Estudios Geológicos, 62 (1)
enero-diciembre 2006, 263-294
ISSN: 0367-0449

Los yacimientos de vertebrados del Mioceno medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid): implicaciones paleoambientales y paleoclimáticas

M. Hernández Fernández[1, 2], J. A. Cárdaba[1], J. Cuevas-González[3], O. Fesharaki[4], M. J. Salesa[5], B. Corrales[1], L. Domingo[1], J. Elez[1], P. López Guerrero[1], N. Sala-Burgos[1, 6], J. Morales[5], N. López Martínez[1]

RESUMEN

Los yacimientos de vertebrados del Mioceno medio del Campus de Somosaguas de la Universidad Complutense de Madrid (Pozuelo de Alarcón) han proporcionado numerosos restos pertenecientes a 23 especies de mamíferos datados en la zona local E (MN5, Aragoniense Medio). En este trabajo se presentan nuevas aportaciones a su estudio, que han permitido descubrir una especie de rinoceronte no citada anteriormente en la cuenca de Madrid *(Prosantorhinus douvillei)* y la definición de una especie nueva de hámster (*Cricetodon soriae* nov. sp.). La sucesión muestra varios episodios de coladas de tipo *debris-flow* con transporte de huesos, rocas y arcosas discordantes por debajo y por encima de un relleno lacustre. Los depósitos contienen una secuencia de alteración de micas con arcillas de neoformación progresivamente más evolucionadas y vetas de caliche hacia techo, indicando aridez creciente. La riqueza del conjunto de macro y microvertebrados de los yacimientos de Somosaguas permite relacionarlo con el de otros yacimientos de edad similar, resultando en un patrón biogeográfico de transición paleártico-paleotropical. Esto coincide con los datos paleoclimáticos aportados por la fauna de mamíferos, que indican la existencia de condiciones tropicales con estacionalidad hídrica muy marcada. Se infiere la existencia en el área de un mosaico de ambientes dentro de un bioma de sabana, combinando áreas abiertas y bosquetes asociados al medio lacustre. El análisis isotópico indica un progresivo enfriamiento y aridez, que se correlaciona con los cambios climáticos inferidos a escala global en este período, hace unos 14 millones de años.

Palabras clave: Aragoniense, *Cricetodon soriae* nov. sp., España, Geoquímica isotópica, Mammalia, Mineralogía, Paleobiogeografía, Paleoclimatología, Paleoecología, Estratigrafía, Paleontología Sistemática, Vertebrata.

ABSTRACT

The Middle Miocene vertebrate fossil sites from the Somosaguas Campus of the Complutensian University of Madrid (Pozuelo de Alarcón) have provided many fossils from 23 mammal species, dated in local zone E (MN5, Middle Aragonian). In this work we show new research results which allow recognizing a new species of rhinoceros for the Madrid Basin (*Prosantorhinus douvillei*) and defining a new species of hamster (*Cricetodon soriae* nov. sp.). The succession shows several episodes of *debris-flow* deposits transporting bones, pebbles and arkosic sands, discordant below and above lacustrine sediments. The deposits content an alteration sequence of micas, with neomorphic clays progressively more

[1] Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria. 28040 Madrid. E-mail: J. A. C., jacardaba@gmail.com; B. C., barbaracorrales@yahoo.es; L. D., lauradomingo@geo.ucm.es; J. E., javier.elez@geo.ucm.es; P. L. G., paloma_lopez81@ya.com; N. L. M., lopezmar@geo.ucm.es.
[2] Unidad de Investigación de Paleontología, Instituto de Geología Económica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid. La correspondencia se debe enviar a: Manuel Hernández Fernández. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid. E-mail: hdezfdez@geo.ucm.es.
[3] Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, Campus de San Vicente del Raspeig, s/n. 03690 Alicante. E-mail: jaime.cuevas@ua.es.
[4] Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria. 28040 Madrid. E-mail: omidfesharaki@hotmail.com.
[5] Departamento de Paleobiología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid. E-mail: J. M., mcnm166@mncn.csic.es; M. J. S., mcns188@mncn.csic.es.
[6] Centro UCM-ISCIII de Investigación sobre Evolución y Comportamiento Humanos, Instituto de Salud Carlos III. Sinesio Delgado, 4 (Pabellón 14). 28029 Madrid. E-mail: nsala@isciii.es.

evolved and caliche lining on top, wich indicate increasing aridity. The richness of the Somosaguas fossil association allows us to relate this site with other assemblages of similar age, which gives a biogeographical pattern close to the palaearctic-palaeotropical transition associations. This is coincident with the palaeoclimatic data provided by the mammalian association, which indicates the presence of tropical conditions with strong hydric seasonality. A mosaic of environments integrated within a savanna biome is inferred in the area, combining open areas and small woodlands associated to a lacustrine environment. The isotopic analyses indicate a progressive cooling and drying trend, which correlates with the inferred global climatic changes in this period around 14 million years ago.

Key words: Aragonian, *Cricetodon soriae* nov. sp., Spain, isotopic Geochemistry, Mammalia, Mineralogy, Palaeobiogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Stratigraphy, Systematic Palaeontology, Vertebrata

Introducción

Los yacimientos de fósiles de vertebrados del Campus de Somosaguas, de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), fueron descubiertos por Francisco Hernández Arteaga, alumno de la Facultad de Ciencias Geológicas (López Martínez *et al.,* 2000b). En 1998 se inició la excavación de estos yacimientos enmarcada dentro de un proyecto financiado por la UCM, cuyo principal objetivo estaba encaminado hacia la docencia. En los nueve años que se llevan realizando campañas de excavación, el proyecto docente ha crecido enormemente, desde una primera campaña en la que apenas excavaron una decena de estudiantes de la asignatura de Paleontología de Vertebrados hasta la última en mayo de 2006, en la cual han excavado casi un centenar de estudiantes de ocho licenciaturas y diplomaturas diferentes. Además, el marco de actuación del mismo ha llevado a la realización de varios trabajos de investigación de doctorado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados y, sobre todo, se ha producido un significativo aumento en importancia de la divulgación científica hacia el gran público (Castilla *et al.,* en prep.).

En este trabajo presentamos un resumen de los estudios publicados previamente sobre estos yacimientos así como los nuevos resultados obtenidos en las investigaciones realizadas durante los últimos años. Hemos puesto un especial énfasis en las nuevas especies de mamíferos encontradas en Somosaguas y en las interpretaciones paleoambientales que se han extraído del estudio del contexto geológico, de la asociación de vertebrados y del análisis de isótopos estables sobre fósiles y carbonatos edáficos.

Geología (O.F.; J.C.-G.)

El yacimiento de Somosaguas forma parte del relleno de la cuenca terciaria del Tajo, una de las cuencas intracratónicas cenozoicas de la Península Ibérica formadas durante la convergencia entre las placas africana y europea (Vegas y Banda, 1982; De Vicente *et al.,* 1996), la formación del Océano Atlántico y la estructuración de la cuenca mediterránea occidental por la Orogenia Alpina. La cuenca del Tajo se encuentra actualmente bordeada por tres cordilleras, con una morfología aproximadamente triangular, cuyas litologías y orígenes son diferentes: el Sistema Central al norte y oeste y los Montes de Toledo al sur, formados por materiales plutónicos y metamórficos, y la Cordillera Ibérica al este, de composición carbonática (fig. 1). Durante el Paleógeno se subdividió en dos cuencas más pequeñas por el levantamiento norte-sur de la Sierra de Altomira (Alonso-Zarza *et al.,* 2004), dejando hacia el oeste la cuenca de Madrid y la cuenca de Loranca, más pequeña, al este. El relleno de la cuenca de Madrid está formado principalmente por sedimentos terciarios, predominantemente neógenos en superficie (Alonso-Zarza *et al.,* 2004). Desde un punto de vista sedimentológico, la característica más notable de los depósitos neógenos de Madrid es su gran variedad de facies y la complejidad de cambios laterales, debido a la activa sedimentación detrítica de materiales procedentes de la erosión de los sistemas montañosos circundantes.

Los yacimientos de Somosaguas se sitúan en el campus que la Universidad Complutense de Madrid tiene junto a la localidad de Somosaguas, perteneciente al término municipal de Pozuelo de Alarcón al oeste de Madrid (fig. 1). Se trata de dos yacimientos superpuestos estratigráficamente, Somosaguas Norte y Somosaguas Sur, situados sobre materiales que corresponden a la Unidad Intermedia dentro del conjunto de unidades miocenas de la cuenca de Madrid (Megías *et al.,* 1982). Los depósitos estudiados en el área de Somosaguas están datados en el Mioceno Medio (Aragoniense medio, 14 M.a.; Luis y Hernando, 2000).

La composición arcósica de estos sedimentos es coherente con la del Sistema Central. Los análisis químicos de micas del yacimiento y de los granitoides de la Sierra de Guadarrama son coincidentes (Fesharaki, 2005). Los minerales más abundantes son los filosilicatos, seguidos por los feldespatos, lo que origina niveles de arcosas arcillosas típicas de alteración y transporte de sedimentos producidos a partir de granitos en climas semiáridos, con precipitaciones ocasionales de tipo torrencial (Pettijhon *et al.,* 1975).

Estratigrafía

En la serie que contiene ambos yacimientos (fig. 2) se han distinguido tres tramos sedimentarios (T1, T2 y T3), que corresponden a depósitos terrígenos propios de facies medio-distales de abanicos aluviales procedentes del Sistema Central («Facies Madrid» y «Facies Guadalajara» en Mínguez Gandú, 2000). Los tramos T1 y T3 son fosilíferos, mientras que el tramo T2 es estéril. Los repetidos intentos de búsqueda de restos palinológicos no han tenido éxito en ninguno de los niveles muestreados.

Tramo 1 (T1)

Su potencia observable varía entre 50 cm y algo más de 1 m, sin poder medir su potencia total debido a las condiciones del afloramiento. Está formado por arcosas arcillosas matriz-soportadas escasamente cementadas, con tamaño de grano variable entre fino y grueso (Fesharaki, 2005). Tienen tonos pardos, están mal clasificadas, son masivas, sin estructuras sedimentarias, y hacia techo podrían caracterizarse como arcillas arenosas (Mínguez Gandú, 2000). En el yacimiento de Somosaguas Norte se observa el contacto directo de este tramo con el tramo T3, quedando reducido el tramo intermedio T2 a cantos blandos de tamaño centimétrico compuestos por arenas micáceas características (Cuevas-González, 2004).

Tramo 2 (T2)

Conjunto de 2 m de potencia máxima observable que reduce su espesor hacia el Norte hasta desaparecer por acuñamiento. El contacto con el tramo anterior es normal con superficie ligeramente ondulante (Mínguez Gandú, 2000). Dentro de este tramo se reconocen secuencias de arenas micáceas y arcillas marrones que se repiten a lo largo de todo el tramo con ligeras variaciones y carácter estratodecreciente. El tamaño de grano de las arenas es variable, de muy fino a medio, con disminución gradual de la proporción de micas hacia techo del tramo mientras que la fracción feldespática aumenta ligeramente hacia techo, siendo muy homogénea la distribución del cuarzo (Fesharaki, 2005). El grado de selección es muy alto. Las arenas micáceas se disponen en cuerpos de espesor decimétrico de bases planas y geometría irregular, con intercalaciones de niveles de arenas gruesas en la última secuencia (Mínguez Gandú, 2000). Presentan estructuras de tipo *climbing ripples* en la mitad inferior, que pasa a laminación horizontal (*parting lineation*) hacia techo (Cuevas-González, 2004). Las arcillas marrones presentan aspecto masivo y espesor centimétrico, disponiéndose dentro de cada secuencia en con-

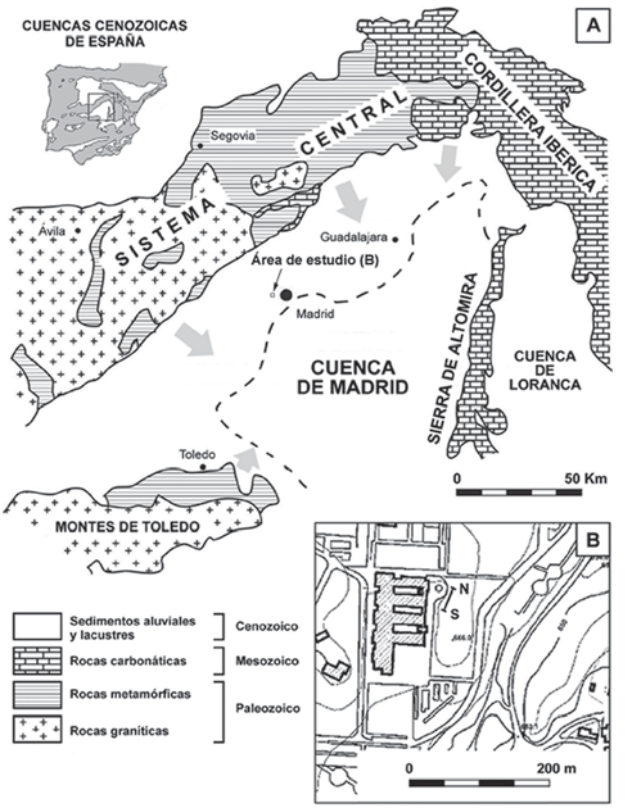

Fig. 1.—Mapa de localización del área de estudio. A) Mapa geológico donde se muestra el límite paleogeográfico de las facies aluviales y las facies lacustres de centro de cuenca (línea discontinua; según Calvo *et al.* 1989b). Las flechas indican la dirección preferente de los aportes desde el área fuente hacia el interior de la cuenca. B) Detalle del área de estudio (Somosaguas), donde se muestra la traza del perfil topográfico de la figura 2.

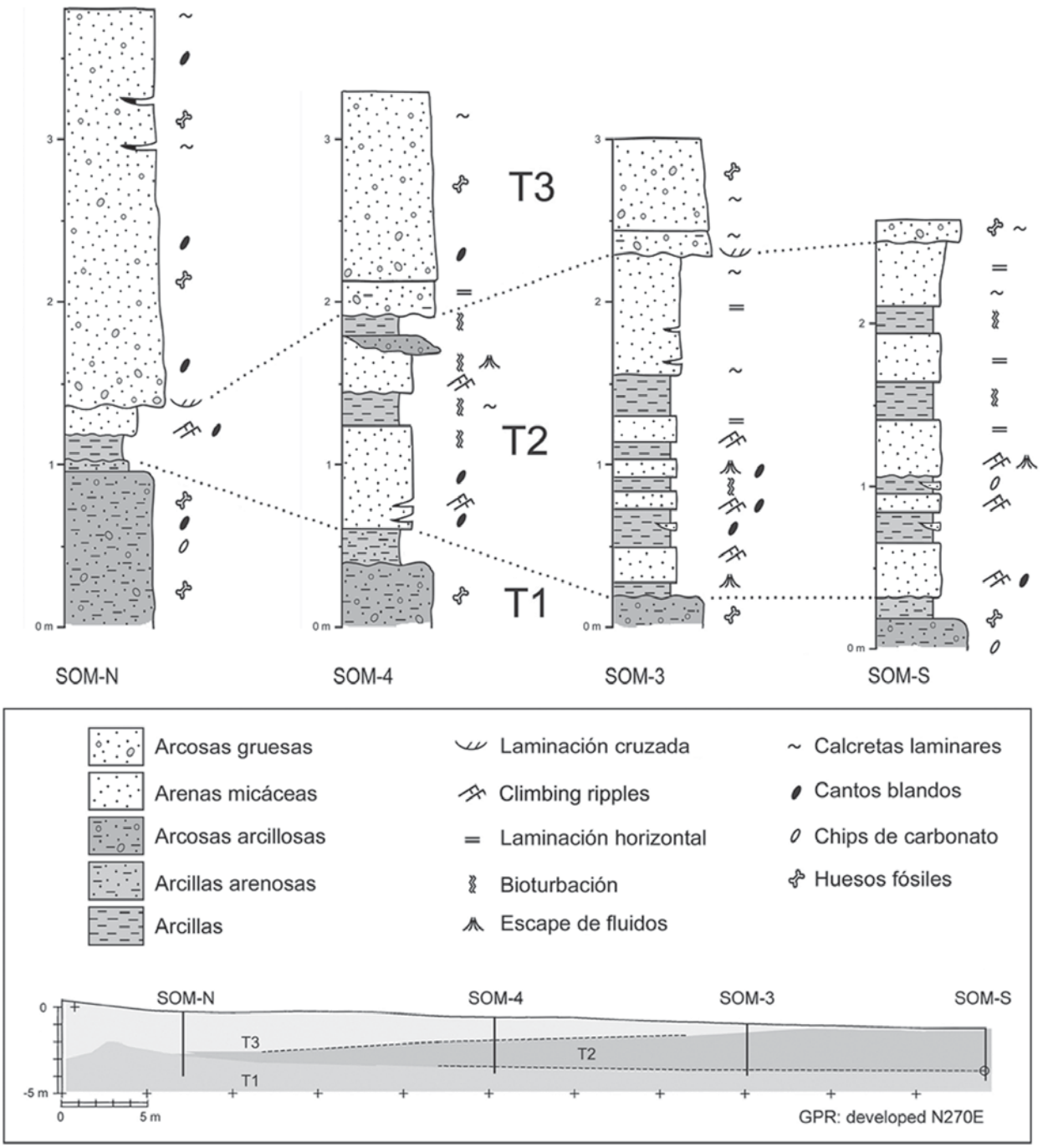

Fig. 2.—Columnas estratigráficas de los sedimentos de Somosaguas, donde se muestra los tres tramos distinguidos. Abajo, perfil topográfico con la posición de las columnas.

tacto normal sobre las arenas (Mínguez Gandú, 2000). También es frecuente encontrar en las arcillas intercalaciones centimétricas de arenas rojizas (por oxidación), chips de carbonatos y signos de bioturbación por raíces (Fesharaki, 2005).

Tramo 3 (T3)

Se trata de un conjunto arcósico con una potencia superior a los 3 m, que ha sido clasificado como arcosas gruesas con matriz aleurítica, según clasifi-

cación de Pettijohn (1975), observándose una cementación irregular en todo el tramo (Fesharaki, 2005). Se apoya mediante una superficie erosiva de morfología cóncava sobre los dos tramos anteriores (Elez, 2005), quedando superpuestos directamente los dos tramos fosilíferos hacia el norte. Es frecuente encontrar en estos materiales cantos de tamaño decimétrico, de subangulosos a redondeados, de composición granítica, pizarrosa, gnéisica y cuarcítica (Mínguez Gandú, 2000). En la mitad superior del tramo se observa una abundancia de pequeños niveles lenticulares de arcillas negras ricas en materia orgánica (Fesharaki, 2005) y un enrejado de carbonatos laminares de origen edáfico, que localmente definen superficies internas sin continuidad lateral (Cuevas-González, 2004), lo que da una idea de un conjunto de cuerpos arcósicos irregulares amalgamados.

Sedimentología

Los yacimientos de Somosaguas muestran rasgos sedimentológicos propios de dos ambientes deposicionales. Por un lado, facies medias de abanicos aluviales (tramos T1 y T3) y, por otro, medios subacuáticos de borde de lago o charca permanente (tramo T2) en los que no se observan episodios de desecación generalizada (Mínguez Gandú, 2000). Esto es congruente con el modelo de Calvo *et al*. (1989a) que proponen para esta zona un contexto de abanicos aluviales con áreas fuente en los materiales del Sistema Central (plutónicos y metamórficos de alto grado).

Los tramos T1 y T3 son depósitos mal clasificados que presentan características de transporte en masa, con abundante matriz arcillosa y mala selección. Mínguez Gandú (2000) interpretó el depósito del tramo T3 como de tipo *debris-flow* y del tramo T1 como un *mud-flow* debido a la mayor proporción de arcillas respecto al primero.

En el tramo T3 no se han reconocido estructuras sedimentarias ni planos de estratificación que permitan definir niveles internos que ayuden a comprender su geometría deposicional y la sucesión de eventos que lo formaron. Sin embargo, el modelo 3D desarrollado por Elez (2005) para este tramo, basado en los datos de las posiciones de los restos fósiles recuperados en campañas anuales sucesivas desde 1998, ha permitido reconocer su arquitectura deposicional, formada por al menos tres cuerpos sedimentarios independientes (fig. 3; Cuevas-González y Elez, 2006). Se confirman así observaciones previas (Cuevas-González, 2004; Fesharaki, 2005) que inferían dentro del tramo T3 un conjunto de cuerpos sedimentarios amalgamados producidos por coladas de derrubios no canalizados. Las calcretas situadas a techo han sido interpretadas como paleosuelos incipientes, los cuales necesitan una superficie relativamente estable para desarrollarse. De este modo, se puede deducir un descenso en la tasa de sedimentación durante la deposición de los distintos cuerpos que forman el tramo T3 que, junto con la aparición de los términos arcillosos a techo, permite deducir un carácter retrogradante.

Los cantos blandos encontrados en el contacto de los tramos T1 y T3 son indicativos de procesos de desecación parcial de las arcillas y arenas micáceas del tramo T2, que fueron erosionadas e incorporadas en la colada de arenas arcósicas. La asociación de óxidos de hierro, esmectitas dioctaédricas e illitas y las calcretas laminares del techo del tramo T3, es característica de condiciones semiáridas, con precipitaciones medias muy bajas (Khadkikar *et al.,* 2000).

Los depósitos del tramo T2 con arenas micáceas tabulares fueron interpretados como formados por aguas de escorrentía no canalizadas (*sheet floods*) que descargaban en un lago (Mínguez Gandú, 2000). Éstos se originan cuando el abanico llega a su punto de intersección con el nivel de base local y se produce una rápida desaceleración de la corriente, que origina los horizontes de *climbing ripples* (Collinson, 1978; Colombo, 1989). El predominio de la laminación horizontal hacia techo del tramo T2 frente a los *climbing ripples*, es indicativo de una mayor o menor velocidad de la corriente en los niveles superiores, o bien de una diferencia en la profundidad del cuerpo de agua (Cuevas-González, 2004). Según los modelos experimentales de Stanley (1974) las secuencias inferiores se habrían depositado en un cuerpo de agua más profundo que las superiores.

La serie presenta una inclinación de 2-3° hacia el sur o sureste. Consideramos este buzamiento indicativo de la pendiente deposicional, en vez de posterior deformación tectónica. Esta interpretación se ve apoyada por las direcciones de los *climbing ripples* del tramo T2, que indican paleocorrientes hacia el sureste (Fesharaki, 2005) lo cual también apoya la idea de que los abanicos tuvieron como área fuente la Sierra de Guadarrama al norte y noroeste.

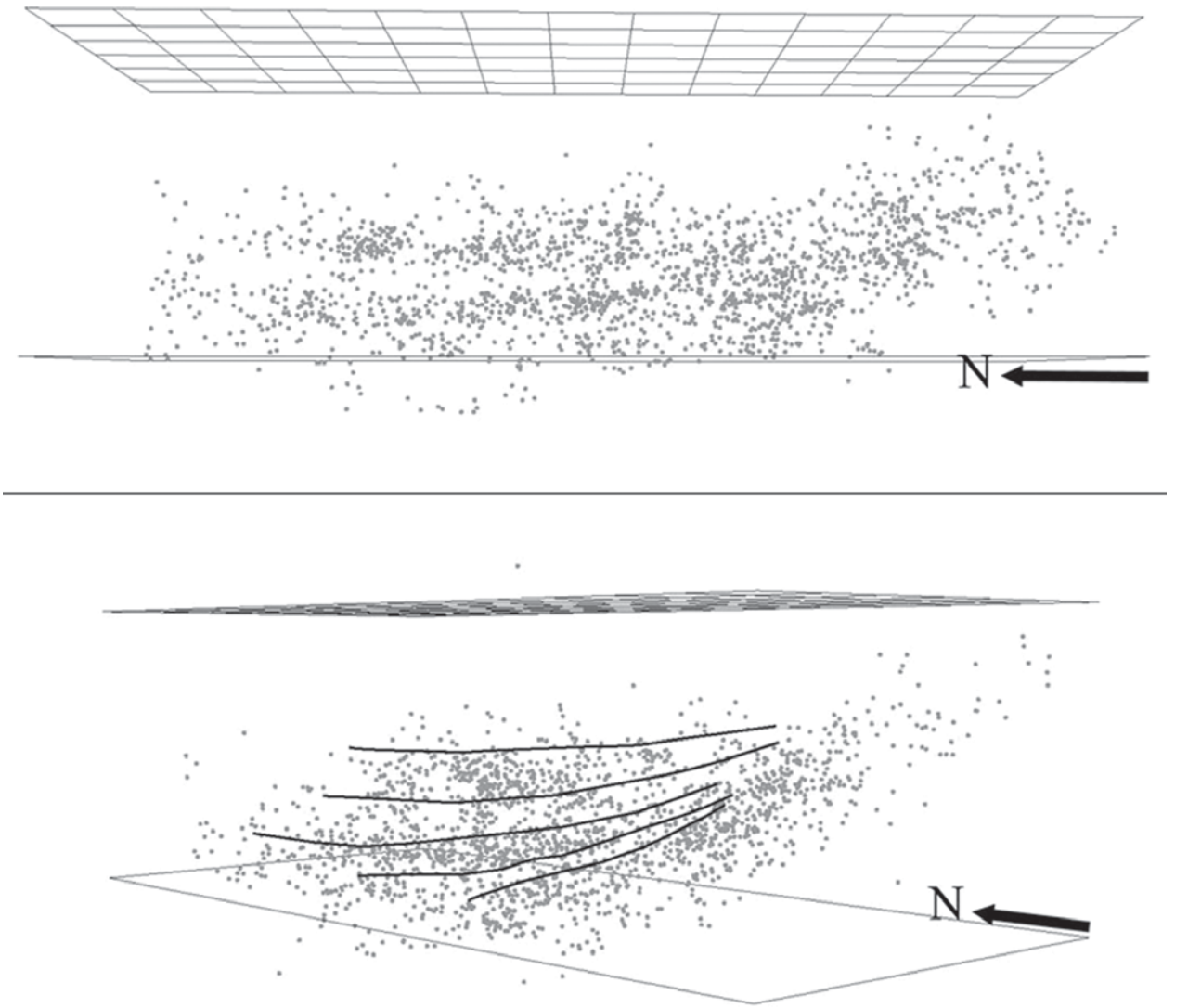

Fig. 3.—Modelo tridimensional de situación de 1906 restos fósiles mayores de 3 cm del yacimiento de Somosaguas Norte (campañas 1998-2004) según sus 3 coordenadas XYZ. Las líneas curvas se ajustan a la distribución de los grupos de fósiles. El plano superior cuadriculado representa el nivel 0 de la coordenada Z, cada cuadrado mide 1 m^2. Exageración vertical, x 2.

Mineralogía

El estudio detallado de la mineralogía de estos sedimentos ha sido una valiosa herramienta para la deducción de las relaciones genéticas existentes entre las distintas fases minerales. Los minerales de la arcilla, en concreto, son buenos indicadores paleoambientales, ya que sus morfologías, composiciones y alteraciones pueden indicar salinidad, pH, temperaturas aproximadas, humedad-lavado y otras condiciones genéticas en estos depósitos o en su área fuente (Chamley, 1989). Se han utilizado diversas técnicas para el estudio de estos sedimentos: DRX tanto de muestra total (polvo policristalino) como de la fracción arcillosa (agregados orientados), MEB, MET, ME y MOLT (Fesharaki, 2005).

En la zona estudiada se han encontrado tanto minerales heredados como transformados y neoformados, pudiendo comprobar que en las fracciones más gruesas están representados los minerales heredados en un porcentaje muy importante, principalmente cuarzo, micas, ortosa, microclina y un término cercano a la anortita. Los minerales accesorios son rutilo, turmalina, apatito, calcita y yeso, este último sólo en el tramo T1. Según disminuye el tamaño de partícula aumenta la concentración de

minerales transformados y neoformados. En cuanto a los minerales de la arcilla se ha reconocido una asociación de esmectitas dioctaédricas (beidellitas y montmorillonitas) + micas (dioctaédricas y trioctaédricas) + caolinita, indicativa de ambientes de abanicos aluviales o coluviones y zonas de borde lacustre (Sáez *et al.,* 2003). No se han detectado minerales fibrosos de la arcilla (sepiolita y paligorskita) ni esmectitas magnésicas muy comunes en el centro de la Cuenca.

Evolución paleoambiental

Las asociaciones y proporciones de arcillas presentes en los sedimentos permiten inferir algunas condiciones paleoclimáticas (Bolle *et al.,* 2001). La asociación de minerales de toda la serie de Somosaguas, en la que predomina la esmectita dioctaédrica con más de un 70%, indica una climatología estacional, con una estación seca muy larga (Srodon, 1999).

La existencia de yeso en el tramo T1 indica condiciones de aridez. El aumento de filosilicatos y la desaparición del yeso hacia techo de T1 anuncian la instalación de un ambiente lacustre cuyo relleno corresponde al tramo T2. La retención del agua en los poros de los sedimentos permitió las reacciones químicas que originaron las arcillas neoformadas.

La formación del lago pudo deberse a un cambio climático hacia condiciones más húmedas, o a un proceso geomorfológico que frenara el drenaje, o a ambos factores. Durante buena parte del Mioceno en el área de Somosaguas hubo una zona de drenaje deficiente con depósitos arcillosos denominada «Corredor de Majadahonda» orientado NW-SE, flanqueado por depósitos arenosos (Torres *et al.,* 1993). En este pasillo predominan los depósitos de decantación de sedimentos finos, por lo que debió ser favorable a la formación de charcas y lagos temporales.

Los depósitos arcósicos de T3 corresponden a la progradación sobre el depósito lacustre de un abanico aluvial de clima árido, evidenciado por la menor alteración de los sedimentos y la mayor proporción de fragmentos de roca poco alterados. El carácter retrogradante reconocido en el tramo T3 y la presencia de calcretas laminares en el techo podría relacionarse con una continuación de la tendencia hacia la aridez, que causaría una disminución de la meteorización de las áreas fuente que progresivamente aportarían menos sedimentos a la cuenca, y la formación de caliches sobre la superficie del abanico inactivo.

Paleontología sistemática
(J.A.C.; N.L.M.; M.J.S.; J.M.)

La asociación de vertebrados de Somosaguas es una de las más completas del Mioceno medio de la cuenca de Madrid, reuniendo entre los dos yacimientos (Somosaguas Norte y Sur) un total de 23 especies de mamíferos junto a diversas aves y reptiles (tortugas, serpientes, ánguidos y lagartos). No se han encontrado restos de anfibios ni tampoco inequívocos fósiles de peces, por lo que la totalidad de la asociación, formada por más de dos mil elementos identificados, corresponde por el momento exclusivamente a vertebrados terrestres.

Además de restos de macrovertebrados, en Somosaguas se han recogido gran cantidad de ejemplares de micromamíferos y otros microvertebrados, sobre todo en el lavado-tamizado de los sedimentos arcillosos del techo del tramo 1 (Somosaguas-Sur, Somosaguas-4 y 5). Excepcionalmente, también se han obtenido algunos ejemplares de microvertebrados por inspección *de visu* en las arcosas gruesas del tramo 3 durante la excavación de macrovertebrados (Somosaguas Norte). En conjunto, un 52% del total de restos catalogados e inventariados son restos de micromamíferos identificados a nivel de especie (tabla 1).

Tabla 1.—**Distribución de la abundancia de taxones en función del número de restos identificados en el catálogo de la colección de Somosaguas desde 1998 hasta 2006**

Taxa	N.º restos	Porcentaje	Macrofauna
Gomphotherium angustidens	198	11,1	47,47
Anchitherium sp. cf. *A. cursor*	226	12,7	
Prosantorhinus douvillei	46	2,6	
Conohyus simorrensis	54	3,0	
Ruminantia (*Micromeryx, Heteroprox, Tethytragus*)	256	14,4	
Carnivora (*Hemicyon, Amphicyon, Pseudaelurus,* Mustelidae)	54	3,0	
Taxa	**N.º restos**	**Porcentaje**	**Microfauna**
Megacricetodon sp. cf. *M. collongensis*	427	24,0	52,52
Democricetodon larteti	200	11,2	
Democricetodon sp.	1	0,1	
Cricetodon soriae nov. sp.	5	0,3	
Armantomys tricristatus	89	5,0	
Microdyromys koenigswaldi / *M. monspeliensis*	74	4,2	
Heteroxerus grivensis	85	4,8	
Prolagus sp. cf. *oeningensis*	2	0,1	
Lagopsis penai	17	1,0	
Galerix exilis	26	1,5	
Miosorex sp. cf. *M. grivensis*	10	0,6	
No mamíferos	12	0,7	
Total	1.782	100,0	

Resumimos a continuación la sistemática de los principales taxones descubiertos en Somosaguas, completando las descripciones de especies ya publicadas en trabajos previos (Luis y Hernando, 2000; Mazo, 2000; Salesa y Morales, 2000; Sánchez, 2000; Sánchez y Salesa, 2000; Luis Cavia, 2003; van der Made y Salesa, 2004; Cuevas-González, 2005a) con las de dos especies nuevas para la cuenca de Madrid, un rinoceronte y un hámster gigante, que supone además una especie nueva para la ciencia descrita por primera vez en este trabajo.

Clase Mammalia Linnaeus, 1758

Orden Proboscidea Illiger, 1811

Familia Gomphoteriidae HAY, 1922
Género *Gomphotherium* BURMEISTER, 1837
Gomphotherium angustidens (CUVIER, 1817)

La especie *Gomphotherium angustidens* es un mastodonte de talla media con cabeza baja y alargada anteroposteriormente, con dos incisivos superiores divergentes curvados hacia abajo rodeados por esmalte, y dos incisivos inferiores yuxtapuestos situados en una larga sínfisis mandibular. Es originaria de África y es el primer mastodonte que llega a la Península Ibérica a principios del Mioceno medio, hace unos 17 Ma, extendiéndose rápidamente por toda Eurasia. La morfología de su dentición yugal bunodonta sugiere una dieta básicamente ramoneadora, asociada a un bioma de bosque tropical. Sus restos fósiles son muy frecuentes en Somosaguas (un 11% del total de restos identificados, tabla 1), aunque su estado de fragmentación ha dejado muy pocos elementos completos (Mazo, 2000).

Orden Perissodactyla Owen, 1848

Familia Equidae GRAY, 1821
Género *Anchitherium* MEYER, 1834
Anchitherium sp. cf. *A. cursor* SÁNCHEZ, SALESA & MORALES, 1998

Este équido tridáctilo se caracteriza por su dentición yugal de tipo braquiodonto, indicativa de una dieta ramoneadora, como en todas las especies del género. La especie de Somosaguas corresponde a *Anchitherium* sp. cf. *A. cursor*, caracterizada por una dentición proporcionalmente más grande que otros anquiterinos más primitivos y por una serie de adaptaciones en el esqueleto postcraneal, las cuales permiten inferir mayores capacidades cursoriales en esta especie que en otras, lo que probablemente indique que ocupó hábitats más abiertos (Salesa y Sánchez, 2000). Los Anchitheriinae fueron un grupo muy diverso de équidos de origen norteamericano que entraron en Eurasia a principios del Mioceno inferior, pasando a ser un componente muy importante de las faunas eurasiáticas de mamíferos a partir del Aragoniense inferior.

Familia Rhinocerotidae OWEN, 1845
Género *Prosantorhinus* HEISSIG, 1974
Prosantorhinus douvillei (OSBORN, 1900)

Material

SOMN-300, fragmento de hemimandíbula izquierda, conserva la serie molar m1-m3, apófisis coronoides y sínfisis ausentes (fig. 4).

SOMN-680, M3 derecho (fig. 5).

SOMN-2652, metacarpiano II derecho (fig. 6).

Las medidas se indican en las tablas 2 y 3.

Descripción

El fragmento mandibular presenta una serie yugal de tipo braquiodonto. Los molares inferiores están bien conservados, excepto el m1 que está roto en la zona mesial, donde aparece un pequeño fragmento del p4. El m2 está bastante desgastado, y el hipocónido se fusiona al protocónido. En el m3 el valle anterior tiene forma de «U» y el posterior de «V» amplia. La mandíbula está rota a la altura del m1-p4, pero se conserva un fragmento asociado que parece corresponder a la sínfisis, en la que se inclu-

Tabla 2.—**Dimensiones dentales (en mm) de *Prosantorhinus douvillei* de Somosaguas**

	m1		m2		m3		M3		
	L	A	L	A	L	A	L	A	D
SOMN-300	39,6	26,3	37,6	27,1	44,2	27,4			
SOMN-680							46,2	54	59,7

Tabla 3.—**Dimensiones del metacarpo II (en mm) de *Prosantorhinus douvillei* de Somosaguas**

i.g = (30,4)	L	DT Diáfisis	DAP Diáfisis
SOMN-2652	(115)	35	23

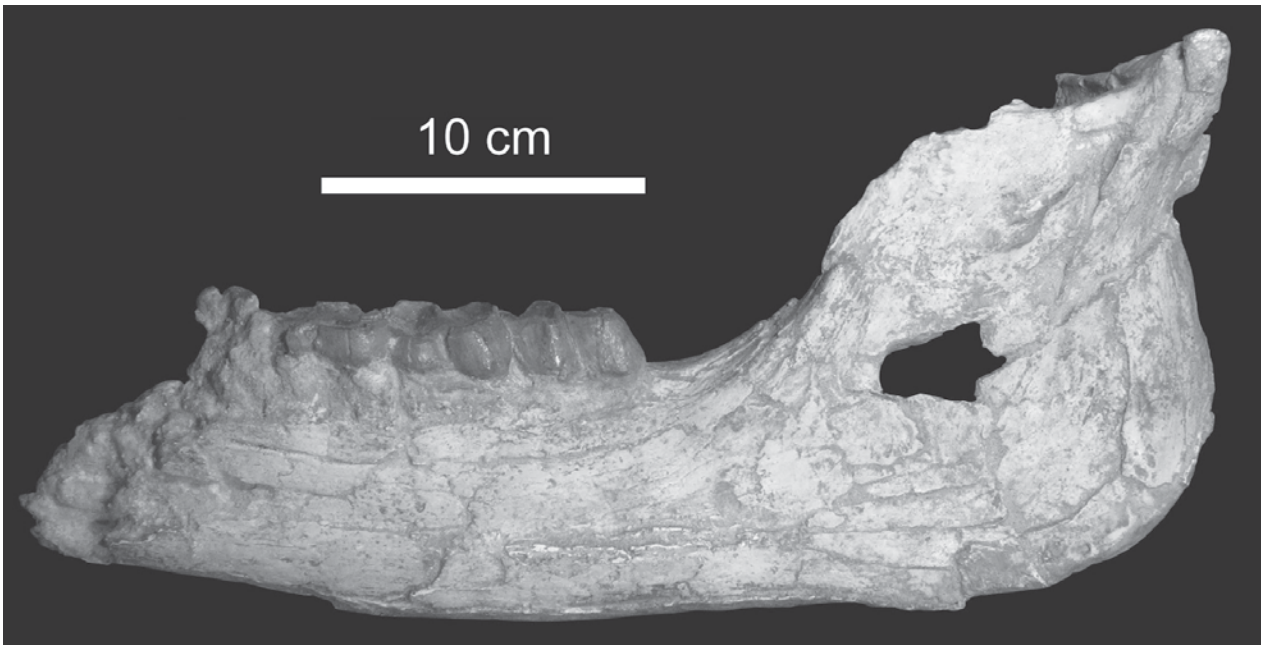

Fig. 4.—Hemimandíbula izquierda de *Prosantorhinus douvillei* (SOMN-300). Vista lateral.

ye un fragmento dental de aspecto incisiviforme. La apófisis coronoide está ausente, aunque el cóndilo mandibular está presente, reflejando una altura relativamente baja para la elevada longitud que se deduce de la rama mandibular.

El M3 es un molar grande y braquiodonto. El contorno de la pieza es triangular, por estar el ectolofo y el metalofo fusionados en una sola cresta, denominada ectometalofo (característico de los terceros molares superiores de rinocerontes). Destaca la presencia, en la cara lingual, de un cíngulo que se extiende posteriormente. Paracono y parastilo aparecen bien desarrollados, y el protocono está marcado por dos surcos verticales. Además aparece una pequeña protuberancia en el valle que separa el ectometalofo del protolofo.

El Mc II es una pieza en mal estado de conservación; no conserva la epífisis distal y la proximal se encuentra fracturada. Es posible estimar que se trata de un metápodo corto y robusto, ya que la diáfisis en el extremo distal acaba curvándose ligeramente, evidenciando la proximidad de la epífisis.

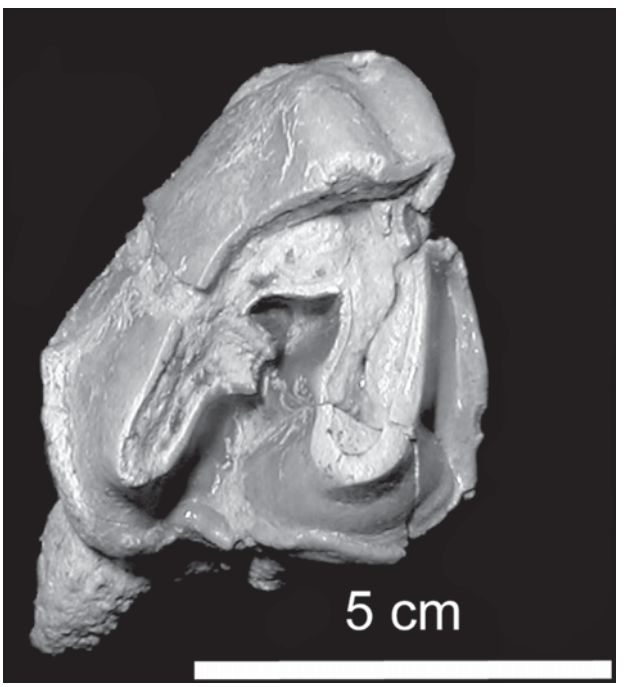

Fig. 5.—M3 derecho de *Prosantorhinus douvillei* (SOMN-680). Vista oclusal.

Discusión

El rinoceronte de Somosaguas presenta un M3 de mayor tamaño que el resto de rinocerontes presentes en otros yacimientos del Aragoniense de Madrid, siendo comparable a los molares de los rinocerontes del grupo de los braquipoterios del Aragoniense europeo (fig. 5). Este grupo incluye los géneros *Brachypotherium*, *Diaceratherium* y *Prosantorhinus*, caracterizados, en general, por su dentición yugal braquiodonta, aspecto hipopotamoi-

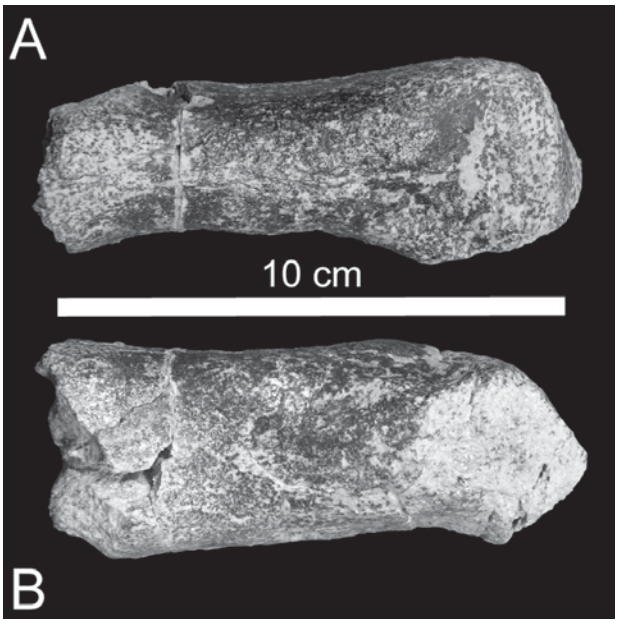

Fig. 6.—Metacarpiano II derecho de *Prosantorhinus douvillei* (SOMN-2652). A) Vista anterior. B) Vista lateral.

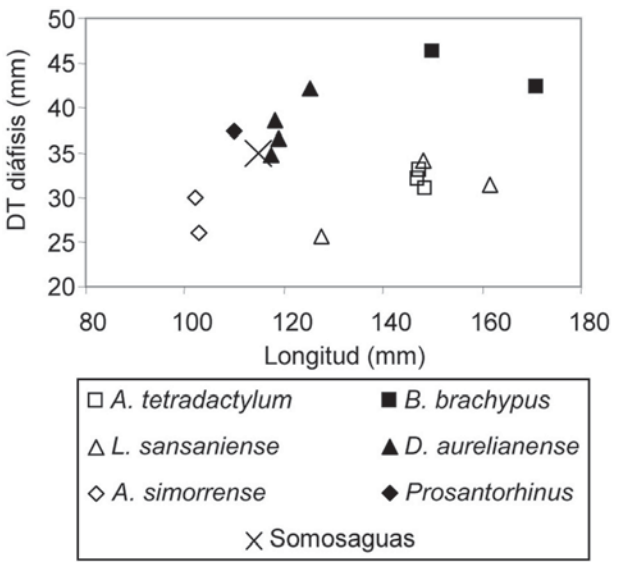

Fig. 7.—Diagrama longitud/diámetro transversal del McII de varias especies de rinocerontes, incluido el ejemplar de Somosaguas.

de y por alcanzar un grado de braquipodia extremo (Cerdeño, 1989). Además de las similitudes en cuanto a tamaño, el molar de Somosaguas comparte los rasgos dentales del grupo: dentición braquiodonta, presencia en el M3 de un cíngulo lingual, gancho, paracono y parastilo desarrollados, y protocono marcado por dos surcos verticales.

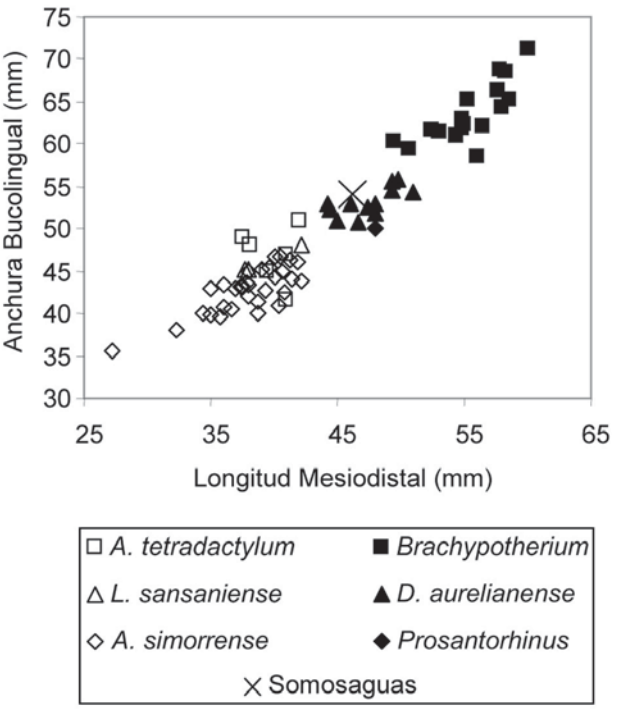

Fig. 8.—Diagrama longitud/anchura del M3 de varias especies de rinocerontes, incluido el ejemplar de Somosaguas.

El metacarpiano, corto y robusto, muestra un alto grado de braquipodia; el índice de gracilidad aproximado obtenido para el resto (30,4) muestra una robustez característica de los braquipoterios (fig. 6).

En relación al tamaño, las medidas del McII y del M3 en estudio se alejan claramente del campo del género *Brachypotherium* (figs. 7 y 8). Este rinoceronte aparece citado en el Aragoniense superior español, en Arroyo del Val y Manchones (MN6, cuenca de Calatayud-Daroca), aunque su distribución en Francia comienza en el Aragoniense medio. Los ejemplares de Somosaguas entran en la distribución de los braquipoterios de mediano tamaño, que incluyen dos géneros. Por un lado, el género *Diceratherium* citado en yacimientos de la MN3 como Rubielos de Mora (Teruel) y Molí Calopa (cuenca del Vallès-Penedès), y de la MN4a, Artesilla (Zaragoza) y Buñol (Valencia), y cuya distribución finaliza al final del Aragoniense inferior tanto en España como en Francia y Portugal. Por otro lado, está el género *Prosantorhinus*, cuya distribución abarca por completo el Aragoniense europeo, citado en yacimientos franceses (Neuville, MN3b; La Romieu, MN4b; Pontlevoy, MN5; Malartic MN7/8), alemanes (Sandelzhausen, MN5; Goergensmünd, MN6), portugueses (Lisboa, MN5) y españoles (Buñol, MN4a).

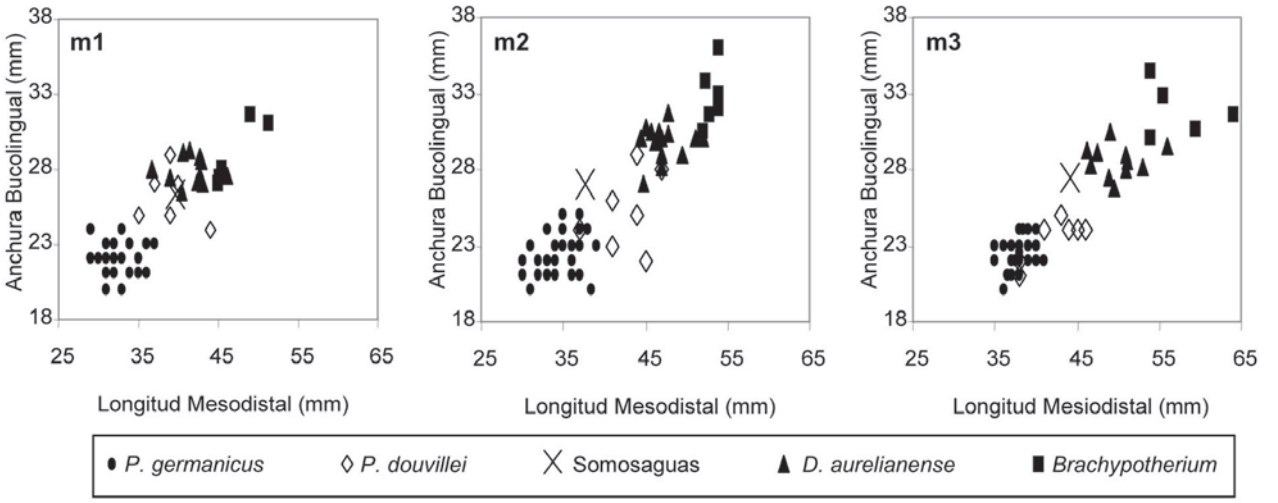

Fig. 9.—Diagramas longitud/anchura del m1, m2 y m3 de varias especies de rinocerontes braquipoterios, incluido el ejemplar de Somosaguas.

En lo referente a la dentición inferior, se hace especialmente complicado establecer caracteres específicos por su gran uniformidad, por lo que nos limitamos a comparar las medidas tomadas en la mandíbula de Somosaguas con las medidas de los géneros *Brachypotherium*, *Diaceratherium* y *Prosantorhinus* (fig. 9). Respecto a *Prosantorhinus* se incluyen las medidas de las especies *P. germanicus* de Sandelzhausen, MN5 y Goergensmünd, MN6, y *P. douvillei* de los yacimientos de las zonas MN4b (Baignaux y Beaugency) y MN 5 (Pontlevoy). El m1 de Somosaguas se incluye dentro del campo de *P. douvillei,* el m2 entra dentro de los rangos de *P. douvillei*, con valores muy próximos a los de *P. germanicus*, y, por último, el m3 aparece representado entre los campos de *Diaceratherium* y *P. douvillei*.

A pesar de lo escaso y fragmentado de los restos de rinoceronte hallados en el yacimiento de Somosaguas, el conjunto de los caracteres dentales y postcraneales junto al tamaño de los mismos y la distribución espaciotemporal de los braquipoterios, permiten asignarla a la especie *Prosantorhinus douvillei*.

Orden Artiodactyla Owen, 1848

Familia Suidae GRAY, 1821
Género *Conohyus* PILGRIM, 1926
Conohyus simorrensis (LARTET, 1851)

El cerdo *Conohyus simorrensis* pertenece a un linaje de suidos en los que se hipertrofian los premolares, desarrollando dientes de aspecto hienoide. Esto se interpreta como una adaptación a un tipo de alimentación a base de cáscara dura, o a una dieta en la que había un alto porcentaje de carroña (Sánchez, 2000). Los restos de Somosaguas son hasta ahora los más antiguos y primitivos encontrados en Europa, probablemente procedentes del Este (van der Made y Salesa, 2004).

Familia Moschidae GRAY, 1821
Género *Micromeryx* LARTET, 1851
Micromeryx sp. aff. *M. flouresianus* LARTET, 1851

Se trata de un pequeño rumiante inerme caracterizado por el desarrollo en los machos de grandes caninos. El género aparece en el Oligoceno superior del Norte Eurasia. Actualmente sólo sobrevive el género *Moschus* en las zonas forestales de China y Siberia (Sánchez, 2000).

Familia Cervidae GRAY, 1821
Género *Heteroprox* STEHLIN, 1928
Heteroprox sp.

Estos rumiantes presentan apéndices craneales apofisiarios y caducos, doble orificio lacrimal en el borde de la órbita y *sulcus* metatarsal cerrado distalmente por un puente óseo (Morales y Soria, 1995). Los cérvidos aparecen en Eurasia, en el Mioceno medio. Se asocian a biomas forestales de climas tropicales y templados.

Familia Bovidae GRAY, 1821
Género *Tethytragus* AZANZA & MORALES, 1994
Tethytragus sp.

Los bóvidos aparecen en el Viejo Mundo al final del Mioceno inferior. Son rumiantes provistos de apéndices craneales de tipo epifisiario constituido por un núcleo óseo y cubierta córnea, perenne y sin ramificar. El *sulcus* metatarsal está distalmente abierto. En Somosaguas se ha identificado el género *Tethytragus* por su dentición hipsodonta. Este antílope es muy común en el Aragoniense de la cuenca de Madrid y se asocia con ambientes abiertos de tipo pradera o sabana (Sánchez, 2000).

Orden Carnívora Bowdich, 1821

Familia Amphicyonidae TROUESSART, 1885
Género *Amphicyon* LARTET, 1836
Amphicyon sp.

Los anficiónidos son una familia de carnívoros primitivos ya extintos que aparecen en el Eoceno superior. Presentan una combinación de caracteres ursoides y caniformes. Su dentición se caracteriza por sus premolares anteriores reducidos, muelas carniceras fuertes y molares superiores trituradores, lo que permite inferir una dieta carnívora mixta tanto cazadora como carroñera. Sus extremidades son robustas, plantígradas o semidigitígradas, con uñas no retráctiles. Los restos de Somosaguas corresponden a una especie de gran tamaño (Salesa y Morales, 2000).

Familia Ursidae FISCHER, 1817
Género *Hemicyon* LARTET, 1851
Hemicyon sp. cf. *H. sasaniensis* LARTET, 1851

Este grupo de carnívoros, originario de Eurasia, aparece en el Mioceno inferior y alcanza el Plioceno superior. Su dentición es similar a la de otros úrsidos primitivos, con premolares reducidos y molares superiores anchos, pero sin mostrar el alargamiento observado en formas modernas. Poseen un esqueleto postcraneal bastante más grácil que el de los anficiónidos, y es probable que ocuparan hábitats más abiertos que éstos.

Familia Felidae FISCHER, 1817
Género *Pseudaelurus* GERVAIS, 1848-1852
Pseudaelurus sp.

La familia Felidae está formada por carnívoros digitígrados, con caninos grandes y fuerte reducción de las series premolar y molar, debido a su dieta hipercarnívora (Morales y Soria, 1990). La falange encontrada en Somosaguas presenta una morfología similar a la de especies del género *Pseudaelurus* ya conocidas en el Mioceno medio de Europa pero es insuficiente para realizar una asignación específica (Salesa y Morales, 2000).

Familia Mustelidae SWAINSON, 1835
Gen. y esp. indet.

Los mustélidos se conocen desde el Oligoceno, diversificándose desde entonces hasta llegar a ser uno de los grupos de carnívoros más numerosos. En Somosaguas se han recuperado muy pocos restos de este grupo, y sólo puede determinarse la existencia de un mustélido de talla grande (Salesa y Morales, 2000).

Orden Rodentia Bowdich, 1821

Familia Cricetidae ROCHEBRUNE, 1883

Los cricétidos constituyen la familia más abundante de roedores que aparece en Somosaguas, donde predomina el género cosmopolita *Megacricetodon*, representado por una única especie, sobre *Democricetodon*, representado por dos especies de mayor tamaño y de distribución más meridional. Esta familia no se considera buena indicadora paleoecológica, por su alta diversidad y amplia distribución (Luis y Hernando, 2000). Su gran abundancia en Somosaguas (36% del total de restos fósiles catalogados) y en otros yacimientos del Aragoniense de la cuenca de Madrid puede relacionarse con cierta inestabilidad del medio.

Género *Megacricetodon* FAHLBUSCH, 1964
Megacricetodon collongensis (MEIN, 1958)

Es uno de los roedores más pequeños y más abundantes de Somosaguas (24% del total) y del Aragoniense medio y superior de Eurasia. La abundante población de Somosaguas presenta una morfología primitiva y un tamaño relativamente grande, y ha sido atribuida a la especie *M. collongensis* por Luis y Hernando (2000), de la que representaría una población avanzada muy próxima a *M. gersii* AGUILAR, 1980. Por el momento, a pesar de la amplia variabilidad de esta abundante población, no se ha

constatado la presencia de ninguna otra especie de este género en Somosaguas.

Género *Democricetodon* FAHLBUSCH, 1964
Democricetodon larteti (SCHAUB, 1925)
Democricetodon sp.

La población del hámster de tamaño medio de Somosaguas, incluida en el grupo del género *Democricetodon*, muestra cierta heterogeneidad, lo que llevó a Luis y Hernando (2000) a considerar la presencia de dos especies: *Fahlbuschia darocensis* y *Fahlbuschia* sp. sin llegar a diferenciarlas. Posteriormente, este grupo de hámsters ha sido revisado por van der Meulen *et al*. (2003), que han considerado al género *Fahlbuschia* sinónimo de *Democricetodon* y a la especie *Fahlsbuschia darocensis* (Freudenthal, 1963) sinónimo de *Democricetodon larteti* (Schaub, 1925). Esta interpretación ha sido recientemente rechazada por Freudenthal (2006). En nuestro caso aceptamos la sinonimia propuesta por van der Meulen *et al*. (2003), pues la distinción entre las especies *D. darocensis* y *D. larteti* que propone Freudenthal (2006), basada entre otros caracteres en un menor tamaño y mayor desarrollo del M3 en la primera de ellas, no resulta aplicable en muchas poblaciones dada la variabilidad observada.

La otra especie de Somosaguas, *Democricetodon* sp., es muy escasa y de mayor tamaño (un m2 mide 2,06 x 1,68 mm), y sus terceros molares podrían confundirse probablemente con los de *D. larteti*.

Género *Cricetodon* LARTET, 1851

Especie tipo: Cricetodon sansaniensis LARTET, 1851.

Localidad, edad, nivel: Sansan (Francia), Aragoniense superior, MN6.

Otras especies del género: C. aguirrei SESÉ 1977; *C. albanensis* MEIN & FREUDENTHAL, 1971a; *C. aliveriensis* KLEIN HOFMEIJER & DE BRUIJN, 1988; *C. aureus* MEIN & FREUDENTHAL, 1971b; *C. bolligeri* RUMMEL, 1995; *C. candirensis* (TOBIEN, 1978), *C. cariensis* (SEN & ÜNAY, 1979), *C. caucasicus* ARGYROPOULO 1938; *C. hungaricus* (Kordos, 1986); *C. jotae* MEIN & FREUDENTHAL, 1971a; *C. jumaensis* RUMMEL, 2001; *C. kasapligili* DE BRUIJN *et al.,* 1993, *C. lavocati* FREUDENTHAL, 1966; *C. meini* FREUDENTHAL, 1963; *C. pasalarensis* (TOBIEN, 1978), *C. tobieni* DE BRUIJN *et al.,* 1993, *C. versteegi* DE BRUIJN *et al.,* 1993.

Cricetodon soriae nov. sp. LÓPEZ-MARTÍNEZ, CÁRDABA, SALESA, HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, CUEVAS-GONZÁLEZ & FESHARAKI (fig. 10)

Holotipo: Hemimandíbula izquierda SOMN-2109, Universidad Complutense de Madrid.

Localidad, edad, nivel: Somosaguas Norte y Somosaguas 5 (Madrid, España), Aragoniense medio, MN5, zona local E, Mioceno medio.

Derivatio nominis: En honor a la doctora M.ª Dolores Soria paleontóloga del Museo Nacional de Ciencias Naturales y gran amiga, prematuramente fallecida.

Diagnosis: Cricetodon de tamaño medio, con m1 relativamente corto y ancho y m3 relativamente desarrollado; ectolofo, mesolofo y mesolófido reducidos; metalófido posterior en m1. Difiere de *C. aureus* en sus proporciones dentarias y su menor tamaño; difiere de *C. jotae* en la mayor robustez del m1, el metalófido posterior en m1, el menor desarrollo del ectolofo en M2, la mayor anchura absoluta de todos los dientes y el mayor tamaño absoluto y relativo de M2, m2 y m3.

Material

SOMN-2109 dentario izquierdo con incisivo, diastema y serie molar m1-m3, alvéolo de m3 y rama vertical ausentes.

SOM5-050, m3 derecho.

SOM5-051, M2 derecho, falta un fragmento proximal del protocono.

SOM5-052, fragmento de m2.

SOM5-053, fragmento de M2.

Las medidas se indican en la tabla 4.

Descripción

La mandíbula es robusta, con el diastema aplanado y el gran foramen mentoniano visible en vista oclusal.

El m1 es robusto, con notable anchura en relación con la longitud. Su relación L/A es de 1,42, mientras que en *Cricetodon aureus, C. meini* y *C. jotae* es de 1,50 a 1,53. El anterocónido es redondo, con una cresta labial muy corta y sin cresta lingual. El anterolofúlido es corto. El metalófido es posterior, existiendo además una débil proyección anterior del metacónido que no forma cresta. El mesolófido es muy corto y el sénido transversal, sin estilos ni crestas cingulares. El m2 es grande en proporción a m1, con una gran cresta anterolabial que cierra el anterosénido. Su mesolófido es igualmente muy corto.

Tabla 4.—**Dimensiones dentales (en mm) de *Cricetodon soriae* nov. sp. de Somosaguas**

	m1			m2				m3				m1L/m3L	M2	
	L	A	L/A	L	A	Lmax	Lmin	Lme	Amax	Amin	Ame		L	A
SOMN-2109	2,65	1,86	1,42	2,65	2,09		2,51			2,08		1,055		
SOM5-050						2,69			2,23			1,019		
SOM5-051													2,55	2,23
Promedios								2,60			2,15	1,037		

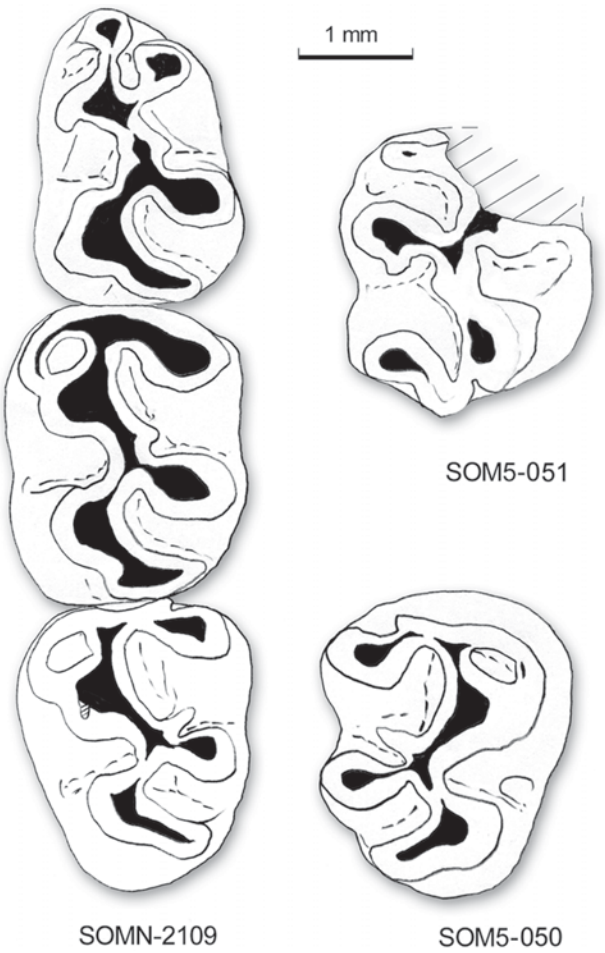

Fig. 10.—*Cricetodon soriae* nov. sp. de Somosaguas. Holotipo (SOMN-2109), hemimandíbula izquierda con serie dentaria yugal m1-m3. SOM5-051, M2 derecho, falta un fragmento proximal del protocono. SOM5-050, m3 derecho. Dibujo a cámara clara, dentina representada en negro.

Los m3 son de gran tamaño absoluto y relativo; la relación Lm1/Lm3 es de sólo 1,03 en promedio, mientras que varía de 1,05 a 1,13 en *Cricetodon aureus, C. meini* y *C. jotae*. El anterolófido labial es muy largo, similar a m2, mientras que el anterolófido lingual es corto. El mesolófido es muy corto y muy inclinado hacia el metacónido y hacia el fondo del valle. Un ejemplar posee un ectostílido bajo y redondeado que no llega a obstruir el sénido.

Todos los dientes inferiores tienen una concavidad en la pared posterior, progresivamente menos marcada de m1 a m3, que separa el hipocónido del posterolófido.

El M2 es grande a pesar de faltar un fragmento del protocono. El anterolofo labial es largo, su base tiende a cerrar el anteroseno. Existe un débil ectolofo en la pared posterior del paracono. El paralofo es transversal. El mesolofo está prácticamente ausente, sólo marcado por una débil hinchazón del endolofo. El seno se curva ligeramente hacia delante en su extremo final. Como único resto del posteroseno, existe una estrecha inflexión que separa el hipocono de su brazo posterior.

Discusión

Esta especie de hámster es de mayor tamaño que todos los demás miembros de la familia Cricetidae de Somosaguas y de otros yacimientos del Aragoniense medio de Madrid. La escasa muestra de Somosaguas procede de los dos niveles fosilíferos de la localidad, el tramo T1 (Somosaguas-5) y el tramo T3 (Somosaguas Norte). La atribución del gran hámster de Somosaguas al género *Cricetodon* se justifica por su gran tamaño, el patrón dentario bunodonto, braquiodonto y simple, la forma redondeada del anterocónido y el desarrollo incipiente de un ectolofo en M2.

El género *Cricetodon* procede de Asia vía Anatolia, donde es conocido desde el Mioceno inferior (De Bruijn *et al.,* 1993). Su primera aparición en la Península Ibérica corresponde al final del Aragoniense medio de las cuencas de Daroca (Las Planas 4) y Vallès-Penedès. Hasta ahora no había sido citado en el Mioceno de la cuenca de Madrid (Peláez-Campomanes *et al.,* 2003).

Los caracteres de *Cricetodon* de Somosaguas no corresponden con la especie *Cricetodon jotae* descrita del Aragoniense medio y superior de Daroca.

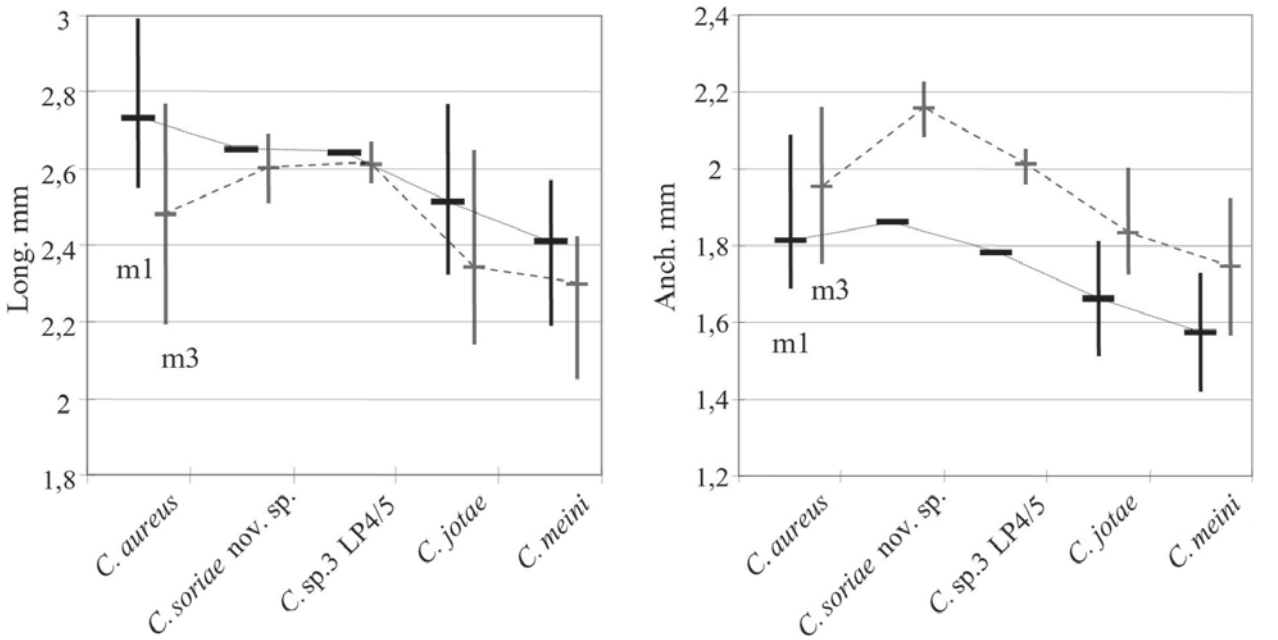

Fig. 11.—Longitud y anchura de los m1 y m3 de diferentes especies de *Cricetodon*.

La especie aragonesa del Aragoniense superior (Manchones, MN6) es más pequeña que la población de Somosaguas y más avanzada, por la mayor reducción de los terceros molares, la gran frecuencia del metalófido anterior y el mayor desarrollo del ectolofo. En el Aragoniense medio de Daroca (Las Planas 4A, 4B y 5A2), aproximadamente de la misma edad que Somosaguas (MN5), *Cricetodon* es también poco abundante. Su atribución inicial a *Cricetodon jotae* (Las Planas 4A y 4B, Freudenthal, 1963) fue modificada posteriormente a *Cricetodon* nov. sp. 3 (Las Planas 5A2 De Bruijn *et al.,* 1993). La población de Las Planas 5A2 (=LUM 11, Peláez-Campomanes com. oral) tiene un tamaño muy similar a *C. soriae* nov. sp., con un m3 también muy desarrollado, pero sin embargo muestra una combinación de rasgos primitivos (como el mayor desarrollo del mesolofo y mesolófido) y derivados (doble metalófido) que no se encuentran en la muestra madrileña. Por el momento, los datos son insuficientes para concluir sobre la relación entre ambas poblaciones.

Las dos especies *C. meini* y *C. aureus* citadas en Francia, Alemania y Austria en la zona MN5, no coinciden tampoco con la población de Somosaguas. La primera es notablemente de menor tamaño y más avanzada en la formación de ectolofos, y la segunda es más grande y tiene diferentes proporciones dentarias. Otras especies del género difieren aún más de la población de Somosaguas tanto en tamaño como en morfología.

La peculiar combinación de rasgos primitivos (conexión posterior del metalófido en m1, m3 muy desarrollada, práctica ausencia de estilos y cíngulos en las aberturas de los valles, ectolofo reducido) y avanzados (mesolofos/fidos ausentes o muy cortos), junto con las peculiares proporciones dentarias (dientes muy robustos, de gran anchura en relación con la longitud) conducen a diferenciar la población de Somosaguas como una especie nueva, denominada *Cricetodon soriae* nov. sp. A pesar de la escasez de material, el test de la T de Student muestra diferencias biométricas altamente significativas de *Cricetodon soriae* nov. sp. respecto a *C. jotae* y *C. meini*, y diferencias significativas respecto a *C. aureus*. En el gráfico de la figura 11 se pueden observar las comparaciones de las medidas de longitud y anchura de m1 y m3 en las cuatro especies, en el que quedan de manifiesto la mayor robustez de *C. soriae* nov. sp. y el gran desarrollo del tercer molar inferior. Las especies de *Cricetodon* con terceros molares relativamente grandes son propias de Europa Oriental y Asia Menor, según De Bruijn *et al*. (1993) y su presencia en Europa Occidental sugiere una migración procedente del Este, según estos autores.

Como a muchos hámsters de dentición bunodonta, se atribuye a *Cricetodon* un hábitat de terrenos

abiertos y clima relativamente árido. Daxner-Hock (2003) sugiere que tendría hábitos cavadores por su relación preferente con sedimentos de zonas vadosas, tal como ocurre en el caso de los tramos T1 y T3 de Somosaguas.

La presencia de *Cricetodon* en Somosaguas en la zona E (final de la zona MN5) coincide aproximadamente con la edad de su primera aparición en Daroca y Suiza, cuencas con una buena calibración de su bioestratigrafía continental (Daams *et al.,* 1999a; Kälin, 1997), además de Alemania y Austria (Daxner-Hock, 2003). La expansión de *Cricetodon* por Europa había sido considerada diacrónica (De Bruijn *et al.,* 1993; Agustí, 1999; Agustí *et al.,* 2001), entre otras razones por su supuesta ausencia en el Aragoniense de la meseta ibérica. Sin embargo, a pesar de su elusiva presencia en los yacimientos, la aparición de *Cricetodon* en Somosaguas permite inferir que su expansión por Europa central y Occidental fue un *datum* cuasi-sincrónico hacia el final de la zona MN5. También en Somosaguas se registra la primera aparición en Europa de *Conohyus*, que van der Made y Salesa (2004) consideran componente de una oleada de nuevos mamíferos (primates, cerdos y rumiantes) que aparecen simultáneamente en Europa Central y Occidental a finales de la zona MN5, y en la que incluyen premonitoriamente a *Cricetodon*.

Familia Gliridae THOMAS, 1897
Género *Armantomys* DE BRUIJN, 1966
Armantomys tricristatus LÓPEZ MARTÍNEZ *in* LÓPEZ MARTÍNEZ, SESÉ y SANZ, 1977

Armantomys se incluye dentro del grupo de lirones de molar asimétrico y su corona dentaria hipsodonta indicaría que es un grupo especialista en alimentación herbácea de tipo xerofítico, por lo que sería indicador de clima seco y espacios abiertos, (Luis y Hernando, 2000).

Género *Microdyromys* DE BRUIJN, 1967
Microdyromys koenigswaldi DE BRUIJN, 1966
Microdyromys monspeliensis AGUILAR, 1977

Las dos especies del género *Microdyromys* descritas en Somosaguas por Luis y Hernando (2000) se incluyen en el grupo de lirones de molar intermedio complicado. Estas especies se consideran cosmopolitas y se interpreta que podrían habitar tanto bosques como ambientes abiertos (Luis y Hernando, 2000).

Familia Sciuridae GRAY, 1821
Género *Heteroxerus* SCHAUB *in* STEHLIN & SCHAUB, 1951
Heteroxerus grivensis (FORSYTH MAJOR, 1909)

Las ardillas son los roedores menos representados en el yacimiento de Somosaguas. *Heteroxerus* es un género de ardillas terrestres, indicador de campo abierto y condiciones secas (Luis y Hernando, 2000).

Orden Lagomorpha Brandt, 1855

Familia Ochotonidae THOMAS, 1897

Los lagomorfos son micromamíferos con dientes muy hipsodontos que llegan a ser de crecimiento continuo, especializados en vegetación dura. Los dos taxones representados en Somosaguas aparecen en los dos tramos fosilíferos con un porcentaje relativamente reducido (1,1%). Ambos son de origen europeo y pertenecen a la familia de las picas.

Género *Lagopsis* SCHLSSER, 1884
Lagopsis penai (ROYO, 1928)

El género *Lagopsis* es muy frecuente en el Aragoniense y sería un género termófilo por su marcada distribución meridional durante el Mioceno europeo. La población de Somosaguas es compatible con la especie *L. penai* con morfología y tamaño transicional con la especie *L. verus* (Cuevas-González, 2005a, b).

Género *Prolagus* POMEL, 1853
Prolagus sp. cf. *P. oeningensis* KÖNIG, 1825

El género *Prolagus* presenta una distribución septentrional. La aparición de este género en la zona E (MN5) y su progresivo incremento simultáneo a la disminución de *Lagopsis* en la cuenca de Calatayud-Teruel ha sido interpretada como respuesta a una caída relativa de la temperatura y un incremento de la humedad entre las zonas E y F (referencias en Luis y Hernando, 2000).

Orden Insectivora Cuvier, 1817

Familia Erinaceidae BONAPARTE, 1838
Género *Galerix* POMEL, 1808
Galerix exilis (BLAINVILLE, 1839)

Galerix exilis es un taxón muy frecuente en el Mioceno europeo y se considera pariente de la

actual rata lunar, habitante de climas tropicales en el sudeste asiático.

Familia Soricidae GRAY, 1821
Género *Miosorex* KRETZOI, 1959
Miosorex sp. cf. *M. grivensis* (DEPÉRET, 1892)

Miosorex sp. cf. *M. grivensis* pertenece a la familia de las musarañas, y es un pequeño insectívoro cosmopolita.

Clase Aves Linnaeus, 1758

Gen. y esp. indet.

Se han recuperado dos falanges y un fragmento distal de tibio-tarso perteneciente a pequeños pájaros. Al tratarse de material muy escaso y fragmentario, solamente se ha podido llegar al nivel de clase en la determinación taxonómica.

Clase Reptilia Linnaeus, 1758

Orden Squamata Oppel, 1811

Familia Lacertidae BONAPARTE, 1831
Gen. y esp. indet.

Se han hallado en Somosaguas fragmentos de huesos maxilares y dentarios asociados a dientes pleurodontos, isodontos y más o menos cilíndricos de dos tipos: algunos bicuspidados de mayor tamaño, y otros de terminación cónica, unicúspides y de pequeño tamaño. Debido a lo escaso y fragmentario del material encontrado en Somosaguas no ha sido posible ser más preciso en su identificación taxonómica.

Familia Anguidae, OPPEL, 1811
Gen. y esp. indet.

Pertenecientes a esta familia se han identificado numerosas vértebras procélicas con la superficie ventral del centro lisa. Asimismo, aparecen muy frecuentes osteodermos de forma subrectangular o romboidal, con ornamentación de crestas y valles sinuosos. Ambos tipos de restos son propios de esta familia de saurios generalmente desprovistos de patas. Los ánguidos actuales son básicamente cavadores y requieren suelos vegetales muy desarrollados en climas o hábitats muy húmedos, donde viven generalmente enterrados.

Suborden Serpentes, LINNAEUS, 1758
Gen. y esp. indet.

Vértebras de reptiles provistas de zigosfeno y zigantro han sido identificadas en Somosaguas como pertenecientes a serpientes. Hasta el momento no ha sido posible ser más preciso en su identificación.

Orden Chelonia (=Testudines) (Batsch, 1788)

Gen. y esp. indet.

Los únicos restos fósiles de Somosaguas que han podido ser atribuidos a tortugas con seguridad son fragmentos de las placas del caparazón; debido al carácter fragmentario de los restos no ha sido posible realizar una identificación más precisa.

Tafonomía y preservación de la estructura osea (N.S.-B.; J.E)

Polonio y López Martínez (2000) realizaron un análisis tafonómico preliminar de los restos fósiles encontrados en Somosaguas durante las campañas 1998-1999. Somosaguas Norte presenta una mezcla de estados de conservación, encontrándose desde restos frágiles con superficies intactas, pasando por elementos redondeados por abrasión y huesos con reemplazamiento total o parcial por mineralización secundaria, hasta gran cantidad de esquirlas de tamaños muy variables y huesos descompuestos formados por masas pulverulentas. La mayoría de los huesos largos aparecen orientados frecuentemente en dirección N-S, y la dirección ortogonal (E-W) se presenta como segunda orientación preferente. La presencia de dos ejes perpendiculares de orientación se asocia con un proceso de transporte hidrodinámico. Los resultados de Polonio y López Martínez (2000) indicaron que el proceso de concentración de los restos se habría dado por transporte en masa, con una asociación mezclada de restos heterogéneos de huesos en posiciones a menudo inestables y cantos de tamaño grava flotando en coladas de sedimento viscoso. Este tipo de transporte en masa podría movilizar los restos previamente dispersos en superficie, con diferentes trayectorias tafonómicas previas, y desplazarlos flotando o empastados sin apenas fracturarlos ni rodarlos. Este esquema se ajusta a los modelos de abanicos aluviales en climas semiáridos con fuerte estacionalidad

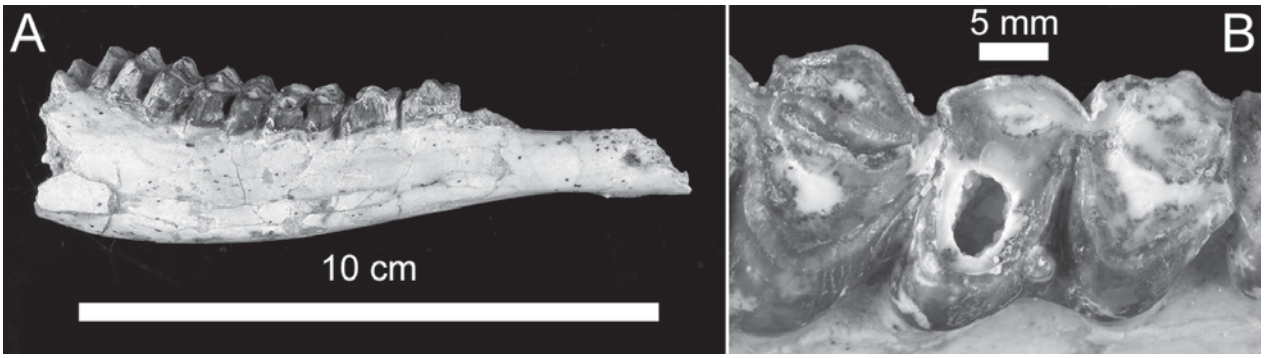

Fig. 12.—A) Hemimandíbula derecha de *Tethytragus* sp. (SOMN-2206). B) Detalle de una patología en el hipocónido del m1.

hídrica, en los cuales durante las épocas de lluvias torrenciales una descarga aluvial produce una importante movilización de sedimento denso de tipo *debris-flow*. La alta proporción de huesos juveniles sugeriría también una mortalidad estacional en períodos de sequía.

En el caso de Somosaguas Sur el estado de los macrorrestos es también fragmentario pero hay casos de piezas en conexión, no hay apenas señales de meteorización, y las esquirlas y fragmentos tienen los bordes generalmente angulosos y afilados. En este caso, parece ser que el tiempo de exposición a la intemperie de los restos óseos fue menor y que la mayor proporción de matriz arcillosa en el sedimento produciría un transporte en masa de tipo *mud-flow* aún menos abrasivo que en el caso de Somosaguas Norte (Polonio y López Martínez, 2000).

Una de las cuestiones que más interés ha despertado en el estudio de los fósiles de Somosaguas es la investigación paleohistológica desarrollada por Cuezva y Elez (2000a, b). Estos autores encontraron que las microestructuras histológicas de los huesos fósiles de mamíferos de Somosaguas se hallan muy bien preservadas. Entre otras, estos autores describieron microestructuras de tejido óseo laminar (osteonas, laminillas circunferenciales y láminas intersticiales) y no laminar (osteoplastos y conductos vasculares). El perfecto estado de conservación histológico de algunos de los restos de Somosaguas permitió realizar un análisis de los estadios de desarrollo en la microestructura ósea de la diáfisis de huesos largos (Cuezva y Elez, 2000b). Nuevamente, se pudo determinar la existencia de una elevada proporción de huesos juveniles. Las alteraciones observadas en los restos se asociaban de manera dominante a la presencia de microfilamentos que forman aglomeraciones de aspecto homogéno, atribuidas a organismos saprófitos (hongos o bacterias) que actuaron durante la etapa biostratinómica. Un segundo tipo de alteración es menos frecuente, de origen y temporalidad desconocidos, forma una estructura radial asociada a las osteonas (Cuezva y Elez, 2000a).

Finalmente, se ha realizado un estudio paleopatológico de una hemimandíbula de *Tethytragus* (SOMN-2206), que fue extraída en la campaña de excavación del año 2004 en el yacimiento de Somosaguas Norte (Sala-Burgos *et al.,* en prensa). Presenta un orificio en la dentina del hipocónido y un desgaste anómalo de la corona del m1 (fig. 12). La cavidad presenta unos bordes muy nítidos y conecta totalmente la cámara pulpar con la superficie oclusal. Además, el molar presenta recrecimiento de dentina reaccional, lo cual implica una regeneración de la lesión en vida. Dos hipótesis posibles y complementarias pueden explicar el origen de esta anomalía: un traumatismo y una caries dental. Un traumatismo provocado por la mordedura de un grano mineral o de cualquier otro objeto de gran dureza podría ser el origen de la patología, y las condiciones generadas por esta lesión serían propicias para el desarrollo de una caries dental. La reducción de la altura de la corona podría ser explicada por una fractura de la cúspide del hipocónido. La erosión o pulido observado en la superficie oclusal se produciría por oclusión anómala con el molar superior, que posiblemente resultó dañado por el mismo traumatismo. La infección de la pulpa dentaria no llegó a degenerar en una periostitis alveolar, ya que la zona ósea a nivel de la raíz no parece estar afectada. Esto podría indicar que este ejemplar de *Tethytragus* pudo morir antes de que la infección le afectase a la zona ósea.

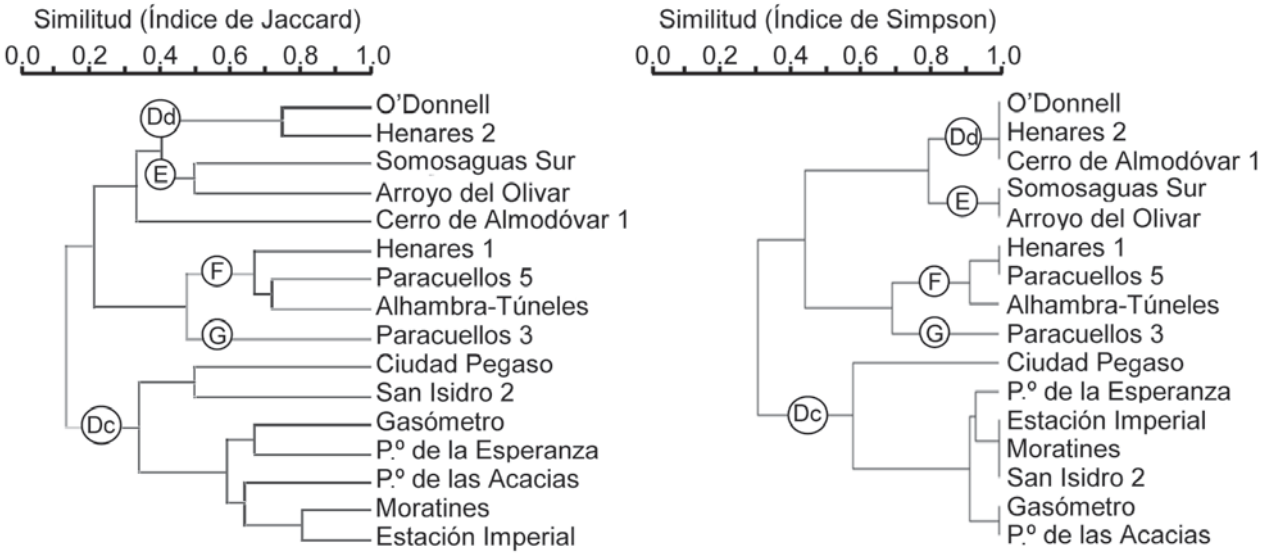

Fig. 13.—Dendrogramas de similitud entre las asociaciones de roedores del Aragoniense de Madrid. Se indican las agrupaciones correspondientes a las biozonas locales Dc, Dd, E (MN 5), F y G (MN 6).

Biocronología (N.S.-B.; B.C.; M.H.F.)

Los yacimientos de mamíferos fósiles del Mioceno Medio de Madrid se correlacionan con cinco biozonas locales (Dc, Dd, E, F y G), definidas en la cuenca de Calatayud-Daroca por Daams *et al*. (1999a). Los yacimientos de Somosaguas han sido situados en la biozona E, cuya edad ha sido calibrada en dicha cuenca alrededor de 14 millones de años (13,7 a 14,2 Ma; Luis y Hernando, 2000; Cuevas-González, 2005a).

Peláez-Campomanes *et al*. (2003) publicaron un estudio biocronológico sobre las faunas del Mioceno Medio de la Comunidad de Madrid, realizado mediante un análisis de semejanza faunística. Sus resultados confirmaron la separación de los cinco conjuntos temporales mencionados. En este trabajo repetimos dicho análisis incluyendo los yacimientos de Somosaguas. Se han analizado por separado las faunas de roedores y las de macromamíferos. Al igual que en Peláez-Campomanes *et al*. (2003), como medida de similitud se ha utilizado el índice de Jaccard (1908) Sin embargo, dado que este índice es muy sensible a las diferencias en el número de taxones de los distintos yacimientos, también se ha usado el índice de semejanza de Simpson (1960), que pondera la semejanza entre los diferentes yacimientos en función del número de especies presentes en el más pobre. Con los valores de semejanza obtenidos, se ha realizado un análisis de clasificación jerárquica (*cluster*) utilizando el programa informático PAST v. 1.53 (Hammer *et al.,* 2006) y el método UPGMA.

Roedores

Tras la aplicación de los dos índices de semejanza a las asociaciones de roedores de los diferentes yacimientos miocenos de la Comunidad de Madrid se han obtenido los resultados mostrados en la figura 13. En ambos análisis (Jaccard y Simpson) los yacimientos de las distintas biozonas forman tres grupos diferenciados. Los de la biozona Dc constituyen una agrupación singular claramente separada del resto (faunas con *Hispanotherium* de la MN 5; Morales *et al.,* 1993). Otro grupo lo forman, por un lado, los yacimientos de las biozonas Dd y E (MN 5) y, por otro, los de las biozonas F y G (MN 6, Aragoniense Superior), lo cual indica que las faunas de transición de las biozonas Dd y E fueron más similares a las del Aragoniense Superior que a las faunas con *Hispanotherium*.

Los dos dendrogramas ofrecen resultados comparables. Los yacimientos de Ciudad Pegaso, Paseo de la Esperanza, Estación Imperial, Moratines, San Isidro, Gasómetro 6 y Paseo de las Acacias constituyen un grupo bien caracterizado y correspondiente a la zona local Dc del Aragoniense Medio. Los yacimientos de la biozona E (Somosaguas Sur y

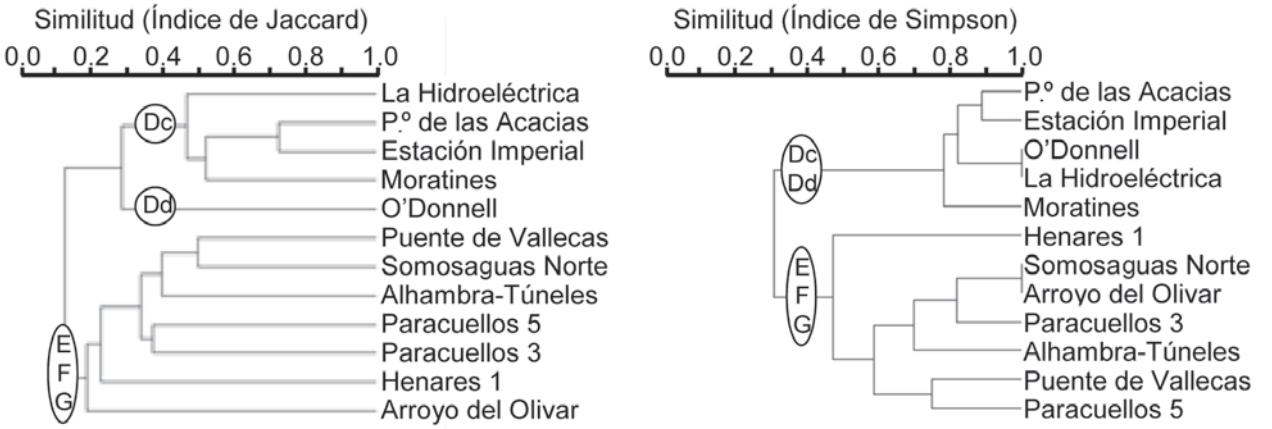

Fig. 14.—Dendrogramas de similitud entre las asociaciones de macromamíferos del Aragoniense de Madrid. Se indican las agrupaciones correspondientes a las biozonas locales Dc, Dd, E (MN 5), F y G (MN 6).

Arroyo del Olivar), caracterizados por *Democricetodon larteti* y *Megacricetodon collongensis*, se asocian con los yacimientos de la biozona Dd (O´Donnell y Henares 2, *Democricetodon koenigswaldi* y *M. collongensis*). Cerro de Almodóvar 1 se asocia a este grupo, aunque en posiciones diferentes dependiendo del análisis, debido al escaso número de especies que presenta. Los yacimientos correspondientes a la biozona F (Henares 1, Paracuellos 5 y Alambra-Túneles, con *D. larteti* y *Megacricetodon gersii*) aparecen separados de yacimientos precedentes y asociados a Paracuellos 3 (biozona G).

Macromamíferos

En los dendrogramas de la figura 14 se observa que mientras las faunas de las biozonas Dc y Dd han quedado diferenciadas, las de las biozonas E, F y G no se han separado adecuadamente. Diversos autores consideran que esto se debería a una gran continuidad entre las faunas de macromamíferos de los yacimientos de la biozona E y los de la biozona F (Morales y Soria, 1985 *fide* Peláez-Campomanes *et al.,* 2003).

Resulta de interés el hecho de que en este caso, la fauna de O´Donnell (Dd) se ha agrupado con las de la biozona Dc a diferencia de lo que ocurre con los roedores. Ello podría deberse a una diferenciación entre las faunas de macromamíferos de las biozonas D frente a las de E + F + G, pero este resultado puede estar sesgado por la escasa representación de grandes mamíferos en la biozona Dd (Peláez-Campomanes *et al.,* 2003).

Paleoecología y Paleoclimatología
(M.H.F.; J.C.-G.; L.D.; P.L.G.; N.L.M.)

Pickford & Morales (1994) plantearon la existencia de un límite fluctuante entre las Regiones Biogeográficas (RB) Paleártica y Paleotropical que ha condicionado el intercambio de especies entre África y Eurasia durante el Neógeno. La RB Paleártica está principalmente restringida a Eurasia y se caracteriza por cambios acusados en la temperatura y en la duración del día, por lo que su estacionalidad queda definida con la alternancia de estación fría y cálida. La RB Paleotropical está dominada por fluctuaciones importantes en la humedad a lo largo del año que producen una alternancia de estación seca y húmeda, restringiéndose a África y al sur de Asia (fig. 15). El límite dinámico entre ambas RB está definido por una Zona de Transición (ZT) en la que conviven los dos tipos de biotas y varía a favor de un vector principal de desplazamiento latitudinal controlado por factores astronómicos y climáticos. La ubicación geográfica de esta ZT ha condicionado el intercambio faunístico entre África y Eurasia en función de su posición con respecto a los puentes terrestres que unen ambos continentes.

En los siguientes apartados analizamos, desde un punto de vista paleoecológico, la situación de las faunas de Somosaguas dentro del contexto paleo-

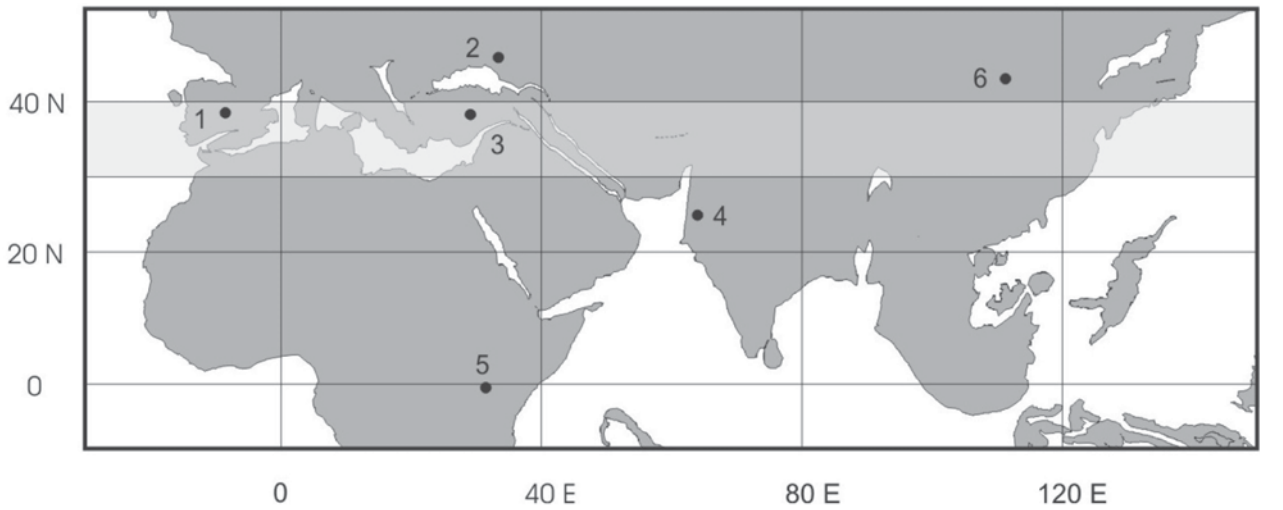

Fig. 15.—Distribución paleogeográfica de las áreas continentales de África y Eurasia hace 14 Ma (según el ODSN Plate Tectonic Reconstruction Service, disponible on-line en http://www.odsn.de/odsn/services/paleomap/paleomap.html). En gris claro se muestra la posición de la Zona de Transición (ZT) entre las regiones biogeográficas Paleártica y Paleotropical (según Pickford y Morales, 1994). Los yacimientos seleccionados (datos en tabla 5) son: 1) Somosaguas, 2) Belometchetskaya, 3) Paçalar, 4) Chinji, 5) Fort Ternan, 6) Tung Gur.

Tabla 5.—**Yacimientos de vertebrados del Mioceno medio incluidos en el estudio paleobiogeográfico**

Yacimientos	País	Edad (ma)	N.º géneros	Referencia
Tung Gur	China	12,0-13,0	52	Qiu y Qiu (1995)
Fort Ternan	Kenia	13,9	34	Shipman *et al*. (1981)
Somosaguas	España	13,8-14,1	20	Este trabajo
Chinji	Pakistán	12,0-14,5	58	Mahmood Raza, *et al*. (1983)
Paçalar	Turquía	15,0	45	Andrews, (1990)
Belometchetskaya	Rusia	14,0-15,5	24	Pickford, *et al*. (2000).

biogeográfico y paleoclimático global durante el Mioceno medio.

Paleobiogeografía

La buena representatividad del conjunto faunístico fósil recuperado en los yacimientos de Somosaguas, tanto de macro como de microvertebrados, ha permitido relacionarlo con el de otros cinco yacimientos de edad similar de África y Eurasia con el objeto de estudiar el patrón geeral de distribución de mamíferos en el Viejo Mundo durante el Mioceno medio. Para ello se seleccionaron un conjunto de yacimientos de África y Eurasia siguiendo como criterios la proximidad en su edad a los 14 Ma, la buena representatividad de la fauna local y el estudio completo tanto de macro- como micromamíferos en cada uno de ellos (tabla 5). Las listas faunísticas de cada localidad fueron introducidas en una matriz donde se incluyeron taxones identificados a nivel de género y familia. Finalmente, se ha utilizado el *software* de cálculo y representación gráfica PAST v. 1.53 (Hammer *et al.,* 2006), para elaborar los dendrogramas de semejanza entre los distintos yacimientos a partir de, nuevamente, los índices de semejanza de Jaccard y Simpson y el método UPGMA.

Los seis yacimientos considerados no muestran una agrupación congruente entre ambos análisis (fig. 16), debido a la gran diferencia en la riqueza de taxones entre ellos. En general, la fauna de Somosaguas resulta más similar a las faunas geográficamente más próximas (Paçalar y Belometchetskaya). Las conexiones biogeográficas de Paçalar con Chinji quedan de manifiesto en el análisis de Jaccard. Todos estos yacimientos están próximos a la Zona de Transición (ZT) fluctuante entre las Regiones Biogeográficas Paleártica y Paleotropical (fig. 15). La única fauna subsahariana considerada presenta unas mayores diferencias con los demás

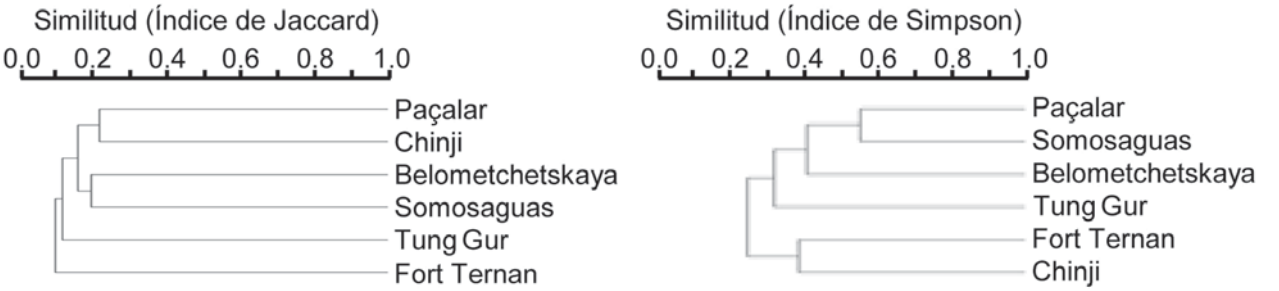

Fig. 16.—Relaciones de semejanza faunística entre faunas del Viejo Mundo hace unos 14 Ma (ver fig. 15), obtenidas a partir de los índices de Jaccard y Simpson.

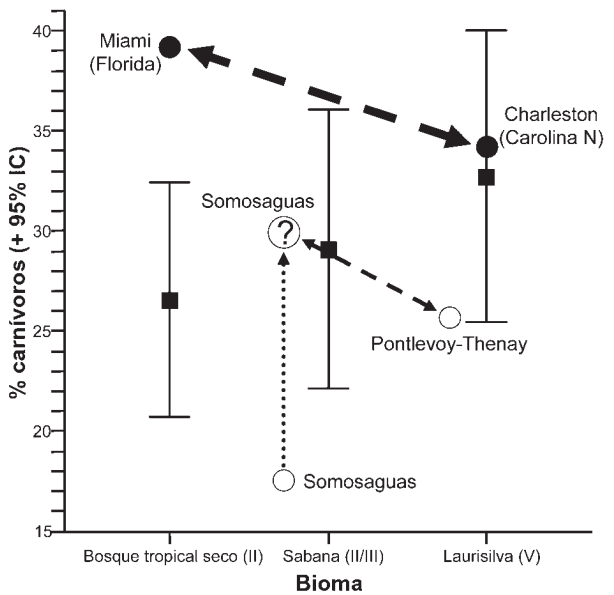

Fig. 17.—Proporción de carnívoros en las faunas de tres biomas tropicales y subtropicales (datos en Tabla 6). Se observan los cambios de proporción entre faunas continentales (Charleston) y peninsulares (Miami). Se incluyen las faunas miocenas de Pontlevoy-Thenay (continental) y Somosaguas (peninsular), donde se predice la existencia de una mayor proporción de carnívoros, que podría obtenerse al incrementarse el muestreo.

yacimientos, aunque según el índice de Simpson se agruparía con Chinji.

La fauna de Somosaguas, por tanto, a pesar de su lógica semejanza con las faunas europeas, resulta también próxima a las faunas de latitudes tropicales de Anatolia y Pakistán (en los márgenes del Tethys).

Estructura trófica de la comunidad

La estructura trófica de las comunidades de mamíferos también nos puede ofrecer indicaciones acerca de los factores biogeográficos que afectan a una asociación faunística. Las faunas continentales actuales de ambientes tropicales y subtropicales (tabla 6) muestran una proporción de carnívoros que oscila entre el 20 y el 40%. Se puede observar una tendencia hacia el aumento de la proporción de carnívoros entre los bosques tropicales secos y las laurisilvas (fig. 17), aunque no existen diferencias significativas entre los diferentes biomas (ANOVA; $F = 1{,}638$; $p = 0{,}235$). Estas proporciones se ven, sin embargo, muy modificadas en áreas peninsulares, debido a diversos condicionantes biogeográficos tanto ecológicos como históricos. Si además la región peninsular presenta un ambiente diferente al de la zona continental a la que está unida, las diferencias pueden ser aún mayores.

En la actualidad, una situación análoga a la que se daba entre la Península Ibérica y el resto de Europa durante el Neógeno se puede encontrar en el sureste de Norteamérica. El sur de la península de Florida está climáticamente definido por un clima tropical con estacionalidad de lluvias y, por ello, es diferente del bioma presente en el SE de Norteamérica (subtropical sin estacionalidad hídrica). Esto probablemente afecta a la distribución de las especies de herbívoros, actuando como una barrera o filtro para la dispersión de muchas especies continentales. Sin embargo, no supone ningún obstáculo para las especies de carnívoros, cuyos recursos alimentarios no son significativamente diferentes a uno u otro lado del ecotono entre ambos biomas. Por tanto, la combinación de los condicionantes biogeográficos y las mencionadas diferencias ambientales se ve reflejada en un acusado aumento de la proporción de carnívoros en Miami (Florida) respecto a la que se encuentra en Charleston (Carolina del Norte) (tabla 6).

Datos análogos a los de las faunas actuales se recopilaron para las faunas del Mioceno Medio de Pontlevoy-Thenay (centro de Francia) y de Somosaguas (Península Ibérica). Para determinar la estructura trófica de la comunidad de mamíferos de

Tabla 6.—**Estructura trófica, basada en las proporciones de herbívoros (Primates, Proboscidea, Hyracoidea, Perissodactyla, Artiodactyla, Rodentia, Lagomorpha), insectívoros (Didelphimorphia, Microbiotheria, Xenarthra –Dasypodidae–, Pholidota, Tubulidentata, Macroscelidea, Insectivora) y carnívoros (Carnivora, Creodonta), de las faunas de mamíferos de diferentes localidades actuales y de los yacimientos de Somosaguas y Pontlevoy-Thenay, así como del conjunto de yacimientos de la MN 5 de las cuencas de Madrid (Peláez-Campomanes *et al.,* 2003) y el Loira (Gingsburg, 1990; de Bruijn *et al.,* 1992)**

Clima	Localidad	Riqueza	% herbívoros	% insectívoros	% carnívoros
II	Roque Sáenz Peña	52	44,1	35,3	20,6
II	Ziguinchor	121	65,5	7,1	27,4
II	Moundou	121	60,0	12,5	27,5
II	Mtwara	153	63,0	13,0	24,0
II	Patna	70	61,9	4,8	33,3
II/III	Las Piedras	135	45,8	16,7	37,5
II/III	Catamarca	54	48,7	25,6	25,6
II/III	Zinder	105	56,0	14,7	29,3
II/III	Voi	171	66,9	10,5	22,6
II/III	Jaipur	68	58,7	10,9	30,4
III	Phoenix	73	64,7	2,0	33,3
III	Arica	11	60,0	20,0	20,0
III	Assuan	36	68,0	4,0	28,0
III	Mascate	23	56,3	12,5	31,3
III	Lüderitz Bay	70	60,4	10,4	29,2
V	Nueva Orleans	44	50,0	14,7	35,3
V	Corrientes	60	52,6	21,1	26,3
V	Puerto Montt	22	50,0	11,1	38,9
V	Foochow	73	53,8	9,6	36,5
V	Kagoshima	40	53,3	20,0	26,7
(II/III)	Somosaguas *(Mioceno peninsular)*	24	73,9	8,7	17,4
(II/III)	MN5 Cuenca de Madrid *(Mioceno peninsular)*	50	76,0	8,0	16,0
II	Miami (Florida) *(Moderno peninsular)*	35	42,9	17,9	39,3
(V)	Pontlevoy-Thenay *(Mioceno continental)*	47	68,1	6,4	25,5
(V)	MN 5 Cuenca del Loira *(Mioceno continental)*	48	66,7	6,3	27,1
V	Charleston (Carolina N) *(Moderno continental)*	43	46,9	18,8	34,4

Somosaguas se combinaron los datos procedentes de Somosaguas-Sur y de Somosaguas-Norte, dado que en el primero se han registrado principalmente micromamíferos, mientras que el segundo están mayoritariamente representados los macromamíferos. Ambos niveles pertenecen a la biozona local E y, por tanto, asumimos que no deben existir grandes diferencias temporales (ni paleofaunísticas) entre ellos. Del mismo modo, haciendo uso del concepto de metacomunidad (Loreau *et al.,* 2003; Leibold *et al.,* 2004), aunamos los datos procedentes de diferentes yacimientos de la unidad MN 5 en las cuencas de Madrid y el Loira, obteniendo resultados netamente comparables a los de las faunas de los yacimientos independientes (tabla 6).

La fauna miocena del centro de Francia se ajusta a las proporciones propias de una fauna de laurisilva continental. Sin embargo, la fauna de Somosaguas presenta una proporción de carnívoros muy inferior a la esperable, aún más si cabe dado que su fauna de herbívoros debería estar empobrecida debido a su ubicación peninsular y en un ambiente muy diferente del continental. Si tenemos en cuenta estos condicionantes biogeográficos resulta esperable que al aumentar el muestreo de este yacimiento aparezcan unas cuatro especies más de carnívoros.

Paleoclimatología

Macromamíferos

Hernández Fernández *et al*. (2003) realizaron un análisis paleoambiental de las faunas de macroma-

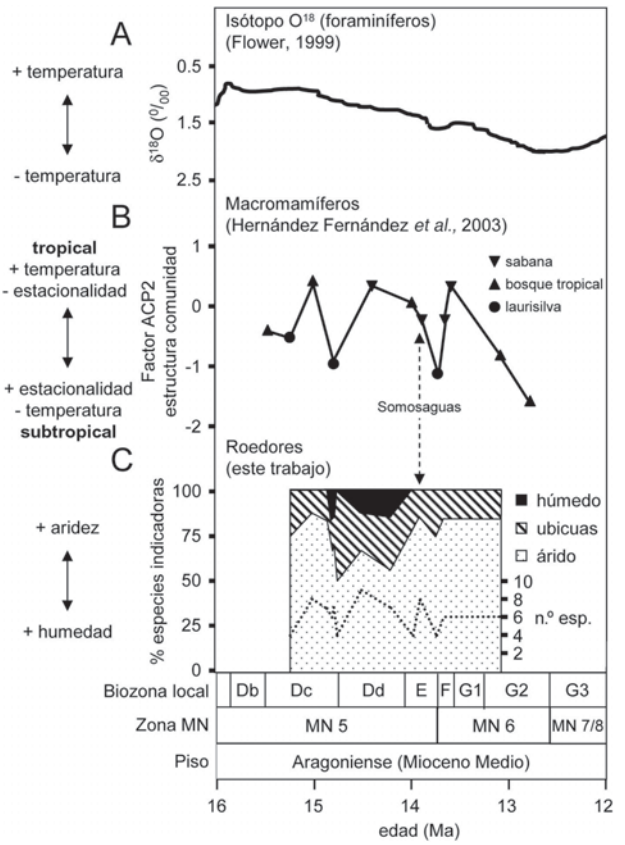

Fig. 18.—Cronología y reconstrucción paleoambiental del Mioceno Medio en la cuenca de Madrid. Se comparan diferentes líneas de evidencia. A) Registro global del isótopo O^{18} para foraminíferos (Flower, 1999). B) Evolución de un factor de la estructura taxonómica de las faunas de macromamíferos, como indicador de temperatura y estacionalidad térmica (Hernández Fernández *et al.,* 2003). Los biomas inferidos también son mostrados. C) Proporción de roedores asociados a diferentes ambientes (izq.) y riqueza de especies de roedores (der., línea discontinua) en los yacimientos madrileños.

míferos del Mioceno Medio de la Península Ibérica, que incluía la comunidad de Somosaguas. Dicho estudio se basó en un análisis de componentes principales (ACP) de la estructura taxonómica de esas faunas en combinación con faunas actuales de diferentes ambientes tropicales y subtropicales. Uno de los factores del ACP resultó significativamente correlacionado con temperatura y estacionalidad térmica. La figura 18B muestra los cambios observados en este factor para la sucesión de yacimientos de la cuenca de Madrid durante el Aragoniense. Se puede observar claramente una tendencia generalizada hacia el enfriamiento a lo largo de la secuencia, aunque modulada por diferentes eventos climáticos. En esta secuencia, aunque presenta una estructura de comunidad tropical, Somosaguas se sitúa en un momento de brusco enfriamiento, previo a un mínimo de temperatura relativo observable en la curva isotópica del $\delta^{18}O$ en foraminíferos (Flower, 1999).

Además de generar una curva de paleotemperatura relativa, Hernández Fernández *et al.* (2003) crearon un modelo estadístico, basado en análisis discriminante, que les permitió inferir el tipo de bioma correspondiente a cada una de las comunidades de macromamíferos estudiadas. Acorde con este modelo, la fauna de Somosaguas fue clasificada como perteneciente a una comunidad de sabana. Es importante tener en cuenta que estos autores realizaron un análisis a escala de bioma y que la variabilidad de hábitats en los biomas es considerable. En particular, en el bioma de tipo sabana se pueden encontrar ambientes muy variados en función de la disponibilidad hídrica en el suelo, topografía, dinámica de sucesión, etc. La cobertura vegetal puede variar en gran medida, desde una superficie herbácea con escasos árboles salpicados por el paisaje hasta una serie de bosquetes secos separados por superficies de pradera tropical, pasando por áreas eminentemente arbustivas con árboles dispersos.

Roedores

En la figura 18C se representan los porcentajes de especies de roedores representativas de ambientes húmedos o áridos encontradas en los distintos yacimientos de la cuenca de Madrid para el Aragoniense medio y superior. Siguiendo a Daams y van der Meulen (1989), cada especie se ha asimilado a un tipo de ambiente según sus patrones dentales, y se ha utilizado el término ubicuas para aquellas especies que presenten un carácter marcadamente generalista respecto a sus necesidades hídricas. Esta secuencia muestra una clara predominancia de las especies indicadoras de aridez. No obstante, podemos diferenciar tres fases climáticas. Existe una primera fase árida coincidente con las faunas con *Hispanotherium* de la biozona Dc. A continuación, iniciándose en el límite entre las biozonas Dc y Dd, se observa una segunda fase con la aparición de una serie de especies indicadoras de ambientes húmedos que podrían indicar una disminución relativa de la aridez, aunque las especies típicas de ambientes áridos siguen representando más del 50% del total. En el límite entre las biozonas Dd y E se produce un descenso drástico de las especies de ambiente

húmedo. Esta segunda fase árida, que se inicia en la biozona E en correspondencia con el máximo relativo de aridez inferido en los yacimientos de Somosaguas, continúa en las biozonas F y G.

Respecto a los cambios en riqueza de especies en las comunidades de roedores de la cuenca de Madrid, resulta destacable que hay tres máximos relativos de riqueza, coincidentes con las diferentes fases climáticas observadas (fig. 18C), mientras que en la transición entre ellas se produce disminución del número de especies, independiente del sentido de dicha transición (es decir, tanto en los cambios hacia mayor humedad, como en los ocurridos hacia mayor aridez).

Por otro lado, resulta de gran interés el hecho de que los cambios en riqueza aparecen correlacionados con los cambios en el número de especies típicas de ambientes áridos. Esto podría relacionarse con el hecho de que la cuenca de Madrid, y la Península Ibérica en general, se encontraban bajo un clima semiárido y, por tanto, el núcleo de las comunidades de mamíferos estaba determinado por este tipo de especies (Daams *et al.,* 1999b). Las perturbaciones ambientales que producirían los cambios climáticos darían lugar a una disminución de la riqueza por la desaparición de las especies más especializadas en los ambientes áridos. Durante las fases climáticas húmedas, la inmigración de especies de ambientes húmedos procedentes de otras zonas sería responsable del subsecuente aumento de riqueza en estas comunidades. Resultados similares fueron descritos para las comunidades de roedores de la cuenca de Calatayud-Daroca (Daams *et al.,* 1999b).

No obstante, se ha de tener en cuenta que la riqueza de especies se ve fuertemente afectada por la intensidad de muestreo en los yacimientos. Puesto que algunos de los estudiados aquí presentan números de restos relativamente bajos, nuestros resultados deben ser tomados con precaución, aunque son perfectamente compatibles con los presentados por otros autores en otras áreas.

Análisis isotópicos

El análisis de los isótopos estables de oxígeno y carbono en componentes de origen orgánico constituye una importante herramienta en los estudios sobre el clima del pasado. Una selección de fósiles y de sedimentos carbonáticos en los yacimientos de Somosaguas Norte y Somosaguas Sur fueron analizados en su contenido de isótopos estables $\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$ para observar las posibles tendencias en la variación de estos valores. El muestreo se centró en los géneros *Gomphotherium* y *Anchitherium* como las especies de mamíferos más adecuadas para estudios paleoclimáticos, siguiendo los criterios de Luz *et al.* (1984) ya que son los grandes herbívoros con mayor abundancia de restos en los yacimientos de Somosaguas. En total fueron seleccionadas 24 muestras, de las cuales 18 corresponden a esmalte dental (fragmentos mayores de 2 cm de molares de individuos adultos) y 6 a carbonatos edáficos.

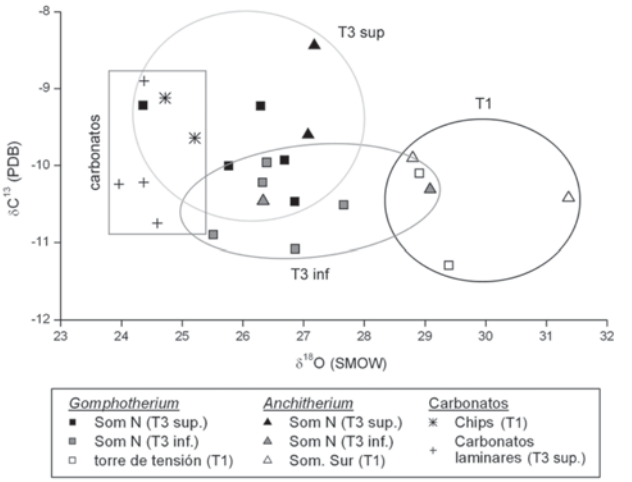

Fig. 19.—Distribución de los valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{18}O$ en el esmalte dental de *Gomphotherium* y *Anchitherium* y en los carbonatos edáficos del yacimiento de Somosaguas.

Los valores isotópicos de $\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$ del esmalte dentario fueron medidos en la fase carbonática del hidroxiapatito (carbonato estructural). Este tejido mineral es susceptible de ser alterado por procesos diagenéticos que pueden cambiar la relación isotópica original de los tejidos óseos, alcanzando valores próximos a la composición del suelo (Kohn y Law, 2006). Por ello, se analizaron carbonatos de origen edáfico (dos *chips* del tramo T1 del yacimiento de Somosaguas Sur y seis calcretas laminares del tramo T3, niveles superior e inferior), con el objetivo de obtener la señal isotópica de origen diagenético temprano en los mismos puntos de muestreo de los restos fósiles. Estos datos proceden del estudio realizado por Cuevas-González (2006).

Los resultados de los análisis se muestran en la figura 19. Los valores isotópicos de las muestras se ofrecen en los valores estándar PDB para carbono y SMOW para oxígeno. Se puede observar el amplio

Tabla 7.—**Medias de los valores isotópicos de tres conjuntos de muestras para los tres tramos estratigráficos sucesivos de los yacimientos de Somosaguas**

	$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)			$\delta^{13}C$ (‰ PDB)			
Tramos	*Gomphotherium*	*Anchitherium*	Carbonatos	*Gomphotherium*	*Anchitherium*	Carbonatos	n
T3 sup	25,99	27,13	24,16	–9,77	–9,02	–9,57	9
T3 inf	26,55	27,71	24,48	–10,53	–10,38	–10,49	9
T1	29,15	30,08	24,97	–10,7	–10,16	–9,38	6
n	12	6	6	12	6	6	24

Se observa una clara tendencia a la disminución del $\delta^{18}O$ y el aumento de $\delta^{13}C$ en la sucesión temporal. n: número de muestras.

rango de dispersión de los valores de $\delta^{18}O$ de las muestras de esmalte (7‰, entre 24,36 y 31,36‰) respecto al rango de los carbonatos edáficos (que varían sólo 1,26‰, entre 23,95 y 25,21‰). La dispersión de valores de $\delta^{13}C$ es intermedia, con un rango de 3‰ aproximadamente.

En el conjunto de molares de *Gomphotherium* y *Anchitherium* se observa una clara correlación entre la posición estratigráfica y la variación isotópica. Los valores medios del carbonato biogénico (tabla 7) muestran una tendencia a la disminución en $\delta^{18}O$ y al aumento de $\delta^{13}C$ en niveles estratigráficos progresivamente superiores (más recientes). Los carbonatos edáficos muestran igualmente una tendencia clara a disminuir los valores de $\delta^{18}O$ a lo largo de la sucesión, confirmando los datos biogénicos, pero se mantienen estables respecto al $\delta^{13}C$.

Las diferencias en los rangos de dispersión de valores de $\delta^{18}O$ de muestras de esmalte y carbonato nos permiten estimar que las señales isotópicas han sufrido pocas variaciones diagenéticas en Somosaguas, pues la diagénesis induce procesos de recristalización (disolución y reprecipitación) que tienden a acercar los valores de $\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$ de todos los componentes minerales a los que prevalecen en el suelo (Kohn y Law, 2006).

Los datos isotópicos de $\delta^{18}O_{CO3}$ de Somosaguas permiten realizar un cálculo para inferir las paleotemperaturas, que deberá ser corroborado en el futuro por medio del análisis del $\delta^{18}O_{PO4}$. De forma preliminar, hemos obtenido a partir del esmalte valores isotópicos significativos del agua ingerida de $\delta^{18}O_{H2O}$ (SMOW) entre -8,43 y -2,88‰, y valores promedio de paleotemperatura de 26,6 °C en el tramo T1, 18,2 °C en el tramo T3 inferior y 15,7 °C en el tramo T3 superior (tabla 8, fig. 20). Los resultados del análisis isotópico en los carbonatos edáficos aplicando el método de Koch *et al*. (1995) arrojan resultados muy similares (tabla 8).

Estos resultados deben ser considerados con precaución, pues se asume que el valor isotópico obtenido del $\delta^{18}O$ del agua es el valor original de ingesta de los mamíferos y similar al agua a partir de la que precipita el carbonato que debe formarse en equilibrio isotópico con el agua del suelo (Koch *et al.,* 1995). No obstante, resultan ser muy similares a los que calculan Frakes *et al*. (1994, 15-20 °C para una paleolatitud de 40 °N, similar a la de Somosaguas en aquel momento) y Böhme (2003, caída de 7 °C de temperatura hasta valores mínimos de 15,4-14,8 °C) durante el deterioro climático del Mioceno medio.

Los datos de $\delta^{13}C$ en el esmalte dental de herbívoros fósiles es generalmente utilizado para obtener información sobre el hábito alimentario empleado por cada individuo. No obstante, además de esto también tienen importancia en la interpretación paleoclimática. Según Kohn y Law (2006), en ecosistemas dominados por plantas C3 (bien sean ecosistemas actuales con ausencia de plantas C4 o ecosistemas anteriores al Mioceno superior), el valor de $\delta^{13}C$ de los paleosuelos y, por extensión, del esmalte de mamíferos, se correlaciona con la tasa de precipitación, con la productividad vegetal y con la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación media anual. Valores altos de $\delta^{13}C$ dentro del rango de variación de las plantas C3 indicarían condiciones más áridas que los valores bajos.

Los valores de $\delta^{13}C$ obtenidos a partir de los mamíferos analizados en Somosaguas son indicativos de una dieta basada principalmente en plantas C3 como es lógico pues las plantas C4 no son abundantes hasta el Mioceno final (Cerling *et al.,* 1993). El rango de variación abarca desde –11,66‰ hasta -9,02‰, de modo que al aplicar el factor de fraccionamiento establecido entre el valor de $\delta^{13}C$ de las plantas y el registrado por el esmalte dental en herbívoros (12-14‰), se obtienen valores de –24,66‰

Tabla 8.—**Valores de $\delta^{18}O$ (‰ SMOW) en las fases carbonática y fosfática de las muestras de esmalte dental de los géneros *Anchitherium* y *Gomphotherium* y de su agua de ingesta, de los carbonatos edáficos y de la temperatura calculada a partir de ellos**

Sigla	Tramo	Muestra	Taxón	$\delta^{18}O_{CO3}$	$\delta^{18}O_{PO4}$	$\delta^{18}O_{H2O}$	T (°C)		Medias	
SOMN-03-1831	T3 sup	Esmalte	*Gomphotherium*	26,69	17,66	–6,00	17,44			
SOMN-03-1551		Esmalte	*Gomphotherium*	24,36	15,37	–8,43	10,40			
SOMN-02-B11		Esmalte	*Gomphotherium*	26,86	17,82	–5,83	17,92		15,3	
SOMN-03-A10		Esmalte	*Gomphotherium*	26,29	17,27	–6,42	16,26			15,7
SOMN-02-1085		Esmalte	*Gomphotherium*	25,77	16,75	–6,96	14,70			
SOMN-03-1526		Esmalte	*Anchitherium*	27,18	18,51	–5,31	16,27		16,1	
SOMN-03-1676		Esmalte	*Anchitherium*	27,07	18,41	–5,44	15,86			
SOMN-03-F2	T3 inf	Esmalte	*Gomphotherium*	26,86	17,83	–5,83	17,94			
SOMN-02-1191		Esmalte	*Gomphotherium*	27,66	18,61	–4,99	20,30			
SOMN-03-1581		Esmalte	*Gomphotherium*	25,51	16,50	–7,23	13,94		17,0	
SOMN-02-1073		Esmalte	*Gomphotherium*	26,32	17,30	–6,39	16,34			18,2
SOMN-03-1666		Esmalte	*Gomphotherium*	26,39	17,37	–6,31	16,55			
SOMN-03-1597		Esmalte	*Anchitherium*	26,33	17,68	–6,39	14,32		19,3	
SOMN-03-1810		Esmalte	*Anchitherium*	29,08	20,38	–2,88	24,35			
SOMS-04-HIL(A)	T1	Esmalte	*Anchitherium*	28,80	20,09	–3,26	23,11		28,5	
SOMS-98		Esmalte	*Anchitherium*	31,36	22,61	0,01	33,96			26,6
TT-A		Esmalte	*Gomphotherium*	29,39	20,31	–3,18	25,42		24,7	
TT-B		Esmalte	*Gomphotherium*	28,91	19,83	–3,69	23,99			
CBT-SOMN-A3	T3 sup	Calcreta		24,37			14,21[a]	15,25[b]	15,6	
CBT-SOMN-B11		Calcreta		23,96			15,93[a]	16,99[b]		
CBT-SOMN-E10	T3 inf	Calcreta		24,37			16,64[a]	20,14[b]	17,92	
CBT-SOMN-E6		Calcreta		24,59			15,71[a]	19,17[b]		
CBT-SOM5-1	T1	*Chip*		25,21			24,81[a]	31,16[b]	29,17	
CBT-SOM5-2		*Chip*		24,72			27,11[a]	33,61[b]		

Los valores de $\delta^{18}O_{CO3}$ se han medido experimentalmente, mientras que los de $\delta^{18}O_{PO4}$ y $\delta^{18}O_{H2O}$ se han calculado a partir de las ecuaciones de equilibrio de las fases fosfática y carbonática en el hidroxilapatito del esmalte: Iacumin *et al.* (1996) y Bryant *et al.* (1996) para $\delta^{18}O_{PO4}$ y Ayliffe *et al.* (1992) y Tütken (en prensa) para $\delta^{18}O_{H2O}$. Las temperaturas obtenidas a partir del esmalte se obtuvieron de la ecuación de Yurtsever y Gat (1981). En el caso de las muestras de carbonatos edáficos las temperaturas se calcularon a partir de la ecuación de Koch *et al.* (1995): *a)* a partir de valores de $\delta^{18}O$ de *Gomphotherium* y, *b)* a partir de valores de $\delta^{18}O$ de *Anchitherium.*

a –22,02‰, más altos que el valor medio típico establecido para las plantas C3 (–27‰), lo que indicaría condiciones áridas. El aumento de los valores de $\delta^{13}C$ desde los tramos T1 hasta T3 superior puede estar relacionado con un cambio hacia condiciones más secas en la región, siguiendo las interpretaciones de Kohn y Law (2006). Ya Luis y Hernando (2000) observaron en el yacimiento de Somosaguas Sur (tramo T1) un predominio de taxones de micromamíferos indicadores de ambientes áridos (*Fahlbuschia*, *Armantomys*, *Heteroxerus* y *Lagopsis*). Según el registro isotópico, estas condiciones se habrían intensificado desde el tramo T1 hasta el tramo T3.

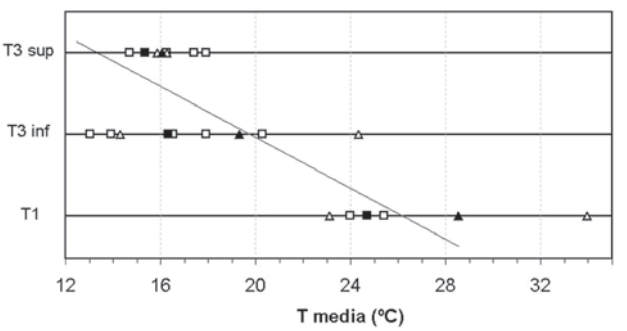

Fig. 20.—Valores de temperatura en cada tramo de la serie de Somosaguas, calculados a partir del $\delta^{18}O$ del esmalte dental de *Anchitherium* (triángulos) y *Gomphotherium* (cuadrados); en negro, valores medios. La recta representa la regresión lineal de los valores medios.

Evolución climática durante el Mioceno medio

Los análisis isotópicos obtenidos en el presente trabajo son congruentes con las curvas isotópicas marinas, que indican un aumento de los valores de $\delta^{18}O$ en secciones de todo el mundo durante el Mioceno medio, tendencia que es interpretada en el registro marino como un enfriamiento global (Abreu y Anderson, 1998; Zachos *et al.,* 2001 y referencias allí citadas). Esta caída en las temperaturas está relacionada con el establecimiento del casquete de hielo antártico oriental (Savin *et al.,* 1975), con rápido descenso de las temperaturas entre 15 y 13 Ma aproximadamente, que alcanzó en latitudes medias y altas los valores de temperatura de fondo oceánico más bajos de todo el Terciario (Flower y Kennett, 1994).

El registro continental ha sido clásicamente menos explorado desde un punto de vista isotópico y paleoclimático, pero también se han detectado señales del enfriamiento global. Según Böhme (2003) estas respuestas se habrían producido algo más tarde (entre 14 y 13,5 Ma). López Martínez *et al.* (2000a) recalcan que la etapa árida registrada en Somosaguas se corresponde con el enfriamiento detectado en los océanos y continentes de latitudes altas hace aproximadamente unos 14 Ma.

Como conclusión, el estudio preliminar de los isótopos estables en los yacimientos de Somosaguas permite inferir un rápido deterioro climático, detectándose una importante caída de la temperatura (que se puede estimar en unos 9 °C, de 26 a 15 °C) y de la humedad a lo largo de la sucesión entre el tramo T1 y el tramo T3 superior. Los datos de Somosaguas son consistentes tanto sobre esmalte de distintos mamíferos (mastodontes y équidos) como sobre carbonatos edáficos. Este rápido deterioro climático detectado en la sucesión de Somosaguas se enmarca dentro del cambio global observado tanto en las curvas isotópicas marinas como en las faunas de mamíferos correspondientes al Mioceno medio alrededor de 14 Ma, que es la edad estimada para los yacimientos de Somosaguas (Luis y Hernando, 2000).

En medios continentales es posible además evaluar el factor climático de la pluviosidad, inaccesible para el registro geológico marino. Los estudios previos indican una importante aridez en este período en la Península Ibérica. Las curvas de paleoprecipitación para el Mioceno medio de las cuencas de Calatayud-Daroca (van der Meulen y Daams, 1992) y Madrid (Fraile *et al.,* 2000), basadas en la abundancia relativa de diversos taxones de mamíferos, muestran una aridez creciente durante el Aragoniense inferior, alcanzando el máximo en el Aragoniense medio y aumentando la pluviosidad posteriormente durante el Aragoniense superior. La diferencia más notable entre ambas curvas radica en que según van der Meulen y Daams (1992) el máximo de aridez se situaría en la biozona E (que corresponde con Somosaguas) mientras que según Fraile *et al.* (2000) se situaría en la biozona D, con un aumento en la humedad en la biozona E. Cuevas-González (2005) ha propuesto que el máximo de aridez en la cuenca de Madrid ocurre más probablemente en la biozona E, al igual que en la cuenca de Calatayud-Daroca. Desde el punto de vista sedimentológico, este autor propone que los grandes abanicos aluviales desarrollados en la Unidad Intermedia (a la que pertenecen los yacimientos de Somosaguas) corresponden a un clima más árido que el que existió durante la formación de los grandes depósitos evaporíticos de la Unidad Inferior. Esta interpretación es congruente con los resultados presentados aquí sobre la riqueza de especies de ambiente árido en las faunas de roedores. También Hernández Fernández *et al.* (2003) detectaron ambientes con sequía prolongada de manera intermitente a lo largo del Aragoniense de Madrid, separados por momentos de incremento de la humedad, asociados con diversas oscilaciones climáticas acontecidas durante el Mioceno medio (fig 18B). Según estos autores la mayor concentración de faunas de sabana se dio en las biozonas E y F, produciéndose un incremento en el número de yacimientos con formas de *Anchitherium* adaptadas a ambientes abiertos. La desaparición de *Hispanotherium* en este período se relaciona con el brusco enfriamiento detectado en la biozona E (Cerdeño y Nieto, 1995), aunque también prodría relacionarse con el pulso de humedad detectado en la biozona Dd, entre las fases áridas Dc y E-F (fig. 18C).

Conclusiones

Hasta el momento se han descubierto en Somosaguas dos tramos sedimentarios fosilíferos, con una edad estimada de unos 14 millones de años (Mioceno Medio), que han proporcionado 23 especies de mamíferos junto a diversas aves y reptiles, y datos de gran importancia para el conocimiento de las faunas y los ambientes predominantes en la cuenca de Madrid para esta época. Ambos niveles presen-

tan características particulares que como resultado dan lugar a un registro complementario: Somosaguas Norte es, esencialmente, un yacimiento de macromamíferos, mientras que en Somosaguas Sur se encuentran principalmente micromamíferos. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran cómo las faunas de Somosaguas vivieron en un bioma de tipo sabana, en un clima tropical semiárido con estacionalidad hídrica muy marcada dentro de un área de transición entre las regiones biogeográficas Paleártica y Paleotropical. La formación del yacimiento resulta de la resedimentación de huesos variablemente desarticulados, alterados y fragmentados procedentes de una importante mortalidad juvenil de poblaciones démicas, sometidos a un transporte en masa en un medio de abanicos aluviales y en relación con la existencia de un lago en la localidad, el cual pudo resultar un importante elemento de atracción para la fauna de vertebrados de la región en épocas de sequía.

En este ambiente lacustre debió encontrar refugio el rinoceronte de hábitos anfibios *Prosantorhinus douvillei*, que se cita por vez primera en las cuencas centrales de la Península Ibérica. También se registra en Somosaguas el más antiguo representante del suido *Conohyus simorrense*, miembro de una oleada de especies invasoras de origen oriental de la que también forma parte el hámster gigante *Cricetodon soriae* nov. sp., descrito en este trabajo.

Las evidencias sedimentológicas, mineralógicas, faunísticas y geoquímicas, han permitido inferir una tendencia al incremento de la aridez y a la disminución de la temperatura a lo largo de la secuencia de Somosaguas que se ajusta con una importante crisis paleoclimática global detectada en el Mioceno Medio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda de numerosos colegas y estudiantes de la Universidad Complutense de Madrid, que han participado en las excavaciones paleontológicas realizadas en los yacimientos de Somosaguas, así como en el procesado y restauración del material recolectado.

La Universidad Complutense de Madrid (UCM), la Comunidad Autónoma de Madrid (CAM) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCYT) han proporcionado financiación para la realización de dichas excavaciones a lo largo del último lustro (AE00-0256-DIF). La realización de este trabajo se enmarca dentro de los proyectos BTE2002-1430, BTE2003-03001, CGL2004-02094/BTE, CGL2005-03900/BTE, CGL2006-01773/BTE y CGL2006-04646/BTE del Ministerio de Educación y Ciencia y PR1/06-14470-B de la Universidad Complutense de Madrid. La UCM y la CAM concedieron ayudas a los grupos de investigación UCM-CAM 910161 sobre Registro Geológico de Períodos Críticos: Factores Paleoclimáticos y Paleoambientales y UCM-CAM 910607 sobre Evolución de Mamíferos y Paleoambientes Continentales Cenozoicos. M.H.F. disfruta de un contrato UCM del Programa «Ramón y Cajal» del Ministerio de Educación y Ciencia. M.J.S. disfruta de un contrato CSIC del Programa «Juan de la Cierva» del Ministerio de Educación y Ciencia.

Referencias

Agustí, J. (1999). A critical re-evaluation of the Miocene mammal units in Western Europe: dispersal events and problems of correlation. En: *Evolution of Neogene Terrestrial Ecosystems in Europe* (Agustí, J., ed.). Vol. 1. Cambridge University Press, 84-112.

Agustí, J., Cabrera, L., Garcés, M., Krijgsman, W., Oms, O. y Pares, J. M. (2001). A calibrated mammal scale for the Neogene of Western Europe; state of the art. *Earth Planet. Sci. Letters,* 52: 247-260.

Alonso-Zarza, A. M., Calvo, J. P., Silva, P. G. y Torres, T. (2004). Cuenca del Tajo. Capítulo 6: Cuencas cenozoicas. En: *Geología de España* (Vera, J. A. ed.). IGME, Madrid, 556-559.

Andrews, P. (1990). Palaeoecology of the Miocene fauna from Pasalar, Turkey. *J. Hum. Evol.*, 19: 569-582.

Ayliffe, L. K., Lister, A. M. y Chivas, A. R. (1992). The preservation of glacial-interglacial climatic signatures in the oxygen isotopes of elephant skeletal phosphate. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.,* 99: 179-191.

Bolle, M. P. y Adatte, T. (2001). Paleocene-early Eocene climatic evolution in the Tethyan realm: clay mineral evidence. *Clay Miner.,* 36: 249-261.

de Bruijn, H., Daams, R., Daxner-Höck, G., Fahlbusch, V., Ginsburg, L., Mein, P. y Morales, J. (1992). Report of the RCMNS working group on fossil mammals, Reisensburg 1990. *Newsl. Stratigr.,* 26: 65-118.

de Bruijn, H., Fahlbusch,V., Sarac, G. y Ünay, E. (1993). Early Miocene rodent faunas from the Eastern Mediterranean area. Part III. The genera *Deperetomys* and *Cricetodon* with a dicussion of the evolutionary history of the Cricetodontini. *P. K. Ned. Akad. Wetensc., Serie B,* 96: 151-216.

Belinchon, M. y Robles, F. (1984). Los Rinocerónticos fósiles del Mioceno inferior de Buñol (Valencia). *Estudios Geol.*, 40: 61-80.

Bryant, J. D., Koch, P. L., Froelich, P. N., Showers, W. J. y Genna, B. J. (1996). Oxygen isotope partitioning between phosphate and carbonate in mammalian apatite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60: 5145-5148.

Calvo, J. P., Alonso-Zarza, A. M. y García del Cura, M. A. (1989a). Models of Miocene marginal lacustrine sedimentation in response to varied depositional regimes and source areas in the Madrid basin (central Spain). *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.,* 70: 199-214.

Calvo, J. P., Ordóñez, S., García del Cura, M. A., Hoyos, M., Alonso-Zarza, A. M., Sanz, E. y Rodríguez-Aran-

da, J. P. (1989b). Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid. *Acta Geol. Hispánica,* 24: 281-298.

Cerdeño, E. (1989). *Revisión de la sistemática de los rinocerontes del Neógeno de España*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

Cerdeño, E. (1992). Spanish Neogene Rhinoceroses. *Palaeontology*, 35: 297-308.

Cerdeño, E. (1993). Étude sur *Diaceratherium aurelianense* et *Brachypotherium brachypus* (Rhinocerotidae, Mammalia) du Miocène moyen de France. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat.,* 4 sér., 15 C: 25-77.

Cerdeño, E. (1996). *Prosantorhinus*, the small teleoceratine rhinocerotid from the Miocene of Western Europe. *Geobios*, 29: 111-124.

Cerling, T. E., Wang, Y. y Quade, J. (1993). Expansion of C4 ecosystems as an indicator of global ecological change in the late Miocene. *Nature*, 361: 344-345.

Collinson, J. D. (1978). Alluvial sediments. En: *Sedimentary environments and facies* (Reading, H. G., ed.). Blackwell Sci. Publ., London, 15-60.

Colombo, F. (1989). Abanicos aluviales. En: (Arche, A. ed.). *Sedimentología. Vol. I. Nuevas tendencias*. CSIC. Madrid, 143-218.

Cuevas-González, J. (2005a). Estado actual de los conocimientos paleontológicos y estratigráficos de los yacimientos aragonienses de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios Paleont*., 55: 103-124.

Cuevas-González, J. (2005b). *Estudio paleoambiental de los yacimientos aragonienses de Somosaguas (Pozuelo, Madrid)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid, 70 págs.

Cuevas-González, J. (2006). *Estudio isotópico de ^{13}C y ^{18}O en sedimentos y fósiles de los yacimientos de Somosaguas del Mioceno medio (cuenca de Madrid)*. Diploma de Estudios Avanzados, Universidad Complutense de Madrid, 32 págs.

Cuevas-González, J. y Elez, J. (2006). Arquitectura deposicional de un depósito aluvial basada en la distribución de fósiles de vertebrados del Mioceno de Somosaguas (Madrid). En: *XXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología* (Fernández-Martínez, E. ed.), Universidad de León, 110-111.

Cuezva, S. y Elez, J. (2000a). Estudio preliminar de la microestructura de los huesos fósiles de mamíferos de Somosaguas (Mioceno Medio, Madrid). *Coloquios Paleont*., 51: 137-157.

Cuezva, S. y Elez, J. (2000b). Reconocimiento del estadio de desarrollo en la microestructura de los huesos fósiles de mamíferos (Somosaguas y Layna). *Coloquios Paleont*., 51: 159-174.

Daams, R. y van der Meulen, A. J. (1989). Implicaciones paleoclimáticas y paleoecológicas de las sucesiones de micromamíferos en el Neógeno de la cuenca de Calatayud-Teruel. En: (Aguirre, E. coord.) *Paleontología: nuevas tendencias* Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 223-235.

Daams, R., van der Meulen, A. J., Álvarez Sierra, M. A., Peláez-Campomanes, P. y Krijgsman, W. (1999a). Aragonian stratigraphy reconsidered, and a re-evaluation of the middle Miocene mammal biochronology in Europe. *Earth Planet. Sci. Letters*, 165: 287-294.

Daams, R., van der Meulen, A. J. Peláez-Campomanes, P. y Álvarez-Sierra, M. A. (1999b). Trends in rodent assemblages from the Aragonian (Early-Middle Miocene) of the Calatayud-Daroca Basin, Aragon, Spain. En: *Hominoid evolution and climatic change in Europe. Vol. 1. The evolution of Neogene terrestrial ecosystems in Europe* (Agustí, J. Rook, L. y Andrews, P. eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 127-139.

Daxner-Hock, G. (2003). Cricetodon meini and other rodents from Mühlbach and Grund, Lower Austria (Middle Miocene, late MN5). *Ann. Natur. Mus. Wien*, 104 A: 267-291.

De Vicente, G., Calvo, J. P. y Muñoz Martín, A. (1996). Neogene tectono-sedimentary review of the Madrid Basin. En: *Tertiary basins of Spain, the stratigraphic record of crustal kinematics, vol. 6, World and Regional Geology* (Friend, P. F. y Dabrio, C. J. eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge, 268-271.

Elez, J. (2005). *Aplicación GIS 3D a los yacimientos paleontológicos de Somosaguas*. Diploma de Estudios Avanzados, Universidad Complutense de Madrid, 39 págs.

Fesharaki, O. (2005). *Mineralogía y Sedimentología del yacimiento Paleontológico de Somosaguas (Mioceno, Cuenca de Madrid).* Diploma de Estudios Avanzados, Universidad Complutense de Madrid, 147 págs.

Flower, P. (1999). Palaeoclimatology: Warming without high CO_2. *Nature*, 399: 313-314.

Flower, P. y Kennett, J. P. (1994). The middle Miocene climatic transition: East Antartic ice sheet development, deep ocean circulation and global carbon cyclin. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.,* 108: 537-555.

Fraile, S., Amezúa, L., Morales, J., Nieto, M., Peláez-Campomanes, P., Salesa, J. M. y Sánchez, I. M. (2000). Marco general del Terciario. En: (Morales, J. ed.) *Patrimonio paleontológico de la Comunidad de Madrid* Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, Madrid, 85-93.

Freudenthal, M. (1963). Entwicklungsstufen der Miozänen Cricetodontinae (Mammalia, Rodentia) Mittelspaniens und ihre stratigraphische Bedeutung. *Beaufortia*, 10: 51-157.

Freudenthal, M. (1966). On the mammalian fauna of the *Hipparion*-beds in the Calatayud-Teruel Basin (Prov. Zaragoza, Spain). Ia, part I, The genera *Cricetodon* and *Ruscinomys* (Rodentia). *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen,Serie B,* 69: 296-317.

Freudenthal, M. (2006). The status of *Democricetodon*, *Fahlbuschia*, *Pseudofahlbuschia* and *Renzimys* (Cricetidae, Mammalia). A reply to van der Meulen *et al.* (2004). *Geobios,* 39: 43-55.

Gingsburg, L. (1990). The faunas and stratigraphical subdivision of the Orleanian in the Loire Basin (France). En: *European Neogene Mammal Chronology* (Lindsay, E. H., Fahlbusch, V. y Mein, P., eds.), Plenum Press, New York, 157-176.

Hammer, O., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2006). *PAST-PAlaeontological STatistics*, ver. 1.53. Universidad de Oslo (http://folk.uio.no/ohammer/past/).

Hernández Fernández, M., Salesa, M. J., Sánchez, I. M. y Morales, J. (2003). Paleoecología del género *Anchitherium* Von Meyer, 1834 Equidae, Perissodactyla, Mammalia en España: evidencia a partir de las faunas de macromamíferos. *Coloquios Paleont*., *Vol. Extr*., 1: 253-280.

Iacumin, P., Bocherens, H., Mariotti, A. y Longinelli, A. (1996). Oxygen isotope analyses of co-existing carbonate and phosphate in biogenic apatite: a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate? *Earth Planet. Sci. Letters,* 142: 1-6.

Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vandoise Sci. Nat*., 44 : 223-270.

Kälin, D. (1997). The mammal zonation of the upper marine molasse of Switzerland reconsidered: a local biozonation of MN2 - MN 5. En: *BiochroM'97. Mem. Trav. EPHE, Inst. Montpellier* (Aguilar J.-P., Legendre S. y Michaux J. eds). 21: 515-535.

Khadkikar, A. S., Chamyal, L. S. y Ramesh, R. (2000). The character and genesis of calcrete in late Quaternary alluvials deposits, Gujarat, western India, and its bearing on interpretation of ancient climates. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.,* 162: 239-261.

Koch, P. L., Zachos, J. y Dettman, D. (1995). Stable isotope stratigraphy and paleoclimatology of the Paleogene Bighorn Basin (Wyoming, USA). *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.,* 115: 61-89.

Kohn, M. J. y Law, M. (2006). Stable isotope chemistry of fossil bone as a new paleoclimate indicator. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 70: 931-946.

Leibold, M., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J., Hoopes, M. F., Holt, R. D., Shurin, J. B., Law, R., Tilman, D., Loreau, M. y González, A. (2004). The metacommunity concept: A framework for multiscale community ecology. *Ecol. Letters*, 7: 601-613.

López-Martínez, N., Elez, J., Hernando, J. M., Luis, A., Mazo, A., Mínguez Gandú, D., Morales, J., Polonio, I., Salesa, J. M. y Sánchez, I. (2000a). Los vertebrados fósiles de Somosaguas (Pozuelo, Madrid). *Coloquios Paleont*., 51: 69-86.

López Martínez, N., Elez Villar, J., Hernando Hernando, M., Luis Cavia, A., Mínguez Gandú, D., Polonio Martín, I., Salesa, M., Mazo, A., Sánchez, I. (2000b). *Los vertebrados fósiles de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid).* En: *Patrimonio paleontológico de la Comunidad de Madrid* (Morales, J., ed.). Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, Madrid, 130-140.

Loreau, M., Mouquet, N. y Holt, R. D. (2003). Metaecosystems: a theoretical framework for a spatial ecosystem ecology. *Ecol. Letters*, 6: 673-679.

Luis Cavia, A. (2003). *Aplicación de la rarefacción al yacimiento de microvertebrados de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid).* Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid.

Luis, A. y Hernando, J. M. (2000). Los microvertebrados del Mioceno Medio de Somosaguas Sur (Pozuelo de Alarcón, Madrid, España). *Coloquios Paleont*., 51: 87-136.

Luz, B., Kolodny, Y. y Horowitz, M. (1984). Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bonephosphate and environmental drinking water. *Geochim. Cosmochim. Acta,* 48: 1689-1693.

van der Made, J. y Salesa, M. J. (2004). Early remains of the pig *Conohyus simorrensis* from the Middle Aragonian of Somosaguas near Madrid –its dispersal into Europe and evolution. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.,* 233: 153-168.

Mahmood Raza, S, Barry, J. C., Pilbeam, D., Rose, M. D., Ibrahim Shah, S. M. y Ward, S. (1983). New hominid primates from the Middle Miocene Chinji Formation, Potwar Palteau, Pakistan. *Nature*, 306: 54-55.

Mazo, A. V. (2000). Presencia de *Gomphotherium angustidens* (Cuvier) (Proboscidea, Mamalia) en el yacimiento de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios Paleont*., 51: 175-182.

McGavin, M., Carlton, W. y Zachary, J. (2000). *Thomson's Special Veterinary Pathology*. Mosby Press, Saint Louis, 768 págs.

Megías, A. G., Leguey, S. y Ordóñez, S. (1982). Interpretación tectosedimentaria de la génesis de fibrosos de la arcilla en series detríticas continentales. (Cuencas de Madrid y del Duero, España). *Quinto Congreso Latino-Americano de Geología*. Buenos Aires, Argentina.

van der Meulen, A. J. y Daams, R. (1992). Evolution of Early-Middle Miocene rodent faunas in relation to long-term palaeoenvironmental changes. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.,* 93: 227-253.

van der Meulen, A. J., Peláez-Campomanes, P. y Daams, R. (2003). Revision of medium-sized Cricetidae from the Miocene of the Daroca-Villafeliche area in the Calatayud-Teruel basin (Zaragoza, Spain). *Coloquios Paleont., Vol. Extr*., 1: 385-441.

Mínguez Gandú, D. (2000). Marco estratigráfico y sedimentológico de los yacimientos paleontológicos miocenos de Somosaguas (Madrid, España). *Coloquios Paleont*., 51: 183-196.

Morales, J., Alcalá, L., Hoyos, M., Montoya, P., Nieto, M., Pérez, B. y Soria, D. (1993). El yacimiento del Aragoniense medio de La Retama (Depresión Intermedia, Provincia de Cuenca, España): significado de las faunas con *Hispanotherium*. *Scripta Geolo*., 103: 23-39.

Morales, J., Alcalá, L., Álvarez-Sierra, M. A., Antón, M., Azanza, B., Calvo, J. P., Carrasco, P., Fraile, S., García Paredes, I., Gómez, E., Hernández Fernández, M., Merino, L., van der Meulen, A., Martín Escorza, C., Montoya, P., Nieto, M., Peigné, S., Pérez, B., Peláez-Campomanes, P., Pozo, M., Quiralte, V., Salesa, M. J., Sánchez, I. M., Sánchez-Marco, A., Silva, P. G., Soria, M. D. y Turner, A. (2004). Paleontología del sistema de yacimientos de mamíferos miocenos del Cerro de los Batallones, Cuenca de Madrid. *Geogaceta*, 35: 139-142.

Morales, J. y Soria, D. (1990). Creodontos y Carnívoros. En: *Paleontología, tomo 3* (Meléndez, B. ed.). Editorial Paraninfo, Madrid, 313-354.

Morales, J. y Soria, D. (1995). Artiodáctilos. En: *Paleontología, tomo 3* (Meléndez, B. ed.), Editorial Paraninfo, Madrid, 27-90.

Peláez-Campomanes, P., Morales, J., Álvarez Sierra, M. A., Azanza, B., Fraile, S., García Paredes, I., Hernández Fernández, M., Herráez, E., Nieto, M., Pérez, B., Quiralte, V., Salesa, M. J., Sánchez, I. M. y Soria, D. (2003). Uplated biochronology of the Miocene mammal faunas from the Madrid basin (Spain). *Deinsea*, 10: 431-442.

Pettijohn, F. J. (1975). *Sedimentary rocks*. Harper and Row, New York, 628 págs.

Pickford, M., Gabunia, L., Mein, P., Morales, J. y Azanza, B. (2000). The Middle Miocene Mammal site of Belometchetskaya, North Caucassus: an important biostratigraphic link between Europe and China. *Geobios*, 33: 257-267.

Pickford, M. y Morales, J. (1994). Biostratigraphy and palaeobiogeography of East Africa and the Iberian Peninsula. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol*., 112: 297-322.

Qiu, Z. y Qiu, Z. (1995). Chronological séquense and subdivision of Chinese Neogene mammalian faunas. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.,* 116: 41-70.

Sáez, A., Ingles, M., Cabrera, L. y De las Heras, L. (2003). Tectonic-paleoenvironmental forcing of clay mineral assamblages in non marine settings: The Oligocene-Miocene As Pontes Basin (Spain). *Sedim. Geol.,* 159: 305-324.

Sala-Burgos, N., Cuevas-González, J. y López Martínez, N. (en prensa). Estudio paleopatológico de una hemimandíbula de *Tethytragus* (Artiodactyla, Mammalia) del Mioceno Medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios Paleont.*

Salesa, M. J. y Morales, J. (2000). La fauna de carnívoros del yacimiento Aragoniense de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios Paleont*., 51: 213-222.

Salesa, M. J. y Sánchez, I. M. (2000). Estudio de los restos de *Anchitherium* Meyer, 1834 (Equidae; Perissodactyla) del yacimiento de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios Paleont*., 51: 197-212.

Sánchez, I. M. (2000). Rumiantes (Mamalia, Artiodactyla) del yacimiento de Somosaguas (Aragoniense medio, Madrid, España). *Coloquios Paleont*., 51: 223-234.

Sánchez, I. M., Soria, D., Azanza B. (2000). Artiodactyla. En: *Patrimonio paleontológico de la Comunidad de Madrid* (Morales, J. ed.). Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, Madrid, 278-283.

Savin, S. M., Douglas, R. G. y Stehli, F. G. (1975). Tertiary marine paleotemperatures. *Geol. Soc. Amer. Bull.,* 86: 1499-1510.

Shipman, P., Walker, A., Van Couvering, J. A., Hooker, P. J. y Miller, J. A. (1981). The Fort Ternan hominid site, Kenya: geology, age, taphonomy and paleoecology. *J. Hum. Evol*., 10: 49-72.

Simpson, G. G. (1960). Notes on the measurement of faunal resemblance. *Am. J. Sci.,* 258: 300-311.

Srodon, J. (1999). Use of clay minerals in reconstructing geological processes: recent advances and some perspectives. *Clay Miner.,* 34: 27-37.

Stanley, K. O. (1974). Morphology and hydraulic significance of climbing ripples with superimposed microripple-drift cross-lamination in lower Quaternary lake silts, Nebraska. *J. Sedim. Petrol.,* 44: 472-483.

Torres, T., Maldonado, A., Querol, R. y Zamora, I. (1995). Evolución en el subsuelo de los sistemas de abanicos aluviales del Mioceno de la cuenca de Madrid (España). *Geogaceta*, 18: 56-58.

Tutken, T., Vennemann, T. W., Janz, H. y Heizmann, E. P. J. (en prensa). Palaeoenvironment and palaeoclimate of the Middle Miocene lake in the Steinheim basin, SW Germany: A reconstruction from C, O, and Sr isotopes of fossil remains. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*

Vegas, R. y Banda, S. (1982). Tectonic framework and Alpine evolution of the Iberian Peninsula. *Earth Evol. Sci.,* 4: 320-343.

Von Kirsten, P. (2002): Odontologie der Nashornverwandten (Rhinocerotidae) aus dem Miozän (MN 5) von Sandelzhausen (Bayern). *Zitteliana,* 22: 3-168.

Yurtsever, Y. y Gat, J. (1981). Atmospheric waters. En: *Stable isotope hidrology. Deuterium and oxygen-18 in the water cycle. Tech. Rep. Ser. IAEA*, 210, (Gat, J. R. y Gonfiantini, R. eds.), Vienna, 103-142.

Recibido el 20 de septiembre de 2006
Aceptado el 15 de octubre de 2006