar descalcificación y desosificación y acrecentar la diagénesis, ya que altera la solubilidad y favorece el intercambio de partículas entre el sedimento y el hueso (Hedges & Van Clinken, 1995). Igualmente el PH del suelo influye activamente en el estado iónico del hueso y en la solubilidad de la hydroxiopatita (Auguste, 1994 a) y la composición química del suelo es otro factor que condiciona la solubilidad (Pate & Hutton, 1988).

Algunos procesos químicos que pueden intervenir son la lixiviación que significa la pérdida de material soluble, o el enriquecimiento que es el proceso contrario y tienden a producir corrosiones y cambios de coloración.

Otros procesos como la disolución de manganeso (figura 9.3) provoca coloraciones blanquecinas en los bordes, bordes romos y patinados (López González *et al.*, 1997). Pero normalmente suelen producir puntos y manchas negras de tamaño variable que suelen relacionarse con concentraciones de agua estancada en unas



condiciones de temperatura frescas y húmedas no superior a 14 °C (Esteban, 1996), por otro lado algún autor ha propuesto que también pueden producirse en medios de una intensa actividad bacteriana (Shahack-Gross *et al.*, 1997).

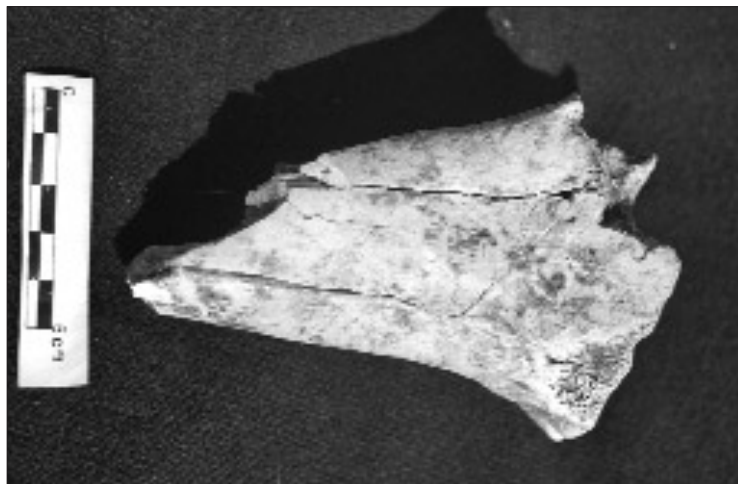


FIGURA 9.4. *Manchas de en hueso producidas por disolución de manganeso.*

El ácido acético es otro proceso que incrementa la macroporosidad y decrece la microporosidad, causa efectos químicos y diagenéticos y reduce el peso del carbonato y la cristalización (Nielsen-Marsch & Hedges 2000 b). La carbonificación es un fenómeno que se produce en momentos de diagénesis temprana y es un enriquecimiento de los restos orgánicos que tiene lugar a partir de la descomposición, que implica importantes cambios estructurales y de coloración. Los cambios de temperatura es otro factor que pueden producir cambios químicos, al igual que pérdida de tamaño, densidad o de resistencia (Von Endt & Ortner, 1986).

También puede cambiar la conservación la acción antrópica, que con su actividad puede incrementar o alterar la cantidad de fosfatos, ácidos carbónicos o el PH (Scuder, 1993).



FIGURA 9.5. Hueso con perforaciones producidas por goteo y comienzo de disolución química por la acción del carbonato cálcico.

De esta forma los cambios diagenéticos que ocurren en los procesos de fosilización no solo afecta a la estructura externa sino también a su composición química y, por ejemplo, puede influir el que determinados análisis como el de la dieta a partir del contenido de potasio, flúor o el magnesio pueden ser erróneos al ser contaminados por la matriz sedimentaria (Parker & Toots, 1980). Por el contrario otros como el estroncio no se ve afectado, por esto, es un buen calibrador para ver la dieta (Sillen & Sally, 1995), de manera que los herbívoros presentan un contenido alto, frente al de los carnívoros, que es bajo.

Dentro de las alteraciones químicas, destaca también los cambios de coloración que experimenta el hueso cuando está en contacto con el sedimento en los primeros estadios de fosilización, así, una coloración azul verdosa puede producirse cuando están en contacto con óxidos metálicos como el fosfato de hierro, las negruzcas puede deberse a la acción de óxidos de hierro o manganeso, la impregnación de componentes húmicos puede ocasionar coloraciones azules, negras, gris o marrones según el contenido orgánico y la composición de ese humus, en otros casos la coloración difusa

puede ser consecuencia de acciones químicas diversas (Flanchet, 1933; Auguste, 1994 a). La oxidación también puede producir coloraciones marrones o pardas, de la misma forma que un medio reductor alternante de humedad y sequedad puede propiciar coloraciones azules o grisáceas (Patou Mathis, 1989).



FIGURA 9.6. *Alteración producida por oxidación.*

## 9.7. MINERALIZACIONES

Las mineralizaciones es un proceso por el que se produce un intercambio de las partículas minerales del hueso por otras sedimentarias que sustituyen a las primeras, pueden causar un aumento del peso, cambios en la densidad, la coloración e incluso pueden causar el aguzamiento y redondez de los bordes de fractura (Martínez Moreno, 1998) y fisuras longitudinales (Patou Mathis, 1989), aunque nunca afectan a la estructura del hueso (Auguste, 1994 a). Como todo proceso tafonómico puede afectar a todo ser vivo y puede implicar varios procesos como la cementación o el neomorfismo (Fernández López, 1995).

La cementación es la incorporación de nuevos minerales y el neomorfismo es el reemplazamiento. La cementación implica varios procesos que son la permineralización que influye en la capacidad permeabilizadora de las células del resto. La concreción es el relleno de las partículas sedimentarias por las cavidades y poros y puede estar favorecido por la acción del agua.

El neomorfismo es la sustitución de componentes minerales de igual composición química y pueden ser la recristalización que implica un cambio textural y es el aumento de las sustancias cristalinas, o la inversión que es más un cambio polimórfico. El reemplazamiento puede ser también el cambio de minerales de diferente composición química y pueden ser procesos de silificación o dedomitación (Fernández López, 1995).

La mineralización favorece la fosilización pero implica un cambio estructural, morfológico y de la composición química. Los elementos principales que pueden intervenir son la calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), la dolomita [ $(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$ ], el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), la pirita y la marcasita (Sr Fe), la pimonita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{NH}_2\text{O}$ ), los hematites ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), el ópalo ( $\text{Si O}_2 \text{ NH}_2\text{O}$ ), el yeso ( $\text{SO}_4 \text{ Ca}_2 \text{ H}_2\text{O}$ ), la glaucomita [ $(\text{Si Al}_4 \text{ O}_{10} (\text{OH})_2 (\text{Al Fe Mg})_2 (\text{Na k})$ ], el apatito [ $(\text{PO}_4)_3 \text{ Ca} (\text{Fe Cl OH})$ ] o la pirifolita [ $(\text{Si O}_4 \text{ O}_{10} (\text{OH})_2 (\text{Al})_2$ ]. Otras menos frecuentes son la barinita, la uraninita, la siderita, la calcopirita, la azurita, la malaquita, la fluorita, la galena, la plata o el cobre (Fernández López, 1995).

Para Littleton (2000) se pueden reconocer tres estadios. El primero es un estado normal sin mineralización, el segundo es parcialmente mineralizado y el tercero es totalmente mineralizado.

Dentro de los procesos que intervienen en la mineralización se puede incluir la recristalización (Esteban, 1996 a) producida por la disolución del suelo y, la concreción o la embrechificación, que puede enmascarar otras alteraciones como las marcas de corte o de diente.

La mineralización es un proceso que facilita la fosilización, pero que, sin embargo, deteriora las corticales óseas ocultando algunos procesos tafonómicos.

Tras ver las alteraciones que pueden sufrir los restos óseos desde el momento de muerte hasta su análisis en el laboratorio,

pasando desde su deposición inicial hasta su enterramiento, es necesario comentar algo sobre el proceso de enterramiento, ya que este influye de forma determinante en la conservación de los restos.



FIGURA 9.7. *Proceso de Cementación y concreción por carbonato cálcico.*

## 9.8. ENTERRAMIENTO COMO PROCESO TAFONÓMICO. LA IMPORTANCIA DEL MEDIO SEDIMENTARIO

Numerosos factores como el enterramiento, el clima, el medio sedimentario, la velocidad de sedimentación, las sustancias fosilizadoras o la durabilidad pueden influir en la preservación ósea, entendiendo durabilidad como resistencia del resto ante los diferentes procesos destructivos sin transformarse.

Las sustancias químicas fosilizantes son las partículas que permiten la fosilización de los restos y se refiere a todos aquellos minerales solubles que en determinadas condiciones de temperatura o acidez del medio pueden favorecer la fosilización como el azufre, la malaquita, el cobre etc. Las sustancias químicas fosilizantes más corrientes son el carbonato cálcico, la sílice, el sulfato de hierro, el fosfato y sulfato cálcico y los silicatos. Por el contrario, otras sustancias como las dolomías o el carbonato de magnesio son malos. De todas las sustancias fosilizantes, las más corrientes, son el carbonato cálcico que en forma de calcita es una sustancia muy fosilizadora igual que el fosfato cálcico que forma

parte de los huesos y, que en los procesos de fosilización es sustituido por carbonato. Otras sustancias buenas fosilizadoras son los silicatos, que funcionan bien en determinadas condiciones geográficas si hay un PH apropiado, la sílice del lugar o las soluciones coloidales también puede favorecer la fosilización, por ejemplo la calcedonia.

Junto a las temperaturas frías; la congelación, los medios arenosos áridos y los húmedos carentes de oxígeno de las zonas pantanosas o las turberas favorecen la conservación (Guthie, 1990; Alison, 1990; Micozzi, 1991), ejemplo de ello pueden ser los animales congelados de Siberia (Guthie, 1990). Junto a estos, hay otros que retardan la descomposición como las zonas con un PH bajo, las salinas, los áridos, los medios de escasa permeabilidad como el petróleo, las zonas volcánicas, los medios de grano fino o los arcillosos que evitan la acción descomponedora de los microbios heterotróficos e incluso los medios de grano grueso que impiden la acción de los agentes bioturbadores, la carbonificación, la mineralización, el enterramiento, etc. Frente a estos están otros en los que la conservación es peor como los medios ácidos, los templados y húmedos, o los que la exposición subaérea es prolongada, etc. (Janaway, 1990; Micozzi, 1991; Dirrigl, 2001).

Nielsen-Marsch & Hedges (2000 a) han observado como las alteraciones óseas cambian de unos lugares a otros en función del medio sedimentario en el que se encuentren. De esta forma, han visto que las alteraciones producidas por bacterias son mayores en los contextos con una humedad constante como cuevas o paleocanales que otros como los medios áridos o aquellos que favorecen la sedimentación.

También ha observado que el contenido proteínico del hueso cambia con el tiempo, de la misma forma que la pérdida de colágeno de los huesos se incrementa cuando el contenido proteínico crece, lo que le hace sufrir un mayor ataque bacteriano y que la conservación sea peor. Por otro lado, los huesos con un bajo contenido proteínico y una alta acción bacteriana sufren diferentes procesos como la hidroxilisis química, la pérdida de colágeno y la reorganización microestructural que a su vez afecta a la microporosidad y la cristalización ósea. La porosidad puede variar duran-

te la alteración diagenética, dependiendo de la pérdida proteínica y, la cristalización puede incrementarse en la diagénesis de muchas maneras según el medio en el que se encuentre, de la misma forma que puede hacerlo el porcentaje de carbonato y calcita (Nielsen-Marsch & Hedges, 2000 a).

Tras su estudio se concluye que la acción microbiológica se reduce en los ambientes de gravas, margas, y bancos de arena. Sin embargo, aumenta en las cuevas, los clastos, los medios acuáticos y los paleocanales. La microporosidad también cambia de unos sitios a otros, de forma que los huesos de los sitios secos tienen una menor microporosidad frente a los huesos de medio acuáticos. Los huesos con baja microporosidad indican disolución de la materia ósea y, los que presentan alta macroporosidad es que han estado relacionados con labores de cocinado. Por el contrario, los lugares con baja macroporosidad tienen un alto contenido proteínico.

En otro estudio de ámbito más concreto, Stiner *et al.* (2001) han observado como las condiciones de preservación de los restos óseos en un mismo yacimiento pueden depender del lugar de deposición, de forma que tras realizar numerosos análisis, han visto como los efectos diagenéticos varían de unas zonas a otras y como determinadas áreas son más favorables para la conservación que otros.

Dentro del proceso de fosilización es importante conocer dos momentos a los que nos referimos anteriormente. La bioestratigrafía y la fosildiagénesis. El primero es anterior al enterramiento y hace referencia a todos los procesos sedimentarios desde que el ser vivo muere hasta su enterramiento. El segundo se refiere a los procesos que causan su fosilización y se produce cuando el ser ya es enterrado. Junto a estos términos esta también el de la diagénesis. Que según Rastalleck (1990) y Karkanas *et al.* (2000) son las alteraciones que se producen en el resto antes y después de la deposición, la diagénesis afecta a procesos intrínsecos del hueso como la porosidad, la estructura molecular, la cristalinidad y otros. Algunos factores que influyen en ella son la naturaleza del sedimento, el PH, la salinidad, el agua, la temperatura, la acción bacteriana o la historia postenterramiento (Hedges & Millard, 1995). En el trabajo de Gutiérrez (2001) se estudia los efectos de

la diagénesis sobre la porosidad, la cristalinidad, el contenido de carbono, el proteínico y la integridad histológica que permite ver como ha sido la destrucción microbiológica post mortem y los efectos de la diagénesis y, se ve como la acción bacteriana puede aumentar o disminuir sus efectos, aunque también lo puede hacer el agua, la temperatura y, otras alteraciones como el *weathering* o las vermiculaciones.

Para Rolfe & Brant (1969) hay tres fases en la diagénesis. La *Syndiagénesis* es la acción bacteriana y sería un proceso bioestratigráfico, la *Anadiagénesis* fase profunda de enterramiento de compactación y o de reacciones predominantemente químicas que correspondería con los procesos fosildiagenéticos y la *Epidiagénesis* que implica la desaparición del fósil. También el clima puede tener fuertes influencias diagenéticas.

El enterramiento es el momento intermedio entre la diagénesis y la deposición y en él, la sedimentación puede ser un proceso lento o rápido según distintos condicionantes. El enterramiento puede estar favorecido por las corrientes hídricas, el viento, la acción gravitatoria o la carga litostática que acrecientan el ritmo de sedimentación. Clark & Kietzke (1967) sugieren que al menos 6 factores de enterramiento pueden variar en función de la acumulación fósil:

1. Tiempo entre los episodios de sedimentación.
2. Espesor de los sedimentos.
3. Velocidad de las fuerzas deposicionales.
4. Naturaleza del sedimento (compactación, tamaño, etc.).
5. Acción postdeposicional de raíces y bioturbaciones.
6. Permeabilidad del sedimento y naturaleza química.

A estos podría añadirse el del lugar de deposición, ya que determinados contextos como las cuevas son más favorables para la deposición que otros como los medios abiertos.

Unos de los condicionantes principales del enterramiento son las partículas sedimentarias y medios sedimentarios. Así Behrens-meyer (1975, 1976) muestra como los bordes de los deltas de los ríos son mejores lugares de sedimentación que otros como los



canales, al ser la sedimentación más alta y las alteraciones postdeposicionales menores.

En lo referente a las partículas, Steinz (1987) distingue varios tipos, cantos rodados (> 256 mm), guijarros (64-256 mm), guijarros de granos muy bastos (32-64 mm) bastos (16-32 mm), medios (8-16 mm), finos (4-8 mm), muy finos (2-4 mm), arenas de 2 mm a 1/6 de mm, sedimento de aluvión (silt 1/256-1/16 mm) y arcillas (1/4096-1/256 mm). Butzer (1982) reconoce varios medios sedimentarios en función de cada ambiente (tabla 9.4).

La sedimentación condiciona la densidad de los fósiles en una unidad geológica, así una sedimentación rápida favorecerá la

TABLA 9.4

*Estados deposicionales y atribuciones de los sedimentos (Butzer, 1982)*

Medio	Velocidad deposición	Textura	Clasificación
Medios acuáticos	Rápida y lenta	Lenticular, heterogéneo pero puede controlarse, arenas precipitadas	Pobre o buena
Karst	Baja	Heterogéneo, masivo, húmico o gravas lavadas	Principalmente pobre
Cueva	Detritos con origen eólico o fluvial	Variado	Generalmente pobre
Arena de costa	Altamente variable	Fino y de facies complejas arcillas y sedimentos	Buena y marcas de agua
Lago y pantano	Bajo o moderado	Fino, arcillas y arenas con materia orgánica extensiva y masiva	Pobre y buena
Delta	Variable	Arcillas y aluvión y arena	Moderado a buena
Riada	Variable	Complejo vertical y lateral arcillas y gravas	Moderado a buena
Eólico	Bajo a moderado	Bien estandarizado, masivo, arena, aluvión	Excelente
Lomas inclinadas, repechos, etc.	Variable	Fino a masivo mal estratificado sedimentado	Pobre
Volcánico	Variable	Masivo	Moderado a excelente

conservación de más fósiles. Por el contrario, si esta es muy lenta o no se produce, dejará paso a los mecanismos de destrucción formados por la erosión, de esta forma se pueden distinguir fases erosivas y sedimentaras. En función de esta asunción se distinguen cuatro tipos de concentración de fósiles. En primer lugar, se da un predominio de fósiles al tiempo que un estrato corta a otro (fase sedimentaria). En el segundo un proceso erosivo provoca el afloramiento de fósiles, en el tercero el predominio de fósiles al tiempo que aumenta la sedimentación (fase sedimentaria) y el cuarto es un proceso erosivo contrario al primer caso, en el que la erosión de una capa con fósiles favorece el afloramiento de otra capa anterior rica en fósiles (Kindwell, 1985, 1986).

Ascenzi (1969) distingue en el proceso de fosilización los siguientes momentos: Primero, desaparición gradual de las estructuras orgánicas como el colágeno y, el osteocito, Segundo, fase de recristalización, mineralización y petrificación en el que se produce el intercambio de minerales por las sustancias orgánicas. A este planteamiento se lo llamo *Replacement o Authigenic Preservation* (Mattheus, 1962; Schopf, 1975). En este paso se incluye proceso de hidrólisis por el que se combina el agua con otras moléculas y es como el cambio de una sustancia orgánica por otra más mineralizada. El tercero es la sustitución de elementos químicos por otros más cristalinos.