

Condicionantes geológicos para la génesis de un yacimiento de grandes mamíferos: Fonelas P-1 (límite Plioceno-Pleistoceno, Cuenca de Guadix-Baza, Cordillera Bética)

C. Viseras⁽¹⁾, J.M. Soria⁽²⁾, J.J. Durán⁽³⁾ y A. Arribas⁽³⁾

(1) Dpto. de Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Av. Fuentenueva s/n. 18071 Granada.
E-mail: viseras@ugr.es

(2) Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
Apdo. Correos 99. 03080 Alicante.
E-mail: jesus.soria@ua.es

(3) Instituto Geológico y Minero de España. c/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.
E-mails: jj.duran@igme.es - a.arribas@igme.es

RESUMEN

El yacimiento de grandes mamíferos Fonelas P-1 se sitúa estratigráficamente dentro de la unidad más moderna (Plioceno superior - Pleistoceno) del relleno endorreico de la Cuenca de Guadix-Baza. En la posición del yacimiento esta unidad está representada por sedimentos fluviales del sistema de drenaje axial de la subcuenca de Guadix. La sucesión general del yacimiento está integrada por un apilamiento de ciclos de tamaño de grano decreciente a techo que, básicamente, se inician con gravas y/o arenas de relleno de canal meandriforme, y terminan con lutitas y carbonatos de llanura de inundación. A partir del análisis sedimentológico realizado en las cortas de la excavación paleontológica del yacimiento se han reconocido cinco asociaciones de facies, que integran uno de los ciclos arriba mencionados. Cuatro de ellas corresponden a subambientes fluviales: (A) relleno de un canal sinuoso en fase de máxima actividad, (B) depósitos de *levee*, (C) abandono de canal y (D) llanura de inundación. Otra, (E), donde se presenta la concentración principal de fósiles (Fonelas P-1), es una facies bioturbada por el efecto de las pisadas de mamíferos sobre sedimentos de la asociación de abandono de canal (C). A partir de la reconstrucción espacio-temporal de los subambientes fluviales se deduce que una ocupación de grandes mamíferos tuvo lugar en la depresión morfológica proporcionada por un meandro que se encontraba en fase de abandono por un proceso de *chute cut-off*. El asentamiento animal termina cuando el meandro abandonado empieza a ser enterrado por los sedimentos de llanura de inundación procedentes del desbordamiento del canal activo, que se desplazaba lateralmente.

Palabras clave: Cuenca de Guadix-Baza, estratigrafía, mamíferos, Plioceno-Pleistoceno, sedimentología fluvial

Geological factors conditioning genesis of a large mammals site: Fonelas P-1 (Pliocene-Pleistocene boundary, Guadix-Baza Basin, Betic Cordillera)

ABSTRACT

The Fonelas P-1 large mammals site is located stratigraphically in the most modern unit (Late Pliocene-Pleistocene) of the endorrheic filling of the Guadix-Baza Basin. At the site location this unit is represented by fluvial sediments of the axial drainage system of the Guadix sub-basin. The general succession of the site consists of stacking of fining-upward cycles which, basically, begin with gravels and/or sands filling a meandering channel and conclude with flood-plain lutites and carbonates. On the basis of the sedimentological analysis of the sections taken in the palaeontological excavation of the site five facies assemblages were recognised, which make up one of the aforementioned cycles. Four of these assemblages correspond to fluvial subenvironments: (A) filling of a sinuous channel at maximum activity, (B) levee deposits, (C) channel abandon and (D) flood plain. The fifth (E), where the main fossil concentration is found (Fonelas P-1), is a facies bioturbated by mammal passage over sediments of the channel abandon assemblage (C). By spatio-temporal reconstruction of the fluvial subenvironments, we can infer that large mammals occupied the morphological depression caused by a meander in process of abandon due to chute-cut-off. The animal settlement ended when the abandoned meander began to be buried by the flood plain sediments from the overflow of the active channel, which migrated laterally.

Key words: fluvial sedimentology, Guadix-Baza Basin, mammals, Pliocene-Pleistocene, stratigraphy

Introducción

El yacimiento Fonelas P-1 (Arribas *et al.*, 2001), localizado en la Cuenca de Guadix-Baza (Cordillera Bética), contiene una asociación fósil de vertebrados compuesta mayoritariamente por restos fósiles de macromamíferos, además de micromamíferos, anfibios, reptiles y aves, que lo sitúa cronológicamente en el Plioceno superior, próximo al límite con el Pleistoceno (Villafranquiense superior, ca 1.8 Ma).

En dos campañas de excavación sistemática se han recolectado casi tres mil fragmentos óseos, muchos de los cuales presentan un elevado grado de integridad anatómica (lo que permite su clasificación taxonómica), con lo que se puede considerar a éste como el yacimiento de macromamíferos más rico en restos de toda la Península Ibérica para el final del Terciario.

El avance de los aspectos generales paleontológicos y bioestratigráficos del yacimiento, en el marco faunístico del Plio-Pleistoceno europeo, se presentó en trabajos previos (Arribas *et al.*, 2001, 2003; Garrido y Arribas, 2003), sin que el progreso de la investigación paleontológica aporte datos que varíen, más allá de la identificación de sinonimias o de diagnósticos específicas previas imprecisas, la apreciación bioestratigráfica inicial sobre la antigüedad del yacimiento. El análisis de los FADs y los LADs de las especies caracterizadas hasta la actualidad permite corroborar la hipótesis inicial sobre la cronología del yacimiento, situándose en el tránsito entre el Plioceno y el Pleistoceno (1.9-1.7 Ma), dentro de las zonas MNQ18-MNQ19.

La asociación faunística caracterizada hasta el momento en esta localidad se encuentra integrada tanto por micro como por macromamíferos, estando constituida por un total de 32 especies identificadas de la clase Mammalia. En cuanto a los grandes mamíferos, se han podido caracterizar tres conjuntos en función de su origen paleobiogeográfico y de la cronología en su incorporación a la paleomastocenosia ibérica: i) un grupo de animales clásicos del Plioceno superior final en Europa, algunos de los cuales se incorporaron a estos ecosistemas en dispersión desde Asia hace 2.6-2.5 Ma, con especies como *Vulpes cf. alopecoides*, *Acinonyx pardinensis*, *Megantereon cf. cultridens*, *Homotherium cf. latidens*, *Croizetoceros ramosus*, "*Cervus*" *rhenanus philisi*, *Eucladoceros sp.*, *Gazellospira nov. sp.*, *Equus cf. major*, *Stephanorhinus etruscus* y *Mammuthus meridionalis*; ii) una segunda asociación de mamíferos de origen asiático que alcanzan nuestras latitudes en el tránsito N-Q, como *Canis etruscus*, *Leptobos etruscus*, *Praeovibos nov. sp.* y *Mitilanotherium nov.*

sp.; iii) y un tercer grupo oriundo de África que, de igual forma, se incorpora a los territorios peninsulares en el tránsito Plio-Pleistoceno, con formas como *Hyaena brunnea* y *Potamochoerus nov. sp.* Un último conjunto de animales identificados en la asociación de Fonelas P-1 presenta un origen incierto, bien asiático o bien africano, en su incorporación a la Europa atlántica durante este restringido intervalo de tiempo (*Canis cf. falconeri*, *Lynx aff. issiodorensis* y *Cf. Pachycrocuta brevirostris*). Gracias a la calidad de los materiales paleontológicos, por su extraordinario estado de conservación y por la abundancia de elementos esqueléticos, el estudio avanzado de los aspectos taxonómicos ha permitido verificar la presencia de nuevas especies pertenecientes a los géneros *Meles*, *Canis*, *Gazella*, *Gazellospira*, *Praeovibos*, *Mitilanotherium* y *Potamochoerus*.

La peculiar asociación de grandes mamíferos presente en Fonelas P-1, ya que es el único registro paleontológico conocido hasta la actualidad en el que coexiste esta variada y diversa en orígenes asociación de especies, guarda información extremadamente interesante de cara a la reconstrucción de las principales vías de migración y las interrelaciones entre especies africanas y euroasiáticas. Por otra parte, otro hecho que dota a este yacimiento de un elevado interés científico es que, por su cronología y por la presencia conjunta de especies africanas y caucásicas, se trata del único yacimiento en Europa occidental con analogías al registro del yacimiento caucásico de Dmanisi (Gabunia *et al.*, 2000). Fonelas P-1 constituye, por tanto, el primer jalón en Europa que permite definir el marco paleoambiental del tránsito Neógeno-Cuaternario, el período de tiempo en que se produjo la primera dispersión humana fuera de África.

El objetivo de este trabajo es analizar con detalle el contexto geológico en el que se desarrolló la acumulación de grandes mamíferos, no sólo desde el punto de vista de la determinación del ambiente sedimentario, sino llevando a cabo una reconstrucción de la sucesión de acontecimientos geológicos previos, simultáneos y posteriores a la concentración de los restos óseos. De esta manera intentaremos perfilar una hipótesis que incluya a los condicionantes geológicos que existieron para originar una asociación fósil excepcional, en un lugar exacto y en un momento muy concreto. Pretendemos construir un modelo que esperamos sea de utilidad como criterio de prospección en esta y en otras cuencas de características paleogeográficas similares. Algunas características de este modelo han sido adelantadas en trabajos previos (Arribas *et al.*, 2001, Viseras *et al.*, 2003).

Contexto geológico y ubicación estratigráfica del yacimiento

La Cordillera Bética, que ocupa gran parte del sur de la Península Ibérica, constituye, junto al Rif norteafricano, la terminación occidental de todo el cinturón de cadenas Alpinas circun-mediterráneas. Comprende dos dominios estructurales principales: las Zonas Internas o Bloque de Alborán (Andrieux *et al.*, 1971), situadas al sur y las Zonas Externas, localizadas al norte, representando el Paleomargen Suribérico deformado (Vera, 2000). Sobre cualquiera de estos dominios se desarrollan las Cuencas Neógeno-Cuaternarias, una de las cuales es la Cuenca de Guadix-Baza (Fig. 1). Éstas se originaron en el Mioceno superior, y constituyen la trampa para los sedimentos resultantes del desmantelamiento erosivo de los relieves tanto de las Zonas Internas como de las Zonas Externas.

La Cuenca de Guadix-Baza se ubica en el sector central de la Cordillera Bética (Fig. 1), ocupando unos 4600 km² sobre el contacto Zonas Internas-Zonas Externas. Su relleno sedimentario (Fig. 2) ha sido dividido en seis unidades genéticas (Fernández *et al.*, 1996a), cuyas discontinuidades limitantes están relacionadas tanto con eventos tectónicos como con cambios eustáticos (Soria *et al.*, 1998, 1999). Las dos unidades inferiores (unidades I y II), de edad Tortoniense Superior, corresponden a una etapa de sedimentación marina, la tercera (Unidad III), desarrollada al final del Tortoniense, incluye a los sedimentos depositados durante la retirada del mar en el sector central de la Cordillera Bética, y las tres más modernas (unidades IV, V y VI), de edad comprendida entre el Turolense Superior y el Pleistoceno Superior, representan la etapa de sedimentación exclusivamente continental en un contexto de cuenca endorreica. Esta etapa de sedimentación endorreica se interrumpió en el Pleistoceno superior, cuando se produce una inversión geomorfológica de la cuenca y toda su extensión pasa a ser capturada por la red de drenaje del Río Guadalquivir, convirtiéndose en un dominio exorreico sometido fundamentalmente a erosión (Calvache y Viseras, 1997).

El yacimiento de grandes mamíferos Fonelas P-1, datado en 1.8 Ma, forma parte de los sedimentos continentales de la Unidad VI (Plioceno superior-Pleistoceno superior).

Paleogeografía de la cuenca continental

El basamento aflorante al sur y norte de la Cuenca de Guadix-Baza está constituido por rocas de litología muy diferente. Al sur dominan rocas metamórficas de

las Zonas Internas (esquistos, mármoles y cuarcitas, entre otras), mientras que al norte la mayoría corresponde a rocas sedimentarias carbonáticas de las Zonas Externas (calizas, margas y areniscas, entre otras). Esta particular circunstancia ha permitido reconocer con bastante precisión el área fuente de los sedimentos que rellenan la cuenca, aspecto clave para las reconstrucciones de la paleogeografía de la cuenca en sus distintas etapas de sedimentación continental (Vera, 1970; Viseras, 1991). Así, a partir tanto de la procedencia de los aportes como del análisis de facies sedimentarias se han diferenciado dos sectores de características deposicionales diferentes: el sector oriental (subcuenca de Baza) ocupado en su mayor parte por un gran lago somero que actuaba como nivel de base para toda la cuenca, y el sector occidental (subcuenca de Guadix), dominado por abanicos aluviales y llanuras fluviales, cuyo drenaje estaba dirigido hacia el lago de Baza (Fig. 3). En este sector occidental, donde se localiza el yacimiento Fonelas P-1, se han diferenciado tres sistemas de drenaje principales, que serán esbozados a continuación.

Con un trazado aproximadamente paralelo al eje de la cuenca se localiza el Sistema Axial (Viseras y Fernández, 1989; Viseras, 1991) representado por un amplio valle fluvial por el que tuvo lugar el drenaje principal hacia el lago de Baza. En su zona proximal, este sistema conecta con abanicos aluviales situados directamente al pie de los relieves de Sierra Nevada. El resto del mismo está integrado por una llanura de inundación surcada por canales de alta sinuosidad (ríos meandriformes) y eventualmente ocupada por lagos someros efímeros y áreas palustres. El yacimiento Fonelas P-1 se localiza paleogeográficamente en la llanura de inundación de este sistema axial, próximo a la zona de desembocadura de un canal en uno de los lagos someros (Fig. 3).

El Sistema Axial o longitudinal se alimentaba transversalmente de otros dos sistemas de drenaje, constituidos por abanicos aluviales coalescentes que tenían sus áreas fuente instaladas bien sobre los relieves de las Zonas Internas (Sierra Nevada y Sierra de Baza), al sur, o bien sobre los relieves de las Zonas Externas (Sierra Arana, Montes Orientales, y sierras del Pozo y de Cazorla), al norte. Ambos sistemas de drenaje se han denominado, respectivamente, Sistema Transversal Interno y Sistema Transversal Externo (Viseras y Fernández, 1989; Viseras, 1991). En concreto, para la Unidad VI (Plioceno superior-Pleistoceno), el sistema axial se encontraba situado más próximo a los relieves de Zonas Externas. De este modo, los abanicos del Sistema Transversal Externo eran de pequeño radio (menos de 3-4 km de longitud) y gran ángulo de barrido, mientras que los abanicos del Sistema Transversal Interno presenta-

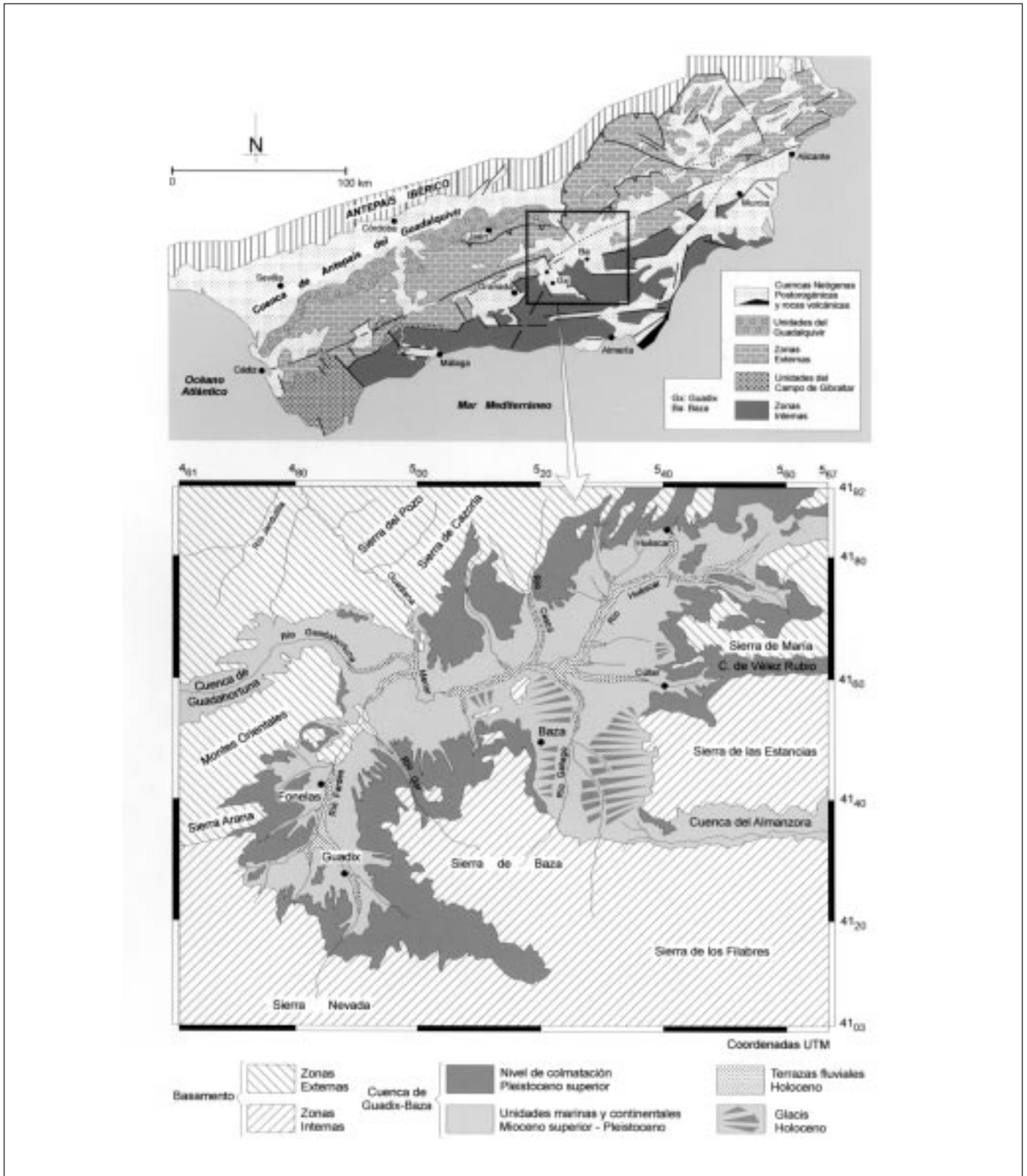


Fig. 1. Mapas geológicos de la Cordillera Bética y de la Cuenca de Guadix-Baza. En éste último se indica la posición del pueblo de Fonelas, muy cerca del cual se encuentra el yacimiento de grandes mamíferos Fonelas P-1
 Fig. 1. Geological maps of the Betic Cordillera and Guadix-Baza Basin. The location of Fonelas village, close to the Fonelas P-1 large mammals site, is pointed out in the lower map

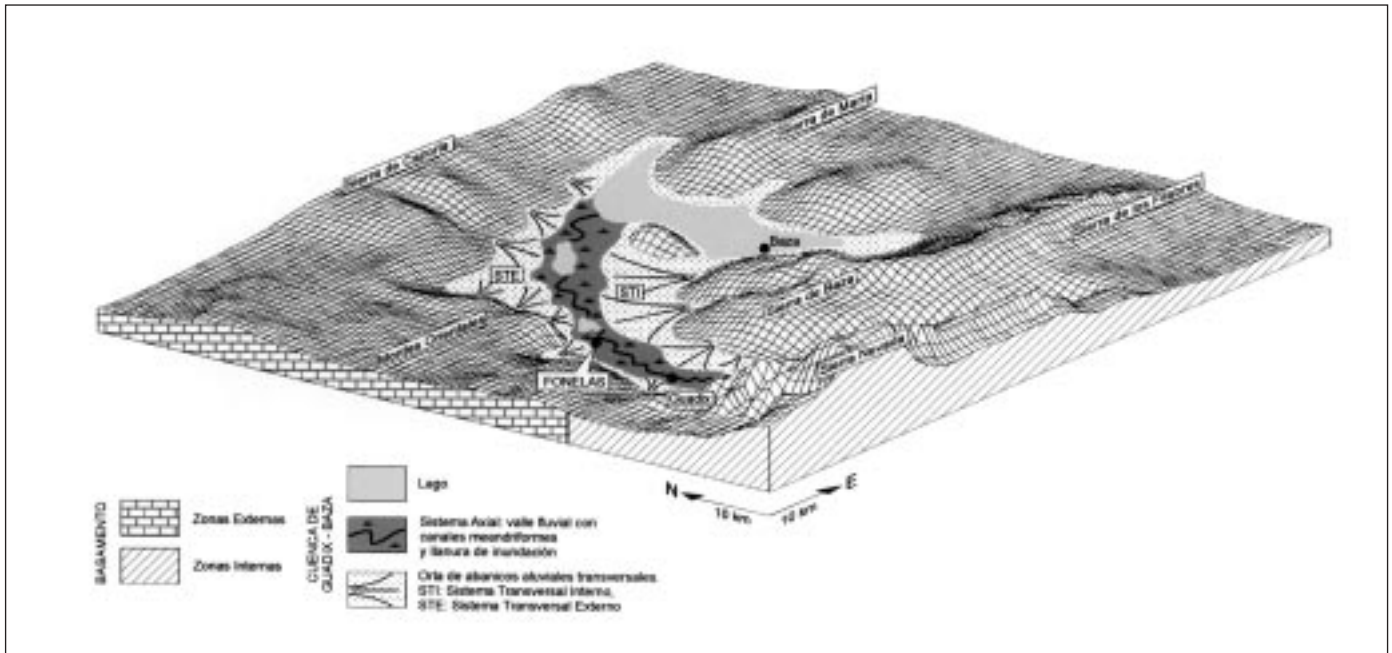


Fig. 3. Paleogeografía de la Cuenca de Guadix-Baza durante el depósito de la Unidad VI (Plioceno superior-Pleistoceno superior). Nótese la posición de Fonelas en el Sistema Axial, cerca tanto del Sistema Transversal Externo como de uno de los pequeños lagos que episódicamente ocupaban el valle axial

Fig. 3. Palaeogeography of the Guadix-Baza Basin during deposition of Unit VI (Late Pliocene-Late Pleistocene). Notice the location of Fonelas on the Axial System, close both to the External Transverse System and to one of the small ephemeral lakes occupying the axial valley

del yacimiento permite reconocer varias secciones con distinta orientación, distribuidas en una superficie aproximada de 30 m². Gracias a ello se han podido levantar varias sucesiones estratigráficas de detalle muy próximas entre sí, establecer una correlación directa entre ellas e identificar las litofacies y la geometría 3-D de los cuerpos sedimentarios donde se encuentra la acumulación de fósiles de grandes mamíferos (Figs. 5 a 7).

A continuación describiremos las características de cinco asociaciones de facies (A-E) presentes en el yacimiento y su significado en términos de subambientes y de procesos sedimentarios.

Asociación A (relleno de canal)

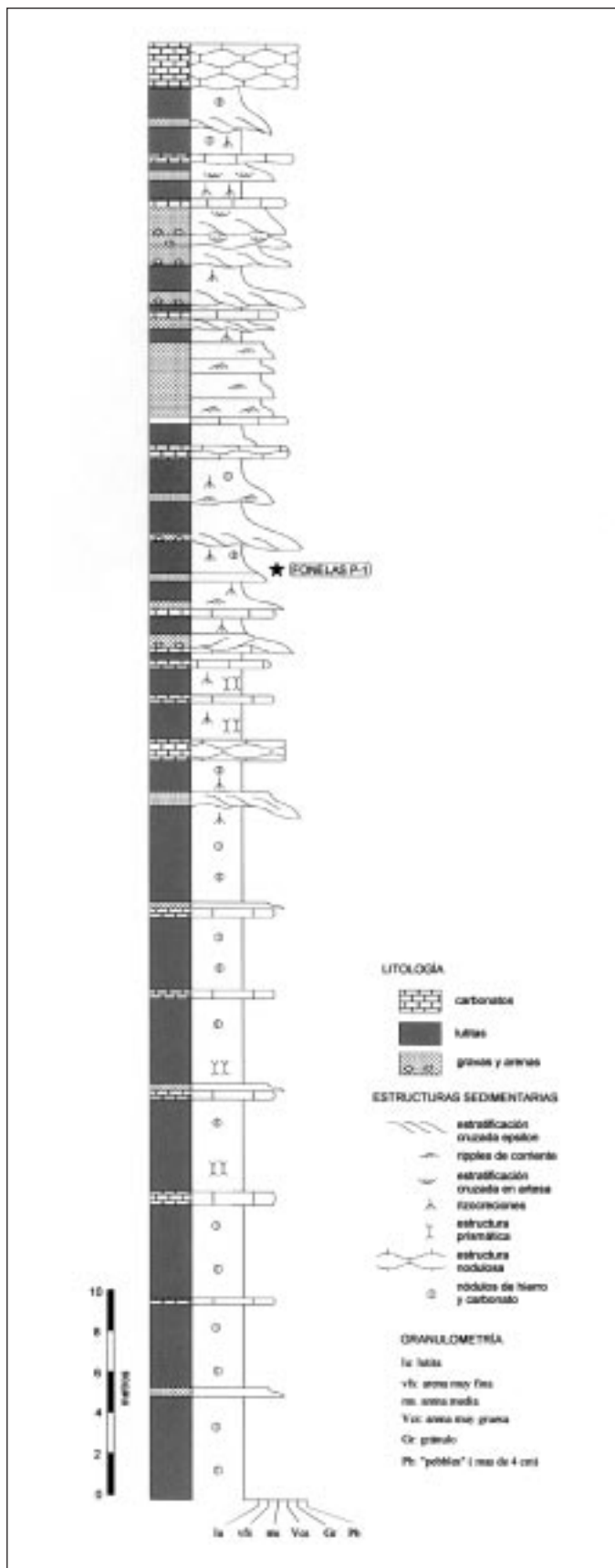
Se sitúa a la base del ciclo objeto de análisis y, donde su muro es visible, aparece como una superficie marcadamente erosiva sobre las facies finas de la secuencia infrayacente. Se trata de la asociación que contiene el sedimento más grosero. Dominan las litofacies simples de arenas y gránulos organizados en la mayor parte de los casos en estratos cruzados con geometría sigmoidal (litofacies Sla) y espesor por tanto variable, con valores intermedios de 15-20 cm.

La laminación interna es paralela a la base de la unidad sigmoidal y suelen presentar granoclasificación normal (Fig. 5). Intercalados entre las unidades sigmoidales y destruyendo parcialmente esta estratificación cruzada, aparecen unos cuerpos de tamaño de grano más grosero (*granulo-pebble*), con geometría lenticular, espesor variable entre 15 y 50 cm y continuidad lateral entre 1 y 3 m, formados por gravas masivas o con estratificación cruzada en artesa o planar (litofacies simples Gcm, Gt o Gp, respectivamente) (Figs. 6, 7). Los datos de paleocorrientes indican una dirección del flujo principal hacia el NE.

Esta asociación representa, a partir de la interpretación de otros ejemplos (Bluck, 1971; Nijnman y Puigdefábregas, 1978; Skelly *et al.*, 2003), el relleno de un canal sinuoso en el que dominan los procesos de acreción lateral (litofacies Sla), pero en el que también se desarrollan dunas que se desplazan aguas abajo (litofacies Gt, Gp y Gcm).

Asociación B (levee)

Aparece situada en una disposición lateral respecto a la asociación A (relleno de canal), y separada de ésta por una cicatriz erosiva inclinada hacia el noroeste



(Fig. 6). Destaca la presencia de cuerpos de geometría cuneiforme, cuyo espesor máximo es de 15 cm en las proximidades del canal y que disminuye progresivamente conforme nos alejamos del mismo; en este sentido de adelgazamiento de las cuñas, hacia el este, apuntan los datos de paleocorriente local medidos sobre láminas de *ripples* de corriente. La extensión lateral de estas cuñas no suele superar los 2 m y su espesor crece hacia arriba. Las litofacies simples que integran estos cuerpos forman ciclos granodecrecientes de dos intervalos: uno inferior de arenas con laminación horizontal (Sh) o *ripples* de corriente (Sr), y otro superior de lutita con laminación horizontal u ondulada (Fl). Sólo en uno de estos ciclos el intervalo inferior está constituido por clastos tamaño *pebble*, donde se reconoce laminación cruzada en surco de pequeña escala (Gt).

Existe una franja de anchura variable entre 50 y 90 cm entre las cuñas que se acaban de describir y el sedimento de canal (asociación A), en la que las facies de la asociación B aparecen intensamente deformadas y afectadas por numerosos pequeños deslizamientos, cuyas superficies de despegue se inclinan en el mismo sentido que la cicatriz del borde del canal (Fig. 6).

La similitud con depósitos de similares características (Aslan y Blum, 1999) permite interpretar la asociación B como los depósitos de *levee* en la llanura de inundación más próxima al canal. La erosión ligada al desplazamiento lateral de este canal daría lugar a un margen de fuerte pendiente, muy inestable, y en consecuencia afectado por deslizamientos.

Asociación C (abandono de canal)

Se sitúa sobre la asociación A, mediante un cambio gradual. Se trata de una alternancia de capas de espesor centimétrico (variable entre 5 y 25 cm) de arenas y lutitas, que presentan una extensión lateral de orden métrico, no superando las dimensiones del canal en el que se desarrolla la asociación de facies A. En las capas arenosas domina el tamaño de grano arena media, y se reconocen *ripples* de corriente (litofacies Sr) que indican dirección del flujo hacia el NNE (Fig. 5) y laminación horizontal (Sh). Los intervalos lutíticos presentan laminación paralela o ligeramente ondulada (litofacies Fl), con una base que se adapta al techo de los sigmoides de la infrayacente asociación

Fig. 4. Columna estratigráfica general de la Unidad VI en el entorno próximo al yacimiento Fonelas P-1

Fig. 4. General stratigraphic log of Unit VI next to the Fonelas P-1 site

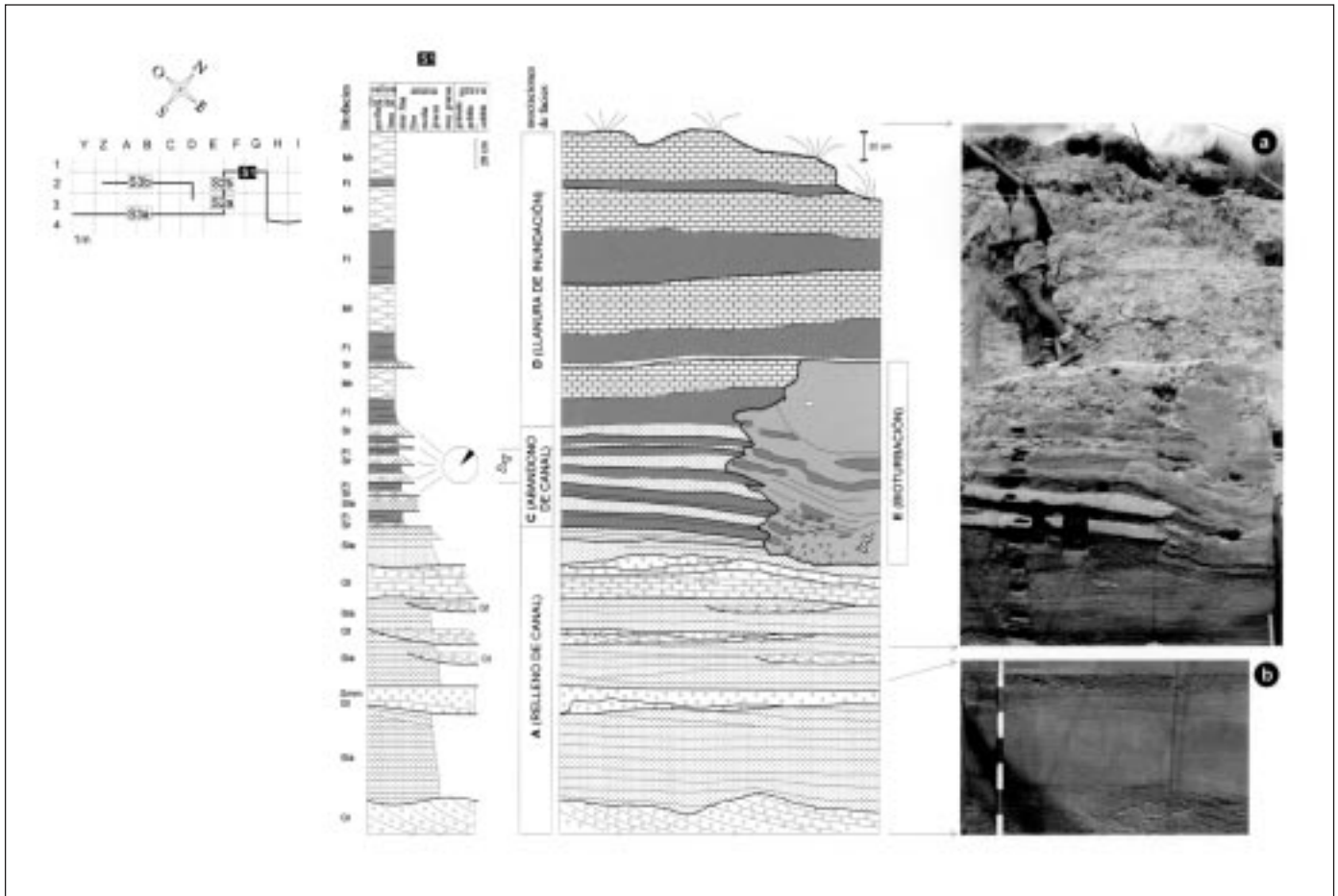


Fig. 5. Sucesión estratigráfica de detalle S1, posición en las cortas de la excavación del yacimiento Fonelas P-1 (esquema superior izquierdo), y fotografías que ilustran las asociaciones de facies descritas en el texto
 Fig. 5. Detailed stratigraphic log S1 (see location in the sketch of the left-up corner) and photographs of the facies associations described in the text

A (Fig. 6) y un techo con menor inclinación que el muro, desarrollando en sección vertical una geometría de cuchara, con una parte (la más suroriental) de mayor potencia y con base y techo cóncavos hacia arriba. La excavación del yacimiento ha permitido la exposición de una superficie de varios metros cuadrados del techo de una de estas capas lutíticas, donde se reconocen tanto marcas de corriente que indican un flujo hacia el NE, como icnitas producidas por la locomoción de macromamíferos sobre un substrato formado por un barro lutítico bajo una pequeña lámina de agua (Fig. 7). El techo de esta capa, de la que se han cartografiado en planta 18 m², también presenta en distintos puntos testimonios de grietas de desecación.

La asociación C, por los tipos de litofacies que incluye y las geometrías de los cuerpos sedimentarios que éstas forman, puede ser interpretada, según se hace en otros ejemplos (Kraus y Wells, 1999) como

el relleno del canal en fase de abandono progresivo. Durante el abandono alternan momentos de flujo tractivo poco energético (desarrollo de las capas arenosas con *ripples* de corriente) con períodos de ausencia de flujo, en los que se produce decantación de finos y desarrollo de tapones de arcilla (*clay plugs*, capas lutíticas) que progresivamente van rellenando y suavizando la depresión topográfica del antiguo canal.

Asociación D (Ilanura de inundación)

Se sitúa por encima de la asociación anterior, con un tránsito gradual. Se trata de una sucesión compuesta de ciclos de dos intervalos: uno inferior de lutita con laminación horizontal (litofacies Fl) y nódulos de carbonato cálcico, que puntualmente se inicia con arena media a fina con *ripples* (litofacies Sr); y otro interva-

lo superior de caliza o margocaliza con textura nodulosa y abundantes huellas de raíces (litofacies Mr). Estos ciclos elementales lutita-carbonato se repiten cuatro veces, siendo reseñable su gran continuidad lateral (de escala hectométrica). Existen fósiles dispersos de grandes mamíferos, si bien no se reconocen icnitas producidas por estos animales, al contrario de lo que ocurría en las capas de lutitas de la asociación C.

Esta asociación se interpreta como depósitos de llanura de inundación distal (relativamente alejada del canal sinuoso activo -asociación A-), en un sector muy próximo a la orla palustre del lago con el que conecta el sistema fluvial, tal y como se ha descrito en otros ejemplos (p. ej. Retallack, 2001; Bridge, 2003).

Asociación E (bioturbación)

Ocupa la misma posición estratigráfica que la asociación C (abandono de canal), y está separada de ésta por una superficie neta muy irregular (Fig. 5). La asociación E forma un cuerpo de 25 a 40 cm de espesor y de anchura decimétrica, de geometría acintada (corredores estrechos) y cuya orientación media es SO-NE. El muro muestra en planta una morfología muy irregular, mientras que el techo es plano-horizonta. Vista en sección, la superficie limitante de este cuerpo presenta paredes verticales con morfología festoneada (pequeñas cavidades en dientes de sierra) de escala decimétrica (Fig. 5). La litofacies más característica que integra este cuerpo son fragmentos subangulosos y muy heterométricos de estratos de luti-

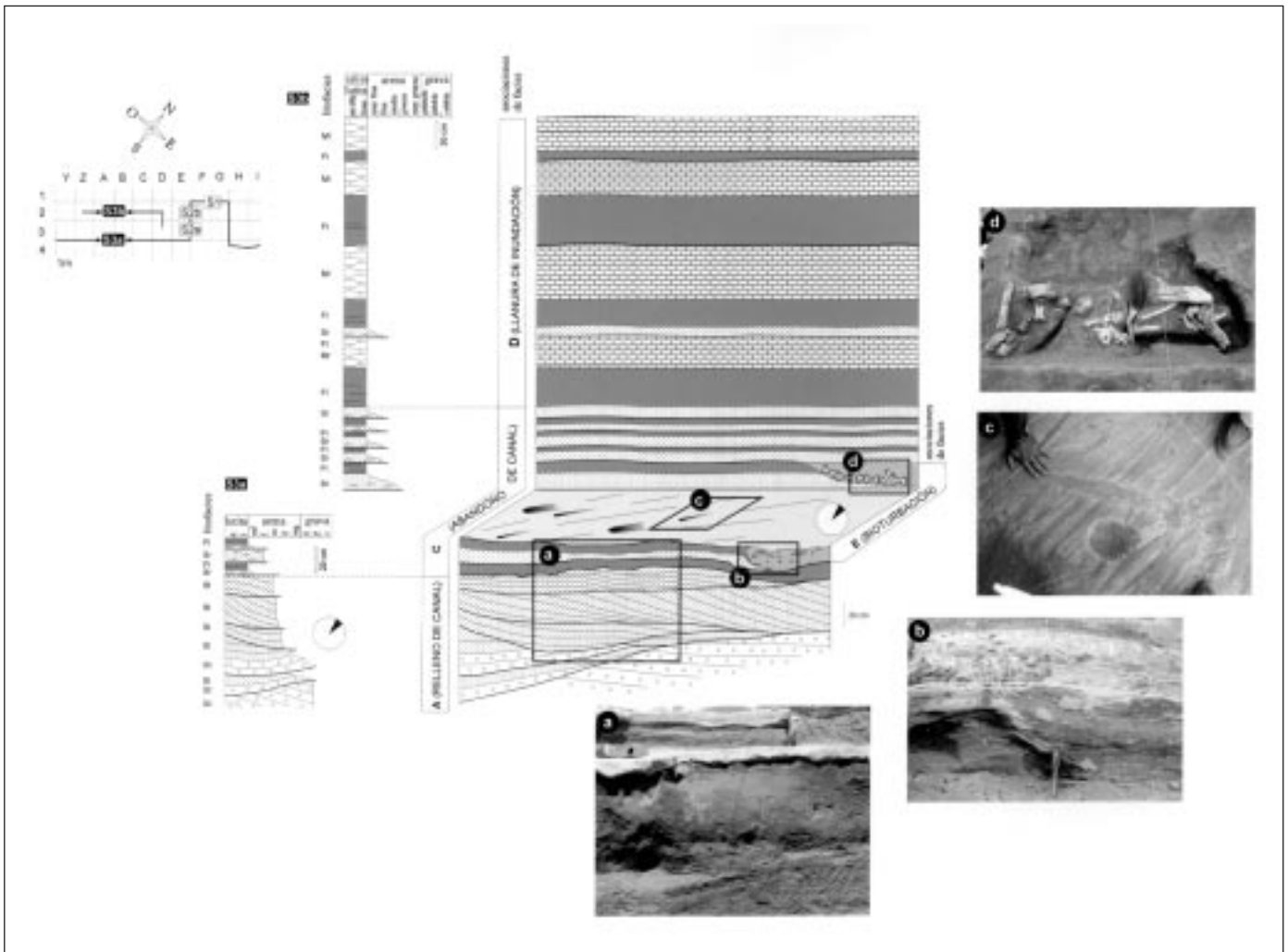


Fig. 6. Sucesiones estratigráficas de detalle S2a y S2b, posición en las cortas de la excavación del yacimiento Fonelas P-1 (esquema superior izquierdo) y fotografías que ilustran las asociaciones de facies descritas en el texto
 Fig. 6. Detailed stratigraphic logs S2a and S2b (see location in the sketch of the left-up corner) and photographs of the facies associations described in the text

tas procedentes de la asociación C, incluidos en una matriz mixta de arena, arcilla y limo (Fig. 7). Carece de organización interna (estructura masiva o caótica) y, en pequeña proporción, aparecen niveles poco continuos de arena con *ripples* cuya potencia máxima es de 3 cm, similares a los intervalos arenosos de la asociación C (Sr). Es importante resaltar que frecuentemente existe una coincidencia lateral entre niveles de lutitas de la asociación C y fragmentos estratiformes de lutitas de la asociación E. La importancia de esta asociación E radica en que contiene la concentración de fósiles de grandes mamíferos con mayor número de elementos y más diversa en especies del yacimiento Fonelas P-1 (Fig. 7).

Interpretamos esta asociación como el resultado de la bioturbación animal de los sedimentos de la asociación C (abandono de canal) expuestos a la

intemperie, que han perdido totalmente sus rasgos originales por el efecto de las pisadas de mamíferos. La acción excavadora de las patas de estos animales, que transitarían sobre un sustrato blando (tapones de arcilla), es el principal agente causante de la estructura masiva o caótica de la asociación E. Esta interpretación está soportada por dos evidencias principales: 1) la presencia de icnitas de grandes mamíferos en el intervalo lutítico de la asociación C, inmediatamente anterior o contemporánea a la asociación E y sobre la que ésta se apoya, y 2) la concentración de las acumulaciones de huesos más ricas dentro de las litofacies bioturbadas, pues en planta existe una relación directa entre esta litofacies y el registro fósil. Ejemplos algo parecidos de deformación de sedimentos blandos por pisadas de grandes vertebrados han sido descritos en ambientes de llanura de inun-

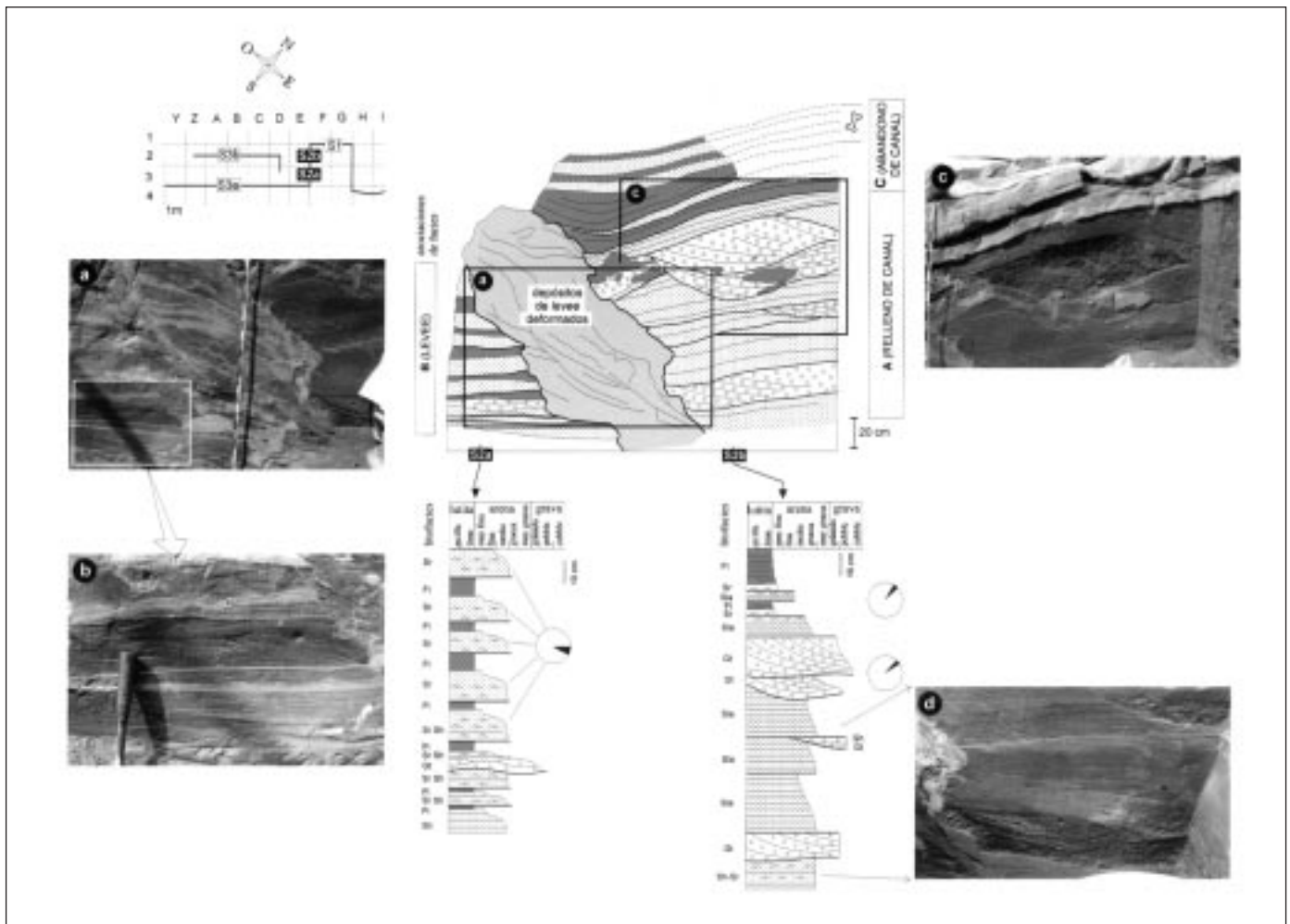


Fig. 7. Sucesiones estratigráficas de detalle S3a y S3b, posición en las cortas de la excavación del yacimiento Fonelas P-1 (esquema superior izquierdo), y fotografías que ilustran las asociaciones de facies descritas en el texto
 Fig. 7. Detailed stratigraphic logs S3a and S3b (see location in the sketch of the left-up corner) and photographs of the facies associations described in the text

dación fluvial y lacustre marginal, tanto en casos actuales como antiguos (Laporte y Behrensmeyer, 1980; Paik *et al.*, 2001; Santisteban y Suñer, 2002).

Discusión: posición del yacimiento Fonelas P-1 en la evolución espacio-temporal de los ambientes sedimentarios

Las mayores concentraciones de restos óseos que constituyen el yacimiento de Fonelas P-1 aparecen en la que hemos descrito como asociación de facies E, localizada en una posición muy concreta dentro de uno de los ciclos característicos de la sucesión de la Unidad VI en este sector de la cuenca.

Las litofacies simples que componen las asociaciones de facies A a D, así como la relación espacial existente entre las distintas asociaciones, permiten reconstruir una sucesión lógica de acontecimientos sedimentarios en ese sector de cuenca baja del Sistema Axial (Fig. 8), que describimos a continuación.

Las evidencias sedimentológicas permiten deducir que la zona estaba surcada por un canal fluvial sinuoso que fluía hacia el NE y en este punto concreto describía una curva convexa hacia el este (Fig. 8B). El carácter sinuoso de este canal se insinúa en su reconstrucción dentro del área excavada, pero se corrobora con la continuación del cuerpo sedimentario hacia el norte, donde, a varios cientos de metros del yacimiento, se puede reconstruir otra curva del mismo cauce, pero en este caso convexa hacia el oeste.

Desafortunadamente no afloran en condiciones de buena observación ni la base del canal ni el margen de acreción en la fase de máxima actividad fluvial. Sin embargo, el tamaño de grano del sedimento, así como la escala de las barras y demás formas de fondo reconocidas induce a pensar que no se trata del canal principal del Sistema Axial, que tendría mayores dimensiones (Viseras, 1991; Fernández *et al.*, 1991, 1996b; Viseras y Fernández, 1995). Se trataría más bien de un canal meandriforme secundario de los muchos que surcaban la llanura distal del sistema y se conectaban con el principal (Fig. 8A).

En la fase de máxima actividad fluvial, en este canal dominaban los procesos de acreción lateral ligados a un flujo helicoidal, si bien también se producía arrastre del sedimento más grosero aguas abajo principalmente en forma de dunas arenosas. Es el momento de desarrollo de la asociación de facies A (Fig. 8B₁).

Durante esta fase de máxima actividad el canal sufría desbordamientos en situaciones de crecida,

que expulsaban sedimento arenoso y lutítico hacia la llanura de inundación, dando lugar al desarrollo de *levees* (asociación B) (Fig. 8B₁). La migración y acreción lateral del canal daba lugar a la erosión de su margen oriental, que de esta manera se hacía geotécnicamente inestable, sufriendo numerosos pequeños deslizamientos hacia el fondo del mismo.

Existen varios argumentos que permiten deducir la migración local del canal hacia el este. Por un lado, está la inclinación en este sentido de las unidades sigmoidales. Por otro, el progresivo aumento de espesor hacia arriba en los cuerpos interpretados como *levees*, indica la aproximación del canal a ese sector de la llanura de inundación. Además, la propia desestabilización y la importante pendiente de ese margen son características propias de un margen de erosión.

El canal se iba rellenando progresivamente de sedimento, de manera que la base de las unidades sigmoidales de acreción lateral llegaba a alcanzar el margen de erosión. Se detecta a partir de entonces una disminución en la energía de los procesos sedimentarios que ocurren en el canal, debida con gran probabilidad al desvío progresivo del flujo hasta otra posición por un proceso de *chute cut off*. De esta manera el antiguo canal activo pasa a ser una pequeña depresión que se tapona por el sedimento arcilloso de decantación de las aguas de inundación. En esa fase, que coincide con el desarrollo de la asociación de facies C, se pueden reconstruir las dimensiones del canal residual, que tendría unos 3 m de anchura y una profundidad no superior a 50 cm. En este canal residual alternarían los períodos de inundación y decantación con momentos de desecación y otros de flujo de baja energía hacia el NE. Estaríamos por tanto ante un momento en el que el canal actúa a modo de una laguna de *ox-bow* (Fig. 8B₂).

Finalmente, los taponos de arcilla suavizan morfológicamente la depresión, disminuye la frecuencia de flujos tractivos, escasea el sedimento detrítico y empiezan a cobrar importancia los procesos de precipitación química de carbonato cálcico en relación con las raíces de la abundante vegetación que crece en una llanura de inundación sometida a prolongados períodos de encharcamiento (momento de desarrollo de la asociación de facies D). El frecuente encharcamiento de la llanura de inundación está justificado por su posición distal en el sistema, donde el gradiente de pendiente sería muy bajo, y donde la proximidad de la orla palustre del lago condicionaba la existencia de un nivel freático muy elevado, de manera que simplemente un leve aumento de la humedad climática hacía subir el nivel piezométrico, inundándose la llanura aluvial y expandiéndose aguas arriba la orla palustre.

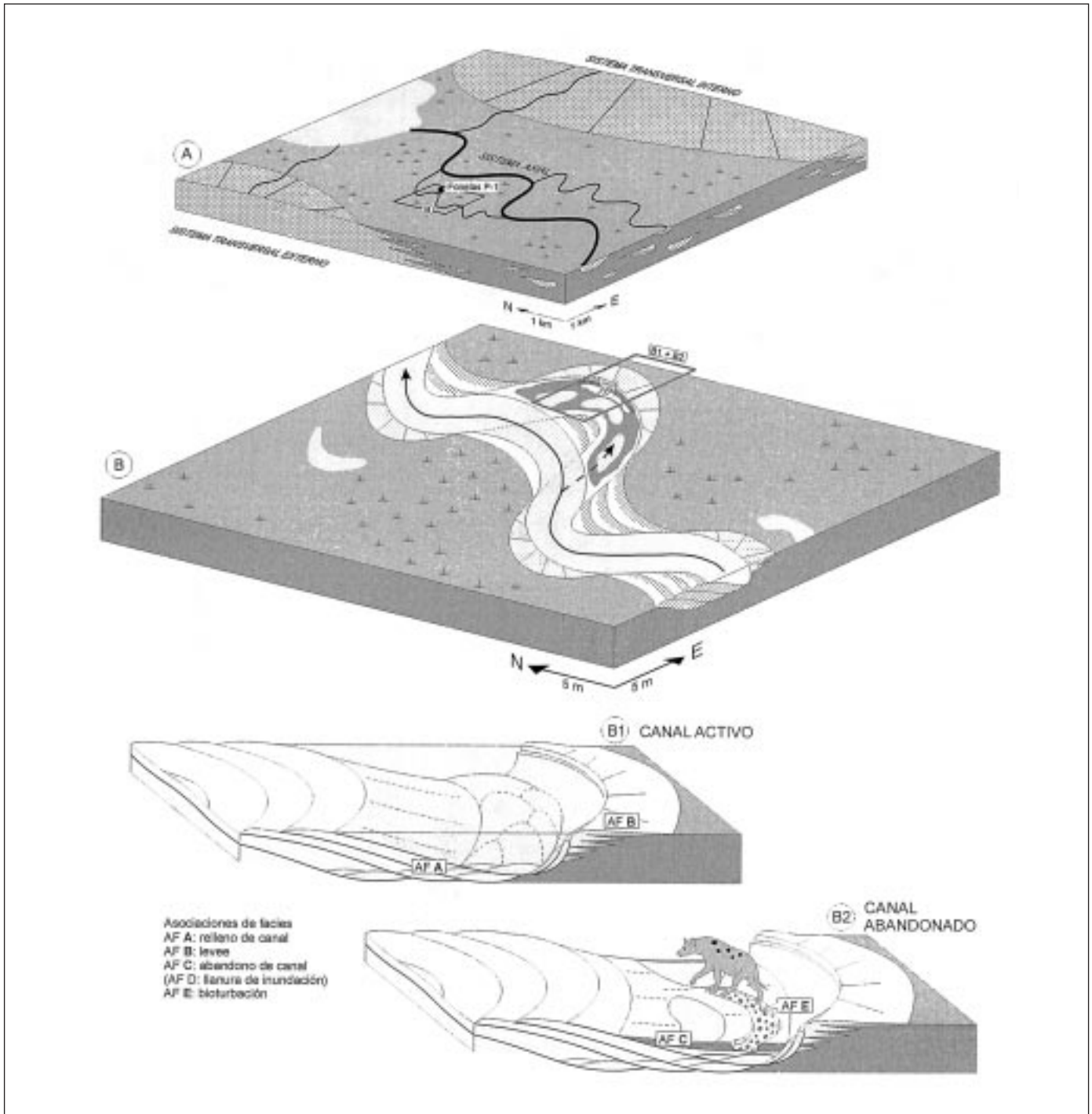


Fig. 8. Reconstrucción a diferentes escalas del entorno sedimentario del yacimiento Fonelas P-1. A: valle fluvial con canales meandriformes (Sistema Axial) situado entre los abanicos aluviales de los sistemas transversales Interno y Externo (ver esquema paleogeográfico general de la Fig. 3). B: canal sinuoso en migración lateral que es abandonado en uno de sus meandros por un proceso de *chute cut off*, lugar en el que se produce la ocupación de grandes mamíferos (representados por un hienido) en el meandro residual. B1 y B2: posición de las asociaciones de facies descritas en el texto en dos fases consecutivas de evolución del canal; una primera (B1) de canal activo y otra segunda (B2) de canal abandonado; en esta segunda los grandes mamíferos bioturbaron mediante pisadas los sedimentos finos acumulados en el meandro residual

Fig. 8. Reconstruction of the sedimentary environment of the Fonelas P-1 site. A: axial valley with meandering channels (Axial System) between the alluvial fans of the Internal and External Transverse Systems (see palaeogeographic sketch of Fig. 3). B: laterally migrating sinuous channel abandoned in one meander by chute cut off. This is the place occupied by large mammals. B1 and B2: location of the facies associations throughout two evolutionary stages of the channel, active (B1) and abandoned (B2)

Existen en la literatura numerosos ejemplos en los que se interpreta de manera similar esta misma secuencia de litofacies (McGowen y Garner, 1970; Bluck, 1971; Jackson, 1976; Nijnman y Puigdefábregas, 1978; Miall, 1996; Stouthamer, 2001; Bridge, 2003, entre otros).

La singular asociación de facies E (bioturbadas) está claramente desligada de esta evolución de procesos puramente fluviales. Además, no aparece en el resto de los ciclos que forman la sucesión. Su relación temporal con la asociación C (abandono de canal) permite vincular genéticamente la bioturbación animal con las últimas etapas de evolución del canal. Así, la suave depresión que forma el canal residual en fase de abandono (laguna de *ox-bow*), ocasionalmente encharcada tanto por aguas de lluvia como por desbordamientos del cercano canal activo, sería una zona relativamente protegida, de fácil acceso al agua para los animales, y probablemente utilizada por algunos de éstos (carnívoros carroñeros) como comedero y cubil, como apuntan hasta el momento todas las variables tafonómicas registradas. El tránsito de los animales sobre tal depresión, caracterizada por un substrato muy blando, sería el agente causante de un rastro muy denso de pisadas, originando pasillos estrechos de fondo intensamente bioturbado, que coinciden aproximadamente en su orientación con la depresión del canal abandonado (Fig. 8B₂). Tras la colmatación total de este canal residual queda homogeneizada la topografía a nivel de la llanura de inundación. Es por esto que el lugar concreto donde se situaba el yacimiento deja de tener interés como zona de ocupación preferencial de animales, justamente al inicio del desarrollo de la asociación D (llanura de inundación). En ese momento la ocupación animal principal debió trasladarse a otro lugar que reuniera las condiciones topográficas antes descritas. La alta tasa de sedimentación en la zona del canal abandonado, como resultado tanto de la concentración local de sedimentos producida por las lluvias y por los aportes detríticos procedentes del desbordamiento del canal activo en su nueva posición, como de la precipitación química propia de la llanura de inundación, dio lugar al enterramiento de las acumulaciones fósiles. Este contexto genético que caracteriza al yacimiento Fonelas P-1 quedó fuera de la influencia erosiva de canales fluviales, que se encontrarían desplazados decenas o centenas de metros con respecto al canal abandonado que se ha descrito.

Conclusiones

Los principales resultados que se derivan del presente estudio son los siguientes:

- 1.- A escala de la paleogeografía general de la cuenca, el yacimiento Fonelas P-1 se localiza en el valle del sistema de drenaje longitudinal de la subcuenca de Guadix (Sistema Axial, según Viseras y Fernández, 1989; Viseras, 1991), en las proximidades de su conexión con un lago somero.
- 2.- El yacimiento se encuentra dentro de un ciclo sedimentario típico de un sistema fluvial meandriforme. Este ciclo consta de cuatro asociaciones de facies relacionadas con procesos fluviales: (A) gravas y/o arenas en capas de geometría sigmoidal y debidas a la acreción lateral propia del relleno de un canal sinuoso, (B) arenas y lutitas en cuerpos cuneiformes adosados al borde erosivo del canal, interpretados como depósitos de *levee*, (C) arenas finas y lutitas en láminas sigmoidales, dispuestas gradualmente sobre las facies A, que representan depósitos de abandono progresivo de canal, y (D) lutitas y carbonatos en capas horizontales de gran continuidad lateral, que reposan en continuidad sobre las facies C, y que registran la sedimentación típica de llanura de inundación.
- 3.- La acumulación principal de fósiles de grandes mamíferos se presenta en una asociación de facies genéticamente independiente de las arriba descritas, ya que está desligada de procesos puramente fluviales. Esta nueva asociación (E) está formada por fragmentos angulosos de lutitas procedentes de las facies C (abandono de canal), y se interpreta como el resultado de la bioturbación de un substrato blando por el efecto de las pisadas continuas de grandes mamíferos (carnívoros carroñeros, más concretamente hiénidos) en un lugar de ocupación.
- 4.- El entorno paleogeográfico de detalle deducido para la asociación de facies bioturbadas (E) corresponde a un meandro abandonado, que dibujaría una suave depresión topográfica episódicamente inundada, bien por efecto de la lluvia o bien por pequeños desbordamientos del lejano canal activo, y ocupada por grandes mamíferos.
- 5.- El reconocimiento de las facies que se han descrito puede ser utilizado como criterio sedimentológico para la prospección de yacimientos de grandes mamíferos en futuras investigaciones paleontológicas. Este carácter predictivo es válido tanto para la Cuenca de Guadix-Baza como para otras cuencas continentales de similar contexto paleogeográfico en las que dominen procesos fluviales.

Agradecimientos

El esfuerzo de Juan Antonio Vera como pionero en la

investigación geológica de la Cuenca de Guadix-Bazanos ha servido de estímulo para continuar su labor, indagando en los muchos y muy interesantes secretos que todavía encierran los sedimentos de esta cuenca. Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación BTE2001-2872, IGME2001-016, Grupo de Trabajo RNM-163JA y por el Proyecto General de Investigación de la Dirección General de Bienes Culturales de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía para el estudio de los registros paleontológicos del Plio-Pleistoceno de la comarca de Fonelas. Agradecemos a Juan Fernández y a Fernando García la lectura crítica del manuscrito, que ha redundado en una notable mejora de su calidad.

Referencias

- Allen, J.R.L. 1970. Studies in fluvial sedimentation: a comparison of fining-upward cyclothems, with special reference to coarse member composition and interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40, 298-323.
- Andrieux, J., Fontboté, J.M. y Mattauer, M. 1971. Sur un modèle explicatif de l'Arc de Gibraltar. *Earth and Planetary Science Letters*, 12, 191-198.
- Arribas, A., Garrido, G. y Palmqvist, P. 2003. Primera cita de *Hyaena (Parahyaena) brunnea* (Thunberg, 1820) (Mammalia, Carnívora) fuera de África: el registro del yacimiento del Plioceno superior de Fonelas P-1 (Cuenca de Guadix-Baza, Granada, España). *Geotemas*, 5, 37-39.
- Arribas, A., Riquelme, J.A., Palmqvist, P., Garrido, G., Hernández, R., Laplana, C., Soria, J.M., Viseras, C., Durán, J.J., Gumiel, P., Robles, F., López-Martínez, J. y Carrión, J. 2001. Un nuevo yacimiento de grandes mamíferos villafranquienses en la Cuenca de Guadix-Baza (Granada): Fonelas P-1, primer registro de una fauna próxima al límite Plio-Pleistoceno en la Península Ibérica. *Boletín Geológico y Minero*, 112, 3-34.
- Aslan, A. y Blum, M.D. 1999. Contrasting styles of Holocene avulsion, Texas Gulf Coastal Plain, USA. En: N.D. Smith y J. Rogers (eds.), *Fluvial Sedimentology VI. Special Publication International Association of Sedimentologists, Blackwell Science*, 28, 193-209.
- Bluck, B.J. 1971. Sedimentation in the meandering River Endrick. *Scottish Journal of Geology*, 7, 93-138.
- Bridge, J.S. 2003. *Rivers and Floodplains. Forms, processes and sedimentary record*. Blackwell Science, 608 pp.
- Calvache, M.L. y Viseras, C. 1997. Long-term control mechanisms of stream piracy processes in southeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 93-105.
- Fernández, J., Viseras, C. y Bluck, B.J. 1991. Changes in evolution of Guadix Basin as documented by alluvial architecture (Betic Ranges, Spain). *4th International Conference on Fluvial Sedimentology, Barcelona*. Field Trip, 80 pp.
- Fernández, J., Bluck, B.J. y Viseras, C. 1993. The effects of fluctuating base level on the structure of alluvial fan and associated fan delta deposits: an example from the Tertiary of the Betic Cordillera, Spain. *Sedimentology*, 40, 879-893.
- Fernández, J., Soria, J.M. y Viseras, C. 1996a. Stratigraphic architecture of the Neogene basins in the central sector of the Betic Cordillera (Spain): tectonic control and base level changes. En: P.F. Friend y C.J. Dabrio (eds.), *Tertiary Basins of Spain: the Stratigraphic Record of Crustal Kinematics. Cambridge University Press, Cambridge*, 353-365.
- Fernández, J., Viseras, C. y Soria, J.M. 1996b. Pliocene - Pleistocene infilling of the Granada and Guadix basins (Betic Cordillera, Spain): The influence of allocyclic and autocyclic processes on the resultant stratigraphic organization. En: P.F. Friend y C.J. Dabrio (eds.), *Tertiary Basins of Spain: the Stratigraphic Record of Crustal Kinematics. Cambridge University Press, Cambridge*, 366-376.
- Friend, P.F. 1983. Towards the field classification of alluvial architecture of sequence. En: J.D. Collinson y J. Lewin (eds.), *Modern and Ancient Fluvial Systems. Special Publication International Association of Sedimentologists, Blackwell Science*, 6, 345-354.
- Gabunia, L., Vekua, A. y Lordkipanidze, A. 2000. The environmental contexts of early human occupation of Georgia (Transcaucasia). *Journal of Human Evolution*, 38, 785-802.
- Garrido, G. y Arribas, A. 2003. Primer registro de *Leptobos etruscus* (Falconer, 1868) (Mammalia, Artiodactyla) en la Península Ibérica: aportaciones a la taxonomía de los bovinos villafranquienses. *Geotemas*, 5, 85-87.
- Jackson, R.G. II 1976. Depositional model of point bars in the lower Wabash River. *Journal of Sedimentary Petrology*, 46, 579-594.
- Kraus, M.J. y Wells, M. 1999. Recognizing avulsion deposits in the ancient stratigraphical record. En: N.D. Smith y J. Rogers (eds.), *Fluvial Sedimentology VI. Special Publication International Association of Sedimentologists, Blackwell Science*, 28, 251-268.
- Laporte, L.F. y Behrensmeier, A.K. 1980. Tracks and substrate reworking by terrestrial vertebrates in Quaternary sediments of Kenya. *Journal of Sedimentary Petrology*, 50, 1337-1346.
- McGowen, J.H. y Garner, L.E. 1970. Physiographic features and stratification types of coarse-grained point bars; modern and ancient examples. *Sedimentology*, 14, 77-112.
- Miall, A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer, 582 pp.
- Nijnman, W. y Puigdefábregas, C. 1978. Coarse-grained point bar structure in a molasse-type fluvial system, Eocene Castisense sandstone Formation, south Pyrenean Basin. En: A.D. Miall (ed.), *Fluvial Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoirs*, 5, 487-510.
- Paik, I.S., Kim, H.J. y Lee, Y.I. 2001. Dinosaur track-bearing deposits in the Cretaceous Jindong Formation, Korea: occurrence, palaeoenvironments and preservation. *Cretaceous Research*, 22, 79-92.

- Retallack, G.J. 2001. *Soils of the Past. An introduction to paleopedology*. Blackwell Science, 416 pp.
- Santisteban, C. y Suñer, M. 2002. Generación de estructuras de carga y pseudonódulos asociados a la impresión de icnitas de grandes vertebrados continentales, posiblemente de dinosaurios, en el Jurásico superior y Cretácico inferior de Alpuente (Valencia). *Geogaceta*, 32, 231-234.
- Skelly, R.L., Bristow, C.S. y Ethridge, F.G. 2003. Architecture of channel-belt deposits in an aggrading shallow sand-bed braided river: the lower Niobrara River, northeast Nebraska. *Sedimentary Geology*, 158, 249-270.
- Soria, J.M., Viseras, C. y Fernández, J. 1998. Late Miocene-Pleistocene tectono-sedimentary evolution and subsidence history of the central Betic Cordillera (Spain): a case study in the Guadix intramontane basin. *Geological Magazine*, 135, 565-574.
- Soria, J.M., Fernández, J. y Viseras, C. 1999. Late Miocene stratigraphy and palaeogeographic evolution of the intramontane Guadix Basin (Central Betic Cordillera, Spain): Implication for an Atlantic-Mediterranean connection. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 151, 255-266.
- Stouthamer, E. 2001. Sedimentary products of avulsions in the Holocene Rhine-Meuse Delta, The Netherlands. *Sedimentary Geology*, 145, 73-92.
- Vera, J.A. 1970. Estudio estratigráfico de la Depresión Guadix-Baza. *Boletín Geológico y Minero*, LXXXI-V, 429-462.
- Vera, J.A. 2000. El Terciario de la Cordillera Bética: estado actual de conocimientos. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13(2), 345-373.
- Viseras, C. 1991. *Estratigrafía y sedimentología del relleno aluvial de la Cuenca de Guadix (Cordilleras Béticas)*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 327 pp.
- Viseras, C., Soria, J.M., Durán, J.J. y Arribas, A. 2003. Contexto geológico y sedimentario del yacimiento de grandes mamíferos Fonelas P-1 (Cuenca de Guadix, Cordillera Bética). *Geotemas*, 5, 247-250.
- Viseras, C. y Fernández, J. 1989. Sistemas de drenaje transversales y longitudinales en el relleno aluvial de la Cuenca de Guadix (Cordilleras Béticas). *XII Congreso Español de Sedimentología, Bilbao*. 63-66.
- Viseras, C. y Fernández, J. 1995. The role of erosion and deposition in the construction of alluvial fan sequences in the Guadix Formation (SE Spain). *Geologie en Mijnbouw*, 74, 21-33.

Recibido: abril 2004

Aceptado: julio 2004