

CAPÍTULO 5. CONSIDERACIONES TAFONÓMICAS

5.1. INTRODUCCIÓN

El análisis tafonómico desde su inicio (Efremov 1940) se ha convertido en una herramienta imprescindible para determinar los agentes y procesos de formación de cualquier acumulación ósea antigua. En la última década esta disciplina se ha aplicado ampliamente en el campo de la arqueozoología para diferenciar las tafocenosis de origen antrópico de las generadas por otros depredadores. Por tanto antes de iniciar el estudio isotópico y paleontológico de la fauna de Kiputz IX, es oportuno realizar algunas consideraciones previas de carácter tafonómico. No se trata de un análisis tafonómico sistemático. Sólo se pretende establecer el origen de la acumulación ósea y la existencia de una mínima homogeneidad en la muestra que justifique la validez de los estudios posteriores.

Con este fin se abordan tres cuestiones puntuales. En primer lugar se exponen los datos que permitan eliminar a depredadores y carroñeros en la génesis de esta acumulación de huesos. Después se estudia la preservación diferencial de las distintas partes del esqueleto en los tres ungulados más frecuentes. Finalmente, se analizan las diferencias en el grado de diagénesis ante huesos de edades y especies distintas.

5.2. ORIGEN DE LA ACUMULACIÓN DE LA FAUNA EN KIPUTZ IX

En el origen de una acumulación de fauna pueden intervenir agentes bióticos o abióticos. En el primer caso la tafocenosis puede

ser consecuencia de la actividad humana o de la actividad de depredadores o carroñeros, principalmente del grupo de los carnívoros. Para explicar el proceso que ha dado origen a la fauna recuperada en Kiputz IX, se procede primero a eliminar la posible existencia de este tipo de agentes.

Los criterios fundamentales que caracterizan la participación de agentes antrópicos en el origen de una acumulación ósea son: evidencias de actividad de origen humano como son la existencia de hogares, de arte parietal o de arte mueble, la presencia de industria lítica u ósea, la presencia de huesos quemados, con marcas de consumo como puntos de percusión, incisiones etc... o ciertos tipos de fragmentación (Huget *et al.* 2010).

La ausencia de evidencias de actividad humana en la propia cavidad ha sido una constante durante todo el proceso de excavación. La recuperación de media docena de artefactos líticos sobre un total de 18.296 restos de fauna, sólo permite suponer una presencia muy esporádica de humanos en la cavidad. Este hecho no resulta extraño si se tiene en cuenta que en el entorno de la sima hay varios yacimientos arqueológicos sincrónicos.

Durante la observación individualizada de cada resto no se ha encontrado ningún hueso quemado ni con marcas típicas de origen antrópico. El proceso de extracción de la médula ósea por los humanos es la causante de que los huesos largos se encuentren muy fracturados, de manera que las diáfisis no conservan todo el contorno del hueso (cilindros). En Kiputz IX la mayor parte de las diáfisis de los huesos largos en los ungulados se conservan completas (Fig. 5.1).



Figura 5.1. Metapodios completos de ciervo (*Cervus elaphus*) del yacimiento de kiputz IX (Mutirku, Gipuzkoa)



Figura 5.2. Falanges y metacarpo de bisonte (*Bison priscus*) en conexión anatómica en el yacimiento de Kiputz IX.

	% NR Ungulados	% NR Carnívoros	NR total	Agente
Labeko Koba Sima¹	56,8	43,2	577	<i>Crocota</i>
Unikoté I²	57,7	42,3	988	<i>Crocota</i>
Atxagakoa C.Medio³	54,4	45,5	226	<i>Crocota</i>
Atxagakoa C.Inf.³	67,7	32,2	62	<i>Crocota</i>
Astigarraga³ nivel II	40,1	59,9	424	<i>Ursus spelaeus</i>
Praileaitz³ Vestíbulo	71,9	28,1	2553	<i>Canis lupus</i> <i>Cuon alpinus</i>
Kiputz IX nivel D	93,7	6,3	3281	
Kiputz IX nivel F	98,8	1,2	9261	

Tabla 5.1 Proporción de ungulados y carnívoros en varios yacimientos. ¹ Altuna y Mariezkurrena (2000); ² Michel (2005); ³ Castaños (2010).

En Kiputz IX se han encontrado varios casos de huesos en conexión anatómica. La mayoría de ellos corresponden a metapodios con falanges y ejemplos de tales conexiones se han observado tanto en el ciervo como en el bisonte y en el reno (Fig. 5.2). En acumulaciones de origen antrópico no aparecen casos así ya que el intenso grado de aprovechamiento de los paquetes musculares, los tendones y la médula ósea separan y fragmentan los huesos de las extremidades.

En general, a simple vista, la fauna de un lecho de ocupación humana, nada tiene que ver con la que aparece en las sucesivas tallas excavadas en yacimientos paleontológicos como el de Kiputz IX. En acumulaciones de origen antrópico los huesos largos completos son excepcionales y en la mayor parte de las muestras inexistentes. Sin embargo, en cualquier lecho de Kiputz IX la mayor parte de los huesos están completos y las fracturas que aparecen son consecuencia de agentes mecánicos como la caída de grandes bloques de piedra y la propia presión del sustrato (Fig. 5.3).

Por otro lado las acumulaciones de fauna generadas por carnívoros están caracterizadas por una elevada representación de restos del propio depredador, huellas de mordeduras en los huesos, sobre todo en los extremos de huesos largos y en algunos casos presencia de huesos parcialmente digeridos. En Kiputz IX la proporción del número de restos de carnívoros respecto del número de restos de ungulados es muy baja si se compara con la que se produce en muestras de fauna procedentes de cubiles ocupados por

distintos depredadores (Tabla 5.1). En la cueva de Astigarraga (Deba, Gipuzkoa) la proporción de restos de oso de las cavernas es mayor que la de restos de ungulados. En los yacimientos de Labeko Koba (Arrasate-Mondragón, Gipuzkoa), Unikoté I (Iholdy, Pirénées-Atlantiques) y Atxagakoa (Forua, Bizkaia) los restos de carnívoros superan el 40% del total. En Praileaitz (Deba, Gipuzkoa) los carnívoros en número de restos representan el 28,1% de todos los identificados. Sin embargo, la frecuencia relativa de restos de carnívoros en Kiputz IX oscila entre el 1,2% en el nivel F y 6,3% en el nivel D (Castaños 2010). En Kiputz IX tampoco se ha podido registrar un sólo caso de mordeduras de carnívoros ni de huesos parcialmente digeridos.

5.3. PRESERVACIÓN DIFERENCIAL DEL ESQUELETO

El estudio de las diferencias en la preservación de cada parte del esqueleto, puede ser un buen indicador de agentes tafonómicos que hayan actuado tras la muerte del animal. Para evaluar estas diferencias se compara el material encontrado en el yacimiento con una muestra estándar que en este caso es el número de huesos de cada parte del esqueleto completo de un artiodáctilo. En este trabajo se aplica una variante del diagrama de Simpson (1941) en el que las diferencias logarítmicas se sustituyen por simples diferencias porcentuales del número de restos de cada parte anatómica de la muestra y el del esqueleto completo tomado como referencia. Esta metodología se aplica a las especies más abundantes de Kiputz IX (ciervo, reno y bisonte) en los niveles D y F y se compara con la de ciervo del yacimiento de Liñares (Piedrafita, Lugo) (López et al. 1977).

Primeramente y como modelo de referencia, se recoge el número de huesos de cada región anatómica del esqueleto completo de un artiodáctilo (Tabla 5.2). También se incluye el número de restos de cada parte del esqueleto de las tres especies citadas de Kiputz IX tanto en el nivel D como en el nivel F. Se completa la tabla con la distribución anatómica de restos de ciervo de Liñares (López 2003). Estos datos constituyen el punto de partida para la elaboración de los posteriores diagramas. Se han excluido algunas partes anatómicas como son las astas, esternóvertebras y vértebras caudales porque no se incluyen en la muestra de Liñares.

A partir de estos datos se calculan los correspondientes porcentajes del número de restos de cada tipo de hueso recogido en la tabla anterior (Tabla 5.3).



Figura 5.3. Lecho de huesos de Kiputz IX con la mayor parte de los huesos completos

	Artiodáctilo	Ciervo Kiputz IX		Reno Kiputz IX		Bisonte Kiputz IX		Ciervo Liñares
		D	F	D	F	D	F	
CR	1	86	199	23	87	16	85	66
MA	2	45	88	28	45	31	55	16
VE	26	337	946	54	404	118	483	100
CO	26	116	447	58	117	70	309	150
ES	2	20	97	9	30	13	54	22
HU	2	49	162	10	43	30	68	10
RA	2	39	130	14	26	22	46	10
UL	2	32	93	4	12	9	57	9
Carpo	12	74	312	42	75	83	175	6
MC	2	13	77	13	22	15	23	7
PEL	2	47	169	22	47	37	91	15
FE	2	70	201	26	50	62	62	22
RO	2	11	53	8	18	6	19	0
TI	2	66	139	17	35	30	62	17
Tarso	6	70	235	45	70	43	87	26
MT	2	30	88	12	32	13	27	17
F1	8	79	323	59	110	58	107	15
F2	8	70	296	33	101	41	101	12
F3	8	39	133	18	68	11	87	10
TOTAL	117	1293	4188	495	1392	708	1998	530

Tabla 5.2. Número de restos de cada hueso del esqueleto de un artiodáctilo, de ciervo, de reno y de bisonte del yacimiento de Kiputz IX (Mutriku, Gipuzkoa) y de ciervo del yacimiento de Liñares (Piedrafita, Lugo). En el caso de Kiputz IX se han diferenciado los niveles D y F en cada especie.

	Esperado	Ciervo Kiputz IX		Reno Kiputz IX		Bisonte Kiputz IX		Ciervo Liñares
		D	F	D	F	D	F	
CR	0,85	6,65	4,75	4,65	6,25	2,26	4,25	12,45
MA	1,7	3,48	2,10	5,66	3,23	4,38	2,75	3,02
VE	22,22	26,06	22,59	10,91	29,02	16,67	24,17	18,87
CO	22,22	8,97	10,67	11,72	8,41	9,89	15,47	28,30
ES	1,7	1,55	2,32	1,82	2,16	1,84	2,70	4,15
HU	1,7	3,79	3,87	2,02	3,09	4,24	3,40	1,89
RA	1,7	3,02	3,10	2,83	1,87	3,11	2,30	1,89
UL	1,7	2,47	2,22	0,81	0,86	1,27	2,85	1,70
Carpo	10,25	5,72	7,45	8,48	5,39	11,72	8,76	1,13
MC	1,7	1,01	1,84	2,63	1,58	2,12	1,15	1,32
PEL	1,7	3,63	4,04	4,44	3,38	5,23	4,55	2,83
FE	1,7	5,41	4,80	5,25	3,59	8,76	3,10	4,15
RO	1,7	0,85	1,27	1,62	1,29	0,85	0,95	0,00
TI	1,7	5,10	3,32	3,43	2,51	4,24	3,10	3,21
Tarso	5,12	5,41	5,61	9,09	5,03	6,07	4,35	4,91
MT	1,7	2,32	2,10	2,42	2,30	1,84	1,35	3,21
F1	6,83	6,11	7,71	11,92	7,90	8,19	5,36	2,83
F2	6,83	5,41	7,07	6,67	7,26	5,79	5,06	2,26
F3	6,83	3,02	3,18	3,64	4,89	1,55	4,35	1,89

Tabla 5.3. Porcentaje del número de restos de cada hueso del esqueleto de ciervo, reno y bisonte del yacimiento de Kiputz IX (Mutriku, Gipuzkoa) y de ciervo del yacimiento de Liñares (Piedrafita, Lugo). En el caso de Kiputz IX se han diferenciado los niveles D y F.

Una vez estimada la abundancia porcentual de cada hueso se calcula la diferencia entre la abundancia real de cada muestra y la esperada (Tabla 5.4). En el diagrama la línea de valor cero corresponde a la muestra ideal. Los valores positivos indican una mayor frecuencia de cada hueso de la muestra recuperada respecto del modelo estándar. Sus magnitudes pueden utilizarse como un indicador del grado de fragmentación de cada uno de los huesos ya que la rotura incrementa en forma de fragmentos la frecuencia relativa de cada hueso respecto del valor esperado. Los valores negativos por el contrario expresan la ausencia o escasez de los restos encontrados respecto del modelo teórico y sus magnitudes reflejan el grado de pérdida de elementos de esa parte del esqueleto. Estos diagramas nos permiten evaluar hasta qué punto los restos encontrados se aproximan o alejan de un esqueleto completo.

En primer lugar se compara la preservación diferencial del esqueleto de las tres especies (ciervo, reno y bisonte) en el nivel D respecto del nivel F. Se trata de evaluar si las condiciones de conservación de los huesos son similares en los dos niveles tal como parece sugerir el estudio sedimentológico que habla de una matriz similar y un relleno producido por un mecanismo homogéneo.

En el caso del ciervo las dos gráficas casi se superponen (Fig. 5.4 A). Sólo se observan en el nivel D valores ligeramente más altos en las vértebras y en la tibia. La escasa entidad de estas desviaciones no invalida la homogeneidad en la distribución anatómica de los huesos de ciervo en los dos niveles.

Las diferencias son algo mayores en las otras dos especies. En el caso del reno, en el nivel D se observa una mayor pérdida de vértebras y sobre todo un grado de fragmentación más intenso en los huesos de las extremidades posteriores y primeras falanges (Fig. 5.4 B). Este rasgo se repite en el bisonte con su máxima expresión en el fémur (Fig. 5.4 C).

La mayor parte de las diferencias descritas son de orden menor y permiten asumir la homogeneidad en la distribución anatómica de los huesos entre los niveles D y F. Por tanto parece aceptable utilizar los datos de ambos niveles conjuntamente para describir la distribución anatómica de los restos del ciervo, reno y bisonte de Kiputz IX.

En segundo lugar se estudia la preservación del esqueleto en las tres especies sin diferenciar las muestras por niveles. Se repite el procedimiento anterior de cálculo de distancias respecto del modelo estándar con la suma de las frecuencias de los dos niveles. El resultado (Fig. 5.5) indica que hay coincidencia en la preservación diferencial del esqueleto de las tres especies. Respecto al esqueleto completo, se observa mayor fragmentación en el cráneo, mandíbula y huesos largos, excepto los más consistentes como los metapodios. Se conservan mejor los huesos cortos salvo los del carpo y las falanges terceras. La mayor desviación está en la notable pérdida de costillas.

La baja proporción de costillas observable en las tres especies puede explicarse por su alto grado de fragmentación y la dificultad de identificación. El proceso de rotura expone a la estructura esponjosa del tejido interior de este hueso a la acción de agentes destructivos externos. Este hecho se ha constatado durante el proceso de excavación en el que algunos fragmentos costales presentaban tal nivel de degradación que eran irre recuperables. La destrucción de costillas ha sido menor en el bisonte debido a su mayor robustez y más frecuente en el reno y ciervo. Este hecho queda reflejado en los picos del diagrama correspondientes a la abundancia de costillas de cada especie. El otro factor que influye en la baja frecuencia de costillas de reno y de ciervo es la dificultad para su atribución a nivel específico. Buena parte de estos huesos han pasado a engrosar el conjunto de los restos no identificados y por tanto han reducido el cómputo de esta parte del esqueleto. Por

	Ciervo Kiputz IX		Reno Kiputz IX		Bisonte Kiputz IX		Ciervo Liñares
	D	F	D	F	D	F	
CR	5,80	3,90	3,80	5,40	1,41	3,40	11,60
MA	1,78	0,40	3,96	1,53	2,68	1,05	1,32
VE	3,84	0,37	-11,31	6,80	-5,55	1,95	-3,35
CO	-13,25	-11,55	-10,50	-13,81	-12,33	-6,75	6,08
ES	-0,15	0,62	0,12	0,46	0,14	1,00	2,45
HU	2,09	2,17	0,32	1,39	2,54	1,70	0,19
RA	1,32	1,40	1,13	0,17	1,41	0,60	0,19
UL	0,77	0,52	-0,89	-0,84	-0,43	1,15	0,00
Carpo	-4,53	-2,80	-1,77	-4,86	1,47	-1,49	-9,12
MC	-0,69	0,14	0,93	-0,12	0,42	-0,55	-0,38
PEL	1,93	2,34	2,74	1,68	3,53	2,85	1,13
FE	3,71	3,10	3,55	1,89	7,06	1,40	2,45
RO	-0,85	-0,43	-0,08	-0,41	-0,85	-0,75	-1,70
TI	3,40	1,62	1,73	0,81	2,54	1,40	1,51
Tarso	0,29	0,49	3,97	-0,09	0,95	-0,77	-0,21
MT	0,62	0,40	0,72	0,60	0,14	-0,35	1,51
F1	-0,72	0,88	5,09	1,07	1,36	-1,47	-4,00
F2	-1,42	0,24	-0,16	0,43	-1,04	-1,77	-4,57
F3	-3,81	-3,65	-3,19	-1,94	-5,28	-2,48	-4,94

Tabla 5.4. Diferencias entre el %NR de cada hueso del esqueleto completo de un artiodáctilo y el %NR de cada hueso del esqueleto del ciervo, reno y bisonte del yacimiento de Kiputz IX (Mutriku, Gipuzkoa) y del ciervo del yacimiento de Liñares (Piedrafita, Lugo). En el caso de Kiputz IX se han diferenciado los niveles D y F.

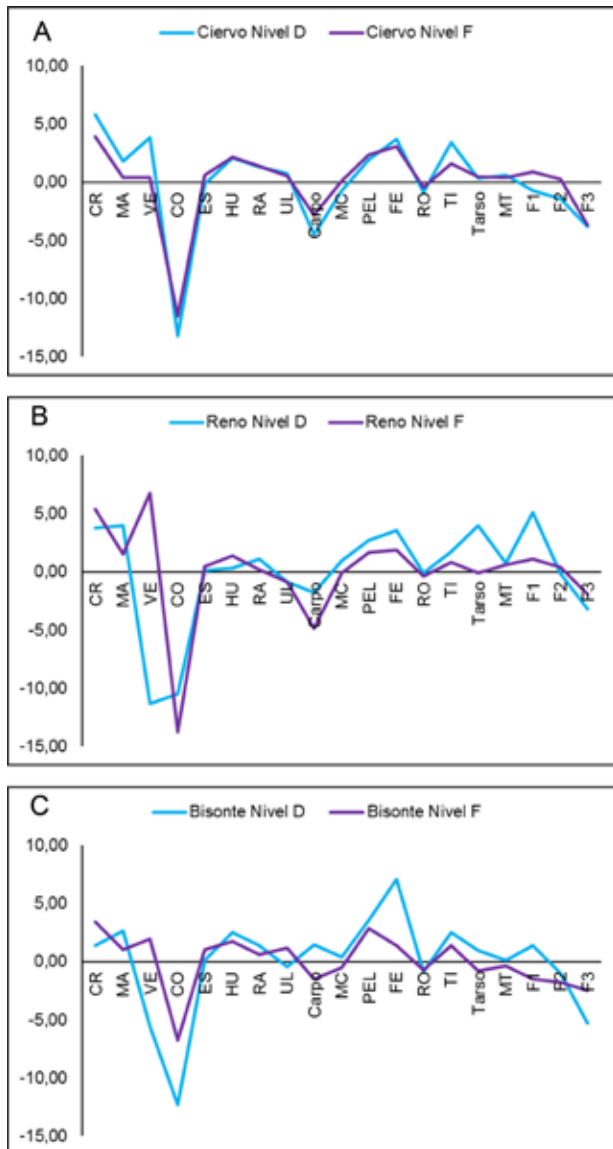


Figura 5.4. Diagrama de Simpson modificado que muestra la distribución anatómica en los dos niveles (D y F) de ciervo, reno y bisonte del yacimiento de Kiputz IX (Mutriku, Gipuzkoa).

razones de tamaño este segundo factor no afecta de igual modo al bisonte ya que sus costillas no se pueden confundir con las de los dos cérvidos.

Este apartado se completa con la comparación entre la preservación diferencial del esqueleto del ciervo de Kiputz IX y la de Liñares (Pedrafita, Lugo), única muestra con huesos enteros de esta especie en la cornisa cántabrica (López 2003).

Aunque se trata en ambos casos de conjuntos exclusivamente paleontológicos, se observan algunas diferencias significativas (Fig. 5.6). Los fragmentos de cráneo en el yacimiento de Liñares duplican en número a los de Kiputz IX. Este dato responde a una peculiaridad del yacimiento lucense donde corrientes de agua han provocado una acumulación y rotura de los cráneos en una zona de obstrucción de una gatera de la cavidad con el correspondiente incremento de su frecuencia (López 2003: 93).

Sin embargo, el carpo y las falanges son más abundantes en Kiputz IX. En Liñares los huesos del carpo, tarso y falanges están

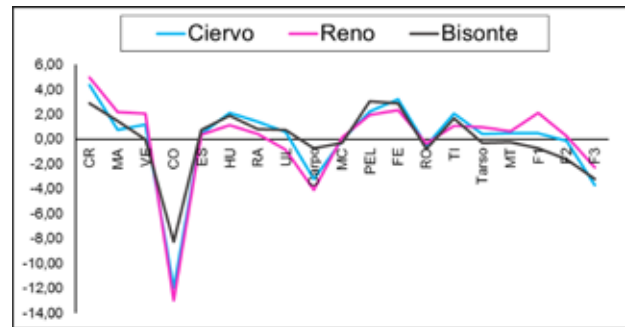


Figura 5.5. Diagrama de línea que muestra la distribución anatómica de ciervo, reno y bisonte de Kiputz IX (Mutriku, Gipuzkoa) tomando en conjunto los niveles D y F del yacimiento.

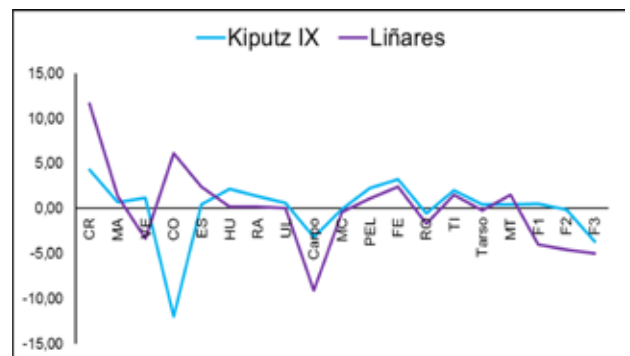


Figura 5.6. Diagrama de línea que muestra la distribución anatómica del ciervo del yacimiento de Liñares (Pedrafita, Lugo) y del yacimiento de Kiputz IX (Mutriku, Gipuzkoa), tomando conjuntamente en este último los niveles D y F.

infrarrepresentados como consecuencia de la topografía local de la cueva y los efectos de filtración del agua. (López 2003: 97).

La mayor diferencia se produce en las costillas. Mientras en Kiputz IX la abundancia del costillar está muy por debajo del modelo teórico, en Liñares se produce la situación inversa como consecuencia de la fragmentación que aumenta el número de elementos de esta parte del esqueleto. La diferencia entre los dos yacimientos se explica también por problemas de identificación. En Liñares sólo hay restos de ciervo y de oso de las cavernas. Las costillas de ciervo se pueden diferenciar de las de oso por la gran curvatura que presentan estas últimas. En Kiputz IX la dificultad para diferenciar las costillas de ciervo y las de reno reduce el número de restos atribuidos a esta región del esqueleto en las dos especies.

5.4. EVALUACIÓN DEL GRADO DE DIAGÉNESIS EN EL HUESO MEDIANTE ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJOS

En este apartado se estudian mediante la Espectroscopia de Infrarrojos con Transformada de Fourier (FT-IR) las modificaciones que han sufrido los huesos como consecuencia de los procesos diagenéticos. Se analizan las posibles diferencias en el comportamiento de los huesos durante el soterramiento y su relación con la edad del animal y con las diferencias pro-

pías de cada especie (interespecíficas). Para ello se han utilizado varios parámetros (ver metodología 4.2) que describen la composición química y cristalográfica del hueso. El objetivo de este estudio es hacer una adecuada selección de muestras para su estudio isotópico, tras evaluar el estado de conservación de las mismas.

Este apartado está subdividido en tres partes. En primer lugar se estudian las muestras que presentan calcita diagenética, para comprobar si es posible eliminarla mediante alguna técnica sin modificar respectivamente sus características químico/cristalográficas. Este paso es imprescindible ya que la presencia de calcita diagenética en los huesos modificará la composición isotópica del

hueso. En segundo lugar se comparan las muestras de individuos juveniles y adultos, con el objeto de ver diferencias en la estructura de los huesos entre ambos estadios. Por último, se analiza el diferente comportamiento de los huesos durante la diagénesis en las tres especies mayoritarias (ciervo, reno y bisonte) del yacimiento de Kiputz IX.

Para realizar el estudio se han seleccionado 24 huesos de ciervo (*Cervus elaphus*), 9 de reno (*Rangifer tarandus*), 8 de bisonte (*Bison priscus*). Todos los huesos pertenecen al esqueleto post-craneal (costilla, húmero, radio, fémur, tibia, falanges y metapodios), donde 20 corresponden a individuos adultos y 22 a individuos juveniles (Tabla 5.5).

5.4.1. Muestras con calcita diagenética

En 6 de las 41 muestras analizadas se observa un pico de absorción a 713 cm^{-1} que corresponde a calcita en el hueso y no a otras formas de CO_3^{2-} (Nielsen-Marsh y Hedges 1997). La distorsión que esta calcita diagenética puede provocar en la estimación de otros parámetros ha obligado a realizar un segundo análisis tras un lavado previo con ácido acético 0,1N de estas muestras. Se trata de verificar la posibilidad de eliminar total o parcialmente la calcita así como de evaluar los efectos de este proceso en la estructura del hueso.

Se han analizado las diferencias entre las muestras lavadas y no lavadas respecto a su contenido en calcita, carbonato y fosfato. Para ello se han comparado los espectros de infrarrojos en el pico 713 cm^{-1} de calcita en la zona bajo la banda n_2 correspondiente al ion carbonato y en la zona bajo la banda n_1, n_3 correspondiente al ion fosfato.

Hay tres muestras en las cuales disminuye el pico de calcita y las dos áreas correspondientes al contenido de carbonato y fosfato (Fig. 5.7 izquierda). Sin embargo, en dos muestras (k 75 y k 75 lav) no se observa variación alguna (Fig. 5.7 derecha).

5.4.2. Adultos y juveniles

La composición química y el ordenamiento cristalográfico de un hueso varía con la edad del individuo (Alvarez-Lloret et al., 2006). Por eso se han comparado los valores determinados para los 13 índices que refleja la evolución de los huesos en un conjunto de 15 huesos largos de individuos adultos y 19 de juveniles. Se ha prescindido de las siete muestras que presentaban a 713 cm^{-1} el pico de calcita diagenética (Tabla 5.6).

La mayor parte de los índices no muestran diferencias significativas entre los huesos de adultos y los de juveniles. El grado de cristalinidad (IC1, IC2), la sustitución del carbonato tipo A y tipo B y la relación carbonato-fosfato (C/P) son muy similares en los dos estadios de crecimiento. Se observan pequeñas diferencias en la madurez del colágeno y las mayores diferencias se encuentran en las proporciones del fosfato y carbonato respecto de la matriz orgánica.

Los huesos de individuos juveniles presentan las relaciones entre el contenido de fosfato o de carbonato y la fracción orgánica representada por la Amida I (índices 3, 4 y 5) más elevadas que las de huesos pertenecientes a individuos adultos. Estas diferencias se constatan tanto si se estima el contenido en Amida I mediante el

Sigla	Especie	Anatomía	Edad
K-8*	<i>Cervus elaphus</i>	Falange 2	Juvenil
K-10	<i>Cervus elaphus</i>	Húmero	Adulto
K-11	<i>Cervus elaphus</i>	Tibia	Adulto
K-13	<i>Cervus elaphus</i>	Húmero	Juvenil
K-14	<i>Cervus elaphus</i>	Metacarpo	Juvenil
K-15	<i>Cervus elaphus</i>	Falange 1	Adulto
K-16	<i>Cervus elaphus</i>	Metacarpo	Juvenil
K-17	<i>Cervus elaphus</i>	Metatarso	Juvenil
K-18	<i>Cervus elaphus</i>	Metatarso	Adulto
K-20	<i>Rangifer tarandus</i>	Metacarpo	Juvenil
K-21	<i>Bison priscus</i>	Astrágalo	Adulto
K-22	<i>Bison priscus</i>	Húmero	Juvenil
K-23	<i>Rangifer tarandus</i>	Tibia	Juvenil
K-24*	<i>Bison priscus</i>	Costilla	Adulto
K-25	<i>Bison priscus</i>	Tibia	Juvenil
K-26	<i>Cervus elaphus</i>	Falange 1	Adulto
K-27	<i>Cervus elaphus</i>	Falange 1	Adulto
K-28	<i>Cervus elaphus</i>	Falange 1	Adulto
K-30	<i>Cervus elaphus</i>	Falange 1	Juvenil
K-31	<i>Cervus elaphus</i>	Costilla	Juvenil
K-33	<i>Rangifer tarandus</i>	Falange 1	Juvenil
K-34	<i>Rangifer tarandus</i>	Metacarpo	Adulto
K-35	<i>Rangifer tarandus</i>	Húmero	Adulto
K-36	<i>Rangifer tarandus</i>	Falange 1	Adulto
K-75*	<i>Cervus elaphus</i>	Metacarpo	
K-83	<i>Cervus elaphus</i>	Metapodio	Juvenil
K-84*	<i>Cervus elaphus</i>	Metapodio	Juvenil
K-85	<i>Cervus elaphus</i>	Metapodio	Juvenil
K-87	<i>Cervus elaphus</i>	Metacarpo	Adulto
K-88	<i>Cervus elaphus</i>	Metatarso	Adulto
K-89	<i>Cervus elaphus</i>	Falange 2	Adulto
K-90*	<i>Cervus elaphus</i>	Tibia	Adulto
K-99	<i>Cervus elaphus</i>	Falange 1	Adulto
K-105	<i>Cervus elaphus</i>	Metatarso	Juvenil
K-110*	<i>Bison priscus</i>	Falange 2	Juvenil
K-113	<i>Rangifer tarandus</i>	Metapodio	Juvenil
K-116	<i>Rangifer tarandus</i>	Metacarpo	Juvenil
K-117	<i>Bison priscus</i>	Radio	Juvenil
K-118	<i>Bison priscus</i>	Fémur	Juvenil
K-119	<i>Bison priscus</i>	Falange 1	Juvenil

Tabla 5.5. Relación de muestras estudiadas mediante el análisis de infrarrojos con transformada de Fourier. * Muestras que presentan calcita diagenética.

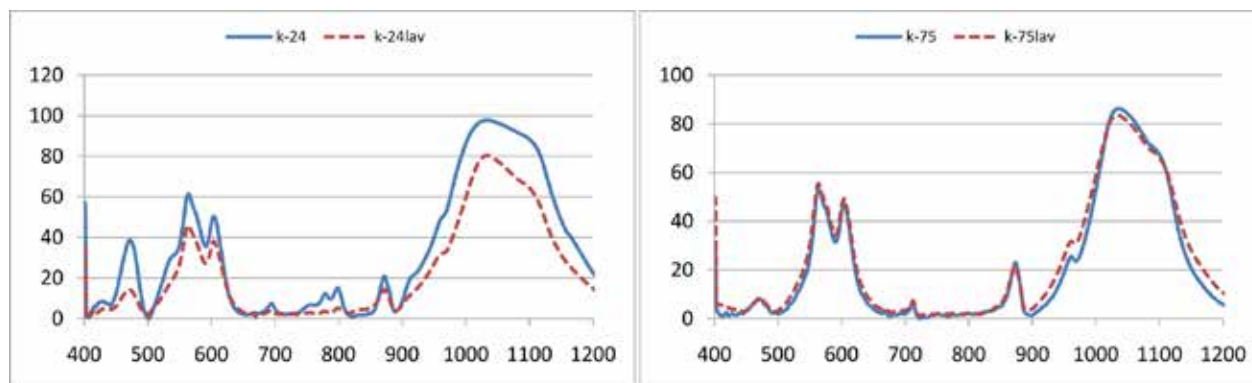


Figura 5.7. Espectros de infrarrojos superpuestos antes (azul) y después (rojo) del lavado ácido. Izquierda: se observan variaciones entre la muestra lavada y la no lavada. Derecha: no se observan variaciones entre la muestra lavada y no lavada.

área de la banda completa 1587 cm^{-1} - 1720 cm^{-1} (índice 3) como si se utiliza sólo el pico de mayor absorción (1660 cm^{-1}) dentro de dicha banda (índice 5). No obstante, el índice 5 parece más adecuado a la hora de determinar el grado de mineralización ya que elimina la posible contribución del enlace n_2 del agua con el hidroxiapatito en el cálculo de la amida I.

Este resultado parece indicar que los huesos fósiles de individuos juveniles están más mineralizados que los de los adultos, algo que no es coherente con los mecanismos fisiológicos conocidos acerca del desarrollo ontogenético de los huesos de mamíferos. Es conocido que los huesos van incrementando la proporción de la fracción mineral a expensas del colágeno a lo largo de la vida del individuo.

Una explicación a esta aparente contradicción se puede encontrar en la mayor pérdida de colágeno en los huesos de individuos juveniles durante el soterramiento (diagénesis).

Los huesos de los individuos inmaduros debido a que el tejido óseo compacto es más fino sufren procesos de hidrólisis y disolución de su fracción orgánica. Como consecuencia se produce una mayor pérdida del colágeno que es el componente más abundante del material protéico. El resultado es un hueso con una relación mineral/colágeno mayor independientemente del

contenido de carbonato o fosfato que contenga. De esta forma el incremento resultante de los valores de los índices no implica un aumento en el contenido de los componentes minerales sino que es el resultado de una disminución de la cantidad de colágeno. El contenido medido de colágeno en las distintas muestras confirma esta menor cantidad de colágeno en los huesos de individuos juveniles.

5.4.3. Diferencias interespecíficas

La mayor parte de los trabajos sobre evaluación de la diagénesis se centran en la influencia de los factores extrínsecos como son la temperatura, el pH de los sedimentos, la acción de microorganismos, el régimen hidrológico del entorno. Se suele dar por supuesto que las variaciones interespecíficas dentro de un mismo grupo zoológico no afectan de forma significativa al proceso de fosilización. Sin embargo, las diferencias en el desarrollo de la diagénesis en diferentes especies también debe ser considerado como un factor intrínseco. Nielsen-Marsh y Hedges (2000) y Nielsen-Marsh *et al.* (2007) han puesto de manifiesto recientemente la existencia de una correlación entre diferentes parámetros diagenéticos como la histología ósea, la poro-

Nº	Índices	Adultos			Juveniles		
		n	Mín.- Máx.	Media	n	Mín.- Máx.	Media
1	IC1	15	1,01- 1,11	1,044	19	1,02- 1,11	1,041
2	IC2	15	2,22- 3,93	2,86	19	2,37- 4,19	2,87
3	Mineralización	15	3,06- 7,78	4,89	19	2,68- 7,74	5,51
4	$\text{CO}_3/\text{MaDFDtrix}$	15	0,2- 0,45	0,286	19	0,14- 0,57	0,321
5	Mineral/Matrix	15	5,01- 17,39	11,29	19	6,04- 18,83	12,55
6	Madurez colágeno	15	1,33- 2,46	1,624	19	1,19- 2,25	1,707
7	TipoB/TipoA	15	0,59- 0,86	0,656	19	0,59- 0,78	0,653
8	Tipo A	15	0,08- 0,11	0,100	19	0,09- 0,11	0,104
9	Tipo B	15	0,07- 0,08	0,075	19	0,07- 0,10	0,078
10	Carbonato/Fosfato	15	0,02- 0,05	0,026	19	0,02- 0,05	0,025
11	C/P	15	0,39- 0,67	0,494	19	0,4- 0,8	0,514
12	Min CO_3	15	0,00-0,01	0,007	19	0,0- 0,1	0,007
	% Colágeno	15	0,25- 10,14	3,91	19	0,64- 9,99	3,26

Tabla 5.6. Intervalo de variación y valor promedio de los distintos parámetros definidos a partir de los espectros de infrarrojos en individuos adultos y juveniles del yacimiento de Kiputz IX (Mutriku, Gipuzkoa). En negrita se han remarcado aquellos que presentan mayores diferencias entre los dos estadios (adultos y juveniles).

sidad del hueso, contenido de proteína, la cristalinidad del apatito del hueso, contenido de carbonatos..., donde las consideraciones tafonómicas tienen cierto grado de influencia.

El yacimiento de Kiputz IX representa un caso ideal para realizar este tipo de estudio, ya que permite eliminar la mayor parte de los factores extrínsecos y algunos de los intrínsecos. Este yacimiento presenta dimensiones reducidas, la forma de depósito, y el intervalo cronológico también son reducidos de modo que se puede aceptar una cierta homogeneidad en la acción del entorno sobre todo el material óseo. Además, la fauna recogida en el yacimiento presenta cierta proximidad ecológica. Se trata de herbívoros con un nicho ecológico bastante similar. Salvo el ciervo que puede ramonear en las hojas más accesibles del medio forestal, la base de subsistencia de todos ellos es el pastizal estepario que domina el paisaje del último máximo glacial (LGM) en el que vivieron. Aunque los dos primeros son cérvidos y el tercero bóvido, la fisiología básica es similar y común a la mayoría de los rumiantes. La diferencia más notable reside en el tamaño corporal que disminuye progresivamente desde el bisonte al reno pasando por el ciervo.

Se ha estudiado el diferente comportamiento durante la diagénesis de las diferentes especies a partir de una muestra de 22 huesos de ciervo, 8 de reno y 8 de bisonte. Se observan variaciones significativas entre las diferentes especies en algunos de los índices estudiados (Tabla 5.7).

El grado de mineralización es diferente entre las tres especies consideradas, de modo que la relación entre la fracción mineral del fosfato o del carbonato respecto de la matriz orgánica (índices 3, 4 y 5) presenta los valores más altos en el bisonte. Lo mismo ocurre con la madurez del colágeno (índice 6) y la relación C/P (índice 11). Por el contrario todos estos índices muestran los valores más bajos en el reno, mientras que el ciervo presenta siempre valores intermedios. Por otro lado los índices de cristalinidad (IC1 e IC2) más altos corresponden al reno y sólo el IC2 presenta su valor más bajo en el bisonte. En el resto de los índices no se observan diferencias entre las distintas especies.

Estos resultados parecen indicar que el factor más importante asociado a las diferencias observadas corresponde al tamaño cor-

poral de las especies. El bisonte es de mayor envergadura y presenta los valores más altos de mineralización mientras que el reno muestra los valores mínimos. En este caso se produce una situación parecida a la observada cuando estudiamos las diferencias entre adultos y juveniles. Los valores más altos de mineralización del hueso, típicos de los juveniles, se presentan ahora en el bisonte y los valores medios más bajos de carbonato y fosfato respecto de la matriz como los observados en los adultos coinciden ahora con los del reno. Una vez más la clave parece estar en el contenido de colágeno. Este componente es más escaso en el bisonte y más abundante en el reno.

Resulta extraño que siendo el bisonte la especie de mayor talla presente el menor contenido relativo de colágeno. Al tratarse de huesos con mayor espesor y por tanto con una capa de hueso compacto más gruesa, resultarían menos vulnerables a los procesos de disolución e hidrólisis del agua circundante. La explicación puede estar en que la estructura de edad no es la misma en las tres especies. Mientras que la mayoría de las muestras de bisonte (6/8) corresponden a individuos juveniles, en el ciervo y reno la proporción entre los dos estadios de edad está bastante bien equilibrada.

Sin embargo, las diferencias en la proporción de colágeno entre el ciervo y el reno representan un obstáculo. No se explica el mayor contenido de fracción orgánica en los huesos de reno con una proporción de edad muy semejante a la del ciervo.

5.4.4. Conclusiones

El lavado ácido no parece ser un método adecuado para estudiar la diagénesis de los huesos ya que permite eliminar la calcita diagenética pero también modifica el resto de los componentes del hueso.

En los huesos de individuos juveniles las relaciones de los componentes minerales (carbonato y fosfato) respecto de la matriz orgánica son las únicas que presentan variaciones. Sin embargo, los índices restantes tienen valores similares en los dos estadios de edad. Esto se debe a que los individuos juveniles están menos mineralizados, por lo que resultan más permeables y facilitan los

Nº	Índices	Ciervo	Reno	Bisonte
1	IC1	1,036	1,057	1,038
2	IC2	2,79	2,98	2,88
3	Mineralización	5,00	4,58	6,17
4	CO ₃ /Matrix	0,290	0,281	0,338
5	Mineral/Matrix	11,48	10,79	13,61
6	Madurez colágeno	1,653	1,555	1,833
7	Tipo B/Tipo A	0,651	0,650	0,661
8	Tipo A	0,101	0,103	0,103
9	Tipo B	0,075	0,077	0,080
10	Carbonato/Fosfato	0,026	0,025	0,025
11	C/P	0,501	0,493	0,523
12	Min CO ₃	0,006	0,008	0,006
	% Colágeno	3,89	5,17	3,76

Tabla 5.7. Valores promedio de los índices definidos para estudiar el grado de diagénesis en huesos de ciervo, reno y bisonte del yacimiento de Kiputz IX (Mutriku, Gipuzkoa). En negrita el valor medio más alto.

procesos de hidrólisis. Este hecho favorece la disolución de la fracción orgánica y como consecuencia se produce una mayor pérdida de colágeno. Por tanto el estudio isotópico debe realizarse sobre una muestra de individuos adultos.

Además, no se observan pautas claras en los parámetros diagenéticos entre individuos de distintas especies. Las diferencias entre bisonte y reno pueden explicarse por el predominio de indi-

viduos juveniles en las muestras de bisonte. Sin embargo, las diferencias entre el ciervo y el reno no son tan evidentes.

Finalmente, se pone de manifiesto la gran utilidad de esta técnica a la hora de detectar fases diagenéticas. Por tanto, es una buena herramienta para realizar la selección de muestras de cara a su estudio isotópico, ya que permite reconocer las modificaciones químicas que han sufrido.

