

IMPLICACIONES TAFONÓMICAS DE LA ORIENTACIÓN DE HUESOS DE MAMÍFEROS EN EL NEÓGENO CONTINENTAL DE CONCUD (TERUEL)

L. Alcalá, C. Martín Escorza y M. D. Pesquero

Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid

Resumen: Los yacimientos de Concud (Teruel) contienen asociaciones faunísticas típicas del Mioceno superior continental (Turoliense) europeo. Uno de ellos, Barranco de las Calaveras, ha sido citado desde el siglo XVIII; el otro, Cerro de la Garita, es la localidad tipo de dos géneros y de cuatro especies de mamíferos: *Canis cipio*, *Hispanodorcas torrubiae*, *Turiacemas concudensis* e *Hipparion concudense*. Como parte del proyecto de estudio tafonómico del yacimiento, iniciado en 1997, se presentan los primeros resultados relativos a las orientaciones de 1.005 huesos de Cerro de la Garita. Los resultados obtenidos son: a) los huesos han sido orientados por un flujo hidráulico laminar; b) los huesos de mayor longitud (superior a la longitud media), a pesar de constituir una muestra sesgada, son los más apropiados para establecer la dirección de flujo que los pudo orientar; se orientan con direcciones tanto paralelas como casi perpendiculares a la corriente.

Palabras clave: Orientación de huesos, tafonomía, mamíferos neógenos, Fosa de Teruel, España.

Abstract: Turolian mammal fossils of Concud (Teruel) are typical of the European continental Neogene. One of the fossiliferous levels, the Barranco de las Calaveras, has been quoted since the 18th century; the other one, the Cerro de la Garita, is the type locality of two genus and four mammal species: *Canis cipio*, *Hispanodorcas torrubiae*, *Turiacemas concudensis*, and *Hipparion concudense*. The first results concerning the orientations of the 1,005 fossil bones from Cerro de la Garita are presented as a part of the taphonomical project started in 1997. These results are: a) the bones have been oriented by laminar water flows; b) though more scarce, the bones with the greatest length (larger than the length average) are the most appropriate to establish the direction of the flow involved; these bones present orientations both parallel and nearly perpendicular to the flow.

Key words: Bone orientation, taphonomy, Neogene mammals, Teruel Basin, Spain.

Alcalá, L., Martín Escorza, C. y Pesquero, M.D. (1999): Implicaciones tafonómicas de la orientación de huesos de mamíferos en el Neógeno continental de Concud (Teruel). *Rev. Soc. Geol. España*, 12 (3-4): 501-511

En las cercanías de Concud (Teruel) se encuentran dos yacimientos de mamíferos neógenos (Fig. 1) del Turoliense (Mioceno superior continental), originados en una etapa de transición entre niveles de sedimentos depositados en complejos aluviales y otros resultantes de la instalación de un sistema lacustre somero:

- Barranco de las Calaveras, conocido desde el siglo XVIII. Durante dicho siglo fue centro de un debate acerca del gigantismo de la humanidad en tiempos pre-téritos, al interpretarse que los huesos provenían de alguna gran batalla.

- Cerro de la Garita, descubierto en 1924. De este lugar procede la mayor parte de las colecciones modernas de mamíferos neógenos de Teruel. Es la localidad tipo de *Canis cipio* (el cánido en sentido estricto, Caninae, más antiguo del registro fósil euroasiático), del bóvido *Hispanodorcas torrubiae*, del cérvido *Turiacemas concudensis* y del équido tridáctilo *Hipparion concudense*.

Los huesos fósiles procedentes del Barranco de las Calaveras de Concud llamaron la atención de los estu-

diosos de la Naturaleza ya desde el siglo XVIII. Feijoo (1736) se refirió a ellos reconociendo que, en algún momento, fueron verdaderos huesos y atribuyó su origen a los despojos humanos y de sus monturas procedentes de una gran batalla. Torrubia (1754), encendido defensor del Diluvio Universal como causa del origen de los osarios, aún creyendo también que se encontraban restos humanos, no se pronunció acerca del modo de formación del yacimiento. Más bien, recogió las noticias de Feijoo para introducir sus ideas acerca de la existencia de gigantes en tiempos pasados (los pormenores de este debate se han descrito por Capel, 1985; Alcalá, 1992, 1994, 1997; Pelayo, 1994, 1996). Hacia el final del siglo, el irlandés Bowles (1775) describió certeramente el yacimiento, aunque se dejó llevar por ideas anteriores acerca de la presencia de restos humanos. El propio fundador de la Paleontología, Georges Cuvier, se interesó por los huesos de Concud, aunque a través de las referencias notificadas por Bowles (Cuvier, 1825). A mediados de siglo, Maestre (1845) señaló, por primera vez, la ausencia de restos que pudieran referirse al género humano entre los fósiles de

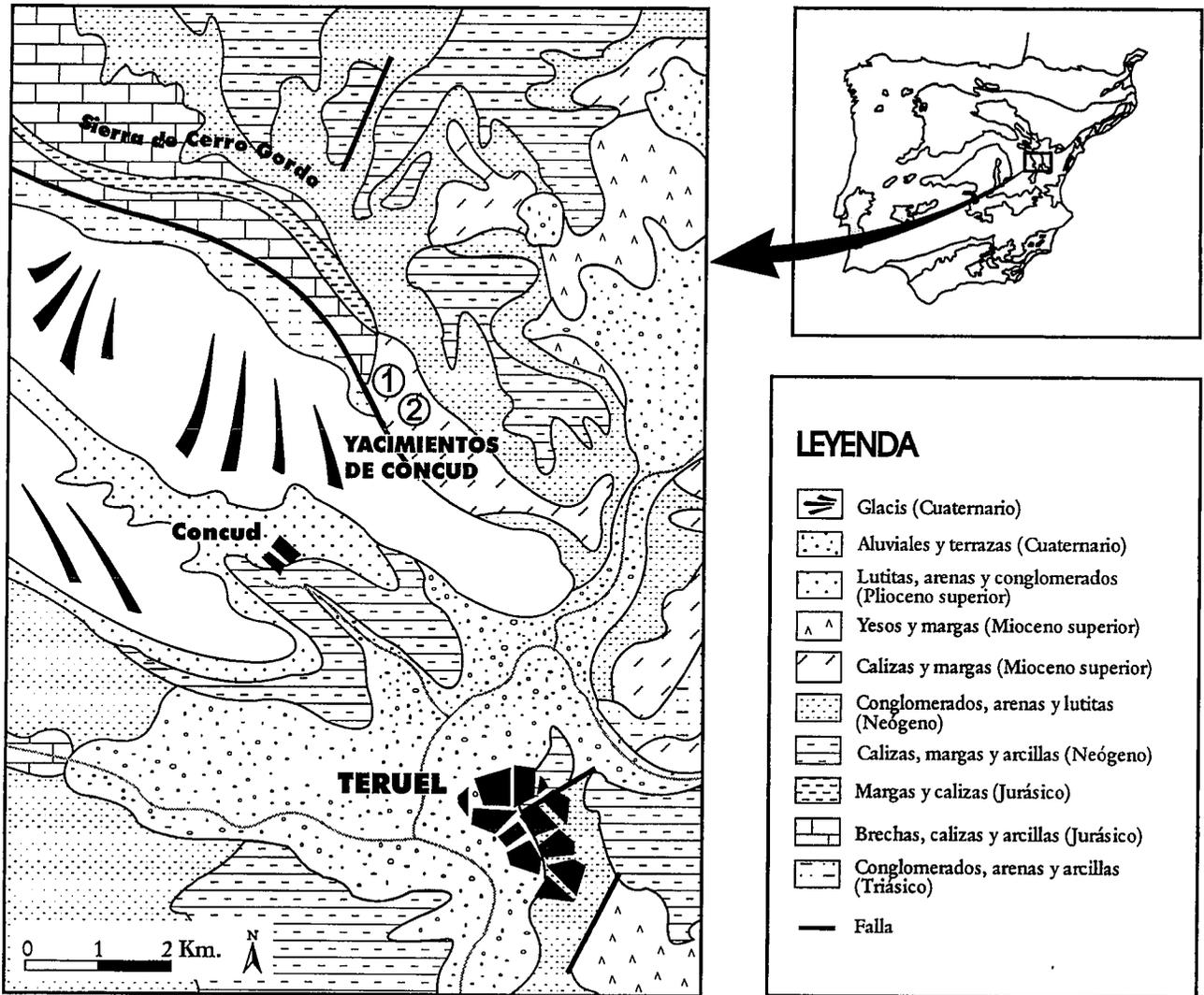


Figura 1.- Esquema geológico de los yacimientos de Concud (modificado de Godoy *et al.*, 1983). (1= Cerro de la Garita; 2=Barranco de las Calaveras).

Concud, y Ezquerria del Bayo (1845, 1850) aludió a los mamíferos de dicha localidad. En su diccionario geográfico, Madoz (1847) también se interesó por los huesos de Concud, si bien con una interpretación primitiva sobre su origen (batallas). Verneuil y Collomb (1852), en un trabajo presentado a una de las sesiones científicas de la Sociedad Geológica de Francia, intentaron determinar la edad de la formación en la que se sitúa el yacimiento de Concud. Finalmente, fue precisada en esa misma sesión por Gervais (1852), atribuyéndola al Mioceno, ya que determinó los restos de équido como correspondientes al género *Hipparion*. La primera representación gráfica de este yacimiento turolense se encuentra en Vilanova y Piera (1863), que también presentó magníficas figuras de algunos fósiles de Concud. Una nueva versión de la sección estratigráfica de Concud aparece en Cortázar (1885). Durante el siglo XIX destacan las noticias sobre Concud proporcionadas por Smith Woodward (1903), quien relató los resultados de una exploración que llevó a cabo personalmente el año anterior. Los fósiles de Concud captaron tam-

bién la atención del paleontólogo alemán Schlosser (1907), que describió algunos restos de mamíferos y de gasterópodos del lugar denominado «Cueva Rubbia». El yacimiento de Concud fue objeto de una nota monográfica a cargo de Boscá y Seytre (1911). Hernández-Pacheco (1924) comunicó el hallazgo de una nueva localidad de Concud, muy próxima al Barranco de las Calaveras, el Cerro de la Garita, iniciando una campaña de excavaciones que fructificaron después en la publicación de los trabajos donde se describen los mamíferos más notables encontrados (Hernández-Pacheco 1930 a, b, c). En su memoria sobre la fauna malacológica del Mioceno continental ibérico, Royo Gómez (1922) repasó las referencias más importantes sobre los yacimientos de Teruel, utilizando en esta obra una división de las formaciones continentales terciarias que se ha utilizado ampliamente con posterioridad. En la hoja correspondiente a Teruel del Mapa Geológico a escala 1:50.000, que incluye una Memoria Explicativa, se dedica un capítulo muy documentado al yacimiento de Concud elaborado por Gómez Lluca *et al.* (1931).

Entre los años cuarenta y los sesenta, los fósiles de Concud se mencionan en numerosas publicaciones firmadas por el equipo compuesto por Crusafont, Truyols y Villalta (Sección de Paleontología del Museo de Sabadell). Merece una mención especial el artículo de Crusafont (1965), ya que en él propuso la introducción del término Turolense, periodo temporal al que pertenecen los yacimientos de Concud. Posteriormente, el Turolense fue definido formalmente de acuerdo con las normas de la Guía Estratigráfica Internacional por Marks (1971) y por Aguirre *et al.* (1975). En las últimas décadas, equipos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN) han retomado el estudio de los yacimientos de Concud.

En la actualidad, debido a su interés histórico, su valor científico y los riesgos de deterioro a los que están sujetos (Alcalá, 1998), se está considerando la conveniencia de la protección y de la puesta en valor de los yacimientos clásicos de Concud por medio de la colaboración entre el Museo Nacional de Ciencias Naturales, la Dirección General de Cultura y Patrimonio del Gobierno de Aragón y la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel. Desde noviembre de 1996, los yacimientos de Concud están incluidos en la lista *Endangered Fossil Sites List* (International Paleontological Association) con el registro IPA Site EU1-P y EU2-P (Lane y Bruton, 1998); recientemente, se han señalado los dos yacimientos, informando brevemente de sus características, así como del comportamiento que se espera de los visitantes. Más información sobre estos aspectos puede encontrarse en la página web del MNCN www.mncn.csic.es/teruel/concud.htm.

Metodología

En los estudios tafonómicos se suele medir la orientación y la inclinación de los huesos que presentan una de sus dimensiones claramente predominante con respecto a las otras, con objeto de establecer la posible existencia de orientaciones preferentes, generalmente interpretadas como causadas por el transporte de las corrientes de agua que los depositaron. La orientación corresponde al ángulo, con sentido dextrógiro respecto al norte geográfico, de la proyección en el plano horizontal de la dimensión longitudinal mayor del hueso correspondiente. Se toma esta medida desde el extremo más alto al más bajo; el valor corresponde, por tanto, a una «dirección de la inclinación». La inclinación de los huesos, es decir el ángulo respecto al plano horizontal, se toma en los mismos casos que en el apartado anterior, pues la medición de estos dos datos es simultánea. Asimismo, para posteriores comprobaciones acerca del sentido de una hipotética corriente, se registra la posición (x, y, z) del hueso en el sustrato. Para más detalles sobre la captación de estos datos en Cerro de la Garita ver Martín Escorza *et al.* (1999).

En nuestras excavaciones anteriores realizadas en otros yacimientos, tomábamos datos de orientación e

inclinación únicamente en el caso de huesos de un cierto tamaño, ignorando para este fin los más pequeños. Durante las excavaciones de 1997 y 1998, en Cerro de la Garita hemos tomado los datos de todos los huesos alargados en los que fue posible hacerlo, sin importar su tamaño, con el objetivo de comprobar si los huesos mostraban orientaciones diferentes en función de su tamaño o, por el contrario, se comportaban de modo semejante independientemente del mismo.

Los sedimentos que contienen los fósiles del Cerro de la Garita son margas calcíticas con un contenido, considerando los valores enteros de los principales, de: 42% de CaO, 43% de CO₃, 11% de SiO₂ y 3% de Fe₂O₃+MgO (Merino Cristóbal, 1999); incluyen cantos dispersos de caliza de las capas mesozoicas circundantes. Todo este material se encuentra situado en el bloque levantado de la falla de Concud-Celadas (Simancas Pérez, 1973; Moissenet, 1983, 1993; Simón Gómez y Soriano, 1993). Estos sedimentos están estructurados en capas alabeadas con inclinación media de 7° al sur, que puntualmente alcanza valores más elevados.

La extracción de estos huesos y de otros, en los que no se midieron los datos de orientación e inclinación, se ha realizado en un área de 5 x 5 m y una profundidad efectiva de 40 cm. El total de huesos extraídos ha sido de 2.413, que pertenecen a un variado número de taxones de fauna continental del Neógeno. Durante su excavación, ha sido posible obtener la orientación e inclinación de un total de 1.005 huesos, es decir del 41,6 % de los encontrados, que constituyen la muestra n sobre la que se realiza éste análisis.

Hipótesis deposicional

Todo indica que este yacimiento, como otros de la Meseta Ibérica, es una concentración depositada por un flujo que debemos suponer hídrico que transportaba además elementos terrígenos que le hicieron aumentar su densidad y viscosidad. En este tipo de transporte, los elementos óseos, muchos de ellos fragmentados, o sea sin posibilidad de flotar, son arrastrados tanto por deslizamiento como por rotación. La dinámica que se "fosiliza" es, obviamente, el último de los pasos de la secuencia. Esta foto "fija" final es la que se encuentra en la excavación. Los huesos de menor tamaño, con mayor posibilidad de giro embebidos en un flujo, se dispondrán con una mayor variedad de inclinaciones, prácticamente según todas las posibilidades, mientras que la inclinación de los más largos, mucho más difíciles de girar y de adaptación más forzada, estará más restringida hacia valores de inclinación más pequeños. Todo ello conduce a considerar que una corriente de tipo laminar (no turbulenta) densa y viscosa dejará un depósito en el que los huesos largos estarán poco inclinados. Si el flujo es igualmente denso y viscoso pero la corriente es de tipo turbulento los huesos largos pueden presentar con mayor frecuencia inclinaciones más altas, llegando incluso en algún caso a estar verticales.

En el Cerro de la Garita el conjunto de los valores de la dimensión longitudinal mayor en cada hueso de la

Intervalos (cm)	Número
1 – 5	700
6 – 10	249
11 – 15	35
16 – 20	11
21 – 25	9
26 – 30	1
Valor medio	5,14 cm
Desviación Estándar	3,30 cm
Mediana	4,00 cm

Tabla I.- Distribución frecuencial de la dimensión longitudinal mayor de los 1.005 huesos que componen la muestra estudiada de Cerro de la Garita, Concud.

muestra presenta una distribución sesgada hacia los de menor tamaño (Tabla I), aunque hay elementos en casi todo el intervalo comprendido entre 1 y 28 cm.

La relación entre los tamaños de los huesos y la inclinación con que se disponen no es uniforme: los resultados obtenidos señalan que los huesos más cortos presentan variedad en el valor de su inclinación, con más frecuencia menor de 30°, para cuya explicación cabe mencionar que los huesos más cortos tienen mayor facilidad para girar y rotar sobre sí mismos cuando están siendo transportados por la corriente de agua. Los huesos más largos siempre están por debajo de 30° de inclinación (Fig. 2), debido a que durante el transporte los huesos con longitud mayor a los 10 cm debieron tener una mayor dificultad o imposibilidad de giro. Según esto, y aplicando el escenario hidrodinámico antes mencionado, este depósito correspondería a un proceso con una dinámica de transporte con un flujo de tipo laminar.

Disposición espacial

La capa que contiene los huesos de Cerro de la Garita está concordante con el conjunto de la formación neógena lacustre en la que se encuentra. Dicha formación, y consecuentemente la capa del yacimiento, se encuentran inclinadas 7° hacia el sur, debido probablemente a un basculamiento de este área ocurrido con posterioridad al depósito. Esta circunstancia no es excepcional en la zona, puesto que hay fallas locales activas que alteran por separado la disposición puntual de los depósitos neógenos, de los piedemontes y de las te-

rrazas cuaternarias ya que su actividad llega hasta el Holoceno (Simancas, 1973; Godoy *et al.*, 1983; Simón Gómez, 1983; Moissenet, 1983; Simón Gómez y Soriano, 1993; Moissenet, 1993) y posiblemente a tiempos históricos (Gutiérrez Santolalla, 1998).

La existencia de esta inclinación post-deposicional hace que los datos de orientación e inclinación registrados en el yacimiento deban ser rotados esos mismos grados en sentido contrario, hacia el norte, para situarlos en una disposición que correspondería a la de reposar sobre una capa horizontal, que es como se supone fueron depositados.

Resultados

Muestra total (Mt)

En la figura 3 se muestran los diagramas de la proyección estereográfica para el conjunto de los 1.005 huesos fósiles sobre los que se midieron orientación e inclinación; en la figura 3A se muestra la proyección polar de las lineaciones que representan la dirección e inclinación de la dimensión longitudinal mayor de cada hueso tal como se encontraba en el yacimiento; en la figura 3B se representan las curvas isoporcentuales de esos mismos elementos óseos pero rotados 7° hacia el norte. El diagrama de la figura 3B muestra que la disposición espacial tiene puntos en casi todas las direcciones posibles, con una gran proporción de ellos en posición subhorizontal, determinando las curvas de distribución porcentual una banda concéntrica alrededor del "ecuador". En el interior de esa banda se halla localizado el máximo porcentual (>4%) en la dirección 153° e inclinación 3°, al que acompañan, rodeándolo, las áreas con valores de 3-4%, que se presentan con una dispersión de hasta $\pm 40^\circ$ de dicha dirección.

En conjunto, los diagramas de la figura 3 representan el caso intermedio entre una distribución con un marcado eje de simetría (en este caso para el eje Z) y una disposición en *clusters*. Situación que se manifiesta también en los resultados del cálculo de las componentes principales (CP) cuyos valores propios normalizados ($S_i = \lambda_i/n$) son: $S_1 = 0,46$; $S_2 = 0,43$; $S_3 = 0,11$. La situación definida por $S_1 \approx S_2 > S_3$ indica que los puntos están distribuidos en el diagrama estereográfico sobre un círculo mayor con un eje de simetría en el vector principal V_3 muy marcado (Watson, 1966). Para el caso de los huesos ya rotados, el cálculo por CP presenta un vector V_3 casi vertical (Tabla II); el vector principal V_1 , que representa la dirección de máxima concentración o el "vector medio" de todos ellos (Scheidegger, 1965), está definido por una dirección de 158,6° e inclinación de 0,9°, con coeficientes K y C, de Woodcock (1977) de 0,05 y 1,43 respectivamente, es decir muy bajos.

Discriminando por longitudes

La cantidad disponible de huesos con datos de orientación e inclinación y la variación de su dimensión mayor permite analizar con más detalle la muestra y observar las distintas distribuciones estereográficas

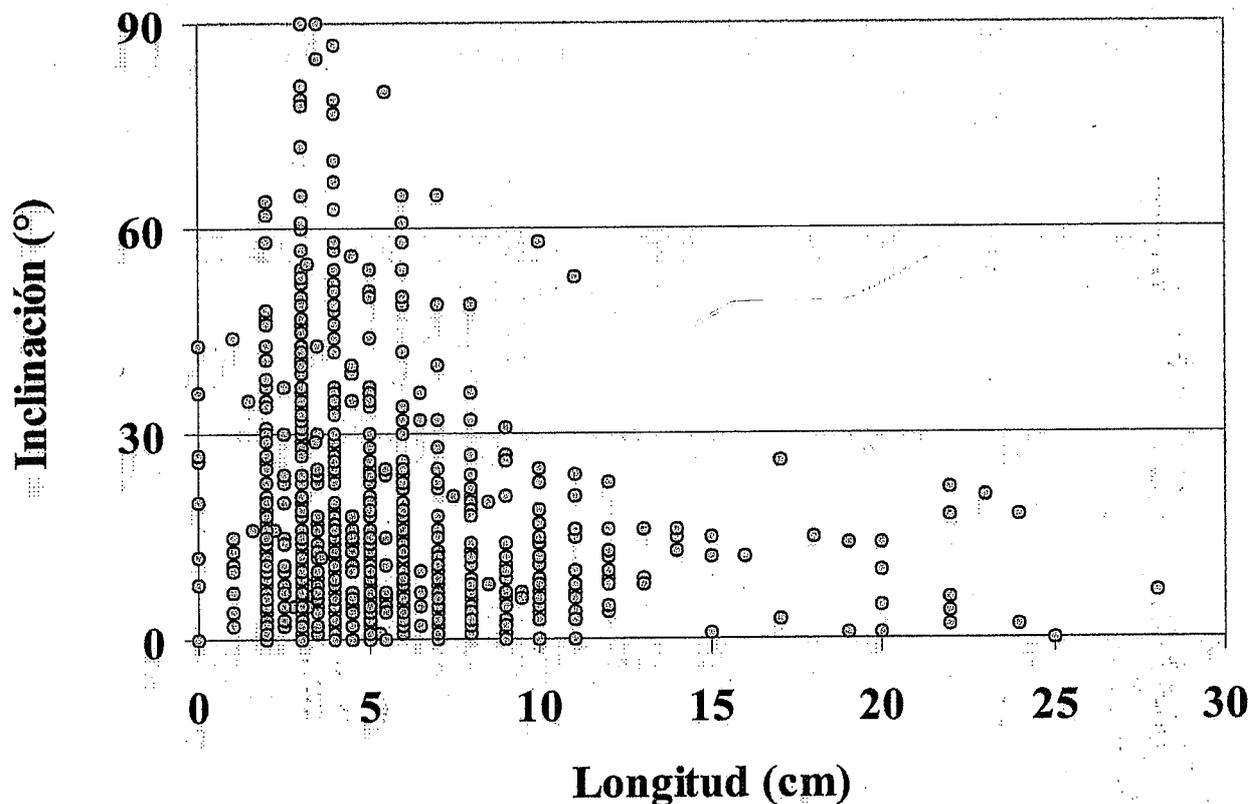


Figura 2.- Relación entre la dimensión longitudinal mayor y la inclinación en la muestra de 1.005 huesos del yacimiento del Cerro de la Garita, Concud.

que pueden obtenerse en función del valor de esa dimensión. Para ello el conjunto de la muestra total (Mt) ha sido subdividido en cuatro grupos, G_i ($i=1,2,3,4$), según los límites establecidos por valores enteros de las longitudes ordenadas de forma creciente de modo que el número de elementos en cada grupo sea lo más semejante posible, criterio que puede ser aplicado a cualquier otro conjunto de datos de otros yacimientos. Con ello se pretende conseguir cuatro conjuntos de datos comparables por el número de elementos que contienen. Las proyecciones estereográficas de las lineaciones de huesos por separado según los cuatro grupos diferenciados (Fig. 4) permiten obtener los siguientes resultados:

Grupo G1.- Los 286 huesos de dimensión igual o menor a 3 cm que lo componen presentan una distribución en el diagrama estereográfico (Fig. 4A) con una frecuencia máxima muy señalada en los 155° e inclinación próxima a 6° . El cálculo de CP proporciona un vector V_1 (Tabla II) prácticamente coincidente con el resultado del diagrama estereográfico. La relación obtenida por cálculo CP entre sus valores propios normalizados S_i es: 0,45, 0,40 y 0,14 que reflejan un eje de simetría, en este caso el casi vertical, predominante.

Grupo G2.- Sus 255 huesos tienen la dimensión longitudinal mayor superior a 3 cm e igual o menor a 4 cm. Presentan una proyección estereográfica que tiene un máximo porcentual de mayor superficie centrado en

23° con 2° de inclinación (Fig. 4B), aunque presenta también máximos porcentuales con menor área en las direcciones $0,5^\circ$ y 126° , con inclinaciones de 3° en ambos casos. El cálculo por CP obtiene un vector principal (Tabla II) que se encuentra inclinado hacia el N-NE que constituye el resultado más peculiar de los obtenidos. Sus valores propios normalizados S_i son: 0,46; 0,41; 0,12. Los valores representativos calculados y los que se muestran en el diagrama presentan una discrepancia de unos 10° .

Grupo G3.- Los 260 huesos que componen este grupo tienen su dimensión longitudinal mayor superior a 4 cm e igual o menor a 6 cm. Presentan un máximo porcentual en la dirección 15° (Fig. 4C) con una inclinación de 4° . Su vector principal (Tabla II) se dirige hacia el SE. La simetría respecto al eje Z, también como en G1, es la dominante y los valores de S_i (0,48, 0,42 y 0,09) vuelven a señalar este incremento de simetría monoclinica. La dirección de V_1 y el máximo del diagrama son coincidentes en este grupo.

Grupo G4.- Constituido por los 204 huesos con dimensión mayor superior a 6 cm, es decir el grupo que recoge los huesos de longitud más alta. Tiene el vector principal (Tabla II) dirigido hacia el E-SE. En la figura 4D se observa que los máximos porcentuales se encuentran según varias direcciones, algunas de las cuales llegan a ser perpendiculares; el que presenta mayor área está centrado en 122° e inclinación de 4° , y los restantes

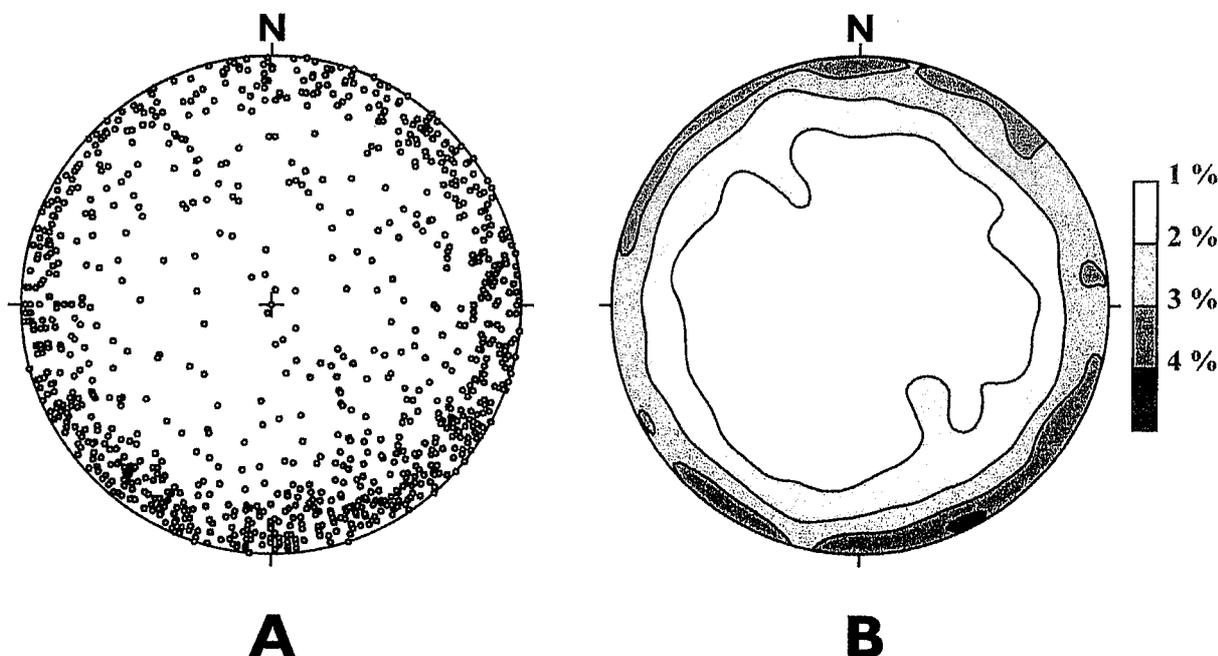


Figura 3.- (A) Diagrama estereográfico de la lineación de cada elemento óseo del Cerro de la Garita en Concud, Teruel, tal como se encontraban en el yacimiento antes de ser extraídos. (B) Diagrama con líneas de la distribución porcentual de los mismos elementos óseos pero una vez sometidos todos ellos a una rotación de 7° hacia el norte para restituir el buzamiento general de la capa que los contenía. Ambas proyecciones corresponden a 1.005 elementos y están realizadas en el hemisferio inferior.

en 84° y en 158° con 7° y 2° de inclinación respectivamente. Presenta una simetría respecto al eje Z, con valores S_i (0,48, 0,45, 0,06), que es la máxima de todos los grupos diferenciados. El parámetro K es el más bajo, lo cual refleja la dispersión señalada en la banda de máximos porcentuales. La dirección de V_1 y la del diagrama presentan una discrepancia de unos 12°.

El análisis anterior y la simple observación de los diagramas estereográficos muestran un notable grado de diversidad de posibilidades que presenta la distribución espacial de los huesos en el yacimiento. Todos ellos tienen en común la distribución de las líneas de baja porcentualidad, las cuales se disponen en una

"banda" horizontal con un eje de simetría V_3 , o eje de "inercia", según el concepto de Watson (1966), muy señalado que concuerda bien con los valores S_i calculados por CP; dicha banda indica, como viene bien señalado en la figura 3A, que hay huesos en posición subhorizontal orientados prácticamente en todas las direcciones posibles, situación que es habitual encontrar en los hasta ahora escasos trabajos dedicados a este tipo de análisis (por ejemplo: Astibia, 1987; Fiorillo, 1991; Morales *et al.*, 1993). También es común en todos los casos aquí estudiados (Fig. 3 y 4) que en los diagramas haya un máximo porcentual, ya sea el absoluto o relativo, en las proximidades de la dirección S-SE, máximo bien señalado en el caso de la muestra total en la figura 3B.

En todos los diagramas se aprecia una tendencia a la existencia de un área de concentración de direcciones en una posición casi perpendicular a la señalada por los máximos, como se detecta bien en el caso de las figuras 4B y 4C, que también puede ser observado en los demás diagramas, aunque con menos nitidez.

El G2 presenta máximos porcentuales en la dirección N-S observables también en máximos relativos de los grupos G3 y G4. El grupo con huesos más largos, el G4, posee máximos en direcciones casi E-O señalados con poca nitidez en los otros grupos. Esta distinción del grupo G4 en la distribución de las direcciones en que presenta máximos porcentuales se ve reforzada por los resultados obtenidos en el diagrama propuesto por Ramsay (1967) y Woodcock (1977) para definir la fábrica espacial de un conjunto (Fig. 5): en él, el punto

		Mt	G1	G2	G3	G4
V_1	n	1.005	286	255	260	204
	dir	158,6	154,0	13,7	151,0	110,2
	inc	0,9	4,6	1,4	0,1	1,8
V_3	Dir	262,5	273,5	247,5	245,6	248,4
	Inc	86,1	80,6	87,5	87,9	87,4
K		0,05	0,097	0,092	0,087	0,037
C		1,43	1,134	1,353	1,650	1,980

Tabla II.- Valores de la dirección e inclinación de los vectores propios principales (V_1 y V_3) para el total de la muestra de Cerro de la Garita (Mt) y para cada uno de los cuatro grupos en los que se ha dividido (ver texto). n = número de datos; dir = dirección del vector principal; inc = inclinación del vector principal; $K = \ln(S_1/S_2)/\ln(S_2/S_3)$ y $C = \ln(S_1/S_3)$ según Woodcock (1977). Todos ellos son resultados obtenidos con los elementos óseos ya rotados 7° hacia el norte.

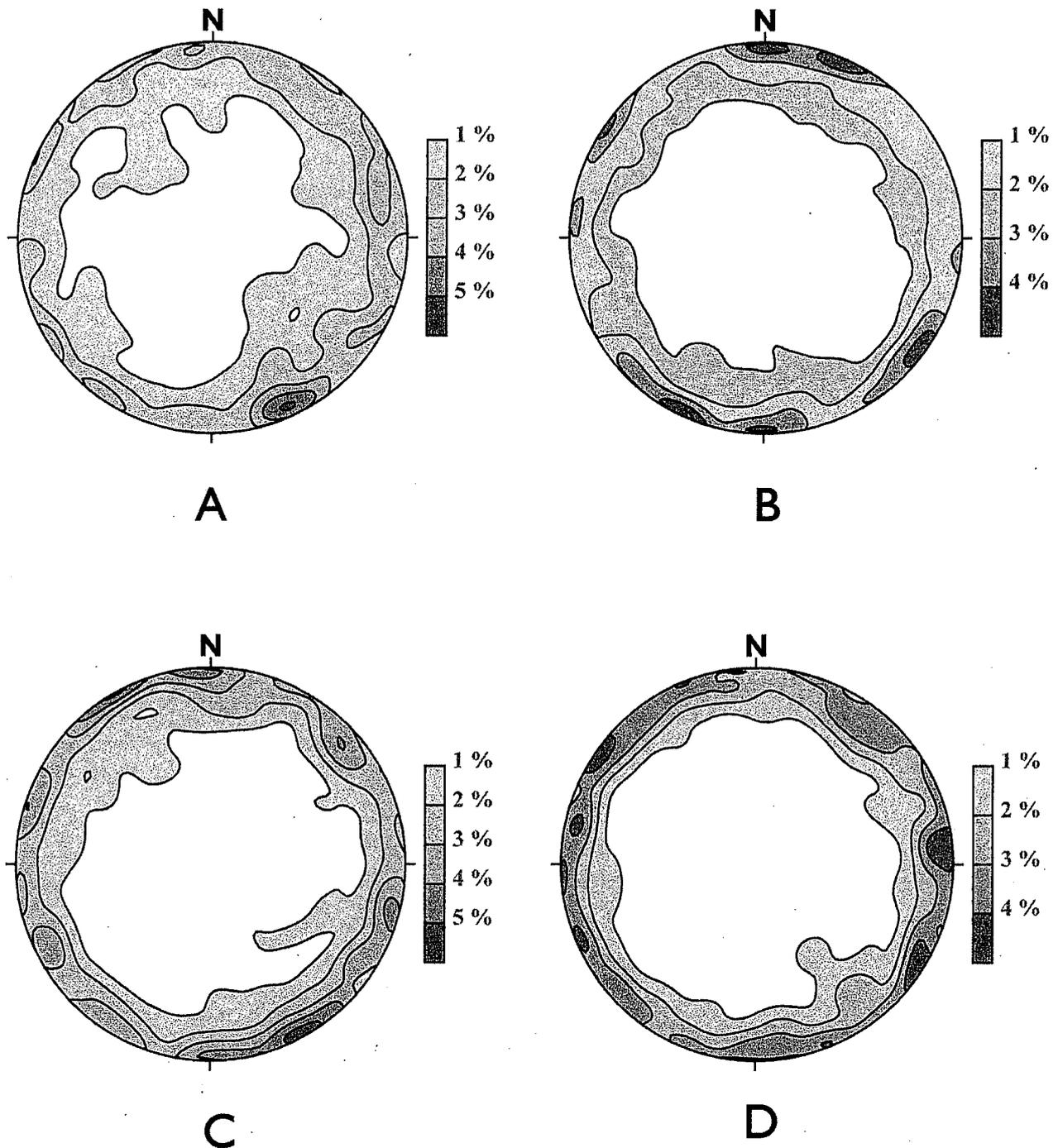


Figura 4.- Contornos de frecuencia porcentual de las proyecciones estereográficas (Schmidt, hemisferio inferior) de los cuatro grupos diferenciados para las longitudes de los huesos en el yacimiento del Cerro de la Garita (ver texto).

que representa a G4 se distancia de los otros grupos y del correspondiente al total de la muestra.

La relación de S_1/S_3 frente al número de elementos está dentro del área no-azar, o significativa, de Woodcock y Taylor (1983) en todos los casos estudiados (Mt y G1 a G4); la situación de esta relación para el caso de los huesos más largos (G4) es la que más se aleja de una disposición al azar, mientras que todos los demás grupos se acercan a dicha disposición progresi-

vamente a medida que disminuye la longitud mayor de sus elementos.

Interpretación y discusión

El yacimiento de vertebrados estudiado se encuentra en las cercanías del contacto entre calizas mesozoicas plegadas y materiales neógenos subhorizontales. Todo ello forma parte del borde occidental de

la fosa tectónica neógena de Teruel, una cuenca alineada N-S con un relleno de sedimentos neógenos que fosilizan paleorrelieves mesozoicos ya existentes. El yacimiento se encuentra en un punto singular pues el relieve mesozoico con el que casi se halla en contacto, Sierra de Cerro Gordo (Fig. 1), está sometido a movimientos tectónicos intra-cuaternarios a través de la falla que limita su borde meridional (Moissenet, 1993; Simón-Gómez y Soriano, 1993) la cual corta a sedimentos de abanicos aluviales cuaternarios y está recubierta con otros del mismo tipo posteriores. Estos hechos neotectónicos parece que han modificado la disposición de las terrazas en el lado meridional de la falla (Simón-Gómez y Soriano, 1993) pero no afecta sustancialmente a la posición del yacimiento ni a su contexto en las proximidades de éste y de otros macizos calcáreos que definen los relieves, en parte fosilizados por los mismos depósitos que originaron.

Algunas condiciones del depósito

Por otra parte, el yacimiento del Cerro de la Garita pudo haberse generado por la acción de un único depósito como consecuencia de una fuerte descarga de pluviosidad, o bien pudo ser consecuencia de la concentración de varios aportes de depósitos distanciados un cierto tiempo. Un estudio tafonómico detallado total del yacimiento podrá dar claves para resolver estas preguntas, aunque cabe suponer que la poco común circunstancia de hacer coincidir en un medio continental una sucesión de aportes con carga de material óseo lleva a considerar en principio que este yacimiento puede ser consecuencia de un único arrastre y depósito.

También conviene considerar que en el medio continental en el que se ha producido la concentración de todos estos huesos es necesario que esté implicado un flujo con energía capaz de arrastrarlos, es decir una corriente proveniente de algún lugar elevado que tenga energía capaz de cargar, además de con los elementos terrígenos de la matriz, con estos otros restos óseos de mayor volumen. El depósito de todos ellos se produciría cuando la corriente pierde capacidad de transporte, bien sea por disminución paulatina de agua o por pérdida de pendiente necesaria para transportar toda la carga. Así que el yacimiento cabe considerarlo como el punto de inflexión entre la zona de flujo con energía suficiente para arrastrar todo lo que contiene, matriz y fragmentos óseos, y el de la zona de la corriente en la que quizá todavía fluyendo ha perdido esa capacidad y debe abandonar su carga. Estos hechos pueden darse bien en el borde del teórico canal de corriente o bien, como suponemos aquí, en todo el canal, por la disminución de su energía hasta unos límites en que es incapaz de arrastrar esta carga.

Lugar de procedencia

Todo este conjunto de circunstancias y la posición del yacimiento en este borde de las sierras parece predisponer a la suposición más sencilla, es decir que dicha sierra más próxima actuaría de zócalo y que estos

depósitos provendrían de aportes de piedemonte desde el N-NO.

Por otra parte, modelos propuestos cuando elementos con alguna dimensión más larga son transportados por una corriente suponen que la fábrica con que se disponen en el sedimento muestra una imbricación tal que la inclinación de la mayoría de ellos es precisamente hacia el lugar del que provienen (Potter y Pettijohn, 1963; Watson, 1970). Dicha proposición no sólo está basada en la hidrodinámica teórica sino que se ha podido observar en algunos lugares (por ejemplo: Potter y Mast, 1963) si bien los casos estudiados se refieren fundamentalmente a elementos terrígenos como cantos o arenas cuyas formas y densidad son sensiblemente diferentes a las de los huesos del tipo que encontramos en Cerro de la Garita, asimilables a formas cilíndricas con mayor longitud. Además, en los casos de cantos o arenas la posibilidad de un transporte por flotación pura es impensable (pueden avanzar por saltos más o menos largos en caso de transporte turbillónar y con suficiente carga fina en el medio acuoso), a diferencia de los huesos estudiados en este trabajo que por su misma estructura interna pueden llegar a desplazarse por flotación o suspensión.

Por tanto, si consideramos como válidas las anteriores hipótesis deberíamos encontrar una disposición en los diagramas y unos resultados en los cálculos que mostraran áreas porcentuales máximas y vectores principales inclinados hacia el norte. Como se ha expuesto, eso no ha sido así, sólo ha sido hallada esta "solución" en el caso el grupo G2, que se refiere a huesos con longitud entre 3 y 4 cm. Como se ha expuesto en las tablas y comentarios de los resultados, los valores de inclinación de los vectores principales y máximos porcentuales que se han obtenido son muy bajos, varían desde casi 0° a 5°. La inclinación que según los modelos teóricos justificaría un aporte desde el norte se obtendría simplemente abatiendo dos grados más los 7° que se ha rotado la capa, es decir, si la inclinación del estrato fuese de 9° o superior.

Sin embargo, los resultados señalan que la procedencia del depósito proviene de un lugar situado al sureste. No es una imposibilidad. En esa dirección y a una distancia de unos 4 km se encuentra el borde oriental de la fosa de Teruel, un área que reúne dos peculiares características estructurales que condicionan su dinámica activa y complicada: la existencia de materiales triásicos yesíferos y ser el punto de cruce de dos fallas asimismo activas, la de Concud y la de Teruel (Moissenet, 1983). Los procesos de hundimiento que presenta este borde oriental de Teruel en tiempos pliocenos y cuaternarios (Cortés Gracia y Simón Gómez, 1997; Guimerá, 1997) puede hacer suponer que las relaciones de altitud, clima, régimen de lluvias y de transporte en la red fluvial fueran distintas y pudieran explicar el aporte y arrastre desde un lugar al SE del Cerro de la Garita del conjunto de materiales que forman el yacimiento. Esta solución es desde luego más complicada, pero estaría apoyada por los resultados

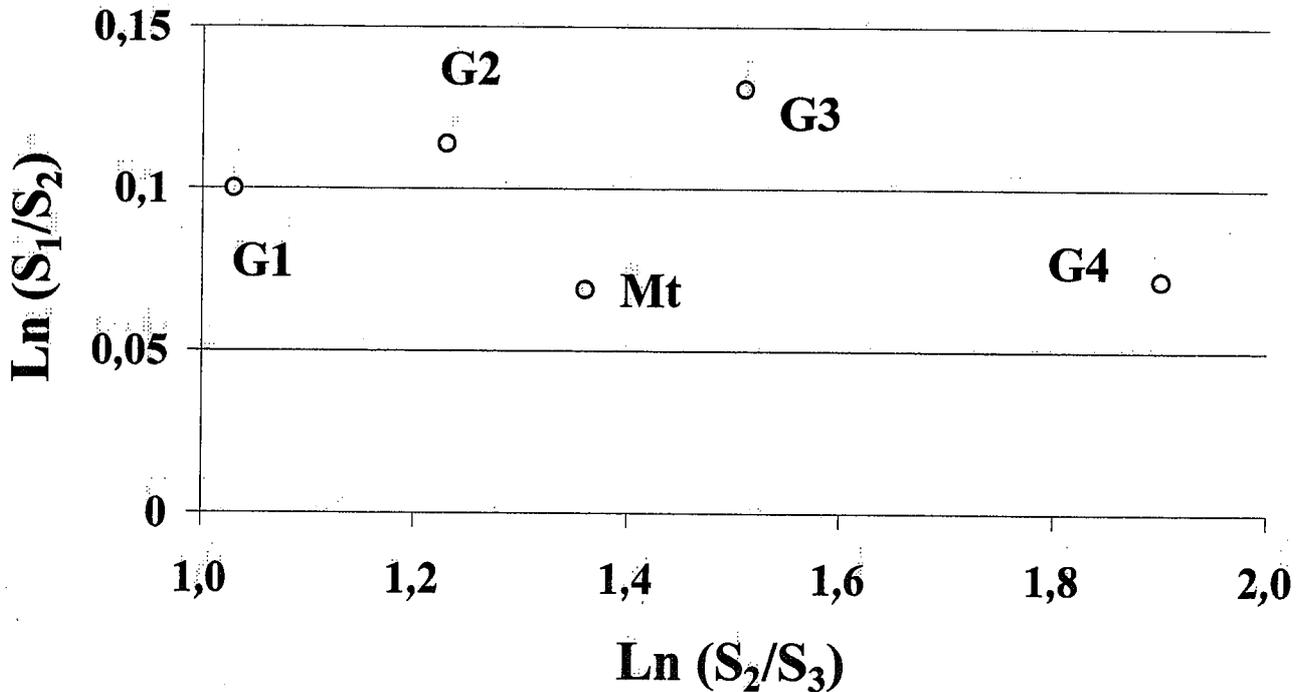


Figura 5.- Relación entre $\text{Ln}(S_2/S_3)$ y $\text{Ln}(S_1/S_2)$ de la muestra total (Mt) y de los cuatro grupos diferenciados según su dimensión longitudinal mayor en el yacimiento del Cerro de la Garita, Concud. La gráfica es del tipo propuesto por Ramsay (1967) y Woodcock (1977) para definir la fábrica de un conjunto de lineaciones en el espacio de tres dimensiones.

obtenidos, aunque éstos se encuentren a pocos grados del límite hacia el sentido opuesto y reflejaría, como ocurre en muchos otros procesos dinámicos ya observados en esta fosa tectónica, la complicación que puede esperarse en las variaciones paleogeográficas que han ocurrido durante y desde el Neógeno.

Orientaciones perpendiculares

En todos los grupos se observa, con distinta nitidez, la existencia de orientaciones con máximos o mínimos relativos en la dirección perpendicular o subperpendicular a la de mayor frecuencia. La existencia de dos posibles direcciones de orientación casi perpendiculares puede ser interpretada como resultado de la actuación o bien de dos flujos o bien de una única paleocorriente en la que los huesos se transportarían de dos maneras diferentes. El conjunto de características del yacimiento y los datos geológicos observados no aportan ningún criterio que apoye la existencia de dos flujos en dirección perpendicular en un área reducida como es la de este yacimiento. La existencia de estas direcciones perpendiculares a la del flujo indican que éste consistiría en una corriente con un contenido de matriz de agua con relación al de la matriz en la proporción 25 a 75 % respectivamente (Lawson, 1979). Según todo ello lo más fácil, y suponemos que verosímil, es considerar que el transporte se produjese de dos modos muy diferentes en una misma corriente: a) algunos huesos sostenidos mediante flotación, no necesariamente en superficie, adaptan su longitud mayor según una dirección paralela de las líneas de flujo (se comportarían así principalmente los huesos de pequeño tamaño); b) otros huesos, en menor número y de mayor tamaño, se-

rían arrastrados rodando en contacto con el fondo o sus cercanías dentro de la banda de cizalla que allí se genera, disponiendo su longitud mayor perpendicular a dichas líneas de corriente. Este escenario puede ser más fácilmente imaginado durante las últimas fases del transporte, cuando la corriente está perdiendo su energía potencial y está próximo el momento en que llega a depositar todo el material que ha arrastrado. De esta manera pueden coexistir en el yacimiento dos direcciones en la orientación de los huesos con frecuencias notables y casi perpendiculares. Los huesos más cortos, menos propensos a modificar su posición de transporte, se mantendrían señalando la orientación de las líneas de corriente; los más largos, más sensibles a giros debidos a las diferentes velocidades en el gradiente viscoso del flujo y también más pesados para ser arrastrados en flotación o suspendidos, irían más frecuentemente rodando en las zonas de mayor profundidad, donde al gradiente horizontal del flujo hay que añadir el gradiente vertical más elevado. Según la modelización propuesta, los huesos más largos tienen máximos porcentuales también en direcciones que son casi perpendiculares a los máximos de los otros grupos y del total, y a la dirección del flujo que produjo el depósito.

Conclusiones

Los datos que se pueden registrar en la excavación de un yacimiento son necesarios para la interpretación integral de la formación del mismo. Así, la relación entre la distribución de los tamaños de los huesos y sus orientaciones es un indicio del tipo de proceso que originó la concentración. Para el caso del yacimiento

mioceno de Cerro de la Garita (Concud, Teruel) dicha relación, basada en una muestra de 1.005 elementos, indica que fueron arrastrados y depositados por la acción de una corriente bajo un régimen hidráulico laminar viscoso.

Si, como sucede en este caso, el depósito es de origen continental y las capas presentan inclinación, para determinar la procedencia del mismo es necesario realizar observaciones que permitan conocer si la inclinación es debida a movimientos de origen tectónico. Si la inclinación es debida a una dinámica local o regional, basta realizar un tratamiento de rotación contrario al existente en las capas para "dejarlas" horizontales y entonces inferir el origen de su procedencia a partir del estereograma y de los resultados del cálculo por componentes principales. Aunque no ha sido el caso que hemos supuesto en Cerro de la Garita, si la inclinación tiene su origen primario debido al propio proceso de depósito y sedimentación, entonces los resultados iniciales del diagrama estereográfico no tienen por qué indicar su procedencia. La solución al problema puede ser encontrada quizá al girar el conjunto con valores angulares distintos hasta la obtención de un vector principal en sentido contrario al obtenido en la disposición primaria.

No obstante, los estereogramas obtenidos en el yacimiento no bastan por sí solos para interpretar la dirección de aporte, aunque son necesarios ya que proporcionan evaluaciones sobre el carácter del flujo en que se produjo el transporte y parámetros sobre los que finalmente deducir dicha dirección de procedencia. El análisis de las orientaciones de la muestra total del Cerro de la Garita y de cuatro grupos de la misma diferenciados por sus tamaños, indica que el grupo de huesos cuya dimensión longitudinal es mayor es el más representativo de la fábrica y orientación del yacimiento. Aunque, en contra de lo que pudiera parecer, puede mostrar dos áreas de máximos: una relacionada con la dirección del flujo que los depositó y otra próxima a la perpendicular del mismo.

Los datos presentados en este trabajo han sido obtenidos mediante las excavaciones realizadas durante los años 1997 y 1998 gracias al apoyo de la Diputación General de Aragón (exp. 022/97 y 133/98 del Departamento de Educación y Cultura), de la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel y de los proyectos de investigación PB-0113/95 y PB-0114/95 (DGICYT). La investigación del yacimiento no ha finalizado todavía y se espera la captación de nuevos datos en un futuro próximo, los cuales podrán servir para contrastar las interpretaciones presentadas aquí con los datos actuales.

Nuestro agradecimiento al Editor y los revisores cuyas sugerencias han mejorado el trabajo.

Bibliografía

- Aguirre, E., Alberdi, M.T. y Pérez-González, A. (1975): Turolian. En: *Stratotypes of Mediterranean Neogenen Stages* (F.F. Steininger y L.A. Nevesskaya, eds.). *Veda Publ. Slovak Acad. Sci.*, Bratislava, 2: 149-152.
- Alcalá, L. (1992): *Macromamíferos neógenos de la fosa de Alfambra-Teruel*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid, 521 p.
- Alcalá, L. (1994): *Macromamíferos neógenos de la fosa de Alfambra-Teruel*. Instituto de Estudios Turolenses y Museo Nacional de Ciencias Naturales, 554 p.
- Alcalá, L. (1997): Los fósiles de Concud, Noé y Quinto Minucio Termo. *Studium. Rev. Humanidades*, 4: 9-21.
- Alcalá, L. (1998): Evaluación patrimonial de los yacimientos de vertebrados miocenos de Concud (Teruel). *Com. IV Reunión Nac. Com. Patrim. Geol.*, Miraflores, Soc. Geol. España: 29-32.
- Astibia, H. (1987): Los macromamíferos del Mioceno medio de Tarazona de Aragón (Depresión del Ebro, provincia de Zaragoza). *Paleont. Evol.*, 21: 11-42.
- Boscá y Seytre, A. (1911): Yacimiento fosilífero de Concud. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 11: 394-396.
- Bowles, G. (1775): *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*. Imp. de D. Francisco Manuel de Mena, Madrid, 534 p.
- Capel, H. (1985): *La física sagrada. Creencias religiosas y teorías científicas en los orígenes de la geomorfología española*. Ed. del Serbal. Barcelona, 223 p.
- Cortázar, D. de (1885): Bosquejo físico-geológico y minero de la provincia de Teruel. *Bol. Com. Mapa Geol. España*, 12: 263-607.
- Cortés Gracia, A.L. y Simón Gómez, J.L. (1997): Campos de esfuerzos recientes en la fosa de Alfambra - Teruel - Mira. En: *Avances en el conocimiento del Terciario Ibérico* (J.P. Calvo y J. Morales, eds.): 65-68.
- Crusafont, M. (1965): Observations à un travail de M. Freudenthal et P.Y. Sondaar sur des nouveaux gisements à Hipparion d'Espagne. *Proc. Kon. Nederl. Akad.*, B, 68, 3: 121-126.
- Cuvier, G. (1825): *Recherches sur les ossements fossiles, où l'on retablit les caractères de plusieurs animaux dont les révolutions du globe ont détruit les espèces*. Dufour et D'Ocagne, Libraires, Paris. 3^a ed., 4, 514 p., 39 Lám.
- Ezquerro del Bayo, J. (1845): Indicaciones geognósticas sobre las formaciones terciarias del centro de España. *An. Minas*, 3: 300-316.
- Ezquerro del Bayo, J. (1850): Ensayo de una descripción general de la estructura geológica del terreno de España en la península. *Memoria de la Real Academia de Ciencias*, T. 1: 161-184.
- Feijoo, B.J. (1736): *Teatro Crítico Universal o discursos varios en todo género de materias, para desengaño de errores comunes*. Imp. Herederos Francisco del Hierro. Tomo VII. Discurso Segundo: Peregrinaciones de la Naturaleza, 28-68.
- Fiorillo, A.R. (1991): Taphonomy and depositional setting of Careless Creek Quarry (Judith River Formation Wheatland County, Montana, USA). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 81: 281-311.
- Gervais, P. (1852): Description des ossements fossiles de mammifères rapportés d'Espagne par MM. De Verneuil, Collomb et de Lorière. *Bull. Soc. Geol. France*, 10, 2: 147-162, 3 Lám.
- Godoy, A., Olivé, A. y Moissenet, E. (1983): *Mapa y memoria explicativa de la hoja nº 567 (Teruel) del Mapa Geológico a escala 1:50.000 (2ª ser.)*. IGME, Madrid.
- Gómez Lluca, F., Dupuy de Lôme, E., Gorostizaga, J. y Novo Chicharro, P. (1931): *Mapa y memoria explicativa de la hoja nº 567 (Teruel), Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, (1ª Ser.)*. IGME, Madrid.
- Guimerà, J. (1997): Las fosas neógenas de Teruel y el Jiloca: su relación con la estructura cortical. En: *Avances en el conocimiento del Terciario Ibérico* (J.P. Calvo y J. Morales, eds): 105-108.

- Gutiérrez Santolalla, F. (1998): *Fenómenos de subsidencia por disolución de formaciones evaporíticas en las fosas neógenas de Teruel y Calatayud (Cordillera Ibérica)*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 569 p.
- Hernández-Pacheco, E. (1924): Noticia sobre el yacimiento paleontológico de Concud (Teruel). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 24: 401-404.
- Hernández-Pacheco, E. (1930 a): Nota acerca del descubrimiento de restos fósiles de dos grandes fieras en Concud. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 30: 115.
- Hernández-Pacheco, E. (1930 b): Las grandes fieras de los yacimientos paleontológicos de Concud (Teruel). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 30: 149-158.
- Hernández-Pacheco, E. (1930 c): Un suido y un nuevo cérvido del yacimiento paleontológico de Concud (Teruel). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 30: 331-344.
- Lane, H.R. y Bruton, D.L. (1998): Endangered fossil sites: Report Nº 1. *Lethaia*, 31: 196.
- Lawson, (1979): A comparison of the pebble orientations in ice and deposits of the Matanuska Glacier, Alaska. *Jour. Geol.*, 87: 629-645.
- Madoz, P. (1847): *Diccionario geográfico, estadístico, histórico de España y sus posesiones de ultramar*. La Ilustración, Est. Tipográfico-Literario Universal, Barcelona, Tomo 6, 663 p.
- Maestre, A. (1845): Descripción geognóstica y minera del distrito de Cataluña y Aragón. *An. Minas*, 3: 193-278.
- Marks, P. (1971): Turolian. *Giorn. Geol.*, (2), 37 (2): 209-213.
- Martín Escorza, C., Alcalá, L. y Pesquero, M.D. (1999): Representación en 3D de un yacimiento paleontológico. Caso del Neógeno del Cerro de la Garita (Concud, Teruel). *Temas Geol. Min. Inst. Tecn. GeoMin. España*, 26, T. II: 462-465.
- Merino Cristóbal, L. (1999): *Mineralogía y geoquímica del esqueleto de mamíferos del Neógeno español*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 279 p.
- Moissenet, E. (1983): Aspectos de la neotectónica en la Fosa de Teruel. En: *Geología de España, Libro Jubilar J.M. Ríos*, T. II: 427-446. Madrid.
- Moissenet, E. (1993): L'âge et les deformations de s terrasses alluviales du fossé de Teruel. En: *El Cuaternario en España y Portugal*, Vol. 1: 267-279. ITGE, Madrid.
- Morales, J., Alcalá, L., Hoyos, M., Montoya, P., Nieto, M., Pérez, B. y Soria, D. (1993): El yacimiento del Aragoniense medio de La Retama (Depresión Intermedia, Provincia de Cuenca, España): significado de las faunas con *Hispanotherium*. *Scripta Geol.*, 103: 23-39.
- Pelayo, F. (1994): El Aparato para la historia natural española de José Torrubia (1698-1761): Diluvismo, gigantes y la naturaleza de los fósiles, en el pensamiento español del siglo XVIII. En: *Aparato para la Historia Natural Española*, pp. 3-45 (ed. facsímil de Instituto de Geología Económica, CSIC).
- Pelayo, F. (1996): Del diluvio al megaterio. Los orígenes de la Paleontología en España. *Cuad. Galileo Hist. Ciencia*, 16: 1-310.
- Potter, P.E. y Pettijohn, F.J. (1963): *Paleocurrents and basin analysis*. Springer-Verlag, Berlín, 296 p.
- Potter, P.E. y Mast, R.F. (1963): Sedimentary structures, sand shape fabrics, and permeability. *Jour. Geol.*, 71: 441-471.
- Ramsay, J.G. (1967): *Folding and fracturing rocks*. McGraw-Hill Book Co, New York, 568 p.
- Royo Gómez, J. (1922): El Mioceno Continental ibérico y su fauna malacológica. *Com. Invest. Paleontol. Prehist.*, 30: 1-230, 13 Lám., 1 Mapa.
- Schlosser, M. (1907): Ueber Säugetierte und Süßwassergastropoden aus Pliocänablagerungen Spaniens und über die natürliche Grenze von Miocän und Pliocän. *N. Jb. Mineral. Geol. Palaont.*, 2: 1-41, 1 Lám.
- Scheidegger, A.E. (1965): On the statistics of the orientation of bedding planes, grain axes, and similar sedimentological data. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 525-C: 164-167.
- Simancas Pérez, R. (1973): El borde oriental de la depresión de Teruel en la zona de Concud - Celadas (Teruel). *Bienal R. S. Esp. Hist. Nat.*. I Reunión, Santander: 56.
- Simón Gómez, J.L. (1983): Tectónica y neotectónica del sistema de fosas de Teruel. *Teruel*, 69: 21-97.
- Simón-Gómez, J.L. y Soriano, M.A. (1993): La falla de Concud (Teruel): actividad cuaternaria y régimen de esfuerzos asociado. En: *El Cuaternario en España y Portugal*, Vol.1: 729-737. ITGE, Madrid.
- Smith Woodward, A. (1903): The Lower Pliocene Bone-Bed of Concud. Province of Teruel. *Geol. Mag.*, 10: 203-207.
- Torrubia, J. (1754): *Aparato para la Historia Natural española*. Imp. Herederos de D. Agustín de Gordejuela y Sierra. 204 p., 14 Lám.
- Verneuil, E. de y Collomb, E. (1852): Coup d'oeil sur la constitution géologique de quelques provinces de l'Espagne. *Bull. Soc. Geol. France*, 10, 20 : 61-147. 3 Lám.
- Vilanova y Piera, J. (1863): *Ensayo de descripción geognóstica de la Provincia de Teruel, en sus relaciones con la agricultura de la misma*. Junta General Estadística, Imprenta Nacional, 342 p., 10 Lám., 1 Mapa.
- Watson, G.S. (1966): The statistics of orientation data. *Jour. Geol.*, 74, 5: 786-797.
- Watson, G.S. (1970): Orientation statistics in the earth sciences. *Bull. Geol. Inst. Univ. Upps.*, 2: 73-89.
- Woodcock, N.H. y M.A. Naylor (1983): Randomness testing in three-dimensional orientation data. *Jour. Struct. Geol.*, 5: 539-548.
- Woodcock, N.H. (1977): Specification of fabric shapes using an eigenvalue method. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 88: 1231-1236.

Manuscrito recibido el 23 de Julio de 1999

Aceptado el manuscrito revisado el 30 de Noviembre de 1999

