



FACIES Y MICROFACIES LACUSTRES PLIO-PLEISTOCENAS DE LA CUENCA DE GUADIX-BAZA (CORDILLERA BÉTICA, ESPAÑA): IMPLICACIONES SEDIMENTOLÓGICAS Y PALEOECOLÓGICAS

Lacustrine Plio-Pleistocene facies and microfacies of the Guadix-Baza basin (Betic Cordillera, Spain): sedimentary and palaeoecological implications

José Manuel García-Aguilar, Antonio Guerra-Merchán y Paul Palmqvist

Departamento de Ecología y Geología. Facultad de Ciencias, Campus Universitario de Teatinos. 29071 Málaga, España.
jmg.aguilar@gmail.com antguerra@uma.es ppb@uma.es

Abstract: Five lithostratigraphic lacustrine sedimentary units have been studied in the Plio-Pleistocene sedimentary infilling of the Guadix-Baza basin (Southern Spain). These systems show abundant carbonate facies (mainly marly limestones, limestones and dolomites) and can be ordered chronologically as: Pliocene, Gelasian with terrigenous-carbonate, proximal-type facies (hereafter referred as "proximal facies" Gelasian), Gelasian with carbonate-evaporitic, distal-type facies (hereafter referred as "distal facies" Gelasian), Calabrian and Middle Pleistocene, with both Gelasian units showing a sedimentary lateral relationship. These facies usually characterize the top of elementary sequences composed at the bottom of marls or calcilutites, or of lutites or sandstones, which evidence stages of major contribution of terrigenous inputs. The study of the microfacies has allowed establishing different sedimentary and palaeoecological scenarios, which were determined to a large extent by climatic oscillations and tectonic activity. All these aspects provide clues on a number of environmental conditions for each of the five lacustrine systems defined, including water depth, biological activity, amount of terrigenous inputs, hydrodynamics and periods of subaerial exposure: Pliocene: persistent lacustrine systems with high biological productivity and elevated hydrodynamic activity; Gelasian "proximal facies": swampy systems linked to an alluvial context; Gelasian "distal facies": evaporitic and ephemeral playa-lake lacustrine systems with high biological productivity and laterally connected with alluvial systems; Calabrian: persistent lacustrine and swampy systems with elevated biological productivity, high hydrochemical activity and low influence of alluvial inputs; Middle Pleistocene: short-standing swampy systems of episodic nature, developed in an alluvial context with a certain degree of terrigenous feeding.

Key words: lacustrine facies, lacustrine microfacies, Guadix-Baza basin, Pliocene-Pleistocene.

Resumen: En el relleno sedimentario plio-pleistoceno de la cuenca de Guadix-Baza (Sur de España) se han estudiado cinco unidades litoestratigráficas de sedimentación lacustre s.l., donde resulta frecuente la aparición de facies carbonatadas (margocalizas, calizas y dolomías principalmente): Plioceno, Gelasense de facies terrígeno-carbonatadas y carácter proximal (denominada Gelasense "facies proximales"), Gelasense de facies carbonatado-evaporíticas y carácter distal (denominada Gelasense "facies distales"), ambas con una relación sedimentaria lateral, Calabriense y Pleistoceno medio. Estas facies suelen aparecer a techo de secuencias sedimentarias elementales formadas a muro por margas o calcilutitas, o bien por lutitas o areniscas, que evidencian etapas de mayor aporte terrígeno. El estudio de las microfácies de los niveles carbonatados ha permitido inferir condiciones ambientales relativas a la profundidad, actividad biológica, aportes terrígenos, hidrodinámica y periodos de exposición subaérea, ilustrativas de los escenarios sedimentarios y paleoecológicos, condicionados en gran parte por el clima y la tectónica, presentes en cada uno de los cinco sistemas lacustres definidos: Plioceno: sistemas lacustres persistentes de alta productividad biológica e importante actividad hidrodinámica; Gelasense "facies proximales": sistemas palustres ligados a un contexto aluvial; Gelasense "facies distales": sistemas lacustres efímeros de tipo playa-lake evaporíticos, con alta productividad biológica



en conexión lateral con sistemas aluviales; Calabriense: sistemas lacustres y palustres persistentes con elevada productividad biológica, notoria actividad hidrodinámica y limitada influencia aluvial; Pleistoceno medio: sistemas palustres episódicos desarrollados en un contexto aluvial, poco persistentes en el tiempo y con cierta alimentación terrígena.

Palabras clave: *facies lacustres, microfacies lacustres, cuenca de Guadix-Baza, Plioceno-Pleistoceno.*

García-Aguilar, J.M., Guerra-Merchán, A. y Palmqvist, P. (2014): Facies y microfacies lacustres Plio-Pleistocenas de la cuenca de Guadix-Baza (Cordillera Bética, España): implicaciones sedimentológicas y paleoecológicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 27(1): 239-252.

Los depósitos lacustres constituyen excelentes indicadores de las condiciones climáticas, tectónicas y paleoecológicas que acontecieron en el pasado. Además, los lagos son medios sedimentarios que suelen mostrar variaciones en sus características (extensión, profundidad, composición y propiedades químicas, subsidencia, estratificación de las aguas, aportes terrígenos, etc.) a lo largo de su evolución temporal, como consecuencia de factores autigénicos y/o alogénicos (Freytet y Plaziat, 1980), quedando dichas variaciones reflejadas en el registro sedimentario. Por otra parte, algunas de esas características presentan una cierta variación horizontal para un mismo periodo temporal. Todo ello condiciona que dentro de un lago se puedan establecer diferentes subambientes sedimentarios y una amplia variedad de facies. Habitualmente, los medios lacustres se clasifican en función de diversos criterios, entre los que destacan el contexto climático y geológico, la morfometría (relación entre extensión lateral y profundidad), la capacidad para estratificar la columna de agua, el tipo de sedimentos, el contenido en materia orgánica y el balance hidrológico (Fregenal y Meléndez, 2010). Cuando se trata de grandes extensiones de agua, se pueden diferenciar con cierta facilidad los ambientes lacustres y palustres, ya que la escasa profundidad de estos últimos permite que la vegetación enraíce en la zona cubierta de agua y tenga lugar el desarrollo de suelos hidromorfos y/u orgánicos (Flügel, 2010; Gierlowski-Kordesch, 2010).

La cuenca de Guadix-Baza constituye una depresión intramontañosa neógeno-cuaternaria situada en el interior de la Cordillera Bética (Fig. 1A) cuyo registro sedimentario plio-pleistoceno es el de mayor potencia y continuidad de la Península Ibérica. En la cuenca destaca el gran desarrollo de sedimentos de origen lacustre, sobre todo en la subcuenca de Baza, con diversas litologías que representan distintos escenarios de depósito ligados a condiciones climáticas, tectónicas, paleogeográficas y paleoecológicas concretas. A este interés se une la gran calidad de exposición de sus afloramientos y la presencia de numerosos yacimientos paleontológicos con restos de grandes mamíferos pleistocenos, algunos de los cuales han aportado fósiles humanos que representan a los primeros pobladores de Europa occidental (Palmqvist *et al.*, 2005; Toro *et al.*, 2013; entre otros).

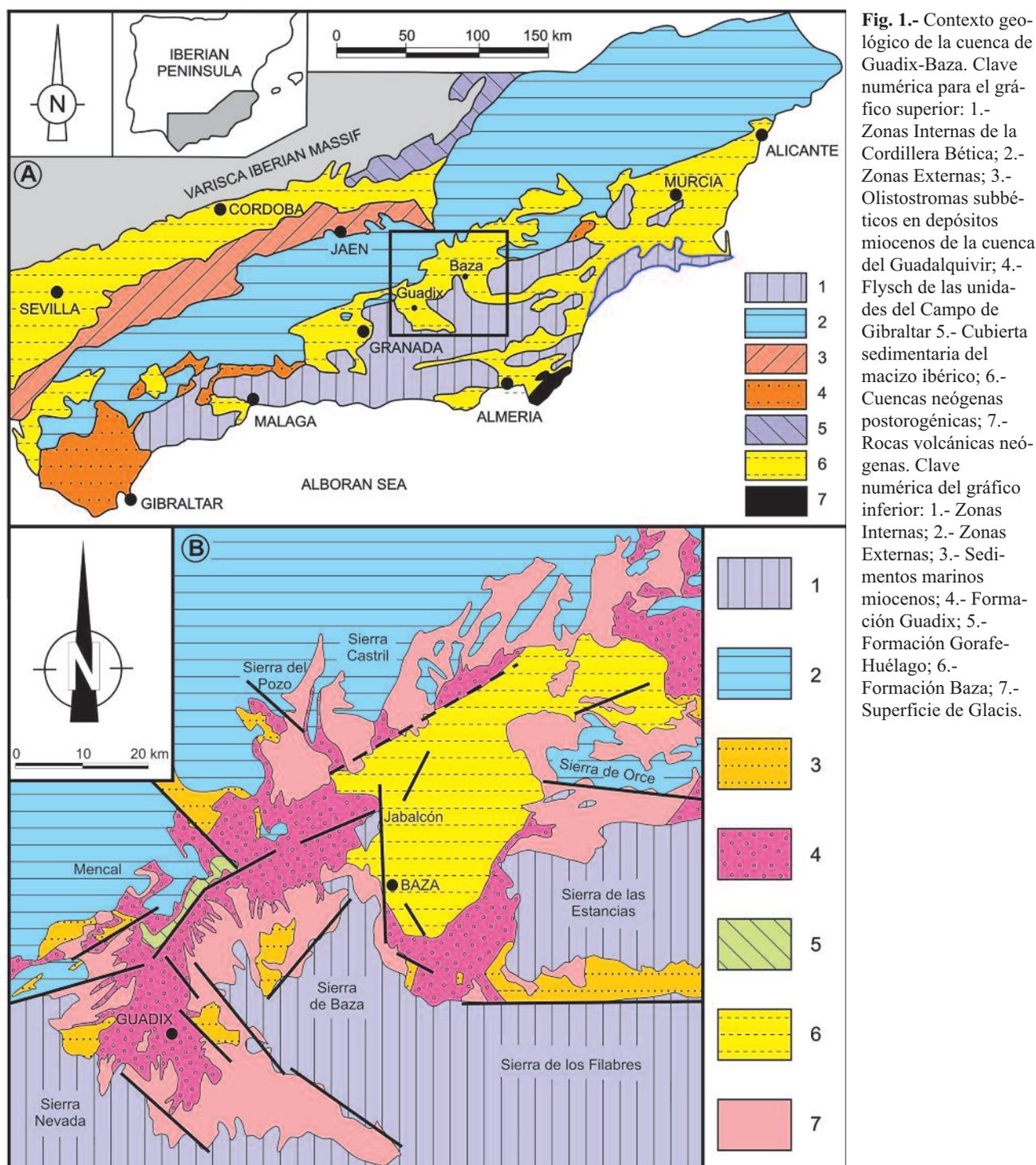
En numerosos trabajos previos se han realizado estudios sedimentológicos encaminados al establecimiento de modelos específicos y reconstrucciones paleoambientales de la cuenca a partir del estudio de las facies y secuencias lacustres, así como de las asociaciones faunísticas presentes. De este modo, las facies carbonatadas compuestas por

margocalizas, calizas y dolomías se han asociado genéticamente a medios de sedimentación lacustre somera de carácter carbonatado (Arribas *et al.*, 1988; Anadón *et al.*, 1995; García-Aguilar, 1997; García-Aguilar y Martín, 2000; García-Aguilar y Palmqvist, 2011). Los estudios previos sobre facies y microfacies lacustres *s.l.* en la cuenca de Guadix-Baza indican una notable variedad de las mismas (García-Aguilar, 1997; Pla-Pueyo *et al.*, 2009; Viseras *et al.*, este mismo volumen; García-Aguilar *et al.*, en prensa). En este sentido, los objetivos principales de este trabajo son: (1) contribuir a la definición, desde un punto de vista petrológico, de las principales facies y microfacies carbonatadas presentes en los distintos episodios de sedimentación carbonatada lacustre *s.l.* de la cuenca; y (2) contribuir a completar la información sedimentológica y paleoecológica establecida en estas unidades mediante los datos aportados por el análisis de estas facies y microfacies.

Contexto geológico

La cuenca de Guadix-Baza se sitúa sobre el contacto entre las Zonas Internas y Externas de la Cordillera Bética, presentando una longitud cercana a 110 km a lo largo de la directriz tectónica NE-SO (Fig. 1A). Su historia sedimentaria postorogénica comienza en el Mioceno superior (Tortonense) con el depósito de una potente serie sedimentaria marina de unos 1000 m de espesor, cuyos afloramientos se localizan principalmente en zonas marginales de la cuenca (Fig. 1B). Por encima de estos depósitos marinos se dispone, discordante, un conjunto de 600 m de espesor máximo correspondiente a materiales de origen continental, que cubren un intervalo cronológico cifrado entre 7,3 y 0,043 Ma B.P. (García-Aguilar y Martín, 2000; Azañón *et al.*, 2006; García Alix *et al.*, 2008; García-Aguilar y Palmqvist, 2011).

En la base del conjunto continental se ha diferenciado una unidad de edad Mioceno terminal constituida por depósitos lacustres y aluviales *s.l.*, que aflora exclusivamente en los bordes de la cuenca (García-Aguilar y Martín, 2000). Dentro de los materiales plio-pleistocenos se han considerado históricamente tres formaciones litoestratigráficas relacionadas entre sí mediante cambios laterales y verticales de facies (Vera, 1970): Formación Gorafe-Huélogo, de carácter lacustre, Formación Guadix, de carácter aluvial, y Formación Baza, de carácter lacustre (Fig. 1B). Desde el punto de vista tectosedimentario, distintos estudios (ver revisión en García-Aguilar *et al.*, en prensa) coinciden en atribuir un modelo de arquitectura estratigráfica para el periodo de sedimentación continental Mioceno terminal-Pleisto-



ceno basado en la presencia de cinco unidades tectosedimentarias, cuyas edades son: Turolense medio-superior (Mioceno terminal), Plioceno, Pleistoceno inferior (Gelasense y Calabriense), Pleistoceno medio y Pleistoceno medio-superior (Fig. 2), separadas por discontinuidades que suponen hiatos de diversa duración. Tales hiatos representan en cada caso importantes cambios en la configuración paleogeográfica de la cuenca y en el propio registro sedimentario, relacionados con sucesos tectónicos mayores en el contexto dinámico reciente de la Cordillera Bética.

Dentro de estas cinco unidades tectosedimentarias, en la subcuenca de Baza se pueden diferenciar siete unidades litoestratigráficas de origen lacustre *s.l.* (Fig. 2), relacionadas lateralmente mediante cambios de facies con otras unidades (García-Aguilar y Martín, 2000; García-Aguilar y Palmqvist, 2001; García-Aguilar *et al.*, 2013) que representan sistemas de alimentación aluvial (Viseras, 1991; Pla-Pueyo *et al.*, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2011). La correspondencia entre tales unidades y las definidas por otros autores en la subcuenca de Guadix se explica en García-Aguilar *et al.* (en prensa). De estas siete unidades litoes-

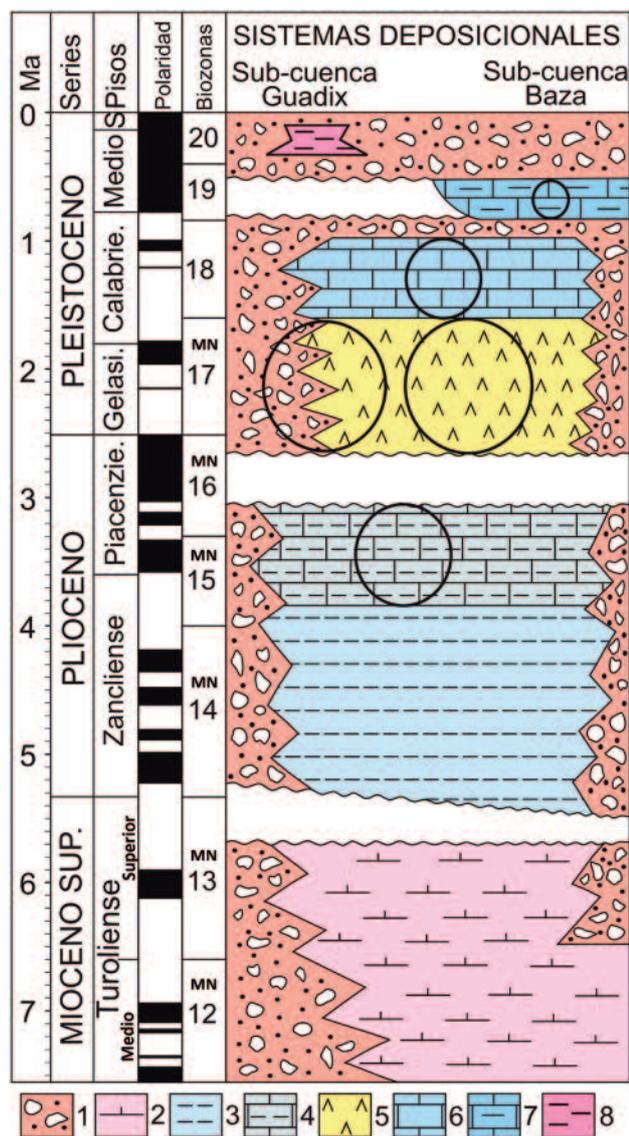


Fig. 2.- Esquema estratigráfico sintético del periodo de sedimentación continental de la cuenca de Guadix-Baza (modificado de García Aguilar y Palmqvist, 2001; García-Aguilar *et al.*, 2013 y García-Aguilar *et al.*, en prensa; utilizando escalas (bio)estratigráficas de Mein, 1976 y Agusti *et al.* 2001). 1.- Sedimentos fluviales y aluviales; 2.- Margas rosadas lacustres; 3.- Margas grises y blanquecinas lacustres; 4.- Secuencias margas-calizas de origen lacustre; 5.- Margas y evaporitas de origen lacustre; 6.- Margas y calizas lacustres; 7.- Margas, lutitas y calizas lacustres; 8.- Margas y lutitas fluvio-lacustres. En círculos aparecen señaladas las unidades litológicas objeto de este estudio.

tratigráficas, las cinco marcadas con un círculo en la figura 2, muestran un relevante registro litológico compuesto de facies carbonatadas (margocalizas *s.l.*, calizas *s.l.* y dolomías). En el conjunto de la cuenca, los depósitos sedimentarios de afinidad lacustre representan un 77% del registro cronoestratigráfico continental y muestran como rasgo común el desarrollo de diferentes tipos de secuencias, según la etapa considerada, consistentes principalmente en la alternancia de margas y calizas *s.l.*, margas y evaporitas y lutitas y calizas *s.l.* En algunas de dichas alternancias (secciones estratigráficas del Pleistoceno inferior de Galera Sur y Benamaurel) se han detectado procesos cíclicos liga-

dos a señales climáticas de origen astronómico (García-Aguilar y Martín, 2000; García-Aguilar *et al.*, 2013).

Metodología

Para la caracterización litológica de los depósitos lacustres se han considerado las cinco unidades litoestratigráficas de origen lacustre *s.l.* que presentan un espesor apreciable de facies carbonatadas (principalmente margocalizas, calizas y dolomías): Plioceno (Zancliense terminal-Piacenziense inferior); Gelasiense de facies terrígenas y carácter proximal (denominada informalmente como Gelasiense “facies proximales”), con alternancia de niveles terrígenos y carbonatados; Gelasiense de facies carbonatado-evaporíticas de carácter distal (denominada informalmente como Gelasiense “facies distales”), con alternancia mayoritaria de niveles margosos y evaporíticos; Calabriense y Pleistoceno medio (Fig. 2). Los dos sistemas gelasienses corresponden a una secuencia sedimentaria lateral a escala de toda la cuenca, cuyos principales afloramientos se hallan, respectivamente, en las zonas centrales de las subcuencas de Guadix y Baza.

Para el presente trabajo se han estudiado 47 perfiles estratigráficos en las cinco unidades lacustres seleccionadas, donde se han analizado con detalle las características estratigráficas, los tipos de facies y los tipos de secuencias sedimentarias (Tablas I y II). La figura 3 muestra el perfil estratigráfico-tipo para cada uno de esos sistemas lacustres, resaltando las facies carbonatadas (margocalizas, calizas y dolomías), objetivo principal del estudio. También se han considerado algunos niveles de areniscas asociados a las facies carbonatadas como indicadores de aportes aluviales. En relación con estas facies, se han realizado 109 láminas delgadas en secciones correspondientes a 10 localidades-tipo: Gorafe, Fonelas y Baza para el Plioceno; Belerda y Zújar para materiales terrígeno-calizos de carácter proximal de la subcuenca de Guadix (Gelasiense “facies proximales”); Castelléjar y Benamaurel para materiales margoso-evaporíticos de afinidad distal, de la subcuenca de Baza (Gelasiense “facies distales”); Orce y Huéscar para el Calabriense (subcuenca de Baza); Cúllar-Baza y Huéscar para el Pleistoceno medio (subcuenca de Baza). Para la caracterización de las microfacies carbonatadas se han utilizado las clasificaciones de Folk (1962) y Dunham (1962). Además, en cada muestra se procedió a la estimación cualitativa del tipo y la forma de los poros, el tipo de cemento y los tipos de aloquímicos presentes, así como a la determinación cuantitativa de los porcentajes de poros y elementos terrígenos y aloquímicos mediante el análisis gráfico de imágenes. Los resultados de este análisis se recogen de forma resumida en la Tabla III, donde se reflejan una serie de diferencias significativas entre los tipos de microfacies según la etapa de sedimentación lacustre considerada, de modo que cada una de ellas muestra un patrón característico.

Resultados

En todas las etapas de sedimentación lacustre consideradas resultan habituales las secuencias cíclicas formadas

DATOS GENERALES DE LOS DIFERENTES SISTEMAS LACUSTRES (*)

Sistemas	Espesor medio (m)	Tasa de sedimentación media (cm/ka)	Conglomerados, areniscas y calcarenitas	Limos y arcillas	Margas y calcilititas	Margocalizas, calizas y dolomías
Pleistoceno medio	7 (subcuenca de Baza)	1,9	4,4	56,6	19,7	19,3
Calabriense	28 (subcuenca de Baza)	9,2	21,8	6,5	32,5	39,2
Gelasiense "facies distales"	240 (subcuenca de Baza)	26,6	13,3	7,7	70,2	5,1
Gelasiense "facies proximales"	53 (subcuenca de Guadix)	5,9	39,0	47,9	1,4	11,7
Plioceno	50 (conjunto de la cuenca)	7,1	1,4	13,6	54,6	29,3

DATOS GENERALES DE LAS SERIES-TIPO CONSIDERADAS EN CADA SISTEMA LACUSTRE

Sistemas	Serie-tipo (Localidad)	Número de capas de (margo)calizas y/o dolomías	Espesor medio de cada capa de (margo)calizas y/o dolomías (cm)	Espesor total de la serie-tipo (m)	Factor RP (**)	Facies carbonatadas dominantes
Pleistoceno medio	Cúllar-Baza	3	7	7,5	35,7	Margocalizas y Dolomías
Calabriense	Venta Micena	5	45	14	6,2	Margocalizas
Gelasiense "facies distales"	Benamaurel-Norte	9	22	17	5,9	Dolomías
Gelasiense "facies proximales"	Belerda-Este	5	80	53	13,2	Margocalizas y Calizas
Plioceno	Fonelas-Norte	13	56	71	9,8	Calizas y Margocalizas

Tabla I. Caracterización litológica de las distintas etapas de sedimentación lacustre plio-pleistocena en la cuenca de Guadix-Baza y caracterización de los distintos niveles de facies carbonatadas (margocalizas, calizas y dolomías) presentes en las series-tipo consideradas para cada sistema lacustre. Los valores numéricos de los distintos grupos de litologías indican el porcentaje medio calculado sobre el espesor sedimentario de cada unidad a partir de 47 series estratigráficas estudiadas. (*) Según datos de García-Aguilar (1997) y Alberdi y Bonadonna (1989). (**) El factor RP indica la relación de potencias entre el total de la serie-tipo y la suma de espesores de las capas carbonatadas presentes en dichas series-tipo.

Sistemas	Lutitas → Calizas	Margas → Calizas	Calcilititas → Margocalizas	Margas → Margocalizas	Otras secuencias	Espesores característicos de las capas carbonatadas (cm)
Pleistoceno medio	60	-	20	-	20 (arenas → lutitas)	40, 60, 80
Calabriense	-	43	14	14	29 (lutitas → dolomías y arenas → margas)	40, 80, 120
Gelasiense "facies distales"	10	-	-	-	75 (margas → evaporitas), 15 (margas → dolomías)	20, 40, 80
Gelasiense "facies proximales"	20	-	-	-	40 (conglomerados → margocalizas), 40 (areniscas → margocalizas)	60, 80, 150
Plioceno	-	36	44	-	20 (lutitas → margas)	40, 60, 80, 120

Tabla II. Secuencias sedimentarias características de las distintas unidades lacustres *s.l.* plio-pleistocenas de la cuenca de Guadix-Baza. Los valores numéricos indican el porcentaje medio de cada secuencia que aparece en las distintas series estratigráficas estudiadas. La columna de la derecha expresa los espesores más característicos de las capas de facies carbonatadas aisladas presentes en las secuencias.

por facies carbonatadas en el sentido de Vatan (1967), con porcentajes superiores al 25% de carbonato cálcico, donde a muro aparecen margas o calcilititas y a techo calizas, margocalizas o dolomías, aunque en algunos sistemas lacustres destacan también las secuencias margas-yeso (Gelasiense "facies distales") y lutitas o arenas-margocalizas (Gelasiense "facies proximales" y Pleistoceno medio). Dentro de los rasgos litológicos de estos sistemas lacustres, destaca un mayor dominio de las facies carbonatadas en los sistemas lacustres de edad Plioceno (con un 29,3% de su espesor sedimentario) y Calabriense (con casi un 40% de su espesor sedimentario). También resulta significativo el valor relativo del espesor total de los distintos episodios carbonatados en relación al espesor total de la serie donde

se hallan. Así, durante el Plioceno y Calabriense, el espesor acumulado de facies carbonatadas representa valores en torno al 16% del total, mientras que en el Gelasiense "facies distales" se sitúa en el 11,8%, en el Gelasiense "facies proximales" en el 7,5% y en el Pleistoceno medio en el 2,8%.

Para el sistema lacustre plioceno se han estudiado 47 muestras, correspondientes a calizas y margocalizas (Fig. 4), donde el porcentaje medio de elementos terrígenos heredados solo supone un 3% de las muestras y en las que aparece un 17% de poros (Tabla III). A nivel tipológico, un 30% de las muestras corresponden a biomicitas, seguidas de un 19% de micritas con intraclastos y un 19% de micritas *s.s.* Les siguen en porcentaje las micritas con fósiles (13%) e intramicritas (13%). De modo ya minoritario, apa-

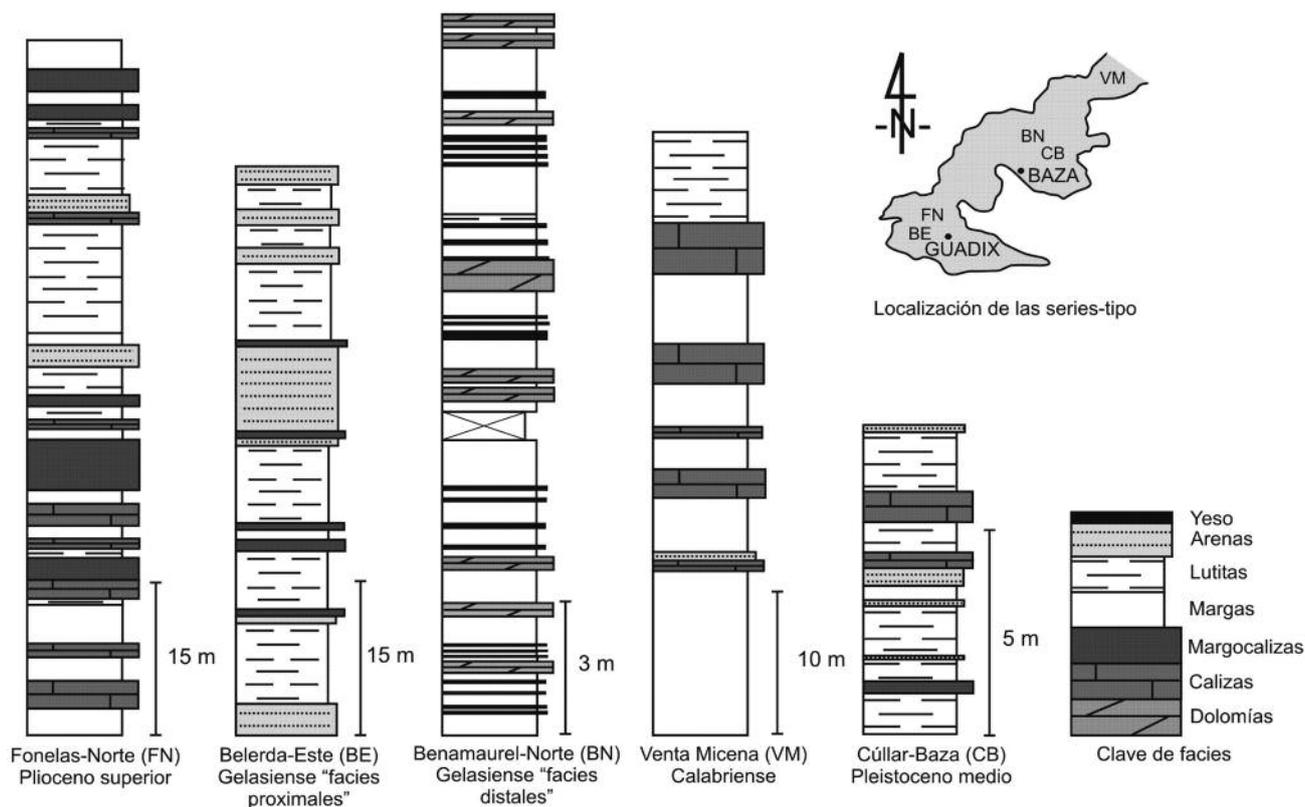


Fig. 3.- Secciones de las series estratigráficas-tipo correspondientes a las distintas etapas de sedimentación lacustre *s.l.* plio-pleistocena de la cuenca de Guadix-Baza, ilustrativas de los rasgos litológicos y secuenciales presentes en cada una de ellas.

recen micritas con oncolitos (3%) y areniscas (3%). Resulta llamativo en este sistema el elevado porcentaje relativo de gasterópodos, bivalvos, oncolitos, estructuras algales y microfácies de tipo *mudstone* y *packstone*. A la escala de afloramiento, predominan las facies de margas y calcilutitas, con un 54,6% del espesor sedimentario registrado, y las secuencias compuestas por (calci)lutitas o margas a muro y margocalizas o calizas a techo, con una frecuencia del 80% sobre el total de secuencias registradas (Tabla II).

El sistema terrígeno-carbonatado de edad Gelasiese y carácter proximal se ha analizado a partir de 7 muestras, correspondientes a margocalizas y calizas, que poseen una media del 8% de componentes terrígenos heredados y una media del 22% de poros en la superficie de las muestras. A nivel tipológico, aparecen un 57% de micritas y un 43% de micritas con terrígenos (Tabla III y Fig. 5). No se han identificado en este caso biomicroritas, micritas con fósiles o micritas con oncolitos. Destaca la presencia mayoritaria de poros circulares y bifurcados, así como las microfácies tipo *mudstone* y *wackestone*. A escala del afloramiento, resultan dominantes las facies de lutitas, con un 47,9% del espesor sedimentario registrado, y la fracción terrígena gruesa (39% del espesor sedimentario), así como las secuencias compuestas por areniscas y conglomerados a muro y (margo)calizas a techo, con una frecuencia del 80% (Tabla II).

El sistema margoso-evaporítico de edad Gelasiese y carácter distal se ha analizado a partir de 23 láminas delgadas correspondientes a areniscas calcáreas y dolomías. Los análisis realizados determinan una media del 34% de elementos terrígenos heredados y un 11% de poros en la

superficie de las muestras, aunque dentro de una cierta variación en estos valores en función de los tipos litológicos presentes. A nivel tipológico, el 37% de ellas corresponden a micritas con terrígenos, un 27% a micritas con fósiles, un 27% a areniscas y un 9% a micritas (Tabla III y Fig. 6). Este sistema se caracteriza frente a los demás por un dominio de poros circulares en sus muestras y por la presencia de ostrácodos en un 82% de las mismas, los cementos micríticos y evaporíticos, y las microfácies de tipo *wackestone* y *grainstone*. A escala del afloramiento, destaca la presencia de margas en un 70,2% del espesor registrado (Tabla I), mientras que las secuencias sedimentarias dominantes consisten en margas a muro y niveles evaporíticos a techo, con una frecuencia en torno al 75% (Tabla II).

En el sistema carbonatado de edad Calabriense se han estudiado 23 láminas delgadas, correspondientes a margocalizas, calizas y dolomías, las cuales representan un 39,2% del espesor registrado. El porcentaje medio de elementos terrígenos heredados en las muestras resulta inferior en relación a los dos sistemas anteriores (3%), mientras que la media de poros en superficie (17%) no cambia sustancialmente. En este caso, el 46% de las muestras corresponden a micritas con intraclastos, un 27% a micritas y un 27% a micritas con fósiles (Tabla III y Fig. 7). Este sistema se diferencia de los demás por la elevada presencia de poros con formas alargadas y bifurcadas, así como por el porcentaje de intraclastos aislados en un 82% de las muestras, la presencia de cementos esparíticos y microesparíticos, y la presencia de microfácies tipo *wackestone*, en un 45% de las muestras. En cuanto al tipo de secuencias sedimentarias do-

Sistemas	Plioceno	Gelasiense "facies proximales"	Gelasiense "facies distales"	Calabriense	Pleistoceno medio	Media
Nº muestras	47	7	23	23	9	
% Terrígenos	3	8	34	3	7	12
CL M	56	57	27	55	40	47
CL W	19	43	37	45	40	36
CL P	22	0	18	0	20	13
CL G	3	0	18	0	0	4
M A	3	0	27	0	40	15
M MT	0	43	37	0	20	16
M MI	19	0	0	46	0	16
M M	19	57	9	27	20	25
M MO	3	0	0	0	0	< 1
M MF	13	0	27	27	20	18
M IM	13	0	0	0	0	3
M BM	30	0	0	0	0	6
% Poros	17	22	11	17	19	17
FH A	35	100	91	36	60	55
FH B	32	28	9	54	0	27
FH C	45	86	18	73	60	53
FH D	22	28	9	27	0	17
FH E	6	0	0	9	0	5
FH F	58	43	73	54	100	70
AQ G	45	0	27	18	20	23
AQ B	19	0	18	18	0	13
AQ I	77	14	27	82	40	55
AQ O	35	0	0	0	0	8
AQ A	42	0	0	18	0	12
AQ S	13	0	82	9	40	31
C E	42	14	0	64	0	30
C ME	26	57	0	36	0	19
C M	3	0	9	0	0	3
C Y	0	0	73	0	0	15

Tabla III. Datos analíticos sobre microfácies obtenidos mediante el estudio microscópico de muestras tomadas en facies carbonatadas (margocalizas, calizas, y dolomías) y areniscas pertenecientes a las distintas unidades lacustres *s.l.* plio-pleistocenas de la cuenca de Guadix-Baza. Todos los valores aparecen expresados en % sobre el conjunto de muestras de cada unidad. Clave: **-CL: Clasificación de la muestra** (según los tipos de Dunham, 1962): M-*mudstone*, W-*wackstone*, P-*packstone*, G-*grainstone*. **-M: Microfacies** (tipos establecidos a partir de la clasificación de Folk, 1962): A-arenisca, MT-micrita con terrígenos, MI-micrita con intraclastos, M-micrita, MO-micrita con oncolitos, MF-micrita con fósiles, IM-intramícrita, BM-biomícrita. **-FH: Forma de los poros:** A-circulares, B-alargados, C-bifurcados, D-anulares, E-en enrejado, F-irregulares. **-AQ: Tipo de aloquímicos:** G-gasterópodos, B-bivalvos, I-intraclastos, O-oncolitos, A-algas, S-ostrácodos. **-C: Tipo de cemento:** E-esparítico, ME-microesparítico, M-micrítico, Y-compuesto por microcristales de yeso.

minantes, destacan las compuestas por margas a muro y calizas a techo, con una frecuencia del 43% (Tabla II).

Por último, el sistema de edad Pleistoceno medio ha sido analizado mediante 9 láminas delgadas, correspondientes a calizas y margocalizas. Estas litologías representan el 13% del espesor total, destacando un 56,6% de lutitas, las cuales componen el muro de la secuencia sedimentaria más frecuentemente registrada, en cuyo techo aparecen calizas (60%, Tabla II) o margocalizas (20%). Las muestras estudiadas presentan una media del 7% de elementos terrígenos heredados y una media del 19% de poros en la superficie de las muestras. Las microfácies dominantes son areniscas (40%), micritas, micritas con fósiles y micritas con terrígenos (20% en cada caso) (Tabla III y Fig. 8). Este sistema no se diferencia del resto por ningún rasgo microtextural especial, salvo la presencia en todas sus muestras de poros con formas irregulares. Destacan las microfácies tipo *mudstone* y *wackstone*, ambas con un 40% (Tabla III).

De gran interés resulta la evolución de algunos parámetros cuantitativos ligados a la distribución de microfácies en las distintas etapas de sedimentación lacustre consideradas (Fig. 9). En este sentido, se han valorado los porcentajes correspondientes al número de muestras donde aparecen microfácies con componentes terrígenos frente a aquellas con dominio de componentes orgánicos y la relación entre ambos factores, así como las relaciones cuantitativas entre aloquímicos de tipo orgánico e intraclastos. Los datos obtenidos al respecto revelan una mayor presencia de microfácies con componentes orgánicos durante el Plioceno, y el Calabriense. Las muestras de edad Gelasiense y Pleistoceno medio muestran el menor porcentaje de este tipo de facies, sobre todo en el sistema Gelasiense "facies proximales". Estos sistemas presentan una relación inversa respecto al contenido en microfácies con componentes terrígenos. Otros valores relevantes se obtienen de la relación entre microfácies tipo *mudstone*, de menor tamaño de grano, respecto a la suma de microfácies tipo *wackes-*

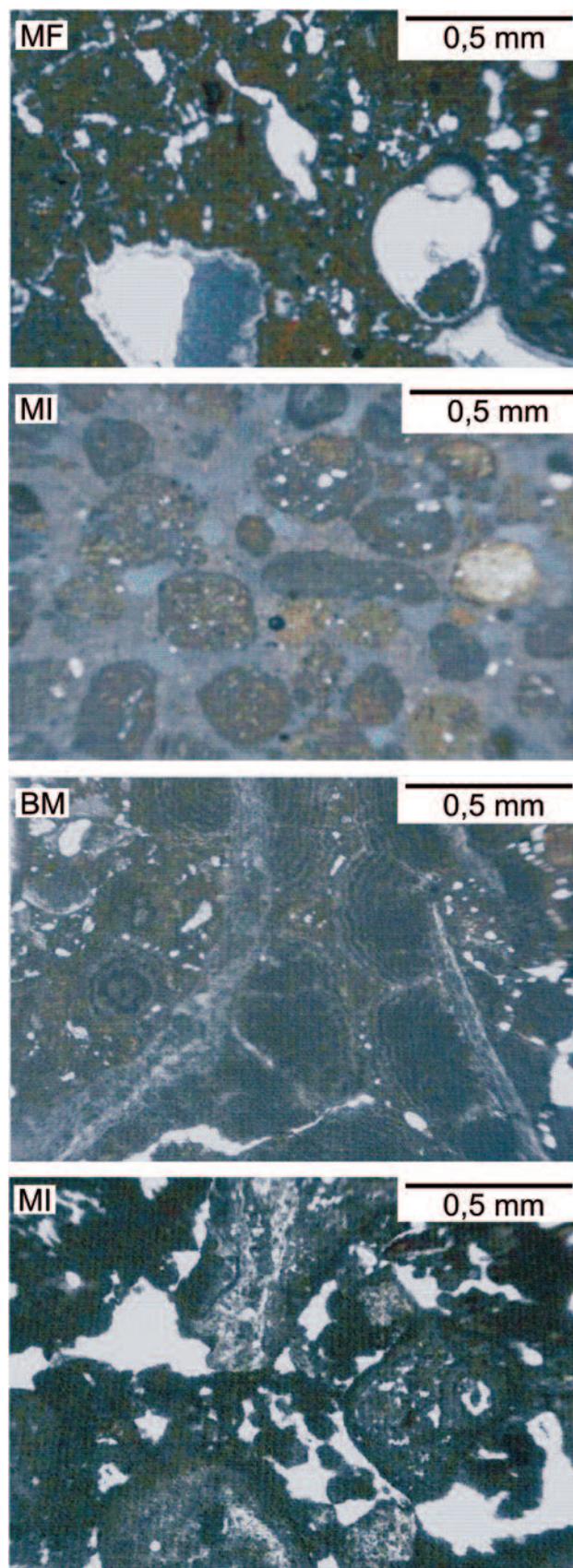


Fig. 4. Ejemplos de microfacies características del Plioceno superior en las localidades de Gorafe, Fonelas y Baza. Clave: MI-micrita con intraclastos, MF-micrita con fósiles, BM-biomicrita.

tone, *packstone* y *grainstone*, según la clasificación de Dunham (1962). En este caso, los sistemas Plioceno, Gelasense “facies proximales” y Calabriense presentan los valores más altos, mientras que el sistema Gelasense “facies distales” muestra un mayor contenido en microfacies de mayor tamaño de grano. El último dato obtenido se refiere a la evolución del factor de variabilidad en las microfacies, el cual se basa en la suma de todos los parámetros considerados, presentes en cada unidad. Este último factor muestra una tendencia general descendente desde el Plioceno hasta el Pleistoceno medio.

Además de las facies carbonatadas descritas, objeto fundamental de este trabajo, los sistemas lacustres *s.l.* incluyen facies terrígenas finas (limos, arcillas y calcilutitas) travertinos, niveles oscuros ricos en materia orgánica y celestina, y niveles evaporíticos, compuestos de yeso balatino y microcristalino, y concentrados en la unidad Gelasense “facies distales”, situada en la subcuenca de Baza.

Discusión

En torno a un 50% de las facies carbonatadas (margocalizas, calizas y dolomías) plio-pleistocenas de la cuenca de Guadix-Baza aparecen a techo de secuencias sedimentarias elementales compuestas a muro por margas o calcilutitas. Genéticamente, estas secuencias se han asociado a procesos de somerización lacustre (Anadón *et al.*, 1995; Arribas *et al.*, 1988), representando los depósitos de margas y calcilutitas las condiciones de nivel alto o *highstand*, y los depósitos de margocalizas, calizas y dolomías las condiciones de nivel bajo o *lowstand* en las distintas etapas de sedimentación lacustre. Otro 40% de las facies carbonatadas citadas aparece a techo de secuencias sedimentarias compuestas a muro por lutitas o arenas en localidades cercanas a Gorafe y Fonelas (Plioceno) y Belerda (Gelasense “facies proximales”). Tales secuencias se asocian genéticamente a la alternancia entre etapas de sedimentación lacustre *s.l.* y llanuras de inundación aluvial (Arribas *et al.*, 1988). En varias localidades, ambos tipos de secuencias muestran una repetición cíclica, interpretada a partir de oscilaciones climáticas con frecuencias temporales comprendidas entre 20 y 100 ka, correspondientes a ciclos de precesión, oblicuidad y excentricidad orbital (García-Aguilar y Martín, 2000; García-Aguilar *et al.* 2013). En el primer caso, tales ciclicidades se han establecido para secuencias pliocenas junto a las localidades de Gorafe y Fonelas (subcuenca de Guadix) y secuencias calabrienses de localidades cercanas a Orce. En el segundo tipo de secuencias, los órdenes de ciclicidad se han establecido en secuencias gelasienses de carácter proximal cercanas a las localidades de Belerda (subcuenca de Guadix) y Zújar, y secuencias del Pleistoceno medio situadas junto a la localidad de Cúllar-Baza.

Los datos litológicos, texturales y estructurales presentes en las facies carbonatadas que constituyen los estratos superiores de estas secuencias permiten precisar sus condiciones genéticas.

De este modo, los depósitos de calizas y dolomías suelen presentar una serie de rasgos asociados genéticamente

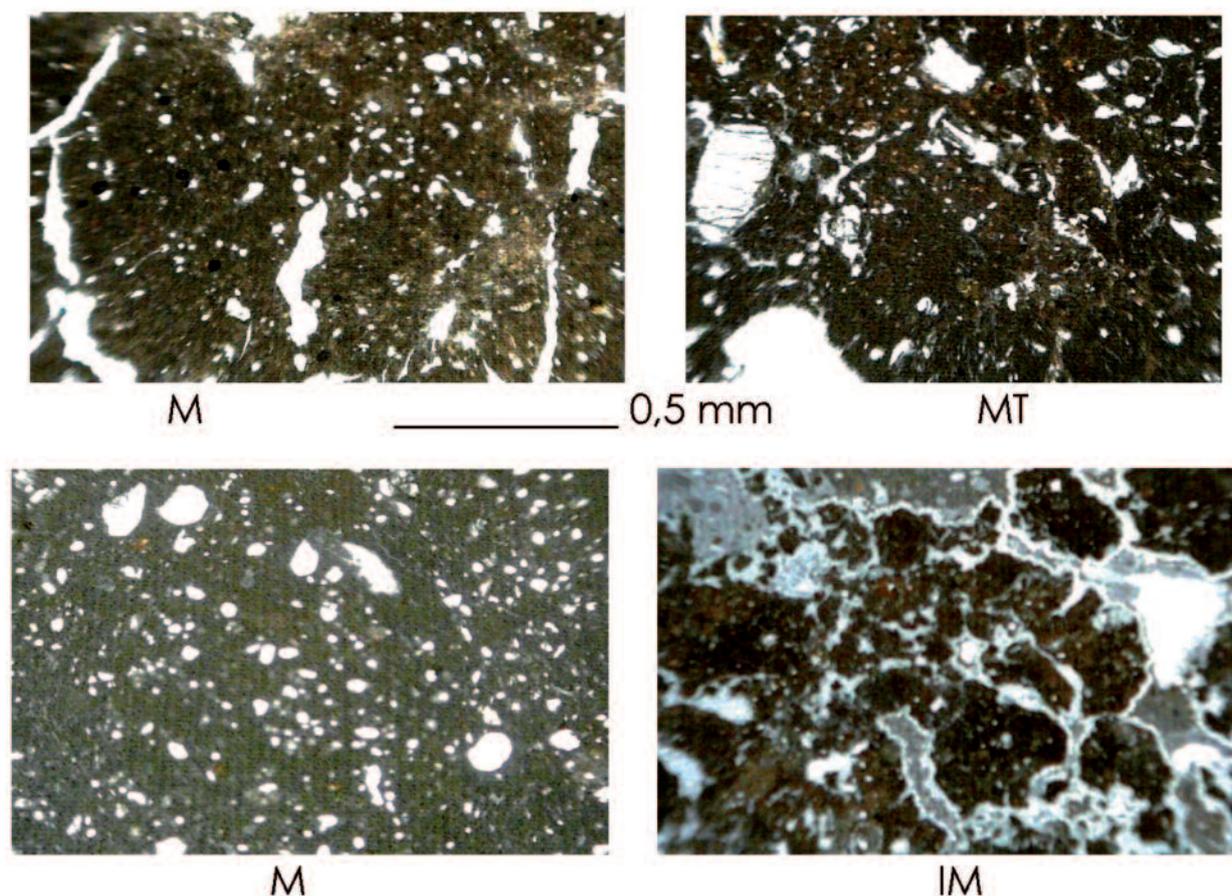


Fig. 5.- Ejemplos de microfácies características del sistema Gelasense “facies proximales” en las localidades de Belerda y Zújar. Clave: MT-micrita con terrígenos, M-micrita, IM-intramícrita.

a condiciones lacustres y elevada actividad (micro)biológica, como son la presencia de estructuras bacterio-algales, oolíticas, oncolíticas y peloidales, junto a fábricas masivas micríticas (Kempe y Kazmierczak, 1993; Flügel, 2010; Gierlowski-Kordesch, 2010). Estos mismos autores citan la presencia de elementos texturales, presentes con cierta frecuencia a lo largo de las unidades plio-pleistocenas de la cuenca de Guadix-Baza, asociados a depósitos costeros lacustres, como son: niveles de concentración de gasterópodos fragmentados, intraclastos aislados, gravas pisolíticas, oolitos y cantos negros.

Las facies de margocalizas, por el contrario, muestran en todos los casos abundantes estructuras edafogénicas, tales como nodulización, bioturbación, brechificación, *bird-eyes*, costras calcáreas y marmorización, indicativas de un régimen sedimentario palustre (Klappa, 1980; Abels *et al.*, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2009; Alonso-Zarza y Tanner, 2010; Flügel, 2010; Jenningsa *et al.*, 2011), caracterizado por su escasa profundidad o exposición subaérea ocasional, desarrollo pedogenético y elevada actividad (micro)biológica. El análisis de microfácies ofrece una serie de datos acerca de los modelos y condiciones sedimentarias y paleoecológicas específicas en cada una de las etapas consideradas, dentro de los dos grandes escenarios genéticos planteados: lacustre y palustre.

De este modo, el porcentaje de poros presentes en las muestras se mantiene en unos valores medios entre el 17 y

el 22% de su superficie a lo largo de los distintos sistemas, excepto en el Gelasense “facies distales” (11%). La presencia de poros en facies carbonatadas aparece asociada a procesos (micro)biológicos tales como producción de burbujas generadas por la actividad metabólica de colonias bacterioalgales, el crecimiento de raíces de macrófitas y las perforaciones de invertebrados en el sedimento, generadas fundamentalmente en contextos palustres (Flügel, 2010; Gierlowski-Kordesch, 2010). En el primer caso, los poros tendrán morfologías sub-circulares, tal y como aparece de modo mayoritario en los sistemas gelasienses (Figs. 5 y 6), mientras que en el segundo y tercer caso, se darán morfologías unidimensionales dentro de una extensa variedad (alargados, bifurcados y en enrejado, Figs. 4 y 7), comunes en las muestras del Plioceno y el Calabriense. En el caso de los poros de forma anular, se suelen asociar a estructuras de desecación (Fig. 7), propias de contextos edafogénicos (Arribas *et al.*, 1988; Flügel, 2010), comunes en las muestras de los sistemas Calabriense y Gelasense “facies proximales”.

La abundancia de elementos terrígenos heredados resulta otro factor de interés interpretativo. El conjunto de muestras de todos los sistemas lacustres, excepto el Gelasense “facies distales”, muestran porcentajes de estos elementos entre el 3 y el 8%, lo que sería indicativo de una limitada influencia aluvial directa sobre los lugares y periodos de sedimentación lacustre y/o palustre carbonatada.

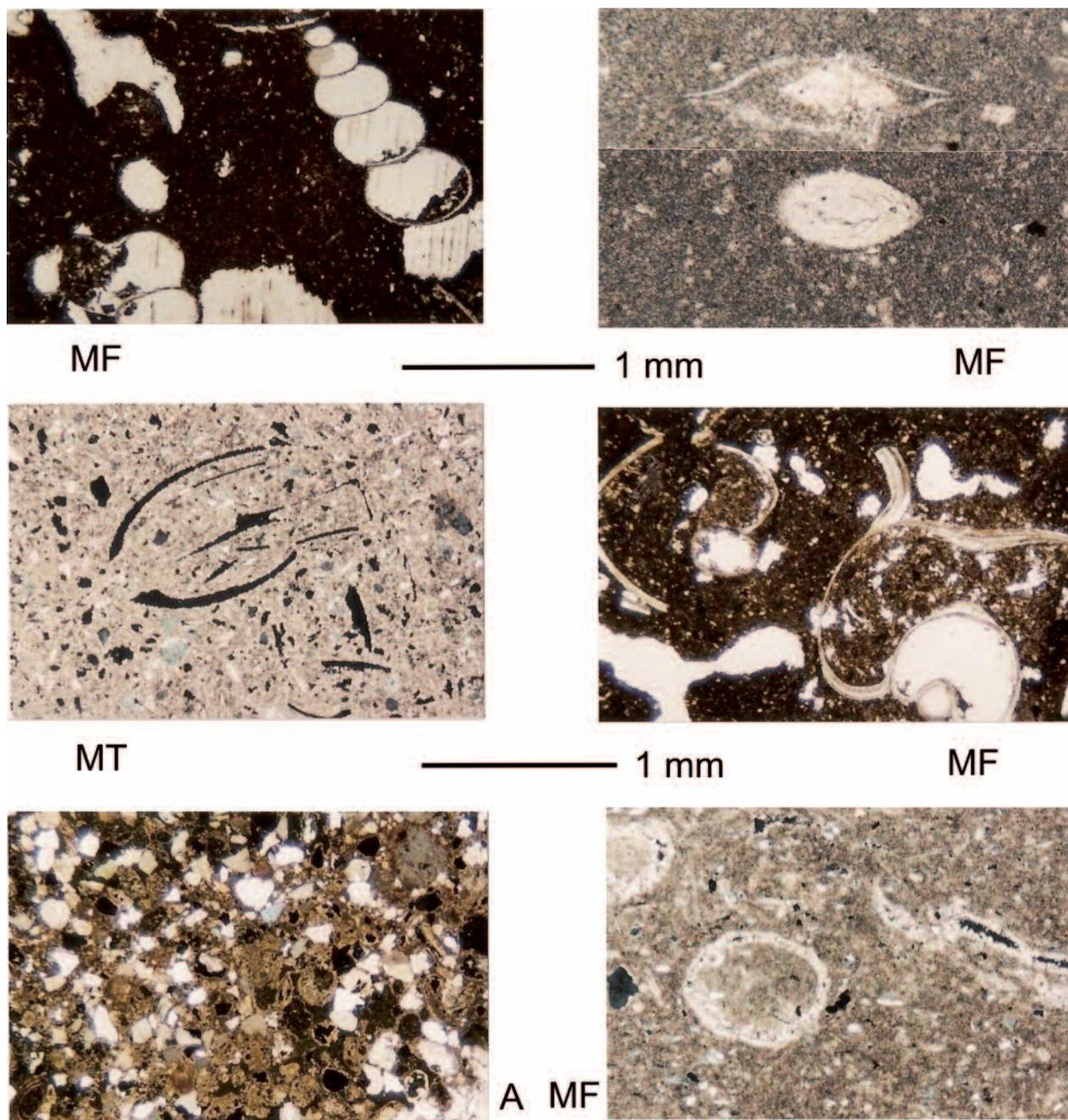


Fig. 6.- Ejemplos de microfácies características del sistema Gelasense “facies distales” en las localidades de Castilléjar y Benamaurel. Clave: A-arenisca, MT-micrita con terrígenos, MF-micrita con fósiles.

En el sistema Gelasense “facies distales” aparece un 34% de componentes terrígenos heredados, lo que puede ser interpretado como evidencia de aportes terrígenos continuos en el medio y una conexión lateral entre el lago evaporítico, presente en este periodo en la subcuenca de Baza, y los sistemas fluviales distales, provenientes desde la subcuenca de Guadix.

Los tipos de microfácies presentes constituyen otro elemento de cara a definir las condiciones sedimentarias de cada unidad, donde destaca el carácter específico respecto al tipo dominante. En todos los casos analizados, salvo las muestras de areniscas, el sedimento base aparece compuesto por una matriz micrítica, a menudo de carácter grumoso (*clotted*), genéticamente asociada a la actividad microbiológica de colonias bacterianas, algas y pequeños

invertebrados, que generan el sedimento carbonatado mediante reacciones metabólicas (Flügel, 2010).

De este modo, el sistema plioceno presenta el mayor porcentaje (46%) de microfácies orgánicas (biomicritas, micritas con fósiles y micritas con oncolitos), lo que indica un medio sedimentario lacustre con intensa actividad biológica, que induciría la aparición de restos orgánicos en el 68% de las muestras. En cuanto a las facies micríticas, dominan en el sistema Gelasense “facies proximales” (57% de las muestras), lo que parece indicar la existencia de episodios de sedimentación carbonatada tanto lacustres como palustres (Arribas *et al.*, 1988). Asimismo, los sistemas gelasienses presentan el mayor porcentaje de muestras (43 y 37%) correspondientes a micritas con terrígenos, evidenciando un notorio aporte aluvial. Las microfácies de micri-

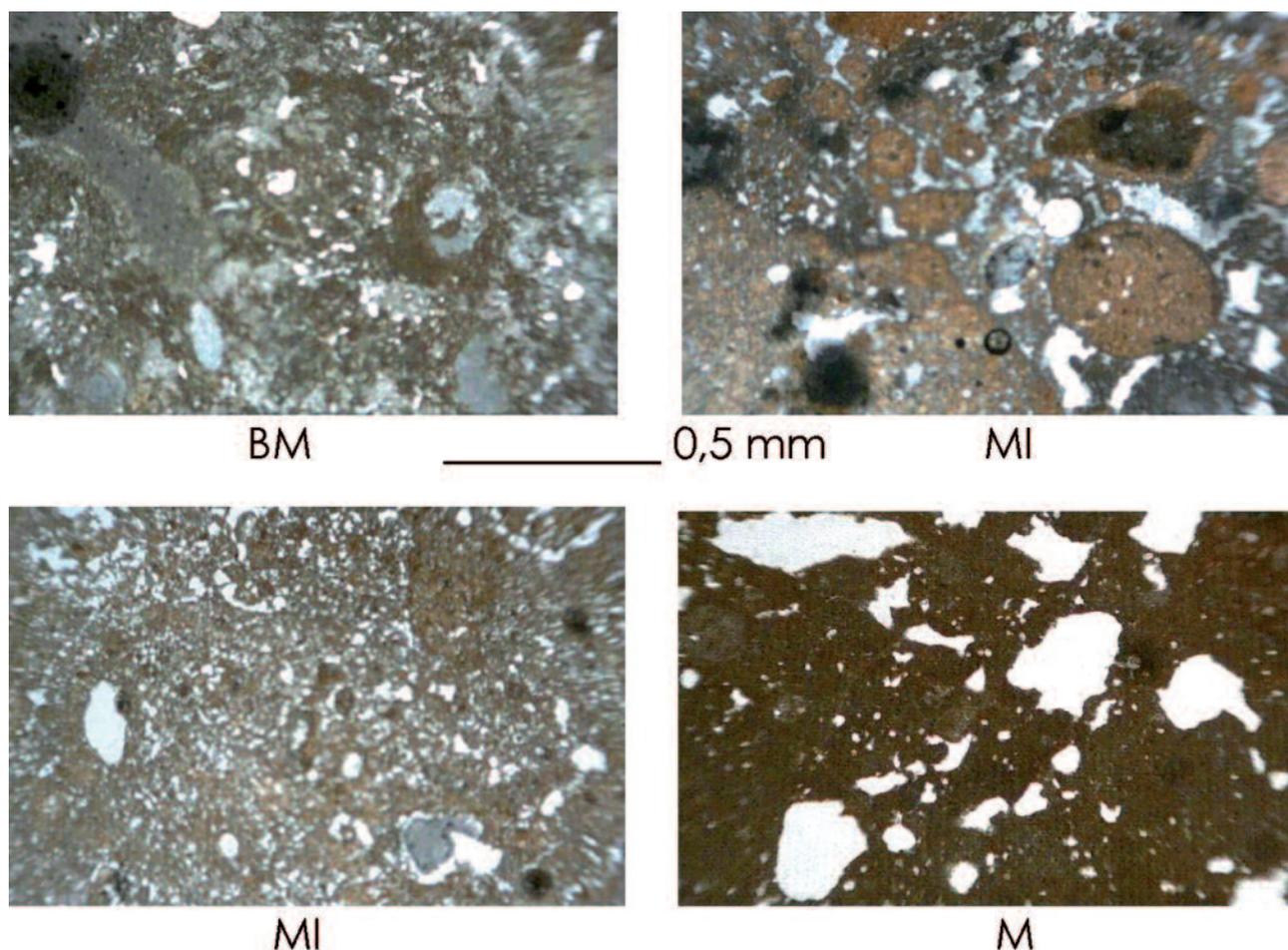


Fig. 7.- Ejemplos de microfacies características del sistema Calabriense en las localidades de Orce y Huéscar. Clave: MI-micrita con intraclastos, M-micrita, BM-biomicrita.

tas con intraclastos son dominantes en el sistema Calabriense (46%), e indicativas de procesos hidrodinámicos en el medio lacustre (Gierlowski-Kordesch, 2010). Por último, la mayor presencia de areniscas se produce en el sistema Pleistoceno medio, lo que sugiere una clara influencia aluvial en los episodios de sedimentación lacustre *s.l.*

El último factor a considerar trata del tipo de aloquímicos presentes en las muestras de las distintas unidades. Destaca en este sentido el sistema Plioceno, donde todas sus muestras presentan tales elementos (intraclastos, gasterópodos, elementos algales y oncolitos), indicativos de la intensa actividad biológica desarrollada durante esta etapa. Le sigue en presencia y variedad de aloquímicos la unidad Calabriense, con elevados porcentajes de intraclastos en sus muestras. El sistema Gelasense “facies distales” destaca por la masiva aparición de ostrácodos en el 82% de sus muestras, interpretados como evidencia de condiciones de elevada salinidad, ligada a un escenario general de tipo *playa-lake* (Anadón *et al.*, 1995; García-Aguilar y Martín, 2000). Los sistemas Gelasense “facies proximales” y Pleistoceno medio muestran el menor contenido de aloquímicos, lo que en principio indicaría un menor desarrollo biológico relativo.

Los datos anteriores permiten establecer una serie de características sedimentarias y paleoecológicas diferenciales entre las distintas etapas de sedimentación lacustre car-

bonatada. De este modo, durante el Plioceno los periodos de sedimentación carbonatada se habrían desarrollado en un medio lacustre somero, sin etapas de emersión general, marcado por tres características: escasa influencia de aportes terrígenos aluviales, gran actividad biológica y una hidrodinámica muy activa. La elevada actividad biológica aparece reflejada en el tipo de microfacies (46% de biomicritas, micritas con oncolitos y micritas con fósiles) y en los elementos texturales orgánicos presentes en las muestras, mientras que la existencia de una hidrodinámica activa se pone en evidencia mediante la presencia de niveles de gravas pisolíticas e intraclastos aislados, con tamaños de hasta 5 cm, interpretados como depósitos costeros (Arribas *et al.*, 1988), junto a la presencia, en el 77% de las muestras, de intraclastos con signos de removilización. La escasa proporción de material terrígeno heredado en estas láminas (3%) proviene en todo caso de las Zonas Internas (frente montañoso Sur), dada su composición de micas y fragmentos de rocas metamórficas. Por consiguiente, se puede considerar la existencia de oleajes y/o corrientes de cierta energía en el seno del sistema lacustre, capaces de originar el transporte de este material intraclástico. El sistema Gelasense “facies proximales” revela la presencia de escenarios de sedimentación palustre carbonatada marcados por dos características: un menor desarrollo relativo de actividad biológica frente a los demás sistemas considera-

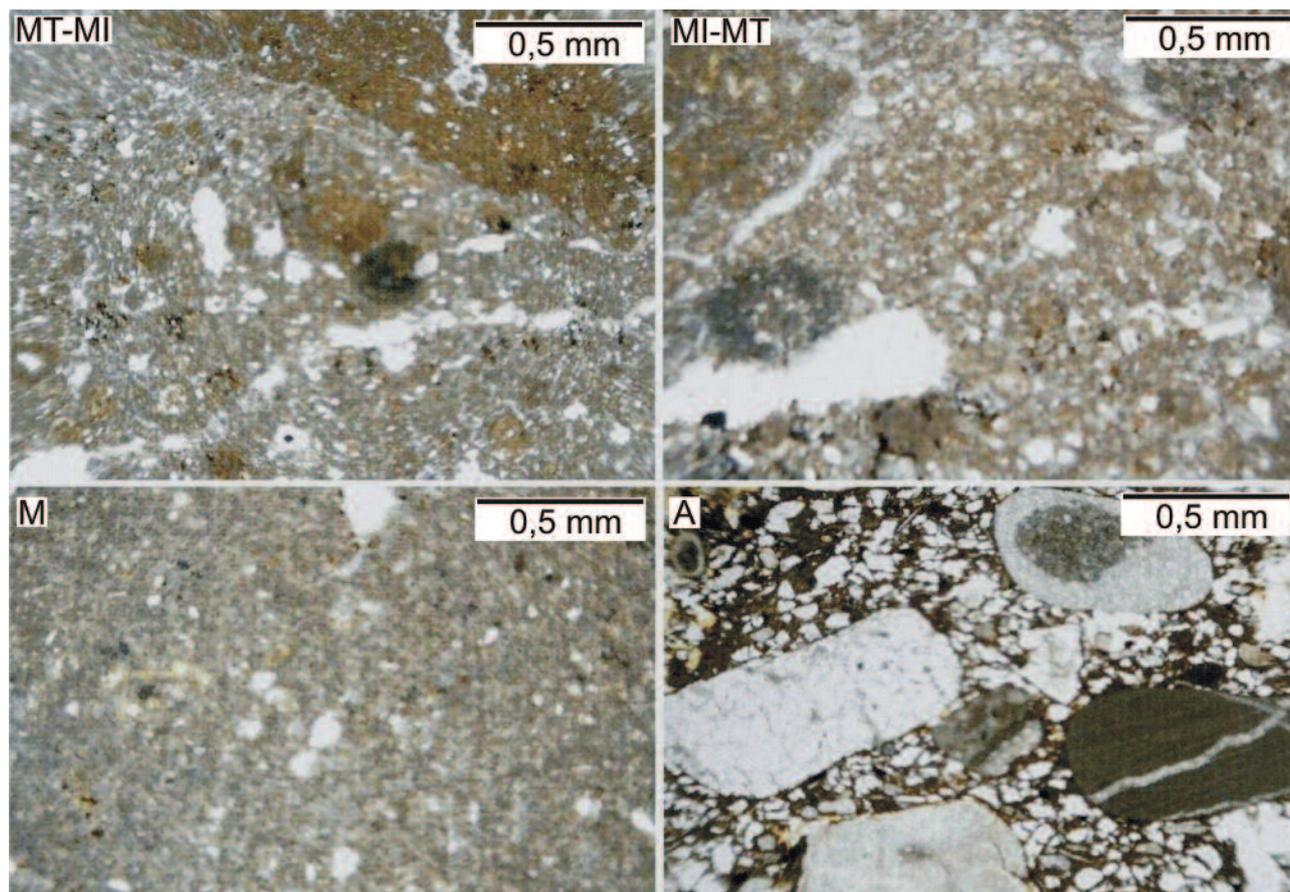


Fig. 8.- Ejemplos de microfacies características del Pleistoceno medio en las localidades de Cúllar-Baza y Huéscar. Clave: A-arenisca, M-micrita, MT-micrita con terrígenos, MI-micrita con intraclastos.

dos y una influencia más notoria de los aportes terrígenos. La menor actividad biológica se refleja en la ausencia de fósiles en las muestras analizadas, mientras que las etapas episódicas de emersión quedan marcadas en las texturas y estructuras de edafización (brechificación, nodulización y costras). La influencia de los aportes terrígenos en estos medios se evidencia por la proporción elevada de micritas con terrígenos (43%) y el contenido medio de terrígenos en las muestras (8%). El sistema Gelasiense “facies distales” revela la presencia de medios sedimentarios lacustres carbonatados eventuales, correspondientes a los niveles de dolomías y margocalizas, que constituyen solo un 5% del espesor sedimentario registrado en él. Este sistema, marcado por un contexto general de tipo *playa-lake* evaporítico, presenta dos características esenciales: una apreciable influencia de aportes terrígenos (porcentaje medio de terrígenos en las muestras del 34%) provenientes desde la subcuenca de Guadix y un elevado desarrollo de la actividad biológica, reflejada en la alta proporción de fósiles presentes en las muestras, sobre todo ostrácodos, presentes en el 82% de los casos. Otros tipos de aloquímicos característicos son los gasterópodos e intraclastos, presentes en el 27% de las muestras. El sistema calabriense se caracteriza por episodios de sedimentación carbonatada, tanto lacustres como palustres, marcados por tres características: una gran variabilidad sedimentaria en el tiempo y el espacio, una elevada productividad biológica y un régimen hidrodinámico

activo. La variabilidad sedimentaria de esta unidad se pone de manifiesto mediante un extenso catálogo de facies y secuencias, muchas de ellas con una limitada continuidad lateral. La elevada productividad biológica queda plasmada en los depósitos de calizas y margocalizas, que incluyen abundantes estructuras bacterioalgales, foraminíferos, bivalvos, ostrácodos y gasterópodos, junto a trazas de vegetación macrófita e icnitas producidas por organismos excavadores, lo que se expresa en la alta proporción de poros unidimensionales y bifurcados en las muestras. Además, estas capas resultan prolíficas en fósiles de vertebrados, constitutivos de los yacimientos más importantes de la cuenca, como son Venta Micena, Fuente Nueva-3 y Barranco León-D (Espigares, 2010).

La tercera característica de este sistema se refiere a una hidrodinámica activa, reflejada en la frecuente aparición de niveles tractivos con intraclastos y bioclastos a escala del afloramiento, asociados genéticamente a zonas de costa lacustre (Arribas *et al.*, 1988). Otro dato de interés se refiere a la baja cantidad de elementos terrígenos heredados en las muestras (3%), indicativa de una influencia limitada de los aportes aluviales.

Por último, el sistema de edad Pleistoceno medio revela la presencia de medios sedimentarios palustres desarrollados sobre un contexto general de carácter aluvial y marcados por una alta variabilidad sedimentaria en el tiempo y el espacio, tal y como se aprecia en la variedad de microfacies

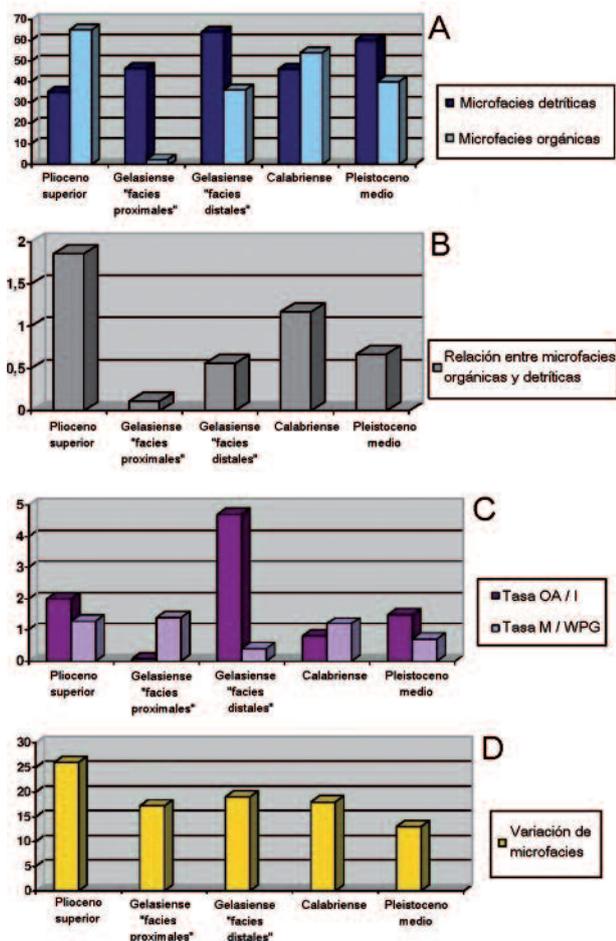


Fig. 9.- Gráficos correspondientes a la evolución de parámetros cuantitativos relacionados con microfácies lacustres plio-pleistocenas presentes en la cuenca de Guadix-Baza. A: valores en % de microfácies (MF) terrígenas y de origen orgánico en las distintas unidades. B: relación entre el número de muestras con microfácies de origen orgánico *s.l.* y microfácies de origen terrígeno *s.l.* en cada unidad. C: relaciones entre el porcentaje de aloquímicos orgánicos (AO) e intraclastos (I) en las muestras de cada unidad y relación cuantitativa entre el porcentaje de microfácies tipo *mudstone* y la suma de microfácies tipo *wackestone*, *packstone* y *grainstone* presentes en cada unidad. D: evolución de la variabilidad de microfácies en cada unidad como suma de los distintos tipos presentes según los factores considerados en la Tabla III.

existentes, algunas de ellas con una notoria presencia de ostrácodos, foraminíferos y gasterópodos. Los poros presentes en las muestras presentan formas circulares y bifurcadas comunes que revelan la existencia de burbujas de gas generadas por actividad microbiológica y raíces de macrófitas en el sedimento, características que evidencian unas condiciones edafogénicas de carácter palustre.

Los patrones paleoambientales deducidos para los distintos sistemas lacustres permiten proponer en cada uno de ellos una serie de escenarios generales, controlados por factores climáticos y tectónicos. De este modo, las etapas de mayor aporte de terrígenos (Gelasiense y Pleistoceno medio) podrían estar asociadas a una actividad tectónica tendente a activar de modo preferente los paleorrelieves exteriores situados en las Zonas Internas (frente montañoso Sur), que actuarían de modo mayoritario como origen de

los sistemas aluviales presentes durante el Plio-Pleistoceno (García-Aguilar y Martín, 2000; García-Aguilar y Palmqvist, 2011). Por otra parte, conviene indicar que los datos isotópicos disponibles para la fauna pleistocena, así como el análisis de la composición de las paleobiocenosis de mamíferos y reptiles, sugieren que las precipitaciones durante el conjunto del Pleistoceno eran superiores a las que se registran en la actualidad, especialmente durante el Calabriense (García-Aguilar *et al.*, en prensa). No obstante, la asociación de un mayor desarrollo de facies terrígenas en la cuenca con periodos de mayor humedad puede resultar controvertida (Pla-Pueyo *et al.*, 2009 y 2010; Viseras *et al.*, éste mismo volumen). Por otra parte, las etapas de mayor desarrollo biológico (Plioceno y Calabriense) se pueden asociar a un menor aporte de material terrígeno (García-Aguilar y Palmqvist, 2011; García-Aguilar *et al.*, en prensa), compatibles con los datos reflejados en el análisis microtextural y litológico de estos sistemas.

Conclusiones

La cuenca de Guadix-Baza muestra en su relleno sedimentario plio-pleistoceno cinco unidades litoestratigráficas donde aparecen de modo notorio depósitos carbonatados (margocalizas, calizas y dolomías principalmente), asociados a medios de sedimentación lacustre y palustre, cuyas edades son: Plioceno, Gelasiense "facies proximales", Gelasiense "facies distales", Calabriense y Pleistoceno medio. El análisis realizado a partir de las facies y microfácies carbonatadas en estos depósitos proporciona una serie de elementos (aloquímicos, terrígenos, poros, etc.), cuya interpretación indica la existencia de diferentes escenarios de sedimentación para cada sistema, en concordancia con los datos sedimentológicos y secuenciales observados en ellos:

- Plioceno: sistemas lacustres persistentes de alta productividad biológica, con una importante actividad hidrodinámica.
- Gelasiense de carácter proximal: sistemas palustres con poca persistencia relativa, ligados a un contexto aluvial.
- Gelasiense de carácter distal: sistemas lacustres efímeros de tipo *playa-lake* evaporíticos, con alta productividad biológica en conexión lateral con sistemas aluviales.
- Calabriense: sistemas lacustres y palustres persistentes con elevada productividad biológica, notoria actividad hidrodinámica y escasa influencia de aportes aluviales.
- Pleistoceno medio: sistemas palustres episódicos desarrollados en un contexto aluvial, poco persistentes en el tiempo y con cierta alimentación terrígena.

De este modo, las etapas de mayor influencia aluvial aparecen en el Gelasiense y en el Pleistoceno medio, lo que indicaría una activación erosiva de los paleorrelieves situados en el frente Sur de la cuenca. Por el contrario, durante el Plioceno y el Calabriense se habrían dado unas condiciones paleoecológicas de menor humedad relativa y limitado aporte de material terrígeno, adecuadas para el desarrollo de una intensa actividad biológica en el entorno de los sistemas lacustres.

Agradecimientos

Los autores dedican este trabajo al Profesor Juan Antonio Vera Torres, cuya labor docente y de investigación ha sido ejemplo a seguir por tantos geólogos. Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto de Excelencia P11-HUM-7248 de la Junta de Andalucía, Proyecto CGL2011-30334 del Ministerio de Ciencia e Innovación y Grupo de Investigación RNM-146 de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Abels, H.A., Aziz H.A., Calvo, J.P. y Tuenter, E. (2009): Shallow lacustrine carbonate microfacies document orbitally paced lake-level history in the Miocene Teruel Basin (North-East Spain). *Sedimentology*, 56 (2): 399-419.
- Alberdi, M.T. y Bonadonna, F.P. (1989): *Geología y Paleontología de la cuenca de Guadix-Baza*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC (Madrid), 355 p.
- Alonso-Zarza, A.M. y Tanner, L.H. (2010): *Carbonates in continental settings. Facies, environments and processes*. Developments in Sedimentology, 61, 378 p.
- Agustí, J., Cabrera, L., Garcés, M., Krijgsman, W., Oms, O. y Parés, J.M. (2001): A calibrated mammal scale for the Neogene of Western Europe: State of the art. *Earth-Science Reviews*, 52(4): 247-260.
- Anadón, P., Utrilla, R. y Julia, R. (1995): Palaeoenvironmental reconstruction of a Pleistocene lacustrine sequence from faunal assemblages and ostracode shell geochemistry. Baza basin, SE Spain. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 111: 191-205.
- Arribas, M.E., Fernández, J. y García-Aguilar, J.M. (1988). Análisis sedimentológico de los materiales lacustres (formación de Gorafe-Huelago) del sector central de la depresión de Guadix. *Estudios Geológicos*, 44: 61-73.
- Azañón, J. M., Tuccimei, P., Azor, A., Sánchez-Almazo, I.M., Alonso-Zarza, A.M., 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 (Betic Cordillera, Southeast Spain). *Special Paper - Geological Society of America*, 416: 223-239.
- Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1: 108-121.
- Espigares, M.P. (2010): Análisis y modelización del contexto sedimentario y los atributos tafonómicos de los yacimientos pleistocénicos del borde nororiental de la cuenca de Guadix-Baza. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 533 p.
- Flügel, E. (2010): *Microfacies of carbonate rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer Verlag, Heidelberg, 930 p.
- Folk, R. (1962): Spectral subdivision of limestones types. En: *Classification of carbonate rocks* (W.E. Ham, Ed.). American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1, 62-84.
- Fregenal, M.A. y Meléndez, N. (2010): Lagos y sistemas lacustres. En: *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria* (A. Arche, Ed.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Textos Universitarios, 46, 299-396.
- García-Alix, A., Minwer-Barakat, R., Martín-Suárez, E. y Freudenthal, M. (2008): Biostratigraphy and sedimentary evolution of Late Miocene and Pliocene continental deposits of the Granada Basin (southern Spain). *Lethaia*, 41(4): 431-446.
- García-Aguilar, J.M. (1997): La cuenca de Guadix-Baza (Granada): evolución geodinámica y sedimentaria de los depósitos lacustres entre el Turoliense superior y el Pleistoceno. Tesis Doctoral, Univ. Granada (inédita), 532 p.
- García-Aguilar, J.M. y Martín, J.M. (2000): Late Neogene to recent continental history and evolution of the Guadix-Baza basin (SE Spain). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13: 65-77.
- García-Aguilar, J.M. y Palmqvist, P. (2011): A model of lacustrine sedimentation for the early Pleistocene deposits of Guadix-Baza basin (southeast Spain). *Quaternary International*, 243: 3-15.
- García-Aguilar, J.M., Guerra-Merchán, A., Serrano, F. y Palmqvist, P. (2013): Ciclicidad sedimentaria en depósitos lacustres evaporíticos tipo playa-lake del Pleistoceno inferior en la cuenca de Guadix-Baza (Cordillera Bética, España). *Boletín Geológico y Minero*, 124 (2): 239-251.
- García-Aguilar, J.M., Guerra-Merchán, A., Serrano, F., Palmqvist, P., Flores-Moya, A. y Martínez-Navarro, B. (en prensa): Hydrothermal activity and its paleoecological implications in the latest Miocene to Middle Pleistocene lacustrine environments of the Baza Basin (Betic Cordillera, SE Spain). *Quaternary Science Reviews*.
- Gierlowski-Kordesch, E.H. (2010): *Lacustrine carbonates*. Developments in Sedimentology, 61, 1-100.
- Jenningsa, D.S., Lovelaceb, D.M. y Driesea, S.G. (2011): Differentiating paleowetland subenvironments using a multi-disciplinary approach: An example from the Morrison formation, South Central Wyoming, USA. *Sedimentary Geology*, 238 (1-2): 23-47.
- Kempe, S. y Kazmierczak, J. (1993): Sotonda crater lake, Indonesia: Hydrogeochemistry and biocarbonates. *Facies*, 28: 1-32.
- Klappa, C.F. (1980): Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition and significance. *Sedimentology*, 27: 613-629.
- Mein, P. (1976): Biozonation du Néogène méditerranéen à partir de mammifères. *Proceeding VI RCNMS Congress, Bratislava*, 2, 78-81.
- Palmqvist, P., Martínez-Navarro, B., Toro, I., Espigares, M.P., Ros-Montoya, S., Torregrosa, V. y Pérez-Claros, J.A. (2005): A re-evaluation of the evidence of human presence during Early Pleistocene times in southeastern Spain. *L'Anthropologie*, 109: 411-450.
- Pla-Pueyo, S., Gierlowski-Kordesch, E.H., Viseras, C. y Soria, J.M. (2009): Major controls on sedimentation 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., Soria, J.M., Tent-Manclús, J.E. y Arribas, A. (2011): A stratigraphic framework for the Pliocene-Pleistocene continental sediments of the Guadix Basin. *Quaternary International*, 243: 16-32.
- Toro, I., Martínez-Navarro, B., Agustí, J., Souday, C., Bermúdez de Castro, J.M., Martín-Torres, M., Fajardo, B., Duval, M., Falguères, C., Oms, O., Parés, J.M., Anadón, P., Julià, R., García-Aguilar, J.M., Moigne, A.M., Espigares, M.P., Ros-Montoya, S. y Palmqvist, P. (2013): The oldest human fossil in Europe dated to ca. 1.4 Ma at Orce (Spain). *Journal Human Evolution*, 65: 1-9.
- Vatan, J.M. (1967): *Manuel de Sedimentologie*. Ed. Technip, Paris, 397 p.
- Vera, J.A. (1970): Estudio estratigráfico de la depresión de Guadix-Baza. *Boletín Geológico y Minero*, 81: 429-462.
- Viseras, C. (1991): Estratigrafía y sedimentología del relleno aluvial de la cuenca de Guadix (Cordilleras Béticas). Tesis Doctoral, Univ. Granada, 327 p.

MANUSCRITO RECIBIDO EL 16-10-2013

RECIBIDA LA REVISIÓN EL 5-02-2014

ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO EL 11-02-2014

