



CONTROLES ALOGÉNICOS SOBRE LA CICLICIDAD EN LA SEDIMENTACIÓN CONTINENTAL EN LA CUENCA DE GUADIX (CORDILLERA BÉTICA, ESPAÑA) DURANTE EL PLIOCENO Y PLEISTOCENO: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Allogenic controls on the cyclicity on the continental sedimentation in the Guadix Basin (Betic Cordillera, Spain) throughout Pliocene and Pleistocene: state of the art

César Viseras¹, Sila Pla-Pueyo², Jesús M. Soria³, Juan Fernández¹, Fernando García-García⁴, Elizabeth Gierlowski-Kordesch⁵, Ian Candy⁶ y Danielle Schreve⁶

¹Dpto. de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Campus Fuentenueva, Universidad de Granada, 18071, Granada, España. viseras@ugr.es, jferdez@ugr.es

²Institute of Petroleum Engineering, Conoco Centre, Riccarton Campus, Heriot-Watt University, Edinburgh, EH4 14AS, Reino Unido. sila.pla@gmail.com

³Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, Apdo. Correos 99. 03080, Alicante, España. jesus.soria@ua.es

⁴Dpto. de Geología, Campus Las Lagunillas, Universidad de Jaén, 23071 Jaén, España. fegarcia@ujaen.es

⁵Dept. of Geography, Royal Holloway, University of London, Egham,

Surrey, TW20 0EX, Reino Unido. Ian.Candy@rhul.ac.uk, Danielle.Schreve@rhul.ac.uk

⁶Dept. of Geological Sciences, 316 Clipping Laboratories, Ohio University.

Athens, OH, 45701-2979, Estados Unidos. gierlows@ohio.edu

Abstract: The Guadix Basin (Betic Cordillera, S Spain) is the ideal scenario to study the auto- and allogenic processes controlling continental sedimentation in hydrologically closed-basins. The extension and the lateral and vertical continuity of the outcrops, together with abundant archaeological and palaeontological sites in the area, have allowed the interpretation of the evolution of the basin throughout the last 4 Ma and the factors controlling it. These studies become much more important due to their relation to the characterisation of palaeoenvironments inhabited by the first European hominins. In this work, we present a synthesis of the most significative stratigraphical, sedimentological, petrological and palaeoclimatic studies developed in the Guadix Basin in the last decade, and updated results regarding the allogenic factors that controlled the continental sedimentation in the basin.

Key words: Carbonates, continental sedimentation, fluvial-lacustrine, magnetostratigraphy, Pliocene, Quaternary, stable isotopes.

Resumen: La Cuenca de Guadix (Cordillera Bética, S de España) constituye un escenario ideal para el estudio de los procesos auto- y alogénicos que influyen en la sedimentación continental en cuencas hidrológicamente cerradas. La extensión y continuidad lateral y vertical de los afloramientos y la presencia de numerosos yacimientos arqueológicos y paleontológicos en la zona han permitido interpretar cómo evolucionó la cuenca durante los últimos 4 Ma, y qué factores influyeron en dicha evolución. Estos estudios cobran una mayor importancia al permitir la caracterización de los paleoambientes que constituyeron el hábitat de los primeros pobladores de Europa. En el presente trabajo se muestra una síntesis de los estudios estratigráficos, sedimentológicos, petrológicos y paleoclimáticos más destacados desarrollados en los últimos años en la Cuenca de Guadix y los resultados más novedosos respecto a los controles alogénicos que determinaron la sedimentación continental en la cuenca.

Palabras clave: Carbonatos, Cuaternario, fluvio-lacustre, isótopos estables, magnetoestratigrafía, Plioceno, sedimentación continental.



Viseras, C., Pla-Pueyo, S., Soria, J.M., Fernández, J., García-García, F., Gierlowski-Kordesch, E., Candy, I. y Schreve, D. (2014): Controles alogénicos sobre la ciclicidad en la sedimentación continental en la Cuenca de Guadix (Cordillera Bética, España) durante el Plioceno y Pleistoceno: estado del conocimiento. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 27(1): 223-238.

La geología de la Depresión de Guadix-Baza era bastante desconocida antes de los años 60 del pasado siglo. Impulsado por su maestro, el Profesor Fontboté, quien había realizado una serie de trabajos preliminares en la zona (Fallot *et al.*, 1950, 1967), Juan Antonio Vera obtiene en 1968 una Beca de la Fundación Juan March para llevar a cabo un estudio estratigráfico integral en esta cuenca.

Pronto empezaron a aparecer los frutos de aquella investigación con varias publicaciones que sentaron las bases de la estratigrafía del relleno marino (González Donoso y Vera, 1968; Vera, 1968) y continental (Vera, 1970a) de la cuenca. Sin duda el documento clave resultante fue la publicación en el *Boletín Geológico y Minero* del “*Estudio estratigráfico de la Depresión de Guadix-Baza*” (Vera, 1970b) donde se aportó una valiosísima cartografía y una serie de paneles de correlación que integraban a los conjuntos litoestratigráficos que se definían formalmente en ese trabajo.

Durante la década de los 70 Juan Antonio Vera contribuyó además al conocimiento del contexto geológico de algunos de los yacimientos de vertebrados más importantes de la zona (Botella *et al.*, 1975, Casas *et al.*, 1975), participó en proyectos cartográficos (Comas *et al.*, 1973) y trabajó sobre la influencia de la tectónica salina en la sedimentación (López Garrido y Vera, 1974).

En los 80, este prolífico investigador aportó importantes precisiones a la cronoestratigrafía de la cuenca (Cuevas *et al.*, 1984, Agustí *et al.*, 1985) y a los modelos sedimentarios de los conjuntos que integran su relleno (Rodríguez Fernández *et al.*, 1984; Soria *et al.*, 1987; Vera y Rodríguez Fernández, 1988).

Por último, en este siglo podemos destacar dos contribuciones significativas. Por un lado, el trabajo publicado en esta misma revista en el que se integra la estratigrafía de la cuenca en el conjunto del Terciario de la Cordillera Bética (Vera, 2000) y por otro la obra de divulgación sobre *Geología de Andalucía* (Vera y Molina Cámara, 2004). Así, en el capítulo dedicado a Cuencas Neógenas Postorogénicas de este gran proyecto (Fernández *et al.*, 2004), se destaca el caso singular de la Cuenca de Guadix-Baza y, a propuesta de Juan Antonio Vera, se plantea un itinerario geológico que permitirá a todo el mundo poder disfrutar de esta geología que a él tanto le apasionó.

En resumen, las aportaciones de Juan Antonio Vera han sido básicas para poder avanzar en el conocimiento de aspectos muy específicos de esta cuenca. En concreto, la individualización del conjunto sedimentario del Mioceno medio (adosado al margen de las Zonas Internas) respecto al relleno de la depresión postorogénica ha partido en gran medida en la infraestructura geológica creada por este autor. Su trabajo ha permitido también esclarecer otras cuestiones tales como el tránsito entre las etapas de sedimentación marina y continental, la evolución paleogeográfica de la cuenca en su estadio endorreico y los procesos

geológicos implicados en su transformación en un ámbito erosivo.

En la última década, los autores de este trabajo hemos desarrollado una línea de investigación encaminada a determinar el papel que los factores alogénicos ejercen sobre las características del sedimento en el sector occidental de la Depresión de Guadix-Baza (Cuenca de Guadix) y sobre el carácter cíclico o no de la sedimentación. En este trabajo damos un repaso al estado de conocimiento sobre estos aspectos y a las expectativas que se abren con el contraste de nuevos datos isotópicos y análisis de litofacies.

Los autores, como otros grupos que trabajan en esta cuenca, donde se han encontrado los restos humanos más antiguos del sur de Europa (Toro-Moyano *et al.*, 2013), somos conscientes del privilegio de haber podido contar con el paso previo de Juan Antonio Vera por estos afloramientos.

Contexto geológico

La gran Depresión intramontañosa de Guadix-Baza, también conocida como Cuenca de Guadix-Baza, engloba dos sectores en su relleno continental, el sector occidental, conocido como Cuenca de Guadix, y el sector oriental, conocido como Cuenca de Baza. Distintos autores han considerado la Depresión de Guadix-Baza como una sola cuenca, y a Guadix y Baza como subcuencas. Sin embargo, los autores de este trabajo consideran que las diferencias durante el Plioceno y el Pleistoceno entre ambos sectores a nivel paleogeográfico, sedimentológico y tectónico son suficientes como para hablar de dos cuencas menores diferentes, conectadas entre sí. Así, la sedimentación predominantemente fluvial en la Cuenca de Guadix y la distribución de los distintos sistemas de drenaje contrasta con la sedimentación eminentemente lacustre en la Cuenca de Baza. La subsidencia que afectaba a los depocentros en la Depresión de Guadix-Baza fue mucho mayor en general en la Cuenca de Baza que en la de Guadix, alcanzándose espesores de sedimentos de hasta 2 km en algunas zonas. Por lo tanto, en el presente trabajo, consideraremos que la Depresión de Guadix-Baza está formada por las cuencas de Guadix y de Baza, y nos centraremos en el estudio de la Cuenca de Guadix en su sector central (sector Fonelas-Cerro Mencal).

La cuenca neógeno-cuaternaria de Guadix se sitúa en el sector central de la Cordillera Bética (Fig. 1), sellando el contacto entre los dos dominios principales de la cadena montañosa, las Zonas Externas (correspondientes al Paleomargen Sudibérico, plegado y fallado, Vera, 2000), y las Zonas Internas (Bloque de Alborán, Andrieux *et al.*, 1971).

El relleno sedimentario de la Cuenca de Guadix se divide en seis unidades genéticas (Viseras *et al.*, 2004a, 2005), definidas a partir de la identificación de rupturas en la sedimentación reconocibles en toda la cuenca y derivadas de cambios tectónicos y/o climáticos, que se deposita-

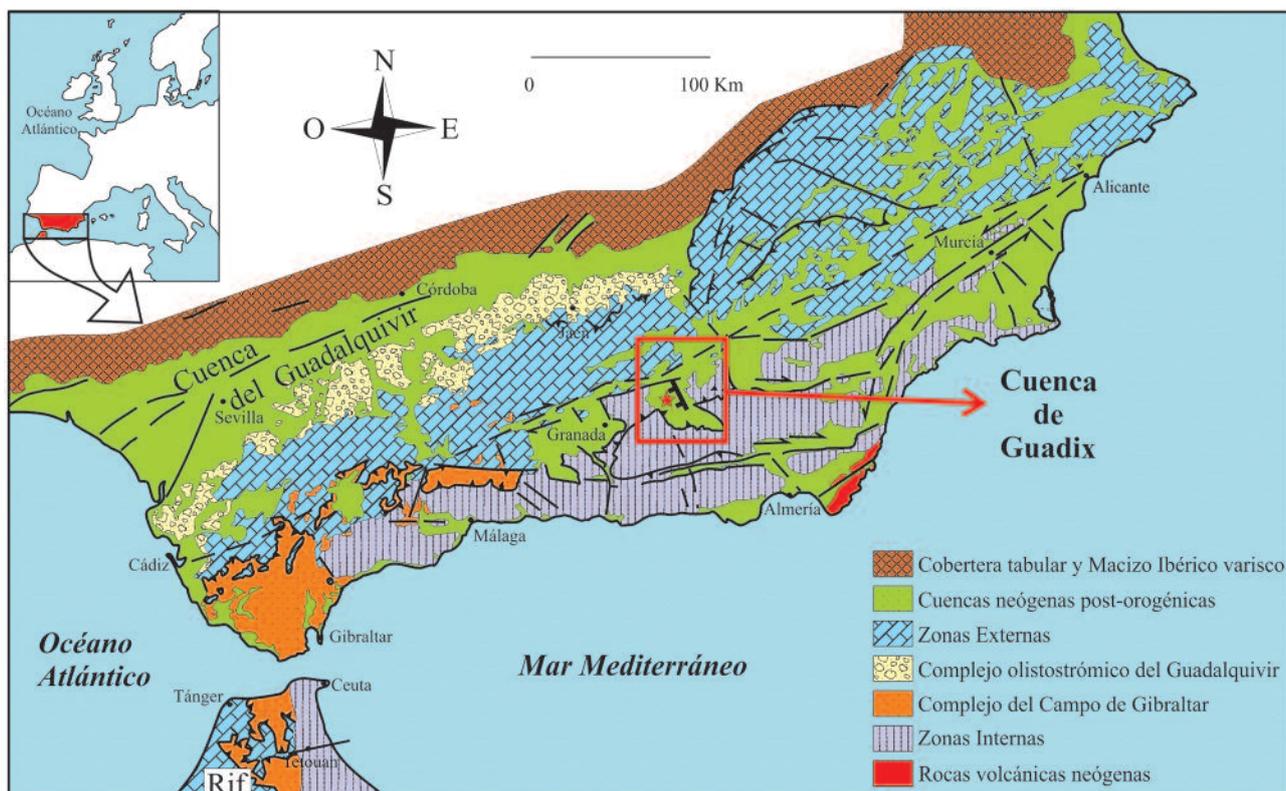


Fig. 1.- Contexto geológico de la Cuenca de Guadix en la Cordillera Bética (modificado de Vera, 2004 y Sanz de Galdeano, 2008). La Cuenca de Guadix se ha enmarcado en un recuadro, y la estrella señala la zona de estudio. Se señala también la posición de la falla Oeste Mencil al NE de la estrella con una línea más gruesa.

ron en dos etapas diferentes. La primera etapa, marina, está representada por las unidades genéticas I, II y III, de edad Tortoniense superior, mientras que la segunda etapa, ya totalmente continental, comprende las unidades IV, V y VI, que se depositaron entre el Tortoniense superior y el Pleistoceno Superior (Soria *et al.*, 1998, 1999; Viseras *et al.*, 2005). Durante el depósito de las unidades continentales V y VI (Plioceno-Pleistoceno Superior) la gran Depresión de Guadix-Baza era endorreica, y en su sector occidental (Cuenca de Guadix *s.s.*) coexistían tres sistemas de drenaje principales, que desembocaban en un gran lago somero situado en el sector oriental (Cuenca de Baza *s.s.*), que actuaba como nivel de base para toda la depresión. Los tres sistemas de drenaje consistían en un río principal que desembocaba en el sistema lacustre de la Cuenca de Baza y en dos sistemas de abanicos aluviales transversales a él. El denominado Sistema Axial (Viseras, 1991; Fernández *et al.*, 1996a, 1996b; Pla-Pueyo *et al.*, 2009a) era un sistema fluvial de alta sinuosidad situado en el valle central que discurría paralelamente al eje paleogeográfico de la cuenca. De los dos sistemas de abanicos, que alimentaban al Sistema Axial de forma transversal (ver Fig. 2), el Sistema Transversal Externo estaba formado por un conjunto de pequeños abanicos aluviales, en muchos sectores aislados unos de otros y que tenían su área fuente en los relieves de las Zonas Externas de la Cordillera Bética (Fernández *et al.*, 1991, 1993) situados al norte. Por el contrario, los abanicos aluviales del Sistema Transversal Interno se alimentaban desde el sur a partir de los relieves de las Zonas Internas de la cordillera, y se caracterizaban por su mayor

radio (hasta 15 km en algunas zonas) y por coalescer entre sí formando un sistema de bajada (Viseras y Fernández, 1992, 1994, 1995).

La distribución paleogeográfica de la cuenca cambió en el Pleistoceno Superior, cuando la red de drenaje fue capturada por la red del Río Guadalquivir, provocando un cambio de condiciones endorreicas a exorreicas en la Depresión de Guadix-Baza (Viseras y Fernández, 1992; Calvache *et al.*, 1996; Calvache y Viseras, 1997). Como resultado de este cambio en el régimen hidrológico, comenzaron a tener lugar en la zona intensos procesos de erosión, generando el encajamiento de la red fluvial y la exposición del relleno de la cuenca. Esta exposición ha facilitado la localización de numerosos yacimientos paleontológicos y arqueológicos tanto en la Cuenca de Guadix como en la de Baza, todos ellos de gran importancia desde el punto de vista de la caracterización de las migraciones faunísticas entre África, Asia y Europa durante el Plioceno y el Cuaternario, y de la ocupación humana del Sur de Europa durante este período de tiempo (Viseras *et al.*, 2009; Arribas *et al.*, 2008; Pla-Pueyo *et al.*, 2009, 2013; Toro-Moyano *et al.*, 2013, entre otros).

En este sentido, el sector central de la Cuenca de Guadix, ocupado por las facies medio-distales de los tres sistemas de drenaje mencionados anteriormente (pertenecientes a las unidades genéticas V y VI, que son las que afloran en este área), ha resultado ser especialmente prolífico en cuanto a la abundancia y la calidad de los yacimientos encontrados en él, como pueden ser el yacimiento de Solana del Zamborino (Botella *et al.*, 1975; Casas *et al.*, 1975;

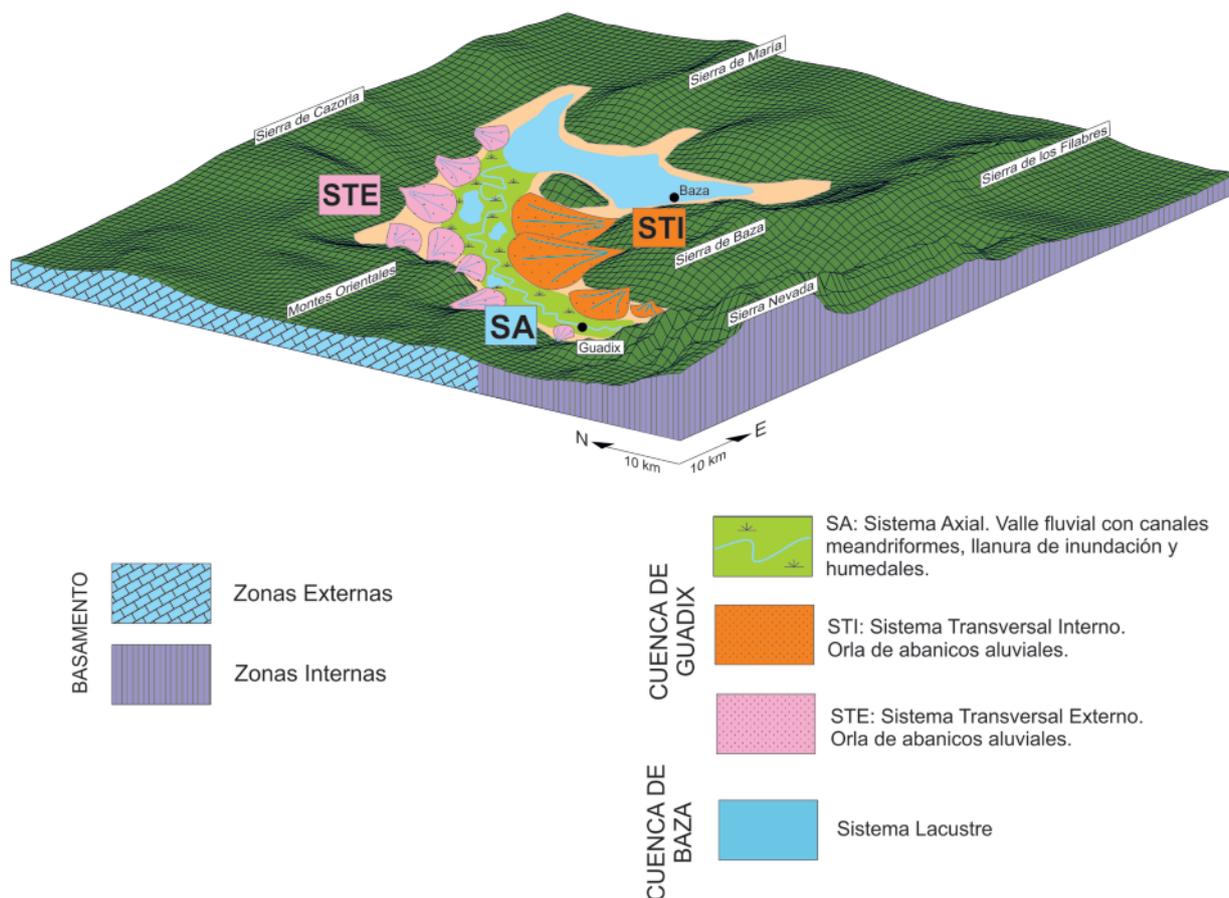


Fig. 2.- Configuración paleogeográfica de la Depresión de Guadix-Baza durante el Plioceno y Pleistoceno (modificada de Viseras *et al.*, 2006).

Martín-Penela, 1987) o el yacimiento de Fonelas Pocico-1 (Arribas, 2008; Arribas y Garrido, 2007; Arribas *et al.*, 2001, 2003, 2004, 2008; 2009a, b; Garrido, 2006; Garrido y Arribas, 2003, 2008; Viseras *et al.*, 2003, 2004b, 2006; Pla-Pueyo *et al.*, 2005, 2011, entre otras). Por esta razón, dicho sector ha sido objeto de numerosos estudios, no solamente de naturaleza paleontológica (*e.g.* Ruiz-Bustos, 1990; Minwer-Barakat, 2005; Martín-Suarez, 1988; Arribas *et al.*, 2008, 2009a, b; Garrido, 2006) sino también estratigráficos, sedimentológicos y paleoambientales (*e.g.* González-Donoso y Vera, 1968; Vera, 1968, 1970a, b, 1988; Vera *et al.*, 1991; Viseras, 1991; Viseras y Fernández, 1992, 1994, 1995; Pla-Pueyo, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2009a, b, c, 2011a, b, 2012a, b, c; Viseras *et al.*, 2006; Viseras y Pla-Pueyo, 2013). En los últimos años estos estudios han permitido caracterizar en detalle la arquitectura estratigráfica de la Cuenca de Guadix y determinar su evolución paleoambiental durante el Plioceno y el Cuaternario, información crucial a la hora de evaluar los factores que afectaron a la evolución y la migración de la fauna y los homínidos que habitaron la región durante este período de tiempo.

Arquitectura estratigráfica del sector central de la Cuenca de Guadix

En el sector central de la Cuenca de Guadix, donde afloran las unidades genéticas V y VI, aparecen la gran mayo-

ría de los yacimientos paleontológicos y arqueológicos cuaternarios localizados en la cuenca. La arquitectura estratigráfica de detalle se estableció a partir del levantamiento de un conjunto de columnas estratigráficas a escala 1:100 (Pla-Pueyo, 2006, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2006, 2007a; 2011a), su correlación mediante el seguimiento de capas observadas directamente en el campo y una cartografía a escala 1:25.000 realizada en el sector central de la Cuenca de Guadix (zona Fonelas-Mencal, Pla-Pueyo y Lorenzo Carnicero, 2010). El análisis paleomagnético de los sedimentos en tres de los perfiles estratigráficos permitió, con la ayuda de la información biocronológica existente (Arribas, 2008; Arribas *et al.*, 2001, 2004; Viseras *et al.*, 2006), calibrar la correlación litoestratigráfica desarrollada en el sector (Pla-Pueyo, 2006; Pla-Pueyo *et al.*, 2006) con la escala global de polaridad magnética ATNTS2004 (Gradstein *et al.*, 2004), y la datación de los yacimientos de grandes mamíferos localizados en el sector central de la cuenca de Guadix (Pla-Pueyo *et al.*, 2008a, 2009a, 2011a; Arribas *et al.*, 2009a). Asimismo, esta correlación permitió la extrapolación de una serie de líneas isócronas. Como consecuencia de esto, se pudo datar el límite entre las unidades genéticas V y VI en el centro de la cuenca, que se había identificado previamente a partir de datos de campo por un cambio drástico en las características sedimentológicas y extensión de los tres sistemas de drenaje (Sistema Axial, Transversal Interno y Transversal Externo) (Viseras, 1991). Además se pudo realizar el cálculo preciso de tasas de se-

dimentación en la zona (Pla-Pueyo *et al.*, 2008a, 2009a, 2011a).

Las diferencias en las condiciones sedimentarias y la arquitectura fluvio-lacustre en las unidades V y VI están controladas por la influencia relativa de la tectónica, el clima (hidrología y temperaturas) y los cambios del nivel de base (Viseras, 1991; Soria *et al.*, 1998; Pla-Pueyo *et al.*, 2009a), que se puede determinar aplicando los conceptos de la estratigrafía secuencial. Por lo tanto, una vez establecido el modelo sedimentario y planteadas las condiciones climáticas, tectónicas y de nivel de base para cada sistema en las unidades genéticas V y VI, se aplicó un modelo basado en el concepto de nivel de base estratigráfico (Pla-Pueyo *et al.*, 2009a, b), desarrollado a partir de las ideas de Martinsen *et al.* (1999) y Alonso-Zarza (2003). Durante el depósito de la unidad V en el sector estudiado existió una tasa de creación de espacio de acomodación relativamente elevada en el centro, que se atribuye en parte a la subsidencia tectónica generada por la actividad de la falla denominada Oeste Mencil (Soria, 1993), situada en la parte más septentrional del sector estudiado. Esta subsidencia se incrementa al sur de la falla, en lo que se denomina la zona central del estudio, mientras que al norte de la falla se localiza el alto tectónico o *horst* del Cerro Mencil, un alto topográfico en el que la creación de espacio de acomodación sería reducido (para una explicación más específica sobre la falla Oeste Mencil en el sector estudiado se remite a las publicaciones realizadas por Viseras, 1991; Soria, 1993; y Pla-Pueyo *et al.*, 2007). A esto se suma una tasa de sedimentación relativamente elevada en el centro, mientras que en los márgenes, en especial en el margen norte, se deducen tasas de sedimentación más reducidas (en Pla-Pueyo *et al.*, 2009a se puede consultar una explicación más detallada del modelo estratigráfico-secuencial y de las variaciones de la *ratio* espacio de acomodación/tasa de sedimentación para cada unidad en el centro y el margen durante el Plioceno y Pleistoceno). En la unidad VI, con la inactividad de la falla Oeste Mencil, se reduce la creación de espacio de acomodación en la zona centro. Esto se ve reforzado por el continuo levantamiento general que sufre la cuenca (Soria *et al.*, 1998), lo que, sumado a una topografía general más plana, genera una homogeneización de las tasas de sedimentación en el centro y los márgenes del sector central de la Cuenca de Guadix.

Las facies del Sistema Axial que aparecen en el sector estudiado, que se atribuyen al tramo medio-distal del sistema, presentan cuerpos arenosos canalizados aislados unos de otros y embebidos en las potentes sucesiones de sedimentos siliciclásticos de la llanura de inundación, con la aparición, en zonas alejadas del canal principal, de carbonatos palustres y paleosuelos inmaduros, que indicarían la existencia de áreas temporalmente encharcadas. En conjunto, estas facies, dominadas por sedimentos siliciclásticos (procedentes principalmente de la erosión de cuarcitas y micaesquistos de las Zonas Internas), coinciden con las de los cortejos sedimentarios de alto espacio de acomodación (secuencias de tipo HAS, en el sentido de Martinsen *et al.*, 1999) en las que la probabilidad de inundación es elevada (Pla-Pueyo, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2009a, b).

La creación de nuevo espacio de acomodación descendió durante el depósito de la unidad VI (Viseras, 1991; Soria *et al.*, 1998), en parte debido a que la falla Oeste-Mencil dejó de ser activa y se produjo una expansión del área de sedimentación respecto a la unidad infrayacente (Viseras, 1991). Así, durante la unidad VI se produjo una homogeneización de los espesores de sedimento en los márgenes y el centro (Pla-Pueyo *et al.*, 2008).

El aporte de sedimentos durante el depósito de la unidad VI pudo ser similar o incluso menor al de la predecesora unidad V, pues, debido al ensanchamiento de la cuenca (Viseras, 1991) y a una reducción del espacio de acomodación total, la tasa de sedimentación sería menor (Pla-Pueyo *et al.*, 2008a, 2011a). Wright y Marriott (1993) mencionan la reducción de la capacidad de almacenamiento en cuencas cerradas durante las últimas etapas de relleno. Partiendo de los datos anteriores y de los estudios sedimentológicos realizados con anterioridad en esta unidad, en los que en el centro del sector predominan las capas de carbonatos palustres apiladas en la vertical, que se extienden lateralmente más de un km, la unidad VI correspondería a un cortejo sedimentario de baja acomodación (LAS, Pla-Pueyo *et al.*, 2009a, b), según el modelo elaborado a partir de las ideas de Martinsen *et al.* (1999) y Alonso-Zarza (2003).

Carácter cíclico de la sedimentación durante el Plioceno y el Pleistoceno

La posibilidad de precisar, durante el depósito de las unidades V y VI (Plioceno-Pleistoceno), la edad de los sedimentos del sector central de la Cuenca de Guadix puso en evidencia que las 16 progradaciones del Sistema Transversal Interno mejor registradas en el centro de la cuenca (Pla-Pueyo *et al.*, 2008b, 2011b, 2012a; Viseras y Pla-Pueyo, 2013), que alternan de forma cíclica con sedimentos del Sistema Axial en lo que sería el antiguo valle axial (Fig. 3), se repiten a intervalos de tiempo aproximadamente regulares, en dos escalas diferentes. Los intervalos más prolongados entre progradaciones coinciden aproximadamente con ciclos de *c.a.* 400 ka, mientras que los más reducidos equivalen a ciclos de *c.a.* 100 ka, entrando ambos rangos temporales en la banda de ciclicidad astronómica de Milankovitch (1941), aunque de un rango mucho mayor que la ciclicidad precesional (*c.a.* 20 ka) registrada en la cuenca para sedimentos del Mioceno (García-García *et al.*, 2009), por lo que el siguiente paso fue el estudio en detalle de dicha ciclicidad (Pla-Pueyo *et al.*, 2008b, 2011b, 2012a). Para ello, se realizaron en primer lugar análisis sedimentológicos y petrológicos en ambos sistemas, que se detallan a continuación.

Sedimentología de los conjuntos que afloran en el sector central de la cuenca

La ciclicidad observada en el sector central de la Cuenca de Guadix es el resultado de la progradación iterativa de los abanicos aluviales que conforman el Sistema Transversal Interno sobre los sedimentos de llanura de inundación del Sistema Axial. Aunque ambos sistemas son

parecidos en cuanto a la litología que conforma sus sedimentos, presentan generalmente una coloración diferente, debida fundamentalmente a diferencias en los procesos de oxidación y reducción que tuvieron lugar en cada uno (Pla-Pueyo, 2009). Los sedimentos del Sistema Axial, fluviales y palustres, presentan coloraciones que van desde gris oscuro (el color natural dado por la composición litológica del área fuente, donde predominan las pizarras, esquistos y cuarcitas) hasta blanco, en aquellos depósitos autigénicos de naturaleza carbonatada precipitados en ambiente palustre-lacustre. En cambio, los sedimentos del Sistema Transversal Interno presentan mayoritariamente un color rojo ladrillo, debido a procesos de oxidación relacionados con una mayor exposición subaérea de los sedimentos aluviales. Esto hace que la alternancia entre uno y otro sistema pueda apreciarse a simple vista en el campo (Fig. 3). Sin embargo, la coloración es variable y no puede utilizarse como único criterio para explicar la ciclicidad.

Utilizando como punto de partida las descripciones sedimentológicas de las facies continentales publicadas anteriormente para los sistemas Axial y Transversal Interno (Viseras, 1991; Viseras y Fernández, 1994, 1995; Viseras *et al.*, 2006; Pla-Pueyo, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2007a, c, 2009a, c, 2010), se realizó un análisis preliminar de la ciclicidad (Pla-Pueyo *et al.*, 2008b) que puso de manifiesto la insuficiencia de datos para determinar si hay o no un origen astronómico en la alternancia de los dos sistemas en el valle axial (Pla-Pueyo *et al.*, 2011b, 2012a). A continuación se proporciona el análisis detallado de la sedimentología de ambos sistemas de paleodrenaje en los perfiles estudiados, con objeto de mostrar la base para los posteriores estudios que se han realizado sobre la ciclicidad.

Sistema Axial (SA)

Los sedimentos del Sistema Axial muestran diferentes elementos arquitectónicos y secuencias (en el sentido que ya se ha utilizado en publicaciones anteriores, tales como Pla-Pueyo, 2009 o Pla-Pueyo *et al.*, 2010) dependiendo de la unidad genética a la que pertenezcan, la V o la VI. Hay una descripción detallada de cada elemento arquitectónico del Sistema Axial en el sector central de la Cuenca de Guadix (orden 2) y de las litofacies que lo conforman (orden 1) en Pla-Pueyo *et al.* (2009a), por lo que nos referiremos solamente a la secuencia ideal (orden 3) y al conjunto de sedimentos que conforman un semiciclo en la alternancia entre los sistemas Axial y Transversal Interno (varios elementos de orden 3 de un sistema de drenaje, agrupados para formar un elemento de orden 4). Los elementos de orden 4 serán discutidos a nivel general cuando se hable de la alternancia entre ambos sistemas, puesto que lo que da entidad a estos elementos es la presencia a muro y a techo de sedimentos del otro sistema de drenaje delimitándolos, y no una estructura interna única y/o específica de dichos elementos de orden 4.

La secuencia característica del Sistema Axial en la Unidad V (Fig. 4), granodecreciente hacia techo, presenta una potencia media de unos 3 m, y comienza con un canal de alta sinuosidad a la base (generalmente arenoso, pero a

veces dominado por gravas) que muestra acreción lateral y que va cambiando lateral y verticalmente a las arenas, limos y arcillas de la llanura de inundación (Viseras *et al.*, 2006; Pla-Pueyo, 2009). En la secuencia ideal, puede apreciarse un incremento en el contenido en carbonato o en materia orgánica en la llanura de inundación, y una evolución a condiciones palustres, de forma que a techo de la secuencia aparece un nivel carbonatado que oscila entre los 5 y los 50 cm de espesor. Los rasgos de estos sedimentos palustres han sido estudiados con detalle en trabajos anteriores (Pla-Pueyo *et al.*, 2007a, c, 2009a, 2010; Pla-Pueyo, 2009), y se han interpretado como sedimentos depositados bajo lámina de agua, en cuerpos efímeros de aguas quietas en zonas restringidas de la llanura de inundación del Sistema Axial, que han sufrido exposición subaérea variable por desecación probablemente estacional de las charcas y lagunas.

Se ha observado también la aparición de paleosuelos poco extensos lateralmente en la parte superior de la secuencia, relacionados lateralmente con carbonatos palustres en muchos de los casos. Los rasgos que caracterizan estos paleosuelos grisáceos son similares a los que se aprecian en las calizas palustres, un moteado amarillo-anaranjado y bioturbación por raíces (Pla-Pueyo, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2009a), lo que permite identificarlos como suelos pobremente drenados, siguiendo la clasificación de Kraus y Hasiotis (2006). Esta interpretación es consistente con otros ejemplos descritos en la literatura (Kraus y Aslan, 1993; Kraus y Gwinn, 1997; Kraus, 1998, entre otros). La importancia de estos paleosuelos hidromórficos desde el punto de vista paleoambiental es que indican un nivel freático fluctuante, pero elevado la mayor parte del tiempo, lo que es perfectamente compatible con la información obtenida de los carbonatos palustres. En los paleosuelos estudiados en la *Bighorn Basin* en Estados Unidos (Kraus y Gwinn, 1997) se muestra cómo el grado de madurez y las condiciones hidromórficas pueden depender del tamaño de grano, y por tanto, de la distancia a la fuente local de sedimento (Kraus, 1999). En el área del presente estudio, la baja proporción de cuerpos sedimentarios de grano grueso probablemente implica una posición relativamente distal en la llanura de inundación respecto a la fuente principal de sedimento, que sería el canal principal del Sistema Axial. En esta posición, los sedimentos de grano fino, impermeables, se acumularían en mayor proporción, provocando, cuando el nivel freático bajase, la generación de paleosuelos hidromórficos pobremente drenados, de color grisáceo. La poca extensión lateral y poca potencia de los paleosuelos indica que no llegaron a un grado de madurez importante y, que aunque hubiera períodos de desecación, los paleosuelos estarían la mayor parte del tiempo saturados de agua. Por tanto, indican unas condiciones relativamente húmedas o con mayor disponibilidad de agua.

Cada una de las unidades litológicas del Sistema Axial que alterna con una progradación del Sistema Transversal Interno en la unidad V estaría, pues, formado por una red de canales de alta sinuosidad, que irían variando de posición con el tiempo al fluir por el valle central de la cuenca, que estaría dominado por sedimentos finos de la llanura de inundación (Viseras, 1991; Fernández *et al.*, 1996b; Vise-

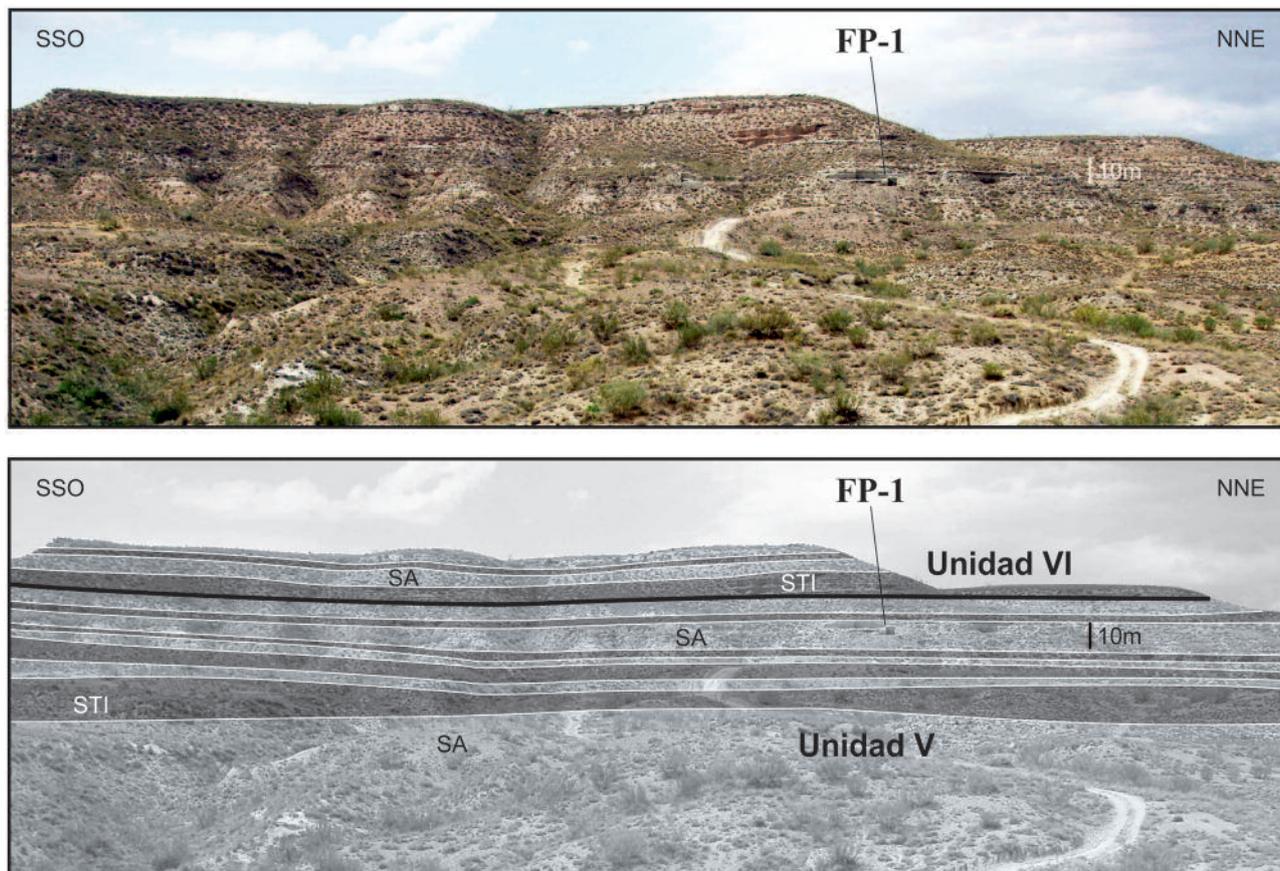


Fig. 3.- Ejemplo de la ciclicidad observada entre los sedimentos del Sistema Transversal Interno (STI, bandas oscuras en la figura inferior) y el Sistema Axial (SA, bandas claras en la figura inferior) en la serie Fonelas P-1 (tomada de Pla-Pueyo, 2009).

ras *et al.*, 2006; Pla-Pueyo *et al.*, 2009a) y cuerpos de aguas quietas, relativamente desconectados entre sí, que conformarían, junto con los canales secundarios y la llanura de inundación, un humedal de tipo fluvial (Pla-Pueyo *et al.*, 2011c, 2012b).

Por todo lo anterior, el análisis sedimentológico del Sistema Axial en la unidad V apunta a unas condiciones climáticas relativamente húmedas para los intervalos en los que el valle central estaba dominado por este sistema.

La unidad VI, en cambio, representa un cambio importante en las condiciones hidrológicas del Sistema Axial. Es la última etapa en la evolución de la Cuenca de Guadix (Fernández *et al.*, 1996; Viseras *et al.*, 2005), y coincide con un período en que la falla del Mencal (Soria, 1993), que afecta de manera importante a la sedimentación en el sector central de la cuenca durante la Unidad V, deja de ser activa, y predomina el levantamiento general de la cuenca (Soria *et al.*, 1998). El final de la etapa de elevación lo marca la colmatación de la cuenca a unos 1000 m de altitud (Soria *et al.*, 1998). El espacio de acomodación disponible se reduce gradualmente, por lo que la topografía de la cuenca en la Unidad VI es cada vez más plana. Esto afecta a la distribución espacial de los tres sistemas de drenaje (Viseras, 1991) y a sus rasgos sedimentológicos, pues el nivel de base cada vez es más elevado.

En el caso del Sistema Axial, el canal principal se situaría ahora en una posición más oriental (Pla-Pueyo, 2009), de forma que en su zona central predominan total-

mente los sedimentos de grano fino, quedando los canales arenosos y de gravas restringidos sobre todo a la zona Este del sector central de la Cuenca de Guadix. La secuencia ideal en las zonas Oeste y centro (Fig. 4) muestra, por tanto, sedimentos finos marrón-grisáceos de llanura de inundación que pasan hacia techo a carbonatos palustres. En cuanto a los carbonatos, los niveles se hacen mucho más extensos, alcanzando varios kilómetros de extensión lateral, y se apilan en la vertical formando acumulaciones de hasta 1,5 m de potencia (Pla-Pueyo *et al.*, 2009a). El análisis de estos carbonatos ha revelado que, aunque presentan el mismo tipo de rasgos que los carbonatos de la unidad V, el grado de edafización es menor en general y, por tanto, podría deducirse que las fluctuaciones del nivel freático eran menos importantes durante la unidad VI, permitiendo al agua una mayor permanencia (Pla-Pueyo *et al.*, 2009a) y generando extensas zonas de humedales (Pla-Pueyo *et al.*, 2011c, 2012b). Aunque se ha sugerido en trabajos anteriores (*e.g.* Pla-Pueyo *et al.*, 2009a), no es necesario invocar un clima más húmedo que el de la unidad V en este caso, puesto que la topografía plana favorecería que el agua se acumulara durante más tiempo en estas extensas lagunas, y por tanto el tiempo de exposición aérea fuera algo menor. La presencia de humedales en el centro y sur de España en la actualidad (*e.g.* Las Tablas de Daimiel, Valdeolmillos-Rodríguez *et al.*, 2011), o incluso en zonas áridas de África demuestra que no es imprescindible un clima húmedo para mantener un humedal en funcionamiento, ya que la hidro-

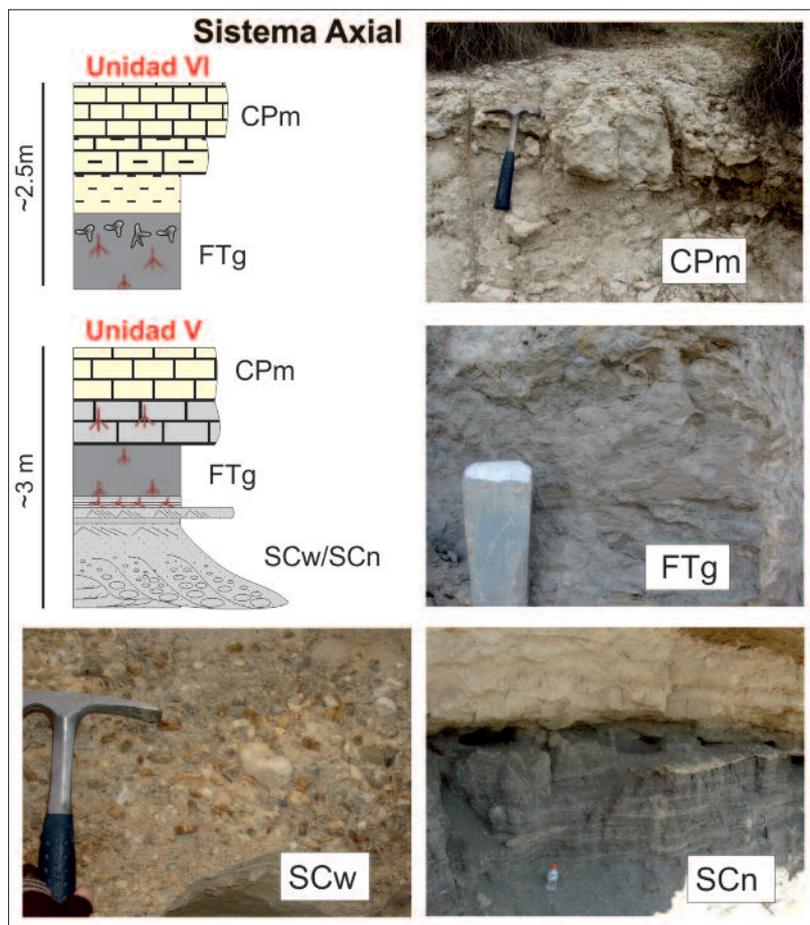


Fig. 4.- Secuencia ideal del Sistema Axial en las unidades genéticas V y VI en el sector central de la Cuenca de Guadix. Las abreviaturas indicadas en la figura corresponden a los elementos arquitectónicos de segundo orden identificados para la zona de estudio en Pla-Pueyo (2009). SCw=canales de gravas y arenas; SCn=canales arenosos; FTg=capas arenoso-arcillosas grises; CPM=cuerpos carbonatados palustres.

logía y la presencia de acuíferos tienen un papel muy importante en la alimentación del humedal a través del agua subterránea (Ashley *et al.*, 2013).

Sistema Transversal Interno (STI)

En el caso del Sistema Transversal Interno, las diferencias entre los sedimentos de las unidades V y VI son más difíciles de apreciar debido a una menor exposición de los sedimentos en el sector central por la erosión sufrida desde el proceso de captura fluvial que afectó a la cuenca. A pesar de ello, se pueden observar diferencias en cuanto a la extensión de los abanicos, las áreas fuente y la distribución de las facies proximales, medias y distales dentro del sistema, y algunas diferencias a nivel sedimentológico, especialmente relacionadas con el tipo de carbonatos continentales que aparecen y el grado de exposición subaérea que se deduce a partir de ellos.

La secuencia ideal en el sector estudiado es similar en ambos casos (Fig. 5), granodecreciente, y comienza con un canal o conjunto de canales groseros (complejos pseudotabulares) con base erosiva, ya descritos en trabajos previos (Viseras, 1991; Viseras y Fernández, 1992, 1994, 1995; Pla-Pueyo, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2011b), con una potencia de

hasta 3 m y una extensión lateral hectométrica (hasta 250 m), que pasan vertical y lateralmente a arenas y lutitas correspondientes a sedimentos de interlóbulo y de llanura de inundación afectada por procesos de oxidación durante la exposición subaérea.

Los cuerpos pseudotabulares de gravas del Sistema Transversal Interno que afloran en el área de estudio se han interpretado como el resultado de la actuación de canales de estilo trenzado que ocuparon la parte distal de un abanico aluvial con su área fuente localizada al sur, en la Sierra de Baza (Viseras y Fernández, 1995). Este sistema presentaba una elevada tasa de migración de los canales, que rara vez superaban 1.5 m de profundidad y 10-15 m de anchura.

A continuación de los complejos pseudotabulares, se observan, en la secuencia característica, sedimentos más finos, arenas, limos y arcillas, que tienden a presentar una coloración rojiza intensa (Fig. 5). Es frecuente también la aparición de rizohalos grisáceos y de nódulos de carbonato en la parte alta de la secuencia, atribuidos a la formación de paleosuelos bien drenados (según la clasificación de Kraus y Hasiotis, 2006) que, a veces, evolucionan hasta formar una calcreta nodular (Pla-Pueyo, 2009) que, en la unidad V, nunca llega a ser una calcreta madura (Fig. 5). Algunas veces, a techo de la secuencia

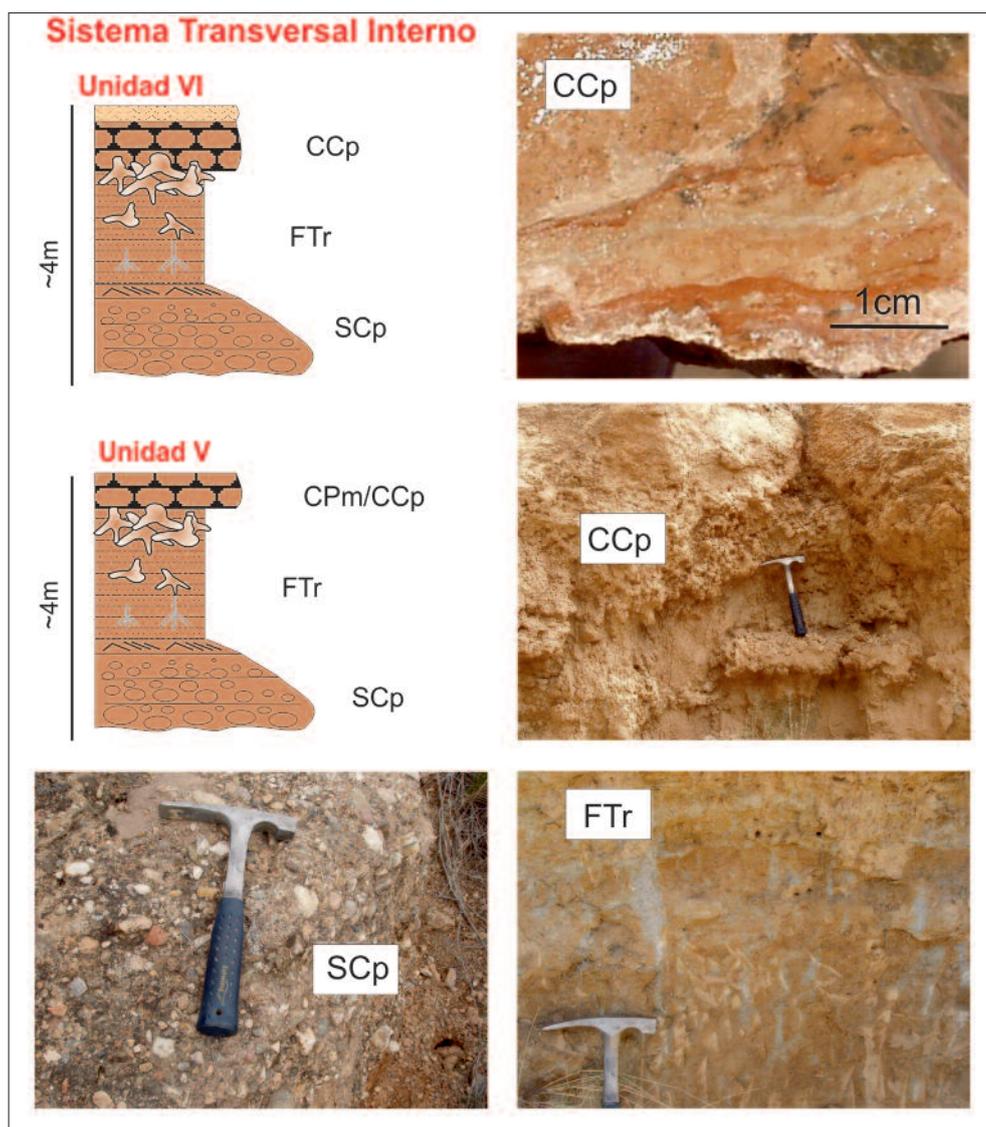


Fig. 5.- Secuencia ideal del Sistema Transversal Interno en las unidades genéticas V y VI en el sector central de la Cuenca de Guadix. Las abreviaturas indicadas en la figura corresponden a los elementos arquitectónicos de segundo orden identificados para la zona de estudio en Pla-Pueyo (2009). SCp= complejos canaliformes pseudotabulares; FTr= capas arenoso-arcillosas rojas; CCP= calcretas pedogénicas con distintos grados de madurez. Nótese como la fotografía superior muestra una calcreta de la unidad VI, con una madurez elevada, mientras que la fotografía inferior muestra una calcreta nodular poco desarrollada, muestreada en la unidad V.

aparece un carbonato palustre, con un tono rosáceo. En el caso de la unidad genética VI, sí que se observa el desarrollo de calcretas complejas, muy maduras, que ponen en evidencia una exposición subaérea muy prolongada (Fig. 5) (Azañón *et al.*, 2006; Pla-Pueyo *et al.*, 2007a, 2009a; Pla-Pueyo, 2009).

Esta secuencia se interpreta como el resultado de una disminución en la disponibilidad de agua. Así, el complejo de canales activos estaría indicando el momento de mayor disponibilidad de agua, y el desarrollo de suelos rojos bien drenados en los sedimentos finos y la aparición de nódulos calcáreos y calcretas nodulares están indicando una desecación progresiva, una edafización incipiente y una exposición subaérea relativamente prolongada. La evolución de esta secuencia sería opuesta a la del Sistema Axial, en la cual el nivel de base (en este caso el nivel freático)

tiende a ascender, generando el encharcamiento y la aparición de una caliza palustre (Pla-Pueyo, 2009). En algunas de las secuencias observadas en campo también aparece, como en el Sistema Axial, una caliza palustre a techo de las lutitas, aunque en este caso, no suele tratarse de un cambio gradual ni de un incremento en el contenido en carbonato precipitado, sino que la caliza palustre se deposita sobre un paleosuelo, por lo que habría que tratarla como una nueva secuencia de reinundación. Se podría interpretar como el resultado de una subida repentina del nivel freático tras un período de condiciones más secas. Una subida del nivel de base local, junto con el bajo gradiente de la topografía en el valle axial, provocaría el encharcamiento de extensas áreas, incluyendo las áreas marginales donde se encontrarían los sedimentos del Sistema Transversal Interno.

Como ya se ha mencionado anteriormente, esta secuencia ideal es similar para las unidades V y VI (Fig. 5), aunque en la unidad VI aparecen calcretas con una madurez textural elevada, que no se encuentra en ninguna de las calcretas de la unidad V. El importante desarrollo de las calcretas de la unidad VI podría interpretarse como un incremento en la exposición subaérea de los sedimentos, y por tanto, como una mayor aridez.

En términos relativos, los sedimentos del Sistema Transversal Interno, con la presencia de calcretas y paleosuelos bien drenados, apuntan a unas condiciones climáticas más áridas que los sedimentos del Sistema Axial.

Geoquímica de los sedimentos carbonatados

Aunque el análisis sedimentológico nos proporciona algunas claves sobre la posible influencia climática en la sedimentación, el análisis de litofacies ha demostrado no ser suficiente a la hora de interpretar la ciclicidad detectada en el sector central de la Cuenca de Guadix (Pla-Pueyo *et al.*, 2011b, 2012a; Viseras y Pla-Pueyo, 20013). Hay autores que sugieren que los abanicos aluviales se reactivan cuando las condiciones climatológicas son más húmedas, y otros que atribuyen un mayor desarrollo de los mismos a períodos más áridos y secos, lo cual afecta enormemente a la correlación que se pueda realizar entre los ciclos de cada sistema y los mínimos o máximos de excentricidad orbital de la tierra (para una discusión más detallada, ver Pla-Pueyo *et al.*, 2012a).

Como parte del estudio integral de los sedimentos de la Cuenca de Guadix, se han analizado los isótopos estables de oxígeno y carbono en un conjunto de muestras de carbonatos que incluyen calcretas, nódulos carbonatados edáficos y carbonatos palustres tanto de los márgenes como del centro del sector central de la Cuenca de Guadix. Algunas muestras, que no se han incluido en el presente estudio, pertenecen a tobas calcáreas. Aunque la interpretación y publicación del volumen total de los datos aún está en proceso, para este trabajo se han utilizado los datos isotópicos publicados recientemente por Pla-Pueyo *et al.* (2012c) pertenecientes a varios perfiles estratigráficos en los que la alternancia de los sistemas Axial y Transversal Interno es más evidente, todos ellos situados en la

zona este del sector central de la Cuenca de Guadix, incorporando perfiles tanto del margen cercano a las Zonas Internas como de la zona central de la cuenca (Tabla I). En este sentido, se han considerado las muestras de margen y centro equivalentes a la hora de representar los resultados

	Margen	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Centro	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
UNIDAD VI	16 PB-4 30B [^]	-6,36	-5,55			
	BB-09 [^]	-5,58	-5,73			
	BB-01 [^]	-7,31	-5,89			
	PB-4 29 [^]	-6,70	-6,25	FSCC1-01 [^]	-6,77	-5,89
	15					
				FSCC1-03U [^]	-7,06	-5,54
				FSCC1-03M [^]	-7,58	-5,33
				FSCC1-03L [^]	-7,31	-5,19
	14					
	PB-4 26 [^]	-4,77	-5,69			
	BB-08 [^]	-7,01	-7,09			
	13 PB4-07 [^]	-8,20	-7,06			
	BB-07B [^]	-7,62	-7,12			
	BB-07A [*]	-7,80	-6,94			
				FP-1 37A [^]	-6,79	-5,85
	12					
PB-4 15B [^]	-7,37	-6,92				
BB-06 [^]	-7,06	-6,89				
UNIDAD V				L-1 48 [^]	-6,72	-4,82
	11 BB-04 [*]	-7,66	-7,22			
	BB-03 [^]	-8,20	-7,42			
				CC1-07 [^]	-7,91	-6,06
	9 BB-02 [^]	-7,93	-7,77			
	8-9			CC1-06 [^]	-6,45	-5,90
	8			CC1-05 [^]	-5,05	-5,48
	7 PB4-05 [^]	-8,60	-8,10			
	6			FP-1 23 [^]	-8,14	-7,25
				FP-1 22 [^]	-8,01	-6,78
				L-1 44 [^]	-8,85	-6,98
	5 PB4-04 [^]	-8,28	-8,60			
				VY-07 [^]	-8,19	-7,88
	4			FP-1 19 [^]	-7,95	-7,23
				VY-06C [^]	-8,22	-7,41
				VY-06B [^]	-7,88	-7,60
			FP1-I-01M [^]	-7,93	-7,44	
			CC1-04 [^]	-7,71	-8,01	
			L-1 34 [^]	-7,82	-7,29	
			BP-04 [^]	-8,75	-8,05	
2			BP-03 [*]	-7,35	-7,43	
			BP-06 [^]	-7,06	-6,89	
			2 FP-1 4 [^]	-8,40	-8,19	
			L-1 17 [^]	-7,62	-7,12	
			BP-07 [*]	-8,32	-5,77	
1 PB4-02 [^]	-8,35	-8,19				

Tabla I.- Composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en ‰) de los carbonatos continentales (palustres indicados con “^” y calcretas y nódulos edáficos identificados con “*”). Las muestras se presentan en orden estratigráfico y pertenecen a los perfiles Barranco de Belerda-1 (muestras BB-n), Fonelas Puente de Belerda-4 (muestras PB4-n y PB-4 n), Fonelas Pocico-1 (muestras FP1-I-n y FP-1), Fonelas Solana Cortijo del Conejo-1 (muestras CC1-n and FSCC-1 n) y Fonelas Barranco de las Palomas-Solana Vereda de las Yeguas-1 (muestras BP-n, VY-n, PBL-n y L-1 n). Las celdas en un color más oscuro (naranja en la versión online del documento) corresponden a muestras tomadas en las progradaciones del Sistema Transversal Interno sobre el valle axial (progradaciones numeradas del 1 al 16 en publicaciones anteriores), mientras que las celdas en gris corresponden a muestras del Sistema Axial.

gráficos, puesto que no se han identificado patrones distintos en las muestras de cada sistema por el hecho de haberse tomado en el centro o en el margen. Dado que la composición isotópica de las muestras depende en gran medida del agua en la que se forma el carbonato, la procedencia de dicha agua depende en el sector estudiado del sistema de drenaje, y no de la distancia al centro de la cuenca. Por tanto, la única distinción que se hará será entre los distintos sistemas de drenaje, y entre las dos unidades genéticas, por los cambios litológicos, sedimentológicos y texturales que se observan entre ellas en cada sistema (Pla-Pueyo *et al.*, 2009a).

Las muestras analizadas (Tabla I) pertenecen a los perfiles Barranco de Belerda-1, Fonelas Puente de Belerda-4, Fonelas Pocico-1, Fonelas Solana Cortijo del Conejo-1 y Fonelas Barranco de las Palomas-Solana Vereda de las Yeguas-1. Una exposición detallada de la metodología utilizada para analizar los carbonatos se proporciona en el artículo publicado por Pla-Pueyo *et al.* (2012c).

El criterio seguido al seleccionar los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ que se utilizan en este trabajo ha sido el de proporcionar al menos un dato isotópico para cada uno de los intervalos de los sistemas de paleodrenaje que alternan en el sector central de la Cuenca de Guadix, de forma que se expongan la gran mayoría de los ciclos identificados en ambas unidades genéticas (en la Tabla I aparecen los 16 ciclos numerados). Por esta razón, al representar gráficamente los resultados obtenidos (Fig. 6), los datos se han agrupado en función del sistema de drenaje al que pertenece el carbonato analizado (Sistema Axial o Sistema Transversal Interno), y en función de la unidad genética correspondiente (Unidad V o VI). Es importante tener en cuenta que los resultados ob-

tenidos en este trabajo se basan en 13 muestras para cada sistema en la unidad V, y 8 muestras para cada sistema en la unidad VI, de forma que futuros estudios con mayor volumen de muestra pueden generar interpretaciones que difieran ligeramente de lo que aquí se presenta.

Los valores isotópicos de todos los carbonatos continentales muestreados en el Sistema Axial (ver Tabla I) muestran en general una correlación muy pobre ($r^2=0,28$) en comparación con los valores del Sistema Transversal Interno ($r^2=0,75$), que se refleja también en la correlación entre valores para cada una de las unidades genéticas en cada uno de los sistemas (Fig. 6).

Durante los intervalos de la unidad V en los que el Sistema Axial ocupa el valle central, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio=-7,88‰) y $\delta^{18}\text{O}$ (promedio=-7,01‰) presentan una elevada dispersión ($r^2=0,18$). Esta ausencia de correlación se incrementa ligeramente en la unidad VI ($r^2=0,08$), siendo los valores medios de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio=-7,24‰) y $\delta^{18}\text{O}$ (promedio=-6,12‰) de los carbonatos del Sistema Axial algo más pesados (más positivos) en esta unidad. Estos datos, que encajan perfectamente con otros ejemplos de sistemas fluvio-palustres publicados por otros autores (*e.g.* Alonso-Zarza, 2003; Valdeolmillos-Rodríguez *et al.*, 2011; Alonso-Zarza *et al.*, 2012) pueden interpretarse como el resultado de sistemas abiertos, en los que la circulación continua de agua, ya sea meteórica o subterránea, evita que la evaporación tenga un papel importante en el fraccionamiento de los isótopos estables de O y C (Alonso-Zarza, 2003; Leng y Marshal, 2004; Alonso-Zarza y Tanner, 2010; Deocampo, 2010).

En el caso de las progradaciones del Sistema Transversal Interno en el valle axial, existe una correlación positiva

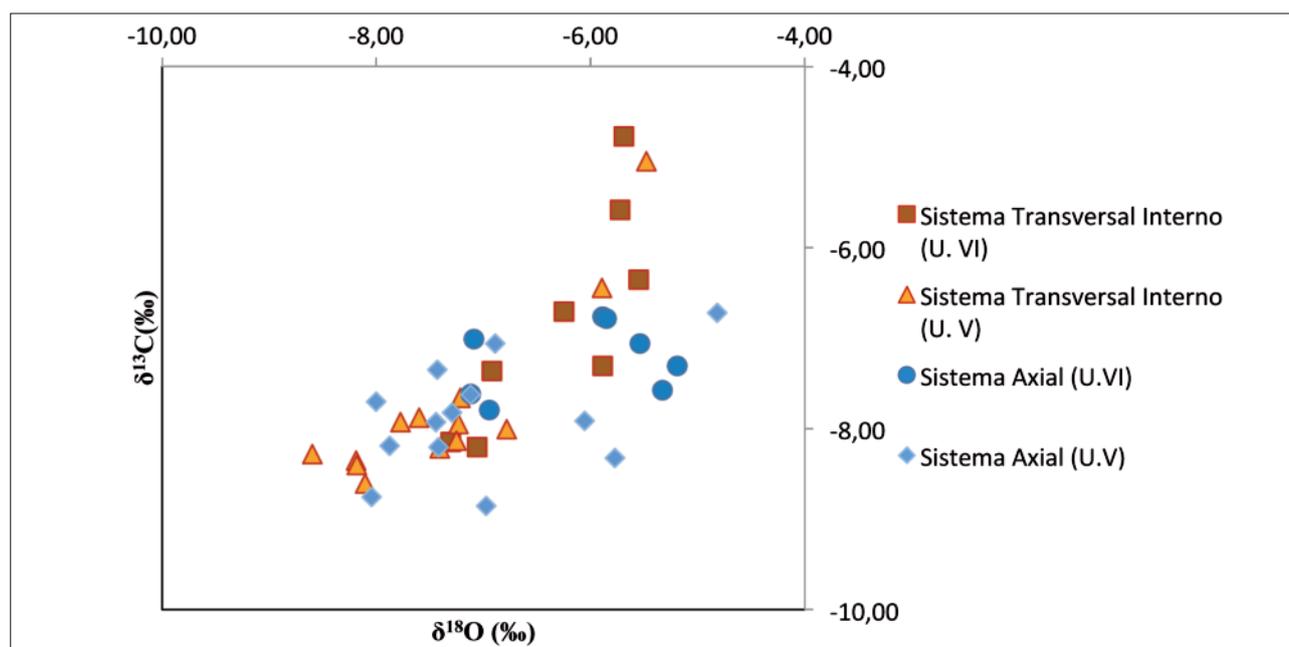


Fig. 6.- Gráfica con los resultados preliminares de los análisis de isótopos estables de O y C llevados a cabo en los carbonatos continentales (calcretas, nódulos de suelo y carbonatos palustres) del sector central de la Cuenca de Guadix (ver Tabla I), agrupados en función del sistema de drenaje al que pertenecen (Sistema Axial o Sistema Transversal Interno) y unidad genética (unidad V o VI). Los valores medios para cada isótopo en cada sistema y unidad se detallan en el texto en el apartado que trata de la geoquímica. (Datos publicados originalmente en Pla-Pueyo *et al.*, 2012c).

entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de los carbonatos continentales formados en relación con dichas progradaciones ($r^2=0,75$), ligeramente diferente para las unidades V y VI (Fig. 6). En el caso de la unidad V, los carbonatos muestreados en el Sistema Transversal Interno aportan valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio=-7,76‰) y $\delta^{18}\text{O}$ (promedio=-7,36‰) que se correlacionan positivamente entre sí ($r^2=0,77$), mientras que para la unidad VI, la dispersión de los datos de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio=-6,81‰) y $\delta^{18}\text{O}$ (promedio=-6,30‰) es ligeramente mayor ($r^2=0,68$). En ambos casos, siguiendo ejemplos similares de estudios isotópicos en la zona mediterránea (Candy *et al.*, 2012), puede interpretarse la correlación positiva de los valores como resultado de la evaporación, condicionada por la aridez (Pla-Pueyo *et al.*, 2012c) en sistemas relativamente cerrados en los que se estaban depositando los carbonatos.

Los datos isotópicos varían ligeramente de la unidad V a la unidad VI en ambos sistemas, pero hay dos variaciones que llaman la atención. La primera, y de mayor interés para este trabajo, es la diferencia entre ambos sistemas. Las muestras del Sistema Transversal Interno tienen una correlación positiva en ambas unidades que no presentan los valores de los carbonatos del Sistema Axial. Esto puede interpretarse como resultado de un mayor aislamiento de las lagunas formadas en el sistema, que actuarían como sistemas cerrados en los que la evaporación favorecería la pérdida de C y O ligeros, generando covarianza en los datos isotópicos de los carbonatos formados en ellas. Esta covarianza de por sí no es necesariamente interpretable como un aumento de la aridez, ya que en dichas circunstancias podría esperarse que los valores de O fueran más elevados, pero eso no es evidente en los datos presentados aquí. Sin embargo, dados los datos sedimentológicos y petrológicos con los que se cuenta, esta correlación entre los valores isotópicos es perfectamente compatible con la idea de que una mayor aridez favorecería que las lagunas estuvieran más desconectadas y sufrieran una mayor evaporación. Por tanto, se puede deducir a partir de los datos utilizados una mayor influencia de la aridez en los sedimentos carbonatados del Sistema Transversal Interno cuando éstos ocupaban el valle axial. Los isótopos corroboran que el Sistema Axial tendría aporte y circulación de agua de forma casi permanente durante los intervalos en los que ocupaba el valle axial. En cambio, aquellas etapas en las que las progradaciones del Sistema Transversal Interno invadían el centro del valle, corresponderían a periodos de mayor aridez. Estas interpretaciones preliminares refuerzan el modelo de los abanicos del Sistema Transversal Interno progradando en el valle axial como resultado de un incremento en la aridez, uno de los dos posibles planteados en publicaciones anteriores (Pla-Pueyo *et al.*, 2011b, 2012a).

La segunda variación que llama la atención es cómo, en ambos sistemas, la unidad VI da en general valores medios más positivos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ que la unidad V, y la correlación entre los valores es también menor.

Como se ha comentado anteriormente al hablar de la evolución de la cuenca, en la unidad VI la topografía sería más llana, lo que facilitaría un mayor encharcamiento y la circulación y mezcla de las aguas en ambos sistemas. Los

cuerpos de agua en la unidad VI estarían más conectados entre sí, lo que explicaría una menor correlación entre los valores de O y C respecto a la unidad V. En cuanto al hecho de que los valores son más positivos, esto tendría una explicación si asumimos que el Sistema Transversal Interno es el que nos está dando la clave de las variaciones paleohidrológicas en la cuenca, y que los datos podrían estar reflejando un incremento general en la aridez del medio, que resulta menos llamativo pero se observa también en los datos del Sistema Axial. Este cambio hacia una mayor aridez durante el Cuaternario se ha detectado en estudios realizados sobre carbonatos continentales en otras cuencas mediterráneas (Candy *et al.*, 2012). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el presente estudio tiene carácter preliminar y utiliza sólo una parte de los datos obtenidos (Pla-Pueyo *et al.*, 2012c) con objeto de hacer énfasis en la diferencia entre los dos sistemas de drenaje. En un futuro próximo se espera proporcionar interpretaciones más precisas utilizando un mayor volumen de datos isotópicos que permitan confirmar la hipótesis aquí presentada y dirimir si efectivamente hay una diferencia entre las unidades V y VI.

Discusión

En publicaciones anteriores se han tratado en detalle los rasgos tectónicos que condicionan la formación de la Cuenca de Guadix (Viseras, 1991; Sanz de Galdeano *et al.*, 2007a, b; Sanz de Galdeano, 2008; Pla-Pueyo *et al.*, 2007b, 2009a, entre otros) y cómo han afectado, junto con las variaciones del nivel de base, a la sedimentación durante los últimos 4 Ma (Sanz de Galdeano y Vera, 1992; Viseras y Fernández, 1994, 1995; Pla-Pueyo, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2009a).

En cuanto al tercero de los factores alogénicos que pudieron controlar la sedimentación continental en esta cuenca, el clima, hay estudios paleontológicos que han tratado de caracterizar las variaciones climáticas que se sucedieron en la cuenca (*e.g.* Ruiz-Bustos, 1990; Minwer-Barakat, 2005), pero no se ha presentado hasta la fecha un estudio que integre toda la información disponible para proporcionar una caracterización detallada del paleoclima en la zona considerada en este estudio, aunque los autores del presente artículo están trabajando en la elaboración del mismo.

Inicialmente se intentó proporcionar una caracterización de las variaciones climáticas para la Cuenca de Guadix combinando el análisis de litofacies y la presencia de una sedimentación cíclica de carácter orbital en los sedimentos (Pla-Pueyo *et al.*, 2008a, 2011b, 2012a), que podría corresponderse con ciclos de tipo glaciario (frío-seco)/interglaciario (cálido-húmedo). Sin embargo, los datos de isótopos estables presentados, analizados a partir de muestra total, aportan información únicamente sobre las condiciones paleohidrológicas, pero no sobre paleotemperaturas. En este caso, puesto que no conocemos la composición isotópica del agua original, no puede usarse el oxígeno como paleotermómetro (Leng y Marshall, 2004).

Por lo tanto, con los datos aquí presentados no se pueden correlacionar estos ciclos con intervalos cálidos o fríos.

Esto se traduce en que no es aconsejable una correlación directa con los ciclos de Milankovitch (1941) de excentricidad de alta y baja frecuencia si no se quieren cometer errores al asumir ciclos de tipo glaciario/interglaciario, pues estudios en otras zonas de España están identificando ciclos cálido-secos y fríos-húmedos para intervalos de tiempo similares a los estudiados en Guadix (e.g. Blain *et al.*, 2013).

Si se pretende elaborar una curva climática para los últimos 4 Ma en la Cuenca de Guadix, es necesario contar con un mayor volumen de datos isotópicos, muestreados con mayor precisión, que caractericen el grado de humedad o aridez, y combinarlos con estudios detallados que proporcionen rangos de temperatura, tales como análisis paleontológicos.

Conclusiones

Los nuevos datos isotópicos aportados por este estudio y su implementación en el marco de los trabajos estratigráfico-sedimentológicos previamente realizados en la Cuenca de Guadix (Cordillera Bética) para el depósito de las unidades genéticas V y VI (Plioceno y Pleistoceno) permiten alcanzar las siguientes conclusiones:

- 1) La Cuenca de Guadix presenta un escenario ideal para el estudio de los controles alogénicos en la sedimentación en ambientes continentales.
- 2) Se ha detectado en los sedimentos del sector central de la Cuenca una alternancia entre dos sistemas de drenaje que genera ciclos con periodicidades aproximadas a los cambios de excentricidad de Milankovitch.
- 3) La caracterización de cada uno de esos ciclos desde el punto de vista sedimentológico y petrológico, combinada con el estudio isotópico preliminar de los carbonatos continentales (palustres, calcretas y nódulos de suelo), ha evidenciado una alternancia paleohidrológica entre etapas de mayor aridez (valle axial dominado por los abanicos aluviales del Sistema Transversal Interno) y momentos de mayor humedad o mayor abundancia de agua (sedimentación principalmente en la llanura de inundación del Sistema Axial).
- 4) La tectónica local condicionó la arquitectura estratigráfica de las unidades genéticas V y VI, que afloran en el sector central de la Cuenca de Guadix. La actuación de la falla Oeste Mencil durante el depósito de la Unidad V favoreció una mayor creación de espacio de acomodación que durante el depósito de la Unidad VI, durante cuyo desarrollo este accidente dejó de ser activo.
- 5) Resulta forzado correlacionar la ciclicidad directamente con fenómenos orbitales en el rango de la excentricidad sin un mayor volumen de datos isotópicos y nueva información sobre las paleotemperaturas, aspecto que se plantea como objetivo para futuros estudios.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado por el Proyecto CGL2009-07830/BTE (MICINN-FEDER), los Grupos de Investigación RNM-369 y RNM-200 del Plan Andaluz de Investigación y por el Proyecto AHOB-3 (*Leverhulme Trust*

Foundation). Agradecemos también su apoyo económico y colaboración a otras entidades y al personal científico que han contribuido en distinta medida al progreso en el conocimiento de la Cuenca continental de Guadix en la última década. El presente documento ha mejorado considerablemente gracias a la dedicación desinteresada del Editor y de dos revisores anónimos. Especialmente agradecidos estamos a Juan Antonio Vera por tantas enseñanzas.

Bibliografía

- Agustí, J., Gibert, J., Moyá-Sola, S. y Vera, J.A. (1985): Neogene-Quaternary Boundary in the continental sediments of the Guadix-Baza Basin (southern Spain). *VII Congress of the Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy*, Budapest, Abstracts, 50-52.
- Alonso-Zarza, A.M. (2003): Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 60: 261-298.
- Alonso-Zarza, A.M. y Tanner, L.H. (2010): Palustrine carbonates. En: *Carbonates in continental settings. Facies, environments and processes* (A.M. Alonso-Zarza y L.H. Tanner, Eds.). *Developments in Sedimentology*, 62, Elsevier, Reino Unido, 103-131.
- Alonso-Zarza, A.M., Meléndez, A., Martín-García, R., Herrero, J. y Martín-Pérez, A. (2012): Discriminating between tectonism and climate signatures in palustrine deposits: Lessons from the Miocene of the Teruel Graben, NE Spain. *Earth-Science Reviews*, 113: 141-160.
- 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. (Ed). (2008): *Vertebrados del Plioceno superior terminal en el suroeste de Europa: Fanelas P-1 y el Proyecto Fanelas*. Instituto Geológico y Minero de España, serie Cuadernos del Museo Geominero, 10: 607 pp.
- Arribas, A. y Garrido, G. (2007): *Meles iberica* n. sp., a new Eurasian badger (Mammalia, Carnivora, Mustelidae) from Fanelas P-1 (Plio-Pleistocene boundary, Guadix Basin, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 6: 545-555.
- 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): Fanelas P-1, primer registro de una fauna próxima al límite Plio-Pleistoceno en la Península Ibérica. *Boletín Geológico y Minero*, 112: 3-34.
- Arribas, A., Garrido, G. y Palmqvist, P. (2003): Primera cita de *Hyaena (Parahyaena) brunnea* (Thunberg, 1820) (Mammalia, Carnivora) fuera de África: el registro del yacimiento del Plioceno superior de Fanelas P-1 (Cuenca de Guadix-Baza, Granada, España). *Geo-Temas*, 5: 37-40.
- Arribas, A., Baeza, E., Bermúdez, D., Blanco, S., Durán, J.J., Garrido, G., Gumiel, J.C., Hernández, R., Soria, J.M. y Viseras, C. (2004): Nuevos registros paleontológicos de grandes mamíferos en la Cuenca de Guadix-Baza (Granada): aportaciones del Proyecto Fanelas al conocimiento sobre las faunas continentales del Plioceno-Pleistoceno europeo. *Boletín Geológico y Minero*, 115: 567-581.
- Arribas, A., Garrido, G., Viseras, C., Soria, J. M., Solano, J. G., Hernández, R., Baeza, E., Durán, J. J., Lorenzo, C., Carroza, J. A., Gumiel, J. C., Pla-Pueyo, S., Carrión, J. S., Díez, C., Navazo, M., Terradillos, M., Alonso, R., Laplana, C., López, J. (2008): Investigación paleontológica y estratigráfica de la Formación

- Guadix entre los años 2001 y 2007: Fonelas P-1 y el Proyecto Fonelas. En: *Vertebrados del Plioceno superior terminal en el suroeste de Europa: Fonelas P-1 y el Proyecto Fonelas* (A. Arribas, Ed.). Cuadernos del Museo Geominero, 10: 21-54.
- Arribas, A., Garrido, G., Viseras, C., Soria, J.M., Pla-Pueyo, S., Solano, J.G., Garcés, M., Beamud, E. y Carrión, J.S. (2009): A mammalian lost world in Southwest Europe during the Late Pliocene. *PLoS ONE*, 4 (9), e7127: 1-10.
- Arribas, A., Garrido, G., Viseras, C., Soria, J.M., Pla-Pueyo, S., García-Solano, J., Garcés, M., Beamud, E. y Carrión, J. (2009): El evento de dispersión del Plioceno Superior terminal (the Late Upper Pliocene dispersal event): El registro paleontológico de la Península Ibérica como clave para comprender el problema de la configuración inicial de los ecosistemas. En: *Human Evolution, 150 Years after Darwin*, Gibraltar, United Kingdom. Book of Abstracts, 45-46.
- Ashley, G.M., Deocampo, D. M., Kahmann-Robinson, J. y Driese, S.G. (2013): Groundwater-fed wetland sediments and paleosols: it's all about water table. En: *New Frontiers in Paleopedology and Terrestrial Paleoclimatology: Paleosols and Soil Surface Analog Systems*, SEPM, 47-61.
- Azañón, J.M., Tuccimei, P., Azor, A., Sánchez-Almazo, I., Alonso-Zarza, A., Soligo, M. y Pérez-Peña, J.V. (2006): Calcrete features and age estimates from U/Th dating: implications for the analysis of Quaternary erosion rates in the northern limb of the Sierra Nevada range (Betic Cordillera, southeast Spain). En: *Paleoenvironmental Records and Applications of Calcretes and Palustrine Carbonates* (A. Alonso-Zarza y L.H. Tanner, Eds.), Geological Society of America Special Paper, 416: 223-239.
- Blain, H.A., Lozano-Fernández, I., López-García, J.M., Bennásar, M., Cuenca-Bescós, G. (2013): Seasonal rainfall variability during the Early-Middle Pleistocene transition in northern Spain (Atapuerca, Burgos). En: *ESF EARTHTIME-EU Scientific Meeting "The Early-Middle Pleistocene transition: Significance of the Jaramillo subchron in the sedimentary record"*, Burgos, España.
- Botella, M., Vera, J.A. y Porta, J. (1975): El yacimiento Achelense de la Solana de Zamborino. Fonelas. Granada (Primera campaña de excavaciones). *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada*, 1: 1-45.
- Calvache, M.L., Viseras, C. y Fernández, J. (1996): Evolution from endorheic to exorheic drainage in the Guadix Basin: geologic and geomorphic implications. En: *2nd Cortijo Urra Field Meeting, SE Spain: Field Guide* (A.E Mather, M. Stokes, Eds.), University of Plymouth, 43-48.
- 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.
- Candy, I., Adamson, K., Gallant, C.E., Mather, E. y Pope, R. (2012): Oxygen and carbon isotopic composition of Quaternary meteoric carbonates from western and southern Europe: their role in paleoenvironmental reconstruction. *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 326-328: 1-11.
- Casas, J., Peña, J.A. y Vera, J.A. (1975): Interpretación geológica y estratigráfica del yacimiento de la Solana del Zamborino. *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada*, 1: 5-15.
- Comas, M.C., Delgado, F. y Vera, J.A. (1973): *Mapa y memoria explicativa de la hoja 993 (Benalúa de Guadix) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000*. IGME, Madrid, 64 p.
- Cuevas, F., Martín Penela, A., Rodríguez Fernández, J., Sanz de Galdeano, C. y Vera, J.A. (1984): Première datation du Turolien à la base de la Formation de Guadix (secteur d'Abla, Espagne). *Geobios*, 17: 355-361.
- Deocampo, D.M. (2010): The geochemistry of continental carbonates. En: *Carbonates in continental settings. Geochemistry, diagenesis and applications* (A.M. Alonso-Zarza y L.H. Tanner, Eds.). *Developments in Sedimentology*, 62, Elsevier, Reino Unido, 1-59.
- Fallot, P., Faure-Muret, A. y Fontboté, J.M. (1967): Observations sur la partie occidentale de la formation de Guadix. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 78:1-48.
- Fallot, P., Sole, L., Colom, G. y Birot, P. (1950): Sur l'âge des couches de Baza et de la Formation de Guadix. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 231: 504-507.
- Fernández, J., Bluck, B.J. y Viseras, C. (1991): A lacustrine fan-delta system in the Pliocene deposits of the Guadix Basin (Betic Cordilleras, South Spain). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 15: 299-317.
- 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: *Tertiary Basins of Spain: the Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (P.F. Friend y C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 353-365.
- Fernández, J., Viseras, C. y Soria, J.M., (1996b): Pliocene - Pleistocene continental infilling of the Granada and Guadix basins (Betic Cordillera, Spain): the influence of allocyclic and autocyclic processes on the resultant stratigraphic organization. En: *Tertiary Basins of Spain: the Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (P.F. Friend y C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 366-371.
- Fernández, J., Vera, J.A. y Viseras, C. (2004): Las cuencas neógenas postorogénicas. En: *Proyecto Andalucía: Geología. Serie Naturaleza* (J.A. Vera y J.M. Molina Cámara, Coords). Tomo XXXVI. Publicaciones Comunitarias, Grupo Hércules. 329-376.
- García-García, F., Soria J.M., Viseras, C. y Fernández, J. (2009): High frequency rhythmicity in a mixed siliciclastic - carbonate shelf (Late Miocene, Guadix basin, Spain). A model of interplay between climatic oscillations, subsidence and sediment dispersal. *Journal of Sedimentary Research*, 79: 247-264.
- Garrido, G. (2006): Paleontología sistemática de grandes mamíferos del yacimiento del Villafranquiense superior de Fonelas P-1 (Cuenca de Guadix, Granada). Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 726 p.
- 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. *Geo-Temas*, 5: 37-40.
- Garrido, G. y Arribas, A. (2008): *Canis accitanus* nov. sp., a new small dog (Canidae, Carnivora, Mammalia) from the Fonelas P-1 Plio-Pleistocene site (Guadix basin, Granada, Spain). *Geobios*, 41: 751-761.
- González-Donoso, J.M. y Vera, J.A. (1968): Sur la presence de terrains post-tectoniques anteburdigaliens au bord Sud-Ouest du bassin de Guadix (Cordillères Bétiques, Espagne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 266: 49-51.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G. y Smith, A.G. (Eds.). (2004): *A Geological Time Scale 2004*. Cambridge University Press, 589 p.
- Kraus, M.J. (1999): Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications. *Earth-Science Reviews*, 47: 41-70.
- Kraus, M. J. y Aslan, A. (1993): Eocene hydromorphic paleosols: Significance for interpreting ancient floodplain processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 63: 453-463.

- Kraus, M. J. y Gwinn, B. (1997): Facies and facies architecture of Paleogene floodplain deposits, Willwood Formation, Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Sedimentary Geology*, 114: 33-54.
- Kraus, M. J. y Hasiotis, S. T. (2006): Significance of different modes of rhizolith preservation to interpreting paleoenvironmental and paleohydrologic settings: Examples from Paleogene paleosols, Bighorn Basin, Wyoming, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, 76: 633-646.
- Leng, M.J. y Marshall, J.D. (2004): Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives. *Quaternary Science Reviews*, 23: 811-831.
- López Garrido, A.C. y Vera, J.A. (1974): Diapirismo reciente en la Depresión de Guadix-Baza (sector del Negratín). *Estudios Geológicos*, 30: 601-618.
- Martín-Penela, A. (1987): Paleontología de los grandes mamíferos del yacimiento achelense de la Solana del Zamborino (Fonelas, Granada). Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 268 p. Publicada en *Antropología y Paleoecología Humana*, 5: 29-188.
- Martinsen, O.J., Ryseth, A., Helland-Hansen, W., Flesche, H., Torkildsen, G. e Idil, S. (1999): Stratigraphic base level and fluvial architecture: Ericson Sandstone (Campanian), Rock Springs Uplift, SW Wyoming, USA. *Sedimentology*, 46: 235-259.
- Milankovitch, M. (1941): Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeiten-problem. *Royal Serbian Academy Special Publications*, 133: 1-633.
- Mínwer-Barakat, R. (2005): Roedores e insectívoros del Turoliense superior y el Plioceno del sector central de la Cuenca de Guadix. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 589 p.
- Pla-Pueyo, S. (2006): Encuadre estratigráfico de los más significativos yacimientos de macromamíferos continentales localizados en el marco del Proyecto Fonelas (límite Plioceno-Pleistoceno, Cuenca de Guadix, Granada, España). *Boletín Geológico y Minero*, 117: 483-489.
- Pla-Pueyo, S. (2009): Contexto estratigráfico y sedimentario de los yacimientos de grandes mamíferos del sector central de la Cuenca de Guadix (Cordillera Bética). Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 287 p.
- Pla-Pueyo, S. y Lorenzo Carnicero, C. (2010): *Mapa litoestratigráfico del sector Fonelas-Mencal 1:25.000*. IGME, Madrid. <http://hdl.handle.net/10481/5489>.
- Pla-Pueyo, S., Arribas, A., Viseras, C. y Soria, J.M. (2005): Trazas orgánicas e inorgánicas en una paleosuperficie fluvial asociada a un yacimiento de grandes mamíferos del Plioceno-Pleistoceno (Fonelas P-1, Cuenca de Guadix-Baza, Cordillera Bética). *Geo-Temas*, 8: 85-88.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., Arribas, A. y Soria, J.M. (2006): Un esquema estratigráfico preliminar para los yacimientos de macrovertebrados del sector occidental de la Cuenca de Guadix-Baza (Cordillera Bética). *Geo-Temas*, 9: 197-200.
- Pla-Pueyo, S., Yébenes, A., Viseras, C., Soria, J.M., Viseras, C. y Arribas, A. (2007a): Palustrine sedimentation on a Pliocene-Pleistocene distal floodplain (Guadix Basin, Betic Cordillera, S. Spain). En: *25th IAS Meeting of Sedimentology*, Patras, Greece. Book of Abstracts, 140.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., Soria, J.M. y Arribas, A. (2007b): El papel de la tectónica en la evolución sedimentaria en el sector occidental de la Cuenca de Guadix (Cordillera Bética). *Geogaceta*, 43: 103-106.
- Pla-Pueyo, S., Yébenes, A., Soria, J.M., Viseras, C. (2007c): Carbonatos palustres en llanuras de inundación fluviales del Plioceno-Pleistoceno (Cuenca de Guadix, Granada, España). *Geogaceta*, 43: 107-110.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., Soria, J.M., Garcés, M., Beamud, E., García-García, J.A., Arribas, A. (2008a): Correlación litológica y magnetoestratigráfica de las secciones continentales del sector occidental de la Cuenca de Guadix (Cordillera Bética, España). *Geo-Temas*, 10: 171-174.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., Soria, J.M., Garcés, M. y Arribas, A. (2008b): Análisis preliminar de la ciclicidad en la sección continental FP-1 (Plioceno-Pleistoceno, Cuenca de Guadix, Cordillera Bética). *Geogaceta*, 44: 215-218.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., Soria, J.M., Arribas, A. y Gierlowski-Kordesch, E. (2008c): Tectonism and climate controlling the Pliocene and Pleistocene continental sedimentation in the Guadix Basin (Betic Cordillera, South of Spain). En: *I Jornadas de Investigadores en Formación en Ciencias de la Tierra*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 29.
- Pla-Pueyo, S., Gierlowski-Kordesch, E.H., Viseras, C. y Soria, J.M. (2009a): Major controls on carbonate deposition during the evolution of a continental basin: Pliocene-Pleistocene of the Guadix Basin (Betic Cordillera, southern Spain). *Sedimentary Geology*, 219: 97-114.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., Gierlowski-Kordesch, E.H., Soria, J.M. (2009b): Sequence-stratigraphic model of a fluvio-lacustrine system in the Guadix Basin (Neogene, Betic Cordillera, Spain). En: *27th IAS Meeting of Sedimentology* (V. Pascucci y S. Andreucci, Eds.), Alghero, Italia. Book of Abstracts, 316.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., García-García, F. y Soria, J.M. (2009c): Sedimentology and paleoenvironmental interpretation of two calcareous tufas in the Guadix Basin (Betic Cordillera, Spain). En: *27th IAS Meeting of Sedimentology* (V. Pascucci y S. Andreucci, Eds.), Alghero, Italia. Book of Abstracts, 643.
- Pla-Pueyo, S., Gierlowski-Kordesch, E.H., Viseras, C. y Soria, J.M. (2010): Facies changes in the distal floodplain deposits of the Guadix Basin (Betic Cordillera, Spain): New sedimentologic data. *Geogaceta*, 48: 43-46.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., Soria, J.M., Tent-Manclús, J.E. y Arribas, A. (2011a): A stratigraphic framework for the Pliocene-Pleistocene continental sediments of the Guadix Basin (Betic Cordillera, S. Spain). *Quaternary International*, 243: 16-32.
- Pla-Pueyo, S., Soria, J.M., Viseras, C., Henares, S. y Tent-Manclús, J.E. (2011b): Astronomically-tuned cyclicity in the alluvial sediments of the Guadix Basin (Betic Cordillera, S. Spain). En: *28th IAS Meeting of Sedimentology* (B. Bádenas, M. Aurell y A.M. Alonso-Zarza, Eds.), Zaragoza, España. Abstracts, 101.
- Pla-Pueyo, S., Gierlowski-Kordesch, E.H., Candy, I. y Viseras, C. (2011c): Pliocene-Pleistocene palustrine sediments of the Guadix Basin (Betic Cordillera, S. Spain): geologic record of ancient wetlands. En: *5th International Limnogeological Congress*, Konstanz, Alemania. Programme and Abstracts Book, 72.
- Pla-Pueyo, S., Soria, J.M., García-García, F., Viseras, C., Henares, S. y Tent-Manclús, J.E. (2012a): Registro de excentricidad de alta frecuencia en los sedimentos continentales de la Cuenca de Guadix (Cordillera Bética, España). *Geogaceta*, 51: 47-50.
- Pla-Pueyo, S., Gierlowski-Kordesch, E.H., Candy, I. y Viseras, C. (2012b): The challenge of classifying ancient freshwater wetlands: an example from the Pliocene-Pleistocene Guadix Basin (S. Spain). En: *2012 Annual Meeting of the Geological Society of America*, Charlotte, North Carolina, Abstracts with Program, 44, 358.
- Pla-Pueyo, S., Candy, I., Viseras, C. y Henares, S. (2012c): Preliminary results of isotopic analysis on continental carbonates in the Guadix Basin (Betic Cordillera, S. Spain). *Geo-Temas*, 13: 707-710.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C. y Botella, M. (2013): Sedimentary and palaeoenvironmental context of the Quaternary sites of the central sector of the Guadix Basin (Betic Cordillera, Spain). En:

- Trending Topics in Palaeontology* (P. Navas-Parejo, C. Martínez Pérez y S. Pla-Pueyo, Eds.), 134-147.
- Rodríguez Fernández, J., Martínez del Olmo, W., Garrido Megías, A. y Vera, J.A. (1984): Paralelismo entre algunas formaciones que colmatan el Mediterráneo español y la Depresión de Guadix (Cordilleras Béticas). *I Congreso Español de Geología*, Segovia, 3: 279-288.
- Ruiz-Bustos, A. (1990): The contribution of paleoecological data from mammalian fauna provide on the climatic conditions of the continental Neogene in the Betic Cordilleras. The Plio-Quaternary limit. En: *IX Congress R.C.M.N.S., Barcelona 1990: Global events and Neogene evolution of the Mediterranean*. Institut Paleontològic M. Crusafont, Sabadell, Abstracts, 303-304.
- Sanz de Galdeano, C. (2008): La Cordillera Bética: Una cadena fragmentada. *Geo-Temas*, 10: 413-416.
- Sanz de Galdeano, C. y Vera, J.A. (1992): Stratigraphic record and palaeogeographical context of the Neogene basins in the Betic Cordillera, Spain. *Basin Research*, 4: 21-36.
- Sanz de Galdeano, C., Delgado, J., Galindo-Zaldívar, J., Marín, C., Alfaro, P. y García-Tortosa, F.J. (2007a): Principales rasgos geológicos deducidos a partir de los mapas gravimétricos de la Cuenca de Guadix-Baza. En: *La cuenca de Guadix-Baza. Estructura, tectónica activa, sismicidad, geomorfología y dataciones existentes* (C. Sanz de Galdeano y J.A. Peláez, Eds.), Granada, 101-110.
- Sanz de Galdeano, C., Peláez, J.A. y López-Casado, C. (2007b): Fallas activas y potencial sísmico de la Cuenca de Guadix-Baza. En: *La cuenca de Guadix-Baza. Estructura, tectónica activa, sismicidad, geomorfología y dataciones existentes* (C. Sanz de Galdeano y J.A. Peláez, Eds.), Granada, 283-299.
- Soria, J.M. (1993): La sedimentación neógena entre Sierra Arana y el río Guadiana Menor. Evolución desde un margen continental hasta una cuenca intramontañosa. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 292 p.
- Soria, F.J., López Garrido, A.C. y Vera, J.A. (1987): Análisis estratigráfico y sedimentológico de los depósitos neógeno-cuaternarios en el sector de Orce (Depresión de Guadix-Baza). En: *Geología y Paleontología del Pleistoceno inferior de Venta Micena, Paleontología Evolutiva, Memoria Especial*, 1: 11-34.
- 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.
- Valdeolillos-Rodríguez, A., Dorado-Valiño, M., Ruiz-Zapata, M.B. y Alonso-Zarza, A.M. (2011): Middle Pleistocene variations in palaeoclimate, palaeoenvironment and vegetation of the Las Tablas de Daimiel National Park (Spain). *Journal of Quaternary Science*, 26: 128-140.
- Vera, J.A. (1968): El Mioceno del borde SW de la depresión de Guadix. *Acta Geológica Hispánica*, 3: 124-127.
- Vera, J.A. (1970a): Facies del Plioceno de la Depresión de Guadix-Baza. *Cuadernos de Geología de la Universidad de Granada*, 1: 23-25.
- Vera, J.A. (1970b): Estudio estratigráfico de la Depresión de Guadix-Baza. *Boletín Geológico y Minero*, LXXXI-V: 429-462.
- Vera, J.A. (1988): Evolución de los sistemas de depósito en el margen ibérico de las Cordilleras Béticas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1: 373-392.
- Vera, J.A. (2000): El Terciario de la Cordillera Bética: Estado actual de conocimientos. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13: 345-347.
- Vera, J.A. (Ed.) (2004): *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 890 p.
- Vera, J.A. y Molina Cámara J.M. (coord.) (2004): *Proyecto Andalucía: Geología. Serie Naturaleza. Tomo XXVI*, Publicaciones Comunitarias, Grupo Hércules, 375 p.
- Vera, J.A. y Rodríguez Fernández, J. (1988): Una modificación al modelo genético para la Formación Molicias (Tortoniense superior, Depresión de Guadix, S de España). *Geogaceta*, 5: 26-29.
- Viseras, C. (1991): Estratigrafía y sedimentología del relleno aluvial de la Cuenca de Guadix (Cordilleras Béticas). Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 327 p.
- Viseras, C. y Fernández, J. (1992): Sedimentary basin destruction inferred from the evolution of drainage systems in the Betic Cordillera, southern Spain. *Journal of the Geological Society (London)*, 149: 1021-1029.
- Viseras, C. y Fernández, J. (1994): Channel migration patterns and related sequences in some alluvial fan systems. *Sedimentary Geology*, 88: 201-217.
- 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.
- Viseras, C. y Pla-Pueyo, S. (2013): Climatic control on palaeohydrology and sediment distribution in the Pleistocene deposits of the Guadix Basin (Betic Cordillera, Spain). En: *ESF EARTH-TIME-EU Scientific Meeting "The Early-Middle Pleistocene transition: Significance of the Jaramillo subchron in the sedimentary record"*, Burgos, España.
- 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). *Geo-Temas*, 5: 247-250.
- Viseras, C., Soria, J.M. y Fernández, J. (2004a): Cuencas neógenas postorogénicas de la Cordillera Bética. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 576-581.
- Viseras, C., Soria, J.M., Durán, J.J. y Arribas, A. (2004b): Condiciones geológicas para la génesis de un yacimiento de grandes mamíferos: Fonelas P-1 (límite Plioceno-Pleistoceno, Cuenca de Guadix-Baza, Cordillera Bética). *Boletín Geológico y Minero*, 115: 551-566.
- Viseras, C., Soria, J.M., Fernández, J. y García García, F. (2005): The Neogene-Quaternary basins of the Betic Cordillera: an overview. *Geophysical Research Abstracts*, 7: 11123-11127
- Viseras, C., Soria, J.M., Durán, J.J., Pla-Pueyo, S., Garrido, G., García-García, F. y Arribas, A., (2006): A large-mammal site in a meandering fluvial context (Fonelas P-1, Late Pliocene, Guadix Basin, Spain). Sedimentological keys for its paleoenvironmental reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 242: 139-168.
- Wright, V.P. y Marriott, S.B. (1993): The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage. *Sedimentary Geology*, 86: 203-210.

MANUSCRITO RECIBIDO EL 16-10-2013

RECIBIDA LA REVISIÓN EL 4-03-2014

ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO 6-03-2014

