

El sistema de yacimientos de mamíferos miocenos del Cerro de los Batallones, Cuenca de Madrid: estado actual y perspectivas.

**J. Morales¹, M. Pozo², P. G. Silva³, M. S. Domingo¹,
R. López-Antoñanzas¹, M^a. A. Álvarez Sierra⁴, M. Antón¹,
C. Martín Escorza¹, V. Quiralte¹, M. J. Salesa¹, I. M. Sánchez⁵,
B. Azanza⁶, J. P. Calvo⁷, P. Carrasco⁸, I. García-Paredes⁹,
F. Knoll¹, M. Hernández Fernández^{4,14}, L. van den Hoek Ostende⁹,
L. Merino¹, A. J. van der Meulen¹⁰, P. Montoya¹¹, S. Peigné¹²,
P. Peláez-Campomanes¹, A. Sánchez-Marco¹, A. Turner¹³,
J. Abella¹, G. M. Alcalde¹, M. Andrés⁶, D. DeMiguel^{1,6},
J. L. Cantalapiedra¹, S. Fraile⁴, B. A. García Yelo^{1,4},
A. R. Gómez Cano^{1,4}, P. López Guerrero¹, A. Oliver Pérez¹ &
G. Siliceo¹.**

1. Departamento de Paleobiología. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. José Gutiérrez Abascal, Nº 2. 28006 Madrid.

2. Departamento de Química A., Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

3. Departamento de Geología. Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila. 05003 Ávila.

4. Departamento de Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid.

5. Department of Zoology. Museum of Zoology, University of Cambridge. Downing street, Cambridge CB2 3EJ, United Kingdom.

6. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza.

7. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/ Río Rosas, 23. 28003 Madrid.

8. Departamento de Cartografía e Ing. Terreno. Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila. 05003 Ávila.

9. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturales. 2300 RA Leiden, The Netherlands.

10. Faculty of Geosciences, Department of Earth Sciences, Utrecht University. Budapestlaan 4. 3584 CD Utrecht. The Netherlands.

11. Departament de Geologia, Àrea de Paleontologia, Universitat de València. Doctor Moliner, 50. 46100 Burjassot, Valencia.

12. Laboratoire de Géobiologie, Biochronologie et Paléontologie humaine UMR 6046 CNRS - Université de Poitiers 40, avenue du Recteur Pineau 86022 Poitiers cedex, France; Museum national d'Histoire naturelle, USM 0203 / UMR 5143 Paléobiodiversité et Paléoenvironnement's, 8 rue Buffon. 75231 Paris cedex 05, France.

13. School of Biological and Earth Sciences, Byrom Street, Liverpool John Moores University, Liverpool,

L3 3AF, United Kingdom

14. Unidad de Investigación en Paleontología. Instituto de Geología Económica, CSIC. José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid.

ABSTRACT

The Cerro de los Batallones (Los Batallones Butte) is located in the central-northern area of the Madrid Basin, central Spain. Nine vertebrates localities containing a large variety of mammals of Upper Vallesian Age (Late Miocene) have been found associated with the sediments forming the butte. From bottom to top, these sediments consist of magnesian lutite beds (Unit I), paleosols formed of sepiolite and opal (Unit II), and siliclastic, marlstone and carbonate beds (Unit III). The set of ERT profiles developed in Los Batallones Butte have demonstrate that electrical imaging techniques are an estimable tool for the characterization and prospecting of fossil sites developed in fine-grained siliciclastic sequences. These localities contain an exceptionally rich, varied and well-preserved vertebrate fauna together with invertebrate and plant fossils. Carnivore species are strikingly well represented at Batallones 1 and 3, and large herbivore species, such as mastodons, rhinoceros and giraffes, at Batallones 2, 4, 5 and 10. The taphonomical studies, together with the morphological features shown by the sedimentary fills of the mammal localities, permit an overall interpretation of these deposits as vertebrate traps. The study of these localities should offer a significant contribution to our understanding of the formation pattern of trap-like paleontological sites - which so far have been typically reported in karstic-type systems -, as well as an important source of paleobiological information about numerous vertebrate groups.

1. Introducción

El hallazgo de los yacimientos de vertebrados fósiles de Cerro de los Batallones es sin duda uno de los más espectaculares realizados a lo largo de la historia de la Paleontología española. De hecho, en ellos se reúnen numerosas singularidades: abundancia de restos fósiles, excelente conservación, piezas en conexión anatómica, presencia de todas las piezas esqueléticas de los individuos, incluyen-

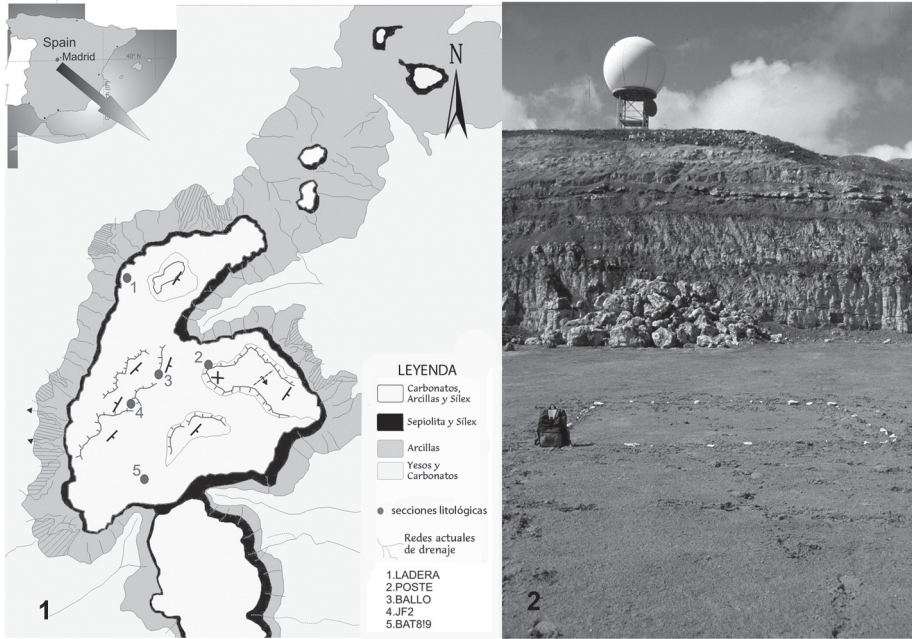
do el cráneo, y abundancia de carnívoros (al menos en 2 de los 9 yacimientos). Ningún conjunto de yacimientos con vertebrados terciarios de España posee todas estas características, que a priori pueden atribuirse a la existencia de un sistema de hoyos, que actuaron como trampas naturales, en la que quedaban atrapados los numerosos vertebrados que habitaban la zona durante el Vallesiense superior.

El descubrimiento del primer yacimiento se produjo de forma casual du-

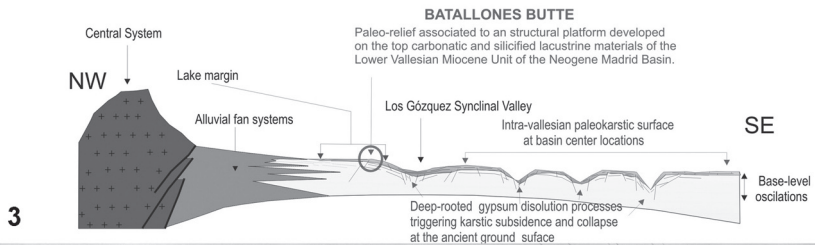
LÁMINA 1. Figura 1. Situación geográfica, esquema geológico y situación de las columnas litológicas realizadas en el Cerro de los Batallones. Figura 2. Aspecto de las capas con sepiolita y bancos de sílex en la ladera este del Cerro de Los Batallones. Figura 3. Sección transversal de la cuenca de Madrid mostrando la topografía durante el Vallesiense en el área del Cerro de los Batallones. Figura 4. El cerro de los Batallones visto desde el Este. Aproximadamente en el medio de la fotografía puede observarse una estación meteorológica, en cuyos alrededores se sitúan los yacimientos paleontológicos. El cerro está situado en el término municipal de Torrejón de Velasco, Madrid.

rante Julio de 1991, como consecuencia de las prospecciones de sepiolita que la empresa TOLSA realizaba en el Cerro

de los Batallones (término municipal de Torrejón de Velasco) y que pusieron en evidencia la existencia de una gran con-



SCHEMATIC UPPER VALLESIAN TOPOGRAPHY showing the location of the present butte at the edge of a fold-limb



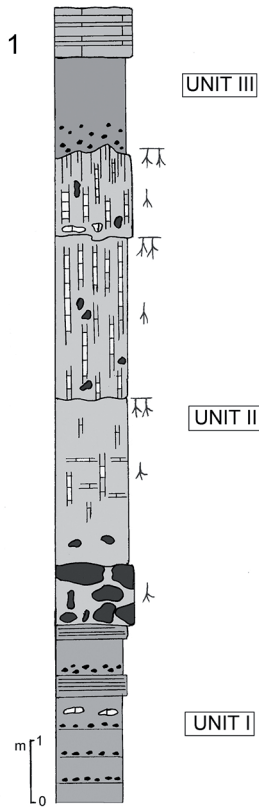
centración de huesos fósiles asociados a sedimentos arcillosos de color verde. Ese mismo mes de Julio de 1991, un equipo de paleontólogos del Museo Nacional de Ciencias Naturales realizó una recogida de fósiles en los sedimentos extraídos por la maquinaria y procedió a localizar la capa fosilífera in situ, realizando una primera excavación paleontológica (Morales et al. 1992).

2. Aspectos geológicos del Cerro de los Batallones

El Cerro de los Batallones constituye uno de los cerros testigos, originados sobre carbonatos silicificados, a techo de la Unidad Intermedia del Mioceno en la Cuenca de Madrid (Lámina 1). Se localiza en la zona de divisoria existente entre el Valle del Jarama y la Depresión Prados-Guatén, al Sur de la ciudad de Madrid. Este cerro es conocido desde mediados de los años 1980 por los yacimientos de sepiolita allí existentes (Leguey et al. 1985), pero ha sido el descubrimiento de diferentes yacimientos de vertebrados vallesienses el que ha centrado su análisis científico desde comienzos de la década de los 90 (Morales et al. 1992, 2000, 2004). La presencia de estos yacimientos ha permitido replantearse la paleogeografía fini-neógena de este sector de la cuenca, aportando importante información sobre la geomorfología asociada a la instalación de los primeros sistemas fluviales en el interior de la cuenca (Alonso-Zarza et al. 2004). Así, recientes trabajos (Silva et al. 2004) han abordado el análisis geomorfológico del propio cerro. Al igual que el Cerro del Valle de las Cuevas (situado hacia el Sur), la superficie de

Batallones se encuentra basculada hacia el SE, siguiendo la dirección y buzamiento de los estratos neógenos que lo condicionan (N20-30° E y buzamiento inferior a los 10-12° SE). El basculamiento de la serie neógena de Batallones hay que inscribirlo dentro de la deformación asociada al denominado “Sinclinal de Los Gózquez – Valle de Las Cuevas” (Vegas et al. 1975), en cuyo flanco occidental se sitúa. Por tanto, tal y como se observa, el origen del Cerro de los Batallones es posterior a la deformación asociada al mencionado sinclinal, ya que está labrado en una serie estratigráfica basculada. Su origen, como relieve estructural, es con seguridad posterior al depósito de la Ud. Intermedia Miocena en la que se encuentra labrado y, probablemente correlativo al depósito de la Unidad Superior Miocena, o incluso posterior.

Por otra parte, su superficie presenta relieves internos de distinta amplitud y un claro origen estructural, heredado de anteriores fases geomorfológicas (relieves relictos). Además del Cerro Testigo interno en el que se ubica el Radar Meteorológico del INM, presenta dos microrelieves monoclinales en forma de meseta combada hacia el SE (muela invertida) que ocupa la parte más elevada del sector SE del cerro. Además, en las zonas no removilizadas se observan discretos relieves en cuesta que siguen las direcciones de estratificación anteriormente mencionadas. Excepto el Cerro del Radar, los restantes microrelieves son actualmente inobservables, ya que en más del 90% la superficie actual del cerro ha sido removilizada y restaurada por los trabajos de explotación de sepiolita que aún siguen en curso (TOLSA). Estos trabajos tam-



2

Unidades litológicas	Potencia	Características de campo
III	Hasta 5 metros	Sedimentos siliciclásticos, margas, carbonatos y facies diatomíticas, sedimentados sobre una suave superficie de erosión a techo de la unidad II. Asociado a las facies margosas se han reconocido términos con diatomeas, crisomonadales y espículas de esponjas, que localmente pueden originar diatomitas.
II	Máximo 9 metros	Lutitas de color blanco, localmente oscurecidas por tinción con materia orgánica que da lugar a bandas lutíticas casi negras de potencia decimétrica o métrica. La potencia de las capas de lutita es muy variable dentro del rango 0,4-2 m. Los nódulos opalinos son abundantes a veces formando costras de potencia superior a un metro. A techo carbonatos tanto en nódulos como en rizocreciones. El techo de la unidad esta marcado por un nivel oscuro irregular con intensa pedadial prismática
I	5 metros visibles	Lutitas jabonosas verdes, frecuentes "slickensides" y nódulos de calcita. A techo lutitas marrón-rojizas masivas a laminadas (máximo 1,15 m), presentan niveles discontinuos de ópalo y nódulos de carbonato.

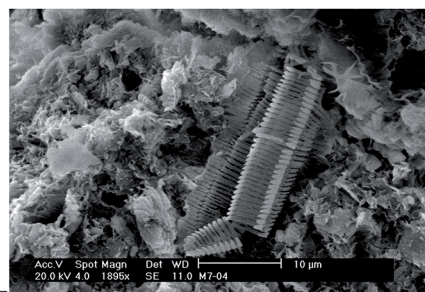
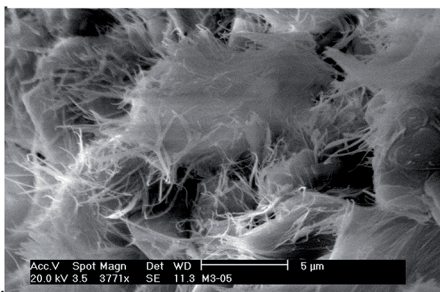
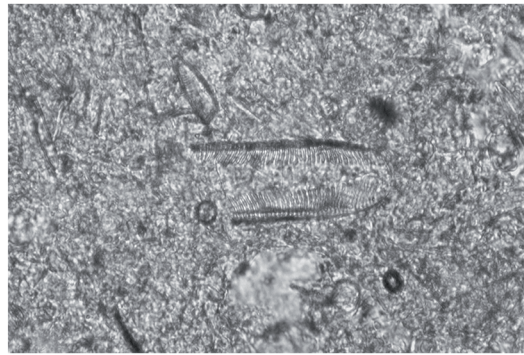


LÁMINA 2. Figura 1. Columna litoestratigráfica de la parte superior del Cerro de los Batallones con indicación de las tres unidades distinguidas. Figura 2. Características de las unidades distinguidas. Figura 3. Fotografía al microscopio del sedimento carbonatado que rellena el yacimiento de Batallones -1, mostrando resto de diatomeas. Figura 4. Sepiolita. Fotografía tomada al microscopio electrónico. Figura 5. Fotografía al microscopio electrónico mostrando diatomitas en rellenos sedimentarios.

bién han afectado a sus vertientes, sobre las que actualmente se derraman numerosas escombreras de la explotación minera. Los análisis de la fotografía aérea del vuelo americano, permiten reconocer diferentes sistemas de paleocárcavas y “falsos flatirons” (Twidale 2002) a lo largo de su borde occidental, que nos indican que la extensión del Cerro no ha sido nunca mucho mayor de lo que se observa en la actualidad.

Desde el punto de vista geológico existen diferentes publicaciones que abarcan distintos aspectos sedimentológicos, mineralógicos y estratigráficos de la zona en que se enmarca el Cerro de los Batallones (Leguey et al. 1985; Pozo et al. 1985; Calvo et al. 1988; Bellanca et al. 1992; Calvo et al. 1995; Pozo & Casas 1999; Pozo & López 2004), aunque la sucesión litoestratigráfica detallada del techo de la Unidad Intermedia del Mioceno en el cerro no se ha abordado hasta hace relativamente poco tiempo (Pozo et al. 2003a, 2003b, 2004, 2005a, 2005b, 2006, 2007a, 2007b).

En la actualidad se dispone de 10 secciones litológicas que son representativas de la estratigrafía general del cerro (Lámina 2).

2.1 Unidades litoestratigráficas

La cartografía geológica y el análisis de facies de los materiales aflorantes y expuestos en las canteras del área del Cerro de los Batallones han permitido diferenciar tres unidades: I) Lutitas magnésicas bentónicas. II) Lutitas sepiolíticas y ópalos. III) Carbonatos, margas y sedimentos siliciclásticos. Estas unidades marcan el paso de un margen lacustre sali-

no-alcálico a depósitos palustres edafizados y finalmente a sedimentos lacustres-palustres de agua dulce. Los depósitos que contienen los restos de vertebrados representarían una cuarta unidad estratigráfica caracterizada por la existencia de facies muy similares a las observadas en la unidad III pero cronológicamente posteriores a ésta.

2.1.1 Unidad I. Facies bentónica

Esta constituida por limos arcillosos y lutitas jabonosas verdes, frecuentes “slickensides” y nódulos de calcita. A techo pasa a lutitas marrón-rojizas masivas a laminadas (máximo 1,15 m), presentando niveles discontinuos de ópalo y nódulos de carbonato. La asociación mineralógica de la arcilla esta constituida por esmectitas magnésicas e illita que pasan a techo a esmectitas magnésicas y sepiolita, mineral este último predominante a techo del tramo.

Se interpreta como depósitos de llanura lutítica (mud flat) relacionados con un lago salino-alcálico con aguas ricas en magnesio.

2.1.2 Unidad II. Facies sepiolíticas

El tramo sepiolítico del Cerro de los Batallones (unidad II) muestra características composicionales (mineralogía y geoquímica) y texturales (microfacies) que lo distinguen de los tramos situados a base y techo del mismo. Es de destacar la existencia de diversas texturas con rasgos que permiten reconocer la existencia de procesos paleoedáficos, habiéndose diferenciado al menos tres episodios de desarrollo de paleosuelos.

Interpretación

Se interpreta la sepiolita como resultado de procesos de neoformación y transformación de sedimentos finos en un margen lacustre sometido a episodios periódicos de somerización y exposición subaérea. La sepiolita del Cerro de los Batallones ya había sido estudiada por Leguey et al. (1985) que establecieron tres ambientes genéticos: paleosuelos, removilización diagenética y precipitación lacustre. Comparativamente con otras sepiolitas de la cuenca de Madrid la sepiolita del Cerro de los Batallones presenta algunas peculiaridades. Por un lado la presencia de materia orgánica en sus niveles oscuros que alcanzan el 0,27% (Pozo et al. 2007b), por otra algunas características geoquímicas (F, Mg, REE) que las diferencian de las sepiolitas ligadas a facies distales aluviales (Vicálvaro) o asociadas a depósitos de llanura lutítica (Esquivias) (Pozo et al. 2005b).

En relación con la sepiolita, material en el que se instalan principalmente los yacimientos, se han estudiado muestras pertenecientes a nuevas secciones litoestratigráficas con especial atención a los episodios transicionales a techo y base de las unidades I y III respectivamente. Se ha comprobado que no solo presentan una diversidad textural notable, sino que también desde el punto de vista mineralógico, el grado de ordenamiento de las sepiolitas es variable. Este hecho es significativo porque el grado de ordenamiento influye en las propiedades físico-químicas de los materiales arcillosos y en consecuencia en su comportamiento mecánico.

Las evidencias petrográficas comple-

mentadas con la difracción de rayos X han puesto de manifiesto que la sepiolita se formó primero a partir de fases previas, principalmente esmectita magnésica (unidad I), mediante un mecanismo intrasedimentario, actuando posteriormente procesos de neoformación a partir de disoluciones o geles Si-Mg (unidad II). La evidencia petrográfica de varias generaciones de sepiolita corrobora la complejidad en la génesis de este mineral.

La geoquímica elemental de bentonitas y sepiolitas, así como los datos de $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$ de los carbonatos asociados a estos materiales arcillosos, indican un cambio en la hidroquímica del medio entre la unidad I y la unidad II, disminuyendo la salinidad (Li, Na) y la relación Mg/Si, pero incrementándose el papel jugado por las aguas subterráneas (aporte de F y Si). Bajo estas condiciones se justifica la formación de sepiolita sobre la esmectita magnésica.

Se infiere que la presencia de palygorskita a techo de la unidad II indica otro cambio significativo en el ambiente sedimentario. Así, tras un prolongado periodo de exposición subaérea con el desarrollo de un potente paleosuelo de sepiolita, la presencia de palygorskita sería el resultado de la transformación de arcillas heredadas procedentes de la entrada de aguas superficiales y sedimentos detríticos. Esto significaría que a techo de la unidad II diferenciada, existe un tránsito a la unidad III con características distintas al resto del tramo sepiolítico. Desde el punto de vista paleoambiental se infiere un cambio en el control de las reacciones mineralogénicas donde el papel de la sílice, importante en la formación de

la sepiolita y el ópalo, deja paso a la entrada de coloides aluminicos (aportes) y a la acción de las aguas bicarbonatadas cálcicas responsables de los depósitos carbonáticos que justifican el desarrollo de facies que progresivamente se hacen más palustres-lacustres. La existencia de una discontinuidad en este episodio de transición es importante ya que la existencia de rasgos vérticos y de morfologías gilgai asociados a los paleosuelos con palygorskita es evidencia de un comportamiento dinámico del terreno, posteriormente erosionado en parte por la entrada de aportes clásticos representados por la base de la unidad III.

2.1.3 Unidad III. Facies detríticas y calcáreas

Los resultados mineralógicos obtenidos indican que en la unidad III predominan los carbonatos (calcita LMC) y los filosilicatos, con texturas similares a las observadas en el relleno de los yacimientos paleontológicos. La mineralogía de la arcilla en las muestras de lutitas y margas presenta las siguientes asociaciones:

Unidad III (Esmectita aluminica - illita ± sepiolita ± palygorskita ± caolinita).

Rellenos:

1- Facies clásticas finas (Sepiolita - esmectita ± illita ± palygorskita).

2- Facies clásticas gruesas (Esmectita aluminica - illita ± caolinita).

Interpretación

La asociación de carbonatos y facies siliciclásticas (unidad III) sugiere un ambiente lacustre-palustre donde el predominio del carbonato cálcico y la asociación fosilífera observada (ostrácodos, gasterópodos, carofitas y diatomeas) indicaría una hidroquímica con predominio de las aguas dulces. Los carbonatos con evidencias de bioturbación y otros rasgos edáficos indican depósitos que sufrieron emersión después de la sedimentación en un sistema lacustre donde se desarrollaron carbonatos palustres. Sin embargo, los carbonatos bioclásticos con ostrácodos, carofitas diatomeas y gasterópodos se consideran ligados a depósitos lacustres de agua dulce de mayor profundidad relativa. La similitud de características observada en los rellenos sedimentarios sugiere que las condiciones paleoambientales eran similares. La existencia en las facies siliciclásticas de los rellenos de contactos netos y de sedimentación gradada indica un depósito rápido en aguas someras. Los resultados obtenidos del análisis isotópico ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de los carbonatos de la Unidad III y de los rellenos de los yacimientos ponen de manifiesto algunas diferencias significativas que se relacionan con las variaciones en la salinidad y productividad orgánica de las aguas en las que se formaron los carbonatos, observándose la menor variabilidad en los rellenos, lo que se interpreta como una mayor homogeneidad en sus condiciones de formación.

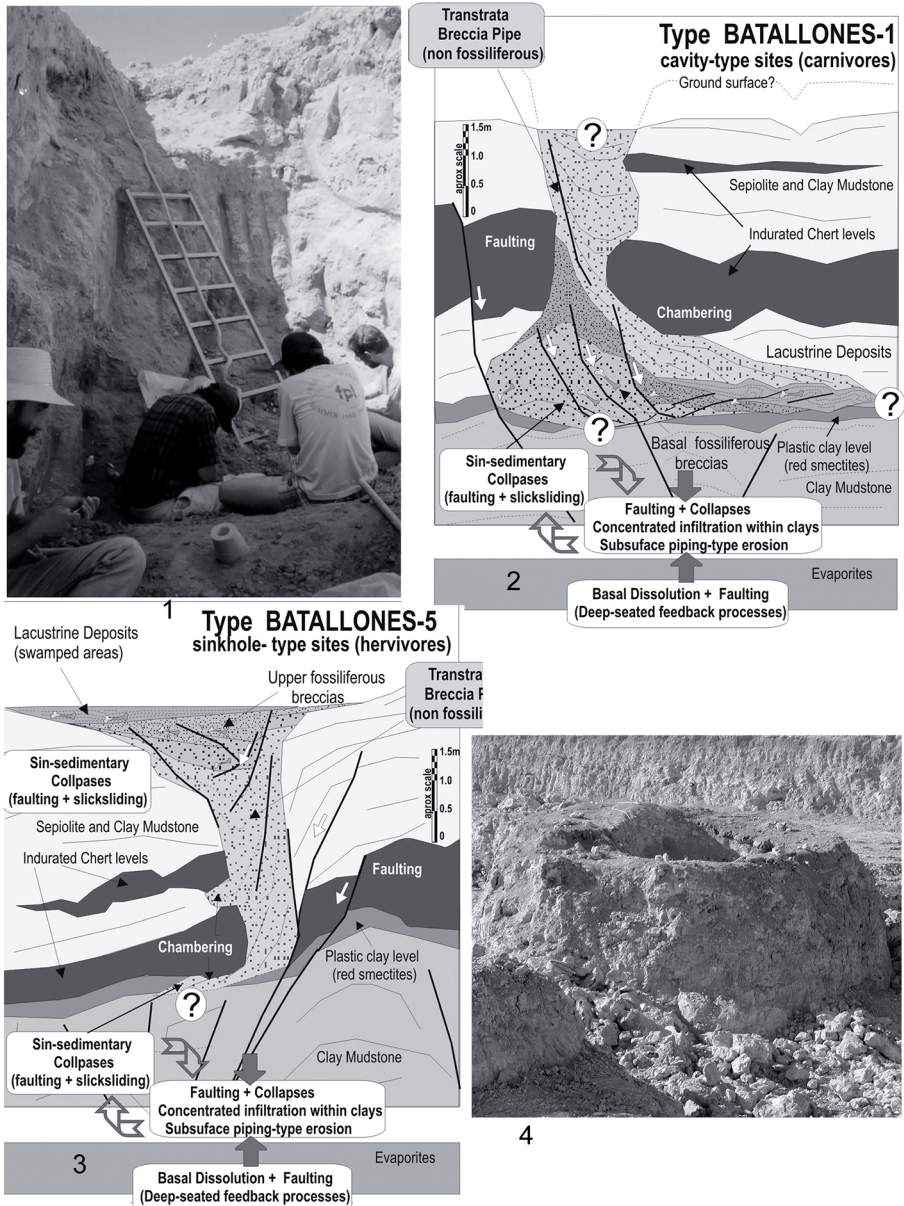


LÁMINA 3. Figura 1. Primeros días de excavación en el yacimiento de *Batallones-1*, durante julio de 1991, antes del comienzo de la explotación de la cantera. Figura 2. Modo interpretativo del relleno de *Batallones-1*. En él se indican la influencia de los vertisuelos en la generación de las cavidades y el efecto de disolución en profundidad. Figura 3. Modo interpretativo del relleno de *Batallones-5*. Figura 4. Yacimiento de *Batallones-6* durante la explotación de la cantera.

Recientemente (Pozo et al. 2007b) han estudiado el tránsito entre las facies sepiolíticas y los depósitos de carbonatos de la unidad III. Se ha observado que a techo del depósito sepiolítico (unidad II), se dispone en contacto erosivo un episodio de aportes en el que se desarrollan calcretas y palygorskita, que a su vez, también en contacto erosivo, pasa superiormente a depósitos clásticos donde son frecuentes los intraclastos, los minerales heredados y la carbonatación en diverso grado, para dar paso finalmente a las facies de carbonatos bioclásticos. Todo ello corrobora un cambio sustancial en las condiciones paleoambientales, de manera que en el control de las reacciones mineralogénicas, el papel de la sílice, importante en la formación de sepiolita y ópalo, deja paso a la acción de las aguas bicarbonatadas cálcicas que favorecen el desarrollo de paleosuelos calcáreos con palygorskita-sepiolita primero y la sedimentación de carbonatos palustres-lacustres después.

2.2 Las trampas de vertebrados y sus rellenos

Todos los yacimientos del Cerro de los Batallones (abreviados como BAT de aquí en adelante) participan de las mismas características: acumulaciones paleontológicas excepcionales en rellenos discordantes con los sedimentos estratificados de la sucesión sedimentaria general del cerro (Lámina 3). No obstante, desde un punto de vista paleontológico, existen diferencias significativas en su composición faunística, e indicios fundados de la existencia de diferentes niveles fosilíferos, que indicarían una historia

compleja de los propios rellenos. Los rellenos han podido ser clasificados en dos tipologías (Morales et al. 2004; Pozo et al. 2004): 1.- yacimientos profundos con morfología de copa invertida en los que existe una acumulación preferente de carnívoros (BAT-1 y BAT-6) y 2.- yacimientos superficiales con morfología de copa sin invertir, en las que se generan ambientes de tipo palustre y lacustre siendo característico la aparición de fósiles pertenecientes a grandes herbívoros (BAT-3, BAT-5 y BAT-10). Otros yacimientos (BAT-2 y BAT-4) tienen geometrías más complicadas, en algunos casos asimilables a grandes grietas subverticales. En la actualidad se han identificado en el Cerro de los Batallones 11 cavidades con rellenos de los que 9 se consideran como yacimientos paleontológicos. De éstos se han excavado o están en excavación BAT-1, 2, 3, 4, 5 y 10. El resto están convenientemente aislados y protegidos para su conservación. Por otra parte, es de destacar que las prospecciones paleontológicas en el entorno del Cerro de los Batallones, en la zona sur, ya dentro de la provincia de Toledo, han dado lugar al descubrimiento de cuatro nuevos yacimientos de vertebrados (Valdeinfierno, El Hornillo y Malcovadeso 1 y 2). En todos estos yacimientos la edad de las asociaciones de mamíferos (macro y micro) indica edades muy similares entre ellos, atribuibles al Vallesiense superior.

En la identificación de los rellenos sedimentarios, asociados a los yacimientos, ha sido especialmente relevante el reconocimiento de estructuras de deformación similares en los yacimientos BAT-5, BAT-7, BAT-9 y BAT-10. Todos ellos tienen en común que se han detectado en su

zona más próxima a la superficie, afectando a las facies detríticas y carbonáticas de la unidad III. La geometría de las capas deformadas presenta una estructura monoclinial de escala métrica dispuesta en direcciones perpendiculares entre sí lo que provoca morfologías deprimidas que actuarían como sumidero. En algunos casos asociados a estas flexuras se han reconocido fallas de pequeño salto que sugieren varios episodios de colapso a lo largo del tiempo de evolución de las cavidades.

Es necesario destacar que una de las principales dificultades en la identificación de las cavidades y sus rellenos radica en que con frecuencia sus colores se confunden con los de la sucesión sedimentaria general, siendo solo fácilmente reconocibles cuando son cortados bruscamente por otro material de distinto color, textura o compacidad. De aquí la importancia de los datos aportados por la prospección geofísica y la disponibilidad de palas excavadoras que facilitan enormemente la apertura de frentes en cualquier dirección. Otra dificultad añadida ha sido la constatación de que los rellenos son polifásicos de manera que hay diversas fases de relleno, lo que complica aún más la geometría interna de los mismos.

Se han realizado propuestas tentativas sobre los mecanismos que han podido influir en la formación de las trampas (Pozo et al. 2003a, 2003b). Sin dar por cerradas las hipótesis sobre los procesos que condujeron a la formación de los yacimientos, Pozo et al. (2004) proponen un modelo basado en la ocurrencia de fenómenos pseudocársticos de tipo “piping” como el principal factor, teniendo en cuenta que la geometría y morfología de los huecos

son similares, en primera aproximación, a yacimientos de tipo trampa desarrollados en sistemas netamente cársticos (Simms 1994; Simon-Coinçon et al. 1997). Este proceso, también conocido como “karst de arcillas”, “subfusión” o “erosión en túnel”, se utiliza para la descripción de formas pseudocársticas, cuyas dimensiones pueden ser variables y que no están restringidas a un ámbito climático concreto, salvo la existencia de fuertes contrastes estacionales. El proceso de “piping”, posiblemente asociado también con procesos de “cambering” (sostenimiento de cavidades por la presencia de niveles resistentes) resulta, desde este punto de vista, adecuado para explicar la generación de los huecos que condujeron al entrapamiento de vertebrados observado en los yacimientos del Cerro de los Batallones (Halliday 2004). De forma general, se ha considerado que la iniciación y desarrollo del “piping” resulta de una compleja combinación de diferentes factores, litológicos, mineralógicos, edáficos e hidrogeológicos favorables (Bryan & Yair 1982): 1) presencia de discontinuidades verticales; 2) suelos o arcillas expansivas; 3) gradiente topográfico suficiente; 4) alternancia de materiales permeables e impermeables; y 5) presencia de niveles muy resistentes a la erosión. Aunque todos estos factores favorecen el desarrollo de “piping” los dos indispensables parecen ser: la existencia de un gradiente hidráulico suficiente y la presencia de una alta capacidad de infiltración en materiales de baja permeabilidad intrínseca (Gutiérrez Elorza 2001). Este último requisito permite que se produzca una inusual concentración de la infiltración, hecho que no se da en materiales

más permeables (Bryan & Jones 1997) lo que implica la existencia de materiales intensamente agrietados o fisurados.

El modelo propuesto se desarrolló en un contexto ciertamente particular dentro de la evolución geológica de la Cuenca de Madrid: el cambio paleogeográfico acaecido durante el Mioceno superior (episodio de karstificación intra-Vallesiense; Calvo et al. 1988, Cañaveras et al. 1996). El nuevo marco geomorfológico generado durante el Vallesiense podría explicar de una forma consistente los requisitos de gradiente topográfico e hidráulico necesarios para la generación de los procesos de “piping” apuntados. Estos serían el descenso del nivel de base relacionado con el mencionado episodio de karstificación generalizado, y el desarrollo de un valle sinclinal dentro del cual Batallones ocuparía uno de sus flancos. En este sentido es necesario apuntar que al menos existen dos casos citados en la literatura geológica similares al aquí expuesto. Son casos que tratan sobre la formación de cavidades, en relación con episodios generalizados de paleoalteración de cuencas sedimentarias afectadas a su vez por importantes procesos de silicificación. El más similar es el relacionado con el Paleokarst de Querçy desarrollado durante el Eoceno y Mioceno inferior en la Cuenca de Aquitania que también funcionó como trampa de vertebrados (Simon-Coinçon et al. 1997). El segundo, relacionado con la generación de cavidades en perfiles de alteración de lateritas y silcretas en materiales Cretácicos y Eocenos en la parte Septentrional del Continente Australiano (Twidale 1987).

2.3 Paleosurgencias

El papel jugado por las aguas subterráneas como paleosurgencias en la deformación de depósitos sedimentarios ha sido recientemente puesta de manifiesto en la zona de Valdeinfierno, próxima al Cerro de los Batallones (Pozo et al. 2006). Se han estudiado cuerpos carbonáticos dómicos y travertínicos en los que el análisis petrográfico, mineralógico y la geoquímica isotópica ponen de manifiesto que los carbonatos se depositaron a partir de aguas con hidroquímicas distintas pero ambas formando paleosurgencias de aguas subterráneas en un ambiente lacustre marginal. Las acumulaciones dómicas se interpretan como “seepage mounds” donde una hidroquímica rica en Mg^{2+} favorece la formación de dolomita, sepiolita y esmectitas magnésicas. El episodio posterior de acumulación carbonática tiene características morfológicas travertínicas y composición calcítica, lo que se interpreta como el paso a condiciones más diluidas que se manifiesta en la señal isotópica de los carbonatos. Los aportes de estas aguas justifican que el episodio a techo de la serie esté constituido por calizas bioclásticas que indican condiciones de expansión lacustre en la zona.

Un aspecto importante de estas acumulaciones de carbonatos es el hecho de que durante su formación provocan la deformación de los materiales suprayacentes lo que, al menos en parte, podría favorecer la inestabilidad de los materiales y el desarrollo de las cavidades que actuarían como trampas para los vertebrados. Depósitos carbonáticos similares habían

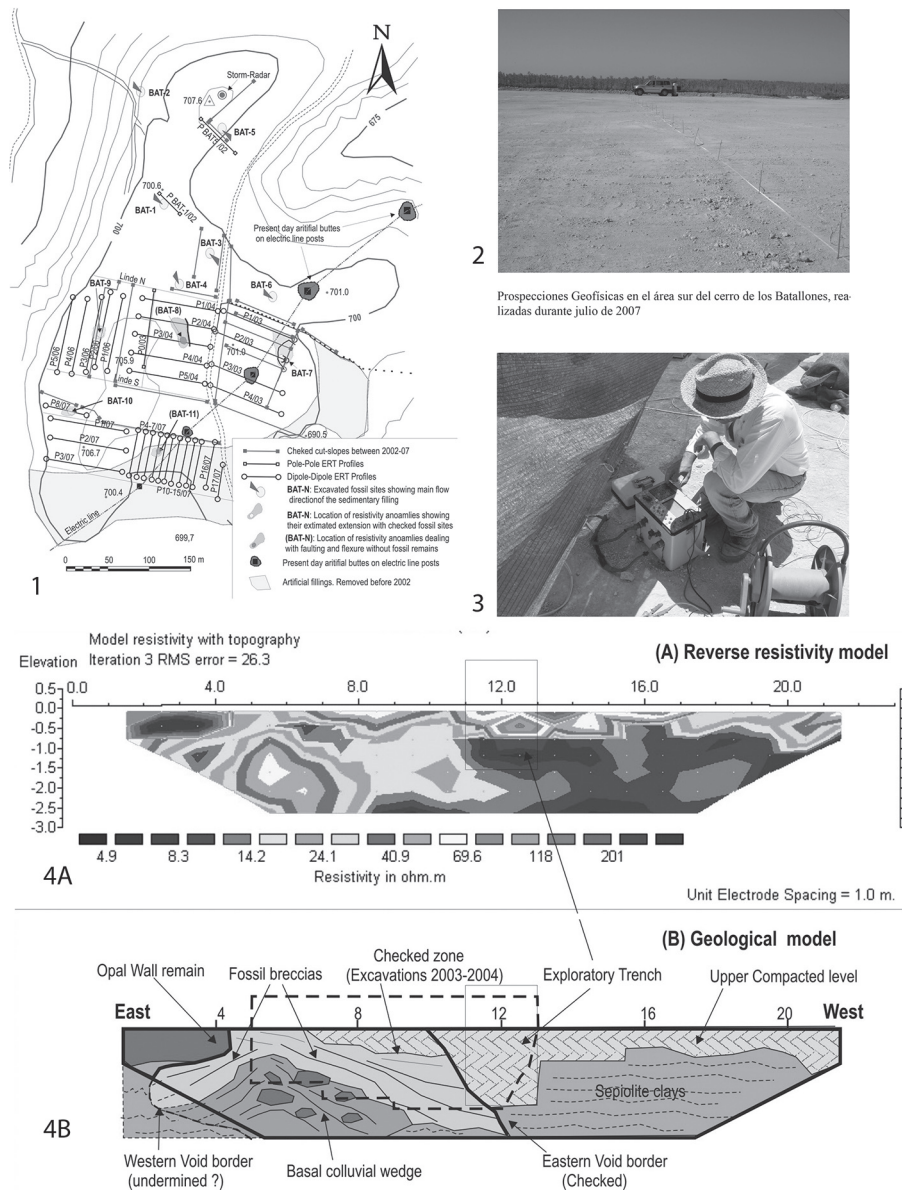


LÁMINA 4. Figura 1. Esquema topográfico del Cerro de los Batallones mostrando los perfiles realizados por tomografía eléctrica de resistividades (ERT) durante las campañas de campo desde el 2002 al 2007. Figura 2 y 3. Prospecciones geofísicas (ERT) durante el verano de 2007 en el área sur del Cerro de los Batallones. Figura 4. A) Modelo inverso 2D del perfil eléctrico (ERT) realizado en la pared norte del yacimiento de Batallones-1. B) Interpretación geológica de la muralla norte del yacimiento de Batallones-1.

sido estudiados algo más al sur en la zona de Malcovadeso (Calvo et al. 1995) interpretándose como resultado del flujo y descarga de aguas subterráneas (seepage mounds), con rasgos morfológicos similares a los de los montículos de la sección de Valdeinfierno.

3. Prospección geofísica en Batallones

Nueve yacimientos diferentes de vertebrados se han identificado en el Cerro de Los Batallones. Todos ellos han sido excavados o están en proceso de excavación. Los yacimientos aparecen en diferentes niveles estratigráficos, ya que en realidad son discordantes y generalmente responden a cavidades desarrolladas en los materiales carbonatados y siliciclásticos del techo de la Unidad Intermedia Miocena (Vallesiense). Las mencionadas cavidades poseen diferente geometría y contenido fósil en función de su profundidad. Los yacimientos a mayor profundidad aparecen a unos 6-7 metros por debajo de la superficie actual del cerro, presentando una anómala y rica concentración de carnívoros excelentemente conservada. Su geometría parece aproximarse a cavidades campaniformes en sección vertical de diámetro decamétrico. Por el contrario, los yacimientos superficiales poseen geometrías en forma de copa, de diámetro superior a los profundos pero que se va reduciendo en profundidad, y su contenido fósil está caracterizado por la presencia de herbívoros de gran tamaño (mastodontes, jirafas, rinocerontes, entre otros). Los datos procedentes de las tomografías eléctricas permiten inferir que ambos tipos de ya-

cimientos se encuentran interconectados por chimeneas verticales adoptando un dispositivo de tipo “reloj de arena”, aunque todavía no se ha podido constatar en ninguno de los yacimientos. En particular las tomografías eléctricas realizadas en los yacimientos, BAT-7, BAT-5 y BAT-10, los dos últimos en proceso de excavación de su zona superior, permiten delinear la existencia de geometrías “reloj de arena”. También, los datos procedentes del comienzo de la excavación del yacimiento BAT-1 (el único de los profundos que se ha excavado) sugieren la existencia de una chimenea vertical, aunque en este caso el posible yacimiento superficial fuera removido por los trabajos de la mina, o no existiera.

Hasta la fecha se han realizado 32 perfiles de Tomografía Eléctrica de Resistividades 4 (perfiles ERT) utilizando dos tipos de dispositivos polo-polo y dipolo-dipolo (Lámina 4). La mayor parte de los perfiles realizados están compuestos por un sistema multicanal de 32 a 24 electrodos de espaciados variables de 1, 2 y 3 metros, completándose longitudes de investigación de 24, 48 y 96 metros respectivamente para cada tipo de espaciado. El dispositivo de investigación utilizado en cada caso permite una penetración en el subsuelo de mayor o menor profundidad inversamente relacionada con la resolución de la información del subsuelo que se obtiene. Así se puede decir que a menor espaciado, mayor resolución de la información, pero menor profundidad de investigación. Espaciados de 1 metro permiten penetrar hasta unos 4 metros máximo. Los espaciados de 2 metros lo hacen hasta 8 metros, y los de 3 metros alcanzan profundidades de hasta

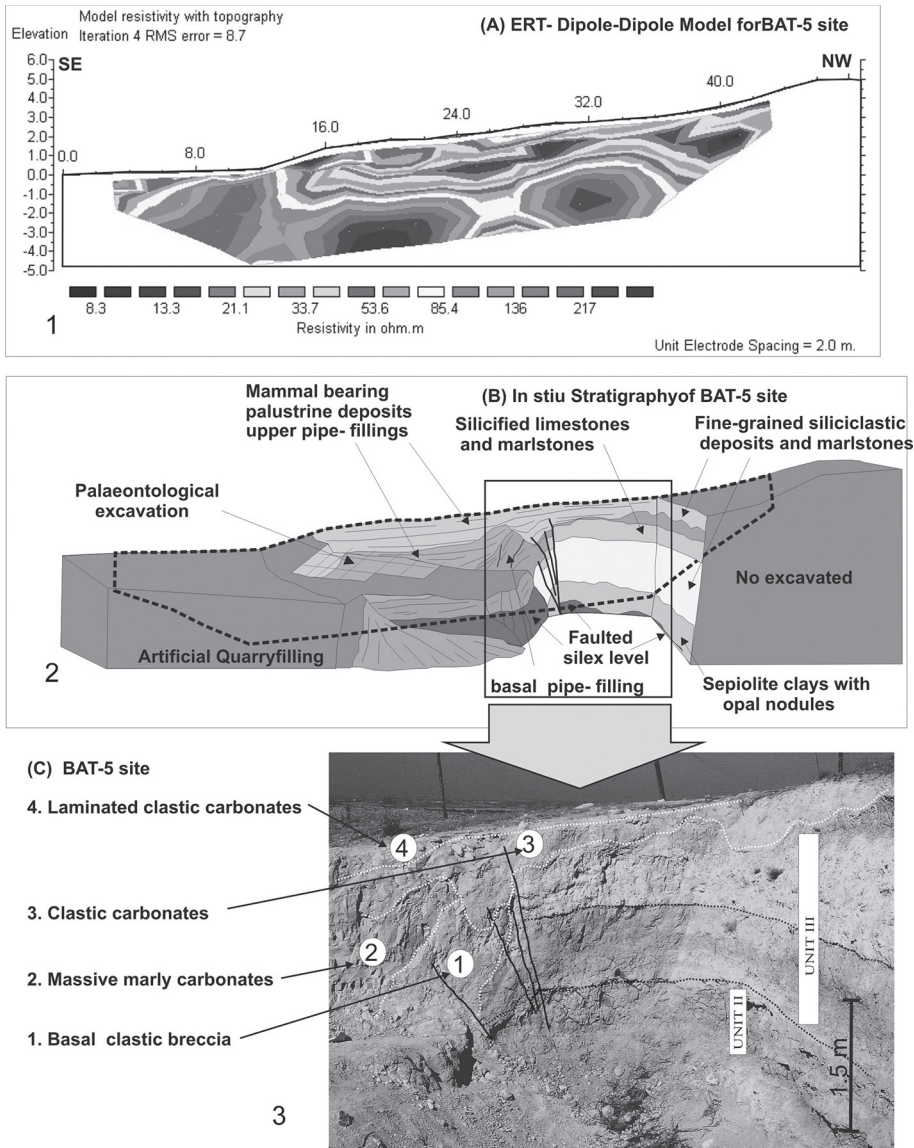


LÁMINA 5. Figura 1. Modelo inverso 2D del perfil eléctrico (ERT) realizado en el yacimiento de Batallones-5. Figura 2. Bloque diagrama de la estratigrafía in situ de las paredes del yacimiento de Batallones-5. Figura 3. Interpretación sobre fotografía del yacimiento de Batallones-5.

16 metros pero con muy poca resolución en la información obtenida. De la misma forma el sistema polo-polo posee mejor resolución en la información bajo la vertical del perfil ERT realizado, mientras que el dipolo-dipolo recoge también información del entorno adyacente a la vertical del perfil mostrando la existencia de cambios laterales en las resistividades.

De esta forma cuando se han investigado yacimientos previamente descubiertos se han utilizado preferentemente espaciados pequeños (1 y 2 metros) con dispositivos polo-polo y dipolo-dipolo conjuntamente con el fin de obtener una mayor resolución de la información. Cuando, por el contrario los perfiles ERT estaban destinados a prospectar una parcela previa a su excavación por las máquinas se han utilizado dispositivos dipolo-dipolo de mayor espaciado (2 y 3 metros) con el fin de recolectar la mayor información posible del subsuelo, aún a costa de la pérdida de resolución que ello lleva implicado. En algunos casos se realizaron los mismos perfiles con ambos dispositivos dipolo-dipolo y polo-polo con el fin de comparar los resultados y la resolución.

La utilidad de la tomografía eléctrica de resistividades en la prospección de los yacimientos de vertebrados del Cerro de Los Batallones radica en el hecho de la existencia de niveles de sílex (muy resistivos) y materiales siliciclásticos finos y rellenos fosilíferos de menor resistividad. El hecho que la mayoría de los yacimientos se encuentren aparentemente perforando los niveles de sílex, la prospección geoelectrica busca la existencia de rupturas, flexuras y curvaturas de dichos niveles resistivos. La información

mostrada por espaciados de hasta 2 metros (resolución de objetos 2×2 m: 4 m^2) ha resultado bastante fiable, mientras que las de 3 metros (resolución de objetos de 3×3 m: 9 m^2) identifica estructuras de deformación de gran radio y muy laxas, pero que no tienen por que tener un yacimiento asociado (como es el caso de BAT-8). Por los datos que se tienen hasta la actualidad se observa que las zonas de chimenea, al menos en su parte superior (BAT-5, BAT-7, y BAT-9), poseen diámetros que apenas sobrepasan los 4 metros en el mejor de los casos. Este dato permite asegurar que los perfiles ERT con espaciado de 2 m están en el límite de detección de los yacimientos y los de 3 m quedan fuera de él. Espaciados de 2 m han sido capaces de reconocer discontinuidades incluso por debajo de capas de escombros más o menos potentes (3-4 m) procedentes de excavaciones y rellenos previos de la zona de minas, aunque estas finalmente no resultaran contener un yacimiento (BAT-11, 2007)

BAT-1 se seleccionó para la prospección como ejemplo de yacimiento en profundidad. Dadas las dimensiones de la zona de excavación y las limitaciones topográficas del yacimiento (actualmente preservado en un agujero casi circular de 8 metros de profundidad y 35 metros de diámetro), se seleccionó un sistema de electrodos de 24 metros de longitud, con espaciado de un metro, y dispositivo dipolo-dipolo. El perfil geoelectrico (tomografía de resistividad eléctrica, ERT) se realizó según la dirección $N140^\circ E$ paralelo a la pared Norte de la excavación (a 2 metros de distancia). La profundidad de la excavación durante el año de la prospección (2002) se encontraba entre

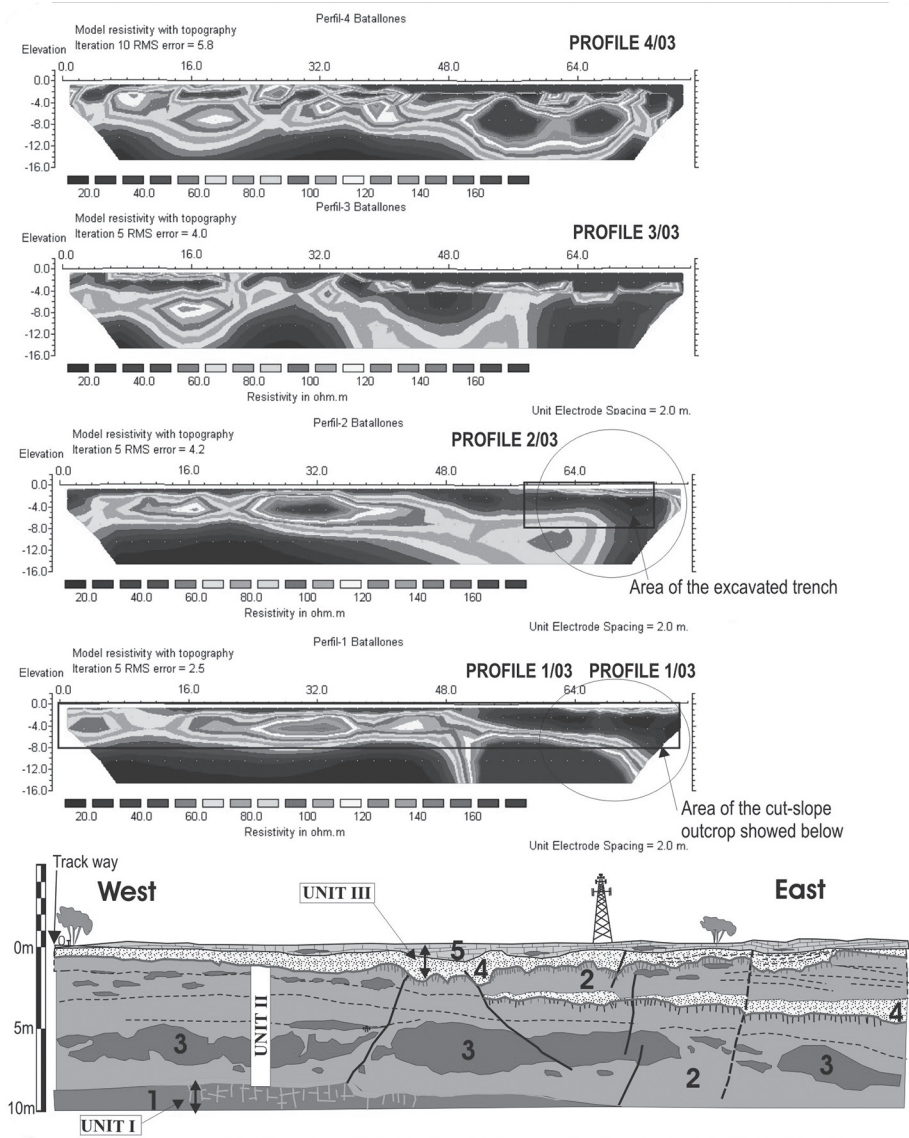


LÁMINA 6. Modelos inversos 2D obtenidos durante la campaña de prospecciones geofísicas de 2003. El perfil 1/03 se sitúa a 10 m de la muralla de la trinchera ilustrada en el esquema de la parte inferior de la figura. La escala vertical del esquema está exagerada con respecto a los modelos 2D. Tanto el perfil 1/03 como el 2/03 muestran claramente el colapso de los estratos, la formación de depresiones superficiales y de túneles (piping) en profundidad. Las zonas de resistividad elíptica indican la presencia de nódulos de ópalo de diferente tamaño.

1,5 (WNW) y 1,40 m (ESE). El perfil ERT cubrió toda la zona excavada (electrodos 4 al 12) incluyendo una antigua trinchera de prospección realizada en los años 90, posteriormente rellena con estériles (electrodos 9 al 12). Los electrodos 1 al 4 se situaron en el borde de la pared Este del relleno fósil, antiguamente una pared de unos 6 metros de altura excavada sobre un nivel de sílex del mismo espesor. Por otro lado, los electrodos 13 al 24 cubrían la zona oeste (no excavada) del yacimiento, previsiblemente formada en su mayoría por niveles de sepiolita correspondientes a la pared Oeste del relleno fósil. El perfil ERT alcanzó una profundidad de investigación de 2,7 metros. En la actualidad la profundidad de excavación alcanza más de los 2,5 metros dándonos la oportunidad de comparar los resultados obtenidos

El modelo inverso de resistividades resultante muestra tres sectores bien diferenciados, además de un nivel superficial pseudohorizontal muy resistivo (0,4 a 0,9 m de potencia) resultante de la compactación del terreno por el paso de maquinaria pesada y personas. En el borde Este una unidad resistiva (Max. 150 Ω/m) testifica la prolongación de la pared de sílex mencionada anteriormente, pero esta desaparece a los 0,6-0,9 metros de profundidad entre los electrodos 1 y 4. Adyacente y por debajo de esta unidad resistiva aparece una de mucho menor resistividad, con geometría campaniforme, y cuya densidad desciende desde su centro (55 Ω/m) hasta los bordes (35 Ω/m) generando un patrón triangular radial en las resistividades. Una tercera unidad, buzando hacia el Oeste, muestra todavía menor resistividad (10-15 Ω/m) coincidi-

endo con las brechas que contienen los fósiles entre los electrodos 4 y 9. Por último, hacia el Oeste entre los electrodos 11 y 24 aparece una unidad conductiva (similar a la anterior) muy homogénea (<12 Ω/m) que responde al sustrato arcilloso sepiolítico en el que se excavó la cavidad.

El progreso de las excavaciones en BAT-1 entre el 2003 y el 2007 han expuesto casi en su totalidad la pared investigada en 2002 entre los electrodos 4 y 11. Esto ha permitido comprobar que la unidad con geometría de campana corresponde a una brecha basal de origen posiblemente gravitatorio que contiene grandes bloques (0.5 –0.7 m de diámetro) de sepiolita, sílex, carbonatos empastados por una fina matriz limo-margosa con un contenido variable de intraclastos y fósiles. Es importante hacer notar que los bloques de carbonatos procederían de la parte superior de la cavidad. El patrón 2D casi triangular se puede interpretar como el relleno gravitatorio basal de la cavidad fósil (cuña coluvial). Su prolongación bajo la pared Este labrada en sílex, probablemente indica la existencia de un proceso de socavación basal por debajo del potente paquete de sílex. Los procesos de socavación son frecuentes en cuevas y cavidades desarrolladas por debajo de capas resistentes a la erosión (calcretas, silcretas, etc...) por diferentes procesos de erosión diferencial subsuperficial (i.e. piping: Twidale 2002; Klimchouck & Andrejchuk 2003). En cualquier caso, el espectro litológico de los bloques incluidos en esta brecha basal representa la secuencia estratigráfica situada por encima del yacimiento, testificando la antigua extensión hacia la

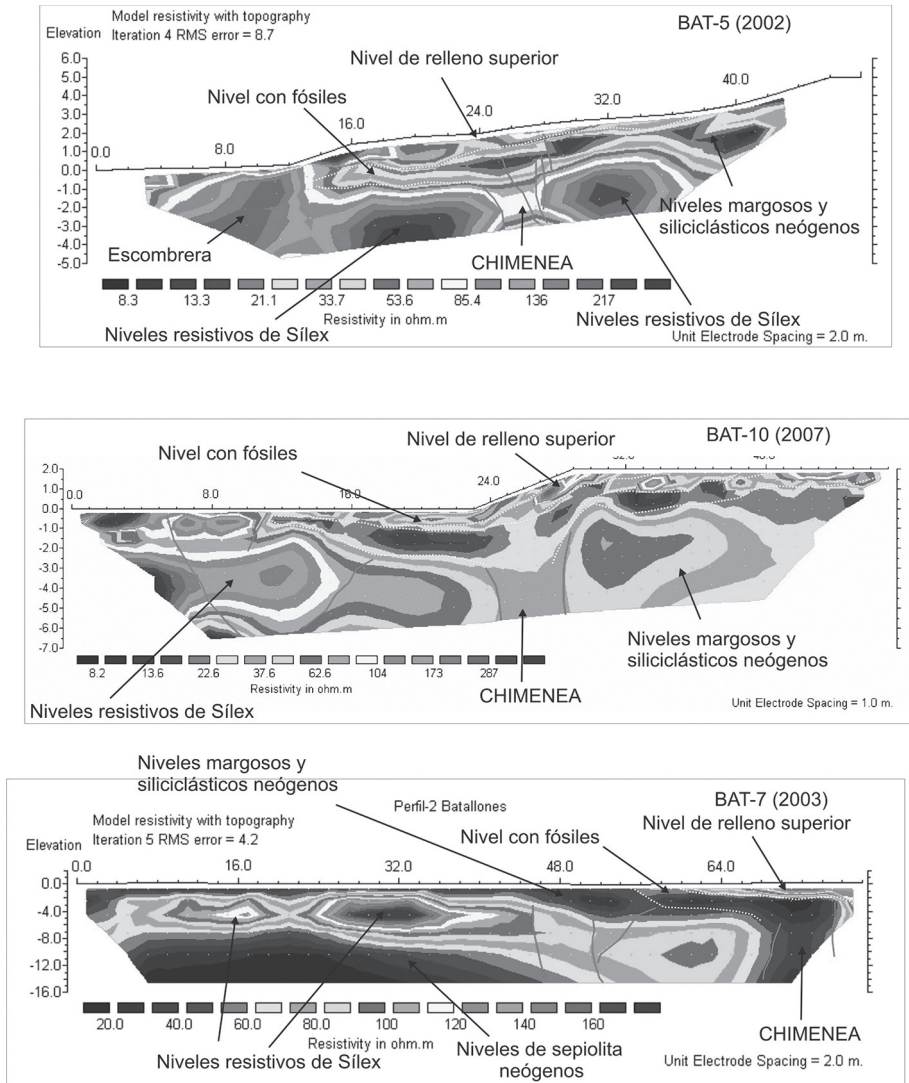


LÁMINA 7. Modelos inversos 2D obtenidos en los yacimientos de Batallones-5, Batallones-7 y Batallones-10. Estos dos últimos yacimientos fueron detectados mediante estas prospecciones geofísicas previamente a la explotación minera del área en la que se situaban.

superficie de la cavidad fósil. Por otro lado el relleno de la brecha fosilífera que cubre a la brecha basal muestra la existencia de buzamientos entre 16 y 27° ha-

cia el Oeste tal y como sugería el modelo inverso de resistividades que además van acompañadas por superficies de compactación y deslizamiento (tipo slicken-

side) que atraviesan la brecha fosilífera y la basal con mayor ángulo y geometría complejas. En la actualidad se puede observar la parte inferior de la pared Oeste de la cavidad fósil realizada por una superficie de carbonatación sobre las arcillas sepiolíticas.

Los yacimientos BAT-5 (Lámina 5), BAT-7 (Lámina 6), BAT-9 y BAT-10 (Lámina 7), son claros ejemplos de los yacimientos en superficiales con desarrollo basal de chimeneas rellenas por una brecha detrítica. Los yacimientos BAT-5 y BAT-10, con yacimiento superficial en proceso de excavación, muestran claros indicios de la existencia de una chimenea vertical asociada a un relleno inferior, como muestran los perfiles ERT realizados sobre ellos (ambos con un espaciado de 2m y profundidad de investigación máxima de 8 metros). Por otro lado los yacimientos BAT-7 y BAT-9 sólo han librado fósiles dispersos y fragmentarios en las brechas del comienzo de las chimeneas, pero ambos han sido objeto de trincheras de prospección que revelan la geometría 3D subcircular en forma de copa de los yacimientos superficiales. Estos dos yacimientos son los que han salido a la luz previa su identificación por prospección geoelectrónica. Ambos se investigaron mediante dispositivos dipolo-dipolo con 2m de espaciado y los perfiles ERT correspondientes muestran la existencia de las chimeneas verticales asociadas a rellenos de mayor diámetro en profundidad. En ambos casos, pero también en BAT-5 y BAT-10, se ha constatado la existencia de fallas de geometría curva (incluso circulares) que encierran y afectan a la parte perimetral de los yacimientos superficiales

y que en profundidad limitan las chimeneas (caso claro en BAT-7 y BAT-9). Las fallas muestran característicamente una tipología inversa hacia las partes centrales de los yacimientos, y normal hacia su zona perimetral exterior. En todos los casos los datos de los perfiles ERT han podido contrastarse con los cortes, bien de las canteras, o bien de prospección, practicados en ellos, para sus zonas más superficiales 2-4 metros, pero todavía no se ha podido acceder a las zonas de mayor profundidad.

4. Paleontología del Cerro de los Batallones

4.1 Las excavaciones

Desde julio de 1991 a septiembre de 1993 se sucedieron las excavaciones en el yacimiento de Batallones-1 (BAT-1), con un total de siete meses de excavación y resultados asombrosos, que vinieron a confirmar que estábamos ante una rica y compleja asociación de mamíferos, constituida mayoritariamente por carnívoros de todas las tallas (Morales et al. 1995).

Sin embargo, a pesar de la excepcionalidad de la asociación faunística, atribuida a la existencia de una trampa natural, no existía ninguna explicación convincente sobre el origen de una cavidad en estos sedimentos, que habría actuado repetidamente como trampa natural.

De hecho, desde las excavaciones de 1991 hasta 1999, los trabajos en este yacimiento se centraron mayoritariamente en aspectos puramente paleobiológicos, sin que fuésemos capaces de avanzar alguna idea respecto al origen de la supuesta trampa de carnívoros, fuera de su

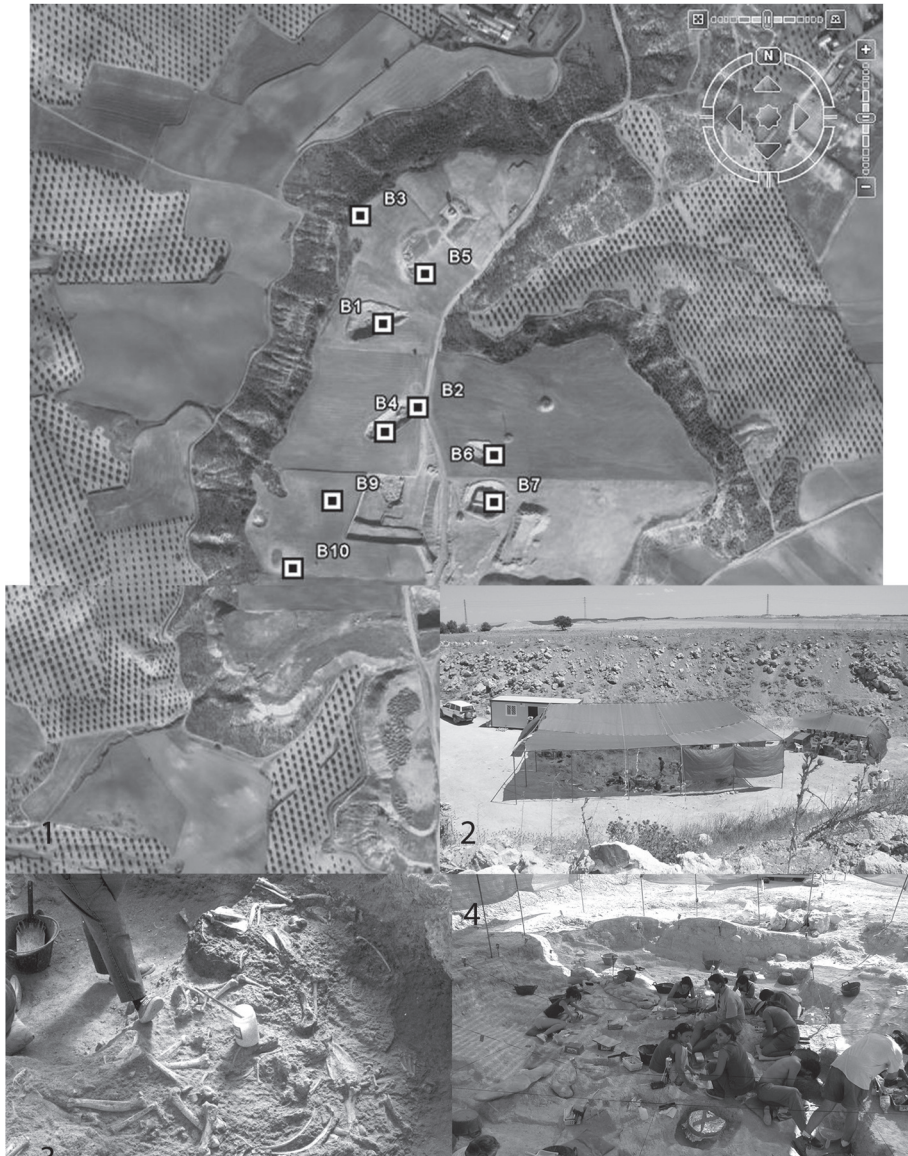


LÁMINA 8. Figura 1. Foto aérea (Google Earth) del Cerro de los Batallones mostrando la situación de los yacimientos paleontológicos, cuadrados marcados como B1, B2, etc. Figura 2. Vista general de la excavación de Batallones-1 durante el verano de 2005. Figura 3. Aspecto de la brecha ósea de Batallones-1, durante la excavación del invierno del 1993. Los huesos se encuentran desde aislados hasta formando conexiones anatómicas relativamente completas. Figura 4. Batallones-1, durante la excavación del verano de 2002.

emplazamiento discordante con respecto a la serie estratigráfica del cerro. En definitiva, veíamos que estábamos ante un yacimiento singular, originado por un proceso desconocido.

A partir de 1999 se produce una reactivación de las explotaciones de sepiolita del cerro, que en base a la legislación existente en la Comunidad de Madrid deben ser objeto de seguimientos paleontológicos exhaustivos (Fraile et al. 2003). Como consecuencia de estas actuaciones, durante el año 2000 se descubrieron tres nuevos yacimientos (Batallones-2, 3 y 4) y durante el 2001 uno más (Batallones-5). Durante el año 2002 Batallones-6, Batallones-7 se localizó en la primavera del año 2004, Batallones 9 en agosto de 2006, y finalmente Batallones-10 en abril de 2007. Otro importante tema de investigación en los yacimientos del Cerro de los Batallones se focaliza en las características de la acumulación de los restos fósiles, y en esta línea de estudios tafonómicos están los trabajos de Domingo et al. (2006) y Martín Escorza & Morales (2006).

Los yacimientos de BAT-2 y BAT-4 fueron objetos de una primera excavación durante los meses de junio-agosto del 2000. Batallones-1 se comenzó a re-excavar durante el verano de 2001 (para lo que se contó con la colaboración de la “National Geographic Society”) y posteriormente con campañas anuales hasta el 2007. El objetivo principal de estas campañas era el progreso de los estudios tafonómicos y paleobiológicos del yacimiento.

Durante la campaña del 2001 también se prospectó el yacimiento de Batallones-3, único que se encuentra en la

ladera del cerro, y cuyo descubrimiento ha sido ajeno a las labores mineras realizadas en la zona. BAT-3 se ha excavado metódicamente desde el año 2005 hasta el 2007. Durante los últimos días de la campaña de 2001, durante los trabajos de seguimiento paleontológico de la zona de explotación minera, se descubrió un nuevo yacimiento, denominado Batallones-5, realizándose una prospección superficial para evaluar preliminarmente su potencial paleontológico. Finalmente, este yacimiento ha sido excavado durante las campañas de 2002 a 2006. En noviembre de 2002 fue descubierto Batallones-6, aún sin prospectar. A partir del año 2003 se comienzan a realizar investigaciones geofísicas en el área, con el descubrimiento de tres nuevos yacimientos: Batallones-7, 9 y 10. Éste último, descubierto en abril de 2007, ha sido objeto de una campaña de excavación durante el verano de 2007.

4.2 Estado actual

En la actualidad la información paleontológica sobre los yacimientos ha avanzado notablemente, particularmente en sistemática y evolución, con trabajos sobre carnívoros (Antón et al. 2004a, 2004b, 2006; Peigné et al. 2005, 2008; Salesa 2002; Salesa et al. 2004, 2005a, 2005b, 2005c, 2006a, 2006b, 2006c, 2008); rinocerontes (Cerdeño & Sánchez 1998); rumiantes (Sánchez & Morales 2004, 2005, 2006; Sánchez & Morales, en prensa); aves (Sánchez-Marco 2000) y trabajos de tipo general (Morales 2004; Morales & Soria 2000; Morales et al. 1992, 1993, 1995, 2000, 2004; Antón & Morales 2000).

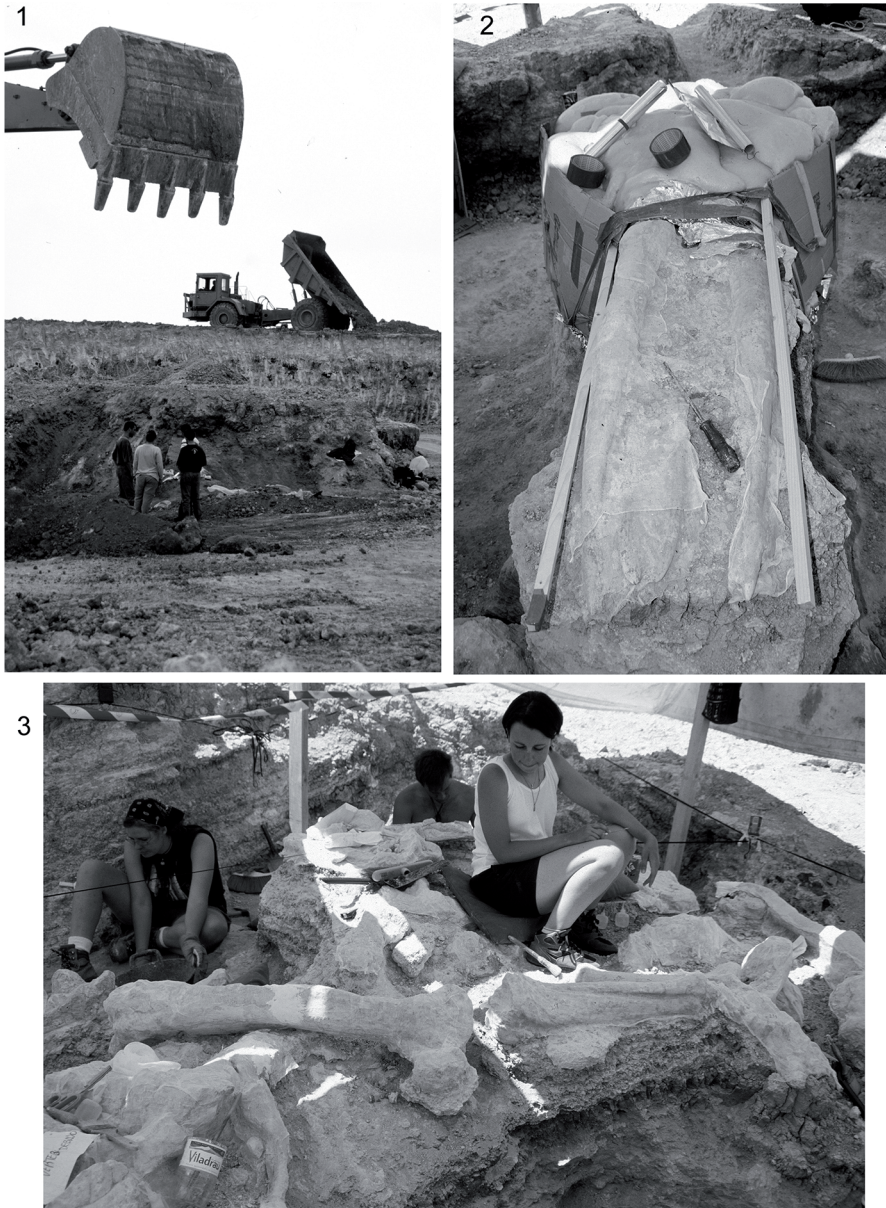


LÁMINA 9. Figura 1. Descubrimiento durante la explotación minera del yacimiento de Batallones-2 durante marzo del 2000. Figura 2. Cráneo de mastodonte procedente de Batallones-2 preparado para su traslado al Museo Nacional de Ciencias Naturales, englobado en un bloque de poliuretano. Campaña del 2002. Figura 3. Huesos de mastodonte de Batallones-2, campaña del 2000.

4.3 Los yacimientos de vertebrados

Las localidades de vertebrados encontradas en el Cerro de los Batallones (Lámina 8, Figura 1) hasta el presente muestran un mismo patrón geométrico. Los huesos están incluidos en depósitos estratificados que se distinguen claramente de las rocas circundantes. Los sedimentos fosilíferos muestran contactos abruptos con estas rocas, lo que sugiere que están rellenando hoyos. Consecuentemente, una morfología de relleno de hoyos puede deducirse del estudio de los yacimientos paleontológicos. El tamaño de los hoyos que contienen los depósitos fosilíferos es variable (Pozo et al. 2004).

Batallones-1 (Lámina 8, Figuras 2 a 4)

Los sedimentos rellenan un agujero que tenía más de 6 m de potencia y ocupan un área que varía de techo a muro entre los 24 m² a los más de 80 m², estos últimos correspondientes a la superficie actualmente excavada. El lado Este del yacimiento es vertical y está formado por sepiolita y rocas silíceas endurecidas; en contraste el lado Oeste consiste en sepiolita con niveles de sílex dispersos que recubren los sedimentos fosilíferos definiendo una especie de pequeño sifón.

La acumulación de restos de vertebrados aparece en niveles de arcillas de tono verdoso a pardo (un análisis de difracción de rayos X muestra que estas arcillas están compuestas mayoritariamente por esmectitas -más del 75%- y sepiolita, cuarzo, feldespato y carbonato cálcico formando el resto), de aspecto jabonoso, que incluyen, particularmente

en el sitio del yacimiento, fragmentos de carbonatos y sepiolita (intraclastos), granos terrígenos y conchas de gasterópodos. Las arcillas intercalan pasadas finas de margas calcáreas y pasan a techo a bancos potentes de sepiolita con nódulos de sílex de gran tamaño.

Localmente, la disposición geométrica de las capas indicada arriba aparece trastocada en el yacimiento, observándose el pinzamiento de niveles de sílex y sepiolita sobre las arcillas verdes que contienen los restos fósiles. De esta forma, las arcillas aparecen formando una bolsada, cuyos límites inferiores aún no son visibles, entre bancos de sílex. La geometría de los niveles que contienen la fauna es, por tanto, irregular con respecto a la de las capas circundantes. La fauna determinada en el yacimiento puede consultarse en la Tabla 1.

La asociación de mamíferos determinada en los niveles inferiores es típicamente Vallesiense (Mioceno superior) como lo indica la presencia de *Hipparion* sp. (caballo tridáctilo primitivo) asociado a los primeros tigres dientes de sable *Paramachairodus ogygia* y *Machairodus aphanistus* y a los últimos anficiónidos, que probablemente corresponden a un género y especie nuevos. Con referencia a la información aportada por los grandes mamíferos, y debido a la escasez de yacimientos del Vallesiense, es difícil precisar más esta edad. Sin embargo, la presencia de *Progonomys* sp., uno de los primeros múridos del registro neógeno, indica una edad superior a la de los yacimientos del Vallesiense inferior conocidos en el área Norte de la cuenca de Madrid (Sesé et al. 1990). Asimismo, la mayor abundancia de múridos que de cricétidos indica que,



1

2



3

LÁMINA 10. Figura 1. Vista del yacimiento de Batallones-3 durante la campaña del verano de 2007. Figura 2. Cráneo del oso primitivo *Indarctos* sp. excavación de Batallones 3, durante el verano de 2007. Figura 3. El yacimiento de Batallones-5 contemplado desde el sur.

probablemente, nos encontramos en los niveles más altos del Vallesiense superior. Esta datación se confirma en el aná-

lisis faunístico realizado recientemente por Domingo et al. (2007).

Batallones-2

El yacimiento tiene un área de 25 m² (a techo) con un espesor de los sedimentos de relleno de más de 5 m. El borde Oeste del hoyo es vertical y está formado por sepiolita y rocas silíceas endurecidas. El lado Este, que se ha conservado, muestra cómo los sedimentos de relleno están limitados por sepiolita y carbonatos. La fauna determinada en el yacimiento puede consultarse en la Tabla 1.

La asociación de mamíferos no permite precisar la edad con exactitud, pero las especies representadas no contradicen una posible edad Vallesiense superior, como la determinada para Batallones-1. Los niveles superiores de este yacimiento son los únicos excavados. Dos tipos de facies diferentes se aprecian con claridad, una formada por arcillas verdes compactas que contienen la fauna de peces, mientras que la segunda está formada por sedimentos detríticos más gruesos, con clastos de carbonatos y sílex y contiene la macrofauna. La asociación de mamíferos está dominada por 2 ejemplares de mastodontes, de los que se han recuperado más de 250 piezas esqueléticas, incluyendo los dos cráneos. Estos dos ejemplares se encuentran semidesarticulados, habiéndose conservado articulaciones parciales, manos y pies, extremidades, columna vertebral de uno de los dos, y cráneo y mandíbula articulados entre sí y a las vértebras cervicales en uno de los ejemplares. El resto de las especies de mamíferos están representadas por escasos huesos. Estos hechos evidencian que mientras que rinocerontes, jirafas y otros vertebrados pudieron ser transportados al yacimiento desde el entorno, los dos

ejemplares de mastodonte debieron morir en el mismo emplazamiento en el que se encuentra el yacimiento. Una posible trampa para grandes mamíferos podría ser sugerida a la vista de estos datos (Lámina 9).

BATALLONES-3

El yacimiento muestra una clara morfología de hoyo con lados escalonados. Tiene al menos una potencia de 2 m, siendo el único que se sitúa en la ladera del cerro, por lo que probablemente una parte importante del yacimiento fue destruida por la erosión superficial (Lámina 10, Figuras 1 y 2). La fauna determinada puede consultarse en la tabla 1.

La composición del yacimiento, en la que predominan mayoritariamente los carnívoros, es semejante a la de Batallones-1 con dos notables excepciones, la presencia de un oso, *Indarctos* sp. y la escasa representación de anficiónidos. La evaluación de estas diferencias no es sencilla. El género *Indarctos* está presente en las faunas europeas durante todo el Mioceno superior y sólo con una determinación precisa podría aportarse algún dato adicional. Mientras que la familia Amphicyonidae es en BAT-1 donde encuentra su último registro en España, su rareza en este yacimiento podría explicarse en términos de edad, pero al igual que no podemos explicar la ausencia de osos en Batallones-1, invocar una edad más moderna para Batallones-3 por el momento parece arriesgado.

Batallones-4

El yacimiento muestra una geometría

puntiaguda asimétrica. La parte basal del hoyo descubierta es de unos 10 m², estrechándose rápidamente hacia el techo. Los lados Este y Oeste del hoyo están formados por sepiolita y rocas silíceas endurecidas, estando el lado Oeste escalonado, mientras que el Este muestra un buzamiento de cerca de 45°.

Los fósiles de vertebrados de Batallones-4 (Tabla 1) son muy escasos: algunos huesos de *Hipparion*, rinoceronte, etc. Sin embargo, es notable el hallazgo de un ejemplar totalmente articulado (a excepción de una extremidad posterior) de un gran jiráfido. La conservación de este ejemplar es notable y destaca la columna vertebrada con las costillas articuladas a las vértebras sin indicios de deformación o desplazamiento. Aquí no hay duda, el animal fue enterrado en el mismo emplazamiento en el que murió. La sugerencia de una trampa natural está por lo tanto muy fundada. Este jiráfido representa una especie aún no descrita en el registro neógeno de España y pertenece a la subfamilia Sivatheriinae, caracterizada por un esqueleto postcranial robusto, con extremidades cortas y cráneo provisto con cuatro osiconos (cuernos sin estuche). La asociación faunística es muy escasa para determinar con precisión la edad del yacimiento, pero por lo dicho anteriormente le suponemos de la misma edad que el resto de los encontrados en el cerro.

Batallones-5

El yacimiento está lateralmente encajado por sepiolita y rocas silíceas endurecidas. El relleno sedimentario puede seguirse lateralmente aproximadamente unos 10 m, y la potencia visible de estos

sedimentos sobrepasa los 4 m. (Lámina 10, Figura 3) La fauna determinada en el yacimiento es, por el momento, la siguiente:

Los restos fósiles de macrofauna (Tabla 1) recuperados en este yacimiento nos permiten suponer que la asociación faunística se asemeja a la de los niveles superiores de Batallones-1, con la presencia de *Hipparion* sp. y *Tetralophodon longirostris*. Esta especie de mastodonte también está presente en el nivel superior de Batallones-2, donde es predominante. Al igual que en BAT-2, BAT-5 presenta en menores cantidades restos del rinoceronte *Aceratherium incisivum*. También son destacables los hallazgos de algunos restos pertenecientes a una especie de jiráfido que, en principio, sería similar a la hallada en Batallones-4. En resumen, los datos obtenidos hasta el momento parecen indicar la existencia de una correlación temporal, a nivel de composición faunística, entre los niveles superiores de Batallones-5 y los niveles superiores de los demás yacimientos del cerro.

La conservación de los restos y su composición anatómica son indicativas de una breve exposición subaérea. La presencia y conservación de elementos frágiles como las apófisis y/o espinas de las vértebras parece indicar que la etapa previa al enterramiento, así como su transporte, debieron ser breves. Por otra parte, la alteración debida a procesos diagenéticos sí parece haber tenido un efecto importante, con dos posibles actividades: la carbonatación por percolación de aguas desde la superficie y la actividad de plantas y animales sobre los restos fósiles dada la proximidad a la superficie de los restos.

Batallones-6, Batallones-7 Y Batallones-9

Los yacimientos BAT-6, 7, 9 y 10 tienen en común que sus rellenos cortan a las facies detríticas y carbonáticas de la Unidad III diferenciada en el sector de Batallones. El contacto vertical entre el relleno y la serie estratigráfica general es neto y erosivo, generalmente de superficie irregular en una de las paredes, pero rectilínea en la opuesta. La estructura de los rellenos es variable según el yacimiento considerado, así en BAT-7 son predominantemente de grano fino y calcáreos (margas), en general de aspecto masivo, sólo en las paredes se detecta la presencia de facies clásticas de granulometría mayor (Lámina 11, Figura 1). En BAT-9, por el contrario, predominan las facies de grano grueso de conglomerados y arenas, alternando y pasando lateralmente hacia el centro de la cavidad a facies de grano más fino (limos, arcillas, margas), mostrando estratificación bien definida (Lámina 11, Figura 2). Finalmente en BAT-10 el relleno presenta una geometría más compleja con predominio de las facies de grano fino (margas, arcillas) en su zona central pasando hacia techo y hacia los bordes a facies de mayor granulometría. En todos ellos, la deformación de los

materiales en las zonas centrales de las cavidades y la evidencia de estructuras monoclinales y fallas en los materiales encajantes ponen de manifiesto la existencia de fenómenos de colapso.

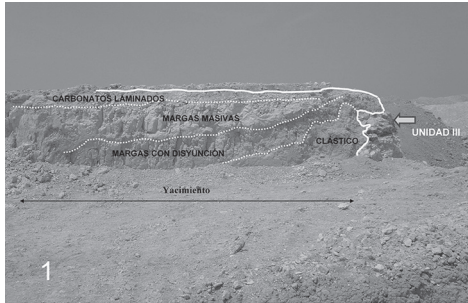
Estos yacimientos, excepto Batallones-10 del que hablaremos a continuación, no han sido excavados. Desde su descubrimiento los únicos trabajos realizados en ellos han sido aquellos relacionados con su delimitación y protección. En todos estos yacimientos se han descubierto restos de grandes vertebrados, y al menos en Batallones-7 también se han recuperado restos de microvertebrados (Tabla 1).

Batallones-10

El último yacimiento paleontológico descubierto en el Cerro de los Batallones ha sido denominado Batallones-10 (Lámina 11, Figuras 3 a 5). Se sitúa en la parte Sur del cerro, casi enfrentado a Batallones-9. Dentro del plan de sondeos eléctricos el área del yacimiento quedó en el límite de los realizados en el año 2006, y aunque se hicieron en la zona prospecciones mecánicas, el yacimiento sólo fue encontrado al comenzarse a explotar la cantera.

Durante julio y agosto de 2007 se de-

LÁMINA 11 Figura 1. El yacimiento de Batallones-7 visto desde el este. Figura 2. El yacimiento de Batallones-9 visto desde el este. Figura 3. El yacimiento de Batallones-10 visto desde el oeste. Campaña de campo de 2007. Figura 4. Caparazón de tortuga gigante en el yacimiento de Batallones-10, durante la campaña de campo de 2007. Figura 5. Panorámica de parte del yacimiento de Batallones-10 durante su primera campaña de excavación en 2007; en esta zona se concentran gran cantidad de restos de macroherbívoros, sobre todo jiráfidos y équidos. Se observa en primer plano el cráneo y la serie vertebral cervical de un jiráfido sivaterino, casi con toda seguridad de la misma especie que aparece en Batallones-4 y Batallones-5. Se pueden apreciar los dos osiconos frontales del cráneo de la jirafa, situados entre el cráneo y las vértebras; muy posiblemente estos dos elementos esqueléticos, cráneo y vértebras, pertenecieron al mismo individuo. El conjunto de fósiles que se observa en la esquina superior derecha de la fotografía contenía elementos apendiculares articulados y mandíbulas de équidos tridáctilos del género *Hipparion*.



	BAT-1 S	BAT-1	BAT-2 S	BAT-2 I	BAT-3	BAT-4	BAT-5	BAT-6	BAT-7	BAT-9	BAT-10
TELEOSTEI											
<i>Rutilus</i> sp.		X	X								
AMPHIBIA											
Amphibia indet.		X	X								
<i>Rana</i> sp.		X									
REPTILIA											
Chelonia indet.	X	X	X		X				X		X
Squamata indet.		X	X		X						
Anguidae indet.		X	X		X						
AVES											
Aves indet.	X	X	X		X						
ACCIPITRIFORMES											
Accipitriformes indet.		X									
<i>Haliaeetus</i> sp.		X			X						
PASSERIFORMES											
Passeriformes indet.		X			X						
<i>Garrulus</i> sp.		X									
MAMMALIA											
INSECTIVORA											
<i>Postpaleoerinaceus vireti</i>		X									X
<i>Parasorex ibericus</i>		X	X								
cf. <i>Miosorex</i> sp.		X									X
LAGOMORPHA											
<i>Prolagus</i> sp. cf. <i>P. crusafonti</i>		X	X		X		X		X		X
RODENTIA											
<i>Chalicomys</i> sp.		X									
<i>Spermophilinus</i> sp.		X									
<i>Hispanomys</i> sp.		X			X		X				X
<i>Rotundomys</i> sp.		X			X		X				
<i>Progonomys</i> sp.		X			X		X				X
Xerini indet.		X									
<i>Eliomys</i> sp.		X									
PROBOSCIDEA											
<i>Tetralophodon longirostris</i>	X		X				X				X

(Continúa en página siguiente)

	BAT-1 S	BAT-1	BAT-2 S	BAT-2 I	BAT-3	BAT-4	BAT-5	BAT-6	BAT-7	BAT-9	BAT-10
MAMMALIA											
CARNIVORA											
<i>Martes</i> sp.		X									
<i>Sabadellictis</i> sp.		X									
<i>Proputorius</i> sp.		X			X	X					
<i>Simocyon batalleri</i>		X									
<i>Amphicyon</i> sp. aff. <i>A. castellanus</i>		X			X						
<i>Indarctos</i> sp.					X						
<i>Protictitherium crassum</i>	X	X			X	X					
<i>Hyaenidae</i> indet.					X						
Felinae indet. sp. I		X			X						
Felinae indet. sp. II		X									
<i>Paramachairodus ogygia</i>		X		X	X						
<i>Machairodus aphanistus</i>		X			X						X
PERISSODACTYLA											
<i>Hipparion</i> sp.	X	X	X		X	X	X			X	X
Rhinocerotidae indet.	X	X	X		X	X	X	X	X		X
<i>Aceratherium incisivum</i>	X	X									
ARTIODACTYLA											
<i>Microstonyx</i> sp.		X			X						
<i>Micromeryx</i> sp.		X			X						X
<i>Hispanomeryx</i> sp.		X									
Giraffidae indet.			X			X	X				X
Cervidae indet.		X									
Bovidae indet.		X									X

Tabla 1. Lista faunística (vertebrados) determinados para cada uno de los yacimientos del Cerro de los Batallones. BAT= Batallones, S= Niveles superiores, I= Niveles inferiores.

limitó parte de la zona fosilífera, que es notablemente más extensa de lo habitual (cuando se comparan los niveles superiores con fósiles de los distintos yacimientos).

En el sondeo eléctrico realizado en el propio yacimiento se aprecia la discontinuidad entre el relleno sedimentario y

los sedimentos encajantes, coincidiendo este límite parcialmente en el borde Oeste con una falla, mientras que en el borde Este está menos marcado. La existencia de una chimenea de al menos 7 metros de profundidad es el rasgo morfológico más destacado que se desprende de la interpretación del sondeo. Pero también

destaca, como hemos señalado, la extensión de los sedimentos del techo de la chimenea, con una rica concentración de vertebrados fósiles. Una de las razones para excavar este yacimiento ha sido precisamente la gran extensión de los sedimentos superiores con fósiles. Estos niveles superiores sólo se habían encontrado con una cierta entidad en Batallones-5 y en Batallones-2, este último yacimiento también interpretado como una trampa de mastodontes.

Por el momento en BAT-10 se han registrado 966 fósiles, entre ellos piezas muy completas, lo que sin lugar a dudas suministra una idea de la riqueza del yacimiento. La metodología empleada es la tradicional usada en otros yacimientos del Cerro de los Batallones, y no merece la pena especificarla.

Por el momento poco más podemos añadir, ya que por una parte los materiales extraídos están actualmente restaurándose y por otra parte, nuestros primeros datos nos están indicando que estamos ante una concentración de fósiles diferente de las encontradas hasta el momento en el Cerro de los Batallones.

En cualquier caso de forma preliminar podemos afirmar que el yacimiento (sólo referido a los niveles superiores del mismo) es bastante complejo, con una concentración caótica en las cuadrículas Norte y una distribución horizontal en las cuadrículas Sur. En las cuadrículas Norte los fósiles tienen una conservación muy desigual, desde completamente alterados hasta relativamente bien conservados. En las cuadrículas Sur la conservación es más homogénea, en general muy buena.

La fauna es bastante variada, pero en la asociación predominan dos herbívoros.

Uno de ellos es una gran jirafa del grupo de los sivaterinos (jirafas de cuerpo robusto y cráneo provisto de cuatro cuernos) y el segundo es *Hipparion*, équido primitivo que podría estar representado en el yacimiento por dos especies, una de ellas de talla notablemente grande. También existen otras formas como rinocerontes, mastodontes, tigres dientes de sable, etc., pero con menor abundancia.

El yacimiento es extraordinariamente prometedor, y está claro que va a complementar de forma notable el conocimiento sobre la Paleontología de este extraordinario entorno del Cerro de los Batallones.

5. Los fósiles de Batallones

En los yacimientos del Cerro de los Batallones existe una asociación fósil muy diversa, que principalmente incluye vertebrados de todo tipo, pero también restos de otros organismos, como plantas, en general pequeños fragmentos con escaso valor sistemático (los análisis palinológicos realizados han dado resultados negativos), diatomeas, algunos invertebrados, en particular moluscos de agua dulce, crustáceos (cangrejos de río) y ostrácodos.

Pero sin duda son los vertebrados los fósiles más característicos y representativos en los yacimientos de Batallones. El nivel de conocimiento de estos diferentes grupos de vertebrados es por el momento muy desigual. Se ha avanzado mucho en el estudio de la asociación de carnívoros y algo menos en los demás grupos. No obstante, la formación de un nutrido grupo de investigación está paulatinamente cambiando este desequilibrio. A conti-

nuación repasaremos someramente lo que sabemos de los diferentes grupos de vertebrados.

Los peces están representados con cierta abundancia en los niveles superiores de Batallones-2 en sedimentos diferentes de los que han suministrado los restos de mastodontes, formados por arcillas y margas de color verde. En general son esqueletos completos articulados pertenecientes a formas de talla relativamente pequeña. En Batallones-1 hay algún ejemplar completo, pero en general los restos de peces se han obtenido en el lavado de los sedimentos para la obtención de microvertebrados.

La herpetofauna del Cerro de Batallones está compuesta por macrorrestos encontrados durante el proceso de excavación y microrrestos que como hemos señalado para el caso de los peces se obtienen por el lavado de los sedimentos.

Por el momento tenemos evidencia de la presencia de anfibios, al menos de una especie cercana, sino idéntica, a la rana verde común de Europa.

Entre los reptiles (en sentido amplio) los más abundantes son los quelonios, representados mayoritariamente por caparzones de tortuga y algunas placas y osteodermos aislados. En Batallones-3, 5, 7 y 10 existe presencia de tortugas gigantes terrestres, similares en tamaño a las comunes del Mioceno medio de Madrid, que son habitualmente clasificadas como *Geochelone bolivari*. En Batallones-1 y 2 hay tortugas más pequeñas representadas por una especie cercana a la tortuga mediterránea (*Eurotestudo hermanni*) que todavía se encuentra en la actualidad en España.

También hay presencia de Scinco-

morpha, que son los lagartos comunes europeos tales como el Lagarto ocelado (*Timon lepidus*) y de Anguimorpha, con una forma próxima al actual lagarto de cristal (*Ophisaurus apodus*). Ambas especies están actualmente representadas en España.

Finalmente la presencia de serpientes (Ophidia) está registrada en varios yacimientos, pero por el momento desconocemos cuántas especies están registradas.

5.1 Aves de Batallones

El yacimiento que ha ofrecido hasta el presente un mayor número de restos de aves es Batallones-1. Aquí se han hallado varios fósiles (algunos procedentes de un único individuo) pertenecientes a una accipitriforme de talla grande del grupo Gypaetinae. Hay otra especie de rapaz diurna, de talla menor que la anterior, que probablemente también forme parte de la subfamilia Gypaetinae. Otras dos especies de rapaces diurnas, o estrechamente relacionadas con éstas, están representadas por restos fragmentarios y escasos. Finalmente, se encontraron dos huesos del ala de una paseriforme, probablemente un córvido, de talla similar a los géneros actuales *Garrulus* y *Pica* (arrendajos y urracas).

5.2 Los mamíferos de Batallones

5.2.1 Micromamíferos

La Paleontología de micromamíferos se ocupa del estudio de los restos fósiles de los órdenes Insectivora (musarañas, erizos, topos, desmanes, etc), Chiroptera (murciélagos), Lagomorpha (conejos,

liebres y pikas) y Rodentia (ratones, ardillas, hámsters, lirones, castores, etc). La preservación de los restos de micromamíferos está generalmente relacionada con acumulaciones realizadas por pequeños predadores (aves rapaces y pequeños carnívoros); los restos obtenidos y por tanto objeto de estudio son, principalmente, huesos y dientes aislados. Este especial tipo de concentración de los restos explica por qué, comparado con los restos de macromamíferos, los fósiles de micromamíferos presentan una mayor abundancia relativa.

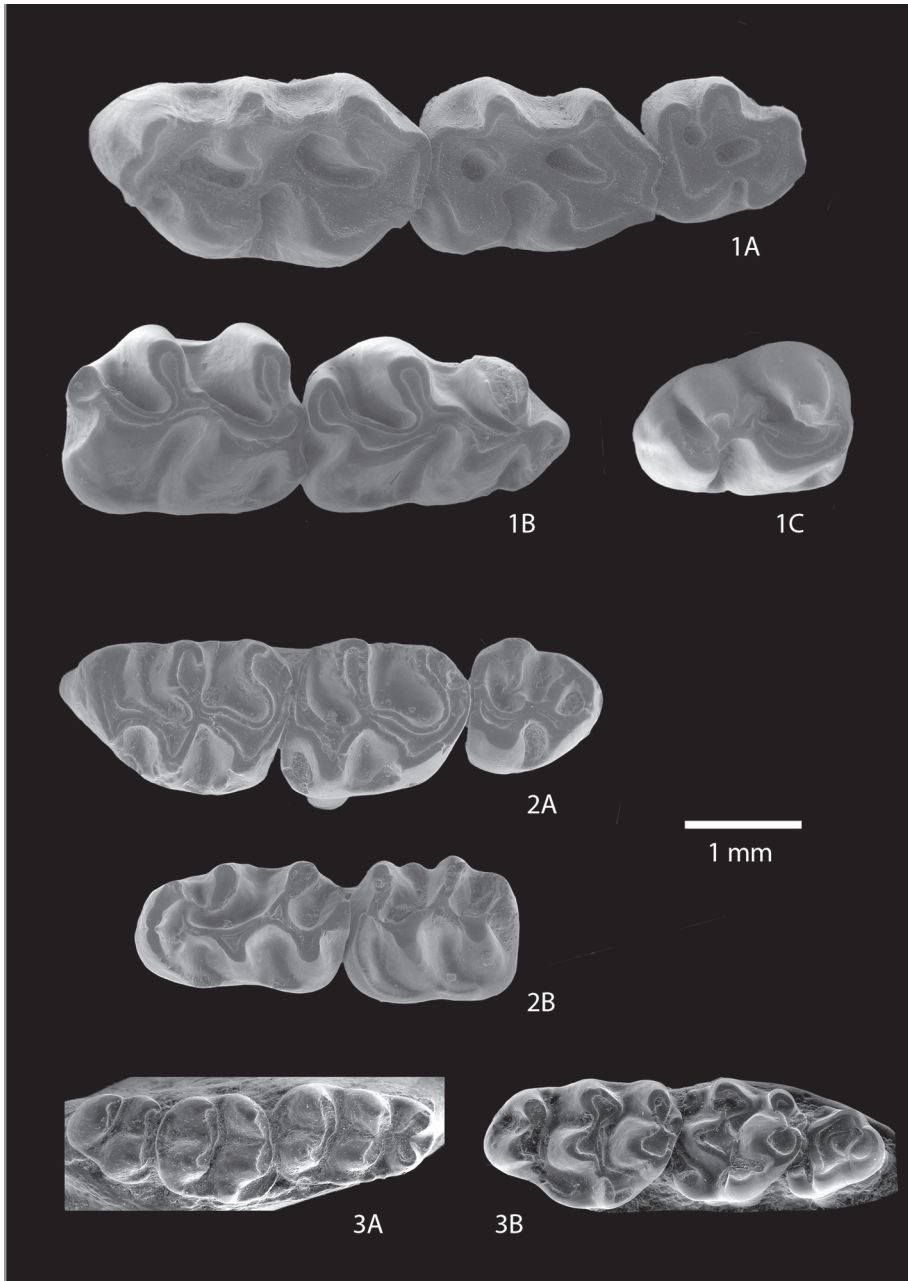
Durante las últimas décadas se han producido importantes avances en el conocimiento del registro fósil de los micromamíferos. Son de destacar los esfuerzos realizados en el Mioceno de varias cuencas españolas como Calatayud-Montalbán, Teruel, Madrid, Loranca, Valles-Penedés y que en su conjunto han propiciado que el registro de micromamíferos del Mioceno español pueda ser considerado, por el momento, como el mejor del mundo. Gracias a todos estos esfuerzos, particularmente en el estudio del registro fósil de roedores, se ha podido proponer una escala biocronológica de alta resolución, ampliamente contrastada mediante el estudio de numerosas escalas bioestratigráficas locales. La importancia de estos trabajos queda patente cuando se tiene en cuenta que han sido definidos cuatro pisos continentales para sedimentos miocenos (Ramblense, Aragoniense, Vallesiense y Tuoliense), cuyos estratotipos han sido definidos en algunas de las

cuencas mencionadas anteriormente.

Además de su utilidad biocronológica, y biocronoestratigráfica, los micromamíferos tienen gran importancia en la propuesta de reconstrucciones paleoambientales y paleobiogeográficas, y como fuente de información paleoecológica, ya que presentan una buena correlación entre morfología y ambiente, y tienen la ventaja de ser fósiles muy abundantes, por lo que es más fácil obtener los datos necesarios para realizar dichos análisis.

La técnica de obtención de restos fósiles de micromamíferos en yacimientos comienza con la recogida de sedimento del nivel fosilífero. La cantidad de sedimento recolectada dependerá tanto de la concentración de restos fósiles en el estrato como de la información que queramos obtener de ellos. El siguiente paso en el proceso, en caso de ser sedimentos consolidados (como es habitual) consiste en la disgregación de la muestra, para lo cual se seca y posteriormente se rehidrata sumergiéndola en barreños con agua. A continuación se hace pasar el sedimento disgregado por una mesa de lavado, que consiste en una batería de tamices con distinta luz de malla (entre 2 cm y 0,7 mm) situados escalonadamente. Se hace circular el agua por los tamices mediante un sistema de mangueras conectadas a una motobomba de forma que se produce el tamizado de la muestra. De esta manera, la mayor parte del sedimento se elimina, al ser menor que la luz de malla más pequeña (0,7mm), mientras que los restos fósiles que nos interesan (dientes

LÁMINA 12 Micromamíferos del yacimiento de Batallones-1. Fotografías tomadas con microscopio electrónico. 1. *Hispanomys* sp. 1A. Maxilar con M1-M3; 1B. Fragmento de mandíbula con m1-m2; 1C. m3; 2 *Rotundomys* sp. 2A. Maxilar con M1-M3; 2B. Mandíbula con m1-m3; 3 *Progonomys* sp. 3A. Mandíbula con m1-m3 3B. Maxilar con M1-M3.



y huesos de micromamíferos), que tienen tamaños superiores a 0,7 mm, se van concentrando y permanecen en el residuo de los tamices. Este concentrado será triado posteriormente con la ayuda de una lupa binocular. Los elementos conservados de micromamíferos más interesantes corresponden a las piezas dentales, especialmente los dientes yugales (molares y premolares), ya que su morfología y tamaño son diagnósticos para la clasificación sistemática. El estudio de la dentición de los roedores no sólo permite realizar una clasificación sistemática, sino también realizar inferencias sobre su paleobiología: dieta, biomecánica del aparato masticador, relaciones tróficas en términos de metabolismo, condiciones de temperatura-humedad del ambiente, entre otras.

A continuación se describen los diferentes taxa de micromamíferos determinados hasta la fecha en Batallones-1 (Lámina 12):

Orden Lagomorpha Brandt, 1855

Prolagus crusafonti López Martínez, 1975

Los restos de lagomorfos obtenidos en Batallones-1 pertenecen a la familia Ochotonidae, denominadas comúnmente pikas. Se conocen 26 especies actuales, todas ellas incluidas en el género *Ochotona*. Son animales de pequeña talla (entre 125 y 400 gramos de peso) que ocupan gran variedad de hábitats, desde áreas rocosas a zonas de estepa. A pesar de ser el grupo de micromamíferos más abundante en la asociación de Batallones-1, todo el material es asignado por el momento a una única especie: *Prolagus crusafonti*

López Martínez, 1975. Es de destacar que este taxón presenta un grado de preservación similar al de los grandes mamíferos, siendo frecuente encontrar cráneos completos asociados a su mandíbula, y asociaciones de huesos postcraneales incluso en conexión anatómica.

Orden Rodentia Bowdich, 1821

Familia Sciuridae Carus, 1868

Tribu Xerini

Xerini indet.

Dentro de esta familia se incluyen representantes de las ardillas, marmotas y perrillos de las praderas. Los Xerini, uno de los grupos de ardillas terrestres, tienen en la actualidad distribución principalmente africana. Sus representantes actuales ocupan hábitats diversos aunque, en general, pueden relacionarse con espacios más o menos abiertos. En Batallones-1 se han encontrado restos aislados que, según las tallas que presentan, pertenecen al menos a dos especies distintas.

Superfamilia Muroidea Illiger, 1811

Familia Cricetidae Rochebrune, 1883

Hispanomys sp.

Rotundomys sp.

Familia Muridae Gray, 1821

Progonomys sp.

Los hámsters (e.g. *Hispanomys*) son roedores típicos de hábitats más o menos abiertos, como praderas y estepas, no apareciendo nunca en bosques densos. *Progonomys* pertenece a la misma familia (Muridae) que las ratas y los ratones actuales. Este grupo es cosmopolita y sus

representantes se distribuyen por toda clase de hábitats. La presencia en Batallones-1 de gran cantidad de dientes de *Progonomys* asociada con una menor proporción de *Rotundomys*, indicaría una edad Vallesiente superior (MN10). La presencia habitual de múridos en faunas de la Península no se produce hasta el Vallesiente superior y, además, el género *Rotundomys* es un marcador biocronológico de este piso.

Familia Gliridae Thomas, 1897

Eliomys sp.

Los Gliridae incluyen a los lirones. Representan un grupo de origen probablemente europeo, que tiene sus máximos de biodiversidad durante el Mioceno. En la actualidad, el grupo está poco diversificado (se reconocen menos de 30 especies) y su distribución es euroasiática y africana. Es un taxón muy poco frecuente en la fauna de Batallones, habiéndose determinado únicamente algún resto de molar en mal estado de preservación.

Familia Castoridae Hemprich, 1820

Chalicomys sp.

La presencia de castores en Batallones-1 (género *Chalicomys*) podría indicar la existencia en la zona de masas de agua más o menos permanentes, ya que estos animales poseen hábitos semiacuáticos y construyen diques de hasta 600 m de longitud, con ramas y troncos. Su presencia también indicaría la existencia de un bosque en las cercanías de la trampa, ya que, además de para la construcción de los diques, estos animales explotan las zonas forestales como recurso trófico,

alimentándose de cortezas de árbol, hojas y raíces.

Orden Insectivora Bowdich, 1821

Erinaceomorpha

Parasorex ibericus (Mein & Martín Suárez, 1993)

Postpalerinaceus vireti (Crusafont & Villalta, 1947)

Soricidomorpha

cf. *Miosorex* sp.

El género *Parasorex* se incluye en la subfamilia Galericinae, insectívoros pertenecientes al grupo de las llamadas “ratas lunares”. Este género está presente en la mayoría de las localidades del Vallesiente y Turolense de la Península Ibérica. Los representantes actuales de este grupo (género *Echinosorex*) poseen un pelaje formado por pelos cortos y queratinizados, muy duros y afilados, similares a los de los erizos, aunque sin llegar a formar la coraza de espinas que exhiben éstos últimos. Viven en selvas y bosques tropicales del sudeste asiático. En Batallones-1 es frecuente, al igual que en el caso de los lagomorfos, encontrar cráneos completos y mandíbulas de insectívoros, e incluso se han hallado elementos postcraneales articulados.

5.2.2 Proboscídeos

El orden Proboscidea está representado hoy en día por dos especies, el elefante africano (*Loxodonta africana*) y el elefante indio (*Elephas maximus*). Estas especies son las únicas supervivientes de una gran diversidad de formas fósiles, muchas de las cuales corresponden al grupo conocido popularmente como

mastodontes. El término mastodonte hace referencia a la forma de mama que tienen las cúspides de los molares de estos proboscídeos fósiles, a diferencia de las características crestas transversales de los molares de los elefantes propiamente dichos. Esa morfología de los molares de los mastodontes refleja sus hábitos esencialmente ramoneadores.

Los mastodontes llegaron a Europa procedentes de África durante el Mioceno inferior, y a lo largo del Terciario sucesivas oleadas migratorias propiciaron la sustitución de las especies establecidas por otras recién llegadas del continente africano. Por esta razón la presencia de una u otra especie de proboscídeos en un yacimiento contribuye a determinar la edad del mismo.

Los proboscídeos tienen un gran impacto sobre los ecosistemas, por lo cual la presencia continuada de los mismos en Europa desde el Mioceno inferior hasta el final del Pleistoceno tiene una enorme relevancia ecológica. La capacidad de estos animales para afectar a la vegetación y modificar el equilibrio entre bosques, claros y praderas, sin duda ha repercutido en la distribución de los recursos disponibles para otros vertebrados, y las consecuencias de su desaparición de gran parte de las zonas templadas del planeta al final del Cuaternario son difíciles de sobreestimar. El conocimiento de la evolución de los proboscídeos es esencial para poder evaluar su papel en los ecosistemas y desarrollar criterios realistas para la gestión de las especies actuales.

EL MASTODONTE DE Batallones

Tetralophodon longirostris (Kaup, 1835)

Aunque se han identificado restos de mastodontes en Batallones-1, Batallones 5 y Batallones-10, la representación más importante de proboscídeos en los yacimientos de Batallones es la acumulación de Batallones-2, consistente en los esqueletos parciales asociados de dos individuos adultos. Se han recuperado más de 250 elementos esqueléticos, incluyendo los dos cráneos. Los individuos están parcialmente articulados, y se conservan asociaciones en conexión anatómica de manos y pies, extremidades, columna vertebral, cráneo y mandíbula. La preservación de estos ejemplares indica que ambos mastodontes debieron morir en el mismo lugar en que se han encontrado (Lámina 13), mientras que otros fósiles de Batallones-2, correspondientes a rinocerontes, jiráfidos y otros vertebrados, habrían sido transportados al yacimiento desde el entorno.

Tetralophodon longirostris es la especie dominante de mastodontes del Mioceno superior en Europa, donde llega procedente de África hace aproximadamente 12 millones de años y sustituye a *Gomphotherium angustidens*, la especie típica del Mioceno medio. Ambas especies de proboscídeos eran vagamente similares a los elefantes actuales, pero con las patas algo más cortas en proporción a la longitud del cuerpo. Tenían la cabe-



LÁMINA 13 Reconstrucción de la apariencia en vida de *Tetralophodon longirostris*, reconstrucción idealizada de la zona de Batallones-2 en la que quedaron atrapados dos ejemplares adultos. Ilustraciones de Mauricio Antón.

za baja y alargada, y estaban dotados de cuatro defensas, dos en el maxilar y dos en la mandíbula. Las defensas inferiores eran más cortas que las superiores, y surgían al final de una sínfisis mandibular muy alargada.

A pesar de sus similitud general, *T. longirostris* se diferencia *G. angustidens* por su talla algo mayor, por la tendencia al acortamiento de la sínfisis mandibular, por tener unos molares algo más hiposodontos, por la tendencia a aumentar el número de colinas en las cúspides de los molares, y por la pérdida de la banda de esmalte en las defensas superiores (Göhlich 1999).

Los mastodontes de Batallones muestran las características típicas de la especie *T. longirostris*, y constituyen la mejor muestra de esta especie conocida hasta la fecha en la Península Ibérica, sólo comparable al esqueleto descubierto en Polinya, Barcelona (Alberdi 1971). Los esqueletos de Batallones corresponden a individuos adultos pero relativamente jóvenes, lo que implica un desgaste moderado de la dentición y la posibilidad de realizar estudios detallados de su morfología dentaria. La preservación de la práctica totalidad del esqueleto permitirá estudios de anatomía funcional que arrojen luz sobre la evolución del aparato locomotor en los proboscídeos.

5.2.2 Los carnívoros de Batallones

La fauna de carnívoros del conjunto de yacimientos del Cerro de los Batallones (Láminas 14 a 17) está formada por los siguientes taxa:

Familia Felidae Fischer, 1817
Machairodus aphanistus (Kaup, 1832) Kaup, 1833
Paramachairodus ogygia (Kaup, 1833) Pilgrim, 1913
Felinae indet. sp. 1
Felinae indet. sp. 2

Familia Hyaenidae Gray, 1821
Protictitherium crassum (Depéret, 1892) Schmidt-Kittler, 1976

Familia Amphicyonidae Haeckel, 1866
Amphicyon sp. aff. *A. castellanus* (especie recientemente descrita, en publicación)

Familia Ursidae Fischer, 1817
Indarctos sp.

Familia Ailuridae Gray, 1843
Simocyon batalleri (Viret, 1929)

Familia Mustelidae Fischer, 1817
Martes sp.
Sabadellictis sp.
Proputorius sp.
Mustelidae indet.

5.2.2.1 Félidos

La comunidad de félidos de Batallones está compuesta por 4 especies: *Machairodus aphanistus*, de la talla de un tigre, *Paramachairodus ogygia*, del tamaño de un leopardo y dos especies indeterminadas de felinos, una de la talla de un gato montés y otra de la talla de un caracal (Antón & Morales 2000; Antón et

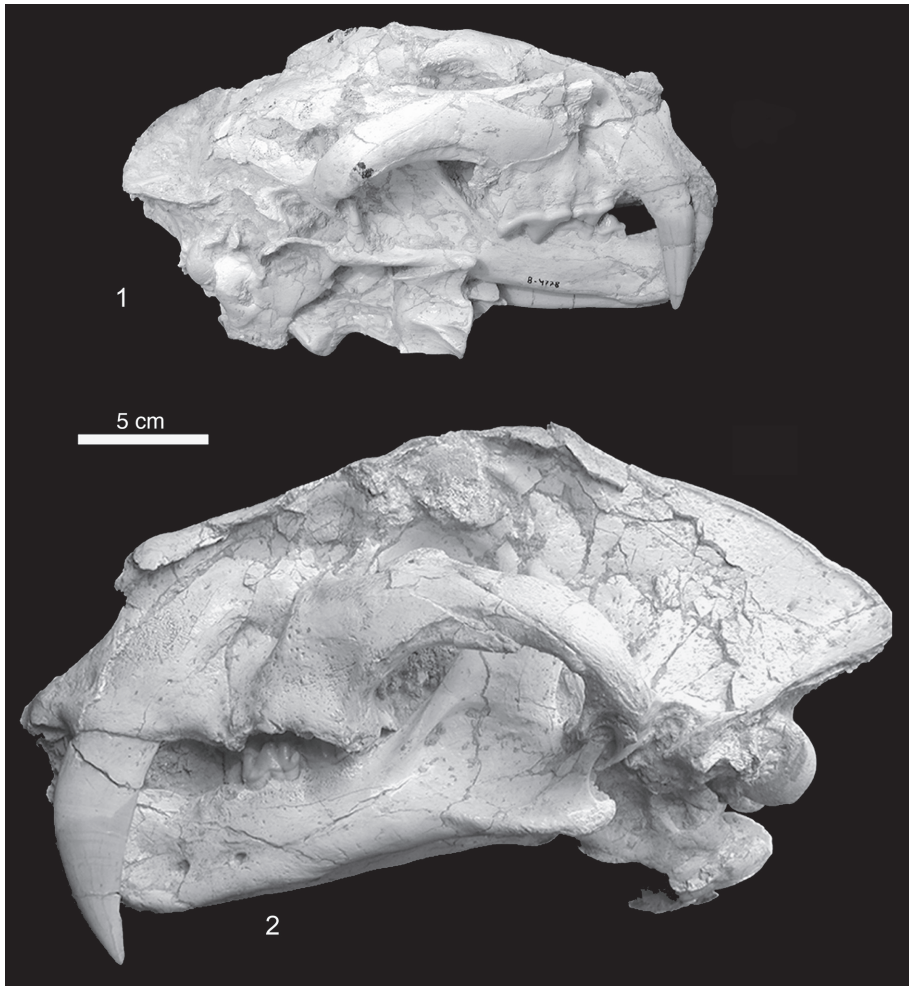


LÁMINA 14 Vista lateral de cráneos completos de Félidos macairodontinos de Batallones-1. Figura 1. B-4778, cráneo y mandíbula de *Paramachairodus ogygia*. Figura 2. B-5445, cráneo y mandíbula de *Machairodus aphanistus*.

al. 2004a). Se han recuperado restos de al menos 14 individuos de *M. aphanistus* (2 de ellos juveniles) y tan sólo 4 de las dos especies de felinos (Antón & Morales 2000). Pero el félido más abundante es *P. ogygia*, del cual se han recuperado restos pertenecientes al menos a 24 individuos,

uno de ellos juvenil (Salesa 2002; Salesa et al. 2005b, 2006a).

La presencia de dos especies de grandes félidos tiene importantes implicaciones paleoecológicas. En los ecosistemas actuales, la convivencia de dos especies de grandes félidos suele producirse en

hábitats con cierta cobertura vegetal, lo que permite a la especie más pequeña refugiarse en los árboles para evitar perder su presa o incluso ser depredado por la especie mayor (Morse 1974). Así ocurre en África con leones y leopardos (Bailey 1993) y en Asia con tigres y leopardos (Seidensticker 1976). En el caso de guepardos y leones, que comparten áreas abiertas, con escasa cobertura vegetal, la simpatria se produce porque los guepardos están continuamente evitando los encuentros con los leones, y realizan las labores de caza durante las horas de más calor, cuando las hienas y los grandes felinos permanecen inactivos (Hanby & Bygott 1979; Durant 2000). También existen casos de simpatria entre felinos de tamaño similar, como el jaguar y el puma, en gran parte del continente americano (Núñez et al. 2000); estos casos se producen cuando los recursos permiten el sostenimiento de ambas especies, desarrollándose una marcada segregación ecológica entre ellas con un claro comportamiento de elusión de encuentros entre adultos (Rabinowitz & Nottingham 1986; Núñez et al. 2000). Por ello, la densa cobertura vegetal no sería suficiente para explicar esta simpatria, sino que también sería fundamental la presencia de una elevada biomasa de presas y que de ella un alto porcentaje se identifique con ungulados de tamaño pequeño (Seidensticker 1976). En el caso del leopardo y el león se ha relacionado esta segregación con el uso por parte del primero de hábitats cerrados, menos favorables para los leones (Bailey 1993). De esta forma, los leopardos establecen sus territorios en parches de bosque, cerca de cursos de agua, mientras que los leones ocupan

zonas más abiertas (Antón & Morales 2000). De esta forma, el predominio de *P. ogygia* en Batallones-1 podría indicar que la trampa estaría situada cerca de una zona arbolada, o por lo menos con la suficiente cobertura vegetal como para que esta especie pudiera ocultarse de *M. aphanistus* (Antón & Morales 2000).

El estudio de los félidos “dientes de sable” de Batallones-1 ha permitido desarrollar una nueva hipótesis sobre el origen de este modelo tan especializado de carnívoros. Tradicionalmente se había explicado el conjunto de adaptaciones macairodontinas (caninos comprimidos, potentes extremidades anteriores, sínfisis mandibular verticalizada, modificaciones en el basicráneo, etc) como la respuesta a la caza de grandes presas, a las que se mataba con un certero mordisco en el cuello gracias a los grandes caninos comprimidos (Gonyea 1976; Emerson & Radinsky 1980; Akersten 1985; Rawn-Schatzinger 1992). Aunque estaba claro que un mordisco de este tipo aplicado en la garganta cortarían el paso de sangre al cerebro y de aire a los pulmones, consiguiendo la muerte rápida de la presa, no estaba claro que tuviera relación con la caza de presas grandes, dado que algunas de las especies de macairodontinos más primitivas tenían una talla moderada. En base a la anatomía craneal de *P. ogygia* y *M. aphanistus*, Salesa et al. (2005b, 2006a) proponen que la combinación de unos caninos comprimidos y alargados, junto con unas extremidades anteriores muy potentes contribuyeron a minimizar el tiempo empleado en dominar y matar a la presa, y por ello los riesgos de sufrir heridas durante la lucha y la energía empleada en ella, convirtiendo a los féli-

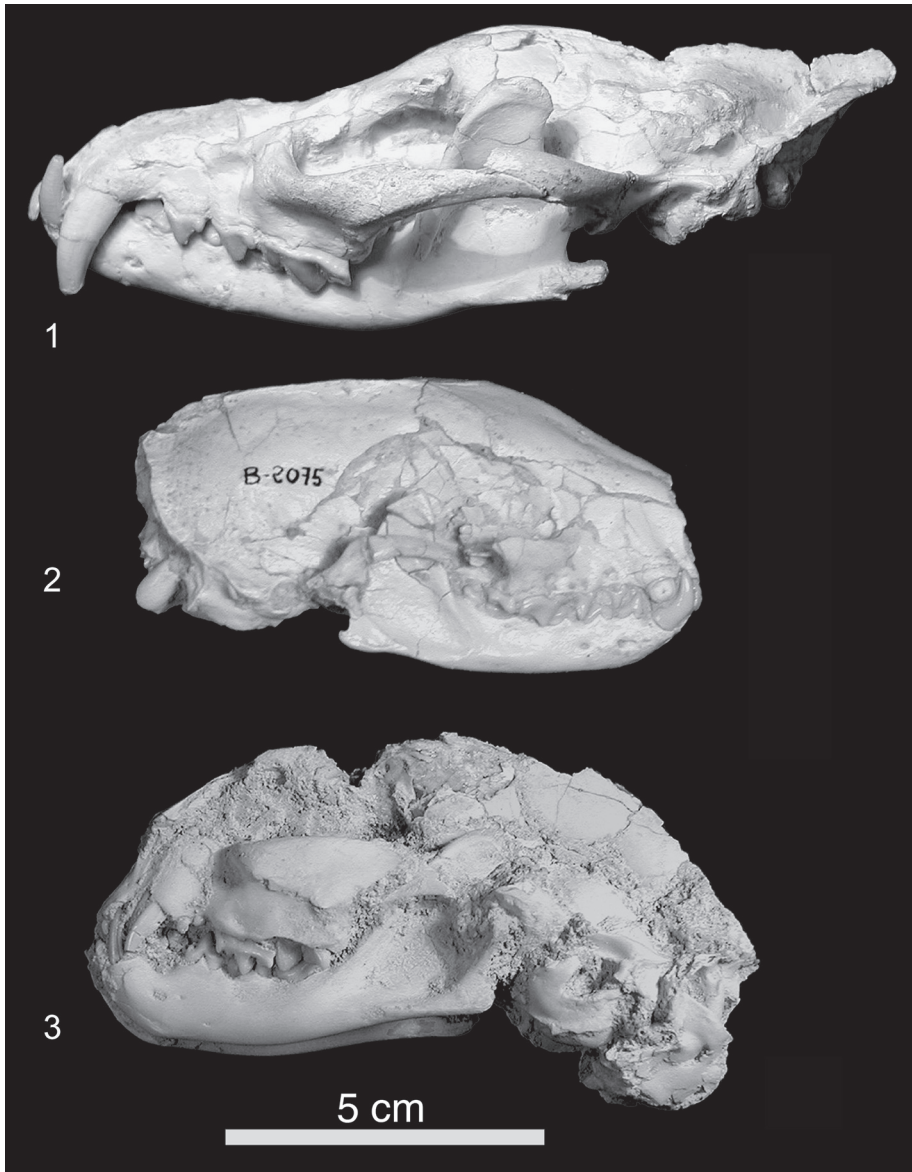


LÁMINA 15 Vista lateral de cráneos completos de pequeños carnívoros de Batallones-1. Figura 1. B-2800, cráneo y mandíbula de *Protictitherium crassum*. Figura 2. B-2075, cráneo y mandíbula de *Martes* sp. Figura 3. B-5446, cráneo y mandíbula de un individuo juvenil de *Felinae* indet.

dos “dientes de sable” en los carnívoros dominantes en las faunas de mamíferos durante todo el Mioceno superior y Plioceno.

5.2.2.2 Otros carnívoros

Entre los mustélidos, las formas actuales del género *Martes* suelen estar asociadas a masas forestales (Nowak & Paradiso 1983) y, aunque algunas especies pueden ocupar zonas rocosas, praderas y áreas ribereñas, evitan siempre las zonas abiertas (Powell 1981; Clark et al. 1987). Su presencia en Batallones-1 indicaría la presencia de una cobertura vegetal bien desarrollada. Los Mephitinae (mofetas) actuales ocupan gran variedad de hábitats, salvo el bosque cerrado y los desiertos (Nowak & Paradiso 1983; Antón & Morales 2000) por lo que la presencia en los yacimientos de *Sabadellictis* y *Proputorius* no aportaría datos sobre el tipo de hábitat que existió en Batallones-1.

Los ailúridos actuales se reducen a una única especie, *Ailurus fulgens*, habitante de los bosques mixtos de coníferas y planifolios de China, Nepal y Birmania (Nowak & Paradiso 1983; Roberts & Gittleman 1984). Su alimentación se basa principalmente en varias especies de bambú, aunque también incluye en su dieta insectos, aves, pequeños mamíferos, huevos, frutas y hojas (Nowak & Paradiso 1983; Roberts & Gittleman 1984). Sin embargo *Simocyon batalleri*, a pesar de estar estrechamente emparentado con *A. fulgens* (Wang 1997), poseyó una dentición muy diferente, indicativa de una dieta generalista a base de caza y carroñeo (Baskin 1998; Antón & Morales 2000; Peigné et al. 2005; Salesa & Fraile 2000).

Poco más se conocía de este raro carnívoro hasta el descubrimiento en Batallones-1 de restos, prácticamente completos, de al menos 2 individuos. Este nuevo material ha desvelado numerosas incógnitas acerca de la anatomía post-craneal, modo de vida y adaptaciones locomotoras de *Simocyon batalleri*, revelándolo como uno de los carnívoros más extraños de todo el Mioceno superior. Poseía una serie de adaptaciones que indican altas capacidades arborícolas, entre ellos la posesión de un “falso pulgar”, un sesamoideo del carpo que se hiperdesarrolló para adoptar una función prensora. Este rasgo, compartido con *A. fulgens* y el panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*) había sido considerado tradicionalmente como una prueba de cierta relación filogenética entre ambos pandas, aunque finalmente los estudios moleculares establecieron claramente su separación en 2 familias: Ursidae (panda gigante) y Ailuridae (panda rojo) (Bininda-Emonds et al. 1999; Flynn & Nedbal 1998; Flynn et al. 2000, 2005; Ginsburg 1999). Ambas especies utilizan el “falso pulgar” para sujetar las ramas de bambú de las que se alimentan, por lo que su presencia en *S. batalleri*, un carnívoro de dentición generalista, debía explicarse en otro contexto funcional. El análisis profundo de la morfología de este hueso en los pandas (Salesa et al. 2006b) y de la anatomía muscular de la extremidad anterior de *A. fulgens* (Antón et al. 2006) ha servido para establecer un diferente origen para esta estructura tan especializada, que se habría así desarrollado de manera independiente en úrsidos y ailúridos. De esta forma, mientras que en los úrsidos el “falso pulgar” habría estado ligado a una función trófica desde su desarrollo, en los

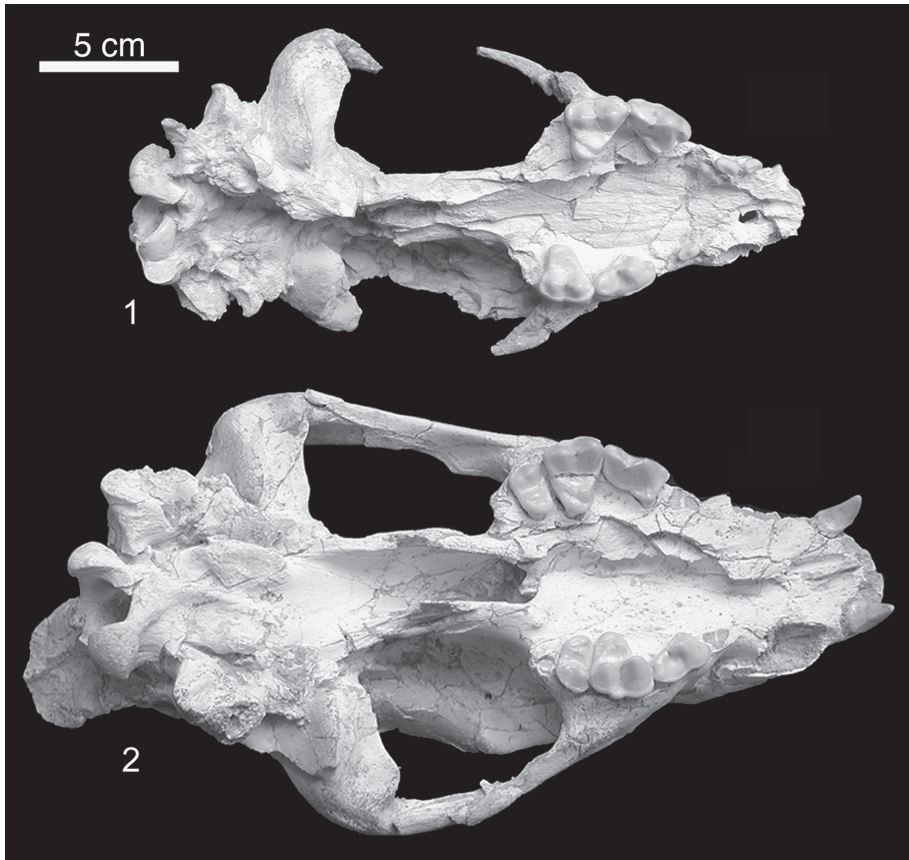


LÁMINA 16 Vista ventral de cráneos de carnívoros de Batallones-1. Figura 1. B-3620, cráneo of *Simocyon batalleri*. Figura 2. B-4071, cráneo de *Amphicyon* sp. aff. *A.castellanus*.

ailúridos primitivos como *S. batalleri*, su función habría estado ligada a la locomoción arborícola, y sólo secundariamente, en formas más derivadas adaptadas a un régimen herbívoro, habría adquirido una nueva función como ayuda en la alimentación. El reciente estudio del esqueleto post-craneal de *S. batalleri* (Salesa et al. 2008) ha revelado unas adaptaciones extraordinarias para producir grandes fuerzas de flexión-extensión en antebrazo, hombro y zona lumbar, lo que junto

al mecanismo de pinza generado por el “falso pulgar” puede enmarcarse en un modelo muy especializado de carnívoro arborícola de gran tamaño. En este escenario, *S. batalleri* ocuparía zonas más o menos arboladas, trepando a los árboles para buscar alimento y escapar del ataque de otros carnívoros, alcanzando las ramas más finas gracias a su “falso pulgar” (Salesa et al. 2006b, 2008).

La población de anficionidos de Batallones fue provisionalmente determinada

como *Amphicyon* sp. aff. *A. castellanus* debido a su similitud con la forma de Los Valles de Fuentidueña (Segovia), pero también a la existencia de ciertas diferencias que aconsejaban un estudio sistemático profundo (Morales et al. 2000). La población de Batallones-1 está formada por al menos 12 individuos, de los cuales 5 son juveniles, y es la mejor representada de este género en toda Europa y una de las últimas conocidas del registro fósil. Presenta una dentición más hipercarnívora, sin perder su capacidad trituradora, con reducción de piezas postcarníceras, y un esqueleto post-craneal más grácil que las especies anteriores de anficiónidos, por lo que puede inferirse que, aparte de incluir carroña en su dieta, se comportaría como un cazador activo. Este carnívoro se halla actualmente en estudio, pero puede adelantarse que constituye un género y especie nueva (Peigné et al. en prensa).

Protictitherium crassum, hiénido primitivo, constituye la cuarta especie más abundante en la comunidad de Batallones-1, con al menos 14 individuos (Antón & Morales 2000). Este pequeño carnívoro, del tamaño de un zorro, tendría un aspecto muy similar al del vivérrido actual *Civettictis civetta*, y probablemente, al igual que éste (Nowak & Paradiso 1983; Ray 1995), tendría una dieta oportunista y ocuparía tanto zonas boscosas como praderas herbáceas arboladas más o menos abiertas, aunque siempre con la suficiente cobertura vegetal como para poder encontrar refugio.

La familia Ursidae no ha sido regis-

trada en Batallones-1, pero en 2001 se descubrieron restos de al menos 2 individuos en el nuevo yacimiento de Batallones-3, situado a unos cientos de metros de Batallones-1 (Morales et al. 2004). Los restos pertenecen al género *Indarctos*, úrsido típico del Vallesiense y Turoliense de Europa. Su presencia en BAT-3 y ausencia en BAT-1 podría reflejar algún tipo de diferencia de hábitat entre ambas trampas, o la existencia de un lapso temporal entre ellas, pero por el momento, la muestra de Batallones-3 es demasiado escasa como para poder realizar este tipo de inferencias.

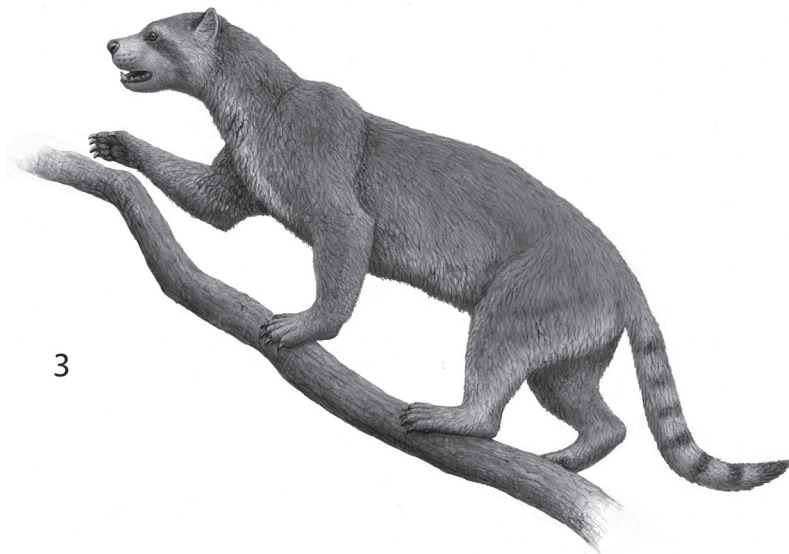
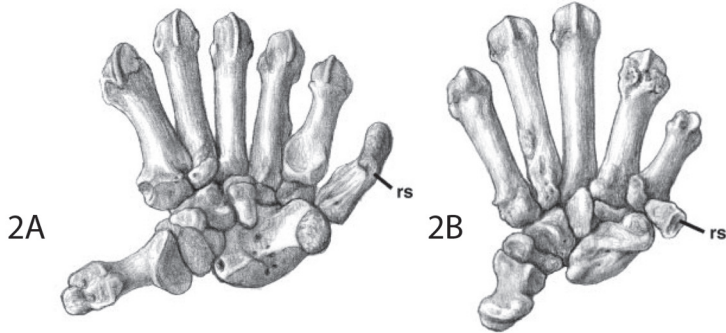
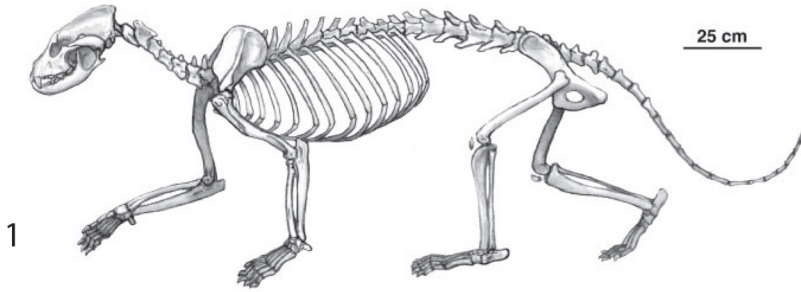
5.2.3 Perisodáctilos

Este grupo de grandes herbívoros está representado en la asociación faunística de Batallones por especies de dos familias: Equidae y Rhinocerotidae (Láminas 18 y 19), ambas muy importantes a lo largo del registro fósil del Terciario de España.

Todos los restos de équidos recuperados pertenecen a especies aún sin clasificar del género *Hipparion*, caballo primitivo, típico del Mioceno superior al Plioceno medio. Al menos dos especies diferentes se encuentran registradas, una de ellas de talla grande se ha encontrado en la excavación del último verano en Batallones-10.

El segundo grupo presente en Batallones son los rinocerontes, representados por *Aceratherium incisivum*. El cráneo de este rinoceronte de gran talla muestra los nasales planos, indicación de la

LÁMINA 17. *Simocyon batalleri*, Ailuridae emparentando con el oso panda rojo del yacimiento de Batallones-1. 1) Reconstrucción del esqueleto. 2) Anatomía de la mano mostrando la posición del sesamoideo radial. 3) Reconstrucción en vida. Ilustraciones de Mauricio Antón.



inexistencia de cuernos en esta especie. Una segunda especie, de la cual también existe un cráneo, muestra los nasales con una protuberancia sobre la que se asentaba un cuerno (su naturaleza córnea impide que fosilice), por lo que se trataría de una especie más cercana a las actuales que la anterior, cuyo grupo de extinguió a finales del Mioceno.

5.2.3 Artiodáctilos

Otro grupo de mamíferos que está aportando datos muy interesantes acerca de la fauna que habitaba las cuencas centrales de la Península Ibérica hace unos 9 millones de años son los artiodáctilos, representados en los yacimientos de Batallones por una especie de suido (*Micros-tonyx* sp.) y varias especies de los grupos más importantes de rumiantes.

Los rumiantes son artiodáctilos que pueden considerarse los mamíferos macroherbívoros que más éxito evolutivo han tenido, ya que en la actualidad se distribuyen de forma global, han colonizado gran variedad de ambientes, desde los desiertos hasta las tundras, y cuentan con una gran cantidad de especies. Asimismo, muchos de estos grupos han tenido o tienen una gran importancia en las actividades tróficas y económicas humanas. El registro fósil indica que los rumiantes aparecieron durante el Eoceno medio/superior, muy probablemente en Asia, y los distintos grupos se extendieron rápidamente por el Hemisferio norte (Webb & Taylor 1980; Metáis et al. 2001, 2007).

Filogenéticamente hablando, Ruminantia consta de una serie de taxones basales (que se han venido conociendo como el grupo parafilético ‘Tragulina’)

y de un clado denominado Pecora (Janis 1984; Scott & Janis 1993), y se caracterizan por presentar el cuboide fusionado con el navicular en el tarso y un canino inferior incisiviforme, separado de la serie yugal por un diastema. Ruminantia se puede definir como un grupo de artiodáctilos que incluyen a *Archaeomeryx*, Tragulidae, Moschidae, Bovidae, Cervidae, Antilocapridae y Giraffidae, su último antecesor común y todos los descendientes de éste (ver Sánchez 2006). La expansión del grupo fue muy rápida durante el Oligoceno, mientras que es al comienzo del Mioceno cuando se comienzan a prefigurar los grupos existentes en la actualidad, salvo los tragúlidos, verdaderas reliquias vivas que han perdurado desde el Eoceno superior hasta hoy (Metáis et al. 2001). A comienzos del Mioceno medio se desarrollan de forma independiente los distintos taxones con apéndices craneales, y es en esta época cuando se pueden reconocer ya a grupos que nos serían familiares en la biosfera actual, como los cérvidos, mósquidos, bóvidos, jiráfidos y antilocápridos. Fósiles de todos ellos, salvo los antilocápridos, nativos de Norteamérica, han sido hallados en los yacimientos del Cerro de los Batallones.

Los rumiantes de Batallones (Lámina 20) pertenecen a los siguientes grupos:

- Ruminantia Scopoli, 1777
 - Moschidae Gray, 1821
 - Género *Micromeryx* Lartet 1851
 - Género *Hispanomeryx* Morales, Moyà-Solà y Soria, 1981
 - Cervidae Gray, 1821
 - Cervidae indet.

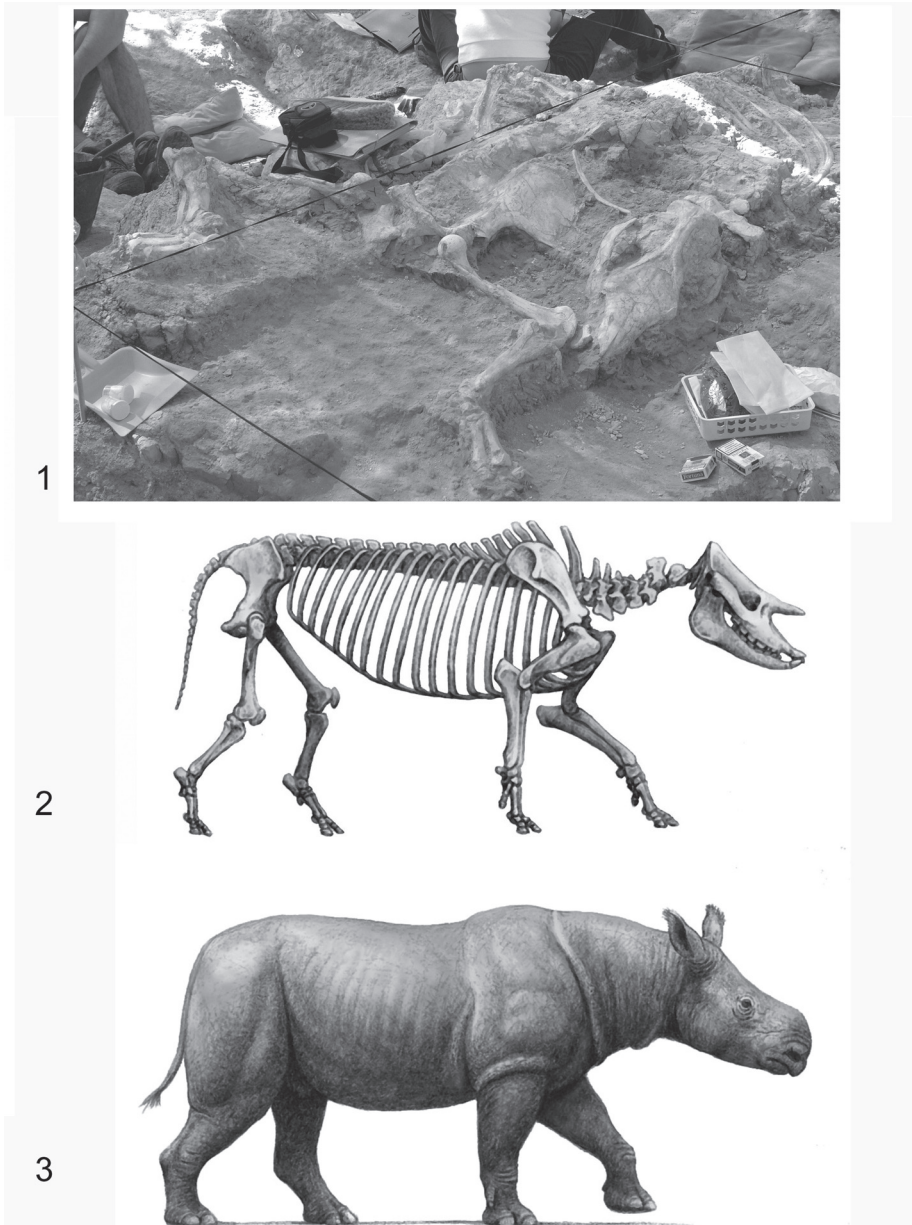


LÁMINA 18 Figura 1. Esqueleto casi completo (excepto la mandíbula) de *Aceratherium incisivum* de Batallones-1. Figura 2 y 3. Reconstrucción del esqueleto y de la apariencia en vida de *Aceratherium incisivum*. Ilustraciones de Mauricio Antón.

Giraffidae Gray, 1821

Girafidae indet.

Bovidae Gray, 1821

Bovidae indet. (2 especies)

5.2.3.1 Moschidae

Los mosquidos o ciervos almizcleros son un grupo de rumiantes pécora inermes de pequeña talla que sólo tienen un representante actual, *Moschus* spp., distribuido por Asia desde Siberia a Vietnam por el este y a Afganistán por el oeste (Nowak 1999). Sin embargo, fueron muy diversos y abundantes durante el Mioceno medio y superior en Europa occidental, siendo sus fósiles bastante comunes en los yacimientos de esta edad (Gentry et al. 1999; Sánchez 2006; Sánchez & Morales 2006; Sánchez & Morales en prensa); estos mosquidos miocenos están representados por los géneros *Micromeryx* e *Hispanomeryx* y constituyen los rumiantes por ahora mejor estudiados de la muestra fósil del Cerro de los Batallones, ya que han sido incluidos en una revisión mayor del grupo que se está llevando a cabo a través del estudio de los mosquidos ibéricos (Sánchez 2006; Sánchez & Morales 2006; Domingo et al. 2007b; Sánchez & Morales en prensa).

Los mosquidos de la Península Ibérica se distribuyen biocronológicamente desde la zona D (Aragoniense medio) hasta la zona K (Turolense), y tuvieron una época de apogeo que se extendió entre el Aragoniense superior y la parte inferior del Vallesiense, durante 2,5 millones de años, y en la que contaron con una máxima diversidad de especies (Sánchez & Morales 2006). Estas comunidades de

mosquidos, dominadas por *Micromeryx azanzae* (Sánchez & Morales en prensa), y en las que llegó a haber hasta 4 especies de forma simultánea en la Península Ibérica, colapsaron y desaparecieron a mediados de la zona local H, en el Vallesiense inferior. Las nuevas comunidades de mosquidos que aparecen en el Vallesiense superior están caracterizadas por la presencia de *Micromeryx* sp. nov. 4 (Sánchez & Morales 2006) como la especie más conspicua, taxón que aparece en tres yacimientos del cerro y que está a punto de ser descrito formalmente (Sánchez et al., en revisión). Es en el Cerro de los Batallones donde mejor están representadas estas comunidades de mosquidos ibéricos vallesienses, ya que, además de *Micromeryx* sp. nov. 4, aparecen las otras dos formas identificadas en España para esta época: un *Micromeryx* aún no descrito, de dentición primitiva y gran talla, superviviente de las comunidades del Aragoniense superior-Vallesiense inferior (Sánchez & Morales 2006; Domingo et al. 2007b) y un *Hispanomeryx* sp. cf. *H. duriensis* (Sánchez 2006; Domingo et al. 2007b), de talla más pequeña que la especie nominal del Vallesiense inferior. Los fósiles de mosquito se concentran en el Cerro en los yacimientos en Batallones-1, Batallones-5 y Batallones-10, y aunque no son demasiado abundantes, sí demuestran una característica que se repite a lo largo de toda la distribución biocronológica del grupo en la Península Ibérica: la presencia de distintas especies de mosquito, hasta tres, en el mismo yacimiento (Sánchez 2006; Sánchez & Morales 2006). La especie más abundante de las representadas en Batallones es *Micromeryx* sp. nov. 4., habiendo resultado los

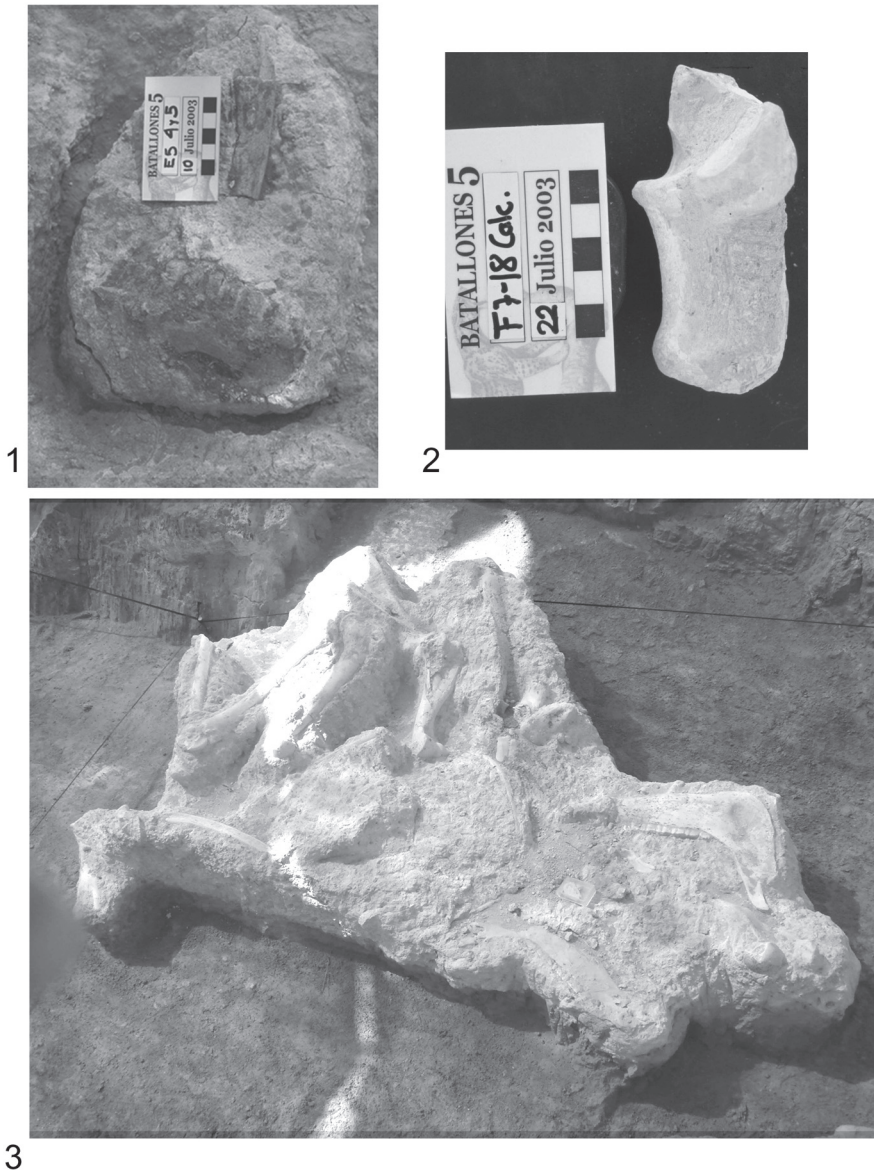


LÁMINA 19 Figura 1. Mandíbula de *Hipparion* sp. procedente de Batallones-5. Figura 2. Calcáneo de *Hipparion* sp. procedente de Batallones-5. Figura 3. Asociación con conexiones anatómicas de *Hipparion* sp. del yacimiento de Batallones-10.

fósiles del cerro muy importantes para describir, sobre todo, su anatomía post-craneal. Además, una parte significativa de los fósiles de Moschidae de Batallones presenta trazas de digestión por carnívoros, lo que constituye una de las primeras evidencias publicadas de actividad trófica de carnívoros en los yacimientos del cerro, y la prueba de que algunos de éstos ingerían porciones completas del esqueleto apendicular de los mosquidos, incluyendo el hueso (Domingo et al. 2007b).

5.2.3.2 Cervidae

Los ciervos son ruminantes con apéndices craneales de tipo apofisiario de tipo asta o protoasta (Sánchez & Azanza 2000), que presentan además doble orificio lacrimal en el borde anterior de la órbita. Este tipo de ruminantes son escasísimos en la muestra fósil de Batallones, ya que aparecen representados únicamente por un molar fragmentado en Batallones-1.

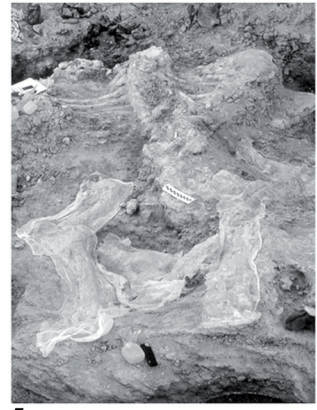
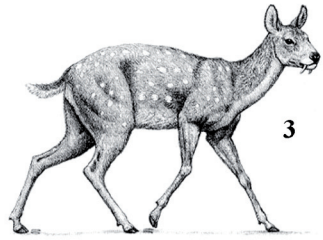
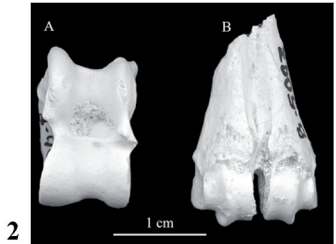
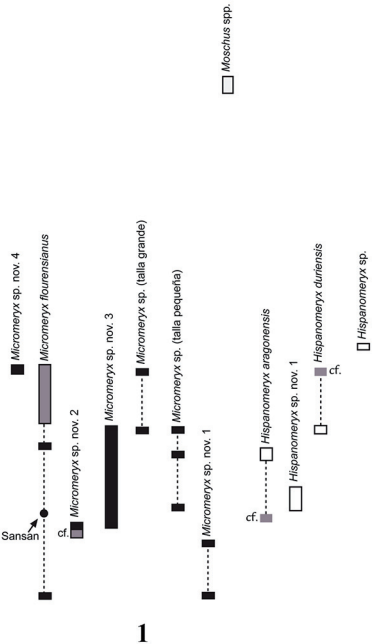
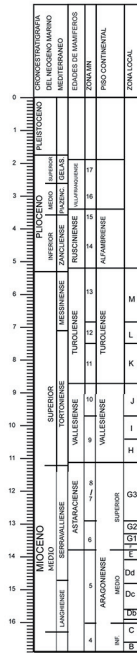
5.2.3.3 Giraffidae

Los restos de jirafas de los yacimientos del Cerro de los Batallones son sin duda los más espectaculares de aquéllos pertenecientes a los ruminantes, y de los más impresionantes de toda la muestra fósil de los yacimientos del cerro. El tipo de jirafas representado en Batallones corresponde a una especie aún no descrita del grupo de los Sivatheriinae; éstas eran unas jirafas de cuello corto y gran talla que presentan cuatro apéndices craneales frontales, dos posteriores enormes, similares a cuernos, y dos fronto-nasales anteriores, mucho más pequeños. Los apéndices craneales de las jirafas, denominados osiconos, son apéndices de tipo epifisiario (Sánchez & Azanza 2000), y en el caso de las jirafas de Batallones, están ornamentados con canales y mamelones. Fósiles de estas jirafas han aparecido en Batallones-4, Batallones-5 y Batallones-10. Los más espectaculares pertenecen al primero y al último de estos yacimientos,

LÁMINA 20. Figura 1. Sucesión biocronológica de las especies de mosquidos ibéricos. En algunos casos están marcadas las formas determinadas como “cf”. Además, aparece la situación estratigráfica del yacimiento de Sansan (Francia, localidad tipo de *M. flourensianus*) y la distribución cronológica del género *Moschus* (Pleistoceno medio-actualidad). Tomado de Sánchez & Morales, 2006. Figura 2. A, B-4058, astrágalo de *Micromeryx* sp (talla grande). B, B-5093, fragmento distal de metatarsiano III-IV de *Hispanomeryx* sp. cf. *H. duriensis*, mostrando el *sulcus* metatarsal distalmente abierto. Ambos fósiles provienen de Batallones-1. Figura 3. Reconstrucción anatómica del mosquito mioceno *Micromeryx*. Se representa un macho, mostrando los caninos superiores en forma de daga. Ilustración de Mauricio Antón. Figura 4. BAT-1'03. D5-81, hemimandíbula derecha del bóvido indeterminado de Batallones-1 en el momento de ser excavada en la campaña de 2003. Se trataba de un animal de gran talla a pesar de ser un ejemplar juvenil (observar la escala encima de la brújula). Figura 5. Esqueleto completo y articulado del ejemplar de jiráfido sivaterino de especie aún no descrita que fue descubierto en el yacimiento de Batallones-4 durante la campaña de 2000. El esqueleto fue extraído fuera de la campaña de verano, durante el mes de octubre de ese mismo año. Se puede observar en la fotografía el cráneo situado entre los dos miembros anteriores, con la columna vertebral y las costillas en un segundo plano. En el momento de hacer la fotografía los huesos estaban engasados para protegerlos antes de la extracción. Figura 6. Cráneo y serie vertebral cervical de un jiráfido sivaterino, casi con toda seguridad de la misma especie que aparece en Batallones-4 y Batallones-5. Se pueden apreciar los dos osiconos frontales del cráneo de la jirafa, situados entre el cráneo y las vértebras; muy posiblemente estos dos elementos esqueléticos, cráneo y vértebras, pertenecieron al mismo individuo.

ya que en Batallones-4 se ha excavado un ejemplar completo y articulado, mientras que en Batallones-10 se han recuperado

gran cantidad de restos, entre ellos un cráneo y 8 hemimandíbulas sólo en la primera campaña de excavación del



yacimiento (verano de 2007), así como gran cantidad de elementos del esqueleto postcranial. Dos características muy conspicuas del sivaterino de Batallones son su rostro muy desarrollado, con una sínfisis mandibular de gran longitud, y un esqueleto postcranial comparable en talla al de una jirafa actual (*Giraffa camelopardalis*). Los restos de sivaterinos del Cerro de los Batallones constituyen sin duda la mejor colección que existe de estos animales en Europa.

5.2.3.4 Bovidae

Los bóvidos son el grupo de rumiantes más extendido en la actualidad, y el más importante en cuanto a diversidad específica se refiere. Dotados de apéndices craneales de tipo epifisario denominados cuernos (Sánchez & Azanza 2000), habían aparecido en el Mioceno inferior, con formas como *Eotragus* y *Namacerus*, siendo un grupo en clara expansión durante el Mioceno superior. Los restos de bóvidos del cerro no son muy abundantes, y corresponden sobre todo a una especie indeterminada de gran talla y molares inferiores hipsodontos, cuyos restos mandibulares han sido hallados en Batallones-1. Asimismo, en la campaña de 2007, han aparecido en Batallones-10 elementos autopodiales de una especie indeterminada de talla media. La falta de núcleos óseos de cuernos tanto en Batallones-1 como en Batallones-10 impide conocer con claridad qué tipo de bóvidos son los del cerro, pero esperamos que este enigma sea respondido en futuras campañas de excavación.

6. Aspectos tafonómicos de Batallones-1 (niveles inferiores)

Uno de los aspectos más relevantes de la investigación de los yacimientos del Cerro de los Batallones es la búsqueda de una hipótesis que explique la singularidad de los conjuntos fósiles allí encontrados. Hasta el presente sólo se han realizado trabajos parciales o preliminares sobre los procesos tafonómicos implicados en la formación de estas extraordinarias acumulaciones de fósiles (Morales et al. 2000; Alcalá et al. 2002; Martín Escorza & Morales 2006; Merino & Morales 2006; Domingo et al. 2006, 2007b). En la actualidad uno de nosotros (M. S. Domingo) se está ocupando de dicha labor, dentro de su proyecto de Tesis doctoral, por ello, los datos que aquí presentamos intentan ser sólo una puesta al día de lo que conocemos sobre la Tafonomía de Batallones.

La metodología de trabajo que se sigue en campo es similar a la que se sigue en excavaciones arqueológicas, lo cual hace posible que se conserve información muy valiosa para la determinación del origen de un yacimiento (Alcalá 1994). Esta metodología consiste en la excavación en extensión mediante un sistema de coordenadas tridimensionales que nos permiten localizar de modo preciso cada resto respecto a un origen de referencia (Lámina 21). Los datos recogidos en campo son:

- Yacimiento y cuadrícula
- Número de orden o sigla del hueso
- Determinación anatómica y taxonó-

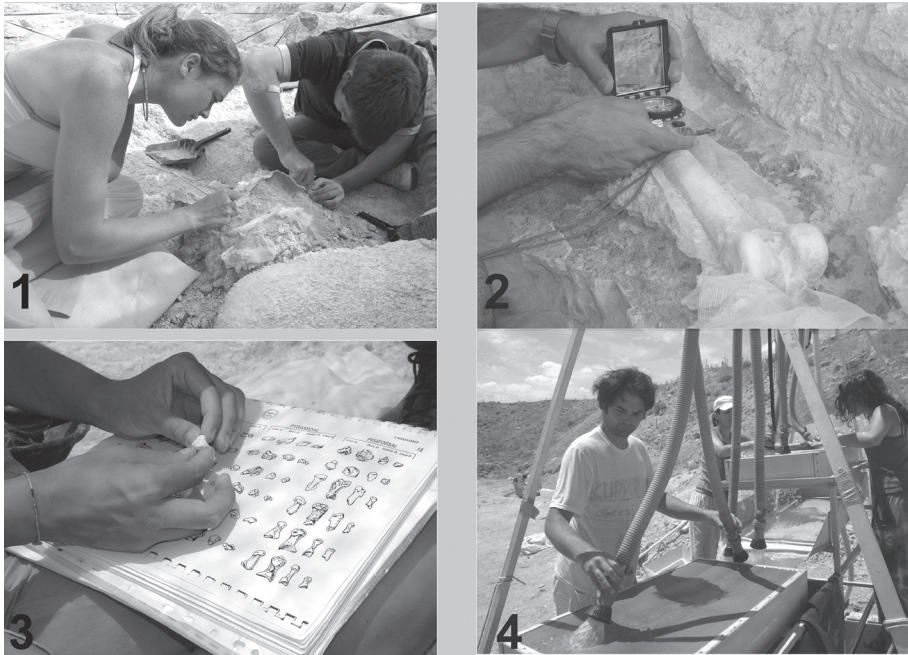


LÁMINA 21 Distintas etapas de la excavación de los yacimientos del cerro de los Batallones. 1.- excavación de los fósiles. 2.- Ubicación y orientación de los fósiles. 3.- Determinación anatómica. 4.- Lavado de los sedimentos para la obtención de microvertebrados.

mica orientativa de cada uno de los elementos

- Coordenadas “x”, “y” “z” respecto a un origen fijado

- Orientación e inclinación de los elementos que mostraron una de sus dimensiones claramente mayor respecto a las otras dos.

- Longitud de los restos

- Observaciones realizadas en campo como la asociación o articulación de los restos.

- En los últimos años se registra un apartado en el que se indica si el resto está o no consolidado con productos químicos. Esta es una información valiosa a la hora de observar los restos bajo Mi-

croscopio Electrónico de Barrido (MEB). La superficie de un hueso consolidado no puede ser observada bajo el MEB porque los componentes orgánicos de los consolidantes impiden el paso de los electrones, de forma que estas áreas aparecen en las imágenes como cubiertas por una pátina negra.

En la Figura 2 de la Lámina 22 mostramos la cuadrícula base actualmente utilizada en Batallones-1. Hemos representado la zona excavada entre los años 2001 y 2007. En este yacimiento cada cuadro tiene 2 metros de lado, luego la superficie que se ha excavado ocupa un total de unos 112 m².

Parte del estudio tafonómico se basa

en la observación, bajo lupa binocular, de una serie de características relacionadas con la preservación de los fósiles en 6706 restos de macromamíferos del yacimiento de Batallones-1.

Los vertebrados fósiles en los niveles inferiores de Batallones-1 se encuentran formando una brecha ósea de aproximadamente 20-30 cm de potencia, que cubriría prácticamente la totalidad del área excavada. Partes de esta brecha fueron extraídas en bloques, que más tarde se prepararon en el Laboratorio de Restauración del MNCN. La preparación de la brecha ósea mostró que estaba formada por una mezcla de huesos y dientes aislados, asociaciones óseas de una misma especie y conexiones anatómicas de diferente tipo. Durante la excavación de Batallones-1 sólo hemos podido documentar la presencia de un esqueleto de rinoceronte completamente articulado, a excepción de la mandíbula, y de un esqueleto juvenil de *Machairodus*.

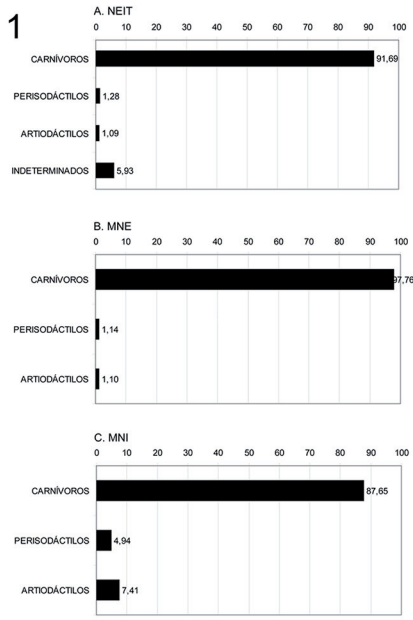
En cuanto a la disposición espacial de

los restos en el yacimiento, Martín Escorza & Morales (2006), indican que en un corte XZ, es decir, uno de los ejes de la cuadrícula (X) respecto a la profundidad (Z), se observa que existe una inclinación general de los restos fósiles de unos 15° hacia el Norte. La observación del corte YZ muestra capas subhorizontales pero con irregularidades en áreas de mayor concentración en bolsas o núcleos.

Los huesos largos muestran una orientación preferente NW, con una inclinación media de aproximadamente 15°. Esta orientación no responde a los tipos más comunes (Lyman 1994), y podría ser debida, bien a la existencia de un paleorrelieve sobre el que los huesos se han depositado, o al desplazamiento postsedimentario de los sedimentos del relleno.

Una selección de tamaños en la cuadrícula podría estar indicando un aporte hidráulico de los elementos ya desarticulados desde el exterior de la trampa (Domingo et al. 2006). Sin embargo, un

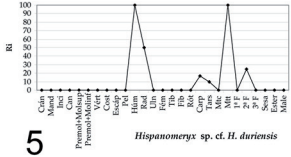
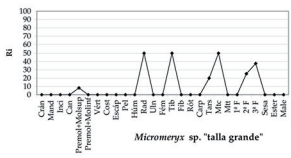
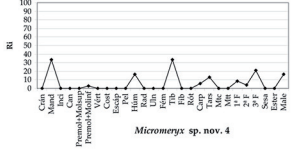
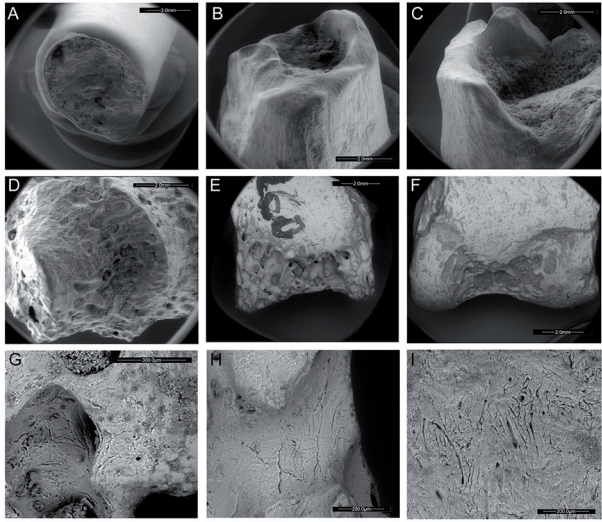
LÁMINA 22. Figura 1. Porcentaje en el que aparecen los carnívoros, los perisodáctilos, los artiodáctilos y los restos indeterminados en el yacimiento de *Batallones-1* para los índices NEIT (A), MNE (B), MNI (C). Estos porcentajes se han calculado a partir de la muestra estudiada para tafonomía (N especímenes = 6706). Figura 2. Cuadrícula empleada en *Batallones-1*. Cada cuadro presenta 2 m de lado. La superficie excavada en las campañas 2001-2007 aparece sombreada. Figura 3. Cráneos de *Amphicyon* aff. *castellanus* con claras evidencias de compresión. Figura 4. Fotografías de microscopio electrónico de barrido (MEB) en las que se aprecia diferentes características típicas de huesos que han sufrido digestión. Todas las fotografías corresponden a huesos de mosquitos. A,B,C) Aspecto pulido y el redondeamiento y suavizamiento de los bordes de fractura en B-3223, BAT-105F5-211 y B-1756; D, E, F) Digestión intrusiva con pérdida de tejido en las superficies articulares en B-3223, B-2260 y B-4058; G, H, I) Agrietamiento de la superficie del hueso similar al efecto que produce la meteorización pero observable a más pequeña escala en B-3223, B-2260 y B-456. Figura 5. Abundancia relativa (Ri), expresada en porcentaje, con la que aparecen los diferentes elementos anatómicos de los tres taxones de mosquitos en el yacimiento de *Batallones-1*. Si los restos conformaran esqueletos completos, obtendríamos una línea recta en 100 %. Podemos apreciar, por tanto, la ausencia de un gran número de elementos. Crán: Cráneo; Mand: Mandíbula; Inci: Incisivo; Can: Canino; Premol+Molsup: Premolares y Molares superiores; Premol+Molinf: Premolares y Molares inferiores; Vért: Vértebra; Cost: Costilla; Escáp: Escápula; Pel: Pelvis; Húm: Húmero; Rad: Radio; Uln: Ulna; Fém: Fémur; Tib: Tibia; Fib: Fibula; Rót: Rótula; Carp: Elementos del Carpo; Tars: Elementos del Tarso; Mtc: Metacarpianos; Mtt: Metatarsianos; 1ª F: 1ª Falange; 2ª F: 2ª Falange; 3ª F: 3ª Falange; Sesa: Sesamoideo; Ester: Estermito; Male: Maleolar.



2

F9	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1
E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1
D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1
C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1
B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1

N



análisis preliminar de la distribución de las longitudes mayores de los restos en el interior del yacimiento no parece sugerir una selección de los elementos por tamaño en el área del mismo.

En cuanto a la presencia de elementos asociados pertenecientes a un mismo individuo refuerza la hipótesis de transporte limitado de los restos en Batallones-1. Los elementos asociados se encuentran en un 10,99 % de la muestra tafonómica estudiada, los elementos articulados en un 9,31 % y los elementos aislados en un 79,70 % (M. S. Domingo, datos sin publicar). Las conexiones anatómicas más frecuentes son las de cráneo+mandíbula, fragmentos de columna vertebral, extremidades incompletas (húmero-radio, fémur-tibia,) y carpo/tarso-metacarpo/metarso (muy pocas veces incluyen las falanges).

Los huesos rotos o fragmentados son extraordinariamente raros, pero es frecuente encontrar dientes aislados y partes óseas aisladas de cráneos de animales juveniles, epífisis y diáfisis aisladas también de animales juveniles. Diversos agentes pueden causar la presencia de elementos aislados, asociados y articulados, como por ejemplo, pisoteo, movimientos del sedimento, crecimiento vegetal, depredación, carroñeo, tasas de sedimentación variables; el estudio tafonómico completo nos llevará a distinguir el agente o los agentes causantes de este hecho.

En cuanto a la composición faunística del yacimiento de Batallones-1 (Lámina 22, Figura 1), la gran abundancia de restos pertenecientes a carnívoros es quizá la característica más llamativa del yacimiento. La composición anatómica de los restos recuperados no posee ses-

gos significativos en las especies mejor representadas, caso de los dos macarodontinos, y de otros carnívoros como *Protictitherium crassum* (Hyaenidae) y Amphicyonidae. Se han calculado los porcentajes de carnívoros, artiodáctilos, perisodáctilos y restos indeterminados de la muestra tafonómica estudiada para los índices NEIT (Número de Especímenes Identificados por Taxón), MNE (Mínimo Número de Elementos) y MNI (Mínimo Número de Individuos) (M. S. Domingo, datos sin publicar). Esta predominancia de los carnívoros frente a los herbívoros muestra que estamos ante un yacimiento único. Los estudios ecológicos indican que, en la pirámide trófica, los herbívoros sobrepasan a los carnívoros en una proporción de 10 a 1 (Eisenberg 1981; Stock & Harris 1992) con lo que en Batallones-1 esta relación está invertida. Según Klein & Cruz-Uribe (1984), los restos de carnívoros normalmente se encuentran representados en los yacimientos en menos de un 10 % de NEIT y MNI (como hecho excepcional indican que en las asociaciones producidas por hienas, este porcentaje puede ser mayor, pero no sobrepasa el 50 %). El porcentaje en el que aparecen los carnívoros en Batallones-1 hace inevitable su comparación con yacimientos como Rancho La Brea. En este último caso, la presencia de “piscinas” de asfalto producirían un atrapamiento de animales que atraerían a carnívoros y que al mismo tiempo quedarían atrapados (Spencer et al. 2003; Friscia et al. 2008). En Batallones-1 no existía tal atrapamiento por asfalto pero algún factor debía atraer a los carnívoros al área del actual yacimiento y posteriormente quedarían atrapados. La geología de los

yacimientos indica que todos ellos participan de una característica en común: los restos de vertebrados se encuentran en depósitos netamente distintos que los materiales en los que aparecen encajados y el contacto lateral es brusco; por esto parece ser que los sedimentos que en los que se encuentran los restos de vertebrados rellenan cavidades adquiriendo una geometría de tipo *sinkhole*. Por esto, la hipótesis de un eventual atrapamiento de los animales parece altamente probable. En este escenario, la presencia de animales vivos atrapados o de carroña estaría entre los factores que atraían a los carnívoros a esta zona. Posteriormente, los carnívoros quedarían atrapados también. Sin embargo, no podemos aceptar un gran procesamiento de los huesos de Batallones-1 por parte de los carnívoros. Efectivamente, las marcas dejadas por la dentición de los carnívoros son sumamente escasas. La depredación o un carroñeo poco intensivo, en el que tan sólo la carne sea utilizada no pueden ser descartados.

La presencia de restos digeridos es también anecdótica, sin embargo, se da una característica llamativa y es que de los 20 huesos digeridos que hemos encontrado, 18 pertenecen a la familia Moschidae (Lámina 22, Figuras 4 y 5). Estos huesos presentan un aspecto pulido y brillante, redondeamiento de los salientes y de los bordes de fractura del hueso, digestión intrusiva con pérdida del tejido quedando al descubierto la porción esponjosa y el agrietamiento de la superficie del hueso sólo observable a pequeña escala nos llevó a concluir que el responsable de la ingestión y digestión de estos huesos es un carnívoro mamífero

(Domingo et al. 2007b) según las categorías establecidas por Andrews (1990). El 100% de los huesos largos de mósquido se encuentra fracturado. Esta fracturación está acorde con el proceso digestivo que estos restos sufrieron, puesto que es muy probable que el depredador rompiera los huesos largos antes de engullirlos. Debido a la presencia de estas evidencias de corrosión por digestión en estos huesos, a que la cantidad de especímenes de mósquidos no era excesivamente elevada y a que la muestra estaba bien localizada en las colecciones, decidimos emprender la observación del total de la muestra de Moschidae en Batallones-1 (es decir, el total de restos de mósquidos recuperados desde el año 1991 hasta la pasada campaña de excavación en el verano de 2007). El cálculo de la Abundancia Relativa (R_i ; índice propuesto por Andrews 1990, para comprobar cómo de completos se hallan los esqueletos en los yacimientos) nos lleva a concluir que los esqueletos de los taxones pertenecientes a esta familia no se encuentran completos en Batallones-1. La ausencia de algunos elementos anatómicos y las evidencias de digestión nos llevan a pensar que los mósquidos fueron introducidos por el depredador en el área que hoy constituye Batallones-1.

Los fragmentos indeterminados y las esquirlas se encuentran en Batallones-1 en proporciones sumamente escasas (del total de 6706 restos analizados, 216 corresponden a esquirlas). El bajo número de esquirlas recuperado no se debe a un sesgo metodológico que podría haber sido introducido por una preferencia del excavador por recuperar los restos identificables frente a los no identificables. Los restos identificables y los no identi-

ficables fueron recogidos por igual en las campañas de excavación. Por tanto, este bajo porcentaje de esquirlas estaría más bien indicando una baja fracturación de los restos en Batallones-1.

Otras alteraciones causadas por agentes tafonómicos en etapas biostratinómicas están aún siendo estudiadas. A la espera de cuantificaciones absolutas, podemos adelantar que la casi totalidad de los restos presentan un estadio de meteorización 0 según las categorías establecidas por Behrensmeyer (1978), con la superficie del hueso intacta, sin evidencias de agrietamiento ni exfoliación. En principio, esto indicaría que el tiempo de exposición no fue muy largo, sin embargo, la protección de los restos por una lámina de agua, y esto es probable en Batallones-1 donde existe fauna dulceacuícola y depósitos autóctonos de carbonato, no debe ser descartada.

La mayor parte de la muestra presenta estadio de abrasión 1 según lo definió Alcalá (1994), es decir, el hueso se encuentra intacto y no presenta ninguna evidencia de suavización de sus aristas o vértices. Esto apunta, de nuevo, a un transporte limitado tanto en el espacio como en el tiempo de los restos de Batallones-1.

Las marcas de pisoteo o *trampling* son inexistentes en Batallones-1. Esto

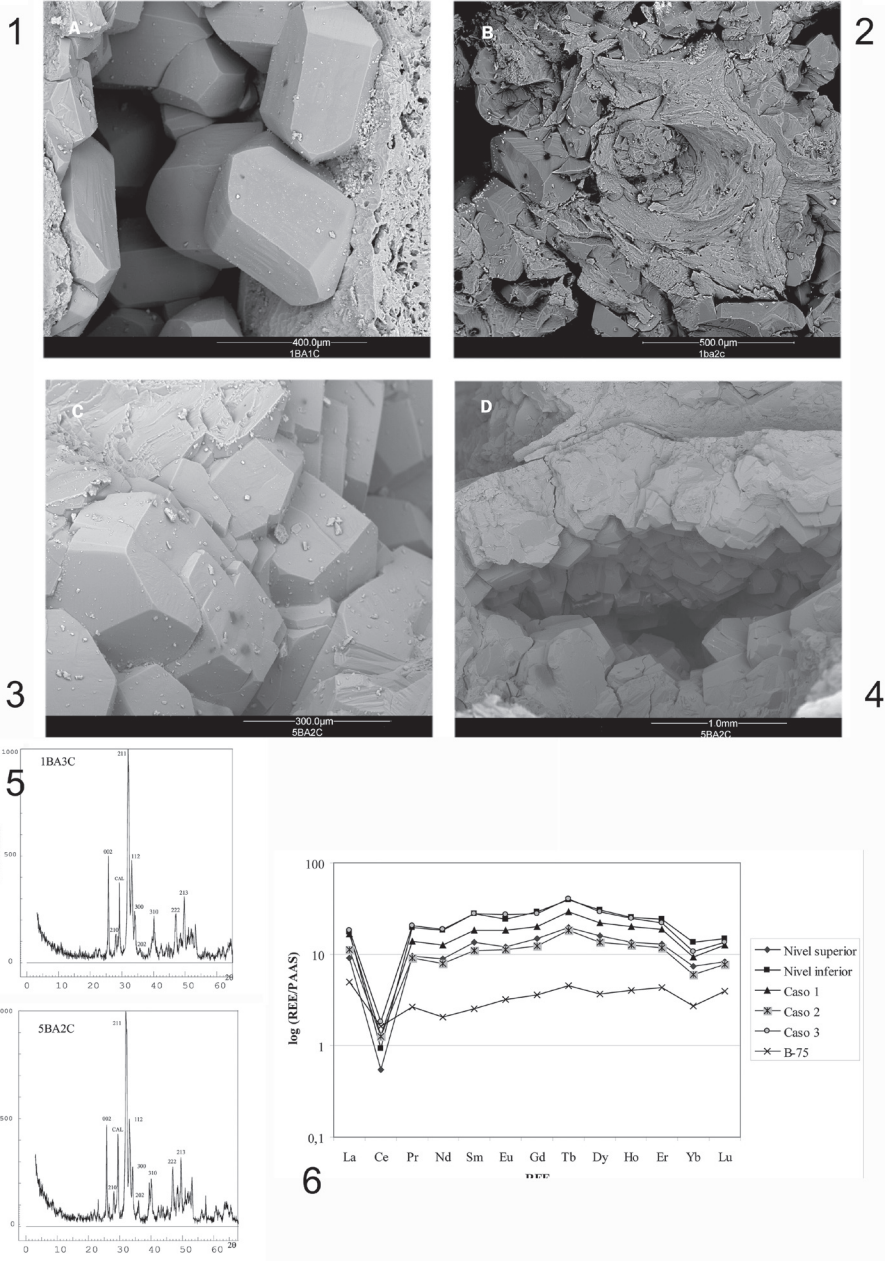
indicaría que los animales no caminaban por encima de otros huesos previamente depositados. Sin embargo, se hace de nuevo necesario tener en cuenta que una lámina de agua habría podido actuar como agente protector.

Las marcas dejadas por raíces son también sumamente escasas en la muestra de Batallones-1, indicando la práctica inexistencia de una cobertura vegetal. Cabe destacar la abundancia de la impronta dejada por las raíces en los fósiles de Batallones-3. Este yacimiento se encuentra situado en una de las laderas del cerro y se ve fuertemente afectado por procesos edáficos, entre ellos la acción de la vegetación actual.

Se han encontrado restos de roedores en Batallones-1, sin embargo, sólo un hueso parece mostrar marcas similares a las dejadas por estos animales. Pesquero (2006) indica que los roedores mordisquean huesos secos que no están reblanqueados ni por un elevado contenido de materia orgánica ni por estar en ambientes saturados en agua. La escasez de esta alteración podría ser indicativa de que los huesos no se encontraban ni secos ni endurecidos.

En cuanto a las alteraciones causadas por agentes tafonómicos en etapas fosildiagenéticas, son frecuentes los procesos de deformación y diaclasado de los

LÁMINA 23 Figura 1.- Imagen de M.E.B. de cristales de calcita en un poro de costilla de *Tetralophodon longirostris* del yacimiento Batallones-1. Figura 2.- Vista general de un canal de Havers de *T. longirostris* relleno de calcita (Batallones-1). Figura 3.- Cristales de calcita relleno totalmente un poro de costilla de *T. longirostris* (Batallones-5). Figura 4.- Detalle de un canal de Havers de *T. longirostris* relleno parcialmente de calcita (Batallones-5). Figura 5.- Difractogramas de RX, correspondientes a costillas de mastodontes de los yacimientos Batallones-1 (1BA3C) y 5 (5BA2C). La francolita es el componente mineral mayoritario, aunque también aparecen picos de calcita (CAL). Figura 6. Diagrama que muestra los patrones de Tierras Raras para las medias de las muestras de nivel superior, nivel inferior, caso 1, caso 2, caso 3 y el hueso B-75. Se aprecia que los patrones son prácticamente idénticos con la excepción del hueso B-75 al que le asignamos un origen diferente al resto de la muestra de Batallones-1.



huesos debido a la presión ejercida por el sedimento. Es común que los huesos pierdan su morfología original por esta compresión, y este hecho se hace muy evidente en los cráneos recuperados en Batallones-1 (Lámina 22, Figura 3). Parece ser que la fracturación de los huesos en etapas fosildiagenéticas predomina frente a fragmentaciones durante la etapa biostratinómica en Batallones-1. Próximamente se procederá al análisis de la muestra completa y se caracterizarán las modificaciones que produce la presión del sedimento en el hueso.

El análisis geoquímico y mineralógico de restos óseos de mastodontes de los yacimientos de Batallones-1, 2 y 5, (Merino & Morales 2006) pone de manifiesto que estos huesos han sufrido importantes cambios mineralógicos y geoquímicos en su composición desde de su enterramiento (Lámina 23, Figuras 1 a 5). En los tres yacimientos se ha preservado bien la estructura histológica original de los dientes y huesos fósiles. La fase mineral tanto en las muestras actuales como en los esmaltes fósiles es el hidroxiapatito, pero éste ha sido sustituido por francolita (carbonato fluorapatito) en las dentinas y costillas fósiles. La calcita es el principal mineral autigénico que rellena los poros de los huesos de los mastodontes.

El índice de cristalinidad (IC) de las muestras fósiles es mayor que el de las actuales, por lo que se deduce que en el proceso de fosilización se produce un incremento en el tamaño del cristal del apatito (Merino & Morales 2008). Los contenidos de los elementos químicos de las muestras actuales y fósiles de los yacimientos de Batallones son significativamente diferentes. Cada tejido tie-

ne un comportamiento distinto ante los procesos diagenéticos. Así, las costillas y dentinas son más susceptibles a estos cambios que los esmaltes, aunque éstos también los sufren significativamente. Los elementos mayoritarios P, Al, Cl y K acusan una pérdida respecto a las muestras actuales. El Si se mantiene en la composición de los esmaltes y dentinas, pero en las costillas presenta un enriquecimiento generalizado. Por el contrario, los elementos traza muestran en general una ganancia, salvo el Ni, Cu y Zn que manifiestan una pérdida generalizada y el Ti en esmaltes y dentinas.

Un estudio estadístico, basado en el cálculo de componentes principales, en el que se han considerado los principales elementos constitutivos de las muestras, confirma que desde una perspectiva mineralógica y geoquímica los tres yacimientos analizados han tenido una misma historia diagenética.

Además y por primera vez hemos llevado a cabo un estudio de Tierras Raras (M. S. Domingo, datos sin publicar). Las Tierras Raras son elementos que se encuentran en la tabla periódica del Lantano (La; $Z = 57$) al Lutecio (Lu; $Z = 71$). Al tener sus iones un tamaño similar al Ca^{+2} sustituyen fácilmente a este elemento durante la fosilización. Se ha demostrado que la incorporación de Tierras Raras en el hueso se produce en la diagénesis más temprana y que la impronta que éstas dejan es estable y resistente a cambios diagenéticos posteriores (Trueman 1999; Trueman et al., 2004). Es por ello que los análisis de Tierras Raras permiten desvelar algunas cuestiones tafonómicas como el grado de mezcla o reelaboración de la asociación de huesos fósiles estudiada, el

área madre del que proceden los huesos o las condiciones ambientales existentes durante el enterramiento o la diagénesis temprana (Lámina 23, Figura 6).

Varias son las cuestiones que se pretenden responder mediante el estudio de las concentraciones de Tierras Raras. Desde el punto de vista taxonómico, Batallones-1 parece estar formado por dos niveles diferentes. Los restos de herbívoros, y también los restos indeterminados, predominan en el nivel superior frente a los restos de carnívoros. En el nivel inferior es donde encontramos los restos de carnívoros en las proporciones que hemos comentado. Desde un punto de vista geológico, las actividades mineras de explotación de sepiolita que se llevan a cabo en el área del Cerro de los Batallones desafortunadamente acabaron con la mayor parte de este nivel superior de Batallones-1, por lo que es difícil establecer una posible distinción entre estos dos niveles. Por tanto, mediante el análisis de Tierras Raras en los pocos huesos recuperados in situ en el nivel superior y en huesos del nivel inferior, pretendemos comprobar si es posible establecer tal distinción. Esta diferencia estaría indicando un cambio en las condiciones de enterramiento o de diagénesis temprana entre los dos niveles.

Otro objetivo que nos planteamos una vez analizamos toda la muestra tafonómica, fue la búsqueda de diferencias en los patrones de Tierras Raras entre huesos con una preservación diferente o un origen dudoso (hemos separado tres casos que incluyen huesos con características preservacionales semejantes) y huesos “tipo” de Batallones-1. La preservación diferente de los huesos analizados nos

podría estar indicando un origen diferente y, por tanto, mezcla de elementos de diferentes procedencias en Batallones-1.

Las concentraciones en Tierras Raras fueron analizadas en un total de 73 muestras de hueso y 5 de sedimento. Hemos podido comprobar que la mayoría de las muestras presentan un patrón muy homogéneo de Tierras Raras, es decir, los perfiles de la Lámina 23, Figura 6 son muy similares. En esta figura incluimos el perfil medio que dibujan las 29 muestras analizadas en el nivel superior, el perfil medio que dibujan las 28 muestras analizadas en el nivel inferior y el perfil medio que presentan los tres casos diferenciados (además del hueso B-75).

Esta homogeneidad es sugestiva de un aporte estable de Tierras Raras durante la deposición señalando que los dos supuestos niveles forman un continuo al menos desde el punto de vista de las Tierras Raras.

Por otro lado, los casos separados presentan también un patrón de Tierras Raras muy similar al resto de la muestra, por lo que a pesar de sus diferencias en la preservación, un origen similar para el total de la muestra de Batallones-1 es muy probable. El hueso B-75 es una excepción y muestra un patrón algo diferente. Esta evidencia, junto a su aspecto claramente diferente, nos lleva a pensar en un origen diferente para este hueso.

Más conclusiones pueden ser extraídas del estudio de las Tierras Raras en los huesos de Batallones-1 y serán comentadas en trabajos posteriores (Domingo et al., en preparación). Sin embargo, lo comentado hasta aquí tiene implicaciones interesantes. La casi total falta de mezcla de elementos de diferente procedencia,

deducida de la gran homogeneidad en los patrones de Tierras Raras de Batallones-1, nos lleva a considerar que la asociación es restringida y autóctona. Trueman (1999) indica que aquellos huesos que han estado en una variedad de ambientes deposicionales arrojan patrones muy diferentes de Tierras Raras. Por ello, podemos también admitir que esta escasa variación en los patrones de Tierras Raras en Batallones-1 es indicativa de que los huesos se encontraban en una ambiente de deposición similar.

En el campo de los análisis geoquímicos, además de la línea de los análisis de las Tierras Raras, hemos abierto una línea nueva de investigación: los análisis de isótopos estables en esmalte de diente (Domingo, en preparación). Los isótopos estables del C y el O procedentes del carbonato estructural del esmalte pueden aportar información valiosa sobre la paleoecología y el paleoambiente existentes en el Cerro de los Batallones hace 10 millones de años.

Esto constituye tan sólo una presentación preliminar de los aspectos tafonómicos de los restos fósiles de los yacimientos del Cerro de los Batallones y, en especial, de Batallones-1. El análisis en profundidad de todas las características tafonómicas de la muestra nos conducirá a una mejor comprensión del modo de formación de estos yacimientos.

6.1 Interpretación preliminar

1. Existió un área de concentración de huesos, responsable de la formación de la brecha ósea. Es evidente que la propia naturaleza de un yacimiento de vertebrados implica la existencia de un área de con-

centración de huesos; sin embargo, en los yacimientos de mamíferos fósiles asociados a sedimentos estratificados no cársticos, los huesos suelen estar mucho más dispersos en los sedimentos, mostrando por tanto una menor concentración.

2. La acumulación de huesos se originó después de un corto proceso *postmortem* durante el cual tuvo lugar un transporte escaso o nulo. Así, la existencia de conexiones anatómicas, la buena conservación de los huesos, sin señales de exposición a la intemperie, la ausencia de sesgos en la composición anatómica, la carencia de direcciones preferentes, etc. indican que los agentes externos, fuesen bióticos o abióticos, apenas pudieron actuar. El transporte por corrientes de cadáveres puede dar características tafonómicas similares a las aquí señaladas. Sin embargo, la composición cuantitativa nos indica claramente que si existió este proceso, fue insignificante comparado con otros.

3. Existe un sesgo drástico en la composición de la fauna, cuyo 98% de los restos pertenece a carnívoros. Como se ha señalado los carnívoros en las biocenosis actuales constituyen una mínima parte de la biomasa. Siendo su número por unidad de superficie muy pequeño, este hecho provoca que en los yacimientos paleontológicos formados sin intervención humana, la proporción de sus restos no sean nunca superior al 10% (que es un porcentaje notablemente mayor que su porcentaje de biomasa en los medios naturales). La explicación de este sesgo sólo es posible si postulamos la existencia de algún fenómeno natural

que concentró selectivamente carnívoros en un área determinada, por ejemplo, la concentración de carnívoros de varias especies en el carroñeo.

En nuestra opinión pensamos que estos tres hechos básicos sólo pueden darse asociados en trampas naturales (arenas movedizas, charcas de fangos, etc.) en las que los animales pudiesen quedar atrapados y cuya agonía atrajese a carnívoros, que a su vez quedaban también prisioneros, actuando la trampa como un mecanismo autoalimentado. Esto explicaría la existencia del área de concentración, de un proceso *postmortem* de corta duración y también el sesgo cuantitativo a favor de los carnívoros.

En definitiva para Batallones-1 podemos inferir que nos encontramos ante una acumulación pasiva en el sentido de Lyman (1994), que podría cumplir los tres requisitos señalados por este autor: 1) algún factor que atraiga a los animales año tras año; 2) la posibilidad de que morir en este lugar sea más atractiva que en otro y 3) los animales se acumularon a sí mismos.

Se puede concluir que la existencia de cavidades funcionando como hoyos con agua explicaría la atracción de los animales a lo largo de un determinado tiempo, la propia necesidad de agua de los carnívoros o la posibilidad de carroñear sobre algún animal atrapado en la cavidad, explicaría la acumulación selectiva de carnívoros. No obstante, es necesario pensar en la existencia de procesos posteriores a la acumulación primaria de huesos que expliquen la orientación e inclinación de los huesos. La existencia de fracturaciones, desplazamientos y superficies de compactación en las arcillas

podrían sugerir que la masa original de sedimentos sufrió una fuerte compresión con desplazamiento cuando el sedimento aún conservaba propiedades plásticas.

7. Nuevas ideas sobre el origen de los yacimientos

Con el descubrimiento en el mismo cerro de nuevos yacimientos de vertebrados fósiles, en total 9 en un área no mayor a 10 Ha, el escenario interpretativo cambia radicalmente. Todos los yacimientos participan de las mismas características: son acumulaciones fósiles en rellenos discordantes con los sedimentos estratificados de la sucesión sedimentaria general del cerro. No obstante, desde un punto de vista paleontológico, existen diferencias significativas en su composición faunística, e indicios fundados de la existencia de diferentes niveles fosilíferos, que indicarían una historia compleja de los propios rellenos.

Así, como hemos mencionado, la asociación faunística de Batallones-1 está mayoritariamente formada por carnívoros, pero en los niveles superiores (casi totalmente destruidos por las máquinas durante las labores mineras previas al descubrimiento del yacimiento) se recuperaron abundantes restos de mastodontes, *Hipparion*, rinocerontes, y otros grandes herbívoros, lo que sugiere la existencia de dos niveles fosilíferos distintos. En Batallones-2, el nivel superior, totalmente excavado, posee una composición faunística en la que los mastodontes (*Tetralophodon longirostris*) son mayoritarios; varios metros más abajo existen indicios de concentraciones de carnívoros. Batallones-3 posee una aso-

ciación faunística con neto predominio de carnívoros, pero la presencia de osos (*Indarctos* sp.) marca una importante diferencia con la asociación de Batallones-1. En Batallones-4, los niveles superiores estaban prácticamente ocupados por un único ejemplar de jirafa (perteneciente al grupo de los sivaterinos), con los huesos en conexión anatómica, desconociéndose cualquier otra información referente a niveles más profundos. Del resto de los yacimientos todavía tenemos poca información procesada, los fósiles recuperados corresponden a herbívoros de talla grande (mastodonte, jirafa, rinoceronte, etc.), lo que es concordante con el registro conocido para los niveles superiores de los otros yacimientos del cerro.

La existencia de un sistema de yacimientos, probablemente desarrollados durante el mismo tiempo (Vallesiense superior), da lugar a nuevas hipótesis sobre la formación de los mismos; hipótesis que necesariamente tienen que explicar este fenómeno repetitivo, que no puede relacionarse con los procesos típicamente kársticos que se encuentran en otros sectores de la cuenca de Madrid. No obstante, otros procesos de “erosión subsuperficial” han podido ser los responsables de la formación de las cavidades en las que se encuentran los yacimientos. Uno de estos posibles procesos es el “piping”, también conocido como Karst de arcillas, subfusión o erosión en túnel (Pozo et al. 2004).

La evidencia en el área del Cerro de Batallones de fracturas y episodios de deformación podría también indicar que las fuerzas tectónicas habrían contribuido a la formación de estas fisuras o cavidades. En estos episodios tectónicos se podría

encontrar la causa del inicio de los procesos de piping, o incluso la causa primaria de la formación de las fisuras. Tampoco puede desecharse que simplemente se hayan desarrollado con posterioridad a la formación de las cavidades, superponiéndose un fenómeno al otro. Excavaciones adicionales y la continuación de las múltiples investigaciones geológicas y paleontológicas en la zona nos darán evidencias nuevas en apoyo de alguna de estas hipótesis.

Los resultados obtenidos permiten establecer que, de cara a la interpretación del desarrollo de las trampas, la unidad más interesante es la III y techo de la II, por una parte, y por otra el comportamiento mecánico de la potente unidad de sepiolita (unidad II) y del sustrato sobre el que se asienta el cerro (unidad I). En relación con el tramo sepiolítico es importante indicar que se han reconocido diversos episodios de paleosuelos con especial relevancia a techo de la unidad II. El análisis de la geometría de las capas ligadas a los yacimientos ha puesto de manifiesto el desarrollo de estructuras monoclinales en direcciones perpendiculares entre sí, que definen depresiones que actuarían como un sumidero. Asociado a estas flexuras se desarrollan, sobre todo en los carbonatos, familias de fallas de pequeño salto que marcan diversos episodios en el desarrollo de la cavidad conforme se abre y agranda. Las características composicionales y texturales de los rellenos guardan similitud con algunas facies pertenecientes a la unidad III establecida, siendo especialmente relevante el predominio de calcita como carbonato y la presencia de restos de gasterópodos, ostrácodos, carófitas y diato-

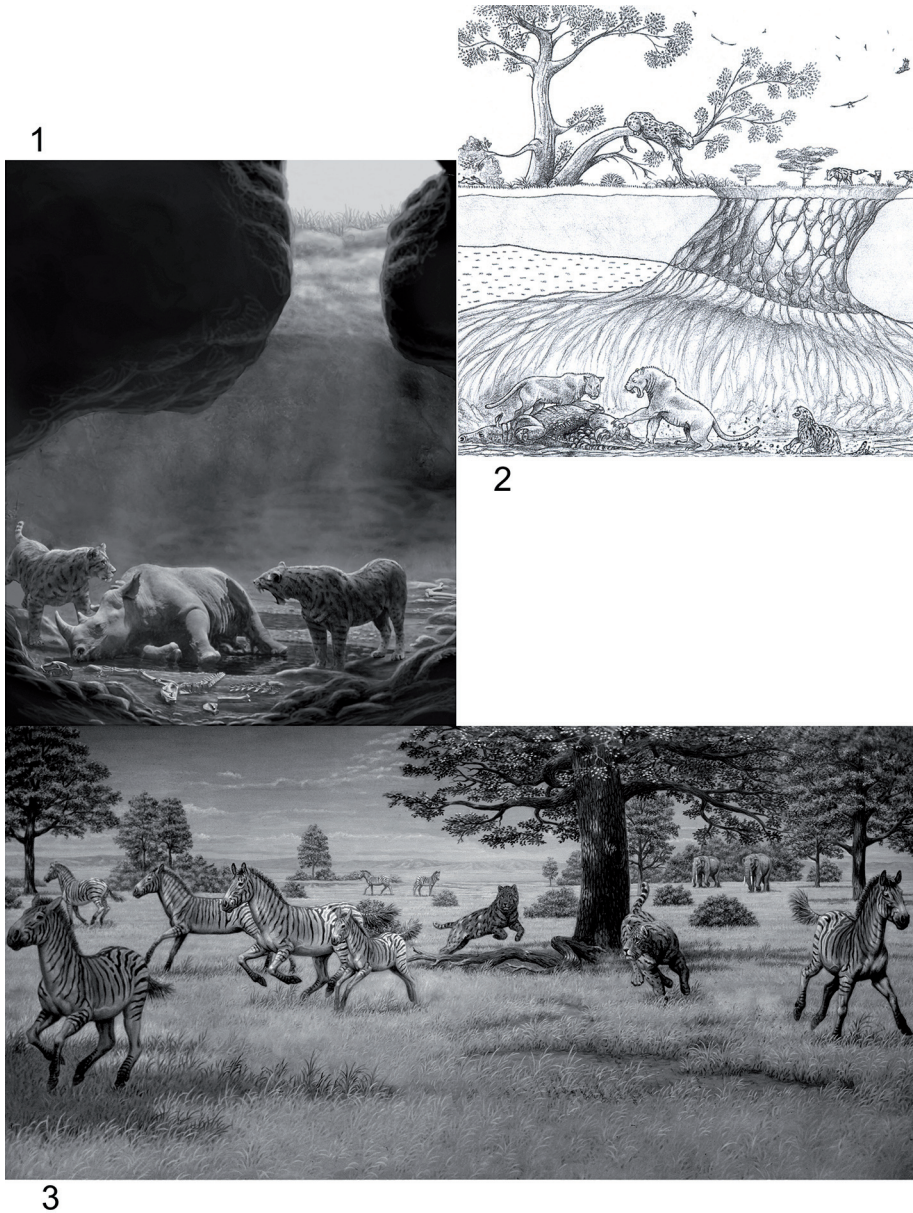


LÁMINA 24 Reconstrucción idealizada de la trampa natural de Batallones 1. Figura 1. Ilustración de Mauricio Antón. Figura 2. Ilustración de Israel M. Sánchez. Figura 3. Idealización del paisaje del cerro de los Batallones durante el Vallesiense superior.

meas, que parecen correlacionarse con facies de expansión lacustre como las reconocidas unos kilómetros más al sur, en la zona de Malcovadeso, en las que se llegan a desarrollar auténticas facies biosilíceas (Bellanca et al. 1992; Pozo & López 2004). Entre los resultados previos más relevantes destaca la confirmación de un nuevo tipo de yacimiento no estratificado que aparece rellenando cavidades decamétricas en el interior de series lutíticas, habiéndose propuesto un modelo que explica el desarrollo de las cavidades como resultado de procesos pseudocársticos en un contexto paleomorfológico y paleoambiental muy específico, coincidente con un notable cambio en las condiciones fisiográficas de la cuenca de Madrid durante el Mioceno superior. (Morales et al. 2004; Pozo et al., 2004). Es de destacar también la existencia en las proximidades del Cerro de los Batallones de acumulaciones carbonáticas interpretadas como paleosurgencias (Pozo et al. 2006), que provocan la deformación de las series sedimentarias a las que afectan, entre éstas a facies de carbonatos lacustres similares a los identificados en la unidad III diferenciada en la sección general del cerro.

Hasta el presente en estos yacimientos se ha extraído la mejor colección de carnívoros terciarios de España y, posiblemente, una de las mejores a nivel mundial. La importancia del hallazgo de la mayor parte de los elementos anatómicos, incluidos los cráneos, es de gran relevancia para los estudios paleobiológicos, pues permite acceder a una documentación única, que raras veces existe en el registro paleontológico, posibilitando estudios anatómicos, funcionales

y sistemáticos. También algunos yacimientos están suministrando restos muy completos de otras especies de mamíferos, como mastodontes en Batallones-2 y jirafas en Batallones-4 y Batallones-10. Seguramente, si se continúan las excavaciones como nosotros esperamos, podrán ser encontradas otras formas de herbívoros, junto a restos de tortugas y aves. En definitiva, podremos acceder a conocer de manera precisa una variada fauna de hace 10 millones de años, cuyos restos se encuentran excepcionalmente bien conservados.

Con todo, la importancia de estos yacimientos aumenta al encontrarnos ante un proceso de formación que no responde a los procesos normales causantes de la acumulación de vertebrados fósiles. Así, como ocurre en casi todas las ciencias, los acontecimientos inusuales nos permiten acceder a informaciones únicas e irrepetibles, que contribuyen a mejorar el conocimiento de los procesos generales. En nuestro caso, a entender mejor los procesos de formación de los yacimientos de vertebrados y por lo tanto al conocimiento de procesos geológicos del pasado que todavía no han sido documentados (Lámina 24).

Agradecimientos

Nuestro sincero agradecimiento a la Comunidad de Madrid (Dirección General de Patrimonio Histórico Artístico) por su apoyo a lo largo de todos estos años. A la empresa TOLSA, SA por su inapreciable ayuda en todas las circunstancias. National Geographic Society financió la campaña de Batallones-1 del año 2001. Son muchos los compañeros

y amigos que han participado en las excavaciones, y en los diferentes proyectos de investigación de estos yacimientos, a todos ellos nuestro más sincero agradecimiento y nuestros mejores deseos, con la esperanza de seguir contando con su valiosa colaboración. Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos de investigación MEC 2005-03900/BTE y CGL2006-01773/BTE, y del Grupo de Investigación CAM-UCM 910607.

Bibliografía

- Akersten, W. A. 1985. Canine function in *Smilodon* (Mammalia; Felidae; Machairodontinae). *Contributions in Science*, 356: 1–22.
- Alberdi, M. 1971. Primer ejemplar completo de un *Tetralophodon longirostris* Kaup, 1835, encontrado en España. *Estudios Geológicos*, 27: 181-196.
- Alcalá, L. 1994. Macromamíferos neógenos de la fosa de Alfamba (Teruel). Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, 554 pp.
- Alcalá, L., Alonso Zarza, A. M., Álvarez Sierra, M. A., Azanza, B., Calvo, J.P., Cañaveras, J.P., van Dam, J.A., Garcés, M., Krijgsman, K., van der Meulen, A. J., Morales, J., Peláez-Campomanes, P., Pérez González, A., Sánchez Moral, S., Sancho, R. & Sanz Rubio, E. 2000. El registro sedimentario de las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel. Evolución paleoambiental y paleoclimática de la zona centro-nororiental de la Península Ibérica durante el Neógeno. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13: 323-343.
- Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J. P., Silva, P.G. & Torres, T. 2004. La Cuenca del Tajo. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.) Sociedad Geológica de España-IGME, Madrid, 555-561.
- Álvarez Sierra, M. A., Calvo, J. P., Morales, J., Alonso-Zarza, A., Azanza, B., García Paredes, I., Hernández Fernández, M., van der Meulen, A. J., Peláez-Campomanes, P., Quiralte, V., Salesa, M. J., Sánchez, I. M. & Soria, D. 2003. El tránsito Aragoniense-Vallesiense en el área de Daroca-Nombrevilla (Zaragoza, España). *Coloquios de Paleontología*, volumen extraordinario 1: 25-33.
- Andrews, P. 1990. *Owls, Caves and Fossils*. Natural History Museum Publications.
- Antón, M. y Morales, J. 2000. Infe-rencias paleoecológicas de la asociación de carnívoros del yacimiento de Cerro Batallones. *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 6: 190-201.
- Antón, M., Salesa, M.J., Morales, J. & Turner, A. 2004. First known complete skulls of the scimitar-toothed cat *Machairodus aphanistus* (Felidae, Carnívora) from the Spanish late Miocene site of Batallones-1. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 24: 957-969
- Antón, M., Salesa, M. J., Pastor, J.F., Sánchez, I. M., Fraile, S. & Morales, J. 2004b. Implications of the mastoid anatomy of larger extant felids for the evolution and predatory behavior of sabretoothed cats (Mammalia, Carnívora, Felidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 140: 207-221.
- Antón, M., Salesa, M. J., Pastor, J.F., M.J., Peigné, S & Morales, J. 2006. Implications of the functional anatomy of the hand and forearm of *Ailurus fulgens* (Carnívora, Ailuridae) for the evolution of the “false-thumb” in pandas. *Journal*

of Anatomy, 209: 757-764.

Bailey, T. N. 1993. The African Leopard: Ecology and Behavior of a Solitary Felid. Biology and Resource Management in the Tropics Series. Columbia University Press. 429 págs.

Baskin, J. A. 1998. Procyonidae. En Evolution of Tertiary Mammals of North America, Volume 1: Terrestrial Carnivores, Ungulates, and Ungulatelike Mammals. C. M. Janis, K. M. Scott & L. L. Jacobs (Eds.). Cambridge University Press, 144-151.

Bellanca, A., Calvo, J.P., Censi, P., Neri, R. & Pozo, M. 1992. Recognition of lake level changes in Miocene lacustrine units, Madrid Basin, Spain. Evidence from facies analysis, isotope geochemistry and clay mineralogy. Sedimentary Geology, 76: 135-153.

Behrensmeier, A. K. 1978. Taphonomic and Ecologic Information from Bone Weathering. Paleobiology, 4 : 150-162.

Bininda-Emonds, O.R.P., Gittleman, J. L. & Purvis, A. 1999. Building large trees by combining phylogenetic information: a complete phylogeny of the extant Carnivora (Mammalia). Biological Reviews, 74:143-175.

Bryan, R.B. & Jones, A.A. 1997. The significance of soil piping processes: inventory and prospect. Geomorphology, 20: 209-218.

Bryan, R.B., Yair, A. (eds.). 1982. Badlands Geomorphology and Piping. GeoBooks, Norwich. 408 pp.

Calvo, J.P., Pozo, M & Jones, B.F. 1995. Preliminary report of seepage mound occurrences in Spain. Comparison with carbonate mounds from the Amargosa Desert, western USA. Geogaceta,

18: 67-70.

Calvo, J.P., Pozo, M., & Servant-Vildary, S. 1988. Lacustrine diatomite deposits in the Madrid Basin (Central Spain). Geogaceta, 4: 14-17.

Cañaveras, J.C., Calvo, J.P., Hoyos, M., Ordóñez, S. 1996. Paleomorphologic features of a intra-Vallesian paleokarst, Tertiary Madrid Basin. Significance of paleokarstic surfaces in continental Basin analysis. En: Tertiary Iberian Basins. P.Friend and C.J. Dabrio (eds.). Cambridge University Press, pp. 278-284.

Cerdeño, E. & Sánchez, B. 1998. *Aceratherium incisivum* (Rhinocerotidae) en el Mioceno superior de Cerro de los Batallones (Madrid). Revista Española de Paleontología, 13: 51-60.

Clark, T. W., Anderson, E., Douglas, C. & Strickland, M. 1987. *Martes americana*. Mammalian Species 289: 1-8.

DeMiguel, D., Fortelius, M., Azanza, B. & Morales, J. (2008) Ancestral feeding state of ruminants reconsidered: earliest grazing adaptation claims a mixed condition for Cervidae *BMC Evolutionary Biology*, aceptado- en prensa

Domingo, M. S., Alberdi, M. T. & Azanza, B. 2007a. A new quantitative biochronological ordination for the Upper Neogene mammalian localities of Spain. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 255: 361-376.

Domingo, M.S., Martín Escorza, C. & Morales, J. 2006. Nuevos datos sobre la estructura interna del yacimiento vallesiense de Batallones-I (Madrid, España). Estudios Geológicos, 62: 65-72.

Domingo, M. S., Sánchez, I. M., Morales, J. & Alberdi, M. T. 2007b. Miocene prey and predators: diversity of the Moschidae (Ruminantia; Pecora) from the

- carnivore-trap site of Batallones-1 (Late Vallesian; MN 10; Madrid Basin; Spain) and evidence of carnivore trophic activity on moschids. *Journal of Vertebrate Paleontology* 27: 69A.
- Durant, S. M. 2000. Predator avoidance, breeding experience and reproductive success in endangered cheetahs, *Acinonyx jubatus*. *Animal behaviour*, 60: 121-130
- Eisenberg, J. 1981, *The Mammalian Radiation*. University of Chicago Press, Chicago, 610 pp.
- Emerson, S. B. & Radinsky, L. 1980. Functional analysis of sabertooth cranial morphology. *Paleobiology*, 6: 295-312.
- Flynn, J. J. & Nedbal, M. A. 1998. Phylogeny of the Carnivora (Mammalia): congruence vs incompatibility among multiple data sets. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 9: 414-426.
- Flynn, J. J., Nedbal, M. A., Dragoo, J. W. & Honeycutt, R. L. 2000. Whence the Red Panda? *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 17: 190-199.
- Flynn, J. J., Finarelli, J. A., Zehr, S., Hsu, J. & Nedbal, M. A. 2005. Molecular Phylogeny of the Carnivora (Mammalia): Assessing the Impact of Increased Sampling on Resolving Enigmatic Relationships. *Systematic Biology*, 54: 317-337.
- Fraile, S., Pesquero, M. D., García Somoza, P., & Morales, J. 2003. El Cerro de los Batallones: un caso práctico de actuación paleontológica de carácter preventivo. *Coloquios de Paleontología*, volumen extraordinario, 1: 163-169.
- Frischia, A.R., Van Valkenburgh, B., Spencer, L. & Harris, J. 2008. Chronology and spatial distribution of large mammal bones in Pit 91, Rancho La Brea. *Palaos*, 23: 35-42.
- Garcés, W., Krijgsman, M., Peláez-Campomanes, P., Álvarez Sierra, M. A. & Daams, R. 2003. *Hipparion* dispersal in Europe: magnetostratigraphic constraints from the Daroca area (Spain). *Coloquios de Paleontología*, volumen extraordinario 1: 171-178.
- Gentry, A. W., Rössner, G. E., & Heizmann, E. P. J. 1999. Suborder Ruminantia. En *The Miocene Land Mammals of Europe*. G. E. R. Rössner and K. Heisig (eds), Verlag Dr. Friedrich Pfeil. München, pp. 225-253.
- Ginsburg, L. 1999. Carnivora. En *The Miocene Land Mammals of Europe*. G. E. R. Rössner and K. Heisig (eds), Verlag Dr. Friedrich Pfeil. München, 109-148.
- Göhlich, U. 1999. Order Proboscidea. En *The Miocene Land Mammals of Europe*. G. E. R. Rössner and K. Heisig (eds), Verlag Dr. Friedrich Pfeil. München, pp. 157-168.
- Gonyea W. J. 1976. Behavioral implications of saber-toothed felid morphology. *Paleobiology*, 2: 232-342.
- Gutiérrez Elorza, M. 2001. *Geomorfología Climática*. Ed. Omega, Barcelona, 642 pp.
- Halliday, W.R. 2004. Pseudokarst. En: *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. J. Gunn (Ed.). Routledge. 960 pp.
- Hanby, J. P. & Bygott, J. D. 1979. Population Changes in Lions and Other Predators. En *Serengeti, Dynamics of an Ecosystem*. A. R. E. Sinclair & M. Norton-Griffiths (Eds.) University of Chicago Press, pp.248-262.
- Hoek Ostende L. W. van den & Furió M. 2005. Spain. En *The fossil record of the Eurasian Neogene insectivores (Eriaceomorpha, Soricomorpha, Mamma-*

- lia), Part I. Spain. Hoek Ostende L.W. van den, Doukas C. S. & Reumer, J. W. F. (Eds.) Scripta Geologica Special issue 5: 148-284.
- Janis, C.M. 1984. Tragulids as living fossils. En Living Fossils. Eldredge N, Stanley SM, eds. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo. Casebooks in Earth sciences, 87-94.
- Klein, R. G. & Cruz-Uribe, K. 1984. The analysis of animal Bones from Archaeological Sites. The University of Chicago Press, Chicago. 266 pp.
- Klimchouck, A. B & Andrejchuk, V. N. 2003. Speleogenesis, and evolution of karst aquifers. The Virtual Scientific Journal, 19 p.
- Leguey, S., Pozo, M. & Medina, J.A. 1985. Polygenesis of sepiolite and palygorskite in a fluvial-lacustrine environment in the Neogene Basin of Madrid. Mineralogica et Petrographica Acta, 29 A, 287-301.
- Lyman, R.E. 1994. Vertebrate Taphonomy. Cambridge Manuals in Archaeology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Martín Escorza, C. & Morales, J. 2006. Estructura interna del yacimiento mioceno de Batallones (Madrid). XVI Bienal de la Real Sociedad de Historia Natural. Teruel. Comunicación.
- Mein, P., & Martín-Suárez, E. 1993. *Galerix iberica* sp. nov. (Erinaceidae, Insectivora, Mammalia) from the Late Miocene and Early Pliocene of the Iberian Peninsula. Geobios, 26: 723-730.
- Merino, L. & Morales, J. 2006. Mineralogía y geoquímica del esqueleto de los mastodontes de los yacimientos Batallones-1, 2 y 5. Implicaciones tafonómicas. Estudios Geológicos: 62, 53-64.
- Merino, L. & Morales, J. 2008. Relación del índice de cristalinidad (IC) con la edad y el contenido de iones F y CO₃ en muestras de vertebrados fósiles. Estudios Geológicos: 64, 00-00
- Métais, G., Chaimanee, Y., Jaeger, J.-J. & Ducrocq, S. 2001. New remains of primitive ruminants from Thailand: evidence of the early evolution of the Ruminantia in Asia. Zoologica Scripta, 30: 231-248.
- Métais, G., Chaimanee, Y., Jaeger, J.-J. & Ducrocq, S. 2007. Eocene bunoselenodont Artiodactyla from southern Thailand and the early evolution of Ruminantia in South Asia. Naturwissenschaften, 94: 493-498.
- Morales, J. 2004. El yacimiento paleontológico del Cerro de los Batallones (Torrejón de Velasco, Madrid). J. L. Sanz (Coordinador). Aportaciones recientes en el conocimiento de la historia de la vida. Fundación de Cultura Ciudad de Cuenca, 245-277.
- Morales, J., Alcalá, L., Álvarez-Sierra, M.A., Antón, M., M.A., Azanza, B., Calvo, J.P., Carrasco, P., Fraile, S., García-Paredes, I., Gómez, E., Hernández-Fernández, M., Merino, L., van der Meulen, Martín-Escorza, C., A., Montoya, P., Nieto, M., Peigné, S., Pérez, B., Peláez-Campomanes, P., Pozo, M., Quiralte, V., Salesa, M.J., Sánchez, I.M., Sánchez-Marco, A., J.P., Silva, P.G., Soria, D. & 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., Alcalá, L. & Nieto, M. 1993. Las faunas de vertebrados del Terciario. En "Madrid antes del Hombre".

- Ed. J. Morales. CSIC-Comunidad de Madrid
- Morales, J., Alcalá, L., Amezua, L., Antón, M., Fraile, S., Gómez, E., Montoya, P., Nieto, M., Pérez, B., Salesa, M. J. y Sánchez, I. 2000. El yacimiento del Cerro de los Batallones. En Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid. Eds. J. Morales, M. Nieto, L. Amezua, S. Fraile, E. Herráez, P. Peláez-Campomanes, M.J. Salesa, I.M. Sánchez & D. Soria. *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 6: 179-190.
- Morales, J., Antón, M & Salesa, M.J. 2006. Batallones: un tesoro paleontológico en el sur de Madrid. *Quercus*, 250: 31-36
- Morales, J., Capitán, J. & Calvo, J.P. 1995. El Cerro de los Batallones (Torrejón de Velasco, Madrid). Uno de los yacimientos más extraordinarios del Terciario de España. *Tierra y Tecnología*, 11: 43-48.
- Morales, J., Capitán, J., Calvo, J.P. & Sesé, C. 1992. Nuevo yacimiento de vertebrados del Mioceno superior al sur de Madrid (Cerro Batallones, Torrejón de Velasco). *Geogaceta*, 12: 77-80.
- Morales, J. & Soria, D. 2000. Importancia y futuro del yacimiento de Cerro de los Batallones. En Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid. Eds. J. Morales, M. Nieto, L. Amezua, S. Fraile, E. Herráez, P. Peláez-Campomanes, M.J. Salesa, I.M. Sánchez y D. Soria. *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 6: 202-203.
- Morse, D. H. 1974. Niche breadth as a function of social dominance. *American Naturalist*, 108: 808-830.
- Nowak, R. M. 1999. Walker's Mammals of the World, Sixth Edition. Volume II. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Nowak, R. M. & Paradiso, J. L. 1983. Walker's Mammals of the World, Sixth Edition. Volume II. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.
- Núñez, R., Miller, B. & Lindzey, F. 2000. Food habits of jaguars and pumas in Jalisco, Mexico. *Journal of Zoology*, 252: 373-379
- Peigné, S., Salesa, M. J., Antón, M., & Morales, J. 2005. Ailurid carnivore mammal *Simocyon* from the late Miocene of Spain and the systematics of the genus. *Acta Paleontologica Polonica*, 50: 219-238
- Peigné, S., Salesa, M. J., Antón, M. & Morales, J. 2008. A new Amphicyonine (Carnivora: Amphicyonidae) from the Late Miocene of Batallones-1 (Madrid, Spain). *Paleontology*. Aceptado-en prensa
- Pesquero, M. D. 2006. Tafonomía del yacimiento de vertebrados miocenos de Cerro de la Garita (Concud, Teruel). Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Powell, R. A. 1981. *Martes pennanti*. *Mammalian Species*, 156: 1-6
- Pozo, M. & Calvo, J.P. 2004. Mineralogía y geoquímica isotópica de facies carbonáticas del cerro de los Batallones (Cuenca de Madrid). Implicaciones paleoambientales. *MACLA*, 2: 31-32.
- Pozo, M. & Casas, J. 1999. Origin of kerolite and associated magnesium clays in palustrine-lacustrine environments. The Esquivias Deposit (Neogene Madrid Basin, Spain). *Clay Minerals*, 34: 395-418.
- Pozo, M. & López, M.J. 2004. Facies biosilíceas en el Neógeno de la Cuenca

de Madrid. Origen e implicaciones sedimentológicas. *Revista de la Sociedad Española de Geología*, 17: 229-248.

Pozo, M., Carretero, M.I. & Galán, E. 2005b. Variabilidad geoquímica en las facies sepiolíticas de la Cuenca de Madrid. *MACLA*, 3: 161-163.

Pozo, M., Medina, J.A & Leguey, S. 1985. Mineralogénesis de palygorskita en la zona central de la Cuenca de Madrid. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 8: 271-283.

Pozo, M., Calvo, J.P., Casas, J. & Medina, J.A. 2003a. Sepiolite paleosols, paleoverisols and lacustrine deposits- an integrated approach to the formation of mammal traps, Cerro de Batallones, Madrid Basin, Spain. 22nd IAS Meeting of Sedimentology-Opatija, Abstracts. 162.

Pozo, M., Casas, J., Medina, J. A. & Calvo, J.P. 2007a. Origin of mineralogical assemblages and textures in the Batallones butte sepiolite deposit (Neogene Madrid Basin, Spain). Euroclay 2007. Abstract Book. Aveiro, Portugal. pp.143.

Pozo, M., Casas, J., Medina, J. A. & Calvo, J.P. 2007b. Estudio mineralógico del tránsito de facies sepiolíticas a carbonáticas en el Cerro de los Batallones (Cuenca de Madrid). *MACLA*, 7: 97

Pozo, M., Casas, J., Calvo, J.P., Medina, J.A. & Martín Rubí, J.A. 2003c. Caracterización y origen de paleosuelos sepiolíticos condensados (Cerro de los Batallones. Mioceno, Cuenca de Madrid). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 26-A: 47-48.

Pozo, M., Casas, J., Medina, J.A, Calvo, J.P. & Silva, P.G. 2006. Caracterización de depósitos carbonáticos ligados a paleosurgencias en el sector de Batallones-Malcovadeso (Neógeno de la cuen-

ca de Madrid). *Estudios Geológicos*, 62: 73-88.

Pozo, M., Calvo, J.P., Casas, J., Medina, J.A., Silva, P.G., & Morales, J. 2005a. Caracterización de formaciones carbonáticas travertínicas asociadas a facies detríticas del sector de Batallones-Malcovadeso (Cuenca de Madrid). *MACLA*, 3: 165-166.

Pozo, M., Calvo, J.P., Morales, J., Silva, P., Peláez-Campomanes, P., & Nieto, M. 2003b. The Cerro de Batallones site: a case study for mammals trap lakes. III Limnogeological International Congress, Abstract Volume, Tucson, Arizona. 220-221.

Pozo, M., Calvo, J.P., Silva, P.G., Morales, J., Peláez-Campomanes, P & Nieto, M. 2004. Geología del sistema de yacimientos de mamíferos miocenos del Cerro de los Batallones, Cuenca de Madrid *Geogaceta*, 35: 143-146.

Rabinowitz, A. R. & Nottingham, B. G. 1986. Ecology and behaviour of the Jaguar (*Panthera onca*) in Belize, Central America. *Journal of Zoology*, 210: 149-159.

Rawn-Schatzinger, V. 1992. The scimitar cat *Homotherium serum* Cope. *Illinois State Museum Reports of Investigation*, 47: 1-80.

Ray, J. C. 1995. *Civettictis civetta*. *Mammalian Species*, 488: 1-7.

Roberts, M. S. & Gittleman, J. L. 1984. *Ailurus fulgens*. *Mammalian Species*, 222: 1-8.

Salesa, M.J. 2002. Estudio Anatómico, Biomecánico, Paleocológico y Filogenético de *Paramachairodus ogygia* (Kaup. 1832) Pilgrim, 1913 (Felidae, Machairodontinae) del yacimiento vallesiense (Mioceno superior) de Batal-

lones-1 (Torrejón de Velasco, Madrid). Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 1-370.

Salesa, M. J. & Fraile, S. 2000. Los carnívoros fósiles del Neógeno madrileño. En Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid. Eds. J. Morales, M. Nieto, L. Amezua, S. Fraile, E. Herráez, P. Peláez-Campomanes, M.J. Salesa, I.M. Sánchez y D. Soria. *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 6: 248-255.

Salesa, M. J., Antón, M., Peigné, S. & Morales, J. 2005a. Primera evidencia de “falso pulgar” en el registro fósil: *Simocyon batalleri* (Carnivora, Ailuridae) y la evolución de los pandas. XXI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. Sevilla. Comunicación.

Salesa, M.J., Antón, M., Peigné, S. & Morales, J. 2006b. Evidence of a false-thumb in a fossil carnivore clarifies the evolution of pandas. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 103, 379-382.

Salesa, M.J., Antón, M., Peigné, S. & Morales, J. 2006c. Paleocología y anatomía funcional de *Simocyon batalleri* (Viret, 1929) (Carnivora, Ailuridae) del Mioceno superior de Batallones-1. En Fernández Martínez, E (Ed.) *Libro de Resúmenes – XXII Jornadas de Paleontología*, 82-82.

Salesa, M. J., Antón, M., Peigné, S. & Morales, J. 2008. Functional anatomy and biomechanics of the postcranial skeleton of *Simocyon batalleri* (Viret, 1929) (Carnivora, Ailuridae) from the late Miocene of Spain. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 152, 00-00.

Salesa, M. J., Antón, M., Turner, A. & Morales, J. 2004. Anatomía funcional del complejo cráneo-cervical de *Parama-*

chairoodus ogygia (Kaup, 1832) (Felidae, Machairodontinae): el origen de las adaptaciones macairodontinas”. XX Jornadas de Paleontología de la Sociedad Española de Paleontología. Alcalá de Henares. Comunicación.

Salesa, M. J., Antón, M., Turner, A & Morales, J. 2005b. Aspects of the functional morphology in the cranial and cervical skeleton of the sabre-toothed cat *Paramachairoodus ogygia* (Kaup, 1832) (Felidae, Machairodontina) from the Late miocene of Spain: Implications for the origins of the machairodont killing bite. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 144, 363-377.

Salesa, M. J., Antón, M., Turner, A. & Morales, J. 2005c. Aproximación a la Paleobiología de *Paramachairoodus ogygia* (Felidae, Machairodontinae): inferencias etológicas y ecológicas a partir de la población de Batallones-1 (MN 10, Madrid)” XXI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. Sevilla. Comunicación.

Salesa, M. J., Antón, M., Turner, A. & Morales, J. 2006a. Inferred behaviour and ecology of the primitive sabre-toothed cat *Paramachairoodus ogygia* (Felidae machairodontinae) from the Late Miocene of Spain. *Journal of Zoology*, 268, 243-254

Salesa, M. J., Montoya, P., Alcalá, L. & Morales, J. 2003. El género *Paramachairoodus* Pilgrim, 1913 (Felidae, Machairodontinae) en el Mioceno superior español. *Coloquios de Paleontología*, volumen extraordinario, 1: 603-615.

Sánchez I. M. 2006. Evolución y sistemática de los Moschidae (Mammalia; Artiodactyla) del Mioceno medio y superior de España. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid. 1-513.

- Sánchez I. M. & Azanza, B. Apéndices craneales de los rumiantes. En Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid. Eds. J. Morales, M. Nieto, L. Amezua, S. Fraile, E. Herráez, P. Peláez-Campomanes, M.J. Salesa, I.M. Sánchez y D. Soria. *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 6: 285-286.
- Sánchez, I. M. & Morales, J. 2004. Los rumiantes inermes (Artiodactyla, Mammalia) de la Comunidad de Madrid. *Zona Arqueológica*, 4: 518-524
- Sánchez, I.M. & Morales, J. 2005. Distribución Estratigráfica y Geográfica de Moschidae (Mammalia; Artiodactyla). XXI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. Sevilla. Comunicación.
- Sánchez, I.M. & Morales, J. 2006. Distribución biocronológica de los Moschidae (Mammalia, Ruminantia) de España. *Estudios Geológicos*, 62: 553-546.
- Sánchez, I.M. & Morales, J. En prensa. *Micromeryx azanzae* sp. nov. (Ruminantia, Moschidae) from the Middle-Upper Miocene of Spain, and the first description of the cranium of *Micromeryx*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, en prensa.
- Sánchez, B. & Cerdeño, E. 2000. Los rinocerontes fósiles de la Comunidad de Madrid. En Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid. Eds. J. Morales, M. Nieto, L. Amezua, S. Fraile, E. Herráez, P. Peláez-Campomanes, M.J. Salesa, I.M. Sánchez y D. Soria. *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 6: 270-274.
- Sánchez-Marco, A. 2000. Aves fósiles de Madrid. En Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid. Eds. J. Morales, M. Nieto, L. Amezua, S. Fraile, E. Herráez, P. Peláez-Campomanes, M.J. Salesa, I.M. Sánchez y D. Soria. *Arqueología, Paleontología y Etnografía*, 6: 247-248.
- Scott, K.M. & Janis, C. M. 1993. Relationships of the Ruminantia (Artiodactyla) and an analysis of the characters used in ruminant taxonomy. In *Mammal Phylogeny: Placentals*: Szalay FS, Novacek MJ, McKenna MC, eds. Springer Verlag, New York, 282-302.
- Seidensticker, J. 1976. On the Ecological Separation between Tigers and Leopards. *Biotropica*, 8: 225-234.
- Silva, P.G., Morales, J., Pozo, M., Calvo, J.P. & Peláez-Campomanes, P. 2004. Itinerarios geomorfológicos por Castilla – La Mancha. (En A. Pérez González, et al. coord.). SEG-CSIC., Toledo: 13-48.
- Simms, M.J. 1994. Emplacement and preservation of vertebrates in caves and fissures. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 112: 261-283.
- Simon-Coinçon, R., Thiry, M. & Scmitt, J.M. 1997. Variety and relationships of weathering features along the early Tertiary paleosurface in the southwestern French Massif Central and the nearby Aquitaine Basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 129: 51-79.
- Spencer, L.M., Van Valkenburgh, B. & Harris, J.M. 2003. Taphonomic analysis of large mammals recovered from the Pleistocene Rancho La Brea tar seeps. *Paleobiology*, 29: 561-575.
- Stock, C. & Harris, J.M., 1992. Rancho La Brea: A Record of Pleistocene Life in California, Science Series 37: Natural History Museum of Los Angeles County, Los Angeles.
- Trueman, C.N. 1999. Rare earth ele-

ment geochemistry and taphonomy of terrestrial vertebrate assemblages. *Palaeos*, 14: 555-568.

Trueman, C.N., Behrensmeyer, A.K., Tuross, N. & Weiner, S. 2004. Mineralogical and compositional changes in bones exposed on soil surfaces in Amboseli National Park, Kenya: diagenetic mechanisms and the role of sediment pore fluids. *Journal of Archaeological Science*, 31: 721-739.

Twidale, C.R. 1987. Sinkholes (Dolines) in lateritised sediment western Sturt Plateau, Northern Territory, Australia. *Geomorphology*, 1 (1), 33-52.

Twidale, C.R. 2002. The two-stage concept of landform and landscape development involving etching: origin, de-

velopment and implications of an idea. *Earth-Science Reviews*, 57: 37-74.

Vegas, R., Míguez, F. & Pérez González, K. 1975. Cartografía y memoria geológica de la hoja de Getafe (19-23). Mapa Geológico de España escala 1:50.000 2ª Serie (MAGNA). IGME. Serv. Pub. Mº Industria, Madrid.

Wang, X. 1997. New cranial material of *Simocyon* from China, and its implications for phylogenetic relationship to the red panda (*Ailurus*). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 17: 184-198

Webb, S. D. & Taylor, B.E. 1980. The phylogeny of hornless ruminants and a description of the cranium of *Archaeomeryx*, *Bulletin of American Museum of Natural History*, 167:117-158.