

Estudio preliminar de la Microestructura de los huesos fósiles de mamíferos de Somosaguas (Mioceno Medio, Madrid)

Preliminary study about microstructure of the fossil bones from Somosaguas mammals (Middle Miocene, Madrid, Spain)

Soledad CUEZVA¹ y Javier ÉLEZ¹

RESUMEN

La histología de los huesos fósiles de los mamíferos del yacimiento paleontológico mioceno de Somosaguas se encuentra muy bien preservada. En este trabajo se describen microestructuras de tejido óseo laminar (osteonas, laminillas circunferenciales y láminas intersticiales) y no laminar hasta el nivel celular. Las microestructuras óseas pueden encontrarse afectadas por dos tipos de alteraciones, una de ellas generadas por organismos saprófitos durante la etapa bioestratinómica y la otra de origen y temporalidad desconocidos. Todo ello nos proporciona mucha información sobre la paleobiología y tafonomía de los fósiles de mamíferos de Somosaguas.

Palabras clave: Somosaguas, Mamífero, Mioceno, Paleohistología, Tejido óseo, Microalteraciones.

ABSTRACT

Paleohistology of fossil mammal bones belonging to Somosaguas site is very well preserved. In this work we describe bone microstructures such as laminar bone (osteones, lamellae) and non laminar bone, till the celular level. Two kinds of alterations may affect the bone, one of them generated by saprophyt organisms during biostratinomic stages, an the other of unknown origin. This give us

¹ Depto de Paleontología, Facultad CC. Geológicas, Univ. Complutense, 28040, Madrid (España).

a source of new information about paleobiology and taphonomy of fossil mammals.

Key words: Somosaguas, Mammal, Miocene, Paleohistology, Bone tissue, Microalterations.

INTRODUCCIÓN

En el campus universitario de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid) existe un yacimiento de vertebrados del Aragoniense. En él se conservan gran cantidad de restos óseos. Para nuestro estudio hemos utilizado fósiles principalmente de la zona Norte de este yacimiento extraídos durante la campaña de excavación llevada a cabo en junio de 1998. Algunos de estos fósiles muestran un excelente detalle del tejido óseo original, lo que permite realizar observaciones paleohistológicas de gran interés en estudios paleobiológicos.

Ejemplo de esto son trabajos en los que realizando comparaciones de las características y densidad de osteonas se determinan o establecen diferencias taxonómicas. Esto ha sido aplicado para el registro fósil del Pleistoceno de équidos de Norte América en esqueleto postcranial por DAVENPORT & RUDDELL (1995). También para diferenciar restos humanos de animales una de las técnicas utilizadas es el estudio en lámina delgada de características de histología ósea (HARSÁNYL, 1993).

El estudio paleohistológico es de interés fundamental para la tafonomía y esto ha sido ya indicado anteriormente por otros autores (GARLAND, 1993). El estudio de las microalteraciones que afectan al tejido óseo nos puede proporcionar mucha información referente a los procesos bioestratinómicos y fosildiagenéticos sufridos por el resto fósil (GRUPE & DRESES-WERRINGLOER, 1993).

El principal objetivo de este trabajo es la ilustración y descripción de los elementos microestructurales conservados en los huesos fósiles de mamíferos de Somosaguas, así como las alteraciones que afectan a estas microestructuras óseas.

MATERIAL Y MÉTODO

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MUESTRA

Los fósiles de macromamíferos que se encuentran en el yacimiento de Somosaguas presentan alteraciones tafonómicas que afectan a la microes-

tractura ósea (POLONIO & LÓPEZ-MARTÍNEZ, en este volumen). Pero en ellos se observan gran parte de los elementos microestructurales que componen la histología ósea.

Hemos estudiado nueve muestras del yacimiento de Somosaguas. Seis de ellas (SOM-E1, SOM-E2, SOM-E3, SOM-E4, SOM-E5, SOM-E6) eran fragmentos de hueso (esquirilas) de mamífero indeterminado, todas de tamaño similar de orden centimétrico. Del ejemplar SOM78, correspondiente a una epífisis proximal de fémur de *Gomphotherium angustidens* (MAZO, en este volumen), hicimos una sección centimétrica de la zona diafisaria compacta. Las otras dos muestras estudiadas corresponden a fragmentos mandibulares centimétricos de *Anchitherium* sp. asociados a dentición decidua y adulta, SOM30 y SOMS74 respectivamente. Es de destacar que, aunque todas ellas presentan alteración de diversa intensidad, la morfología externa se conserva incluso en aquellas más intensamente alteradas.

MÉTODO

Para llevar a cabo este estudio ha sido preciso la elaboración de láminas delgadas de los restos óseos fósiles seleccionados. De todas las muestras realizamos varias secciones transversales y longitudinales a las microestructuras.

Para la observación de la histología ósea en restos fósiles hemos procedido a la realización de láminas delgadas, englobando las muestras seleccionadas en resina poliéster y cortándolas con sierra de diamante refrigerada con agua. Una vez hecho el corte orientado y limpiada su superficie mediante un aparato de ultrasonidos, rellenamos la porosidad de la muestra aplicando pegamento rápido (tipo SUPERGLUE) en la superficie cortada. A continuación se rebaja unos dos milímetros con *carborundo* como abrasivo, utilizando cada vez tamaño de grano menor y cuidando de limpiar la muestra cada vez que cambiamos de grano. Finalmente se pule la superficie con alúmina, se limpia y se deja secar. Una vez seca, se pega esta superficie a un porta de cristal con pegamento de tipo *Micratec* y se deja fraguar durante 24 horas a unos 30 grados en una prensa. Ya seco, se vuelve a cortar la muestra con la sierra de diamante, paralelamente al porta y a algo menos de dos milímetros de distancia del porta. A partir de aquí se repite el proceso de rebajado con carborundo de diferentes granulometrías, hasta alcanzar aproximadamente las 30 micras de espesor. Por último pulimos y rebajamos con alúmina. Estas láminas delgadas suelen tener espesores menores de los estándar, pero rara vez llegan a ser láminas ultrafinas; son lo que se suele denominar láminas muy finas. El espesor más adecuado puede estar alrededor de las quince micras, pero esto puede variar según la opacidad de la muestra.

Utilizando el microscopio óptico de transmisión realizamos la identificación de las microestructuras óseas observadas mediante comparación con la bibliografía.

PALEOHISTOLOGÍA DE LOS MAMÍFEROS FÓSILES DE SOMOSAGUAS

En los huesos fósiles de Somosaguas observamos tanto elementos microestructurales que corresponderían a presencia de células óseas (osteoplastos y canalículos calcóforos) como restos de matriz ósea extracelular mineralizada.

De los cuatro tipos de células óseas que existen en los huesos en periodo de crecimiento activo, en las muestras estudiadas sólo encontramos microestructuras denominadas osteoplastos que son las cavidades donde se ubican los osteocitos.

Los osteoplastos son lagunas fusiformes que se encuentran incluidas en la matriz ósea calcificada. Presentan canalículos calcóforos, numerosas y finas prolongaciones de la cavidad por las que se extenderían las prolongaciones citoplasmáticas del osteocito. Atraviesan la matriz y conectan con las de otros osteoplastos (PANIAGUA, 1996).

En los fósiles estudiados son claramente visibles los osteoplastos y canalículos calcóforos en todas las muestras salvo en SOM-E3, que está afectada por intensa alteración. En la Figura 1, correspondiente a una sección longitudinal de la muestra SOM-E1, se observan claramente los osteoplastos y canalículos calcóforos de los osteocitos, todo ello delimitado por la matriz ósea.

ORGANIZACIÓN MICROSCÓPICA DEL TEJIDO ÓSEO

La organización microscópica del tejido óseo está estrechamente relacionada con su grado de desarrollo. En función de esto se diferencian dos tejidos óseos: el no laminar o primario y el laminar o secundario.

Tejido óseo no laminar

El tejido óseo no laminar o primario (FAWCETT, 1995; PANIAGUA, 1996) es el tejido óseo inicial. Está constituido por matriz ósea mineralizada sin organización aparente. Presenta las fibras colágenas sin orientación preferente, dispuestas en todas las direcciones. Esto provoca isotropía al observar la lámina

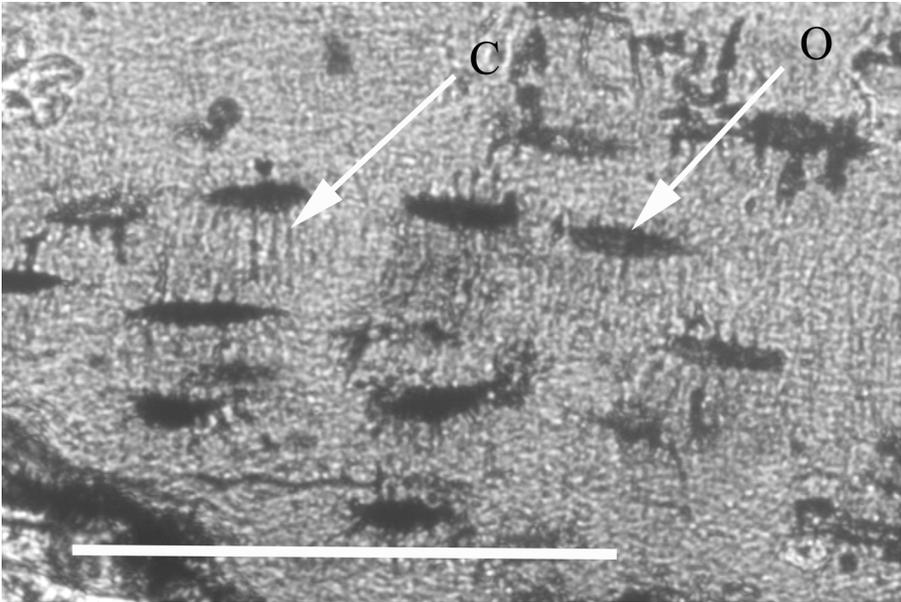


Figura 1.—Sección longitudinal de una esquirla de hueso compacto (SOM-E1) de mamífero fósil. Se observan los osteoplastos (O) y canaliculos calcóforos (C), todo ello delimitado por la matriz ósea. La escala representa 0,1 mm.

Figure 1.—Longitudinal section of a compact bone fragment (SOM-E1) of fossil mammal. Osteoplasts (O) and calciphore canals (C) delimited by bone matrix. Scale bar represents 0.1 mm.

delgada con luz polarizada. Está recorrido por conductos relativamente tortuosos, ocupados por vasos sanguíneos y por tejido conjuntivo. Los osteocitos están distribuidos uniformemente, pero orientados al azar (WEISS, 1988).

En las muestras de Somosaguas hemos encontrado este tipo de tejido en SOM30. Se observan tanto conductos vasculares como osteoplastos. Estos se distribuyen uniformemente pero sin orientación preferente (no son concéntricos a los conductos). La Fig. 2A corresponde a una sección transversal de esta muestra. Al observar con nícoles cruzados esta sección transversal vemos que efectivamente es isótropa (Fig. 2B).

Tejido óseo laminar

El tejido óseo laminar o secundario está formado por osteogénesis directa a partir del periostio, del endostio o bien por remodelación y consi-

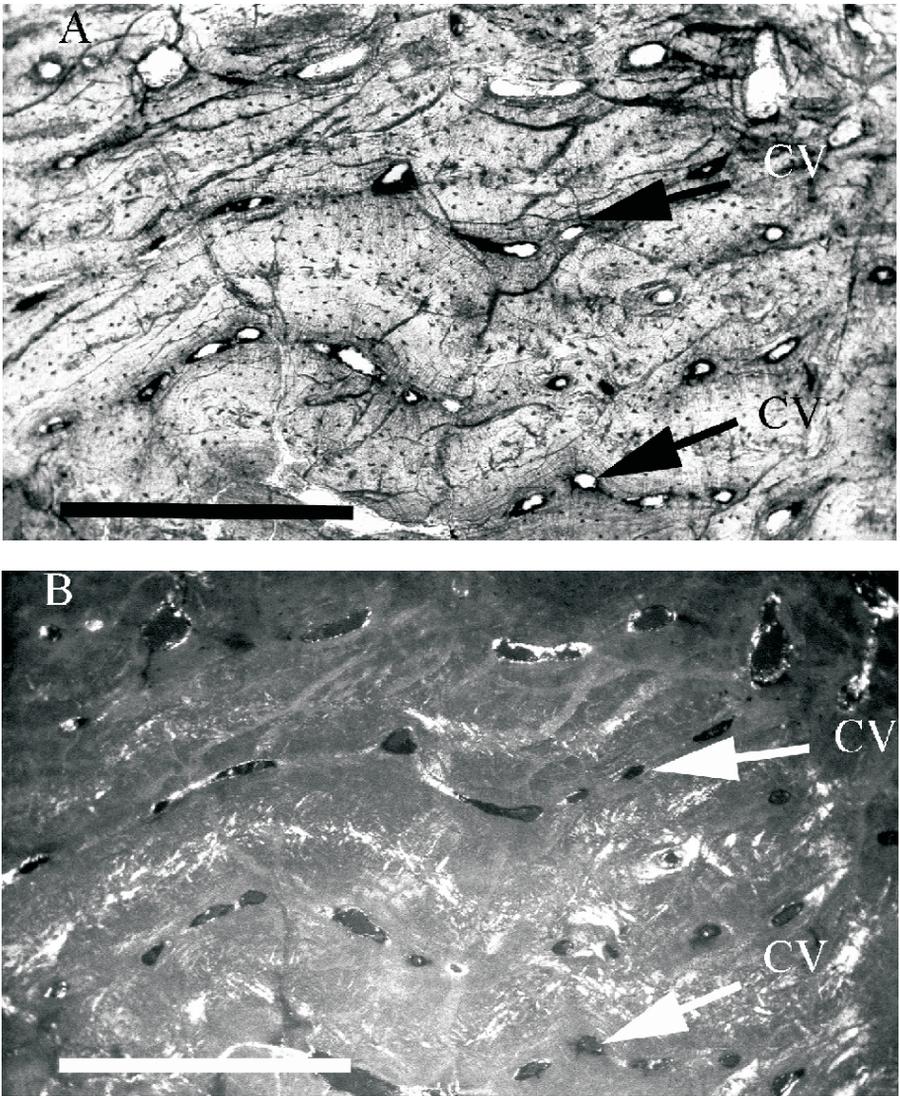


Figura 2.—Sección de un fragmento mandibular de *Anchiterium* sp. (SOM30), ejemplo de tejido óseo no laminar. A) Se observan conductos vasculares (CV) y los osteoplastos repartidos de forma no concéntrica a los conductos. B) Con luz polarizada la matriz ósea es cristalográficamente isótropa. La escala representa 1mm.

Figure 2.—Jaw fragment section of *Anchiterium* sp. (SOM30), example of non-laminar bone. A) Many vascular conducts (CV) and osteoplasts are dispersed but not concentric around vascular conducts. B) With polarised light bone matrix is crystallographically isotrope. Scale bar represents 1 mm.

guiente formación de osteonas. La matriz extracelular mineralizada se deposita en forma de capas o laminillas. Los osteoplastos están esparcidos regularmente entre las laminillas y están orientados (FAWCETT, 1995; PANIAGUA, 1996).

La fracción inorgánica del hueso está constituida por un tipo de fosfato cálcico de tamaño nanométrico muy parecido, pero no idéntico, al mineral hidroxiapatito. Se sitúa en huecos dentro de la sustancia de las fibras colágenas de la matriz, con una orientación cristalina específica, los ejes *c* de los cristales son, *grosso modo*, paralelos a los ejes largos de las fibras de colágeno dentro de la cual están depositados (KUHNS *et al.*, 1996). Dentro de cada laminilla las fibras colágenas están ordenadas paralelamente y, en capas sucesivas, cambia su dirección con respecto a las anteriores. De esta forma, varía la orientación cristalográfica del mineral contenido en ellas. Con luz polarizada se observa diferente birrefringencia en las sucesivas láminas (FAWCETT, 1995; KUHNS *et al.*, 1996).

En las muestras de Somosaguas estudiadas el tejido óseo laminar aparece en la mayor parte de los casos. Se observa en todas salvo en SOM30 y SOM-E3. En la Fig. 3B, correspondiente a la sección transversal de SOM-E1, puede verse la disposición laminar de la matriz ósea, así como la orientación paralela de los osteoplastos con respecto a las laminillas. En la Fig. 3A, correspondiente a la muestra SOM-E2 de Somosaguas se observa el tejido óseo laminar con luz polarizada y queda patente la alternancia en la intensidad de la birrefringencia en las laminillas consecutivas.

Las laminillas que constituyen el tejido óseo laminar se disponen de tres formas diferentes: formando los denominados sistemas de Havers, como sistemas de laminillas circunferenciales y como láminas intersticiales entre osteonas (FAWCETT, 1995; PANIAGUA, 1996).

Sistemas de Havers u osteonas

Cada sistema de Havers u osteona, consta de tejido óseo laminar en forma de laminillas dispuestas concéntricamente alrededor de un canal vascular del interior del hueso, formando unidades estructurales cilíndricas, longitudinales al hueso. Los osteoplastos también se orientan concéntricamente al conducto vascular (RICQLÈS *et al.*, 1993).

Las fibras de colágeno se disponen helicoidalmente con respecto al eje del sistema haversiano (FAWCETT, 1995; KUHNS *et al.*). De una laminilla a la siguiente cambia el ángulo de las fibras. Esto explica las diferencias en la birrefringencia que se observan con nícoles cruzados entre las laminillas concéntricas.

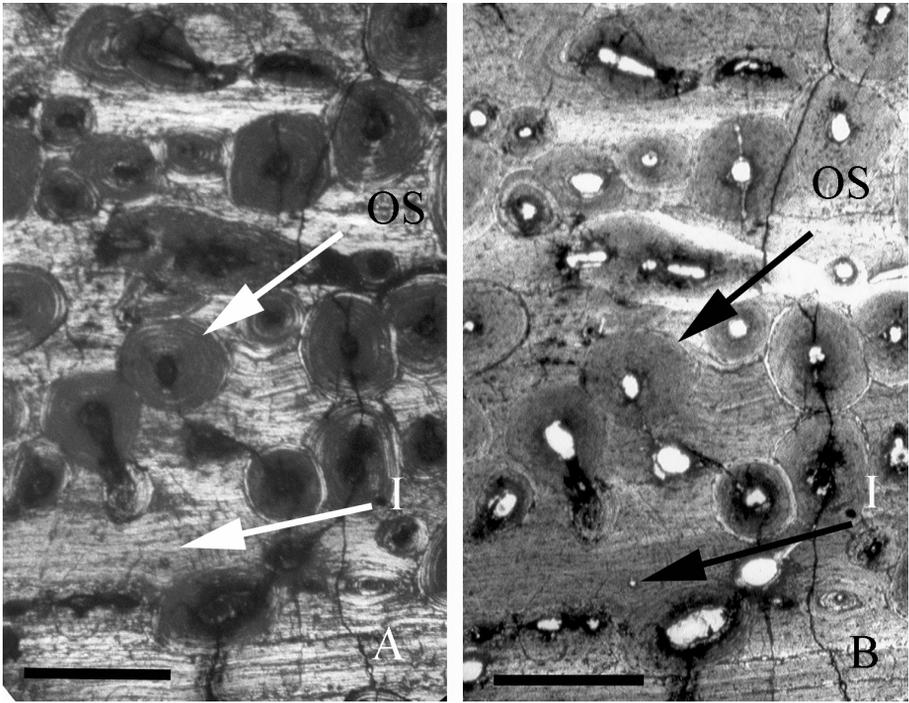


Figura 3.—Sección transversal de tejido óseo de tipo laminar, SOM-E2. A) Con luz polarizada las sucesivas láminas presentan variación en la birrefringencia. B) La matriz ósea está formada por laminillas constituyendo osteonas (OS) y láminas intersticiales (I) de origen perióstico. La escala representa 1 mm.

Figure 3.—Transversal section of laminar bone tissue, SOM-E2. A) With polarized light, laminae have a different birefringence. B) Bone matrix is formed by laminae, in the form of osteons (OS) and interstitial system (I). Scale bar represents 1 mm.

En Somosaguas hay presencia de osteonas en todas las muestras de tejido laminar estudiadas, aunque varía el tamaño y densidad de estas en cada muestra. En la Fig. 3B se observa la laminación concéntrica y distribución de los osteoplastos en torno al conducto de Havers. Con luz polarizada se observa la variación en la birrefringencia que presentan las laminillas concéntricas de las osteonas, como muestra la Fig. 3A.

La presencia de conductos vasculares es característica de tejido óseo (RICQLÈS *et al.*, 1993). Los conductos o canales vasculares contienen vasos sanguíneos y nervios para la nutrición de los osteocitos. Se distinguen dos categorías de canales vasculares, los conductos de Havers y los conductos de Volkmann (PANIAGUA, 1996).

Los conductos de Havers o canales haversianos son los conductos vasculares longitudinales. Cada conducto ocupa el centro de una osteona y permite la nutrición de los osteocitos de esa osteona. Los osteoplastos se disponen en un orden concéntrico regular en torno a estos conductos (FAWCETT, 1995; PANIAGUA, 1996).

Los conductos o canales de Volkmann son conductos transversales u oblicuos. Comunican conductos de Havers entre sí y con la superficie del hueso compacto o la cavidad medular. No están rodeados por laminillas dispuestas concéntricamente, sino que atraviesan el hueso en una dirección perpendicular u oblicua a las laminillas (FAWCETT, 1995; PANIAGUA, 1996).

En todas las muestras de Somosaguas son claramente visibles los conductos vasculares (Figs. 4A, 4B). En la muestra más alterada (SOM-E3) es el único elemento estructural que se observa. En la sección longitudinal de la muestra SOM-E1 se diferencian ambos tipos de conductos vasculares y la relación espacial que hay entre ellos tal y como acaba de ser expuesta. En sección transversal vemos los conductos de Havers siempre que se observa una osteona mientras que los conductos de Volkmann son más difíciles de encontrar y de identificar puesto que en algunos casos pueden con-

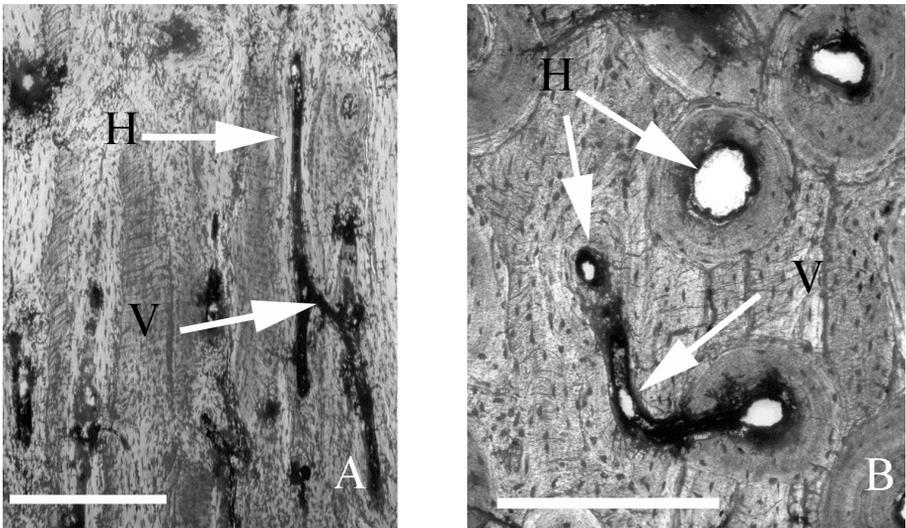


Figura 4.—Sección longitudinal de SOM-E1 (A) y transversal de SOM-E2 (B) en las que se diferencian los conductos vasculares: H, conductos de Havers; V, conductos de Volkmann. La escala representa 1 mm.

Figure 4.—Longitudinal section of SOM-E1 (A) and transversal section of SOM-E2 with vascular conducts: H, Havers conducts; V, Volkmann conducts. Scale bar represents 1 mm.

fundirse fácilmente con conductos de Havers que se bifurquen e incluso con perforaciones.

En general los canales haversianos son longitudinales y los canales de Volkmann oblicuos o transversales, aunque es una simplificación excesiva. Las osteonas son cilindros más o menos rectos pero presentan algunas ramificaciones intercomunicadas.

En la remodelación ósea, como resultado de la erosión osteoclástica, se generan en el interior del hueso compacto cavidades de reabsorción. Estas se agrandan formando largas oquedades cilíndricas, que están ocupadas por vasos sanguíneos y médula ósea embrionaria. Cuando alcanzan una longitud considerable, se detiene la destrucción del hueso. Entonces comienzan a formarse sucesivas laminillas concéntricas de fuera hacia dentro adaptándose a la morfología de la cavidad generada. Rellenan la cavidad de reabsorción hasta quedar solamente el conducto de Havers en una situación más o menos céntrica. Así dan lugar a la nueva osteona (osteona de primera generación). En fases subsiguientes de remodelación ósea, osteonas más recientes se intercalan entre las más antiguas (de segunda y sucesivas generaciones), y las fases de osteonas sucesivas acaban por cortar a las anteriores (PANIAGUA, 1996).

En los fósiles estudiados no hemos identificado claramente cavidades de reabsorción puesto que no hemos observado la laguna de Howship, concavidades generadas por la acción erosiva del osteoclasto. Estas no son fáciles de identificar si no tienen la célula, como es el caso, ya que su contorno es difuso (FAWCETT, 1995). Pero es obvio que han existido en estos huesos puesto que para que se forme una osteona es preciso que previamente se haya generado una cavidad por reabsorción.

En dos de las muestras, SOM-E5 y SOM78, el hueso está muy intensamente remodelado y todo el campo visual de la preparación microscópica está ocupado por osteonas que se erosionan unas a otras. Las láminas intersticiales están constituídas exclusivamente por restos de antiguas generaciones de osteonas parcialmente reabsorvidas. Las demás muestras formadas por tejido óseo de tipo laminar presentan menores intensidades de remodelación con osteonas de generaciones más antiguas cortadas por otras de generaciones más recientes pero entre ellas aún existen restos de láminas intersticiales de origen perióstico, anterior a la remodelación (Fig. 5).

Sistemas de laminillas circunferenciales

El sistema de laminillas circunferenciales está formado por tejido óseo laminar originado en la actividad osteogénica del periostio y endostio. Ocu-

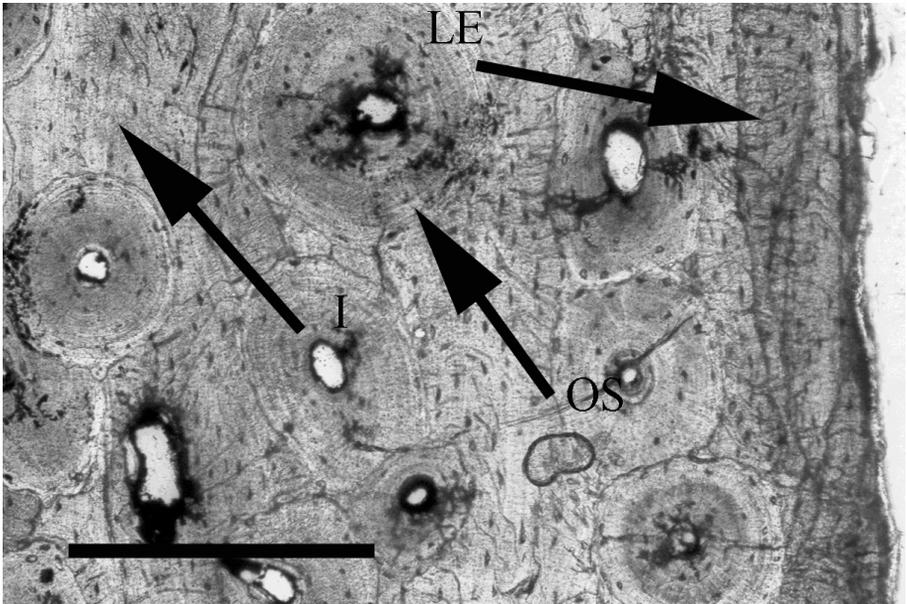


Figura 5.—Sección transversal SOM-E2. Se observan osteonas (OS) de varias generaciones así como el sistema de láminas circunferenciales externas (LE) y láminas intersticiales (I) subperiósticas. La escala representa 1 mm.

Figure 5.—Transversal section SOM-E2. Osteons (OS) of different generations, extern circumferential system laminae (LE) and interstitial system (I) of subperiostic lamina bone tissue. Scale bar represents 1 mm.

pan las zonas limitantes del hueso, extendiéndose de modo ininterrumpido en torno a la mayor parte de la superficie del hueso (FAWCETT, 1995).

El sistema de laminillas circunferenciales externas se desarrolla en la superficie externa de hueso compacto, inmediatamente por debajo del periostio a expensas de la capacidad osteogeneradora del borde osteoide (WEISS, 1988).

En los fósiles de Somosaguas solamente encontramos este tipo de estructura en la muestra SOM-E2. En la Fig. 5 se observan, en sección transversal, las laminillas concéntricas a la superficie exterior del hueso correspondiente a esa muestra.

Haces gruesos de fibras colágenas de la capa externa del periostio penetran en las laminillas circunferenciales externas. Se les denomina fibras de Sharpey y son un tipo de fibras extrínsecas (RICQLÈS *et al.*, 1993). Sirven para asegurar firmemente el periostio al hueso. Durante el crecimiento del hueso quedan atrapados en la matriz ósea que se deposita durante la formación sub-

perióstica de nuevas laminillas. Ocupan canales irregulares que penetran en el hueso compacto desde la superficie perióstica en una dirección perpendicular u oblicua a la laminilla. Cuando se calcifican, tienen el aspecto de estrías radiales irregulares de la porción más externa del hueso compacto (FAWCETT, 1995: fig. 8. 10).

En las muestras de Somosaguas se observan claramente con ese aspecto de estrías radiales irregulares (Fig. 6). Se han identificado en aquellas que presentan una remodelación poco intensa con láminas intersticiales de origen perióstico: SOM-E1, SOM-E, SOM-E4 Y SOM-E6. Las fibras de Sharpey permiten identificar en los huesos las zonas de inserción o antigua inserción del periostio, indicando así que esa porción ósea tiene origen subperióstico. Además su mayor desarrollo coincide con las áreas que soportan mayores tensiones. Es por tanto de gran interés en la reconstrucción de esfuerzos bio-mecánicos.

El sistema de laminillas circunferenciales internas se desarrolla en la superficie interna de hueso compacto, por debajo del endostio a expensas de su capacidad osteogeneradora. En este caso no existen las fibras de Sharpey

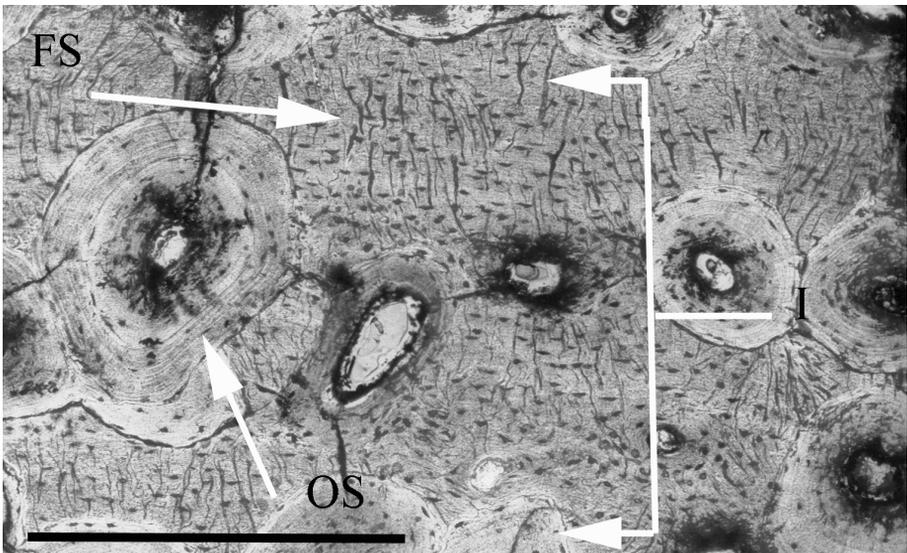


Figura 6.—Esquirla indeterminada de Somosaguas, SOM-E2. Se observan fibras de Sharpey (FS), incluidas dentro de las láminas intersticiales (I) subperiósticas, entre osteonas (OS). La escala representa 1 mm.

Figure 6.—Indetermined bone fragment from Somosaguas, SOM-E2. Sharpey's fibers (FS) included in the subperiostic interstitial system (I). Scale bar represents 1 mm.

puesto, que como el endostio es una capa muy fina y sin vasos, no necesita ningún sistema de fijación adicional.

Solamente tenemos este tipo de estructura en las muestras SOM-E2 y SOMO-E5, dato que no es muy significativo puesto que son las únicas muestras con tejido esponjoso estudiadas (Fig. 7).

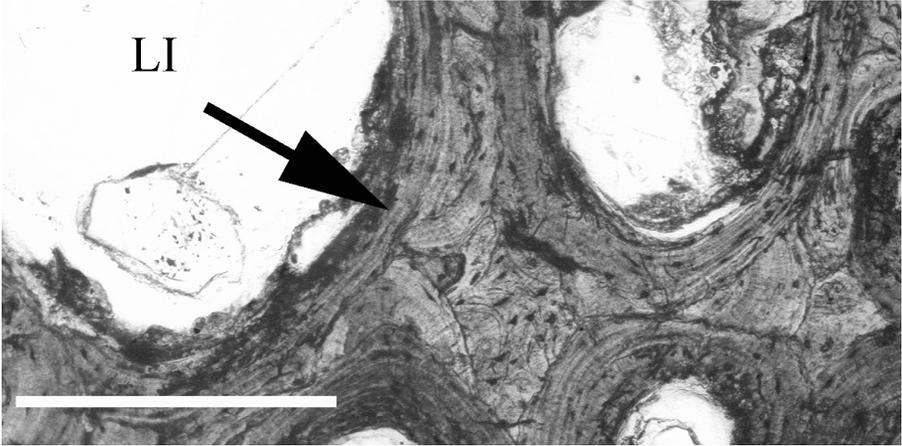


Figura 7.—Esquirola indeterminada de Somosaguas, SOM-E2. Sistema de laminillas circunferenciales internas (LI) en sección transversal. La escala representa 1 mm.

Figure 7.—Indeterminated bone fragment from Somosaguas SOM-E2. Inner circumferential system laminae (LI) transversal section. Scale bar represents 1 mm.

Láminas intersticiales

Se denominan láminas intersticiales al tejido óseo laminar que aparece entre las osteonas (PANIAGUA, 1996). Se forman cavidades de reabsorción en estas láminas que posteriormente serán ocupadas por la nueva osteona. En algunos casos estas láminas intersticiales están constituidas por tejido óseo laminar generado directamente por el periostio, pudiendo presentar, fibras de Sharpey calcificadas (HARSÁNYL, 1993: fig. 3 a y b).

En otros casos, en los que el tejido óseo ha sufrido mayor remodelación, las láminas intersticiales están constituidas por fragmentos de osteonas de generaciones anteriores, que han sido parcialmente reabsorbidas en la remodelación (HARSÁNYL, 1993: fig. 1 a y b). La reabsorción afecta irregularmente a antiguas y sucesivas generaciones de osteonas. En este caso las láminas intersticiales son fragmentos angulosos de hueso laminar que tienen forma y tamaño irregular (FAWCETT, 1995: fig. 8.32).

En las muestras SOM-E5 y SOM78 aparece el sistema intersticial exclusivamente de este tipo. En la Fig. 8 se observan fragmentos de sucesivas generaciones de osteonas con alto grado de remodelación que ya han sido completamente reabsorbidas las láminas intersticiales subperiósticas. En la mayoría de los casos, el sistema intersticial es mixto, apareciendo láminas intersticiales subperiósticas y fragmentos de osteonas entre las osteonas de nueva generación.

Los límites entre los sistemas haversianos y los intersticiales están marcados por las líneas cementantes o de cemento de tipo *reversal (resorption) lines* (RICQLÈS *et al.*, 1993). Son el límite entre el hueso preexistente y la nueva unidad estructural ósea depositada. No están atravesadas por canalículos calcóforos. Son líneas irregulares. Aparecen como refringentes según PANIAGUA (1996).

En Somosaguas, en algunos casos, se observan líneas oscuras que contornean la osteona y que podrían corresponder a estas líneas cementantes (Fig. 5).

En resumen, los elementos microestructurales del tejido óseo mayoritariamente conservados en los huesos fósiles de mamíferos de Somosaguas son

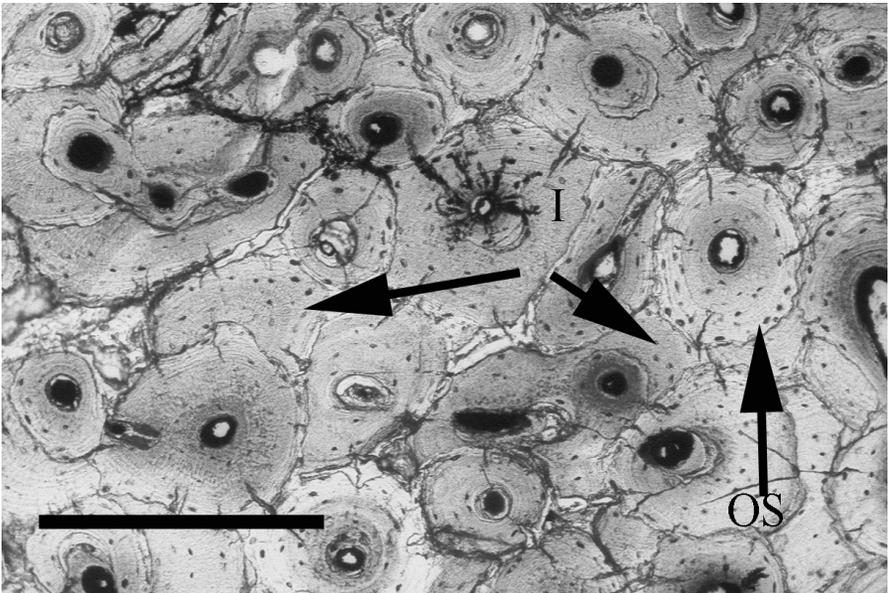


Figura 8.—Sección transversal de SOM78. Láminas intersticiales (I) constituídas exclusivamente por restos de antiguas generaciones de osteonas (OS) parcialmente reabsorbidas. La escala representa 1 mm.

Figure 8.—Transversal section of SOM78. Interstitial system (I) made only of previous osteons (OS) partially remodelated. Scale bar represents 1 mm.

aquellos formados por matriz ósea mineralizada, tanto la no laminar como la laminar en todas sus formas: laminillas circunferenciales externas e internas, láminas intersticiales y osteonas.

En cuanto a los elementos cuyos constituyentes son exclusivamente orgánicos, sólo se conservan los huecos donde se ubicarían dentro de la matriz ósea mineralizada. Así observamos los osteoplastos, lagunas en las cuales se sitúan los osteocitos que no se conservan, y canalículos calcóforos, por donde saldrían las prolongaciones citoplasmáticas de estas células. Los vasos sanguíneos, nervios y médula ósea no se conservan pero sí los conductos vasculares y cavidades del tejido esponjoso donde se ubicarían respectivamente.

En esta fase no hemos aplicado el estudio histológico para diferenciación taxonómica ni interpretaciones paleobiológicas como fisiología, sexo, etc., que se cuentan como líneas de estudio futuras. Los estadios de desarrollo se tratan en otro trabajo (CUEZVA & ÉLEZ, en este volumen).

MICROALTERACIONES OBSERVADAS EN LOS RESTOS FÓSILES DE SOMOSAGUAS

De las muestras de Somosaguas estudiadas la sección realizada del ejemplar SOM30 es la única que no presenta sus microestructuras paleohistológicas afectadas por microalteraciones.

En las muestras restantes distinguimos dos patrones principales de microalteraciones: microfilamentoso y difuso.

PATRÓN DE ALTERACIÓN MICROFILAMENTOSO

Tanto en sección longitudinal como transversal se aprecia, con gran aumento, la existencia de microfilamentos, que forman aglomeraciones de aspecto homogéneo (Figs. 9, 10). La distribución espacial de estas aglomeraciones de microfilamentos sigue una pauta definida a lo largo del hueso. A partir de los canales Haversianos estos microfilamentos se extienden por toda la osteona hasta borrar sus estructuras típicas extendiéndose posteriormente a los sistemas intersticiales (Fig. 11).

Este tipo de alteración aparece en todas las muestras estudiadas excepto las de SOM30 y SOM78. En todas ellas varía la intensidad de la alteración. SOM-E1 presenta la zona central de la esquirra muy intensamente alterada afectando tanto a las osteonas como a las láminas intersticiales, mientras que en la periferia sólo afecta al 25% de las osteonas. La muestra SOM-E3 pre-

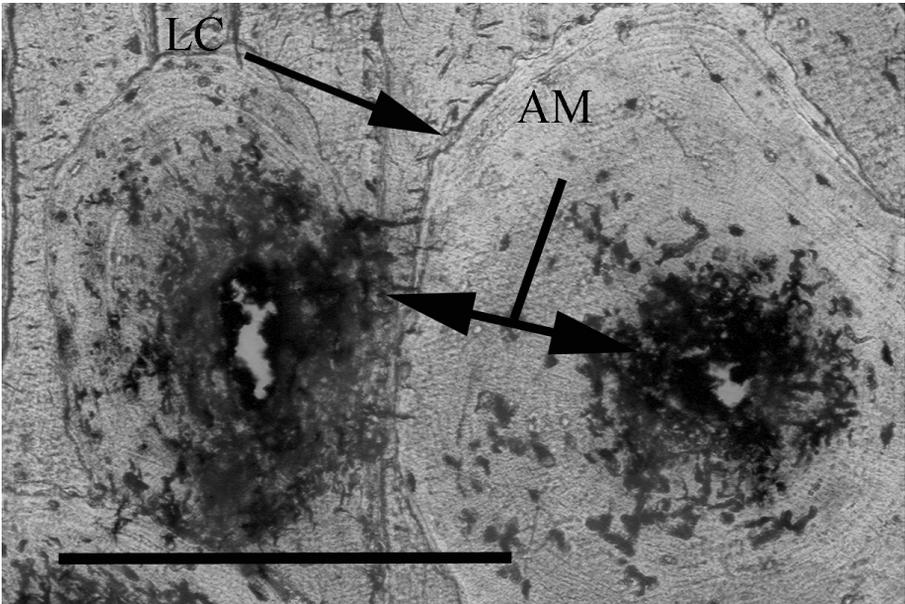


Figura 9.—Esquirla indeterminada de Somosaguas SOM-E2. Sección transversal de dos osteonas con alteración microfilamentosa (AM) junto al conducto vascular. Se observa la línea cementante (LC) que contornea la osteona. La escala representa 0,5 mm.

Figure 9.—Indeterminated bone fragment from Somosaguas SOM-E2. Transversal section of two osteons which have incipient alteration (AM) near vascular canals. The cementing line (CL) is around the osteon. Scale bar represents 0.5 mm.

senta el mayor grado de alteración observado, siendo los conductos vasculares los únicos elementos microestructurales que se observan. En SOM-E4 la alteración afecta a todas las osteonas, en concreto a la zona de la osteona más próxima al conducto vascular. SOM-E5 presenta el grado mínimo de alteración encontrado en estas muestras afectando a un porcentaje muy pequeño de osteonas y de forma muy leve. SOM-E6 está intensamente afectada por este tipo de alteración, la cual se distribuye de las zonas concéntricas a los conductos. SOM74 presenta alteración bastante intensa afectando a las osteonas y también a las láminas intersticiales. En SOM-E2 la alteración solamente afecta a las osteonas (Figs. 9, 10) y es más intensa en la zona más próxima al hueso esponjoso, donde afecta al 80% de las osteonas, mientras que en la zona más externa del hueso sólo un 40% presentan alteración y es mucho más leve. Esto hace pensar que las zonas más próximas a la esponjosa son colonizadas por estos microfilamentos en primer lugar y a partir de aquí se forma un frente que avanza desde el interior hacia el exterior del hueso, llegando a borrar

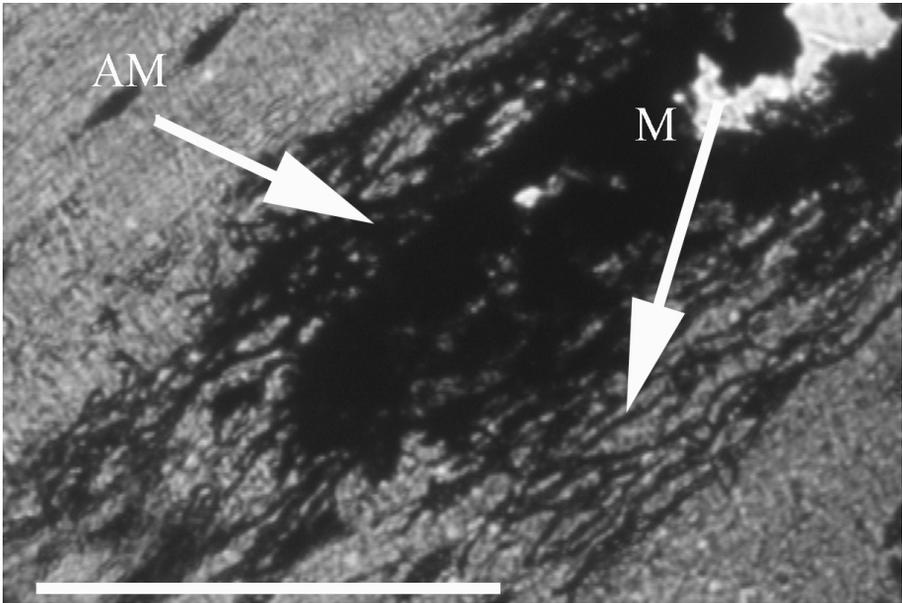


Figura 10.—Esquirla indeterminada de Somosaguas, SOM-E2. Detalle de la alteración microfilamentosa (AM) en sección longitudinal de una osteona en la que, junto al canal de Havers se observa alteración por microfilamentos. Esta alteración es bioestratinómica. Los microfilamentos (M) son tan densos que esta alteración aparece como una masa uniforme. La escala representa 0,25 mm.

Figure 10.—Indetermined bone fragment from Somosaguas, SOM-E2. Detail of a microfilament alteration (AM) Longitudinal section. section of an osteon, in which beside Haversian canal it is observed a microfilament alteration. This is a bioestratinomic alteration. Microfilaments (M) are so dense that alteration looks like uniform. Scale bar represents 0.25 mm.

todas las estructuras histológicas salvo los conductos vasculares (Fig. 11). Parece indicar que esta alteración es generada por un organismo de tipo saprófito, consumidor de materia orgánica, posiblemente debida a hongos o a bacterias, producida durante etapas bioestratinómicas.

PATRÓN DE ALTERACIÓN DIFUSO

Este tipo de alteración solamente aparece en una de las muestras estudiadas, la correspondiente al ejemplar SOM78 y afecta a un pequeño porcentaje de osteonas.

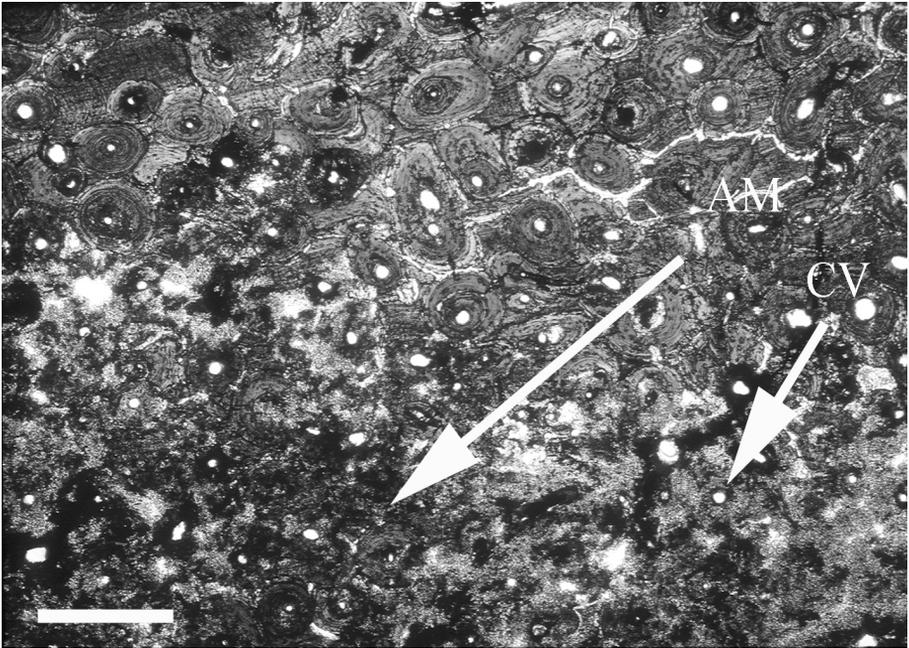


Figura 11.—Sección transversal SOM-E1. El resultado final de la alteración microfilarmentosa (AM) es el borrado de casi todas las estructuras histológicas, salvo los conductos vasculares (CV). La escala representa 1 mm.

Figure 11.—Transversal section SOM-E1. The final result of the microfilament alteration (AM) is the disappearance of all the histological structures, except vascular canals (CV). Scale bar represents 1 mm.

En sección transversal (Fig. 12), se observa un material de color rojizo que se extiende a lo largo de un conducto Haversiano y que, a intervalos regulares, se introduce en la osteona de manera perpendicular al conducto de Havers. En sección longitudinal (Fig. 13), estas manchas rojizas se observan como estructuras radiales que penetran en la osteona. Este tipo de alteración no nos permite definir su origen, biológico o diagenético, ni su temporalidad, ni si es resultado de procesos bioestratinómicos o fosildiagenéticos.

En resumen, las alteraciones que afectan a la microestructura ósea siguen fundamentalmente dos patrones. Las alteraciones de patrón microfilarmentoso son más abundantes. Aparecen en la mayoría de los restos estudiados aunque su grado de desarrollo es variable. En la mayoría de los casos la alteración es poco intensa y afecta a la zona de matriz ósea adyacente a los conductos vasculares. En otros casos la alteración se extiende y afecta también a las laminas intersticiales llegando, en uno de los casos estudiados, a borrar comple-

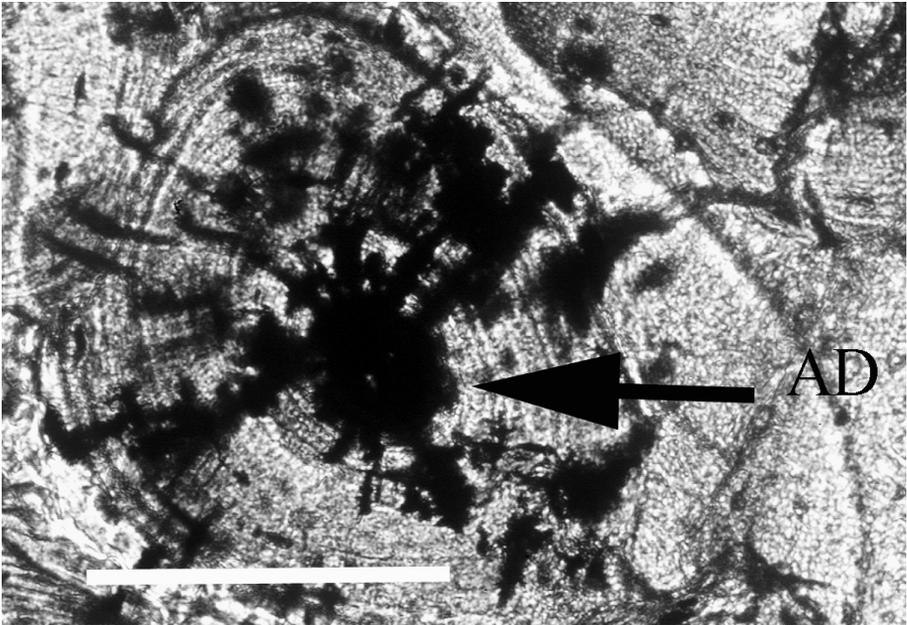


Figura 12.—Sección transversal de SOM78. Osteona afectada por alteración difusa (AD). La escala representa 0,5 mm.

Figure 12.—Longitudinal section of an osteon with diffuse alteration. Section of indetermined bone fragment from Somosaguas North. SOM78. Scale bar represents 0.5 mm.

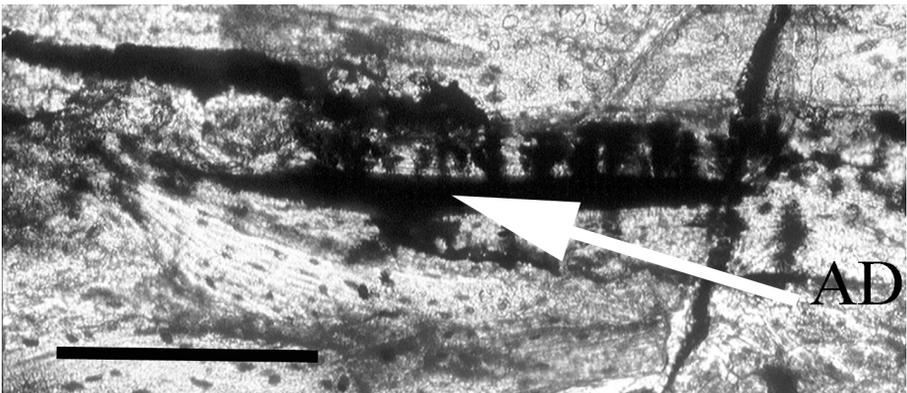


Figura 13.—Sección longitudinal de SOM78. Se observa la distribución radial de la alteración difusa en una osteona. La escala representa 0,5 mm.

Figure 13.—Transversal section SOM78. The diffuse alteration is radially extended. Only affecting an osteon (x280). Scale bar represents 0.5 mm.

tamente la microestructura ósea. Esta alteración es producida por organismos saprófitos, probablemente hongos, durante la fase bioestratinómica.

Las alteraciones de patrón difuso son mucho menos abundantes y no afectan uniformemente al resto óseo. Aparecen también asociadas a los conductos vasculares y tienen una distribución radial con respecto a las láminas concéntricas que constituyen la osteona. No hemos estudiado ningún caso en que afecten a las láminas intersticiales. En esta fase de estudio no hemos podido precisar el origen de esta microalteración ni el momento en que debió producirse.

CONCLUSIONES

En general, las estructuras paleohistológicas observadas en el material de Somosaguas no difieren de las descritas en la bibliografía para mamíferos, actuales tanto como fósiles. Se conservan fundamentalmente los elementos microestructurales del tejido óseo constituidos por matriz ósea mineralizada, tanto no laminar como laminar en todas sus formas. En cuanto a los elementos cuyos constituyentes son exclusivamente orgánicos y a nivel celular sólo se conservan los huecos donde se ubicarían dentro de la matriz ósea mineralizada.

Las alteraciones observadas en algunos huesos presentan dos patrones uno microfilamentoso y otro difuso. El patrón microfilamentoso está producido por organismos saprófitos, posiblemente hongos. Esta alteración es fósil, producida durante la fase bioestratinómica y está muy presente en todas las muestras realizadas, con mayor o menor extensión. El origen y momento de producción de la alteración difusa nos es desconocido.

El estudio de la paleohistología microestructural de estos restos óseos fósiles es de gran interés para la paleobiología y tafonomía de los mamíferos aragonienses que se encuentran en Somosaguas así como para el estudio futuro de relaciones filéticas y evolutivas de los mamíferos en base a estos caracteres histológicos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Departamento de Paleontología de la UCM por el acceso a sus infraestructuras y por el trato personal que nos dispensan. A los Dres. R. SÓLER, P. J. PÉREZ (Universidad Complutense, Madrid) y Y. FERNÁNDEZ JALVO (Museo Nacional de Ciencias Naturales) por sus sugerencias y comentarios que mejoraron el resultado. A nuestros compañeros del proyecto Somo-

saguas Aitor, Josemi, David e Israel. A la Dra. N. LÓPEZ-MARTÍNEZ y a O. KÄLIN (Universidad Complutense, Madrid) por su ayuda, tiempo e interés.

Recibido el día 15 de octubre de 1999

Aceptado el día 14 de marzo de 2000

BIBLIOGRAFÍA

- CUEZVA, S. & ÉLEZ, J. (este volumen). Reconocimiento del estadio de desarrollo en la microestructura de los huesos fósiles de mamíferos (Somosaguas y Layna). *Coloquios de Paleontología*.
- DAVENPORT, C. & RUDELL, M. 1995. Identification of *Equus* species based on bone histology. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **15** (3), Suppl: 25A.
- FAWCETT, D. W. 1995. *Tratado de histología*. 1044 págs. Interamericana McGraw-Hill. Madrid.
- GARLAND, A. N. 1993. And introduction to the histology of exhumed mineralized tissue. In: *Histology of ancient human bone: methods and diagnosis*. G. GRUPE & A. N. GARLAND, Eds. págs 1-16. Springer-Verlag. Berlin.
- GRUPE, G. & DRESES-WERRINGLOER, U. 1993. Descomposition phenomena in thin sections of excavated human bones. In: *Histology of ancient human bone: methods and diagnosis*. G. GRUPE & A. N. GARLAND (Eds.), págs 27-36. Springer-Verlag. Berlin.
- HARSÁNY, L. 1993. Differential diagnosis of human and animal bone. In: *Histology of ancient human bone: methods and diagnosis*. G. GRUPE & A. N. GARLAND (Eds.), págs 79-94. Springer-Verlag. Berlin.
- KUHN, L. T., FINK, D. J. & HEUER, A. H. 1996. Biomimetic strategies and materials processing. In: *Biomimetic Materials Chemistry*. MANN, S. (Eds.), págs. 41-52. Wiley, J. & Sons. New York.
- MAZO, A.V. (este volumen). Presencia de Gomphoterium angustidens (Cuvier) (Proboscidea, Mammalia) en el yacimiento de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios de Paleontología*.
- PANIAGUA, R. 1996. *Citología e histología vegetal y animal. Biología de las células y tejidos animales y vegetales*. 807 págs. Interamericana McGraw-Hill. Madrid.
- POLONIO, I. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, N. (este volumen). Análisis tafonómico de los yacimientos de Somosaguas (Mioceno medio, Madrid). *Coloquios de Paleontología*.
- RICQLÈS, A., MEUNIER, F. J., CASTANET, J. & FRANCILLON-VIEILLOT, H. 1993. Comparative microstructure of bone. In: *Bone. Vol. 3: Bone matrix and bone specific products*. HALL, B. K. (Eds.), págs. 1-78. C. R. C. Press. Boston.
- WEISS, L. 1988. *Cell and tissue biology. A textbook of histology*. 1558 págs. Urban & Schwarzenberg. Munich.

