

# Análisis tafonómico de los yacimientos de Somosaguas (Mioceno medio, Madrid)

## Taphonomical analysis of the Somosaguas fossil sites (Middle Miocene, Madrid)

Israel POLONIO<sup>1</sup> y Nieves LÓPEZ-MARTÍNEZ<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se analiza la tafonomía de dos yacimientos de vertebrados en superposición estratigráfica en la cuenca miocena de Madrid. Somosaguas Norte presenta una mezcla de estados de conservación poco frecuente en el registro fósil de mamíferos, con: 1) algunos restos frágiles, con superficies intactas; 2) miles de esquirlas, muchas de ellas conservando microestructuras histológicas y restos de alteración interna por microfibras; 3) algunos elementos redondeados por abrasión; 4) huesos descompuestos formando masas pulverulentas, y 5) huesos parcial o totalmente reemplazados por una mineralización secundaria. Muchos huesos largos muestran orientación preferente en dirección N-S. Esta variedad de elementos se habría concentrado por un proceso de transporte en masa, con una asociación mezclada de restos heterogéneos y cantos de tamaño grava flotando en coladas de sedimento viscoso. La coincidencia espacial con el yacimiento más antiguo de Somosaguas Sur, similar a Somosaguas Norte pero con tamaños menores y sin abrasión, podría deberse a la proximidad de una zona de encharcamiento en el paisaje árido del Mioceno de Madrid. La alta proporción de huesos juveniles sugiere una mortalidad estacional en periodos de sequía.

**Palabras clave:** Fósiles, Yacimientos, Mamíferos, Tafonomía, Mioceno, Madrid.

### ABSTRACT

The taphonomy of two overlain vertebrate fossil sites from the Madrid Miocene basin is analysed. The bone sample from Somosaguas North shows an un-

---

<sup>1</sup> Dept. Paleontología, Fac. CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

sual mixed preservation states in fossil mammal assemblages, with: 1) some delicate bones with intact surfaces; 2) thousands of bone fragments, most of them preserving histological microstructures and remains of invasive microfilaments; 3) some abraded, rounded elements; 4) decayed bones forming a dusty mass; and 5) bones partially o totally replaced by a secondary mineral substance. Most long bones show a preferred orientation in N-S direction. These diverse elements are concentrated in a debris-flow type of sediment, formed by a process of mass-transport with a mixed assemblage of heterogeneous fossil remains and gravel-sized pebbles floating on a dense, viscous sediment. The spatial coincidence with the older fossil site Somosaguas South, similar to Somosaguas North but with smaller sizes and less erosion effects, may be due to the neighbouring of an ancient water pond in the Miocene arid landscape of Madrid. The high proportion of juvenile bones suggests a seasonal mortality during drought periods.

**Key words:** Fossil sites, Mammals, Taphonomy, Miocene, Madrid.

## INTRODUCCIÓN

Los yacimientos de fósiles de vertebrados presentan una gran variedad de tipos y asociaciones, cuyos orígenes y procesos de formación no son bien conocidos en la mayoría de casos. Algunos autores han tipificado las asociaciones por su ambiente sedimentario, considerando los agentes geológicos de formación como las variables más significativas (BEHRENSMEYER, 1988; ÁLVAREZ-SIERRA *et al.*, 1990). En otros casos se han considerado fundamental o exclusivamente a los agentes bióticos como los principales responsables de las asociaciones (PALMQVIST *et al.*, 1996; FERNÁNDEZ JALVO, 1998).

En este trabajo se pretende estudiar desde un punto de vista tafonómico los yacimientos de Somosaguas a partir de la muestra obtenida durante la campaña de excavación de Junio 1998. Las asociaciones de vertebrados fósiles de los yacimientos de Somosaguas están representadas por fragmentos de dientes y huesos de mastodontes, équidos, rumiantes de distinta talla, suidos, carnívoros, lagomorfos, roedores, erizos, musarañas, lagartos y tortugas. Esta gran diversidad de restos de macro y microvertebrados en una muestra relativamente pequeña presenta una conservación de tamaños y formas de huesos muy distintos. Ello permite considerar esta muestra de interés para abordar cuestiones sobre el origen de los yacimientos de vertebrados y los procesos de producción, enterramiento y fosilización de los huesos, que podrán ser en el futuro comparadas y contrastadas con muestras más numerosas de estas y otras localidades.

Los efectos de la alteración tafonómica, previos a la fosilización o durante la misma, se estudiarán mediante análisis de la orientación, fragmentación,

composición y microalteraciones de los huesos, principalmente de la asociación de Somosaguas Norte. con algunas observaciones puntuales realizadas sobre la asociación de Somosaguas Sur. Los resultados se comparan con estudios sobre otras localidades para intentar relacionar las condiciones de formación de la asociación con las condiciones de sedimentación, que no son necesariamente coincidentes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En ALCALÁ (1994) se puede consultar la metodología tafonómica utilizada en general en yacimientos de fósiles de mamíferos, que ha sido la aplicada en este trabajo.

El método que hemos utilizado para la recuperación de los fósiles es el de excavación en extensión mediante un sistema de coordenadas tridimensionales que permiten la localización precisa de cada resto con relación a un punto origen de coordenadas. El material analizado comprende varios centenares de restos, entre los cuales aproximadamente unos doscientos son identificables al menos al nivel de familia, orden o clase de vertebrados.

Dadas las características del afloramiento de los restos de Somosaguas Norte, el método de excavación permitió cuadrricular una superficie de aproximadamente 60 m<sup>2</sup> (Lám. 1, Figs. 1 y 2) siendo cartografiados e identificados casi todos los restos de tamaño superior a 3-4 cm. Asimismo se midió la orientación e inclinación de aquellos elementos alargados que presentaban un eje de longitud marcadamente superior a los ejes de anchura y altura.

En el yacimiento de Somosaguas Sur se realizó una cata vertical y se obtuvo una muestra de sedimento fosilífero de unos 50 kg. que fue tratado mediante lavado-tamizado.

Para el estudio tafonómico se han tenido en cuenta variables de distribución (concentración, proximidad y densidad de empaquetamiento, orientación, inclinación, abundancia relativa de elementos) y de conservación de los restos fósiles (meteorización, abrasión, fisuración y fracturación, fragmentación, encostramiento, cementación, reemplazamiento y microalteración). Posteriormente se obtienen inferencias sobre los procesos tafonómicos que han afectado a los fósiles y su sucesión temporal.

## DESCRIPCIÓN DE LOS YACIMIENTOS

En Somosaguas Norte se ha podido obtener un mapa detallado de la distribución de los huesos de mayor tamaño observables a simple vista que per-

mitían alguna identificación (Fig. 1). En el mapa se representan proyectados en planta (coordenadas X e Y) los hallazgos realizados a diferente profundidad. Los huesos mayores se representan por un contorno o perfil, y los menores por un punto. Se han distinguido algunos de los restos pertenecientes al équido *Anchitherium*.

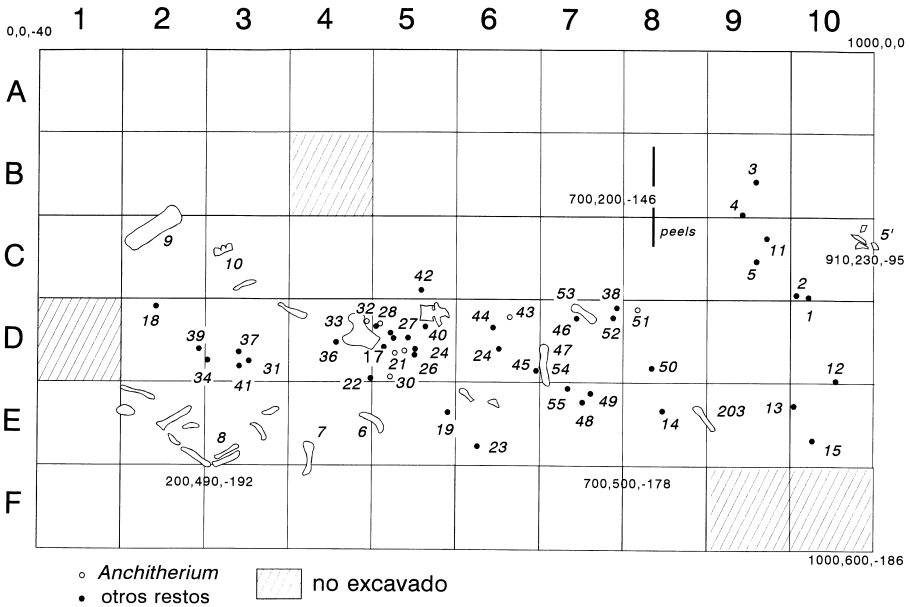


Figura 1.—Mapa de la excavación de Somosaguas Norte.  
 Figure 1.—Plot of the excavation from Somosaguas North.

La profundidad excavada, representada por la coordenada «z», varía en las distintas cuadrículas y según la inclinación de la superficie topográfica, entre 0 (la cota más alta) y -202 cm (Fig. 2).

El sedimento, formado por arcosas gruesas con fragmentos de roca de tamaño grava no presenta gradación, clasificación ni diferenciación estratigráfica a lo largo de estos más de dos metros de profundidad (ver MÍNGUEZ GANDÚ, este volumen). Sólo se observan irregularidades litológicas, como zonas de mayor o menor cementación o superficies irregulares y discontinuas, tapizadas por finas vetas de arcillas blanquecinas y pardas. Este sedimento tipo *debris-flow* muestra una gran capacidad de transporte en masa, a juzgar por el grueso tamaño de cantos que engloba. La falta de clasificación

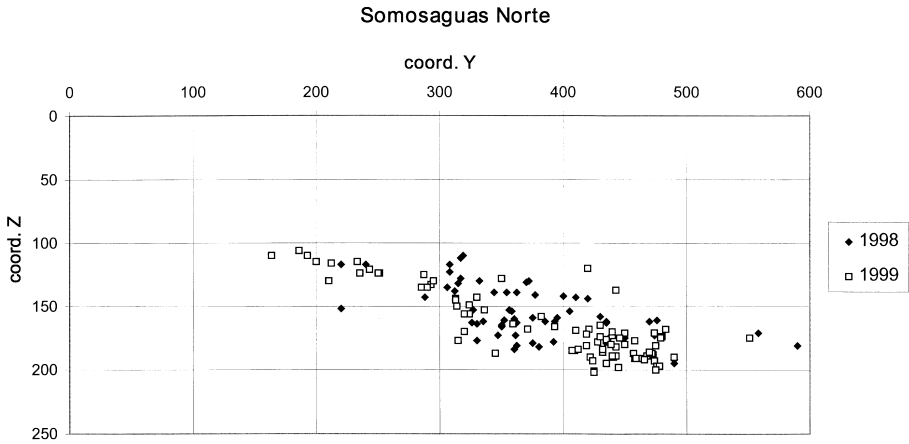


Figura 2.—Diagrama de distribución de los restos en Somosaguas Norte según la profundidad (coordenada z) proyectados contra el plano Y.

Figure 2.—Plot of the distribution of Somosaguas North fossil remains showing the depth (coord. z) against the Y plane.

de los materiales indica que no existieron corrientes tractivas de aguas limpias. Algunas evidencias, como una clara gradación del sedimento que rellenaba el interior del canal neural de una vértebra, indican que hubo localmente licuefacción. Este proceso se produce por expulsión del fluido intersticial sometido a elevadas presiones internas dentro del sedimento pastoso (PIERSON, 1981).

El conjunto del depósito fosilífero de Somosaguas Norte presenta una tendencia general granocreciente, con unos niveles más ricos en huesos y otros más pobres. Esto hace sospechar que se trate de un relleno multiepisódico, constituido por litosomas amalgamados.

En el yacimiento de Somosaguas Sur, en el que aparecen abundantes microvertebrados junto con algunos restos de macrovertebrados, los huesos se encuentran a techo de un depósito arcilloso microconglomerático tipo *mud flow*, con abundantes cantos heterométricos de cuarzo y feldespato muy angulosos flotando en una matriz arcillosa. En este yacimiento no se ha realizado una excavación en planta, sino un muestreo en volumen destinado al lavado-tamizado. El sedimento extraído contenía más de 400 dientes de micromamíferos en unos 50 kg. de muestra, la más elevada densidad registrada en un yacimiento de microvertebrados en cuencas del Terciario de nuestro país (LUIS CAVIA & HERNANDO HERNANDO, este volumen).

## GEOMETRÍA DE LA DISTRIBUCIÓN

En superficie, los huesos muestran una distribución aproximadamente normal de tipo contagio, con un único máximo simétricamente situado alrededor de la coordenada 450-350. La distribución muestra una mayor concentración de huesos en profundidad entre las cotas 110 y 195 cm, sin que se observen planos o superficies sobre los que se apoyen los huesos ni que corten a éstos. La distribución en profundidad es ligeramente bimodal, con un máximo relativo hacia la cota 130 y otro absoluto alrededor de la cota 165. El tipo de huesos parece presentar una pauta diferencial de distribución ; así por ejemplo se observan muchos huesos alargados, sobre todo costillas bastante completas de diferentes tamaños («nivel de costillas»), a lo largo de la fila de cuadrículas marcada con la letra E (coordenada y = 400-500), con una profundidad entre 160 y 190 cm. Los restos de cotas superiores son más variados y contienen una mezcla de dientes, huesos de las extremidades y fragmentos de vértebras, entre otros.

## CONCENTRACIÓN

La proximidad entre los huesos es generalmente superior al tamaño de éstos; es muy raro encontrar restos en contacto, y la mayoría aparecen separados de los demás por espesores de sedimento importantes («flotando» en la matriz) de forma similar a los fragmentos de roca. La densidad media de empaquetamiento puede estimarse a partir del total excavado en 1998:

- Superficie de Somosaguas Norte excavada en 1998: 50 m<sup>2</sup>.
- Volumen: 16 m<sup>3</sup>.
- Restos obtenidos: 211 huesos mayores de 3-4 cm.
- Densidad de empaquetamiento: 211 huesos / 16 m<sup>3</sup> = 13,18 huesos/ m<sup>3</sup>.
- Densidad por unidad de superficie: 211 huesos / 50 m<sup>2</sup> = 4,22 huesos/ m<sup>2</sup>.

La densidad de huesos es mucho mayor si se tienen en cuenta las esquirlas menores de 3-4 cm que no han sido cartografiadas ni sigladas, de las que se han recogido cerca de un millar (y se han desechado muchas más). La varianza estimada de la densidad es alta, dado el gran número de cuadrículas que apenas han proporcionado restos de interés taxonómico, frente a las que han proporcionado un número de restos elevado (ver Fig. 1). No se han encontrado restos articulados ni asociados a sus elementos de posible conexión anatómica.

## ORIENTACIÓN

Las medidas de orientación se han podido tomar en un número reducido de elementos, pues la mayoría no permitía observar un eje mayor. A pesar del reducido número de medidas ( $n = 22$ ), se observa que éstas muestran un marcado sesgo u orientación preferente, con una frecuencia máxima alrededor del eje aproximadamente Norte-Sur (Fig. 3). La dirección ortogonal (aproximadamente E-W) es la siguiente dirección más frecuente, aunque el bajo número de muestras no permite asegurar su significado estadístico.

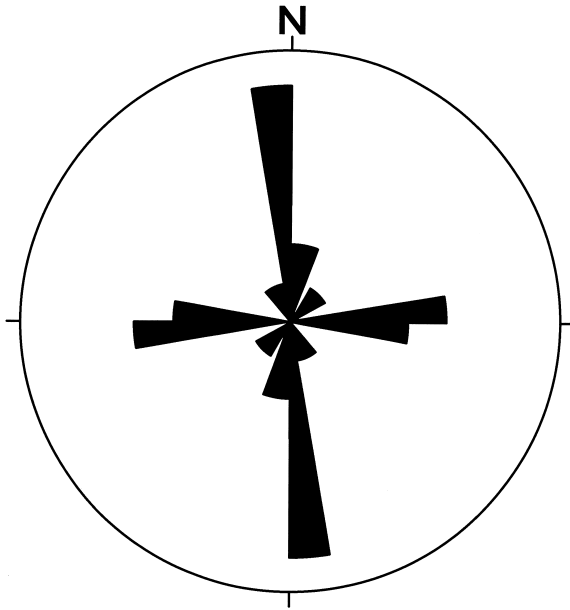


Figura 3.—Diagrama tipo rosa de los vientos que indica la orientación y las frecuencias observadas en los huesos con un eje largo de Somosaguas Norte (excavación 1998,  $N = 22$ )

*Figure 3.—Rose diagrams with strike directions and their observed frequencies of 22 long bones from Somosaguas North (field work 1998).*

Una selección de dos ejes perpendiculares de orientación dominantes suele considerarse como indicativa de reagrupamiento debido a transporte hidrodinámico. Sin embargo, también en casos de orientaciones muy variables sin ejes dominantes puede evidenciarse la acción de un desplazamiento por procesos hidrodinámicos, a partir de un mapa de distribución de los ejes mayores de los huesos (caso de La Roma y La Gloria; ALCALÁ, 1994).

## INCLINACIÓN

Los ejes de buzamiento de los huesos observados suelen presentar ángulos de inclinación entre  $0^{\circ}$  y  $35^{\circ}$ , con una media de alrededor de  $15^{\circ}$  y sin sentido preferente. Hay una mayoría de ejes orientados N-S pero una proporción mayor de huesos se inclinan hacia el Sur (Fig. 4). No hemos podido obtener un plano de estratificación de referencia en el depósito de Somosaguas Norte, aunque la tectónica regional es muy débil y la formación se considera subhorizontal. En las arcillas de Somosaguas Sur infrayacentes se han medido buzamientos de  $3^{\circ}$  y  $9^{\circ}$  hacia el SW, aunque la deformación hidroplástica podría haber afectado a las capas incluso a mayor escala que la del afloramiento.

No se han observado inclinaciones verticales, que BEHRENSMEYER (1988) ha atribuido al efecto del pisoteo (*trampling*) de los huesos por cuadrúpedos relativamente grandes. Sin embargo existe un caso particular de dos fragmentos de costillas, posiblemente procedentes de una misma pieza, que presentan inclinaciones opuestas (SOMN-8, Lám. 1 Fig. 3). Este único caso de

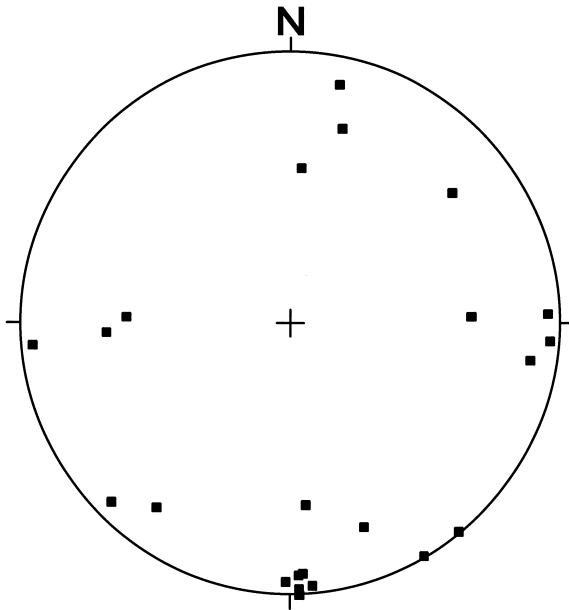


Figura 4.—Esterograma de dirección y buzamiento (orientación y grado de inclinación) de huesos con eje largo de Somosaguas Norte (excavación 1998, N = 22).

Figure 4.—Stereogram showing strike directions and dip angles of 22 long bones from Somosaguas North (field work 1998).



inclinación particular podría atribuirse a pisoteo de los huesos, aunque el punto de hundimiento de la fractura es sorprendentemente estrecho y profundo.

#### ABUNDANCIA RELATIVA DE ELEMENTOS

Los aproximadamente 200 restos de la excavación de 1998 de Somosaguas Norte identificados como partes del esqueleto de mamíferos, pertenecen en su mayoría a restos fragmentarios no articulados. Si observamos su distribución según el elemento esquelético, vemos que abundan proporcionalmente los fragmentos de costillas y huesos de las extremidades (sobre todo fémures, carpales-tarsales y falanges; ver Lám. 1, Fig. 3 y Lám. 2, figs. 1 y 2), así como mandíbulas y dientes (Tabla 1). Estas proporciones se han comparado con las esperadas en una muestra de esqueletos completos, observándose por medio de un índice los elementos sobrerrepresentados (mandíbulas, dientes, costillas, huesos largos) y los subrepresentados (cráneos, vértebras, autópodos y cinturas).

Tipo de hueso	Piezas Somosaguas	%	Total media esqueleto completo	Factor corrección	Índice de representación
cráneo	2	1,3	30	9,3	0,1
mandíbula	3	2,0	2	0,6	3,2
dientes	77	51,0	76	23,7	2,2
vértebras	6	4,0	40	12,5	0,3
costillas + esternitos	20	13,2	35	10,9	1,2
cinturas	2	1,3	6	1,9	0,7
estilópodo + zeugópodo	9	6,0	12	3,7	1,6
autópodo	32	21,2	120	37,4	0,6
	<b>151</b>	<b>100,0</b>	<b>321</b>	<b>100</b>	
INDET.	62	29%			
TOTAL		<b>213</b>			

Tabla 1.-Total de huesos y porcentaje de representación por tipos anatómicos en Somosaguas Norte. Se indica su representatividad como el cociente entre el porcentaje obtenido en cada tipo y el teórico esperable a partir de esqueletos completos.

*Table 1.- Number and percent of anatomical types of bones in Somosaguas North. The degree of representation is indicated as the ratio between the observed and the expected values derived from complete skeletons.*

En Somosaguas Norte aparecen piezas frágiles, tales como neuropósisis y arcos neurales completos de individuos juveniles, desprendidos de los centros por las líneas de sutura no osificadas. También es de destacar la presencia de un «nivel de costillas» (fila de cuadrículas E, ver más arriba y Fig. 1), caracterizado por presentar sobre todo costillas de diferentes tamaños. Las costillas forman parte del grupo I de la clasificación de VOORHIES (1969) por su mayor facilidad de transporte hidrodinámico (saltación y flotación). Sin embargo se encuentran entre las piezas del esqueleto más tardías en ser arras-tradas, por ser las que más tarde se desarticulan (HILL, 1979).

En el extremo opuesto se sitúan los cráneos y mandíbulas (grupo III de VOORHIES, 1969), cuyos fragmentos son más difícilmente arrastrados por su mayor densidad y forman depósitos de fondo (*lag*). En Somosaguas Norte no se han conservado maxilares ni mandíbulas con dientes, sino dientes aislados. Éstos pueden verse sobrestimados en los listados por su facilidad de identificación, pero no son dominantes en la asociación, como puede inferirse por su proporción relativamente baja entre las esquirlas y fragmentos no identifica-dos. Entre los dientes más completos los hay desde grandes y compactos con elevado peso y densidad, como el premolar de mastodonte (MAZO, este volu-men, Lám. 1, Fig. 1), hasta los muy pequeños y frágiles, como el molar inferior del menor de los rumiantes (SÁNCHEZ, este volumen, Lám. 1, Fig. 5), cuyas diferencias de peso son de al menos dos órdenes de magnitud.

En Somosaguas hay por tanto una variada representación de muchos de los diferentes elementos esqueléticos.

En la Fig. 5 puede verse un diagrama de la distribución de restos por gru-pos taxonómicos. La mayoría de los 213 huesos inventariados (54%) no ha podido ser atribuída a un grupo preciso. Los taxones mejor representados son los rumiantes (14%), proboscídeos y équidos (12-13%), seguidos de los carnívoros y suidos (3%). Una gran parte de estos ejemplares procede de individuos infantiles e inmaduros, como puede comprobarse en los estudios anatómicos e histológicos (ver trabajos de CUEZVA & ÉLEZ; CUEZVA & ÉLEZ; MAZO; SALESA & MORALES; SALESA & SÁNCHEZ y SÁNCHEZ, en este mismo volumen).

## DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE CONSERVACIÓN

En Somosaguas se encuentran en superficie, parcialmente rodados o *quasi in situ*, numerosos fragmentos de huesos y dientes convertidos en esquirlas apenas identificables. Una observación superficial sugería que esta situación se debía a meteorización actual de huesos fósiles grandes y a remoción antrópica actual (edificaciones, ajardinamientos). Sin embargo, el resultado de una

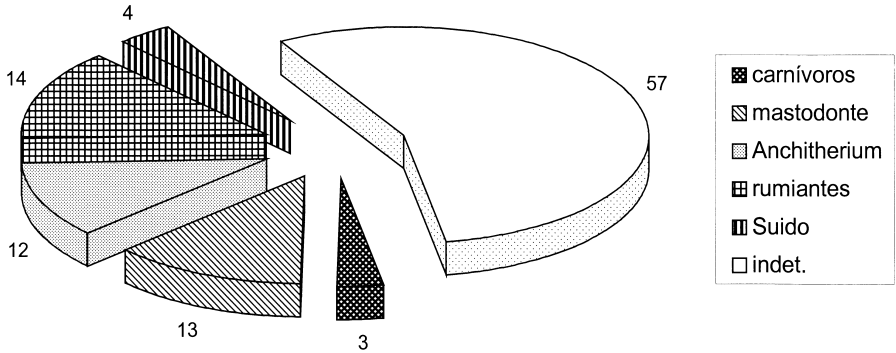


Figura 5.—Diagrama de repartición de los restos inventariados en Somosaguas Norte por grupos taxonómicos.

Figure 5.—Distribution chart of the 211 catalogued remains from Somosaguas North by taxonomic groups.

excavación cuidadosa ha puesto de manifiesto que la mayoría de estas roturas no son recientes. Los niveles excavados tanto en Somosaguas Norte como en Somosaguas Sur muestran una elevada proporción de huesos y dientes originalmente fragmentados, reducidos a esquirlas y dispersos. En el material recogido se requiere por tanto distinguir las fracturas recientes de las fracturas originales, lo que a menudo es posible, pero no siempre. El análisis tafonómico debe intentar separar las variables de conservación del material causadas por procesos de alteración antiguos y recientes.

Las observaciones de Somosaguas Norte se refieren a una muestra formada por 213 huesos inventariados y unos dos centenares de esquirlas mayores de 3 cm. Las observaciones de Somosaguas Sur se han realizado sobre una muestra formada sobre todo por huesos de microfauna y por 14 huesos de macrofauna, entre ellos un fragmento de caparazón de tortuga articulado y una mandíbula juvenil de *Anchitherium* con dos dientes.

## METEORIZACIÓN

Este proceso se produce por exposición directa a la intemperie (insolación, desecación, alternancia de fases húmedas y secas, etc.) previa al enterramiento. Suele inferirse a partir de sus efectos en los distintos grados de descamación del hueso. Se han definido seis estadios de meteorización en huesos actuales (BEHRENSMEYER, 1978), que ALCALÁ (1994) simplifica en tres grados de intensidad de meteorización (hueso intacto, meteorización

superficial y meteorización profunda) aplicados a observaciones sobre huesos fósiles. En nuestro caso hemos utilizado los siguientes criterios, indicándose su equivalencia con los seis estadios de BEHRENSMEYER (1978): grado 1 = superficie del hueso intacta (estadio 0); grado 2 = agrietamiento, escamación, bordes de fracturas angulosos y pérdida parcial de la capa cortical del hueso (estadios 1 y 2); y grado 3 = grietas profundas, bordes de fracturas redondeados y pérdida de la capa cortical, que alcanza a exponer el hueso esponjoso en algunas partes (estadios 3, 4 y 5).

No siempre es posible distinguir los efectos de la meteorización antigua de los de la reciente. En este caso se da la circunstancia de que el afloramiento que ha permitido el descubrimiento de los restos de Somosaguas es completamente artificial, debido a la realización de obras de edificación y ajardinamiento en el Campus Universitario en los años 70-80. Anteriormente existía un depósito suprayacente de al menos 5 metros más de potencia sobre los niveles fosilíferos, como puede verse en los testigos preservados alrededor de los postes eléctricos. Ello ha hecho que los fósiles no hayan sido expuestos hasta hace poco tiempo, y por ello los procesos de meteorización recientes no les han afectado apenas. Los efectos de la meteorización observados pueden por tanto ser atribuidos a procesos bioestratinómicos contemporáneos con la época de formación de la asociación.

Los huesos más completos inventariados de Somosaguas Norte conservan la capa cortical y no presentan indicios de meteorización intensa. Bastantes casos presentan una cortical intacta, incluso en huesos de individuos jóvenes (grado 1). En algunos se observan numerosas finas fisuras y escamación en la superficie (grado 2; Lám. 2, Fig. 1). Sin embargo la presencia de numerosas esquirlas, algunas de ellas con bordes de fractura redondeados, hacen suponer que ha habido una fuerte meteorización previa a la fracturación (grado 3).

Los huesos de Somosaguas Sur, tanto de macro- como de microvertebrados, presentan la capa cortical intacta, brillante y lisa (grado 1).

## FISURACIÓN Y FRACTURACIÓN

Numerosos huesos presentan grietas y fisuras sin desplazamiento a lo largo y ancho de su recorrido. Estas fisuras son más profundas que la fisuración superficial comentada en el proceso de meteorización. Se pueden haber producido durante la diagénesis temprana por compactación, en las zonas del hueso situadas sobre cavidades medulares que han colapsado, o en los lugares donde se han producido desajustes en el equilibrio mecánico.

El análisis de la fracturación nos presenta distintos tipos de fracturas: perpendiculares al eje mayor, oblicuas y paralelas al mismo.

La fracturación neta perpendicular al eje mayor del elemento indica su origen diagenético (Lám. 2, Fig. 2). Esta interpretación se apoya en el hecho de que estas fracturas se producen en ángulos rectos respecto a la dirección principal de las fibras de colágeno, por lo que se requiere que el hueso presente unas propiedades isotropas propias de la etapa fosildiagenética, distintas de las fuertemente anisótropas iniciales (SHIPMAN *et al.*, 1981; ALCALÁ & MARTÍN ESCORZA, 1988 y 1998).

Por el contrario, la fracturación paralela al eje del hueso se interpreta como un proceso propio del hueso fresco, producido durante la etapa bioestratinómica o diagenética muy temprana (HAYNES, 1980). Por último, las fracturas oblicuas o espirales pueden haberse producido tanto en etapas previas al enterramiento (SHIPMAN *et al.*, 1981) como también fosildiagenéticas (Lámina 2, Fig. 2; BEHRENSMEYER, 1981).

En Somosaguas se observa una intensa fracturación que presenta una mezcla de los tres tipos de fracturas. Algunas de las fracturas sin desplazamiento observadas están rellenas con el material de la matriz sedimentaria que las engloba (Lám. 2, Fig. 2). Ello indica que han sido originadas por la compactación diferencial del material.

## FRAGMENTACIÓN

Los grados de fragmentación se pueden clasificar por el número de roturas que afectan a los huesos (entero o con una, dos o más fracturas) o por el tamaño de los fragmentos obtenidos. El primer índice suele ser el más usado, aunque sus resultados suelen ser poco fiables (ALCALÁ, 1994); la proporción de huesos enteros suele ser un dato poco significativo sobre la asociación. Normalmente los paleontólogos buscan yacimientos con el mayor grado posible de integridad de restos y no suelen ocuparse de los fragmentos indeterminables. Así, el grado de fragmentación de las asociaciones suele estar subestimado, por haberse desechado numerosas esquirlas o fragmentos de huesos pequeños. Además, muchos de los restos enteros pueden ser dientes muy duros o huesos de formas compactas (tarsales y carpales) cuya integridad es más fácilmente conservada que la de huesos gráciles o planos. Por ello además del número de fracturas, puede ser más indicativo de la intensidad de fragmentación el tamaño y la forma de los fragmentos resultantes.

La fragmentación de los huesos de Somosaguas Norte es tan intensa que puede afirmarse que las esquirlas son originalmente el resto óseo más

abundante en la asociación. Excluidas las roturas por manipulación (ver más arriba), se han recuperado *in situ* varios centenares de esquiras menores de 3-4 cm que presentan tamaños y formas diversos. Con una muestra de ellas hemos realizado un estudio de tamaños y formas que puede ser de interés para caracterizar procesos de formación de yacimientos, los cuales muestran siempre una cierta homogeneidad en el aspecto de sus fósiles (la «especialización de los yacimientos» según Crouzel, *vide* ALCALÁ, 1994).

En una muestra de 164 esquiras se distinguieron dos tipos por sus diferencias de constitución: esponjosas (formadas por hueso esponjoso) y masivas (formadas por hueso compacto), lo que les confiere una diferencia en peso, densidad y dureza. En cada una de las esquiras fueron tomadas tres medidas de magnitud decreciente (D1, D2 y D3) según sus tres ejes ortogonales. Con las tres variables métricas se han calculado los índices de tamaño y forma necesarios para el análisis tafonómico:

- Tamaño; definido por el volumen en  $\text{cm}^3$  obtenido al multiplicar las tres dimensiones lineales ( $\text{SIZE} = \text{D1} * \text{D2} * \text{D3}$ ).
- Forma; para medir la forma hemos preferido un análisis numérico (en vez de una apreciación visual con formas aproximadas como subesférico /cúbico /alargado /plano /cónico, etc.). Tiene la ventaja de la objetividad aunque permite menos disparidad. Se han utilizado dos índices:
  - Para cada una de las caras del paralelepípedo formado por las tres dimensiones principales se calculan los índices de forma, dividiendo la menor dimensión por la mayor. La media de los tres índices será el índice de forma tridimensional ( $\text{SHAPE} = ((\text{D2}/\text{D1}) + (\text{D3}/\text{D2}) + (\text{D3}/\text{D1})) / 3$ ). Su valor oscilará entre 1 (un cubo) y cerca de 0 (una varilla).
  - El producto de los tres índices de forma de las tres caras del paralelepípedo nos proporciona otro índice de forma tridimensional ( $\text{XSHAPE} = (\text{D2}/\text{D1}) * (\text{D3}/\text{D2}) * (\text{D3}/\text{D1})$ ). Adquiere el mismo rango de valores que el anterior, pero es mucho más difícil que obtenga valores altos, y es menos sensible a diferencias pequeñas.

Los análisis realizados indican que los dos índices de forma calculados, SHAPE y XSHAPE están fuertemente correlacionados ( $R = 94,27\%$  en correlación lineal;  $R = 98,27$  en potencial,  $\text{SHAPE} = 0,20 + 0,89 * \text{XSHAPE}$ ), y se ha comprobado que frente a otras variables muestran escasas diferencias en su comportamiento. Por tanto resulta más conveniente utilizar únicamente el índice SHAPE por ser más sensible a diferencias pequeñas.

Todas las variables presentan un fuerte desajuste a la distribución normal muy significativo, así como a las funciones logística, extrema y Weibull, pero un ajuste satisfactorio a la función lognormal. Las correlaciones entre la forma y el tamaño son muy débiles (negativa respecto a D1 (XSHAPE/D1,  $R = -0,267$ ) y positivas respecto a las otras (XSHAPE/D2,  $R = 0,109$ ; XSHAPE/D3,  $R = 0,549$ ; SIZE/XSHAPE,  $R = 0,176$ ). En la Fig. 6 se representa un gráfico de la regresión de la forma respecto al tamaño de las esquirilas, ajustada a una función potencial que es la que proporciona la máxima correlación. Se comprueba por tanto que no hay correlación entre el tamaño y la forma de los fragmentos, lo que apunta a una escasa acción selectiva de los procesos tafonómicos.

Otra medida de la forma utilizada en Geodinámica y aplicada en Tafonomía es la comparación entre dos índices, D1/D2 frente a D2/D3 (ALCALÁ, 1994). De esta manera se visualizan mejor los contrastes entre elementos de forma alargada y estrecha (valores altos de D1/D2 y bajos de D2/D3) y los de forma aplanada (valores bajos de D1/D2 y altos de D2/D3). La mayor o menor dispersión de la muestra entre estos dos índices permite apreciar el grado de diversidad de formas. En la Fig. 7 se representa el diagrama de dispersión de la muestra de Somosaguas respecto a estas dos variables ( $R = -0,33$ ). Puede verse una importante dispersión de los puntos, alejándose del eje que representa las formas más próximas al cubo. Ello indica la fuerte disparidad de formas que presentan los fragmentos de Somosaguas Norte, mayor incluso que la de otros yacimientos más ricos y con mayor integridad de restos.

Según la propuesta de ALCALÁ (1994), la mayor disparidad de formas puede relacionarse con una menor intensidad de procesos de selección (p. ej., transporte tractivo) durante la fase bioestratinómica.

El tipo de esquirila, esponjosas (representadas en puntos negros en las Figs. 6-8) o compactas (puntos blancos), presenta cierta relación con las variables de tamaño y forma. En la Tabla 2 se expresan los parámetros de las distribuciones de las seis variables para cada tipo de esquirila y para el conjunto de ellas. Como puede observarse en dicha Tabla 2, las esquirilas de tipo esponjoso son en promedio dos veces mayores, son mucho más variables y tienen formas más robustas. Las esquirilas de tipo masivo son de menor tamaño en general y tienen formas más gráciles, tanto planas como alargadas (Figs. 6 y 7). Las diferencias son estadísticamente significativas.

Un análisis de componentes principales muestra que bastan dos componentes para explicar el 80% de la varianza; y que lo hacen mejor las tres variables de tamaño, forma y tipo que el conjunto de las ocho variables. El primer componente absorbe el 55% de la varianza y está correlacionado posi-

	ESPONJOSAS			MASIVAS			TOTAL		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
med.geom.	1,897	1,030	0,620	1,756	0,847	0,407	1,836	0,948	0,518
med.arm.	1,764	0,966	0,569	1,637	0,797	0,365	1,708	0,886	0,460
media p.							1,974	1,017	0,582
n	94	94	94	70	70	70	164	164	164
max.	4,7	2,9	1,85	3,65	1,95	1,2	4,7	2,9	1,85
min.	0,7	0,52	0,25	0,85	0,3	0,15	0,7	0,3	0,15
var.	0,682	0,197	0,083	0,476	0,103	0,054	0,597	0,166	0,082
	SIZE	SHAPE	XSHAPE	SIZE	SHAPE	XSHAPE	SIZE	SHAPE	XSHAPE
med.geom.	1,213	0,504	0,362	0,607	0,420	0,053	0,902	0,466	0,079
med.arm.	0,755	0,492	0,284	0,397	0,408	0,039	0,545	0,452	0,055
med. p.							1,575	0,480	0,115
n	94	94	94	70	70	70	164	164	164
max.	22,13	0,834	1,917	4,08	0,731	0,373	22,13	0,834	0,577
min.	0,126	0,308	0,043	0,098	0,271	0,009	0,098	0,271	0,009
var.	8,603	0,012	0,077	0,832	0,012	0,006	5,589	0,014	0,009

Tabla 2.—Parámetros de la distribución de las tres dimensiones (D1, D2 y D3) y sus índices de tamaño y forma (SIZE, SHAPE y XSHAPE) para una muestra de 164 esquirlas de Somosaguas Norte, diferenciadas en dos tipos: esquirlas de hueso esponjoso y de hueso compacto; med.geom. = media geométrica; med.arm. = media aritmética; media p. = media ponderada ajustada a la distribución lognormal. n = número de ejemplares; max = valor máximo; min = valor mínimo; var = varianza.

Table 2.—Parameters of the distribution of three dimensions (D1, D2 and D3) and their size and shape indexes (SIZE, SHAPE and XSHAPE) of a sample with 164 bone fragments from Somosaguas North, differentiated into two types: spongy bone and compact bone; med.geom. = geometric mean; med.arm. = arithmetic mean; media p. = average fitted to lognormal distribution. n = sample size; max = maximum value; min = minimum value; var = variance.

tivamente con la forma y negativamente con el tipo de esquirla; el segundo componente absorbe el 25% de la varianza y está correlacionado positivamente con el tamaño. En la Fig. 8 se muestra un gráfico de distribución de la muestra en el espacio de los dos componentes principales. En él se observan los tipos de esquirlas diferenciados sobre todo a lo largo del eje 1, controlado por el factor de la forma.



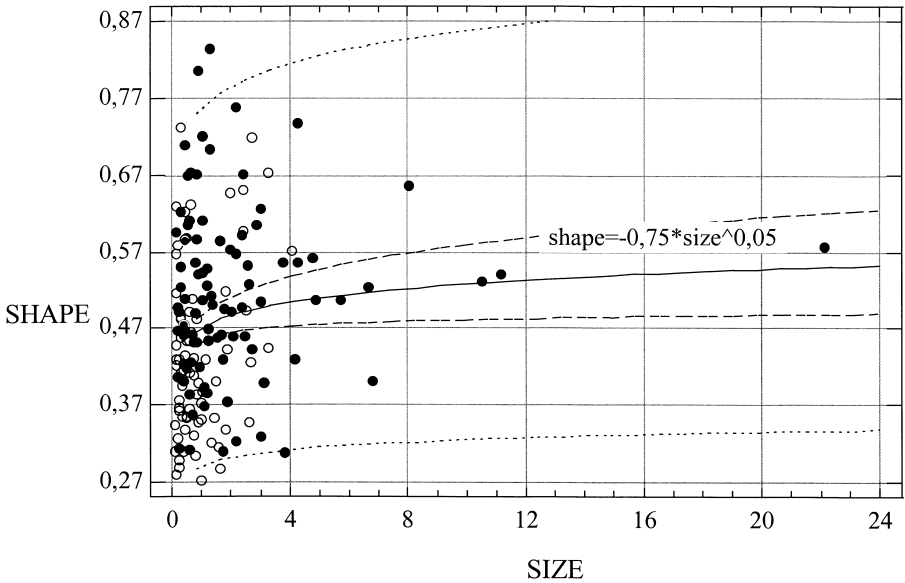


Figura 6.—Gráfico de regresión de la forma respecto al tamaño de una muestra de 164 esquirlas de Somosaguas Norte. La baja correlación indica que no hay relación entre estos factores. En negro se representan las esquirlas esponjosas, y en blanco las esquirlas masivas.

*Figure 6.—Regression chart of the shape against the size of 164 bone splinters from Somosaguas North. The low correlation indicates there are no relation between these two factors. Black circles, spongy bones; white circles, compact bones.*

## CORROSIÓN

No se han observado signos de corrosión ni de digestión apreciables, ni marcas (estrías, orificios) ni surcos de huellas de raíces, ni de carnívoros carroñeros, aunque en este estudio preliminar no se han realizado estudios microscópicos de la superficie. Se necesitaría un análisis con una muestra más abundante para poder excluir estos procesos.

## ABRASIÓN

Se denomina así el proceso que produce redondeamiento y suavización de aristas y vértices. Se observa en algunas esquirlas y fragmentos, caracterizados por un redondeamiento y pulido de su superficie o en parte de ella. Esta

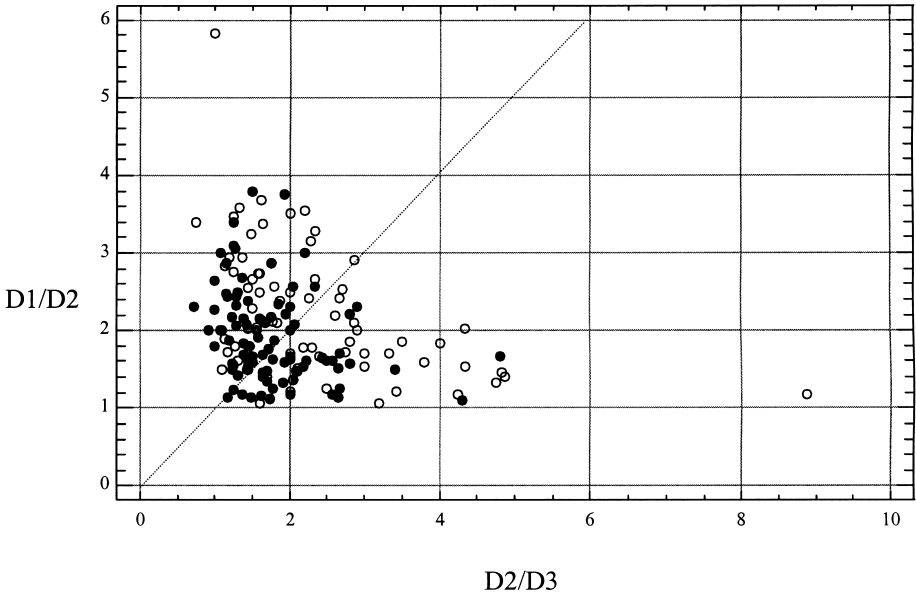


Figura 7.—Gráfico de dispersión de dos índices que expresan la forma de dos de las caras (diagrama de Flinn) de una muestra de 164 esquirlas de Somosaguas Norte. Los elementos alejados a lo largo del eje de ordenadas tienen formas alargadas, mientras que los alejados en el eje de abscisas tienen formas aplanadas. La línea discontinua representa la posición de los elementos de forma cúbica. Signos como en la Figura 6.

*Figure 7.—Scatter plot of 164 bone fragments from Somosaguas North, using shape indexes of two sides (Flinn diagram). The elements with high Y-axis values have an elongated shape, while those with high X-axis values are plane-shaped. The dashed line represents the position of the elements having a cubic shape. Signs as in*

alteración de origen mecánico es bastante significativa en Somosaguas Norte. Hay casos de huesos con forma de canto rodado, totalmente redondeados e irreconocibles (guijarros óseos). La abrasión se considera producida por erosión hidráulica o eólica. La erosión eólica se distingue por la formación de facetas de erosión planas separadas por carenas (ventifactos). También puede producirse redondeamiento por meteorización, tanto de huesos frescos previa al enterramiento (BEHRENSMEYER, 1978) como en huesos fósiles durante la exhumación (ALCALÁ, 1994).

En muchas esquirlas de Somosaguas Norte se observan bordes redondeados. El mismo fenómeno ha sido descrito por ANDREWS & ERSOY

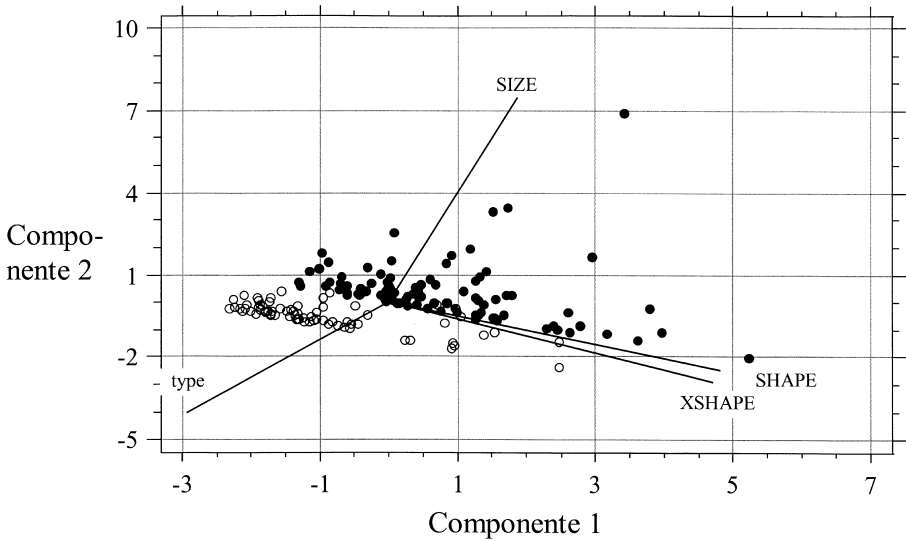


Figura 8.—Distribución de la muestra de 164 esquirolas de Somosaguas Norte en el espacio de los dos componentes principales calculados, que explican un 80% de la varianza total. Signos como en la Figura 6. Los ejes indican la participación de las variables originales en el espacio de los dos componentes principales.

*Figure 8.—Principal Component Analysis of 164 bone splinters from Somosaguas North; sample distribution in the first two PC' space, which control 80% of the total variance. Signs as in Figure 6. The axes indicate the location of the original variables into the two-component space.*

(1990). Estos autores atribuyen el redondeamiento de los bordes de fractura a la abrasión de huesos previamente meteorizados, por rodamiento y transporte en un medio con partículas abrasivas. Sin embargo, este efecto ha sido observado en huesos actuales sometidos a una meteorización intensa, sin transporte (BEHERENSMEYER, 1978). En este caso, se tendrían que observar estructuras superficiales de meteorización intensa (escamación, agrietamiento). La superposición de los procesos de abrasión sobre los de meteorización produce un enmascaramiento de los efectos de ambos. Como resultado se pierden señales de meteorización intensa y los huesos presentan una pauta de modificación característica: fragmentos de huesos con superficies lisas y bordes redondeados (ANDREWS & ERSOY, 1990).

Existen algunos ejemplos en esquiras de Somosaguas Norte donde se observa una abrasión parcial de una de sus caras, sugiriendo que los huesos han podido quedarse «anclados» en el sustrato y mantener la base fija, a salvo de las corrientes hidrodinámicas.

En los restos de Somosaguas Sur no se observan señales de abrasión; las esquiras y fragmentos tienen todos los bordes muy angulosos y afilados.

## DESMINERALIZACIÓN

En general, muchos de los huesos fósiles de Somosaguas y de otros yacimientos muestran una mayor dureza y resistencia al roce que los huesos frescos. Ello es debido al estado de mayor cristalinidad que adquiere durante la fosilización el hidroxiapatito que forma los huesos. Sin embargo, independientemente, una proporción relativamente baja pero significativa de los restos óseos de Somosaguas presentan una textura deleznable y pulverulenta, que impide observar si el hueso original era esponjoso, compacto o una combinación de ambos.

Los huesos fósiles en este estado de descomposición no permiten ser separados de la matriz circundante ni extraídos. Parecen haber sido descalcificados

---

## LÁMINA 1

- Fig. 1. Aspecto general de la excavación de Somosaguas Norte en 1999, Campus Universitario de Somosaguas, Pozuelo de Alarcón (Madrid).
- Fig. 2. La misma excavación con la cubierta de toldo.
- Fig. 3. Conjunto de fragmentos de huesos largos en el que destaca una larga costilla, que se continúa con un fragmento, ambos inclinados en direcciones opuestas (SOMN-8).

## PLATE 1

- Fig. 1. General view of the excavation of Somosaguas North in 1999, University Campus of Somosaguas, Pozuelo de Alarcón (Madrid).
- Fig. 2. The same site cover by a awning.
- Fig. 3. Set of long bone fragments; note specially a long rib lying along a bony fragment, both inclined in opposite directions (SOMN-8).



**1**

**2**

**3**

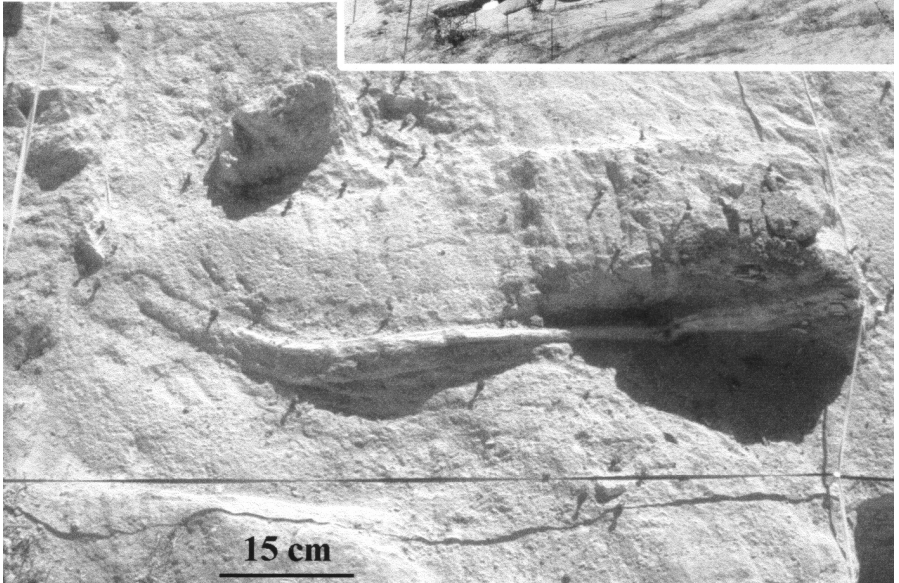


LÁMINA 1

en un medio fuertemente ácido, como el de los líquidos intersticiales de los sedimentos arcóscicos. No obstante, la diagénesis tendría que haber afectado a muchos más huesos y no sólo a una escasa proporción de ellos, que es lo que se observa. Por su semejanza con la forma de conservación de epífisis de huesos juveniles (Lám. 2, Fig. 1), suponemos que debe tratarse de un proceso de ataque a cartílagos o huesos poco osificados, previamente ya desmineralizados o diferencialmente alterados quizá por procesos de digestión.

No se han producido, aparentemente, procesos de encostramiento. Éstos procesos tan frecuentes en otros yacimientos, suelen ocurrir más favorablemente en la zona de oscilación del nivel freático, cerca de la interfase entre la zona vadosa y la zona freática. Su ausencia en Somosaguas indica que el sedimento no ha debido de experimentar este tipo de proceso.

## CEMENTACIÓN Y REEMPLAZAMIENTO

La recristalización y relleno de las cavidades y poros del tejido óseo original a partir del agua intersticial ha producido pequeños cristales similares a calcita esparítica.

Algunos restos de esquiras y huesos aparecen extraordinariamente resistentes, con dureza similar a la de los fragmentos de rocas que les acompañan (feldespatos, gneisses) aunque menor que la de los cantos de cuarzo. La observación en lámina delgada de algunos de estos casos muestra que estos huesos han perdido toda la microestructura del tejido original, reemplazada por una sustancia mineral grisácea, homogénea, que ha sustituido al hueso respetando las cavidades vasculares originales (Lám. 2, Fig. 3).

Esta sustancia a veces afecta sólo a una zona del hueso formando un frente de reemplazamiento centrípeto, que destruye irregularmente de fuera a dentro la microestructura original. Esta generalmente aparece alterada interiormente por microfilamentos y por ramificaciones difusas formadas por restos de materia orgánica, que se dirigen centrífugamente desde el interior de las cavidades vasculares hacia el exterior del hueso (CUEZVA & ÉLEZ, este volumen). La sustancia de reemplazamiento corta por igual a la microestructura original y a la zona alterada por microfilamentos. Ello indica que el frente de reemplazamiento centrípeto es posterior a la microalteración orgánica centrífuga. Al no observarse alteración del sedimento alrededor de los restos ni de las áreas donde se ha producido dicho reemplazamiento, no es posible relacionarlo con una fase precisa de la diagénesis.

Para comprobar que este reemplazamiento no es reciente, hemos sumergido una lámina delgada en agua oxigenada al 30% durante 6 horas, con el fin de destruir la materia orgánica que pudiera conservarse. Tras el ataque

químico la zona ocupada por el hueso no reemplazado prácticamente desapareció, quedando únicamente la sustancia de reemplazamiento. El resultado muestra que tanto el hueso como las microalteraciones orgánicas conservan suficiente materia orgánica como para ser oxidadas por el ataque químico, mientras que la sustancia de reemplazamiento ya está tan mineralizada que el peróxido no puede atacarla.

La forma y aspecto de la sustancia de reemplazamiento centrípeta observada es similar a la descrita en huesos fósiles de sedimentos muy porosos, causada por aguas freáticas (PAINE, 1937). En estos casos sin embargo no se observa un efecto local de contacto neto con el hueso preservado, como ocurre en Somosaguas (Lám. 2, Fig. 3). Es probable por tanto que se trate de la acción de un agente bioerosionador, posiblemente líquenes, durante la fase bioestratinómica, cuyos productos de alteración serían posteriormente mineralizados durante la fase fosildiagenética. Ello explicaría su presencia selectiva en algunos ejemplares o en sólo partes de ellos. Se necesitará un estudio más detallado para poder corroborar esta hipótesis.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es posible, a partir de la superposición de los efectos observados en los huesos fósiles de Somosaguas, inferir la sucesión de procesos que los han producido y las fases temporales en las que han tenido lugar.

En orden temporal inverso, los procesos más recientes han debido de ser las fracturas perpendiculares sobre huesos isótropos, que debían estar ya mineralizados (Lám. 2, Fig. 2). Si su origen es por compactación diferencial y reajustes, éstos han tenido que suceder en la etapa fosildiagenética más tardía.

Previamente han debido tener lugar los procesos de cementación y relleno de cavidades, dando al conjunto del hueso una mayor dureza, densidad e isotropía durante la fosildiagénesis. La descalcificación y descomposición de los huesos pulverulentos tiene que haber actuado también en esta fase, puesto que si la desmineralización hubiese ocurrido antes de la compactación general, las frágiles masas pulverulentas hubiesen quedado completamente colapsadas.

La compactación general del sedimento ha tenido que ocurrir en la fosildiagénesis temprana, anterior a la cementación y al relleno. Durante esta fase han tenido lugar los procesos de fisuración profunda de algunos huesos, que muestran colapso de cavidades que aún no se habían rellenado.

La mineralización del hueso y de las sustancias de reemplazamiento de origen posiblemente líquénico ha debido ocurrir tras el enterramiento, antes o después de la consolidación del sedimento.

La alteración microestructural filamentosa y difusa, que afecta a todas las preparaciones microscópicas observadas en ambos yacimientos, podría ser debida a microorganismos saprofitos que se alimentaran de la materia orgánica contenida en los huesos, tanto en la fase inmediatamente posterior al enterramiento como en la fase bioestratinómica previa al enterramiento (CUEZVA & ÉLEZ, este volumen).

La mayor parte de la intensa y variada fragmentación de los huesos, característica principal del yacimiento de Somosaguas Norte, ha debido ocurrir antes del enterramiento.

La existencia de numerosas esquirlas, muchas con bordes de fractura redondeados, es indicativa de intensa meteorización. Sin embargo la meteorización observada en la superficie de los huesos más enteros no es muy inten-

---

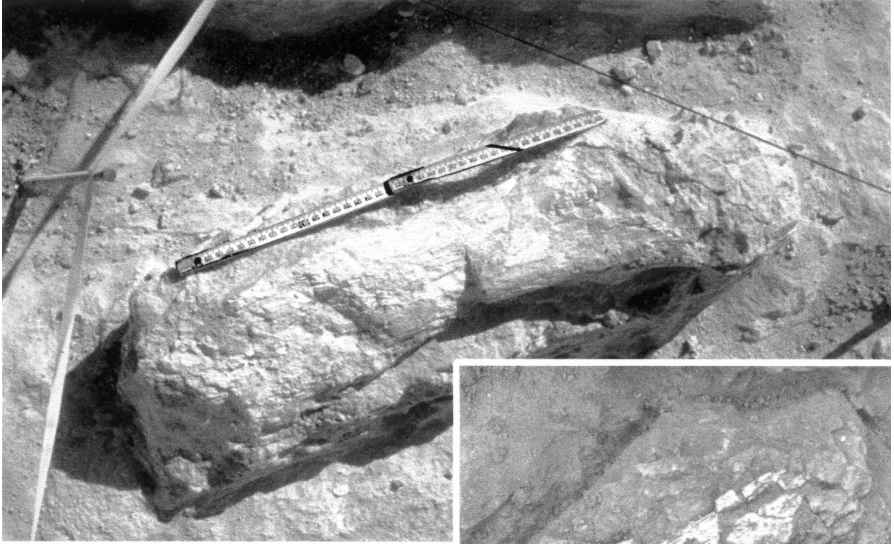
## LÁMINA 2

- Fig. 1. Húmero juvenil de mastodonte (SOMN-9), que muestra señales de meteorización (escamación superficial, corrosión de epífisis poco osificadas) junto a alguna fractura actual debida a la acción humana.
- Fig. 2. Ejemplo de fracturas perpendiculares o ligeramente oblicuas al eje del hueso producidas en la etapa fósildiagenética, con desplazamiento e inyección de sedimento en los planos de fractura.
- Fig. 3. Lámina delgada vista al microscopio óptico de un fragmento de hueso de mamífero de Somosaguas Norte en fase de sustitución parcial por una sustancia gris y homogénea que respeta las cavidades vasculares y destruye centripetamente el resto de la microestructura histológica original. Nícoles paralelos, x20 aumentos.

## PLATE 2

- Fig. 1. Juvenile humerus of a mastodont (SOMN-9) with shallow evidences of meteorization (surface scaled off, destruction of the two poorly osified epiphyses) together with some recent fracture due to human action.
- Fig. 2. Example of perpendicular or slightly oblique fractures relative to the bone axis, produced during the fósildiagenetic phase, showing splitting off of the fragments and injection of sediment in the fracture planes.
- Fig. 3. Thin slide view on optical microscope of a mammal bone fragment from Somosaguas North, showing partial substitution by an homogeneous, grey substance, which centripetally destroys the original histological microstructure, but avoids the vascular cavities. Parallel nicols, x20 magnification.





1

2

3

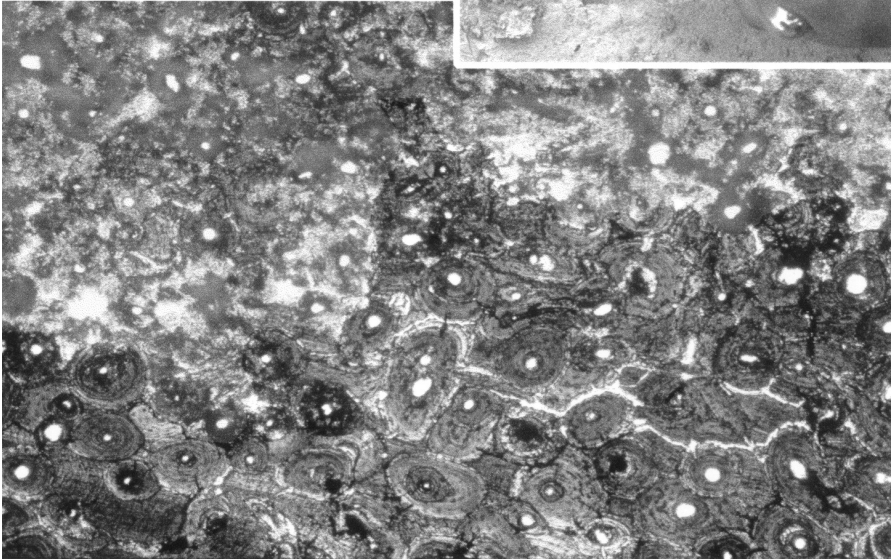


LÁMINA 2

sa. Es probable que la resedimentación y el transporte lateral hayan sido responsables de la disgregación de los huesos más meteorizados, que han sido conservados sólo como esquirlas. Así lo indica la distribución dispersa de las esquirlas, heterogéneas en tipos, tamaños y formas, dentro de grandes volúmenes de sedimento y sin contacto entre ellas.

Somosaguas Norte constituye una asociación mezclada formada por elementos con gran diversidad de estados de conservación. Junto a elementos afectados por una intensa exposición a agentes destructivos, existen otros que han sido poco expuestos. Hay elementos que incluso preservan estructuras tan frágiles como los arcos neurales juveniles desprendidos de los centros. Junto a ellos hay otros elementos muy alterados, biocorroídos, intensamente fragmentados, algunos incluso afectados por abrasión de rodamiento. Asimismo hemos de imaginar procesos de intensa alteración diferencial sobre algunos huesos que han sido fuertemente desmineralizados y destruidos hasta convertirse en masas pulverulentas dentro del sedimento.

En Somosaguas Norte se encuentran por tanto una gran variedad de elementos óseos en diferentes estados de conservación, característicos de los tres diferentes tipos de yacimientos distinguidos por JOHNSON (1960): se conservan estructuras delicadas, superficies óseas sin meteorizar, y formas y tamaños heterogéneos, características del modelo I (elementos acumulados y rápidamente enterrados); también se observa una importante fragmentación y estados de meteorización moderados, características del modelo II (elementos resedimentados con importante exposición antes del enterramiento); y también por último existen elementos redondeados por abrasión, ausencia de elementos articulados, y orientación preferente de huesos largos, características del modelo III (elementos resedimentados con importante transporte lateral).

El proceso que parece más apropiado para producir esta concentración con mezcla tafonómica es el de un transporte en masa. Los modelos de abanicos aluviales en climas áridos indican que durante las épocas de lluvias torrenciales en un medio con fuerte estacionalidad, una descarga aluvial produce una importante escorrentía de tipo *debris-flow*. En nuestro caso no se observan depósitos gradados con carga de fondo, propios de corrientes tractivas, sino un sedimento mal clasificado y soportado por una matriz arenosa, propio de un transporte en masa de materiales viscosos de alta densidad. Este tipo de transporte en masa podría movilizar los restos previamente dispersos en superficie, con diferentes trayectorias tafonómicas previas, y desplazarlos flotando sin apenas fracturarlos ni rodarlos.

En el yacimiento de Somosaguas Sur el estado de los macrorrestos es también fragmentario pero en este caso hay algunos restos en conexión (pla-

cas de tortuga; mandíbulas con dientes), no hay ninguna señal de meteorización, y las esquirolas y fragmentos tienen todos los bordes muy angulosos y afilados. Es posible que en este caso la exposición haya sido menor, y la mayor proporción de matriz arcillosa del sedimento haya producido un transporte en masa de tipo *mud-flow* aún menos abrasivo que en el caso de Somosaguas Norte.

A partir de este estudio preliminar, una muestra más numerosa permitirá comprobar si la presencia en Somosaguas Norte de restos de huesos con historias tafonómicas diferentes se debe a concentración de restos procedentes de orígenes distintos. No podemos excluir que esta mezcla de restos (huesos juveniles y frágiles apenas meteorizados; dientes de muy distintos tamaños; huesos muy alterados y fragmentados; guijarros óseos; masas de hueso pulverulento, etc.) contenga restos resedimentados junto a fósiles reelaborados de yacimientos similares, anteriores en el tiempo, que hubieran podido ser erosionados (como el de Somosaguas Sur). Para confirmarlo se precisarán evidencias positivas, que permitan discriminar los huesos reelaborados particulares, entre los resedimentados y acumulados, como serían 1) la identificación taxonómica de especies reconocidamente anacrónicas, 2) la existencia de fracturas transversales en esquirolas aisladas en el sedimento, 3) las estructuras geopetales incongruentes con la posición en el substrato (ASTIBIA *et al.*, 1990) y 4) la composición geoquímica diferencial (isótopos, tierras raras, etc.) (TRUEMAN & BENTON, 1997).

No es frecuente en la cuenca de Madrid la coincidencia espacial de dos yacimientos de vertebrados diferentes de épocas distintas. Ambos pudieron tener en común la formación por transporte y concentración de restos mayoritariamente resedimentados. Sin embargo los ambientes y asociaciones de ambos parecen notablemente diferentes: Somosaguas Sur con mucha arcilla y restos de microvertebrados, baja turbulencia y poca capacidad de transporte; Somosaguas Norte con gravas y arena, restos de grandes vertebrados, mayor turbulencia y alta capacidad de transporte.

Una posible causa de la coincidencia espacial de ambos yacimientos sería la proximidad a una zona de aguas estancadas, cuya presencia evidencian las facies bien clasificadas de arenas micáceas y arcillas intercaladas entre ambos yacimientos (ver MÍNGUEZ GANDÚ, este volumen). En un clima relativamente árido y desprovisto de ríos permanentes, una zona de encharcamiento produciría la atracción de los animales. Sus restos con numerosos individuos juveniles, más afectados por la mortalidad estacional, podrían quedar dispersos en los alrededores durante la estación seca y ser concentrados por coladas de barro durante la época de lluvias.

## CONCLUSIONES

El yacimiento de Somosaguas Norte ofrece una combinación inusual de estados de conservación de huesos, como algunos restos frágiles, bastantes superficies intactas, intensa fragmentación, orientación preferente, guijarros óseos, etc. Se han puesto de manifiesto los siguientes procesos tafonómicos principales:

1. Génesis de diferentes tanatocenosis con alta diversidad de conservación, formadas por elementos poco expuestos, junto a otros muy alterados: invadidos por microorganismos saprofitos, bioerosionados probablemente por líquenes, intensamente fragmentados antes del enterramiento, afectados por abrasión de rodamiento o muy desmineralizados.
2. Concentración de elementos transportados en masa formando una asociación mezclada.
3. Compactación general del sedimento durante la fosildiagénesis temprana, con colapso de cavidades que aún no se habían rellenado.
4. Mineralización del hueso y de las sustancias posiblemente liquénicas de reemplazamiento.
5. Cementación y relleno de cavidades. Descalcificación y descomposición de huesos hasta hacerlos pulverulentos.
6. Compactación diferencial y reajustes en la etapa fosildiagenética más tardía, afectando a huesos isótropos que debían estar ya mineralizados, produciendo fracturas perpendiculares y oblicuas.

El yacimiento de Somosaguas Norte coincide espacialmente con el del Sur, probablemente debido a la proximidad a una zona de encharcamiento de agua como factor de atracción para los animales, y a la mortalidad estacional de éstos en periodos de sequía. La formación de estos yacimientos pudo deberse a descargas de lluvias torrenciales formando coladas de sedimentos de alta viscosidad, que concentrarían asociaciones de restos heterogéneos por transporte en masa.

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han ayudado a la realización del proyecto de Somosaguas, realizado entre la Universidad Complutense de Madrid y el Museo Nacional de Ciencias Naturales dentro de su convenio con la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid. Agradecemos al Rectorado de la Universidad Complutense de Madrid y a los equipos decanales de las Facultades de Ciencias Geológicas y de Ciencias Políticas y Sociología las

facilidades prestadas y su decidido apoyo moral y material. Responsables del trabajo de campo han sido la Dra. N. LÓPEZ-MARTÍNEZ (directora, Universidad Complutense de Madrid), el Dr. J. MORALES ROMERO (codirector, Museo Nacional de Ciencias Naturales), M.J. SALESA e I.M. SÁNCHEZ (becarios MNCN), S. CUEZVA, J. ÉLEZ, J.M. HERNANDO, A. LUIS, D. MÍNGUEZ e I. POLONIO (alumnos UCM), J. GUERRERO, M. FUENTES, A. PANTALIONI, (excavación 1998), J.M<sup>a</sup> CORRAL, R. DE LA CASA, M. LUCAS, Y. LUQUE, P. MARTÍN, S. MORALES y F. VERDÚ (excavación 1999), con la desinteresada ayuda de L. AMEZUA, S. FRAILE, E. GÓMEZ, R. LÓPEZ, M. NIETO Y D. PESQUERO. Agradecemos el asesoramiento del Dr. R. DAAMS (a título póstumo), Dra. M. DÍAZ-MOLINA, Dr. S. FERNÁNDEZ LÓPEZ y Sr. O. KÁLIN (UCM), Dres. A. MAZO, A. ROSAS y P. PELÁEZ-CAMPOMANES (MNCN) y a los Dres. L. ALCALÁ y Y. FERNÁNDEZ JALVO por la lectura crítica del manuscrito.

Recibido el día 15 de octubre de 1999

Aceptado el día 7 de febrero de 2000

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCALÁ, L. 1994. *Macromamíferos Neógenos de la fosa de Alfambra-Teruel*. 554 págs Instituto de Estudios Turolenses y Museo Nacional Ciencias Naturales, Madrid.
- ALCALÁ, L. & MARTÍN ESCORZA, C. 1988. Fracturación en los metápodos de *Hipparion*. *Geogaceta*, **5**: 41-44.
- ALCALÁ, L. & MARTÍN ESCORZA, C. 1998. Modelling diagenetic bone fractures. *Bulletin Société Géologique de France*, **169**: 101-108.
- ÁLVAREZ-SIERRA, M.A., DÍAZ MOLINA, M., LACOMBA, J.I. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, N. 1990. Taphonomic and sedimentary factors in the fossil record of mammals. *In European Neogene Mammal Chronology*. J. LINDSAY, V. FAHLBUSCH & P. MEIN, Eds. págs. 461-474. NATO ASI Ser. A, Plenum Press, **180**, New York.
- ANDREWS, P. & ERSOY, A. 1990. Taphonomy of the Miocene bone accumulations at Pasalar, Turkey. *Journal of Human Evolution*, **19**: 379-396.
- ASTIBIA, H., HERRERO, J.M. & ELORZA, J.J. 1990. An example of petrographic microscopy and X-Ray diffraction techniques as tools in Vertebrate taphonomic analysis of some Spanish fossil material. *Comunicaciones I Reunión Tafonomía y Fosilización*: 27-39, Madrid.
- BEHRENSMEYER, A.K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, **8**: 211-227.
- 1981. «Comments» in SHIPMAN, P., BOSLER, W. & DAVIS, K.L., 1981. Butchering of giant *Geladas* in an Acheulian site. *Current Anthropology*, **22**: 264.

- 1988. Vertebrate preservation in fluvial channels. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **63**: 183-199.
- CUEZVA, S. & ÉLEZ, J. (este volumen). Estudio preliminar de la microestructura conservada en los huesos fósiles de los mamíferos de Somosaguas (Mioceno, Madrid). *Coloquios de Paleontología*.
- CUEZVA, S. & ÉLEZ, J. (este volumen). Reconocimiento del estadio de desarrollo en la microestructura de huesos fósiles de mamíferos (Somosaguas y Layna). *Coloquios de Paleontología*.
- FERNÁNDEZ JALVO, Y. 1998. Interpretación paleoambiental y etológica en Atapuerca a través de métodos tafonómicos. In: *Atapuerca y la evolución humana*. E. AGUIRRE, Ed. págs. 113-152. Fundación Ramón Areces, Madrid.
- HAYNES, G. 1980. Evidence of carnivore gnawing on Pleistocene and Recent mammalian bones. *Paleobiology*, **6**: 341-351.
- HILL, A. 1979. Disarticulation and scattering of mammal skeletons. *Paleobiology*, **5**: 261-274.
- JOHNSON, R.G. 1960. Models and methods for analysis of the mode of formation of fossil assemblages. *Bulletin Geological Society of America*, **71**: 1075-1085.
- LUIS CAVIA, A. & HERNANDO HERNANDO, J.M. (este volumen). Los microvertebrados del Mioceno Medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios de Paleontología*.
- MAZO, A. (este volumen). Estudio de los Mastodontes del yacimiento de Somosaguas, Madrid. *Coloquios de Paleontología*.
- MÍNGUEZ GANDÚ, D. (este volumen). Marco estratigráfico y sedimentológico de los yacimientos miocenos de Somosaguas (Madrid, España). *Coloquios de Paleontología*.
- PAINE, G. 1937. Fossilization of bone. *American Journal of Sciences*, **34**: 148-157.
- PALMQVIST, P., MARTINEZ-NAVARRO, B. & ARRIBAS, A. 1996. Prey selection by terrestrial carnivores in a lower Pleistocene paleocommunity. *Paleobiology*, **22**: 514-534.
- PIERSON, T.C. 1981. Dominant particle support mechanisms in debris flows at Mt. Thomas, New Zealand, and implications for flow mobility. *Sedimentology*, **28**: 49-60.
- SALESA, M.J. & MORALES, J. (este volumen). La fauna de carnívoros del yacimiento aragoniense de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios de Paleontología*.
- SALESA, M.J. & SÁNCHEZ, I.M. (este volumen). Estudio de los restos de *Anchitherium* Meyer 1834 del yacimiento de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios de Paleontología*.
- SÁNCHEZ, I. (este volumen). Los rumiantes (Mammalia, Artiodactyla) del yacimiento de Somosaguas (Aragoniense medio-superior, Madrid). *Coloquios de Paleontología*.
- SHIPMAN, P., BOSLER, W. & DAVIS, K.L. 1981. Butchering of giant Geladas in an Acheulian site. *Current Anthropology*, **22**: 257-268.

- TRUEMAN, C. N. & BENTON, M. J. 1997. A geochemical method to trace the taphonomic history of reworked bones in sedimentary settings. *Geology*, **25**: 263-266.
- VOORHIES, M.R. 1969. Taphonomy and population dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox Country, Nebraska. *University of Wyoming Contributions to Geology, Special Paper*, **1**: 1-69.