

Geocronología de la Terraza Compleja de Arganda en el valle del río Jarama (Madrid, España)

Geochronology of the Arganda Complex Terrace in the Jarama river valley (Madrid, Spain)

J. Panera¹, T. Torres², A. Pérez-González³, J.E. Ortiz², S. Rubio-Jara¹, D. Uribelarrea del Val⁴

RESUMEN

La Terraza Compleja de Arganda (TCA), situada en el tramo bajo del río Jarama (Madrid), está formada por sucesivos apilamientos de secuencias fluviales denominados de abajo a arriba Arganda I, II, III y IV, en los que se han encontrado importantes yacimientos arqueológicos y paleontológicos del Pleistoceno (Áridos 1 y 2, Valdocarros o HAT), y numerosos conjuntos de industria lítica del Paleolítico inferior y medio. Hasta ahora, la única referencia cronológica disponible para la TCA era la proporcionada por el estadio evolutivo de los micromamíferos de los yacimientos Áridos 1 en Arganda I y Valdocarros en Arganda II. En este trabajo, se propone la equivalencia de las distintas unidades de la TCA con terrazas escalonadas y se establece un marco cronológico numérico, obtenido mediante dataciones de termoluminiscencia, luminiscencia ópticamente estimulada y racemización de aminoácidos. Arganda I (\approx T+30-32 m) se situaría hacia el final del MIS 11 o en el inicio del MIS 9, Arganda II (\approx T+23-24 m) se correspondería con el inicio del MIS 7, Arganda III (\approx T+18-20 m) se situaría entre el MIS 7 y el MIS 5, y Arganda IV comenzaría su deposición en el MIS 5 finalizando su sedimentación en el MIS 1 al sur de Arganda del Rey (Madrid).

Palabras clave: Valle del Jarama, Terraza Compleja de Arganda, Pleistoceno, Madrid, luminiscencia, racemización de aminoácidos, bioestratigrafía.

ABSTRACT

The Arganda Complex Terrace (TCA) is located in the low valley of Jarama river (Madrid), and is formed by successive piling up of alluvial deposits identified as Arganda I, II, III and IV, from bottom to top. In these units important archaeological and paleontological sites of Pleistocene age (Áridos 1 and 2, Valdocarros or HAT) have been discovered, as well as large assemblages of lithic industry of the Lower and Middle Palaeolithic. The only chronological available reference for TCA was provided for the evolved state of the micromammals from the sites of Aridos 1 and Valdocarros, located in the lithostratigraphic units of Arganda I and II respectively. In this paper, we suggest the equivalence of the different units of the TCA with the stepped terraces and we state a numerical time-frame obtained by luminescence dates and amino acid racemization. Arganda I (\approx T+30-32 m) may be correlated to final MIS 11 or beginning of MIS 9, Arganda II (\approx T+23-24 m) belongs to start of MIS 7, Arganda III (\approx T+18-20 m) may be situated between MIS 7 and MIS 5, and finally Arganda IV begins its deposition in MIS 5 and concludes in MIS 1 to south of Arganda del Rey (Madrid).

Keywords: Jarama valley, Arganda Complex Terrace, Pleistocene, Madrid, Luminescence dates, amino acid racemization, biostratigraphy.

¹ IDEA (Instituto de Evolución en África). Museo de los Orígenes. Plaza de San Andrés 2, 28005 Madrid, España.

Email: joaquin.panera@gmail.com, srubiojara@hotmail.com

² Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. Email: trinidad.torres@upm.es; joseeugenio.ortiz@upm.es.

³ Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana. Burgos. Email: alfredo.perez@cenieh.es
Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

Email: daviduribelarrea@gmail.com

Introducción

El valle del río Jarama se caracteriza por el desarrollo de un gran número de terrazas fluviales, relacionadas con oscilaciones climáticas cuaternarias; tectónica levantamientos isostáticos y ajustes de bloques; y controles litológico-estructurales (Pérez-González, 1971, Alía, 1960; Pérez-González, 1980; Silva *et al.*, 1988 a y b; Pérez-González, 1994), que fueron corresponsables de su formación. Todo ello explicaría el gran número de terrazas (al menos 19 según Pérez-González, 1994), la elevada cota relativa de la más alta de ellas (+190 m en Cerro del Rayo), y la disimetría del valle. Por otra parte, los cambios de geometría de las terrazas, tanto longitudinalmente como en la sección transversal de la parte inferior del valle desde Mejorada del Campo-Velilla de San Antonio hasta Aranjuez, tienen su origen en controles litológico-estructurales del substrato sobre el que se apoyan: rocas yesíferas y salinas de edad miocena que afloran al este y sur de Madrid (Pérez-González, 1971). Las terrazas de cota relativa inferior a +40 m que aguas arriba de Mejorada del Campo-Velilla de San Antonio se presentan escalonadas y colgadas, aguas abajo se superponen, las más recientes sobre las más antiguas, dando lugar a la denominada Terraza Compleja de Arganda (en adelante TCA) (Pérez-González, 1971), sobre la que se construye la llanura de inundación actual (Fig. 1).

La TCA está formada por sucesivos apilamientos de secuencias fluviales denominados de abajo a arriba Arganda I, II, III y IV, en las cuales se conservan depósitos de llanura de inundación en los que se han encontrado importantes yacimientos arqueológicos y paleontológicos del Pleistoceno (Áridos 1 y 2, HAT y Valdocarros). Además, en las secuencias de barras fluviales de grava se han documentado numerosos conjuntos de industria lítica, que han permitido caracterizar las estrategias tecnológicas y económicas en la elaboración de útiles líticos a lo largo del Pleistoceno en el tramo bajo del valle del Jarama (Panera, 2009).

Hasta ahora, la única referencia cronológica disponible para la TCA era la proporcionada por el estadio evolutivo de los micromamíferos del yacimiento de Áridos 1 en Arganda I (López Martínez, 1980; Santonja *et al.*, 1980), que adscribe esta unidad al Pleistoceno medio avanzado, equiparable a la asociación hallada en Ambrona (Sesé y Sevilla, 1996; Santonja y Pérez-González, 2005; Sesé y Soto, 2005; Falguerès *et al.*, 2006). Recientemente

se ha añadido al marco bioestratigráfico el conjunto de micromamíferos del yacimiento de Valdocarros en la unidad de Arganda II (Sesé *et al.*, 2011), que sitúa esta unidad en el Pleistoceno medio avanzado pero posterior a Áridos 1.

Terrazas del tramo bajo del valle del río Jarama

En el valle del río Jarama, entre el Arroyo de Pantueña y Valdocarros (Fig. 1.2 y 1.3), las terrazas situadas con cotas relativas por encima de +30 m se disponen escalonadas hasta la terraza de +147-148 m (Pérez-González, 1980). Este grupo de terrazas aparecen progresivamente disectadas aguas abajo, hasta desaparecer por erosión antes de Arganda del Rey, excepto la de +40 m. Por otra parte, entre el Arroyo de Pantueña y Torreblanca, bajo depósitos de abanicos aluviales, se han documentado (puntos 1 y 2 de la Fig. 1.2) depósitos fluviales cuyos techos presentan cotas relativas sobre el nivel del río equivalentes con niveles de terraza: +21-23 m y +30 m. No hay nuevos retazos de terrazas escalonadas hasta el término municipal de San Martín de la Vega, donde en la margen derecha quedan algunos depósitos a cota de +80 m sobre el cauce actual (Vegas *et al.*, 1975). En la margen izquierda se conserva un resto de la terraza de +100 m, y ya en el término municipal de Titulcia, la terraza de +85 m. Los niveles inferiores a los +40 m aparecen superpuestos en la TCA, que según Pérez-González y Uribelarrea (2002) podría comprender las terrazas de +30-32 m, +23-24 m y +18-20 m documentadas en el valle del río Henares.

En la TCA se han identificado cuatro unidades litoestratigráficas denominadas de muro a techo: Arganda I, II, III y IV (Pérez-González, 1980). Arganda I contiene abundantes depósitos de llanura de inundación, mientras que Arganda II y III están formadas principalmente por barras de gravas y arenas correspondientes a facies de canal. Los ambientes sedimentarios de Arganda I implican alta probabilidad de encontrar yacimientos arqueológicos en posición primaria, mientras que en Arganda II y III es más probable hallar conjuntos industriales redepósitos. Finalmente, Arganda IV está formada por depósitos de abanicos aluviales que pueden superar los 20 m de espesor, también susceptibles de contener yacimientos arqueológicos *in situ*. Mientras Arganda I y II están deformadas y fracturadas por colapsos debidos a la disolución del substrato eva-

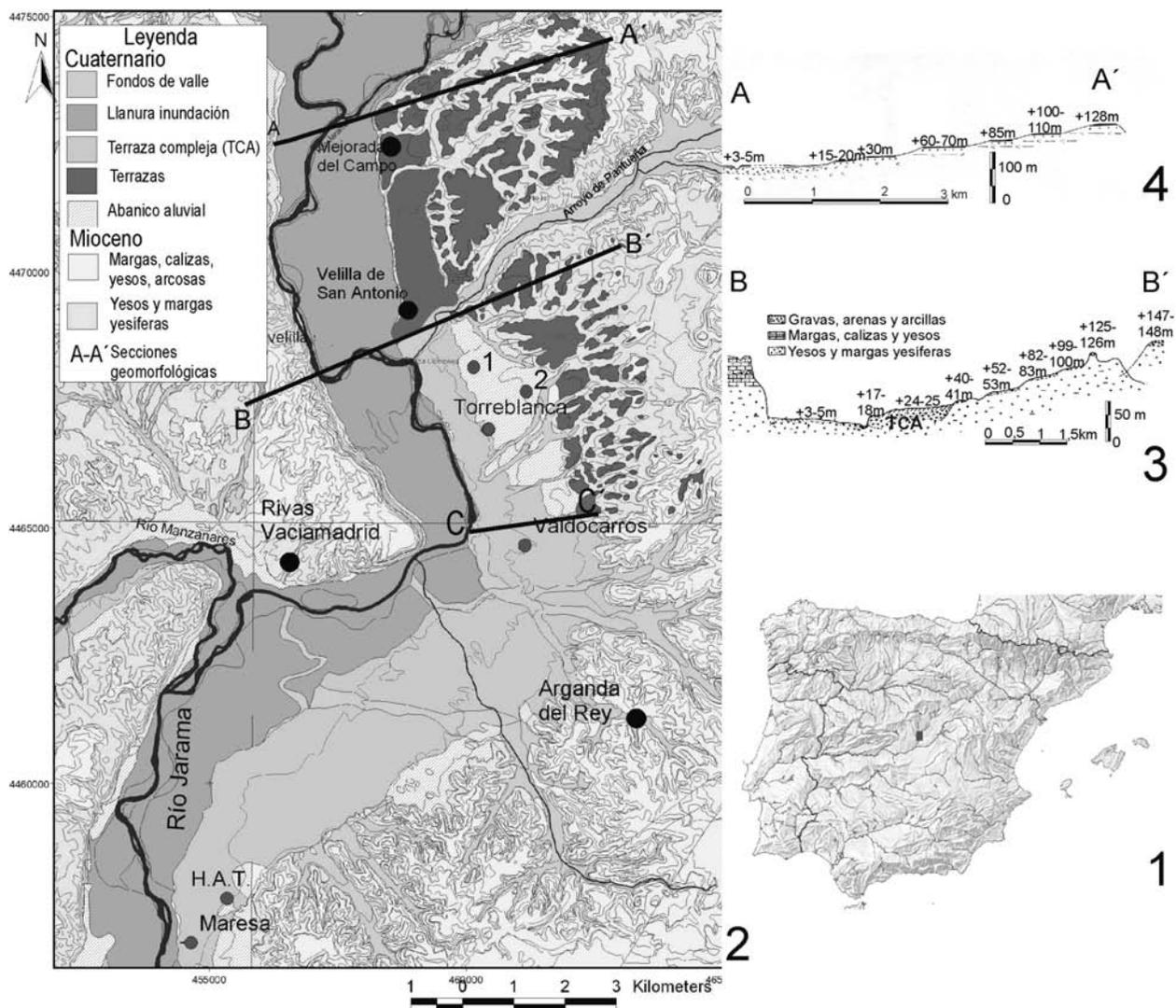


Fig. 1.—1, localización del área de estudio en la Península Ibérica; 2, proyección de los huecos mineros citados en el texto sobre el mapa geomorfológico simplificado de las hojas geológicas a E.1:50.000 559, 560, 582 y 583 (Calvo *et al.*, 1989; Portero *et al.*, 1990; San José, 1975, y Vegas *et al.*, 1975); 3 y 4, secciones del valle del Jarama (C-C' se representa en la figura 2), a la altura de Mejorada del Campo y al inicio del fenómeno de subsidencia sinsedimentaria respectivamente (modificadas de: Pérez-González, 1980 -3-, y Pérez-González, 1971 -4-).

porítico infrayacente, este proceso no ha afectado de la misma manera a Arganda III, que se dispone de manera prácticamente horizontal, aunque es posible observar procesos postsedimentarios de deformación de gran radio que, sin embargo, no afectan a su posición relativa con respecto a las aguas medias actuales del río Jarama.

En el hueco minero de Valdocarros (Fig. 1.2) se ha documentado por primera vez el contacto lateral entre Arganda III y Arganda II (Fig. 2.3 y 2.4). La primera se encaja sobre la segunda, originándose un talud de varios metros. Los aportes aluviales latera-

les de Arganda IV cubren los depósitos fluviales de Arganda II y III, generando una superficie de topografía plana inclinada hacia el río que enmascara la morfología de las terrazas fluviales infrayacentes. Arganda III se sitúa a +17 m con respecto a las aguas medias del río Jarama, y se corresponde muy bien con la terraza de +18-20 m que Pérez-González y Uribebarrea (2002) señalan que podría estar comprendida en la TCA. Por su parte, el techo de Arganda II, que no está erosionado por los procesos de encajamiento de Arganda III, se sitúa a +22 m y no se encuentra afectado por deformaciones postse-

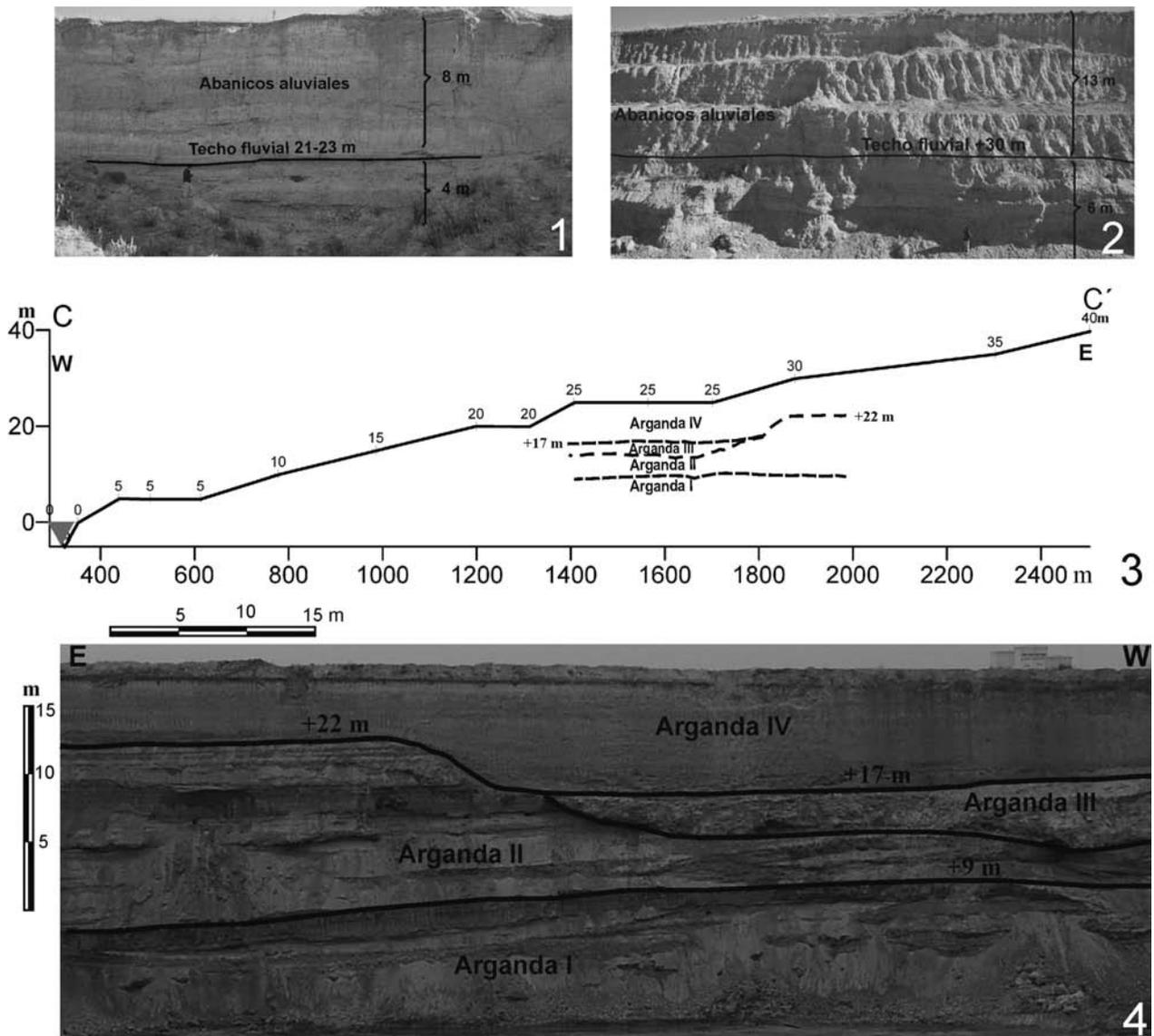


Fig. 2.—1 y 2, depósitos fluviales situados bajo abanicos aluviales entre el Arroyo Pantueña y Torreblanca con cotas relativas, de +21-23 m y +30 m, equivalentes con niveles de terrazas escalonadas (ver localización en la Fig. 1.2 puntos 1 y 2 respectivamente) que se corresponden con Arganda I y II respectivamente; 3, sección transversal oriental del valle del río Jarama a la altura de Valdocarros (ver localización en la Fig. 1.2, C-C'), con la proyección del corte de la Fig. 2.4 girado horizontalmente y con la escala horizontal exagerada (70 m en la realidad); 4, sección de la TCA en Valdocarros donde se aprecia el encajamiento de Arganda III sobre Arganda II, con las cotas relativas con respecto a las aguas medias del río Jarama. El techo de Arganda I, a +9 m, que se corresponde con la terraza fluvial escalonada en Mejorada del Campo a +30 m, señala ya en Valdocarros el carácter de hundimiento sinsedimentario de esta terraza, y la sobreimposición de las terrazas más jóvenes de Arganda II (\approx +23-24 m) y Arganda III (\approx +17-18 m).

dimentarias, lo que permite establecer su equivalencia con el nivel de +21-23 m, identificado bajo abanicos aluviales al sur del Arroyo de Pantueña (punto 1 de la Fig. 1.2 y Fig. 2.1), y con la terraza de +23-24 m que podría estar comprendida en la TCA según Pérez-González y Uribelarrea (2002). Finalmente, Arganda I siempre se ha documentado ero-

sionada y recubierta por Arganda II, y además fuertemente afectada por procesos de subsidencia sinsedimentaria, como por ejemplo puede observarse en el hueco minero de Valdocarros, donde el techo de Arganda I se encuentra a +9 m con respecto a las aguas medias del río Jarama. Por la posición relativa de esta terraza, inmediatamente por debajo de las

Tabla 1.—Medidas de TL y resultados (NRDs, Natural regeneration doses)

Quaternary TL Surveys

Unidad	Hueco minero	Beta NRD (Gy)	Alpha NRD (μm^{-2})	Beta + External Dose-Rate	Alpha Track Rate (μm^{-2})	Beta Dose-Rate	Gamma Dose-Rate (Gy/ka)	Cosmic Dose-Rate (Gy/ka)	Corrected TL Age (Ka)
Arganda IV Muro	Torreblanca	524±54	530±42	4.384±0.281	1.710±0.194	2.615±0.246	1.613±0.135	0.156±0.014	112+36/-22
Arganda IV Techo	Torreblanca	596±54	614±34	4.849±0.297	2.903±0.295	3.341±0.278	1.311±0.0103	0.197±0.016	85+18/13

Laboratorio de Datación Radioquímica (UAM)

Unidad	Hueco minero	Dosis arqueológica (Gy)	Dosis Anual (mGy/año)	Dosis Equivalente	Supralinealidad (Gy)	Factor K	Condiciones (Tamaño grano)	Edad en BP
Arganda IV Muro	Valdocarros	410,78	5,13	410,78±43,84	0	0,29	de 2-10 μm	80.074±6.728
Arganda IV Muro	Maresa	665,58±23,29	8,95	66,58±23,29	0	0,53	de 2-10 μm	74.366±5.129

terrazas a + 22 m y +17 m, puede deducirse que equivale a la de +30 m, bien representada en el perfil de Mejorada del Campo (Fig. 1.4), y bajo los abanicos aluviales cartografiados entre el arroyo Pantueña y Torreblanca (punto 2 de la Fig. 1.2. y Fig. 2.2). Por tanto, se ha constatado que la TCA comprende las terrazas de +30-32 m, +23-24 m y +18-20 m, como habían propuesto Pérez-González y Uribealrea (2002), y se han establecido las siguientes equivalencias entre las unidades de la TCA y las terrazas escalonadas: Arganda I \approx T+30-32 m; Arganda II \approx +23-24 m; Arganda III \approx +18-20 m.

Metodología y resultados

Entre Velilla de San Antonio y San Martín de la Vega, en los huecos mineros de Torreblanca, Valdocarros, HAT y Maresa, se han tomado muestras de las unidades Arganda I, II y IV de la TCA con el objetivo de establecer su marco cronológico mediante análisis de termoluminiscencia (TL), luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) y racemización de aminoácidos (AAR).

En sedimentos procedentes de depósitos de Arganda IV, se han realizado un total de cinco análisis, tres de ellos por TL y dos por OSL. Las medidas de TL y resultados se han incluido en la tabla 1. Los procedimientos de datación por TL, sobre la fracción de gran fino (2-10 micras), pueden consultarse en la página web: <http://www.users.globalnet.co.uk/~qtls/index.htm> (Quaternary TL Surveys, en adelante QTLS). Las dataciones por OSL (Laboratorio de Datación y Radioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid, en adelante LDR), se hicieron sobre una base polimineral de las muestras, con tamaño de

grano de 2-8 micras. Las señales de OSL, procedentes de los feldespatos, se obtuvieron mediante un sistema de medida, modelo Riso TL/OSL DA-12, equipado con 32 diodos (IR) de infrarrojo (modelo TEMENT484), emitiendo a 800+80 nm. Dichos diodos trabajando alrededor de 50mA, generan intensidades de unos 40mW/cm² sobre la muestra. La emisión luminiscente generada se detecta mediante un tubo fotomultiplicador EMI 9235QB.

El Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular (LEB) de la E.T.S.I. de Minas de Madrid ha realizado análisis de racemización de aminoácidos en ostrácodos y molares de herbívoro, procedentes de las unidades de Arganda I y II en los huecos mineros de Maresa y Valdocarros.

Las muestras se prepararon de acuerdo al protocolo del LEB basado en el trabajo de Kaufman y Manley (1998), y fueron analizadas en un cromatógrafo de líquidos de altas prestaciones HPLC-1100 con detector de fluorescencia.

Se seleccionaron ostrácodos (*Herpetocypris reptans*) con la ayuda de una lupa binocular, y se limpiaron empleando agua oxigenada en la que estuvieron sumergidos durante 4 horas.

En el caso de los dientes (*Bos*, *Equus*, Bovidae indet.), las muestras se obtuvieron perforando con una broca de diamante la dentina de la parte central de uno de los lados del diente. Posteriormente, las muestras se dializaron con el fin de eliminar los aminoácidos libres que podrían interferir en los resultados analíticos (cf. Torres *et al.*, 2002).

Posteriormente se hidrolizaron en ácido clorhídrico 7 N (20 $\mu\text{l}/\text{mg}$), cerrados bajo atmósfera de nitrógeno, en una estufa a 100°C durante 20 h. A continuación las muestras se evaporaron bajo vacío en un desecador. Previamente al análisis, las muestras se rehidrataron con ácido clorhídrico 0.01 N (20 $\mu\text{l}/\text{mg}$). Se inyectaron 2 μl de cada muestra en un cromatógrafo de líquidos Agilent 1100. La derivatización tuvo lugar en el inyector automático mediante la adición de 4 μl del reactivo OPA/IBLC (O-phtaldialdehído/N-isobutiryl-L-cysteina). En el análisis se utilizaron tres fases móviles: agua con acetato de sodio, trihidratado, metanol y acetonitrilo. La columna fue de tipo Hypersil DBS C18 (250 x 4 mm).

Tabla 2.—Materiales sobre los que se han realizado las dataciones de racemización de aminoácidos y edades resultantes (N: número de análisis)

Unidad	Hueco minero	Material	N	Edad (ka)
Arganda I	Maresa	<i>Herpetocypris reptans</i>	2	332±38
Arganda I	Maresa	<i>Herpetocypris reptans</i>	7	379±45
Arganda II	Valdocarros	<i>Herpetocypris reptans</i>	1	254±47
Arganda II	Valdocarros	<i>Bos, Equus, Bovidae</i> indet	5	262±07
Arganda II	Valdocarros	<i>Herpetocypris reptans</i>	2	174±20

Se identificaron los aminoácidos isoleucina, leucina, fenilalanina, ácido aspártico y ácido glutámico, aunque para las dataciones se utilizaron los valores de racemización de los dos últimos.

La edad de las muestras (Tabla 2) se determinó introduciendo los valores de racemización en el algoritmo de cálculo de edad establecido para el colágeno de la dentina de osos fósiles de la Península Ibérica (*Ursus deningeri* y *Ursus spelaeus*), modificado de Torres *et al.* (2002). A pesar de que la racemización es un proceso género-dependiente, se ha comprobado que las diferencias de racemización en el colágeno de mamíferos son despreciables para los propósitos de datación. Para el cálculo de edad de los ostrácodos, las relaciones de racemización del ácido aspártico y ácido glutámico se introdujeron en los algoritmos de cálculo de edad establecidos por Ortiz *et al.* (2004).

En las secciones estratigráficas de la figura 3, se han representado las facies y las unidades Arganda I, II, III y IV aflorantes en los huecos mineros de Torreblanca (UTM ED-1950, 460550 E 4466980 N), Valdocarros (UTM ED-1950, 461176 E 4464631N), HAT (UTM ED-1950, 455290 E 4457870 N) y Maresa (UTM ED-1950, 454674 E 4456873 N). Igualmente, se ha indicado la posición en las columnas de los muestreos geocronológicos y los yacimientos arqueológicos citados en texto.

Bioestratigrafía

En Arganda I y Arganda II aparecen, respectivamente, las asociaciones de micromamíferos de Áridos 1 (López Martínez, 1980) y de Valdocarros (Sesé *et al.*, 2011), que corresponden al Pleistoceno medio avanzado pero no final, y que se han situado en el tercer conjunto de asociaciones del Pleistoceno medio típico según Sesé y Sevilla (1996; Sesé *et al.*, 2011). En Arganda III no se han recuperado microvertebrados hasta la fecha, y en Arganda IV se ha registrado en HAT una muestra más reducida que la de los yacimientos anteriormente citados, pero con la presencia de *Microtus cabreræ*, que permite adscribir esta unidad al Pleistoceno superior (Sesé *et al.*, 2011).

La morfología y talla de los dientes de *Microtus* (I.) *brecciensis* de Áridos 1 (López 1980) se sitúan en la variación de esta especie en el yacimiento de

Ambrona, y su tamaño es inferior al de los niveles de TD 10 y G II y GIII (Sesé y Soto, 2005) de Atapuerca. En Valdocarros, el estadio evolutivo de *Microtus* (I.) *brecciensis* es algo más avanzado que en Áridos 1, y menos que el de los niveles superiores de Gran Dolina y Galería de Atapuerca (Sesé *et al.*, 2011).

En Cúllar-Baza (adscrito al segundo conjunto de asociaciones del Pleistoceno medio típico según Sesé y Sevilla, 1996), se ha propuesto una edad de 476 ± 24 ka mediante racemización de aminoácidos (Ortiz *et al.*, 2000), pero se ha situado a inicios del Pleistoceno medio mediante el análisis magnetoestratigráfico de la sección de 81 m de potencia de Cúllar, con el argumento de que se encuentra a 2 m sobre el límite Matuyama/Brunhes (Gibert *et al.*, 2007). En Ambrona, mediante la aplicación de un modelo combinado de ESR/U-series en molares de caballo, se ha propuesto una edad mínima de 350 ka para AS6, en el techo de la secuencia de este yacimiento (Falguerès *et al.*, 2006, 2010; Santonja y Pérez-González, 2010). En Atapuerca, Galería y Gran Dolina ofrecen en sus unidades GIII y TD 10 respectivamente, fechas *ante quem* para Áridos 1 y Valdocarros. Hacia el techo de la unidad GIII de Galería se ha estimado una edad de 256 ± 23 ka en GIIIb por TL&IRSL (Berger *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2011). Finalmente, en el techo de TD10, a partir de ESR y U-Series aplicadas sobre molares de ungulados se ha obtenido una media de edad de 337 ± 29 ka en TD10-1a, (Falguerès *et al.*, 1999, 2001; Rodríguez *et al.*, 2011), y de 244 ± 26 ka mediante TL en TD10-2 (Berger *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2011).

Discusión de los resultados y conclusiones

Las fechas obtenidas por racemización de aminoácidos para Arganda I ($\approx T+30-32$ m), considerando las máximas y mínimas de cada muestra, ofrecen una horquilla entre 294 ka y 425 ka (Fig. 4), solapándose

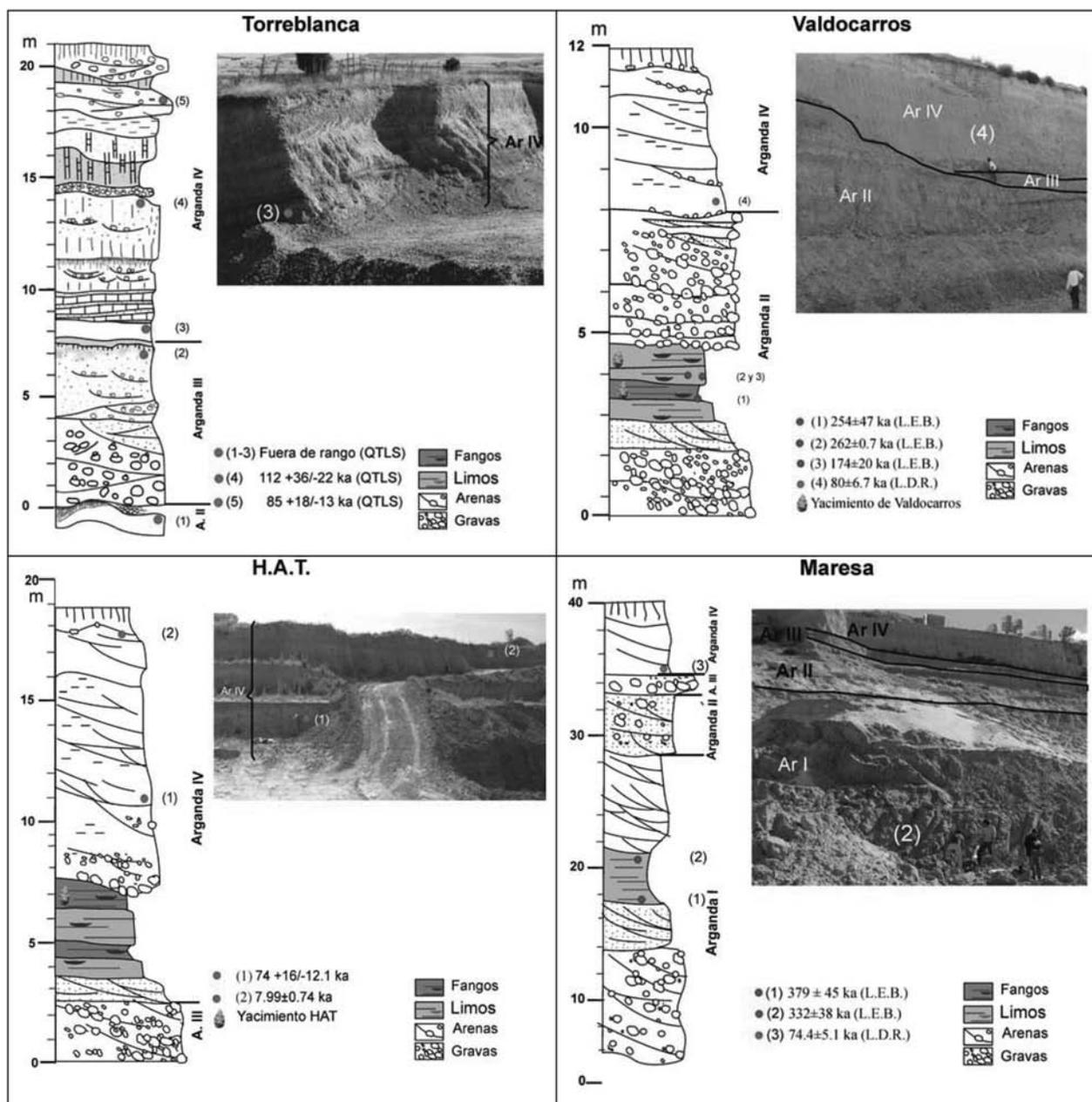


Fig. 3.—Posición estratigráfica de las muestras tomadas para la obtención de dataciones numéricas mediante TL (*Quaternary TL Surveys*, QTLs), OSL (Laboratorio de Datación y Radioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid, LDR), y racemización de aminoácidos (Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular, LEB).

en el tramo final del MIS 11 (entre 335 ka y 370 ka) (Fig. 4), lo que es coherente con los datos proporcionados por la bioestratigrafía, ya que son posteriores a las de Cúllar-Baza, similares a las de AS6 en Ambroña, y anteriores a las obtenidas en Atapuerca en GIIIb mediante TL&IRSL y en TD10-2 por TL.

En Arganda II ($\approx T+23-24$ m), los análisis de racemización de aminoácidos aplicados a tres mues-

tras (Tabla 2; Fig. 3), tomadas en dos secuencias de inundación consecutivas ha proporcionado una horquilla entre 154 ka y 301 ka, considerando las fechas máximas y mínimas proporcionadas por cada muestra. De éstas, una obtenida de ostrácodos y otra de molares de herbívoro, ofrecen un solape entre 255 ka y 269 ka, lo que es coherente bioestratigráficamente, ya que es posterior a la fecha propuesta

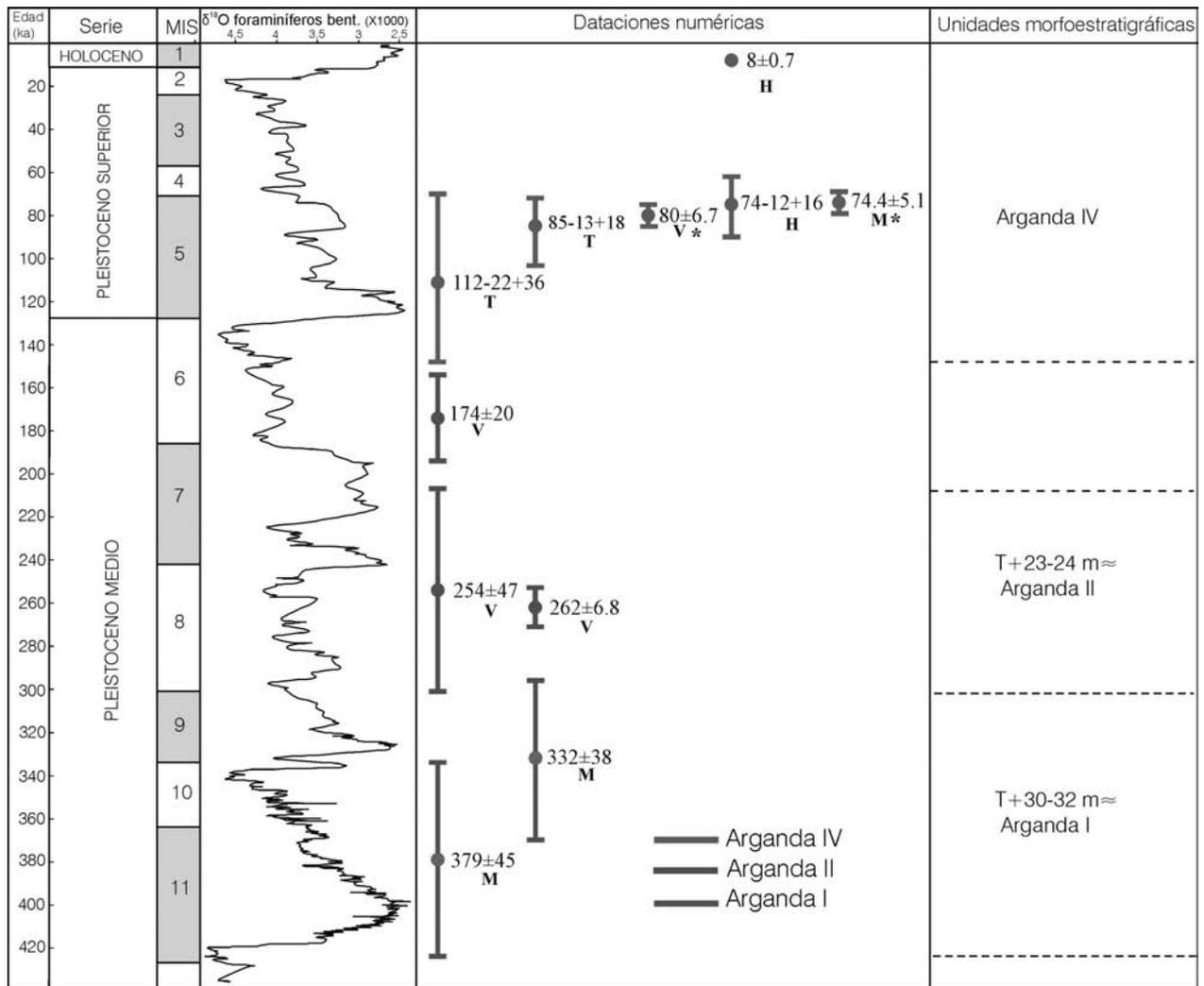


Fig. 4.—Valores de $\delta^{18}\text{O}$ de los foraminíferos bentónicos del sondeo ODP-980, Atlántico Norte (a partir de NOAA Paleoclimatology Program, y McManus et al. 1999), enfrentados a las dataciones numéricas obtenidas mediante TL (Arganda IV sin asterisco), OSL (Arganda IV con asterisco) y racemización de aminoácidos (Arganda I y II) en distintas unidades de la Terraza Compleja de Arganda (huecos mineros: M, Maresa; V, Valdocarros; H, HAT; T, Torreblanca).

para Áridos 1 y Ambrona, similar a la obtenida en Atapuerca en GIIIb mediante TL&IRSL (256 ± 23 ka) y ligeramente anterior a la proporcionada en TD10-2 por TL (244 ± 26 ka). Se dispone de una tercera datación de ostrácodos con una cronología considerablemente más reciente, 174 ± 20 ka, que no se superpone con ninguna de las anteriores, y es posterior a la de los techos de GIII y de TD 10 en Atapuerca, por lo que es la menos probable.

Los depósitos aluviales de Arganda IV, al sur del arroyo Pantueña, se empezaron a depositar hace 112 ± 36 ka, (en Torreblanca, donde además se cuenta con otra fecha de 85 ± 18 ka para el tramo superior de esta unidad), a unos 2,5 km aguas abajo,

lo hicieron hace 80 ± 7 ka (Valdocarros), y a unos 12 km aguas abajo hace 74 ± 16 ka y 74 ± 5 (HAT y Maresa, respectivamente), donde se dispone de una fecha de $8 \pm 0,7$ ka para el techo de esta unidad (Panera *et al.*, 2005).

En síntesis, a partir de los requerimientos climáticos de los micromamíferos de Áridos 1, Valdocarros y HAT, asociados a climas templados, y de las superposiciones de las fechas numéricas disponibles: Arganda I se situaría hacia el final del MIS 11 o en el inicio del MIS 9, Arganda II se correspondería con algún interstadial del MIS 8, sin que se pueda descartar que lo haga con el fin del MIS 9 o el inicio del MIS 7, y el tercio basal de Arganda IV,

aguas abajo de Valdocarros, se correlacionaría con el Is 20 del MIS 5a, mientras que en algunas zonas (en Maresa) su techo se sitúa a inicios del Holoceno. El carácter cementado de Arganda III ha impedido disponer de referencias bioestratigráficas o dataciones numéricas para esta unidad, que sería lógicamente más joven que Arganda II (255-269 ka), y más antigua que la fecha del muro de Arganda IV obtenida en Torreblanca (112+36-22 ka).

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a la Dirección General de Investigación y a la Dirección General de Patrimonio Histórico de la Comunidad de Madrid por haber financiado parte de los trabajos de campo y las dataciones numéricas de luminiscencia, especialmente a Inmaculada Rus Pérez por su gestión y apoyo, a Juan Antonio Martos Romero por su participación en los momentos iniciales del proyecto, y a Jorge Morales por su invitación a participar en este homenaje en memoria de Léonard Ginsburg, y a los revisores por los sugerencias realizadas, que han contribuido a mejorar el resultado final del artículo.

Referencias

- Alia, M. (1960). Sobre la tectónica profunda de la fosa del Tajo. *Notas y Comunicaciones del Instituto Tecnológico y Geominero de España*, 58: 125-162.
- Berger, G.W.; Pérez-González, A.; Carbonell, E.; Arsuaga, J.L.; Bermúdez de Castro, J.M. & Ku, T.L. (2008). Luminescence chronology of cave sediments at the Atapuerca paleoanthropological site, Spain. *Journal of Human Evolution*, 55: 300-311. doi:10.1016/j.jhev.2008.02.012
- Calvo, J.P.; Goy, J.L.; Pérez-González, A.; Zazo, A.; Morales, J.; López Martínez, N.; Vegas, R.; San José, M.A. & Gallego, E. (1989). *Mapa geológico de España 1: 50.000 (serie MAGNA). Hoja nº 559 (Madrid)*. Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.
- Falguères, C.; Bahain, J.-J.; Duval, M.; Shao, Q.; Han, F.; Lebon, M.; Mercier, N.; Pérez-González, A.; Dolo, J.-M. & García, T. (2010). A 300-600 ka ESR/U-series chronology of Acheulian sites in Western Europe. *Quaternary International*, 223-224: 293-298. doi:10.1016/j.quaint.2009.10.008
- Falguères, C.; Bahain, J.J.; Pérez-González, A.; Mercier, N.; Santonja, M. & Dolo, J.-M. (2006). The Lower Acheulian site of Ambrona, Soria (Spain): ages derived from a combined ESR/U-series model. *Journal of Archaeological Science*, 33: 149-157. doi:10.1016/j.jas.2005.07.006
- Falguères, C.; Bahain, J.J.; Yokojama, Y.; Arsuaga, J.L.; Bermúdez de Castro, J.M.; Carbonell, E.; Bischoff, J.L. & Dolo, J.-M. (1999). Earliest humans in Europe: the age of the TD6 Gran Dolina, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution*, 37: 343-352. doi:10.1006/jhev.1999.0326
- Falguères, C.; Bahain, J.J.; Yokojama, Y.; Bischoff, J.L.; Arsuaga, J.L.; Bermúdez de Castro, J.M.; Carbonell, E.; Bischoff, J.L. & Dolo, J.-M. (2001). Datation par RPE et U-Th des sites Pléistocènes d'Atapuerca: Sima de los Huesos, Trinchera Dolina et Trinchera Galería. *Bilan Géochronologique. L'Anthropologie*, 105: 71-81.
- Gibert, I.; Scott, G.; Martine, R. & Gibert, J. (2007). The Early to Middle Pleistocene boundary in the Baza Basin (Spain). *Quaternary Science Reviews*, 26: 2067-2089. doi:10.1016/j.quascirev.2007.06.012
- Kaufman, D.S. & Manley, W.F. (1998). A new procedure for determining DL amino acid ratios in fossils using Reserve Phase Liquid Chromatography. *Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology)*, 17: 987-1000. doi:10.1016/S0277-3791(97)00086-3
- López Martínez, N. (1980). Los micromamíferos (Rodentia, Insectivora, Lagomorpha Chiroptera), del sitio de ocupación Achelense de Aridos 1-1 (Arganda, Madrid). In: *Ocupaciones Achelenses en el Valle del Jarama (Arganda, Madrid)* (Santonja, M.; López Martínez, N. & Pérez-González, A., eds.). *Arqueología y Paleoeología*, 1. Diputación Provincial de Madrid: 161-202.
- McManus, J.F.; Oppo, D.W.; Cullen, J.L.; (1999): A 0.5-million-year record of millennial scale climate variability in the North Atlantic. *Science*, 283: 971-975. doi:10.1126/science.283.5404.971
- Ortiz, J.E.; Torres, T.; Juliá, R.; Delgado, A.; Llamas, F.J.; Soler, V. & Delgado, J. (2004): Numerical dating algorithms of amino acid racemization ratios from continental ostracodes. Application to Guadix-Baza basin (southern Spain). *Quaternary Science Reviews*, 23 (5-6): 717-730. doi:10.1016/j.quascirev.2003.06.001
- Ortiz, J.E.; Torres, T.; Llamas, F.J.; Canoira, L.; García-Alonso, P.; García de la Morena, M. & Lucini, M. (2000). Datación de yacimientos paleontológicos de la cuenca de Guadix-Baza (sector de Cúllar-Baza, Granada, España) y primera estimación de la edad de apertura de la cuenca mediante el método de racemización de aminoácidos. *Geogaceta*, 28: 109-112.
- Panera, J. (2009). *La ocupación del medio fluvial en el Paleolítico antiguo. Caracterización geoarqueológica de depósitos pleistocenos del valle del río Jarama (Madrid) y estudio tecnoeconómico de la industria lítica*. Tesis Doctoral, Departamento de Prehistoria y Arqueología. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Inédita, 705 pp.
- Panera, J.; Pérez-González, A.; Rubio-Jara, S. & Sesé, C. (2005). El yacimiento paleolítico de HAT en el valle del Jarama: una aportación de Cuaternario de la cuenca de Madrid al debate sobre el inicio del Paleolítico medio. In: *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el entorno Mediterráneo* (Santonja, M., Pérez-González, A. & Machado, M.J., eds.). ADEMA, Soria, 251-260.
- Pérez-González, A. (1971). Estudio de los procesos de hundimiento en el valle del río Jarama y sus terrazas

- (nota preliminar). *Estudios Geológicos*, 27 (4): 317-324.
- Pérez-González, A. (1980). Geología y estratigrafía de los yacimientos de Áridos en la llanura aluvial de Arganda (Madrid). In: *Ocupaciones achelenses en el valle del Jarama*. Arqueología y Paleontología, 1. (Santonja, M., López, N. & Pérez-González, A., eds.), Diputación Provincial de Madrid: 49-61.
- Pérez-González, A. (1994). Depresión del Tajo. In: *Geomorfología de España* (Gutiérrez Elorza, M., ed.). Rueda, 389-436.
- Pérez-González, A. & Uribelarrea del Val, D. (2002). Geología del Cuaternario de los valles fluviales del Jarama y Manzanares en las proximidades de Madrid. In: *Bifaces y elefantes. La investigación del Paleolítico Inferior en Madrid. Zona Arqueológica*, 1. (Panera, J. & Rubio-Jara, S., eds). Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid, 303-317.
- Portero, J. & Pérez-González, A. (1990): *Hoja y Memoria del Mapa Geológico de España, a escala 1:50.000. Alcalá de Henares, nº 560*. Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.
- Rodríguez, J.; Burjachs, F.; Cuenca-Bescós, G.; García, N.; Van der Made, J.; Pérez González, A.; Blain, H.-A.; Expósito, I.; López-García, J.M.; García Antón, M.; Allué, E.; Cáceres, I.; Huguet, R.; Mosquera, M.; Ollé, A.; Rosell, J.; Parés, J.M.; Rodríguez, X.P.; Díez, C.; Rofes, J.; Sala, R.; Saladié, P.; Vallverdú, J.; Ben-nasar, M.L.; Blasco, R.; Bermúdez de Castro, J.M. & Carbonell, E., (2011): One million years of cultural evolution in a stable environment at Atapuerca (Burgos, Spain). *Quaternary Science Reviews*, 30 (11-12): 1396-1412. doi:10.1016/j.quascirev.2010.02.021.
- San José, (1975). *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, Nº 583 (Arganda)*. Serie MAGNA, Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.
- Santonja, M.; López Martínez, N. & Pérez-González, A. (eds.) (1980). *Ocupaciones Achelenses en el Valle del Jarama (Arganda, Madrid)*. Arqueología y Paleoecología, 1. Diputación Provincial de Madrid, 352 pp.
- Santonja, M. & Pérez-González, A. (2005, eds.). *Los yacimientos paleolíticos de Ambrona y Torralba (Soria). Un siglo de investigaciones arqueológicas*. Zona Arqueológica 5, Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid, 444 pp.
- Santonja, M. & Pérez-González, A. (2010). Mid-Pleistocene Acheulean industrial complex in the Iberian Peninsula. *Quaternary International*, 223-224: 154-164. doi:10.1016/j.quaint.2010.02.010
- Sesé, C.; Panera, J.; Rubio-Jara, S. & Pérez-González, A. (2011). Micromamíferos del Pleistoceno Medio y Pleistoceno Superior en el Valle del Jarama: Yacimientos de Valdocarros y HAT (Madrid). *Estudios Geológicos*, 67 (1): 131-151. doi:10.3989/egeol.40290.127
- Sesé, C. & Sevilla, P. (1996). Los micromamíferos del Cuaternario peninsular español Cronoestratigrafía e implicaciones bioestratigráficas. *Revista Española de Paleontología*, Nº Extraordinario: 278-287.
- Sesé, C. & Soto, E. (2005). Mamíferos del Yacimiento del Pleistoceno Medio de Ambrona: análisis Faunístico e interpretación Paleoambiental. In: *Los yacimientos Paleolíticos de Ambrona y Torralba (Soria). Un siglo de investigación arqueológica, Zona Arqueológica*, 5. (Santonja, M. & Pérez-González, A., eds.), 258-280.
- Silva, P.; Goy, J.L. & Zazo, C. (1988a). Neotectónica del sector centro-meridional de la Cuenca de Madrid. *Estudios Geológicos*, 2: 133-136.
- Silva, P.; Goy, J.L.; Zazo, C.; Hoyos, M. & Alberdi, M.T. (1988b). El valle del Manzanares y su relación con la depresión Prados-Guaten durante el Pleistoceno inferior (Madrid, España). *II Congreso geológico de España. Comunicaciones*, 1 (Granada, 1988): 403-406.
- Torres, T.; Ortiz, J.E.; Llamas, J.; Conoira, L.; Juliá, R. & García-Martínez, M. (2002). Bear dentine aspartic acid racemization analysis: a proxy for the dating of Pleistocene cave infills. *Archaeometry*, 44, 3: 417-426. doi:10.1111/1475-4754.t01-1-00074
- Vegas, R.; Pérez-González, A. & Míguez, F. (1975): *Cartografía y memoria geológica del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, Serie MAGNA, nº de Hoja 582 (Getafe)*. Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.

Recibido el 7 de enero de 2011
Aceptado el 9 de septiembre de 2011