

Las evaporitas de la cuenca neógena de Fortuna (Murcia): Aspectos diagenéticos y geoquímicos

ELISABET PLAYÀ, LAURA ROSELL, FEDERICO ORTÍ

Departament de Geoquímica,
Petrologia i Prospecció Geològica, Universitat de Barcelona,
Zona Universitària de Pedralbes; 08071 Barcelona.

RESUMEN

El conjunto evaporítico messiniense de Fortuna está constituido por tres unidades de yesos (primarios y secundarios), que han sido denominadas: unidad evaporítica inferior, unidad evaporítica intermedia y unidad evaporítica superior. Estas unidades están separadas por tramos terrígenos (conglomerados, areniscas o lutitas).

El estudio petrológico detallado del conjunto evaporítico ha permitido definir las litofacies y variedades de yesos presentes en las tres unidades evaporíticas: litofacies primarias (yeso microlenticular bioturbado, gipsarenita y yeso selenítico), litofacies secundarias (yeso laminado-nodular) y yeso lenticular intersticial. La petrología ha sido el soporte inicial de los análisis geoquímicos (elementos traza y composición isotópica). Finalmente, a partir de la conjunción de los datos petrológicos y geoquímicos se ha interpretado la sedimentología y la secuencia diagenética del conjunto evaporítico de esta cuenca sedimentaria.

Los contenidos en elementos traza de los sulfatos cálcicos permiten caracterizar claramente las litofacies evaporíticas deposicionales, mientras que no muestran ninguna relación respecto a las litofacies y variedades de yesos secundarios.

Las unidades evaporíticas de la cuenca de Fortuna se depositaron en ambientes muy someros. En contraste con interpretaciones previas, la sedimentación en medios continentales y de transición fue frecuente. La disolución y reprecipitación de sulfatos triásicos fue un mecanismo productor de soluciones salinas muy común en la cuenca. La mayor parte de procesos diagenéticos que han afectado a las unidades evaporíticas han tenido lugar durante la etapa de diagénesis temprana. Se reconocen la mayoría de procesos caracte-

rísticos de los ambientes «sabkha»: dolomitización, anhidritización, silicificación (del cual se han diferenciado dos etapas) y sulfato-reducción bacterial.

Palabras clave: yeso, Messiniense, petrología, elementos traza, isotopía, diagénesis, cuenca de Fortuna, Cordilleras Béticas orientales.

ABSTRACT

The Messinian evaporitic deposit of Fortuna is formed by three gypsum (primary and secondary) units, which have been called: lower evaporitic unit, intermediate evaporitic unit and upper evaporitic unit. These units are separated by clastic units (conglomerates, sandstones or marls).

A detailed petrological study of the evaporites has allowed defining the gypsum lithofacies and varieties present in the three evaporitic units: primary lithofacies (microlenticular bioturbated gypsum, gypsarenite and selenitic gypsum), secondary lithofacies (laminated-nodular gypsum) and lenticular interstitial gypsum. On the basis of the petrological study, the following interstitial step has been geochemical analysis (trace elements and sulphate isotopic composition). Finally, we have established a sedimentological interpretation and the diagenetic sequence of the evaporitic deposit.

Trace element contents in calcium sulphates are characteristic for the different depositional lithofacies, however they don't show any relationship with secondary gypsum lithofacies and varieties.

Evaporitic units of the Fortuna basin were deposited in very shallow environments. In contrast to previous interpretations, it is proposed that sedimentation in continental and transitional environments was frequent. Dissolution and reprecipitation of Triassic sulphates were common mechanisms producing saline solutions in the basin. The main diagenetic processes which affected the evaporitic units took place during early diagenesis. Most of the characteristic processes of «sabkha» environments can be recognized: dolomitization, anhydritization, silicification (two different stages, at least) and bacterial sulphate reduction are the principal processes.

Key words: gypsum, Messinian, petrology, trace elements, isotopy, diagenesis, Fortuna basin, Eastern Betics.

INTRODUCCIÓN

En función de sus características (posición paleogeográfica, registro sedimentario ...), Rouchy (1981) define los diferentes tipos de cuencas que componen el dominio evaporítico messiniense del Mediterráneo: cuencas con un

término salino desarrollado, cuencas periféricas con sedimentación evaporítica de potencia reducida, cuencas precozmente emergidas y depresiones endorreicas situadas en posición distal.

Las cuencas neógenas de las Cordilleras Béticas orientales, que se sitúan en posición marginal durante el episodio evaporítico messiniense, han registrado esta crisis evaporítica con la presencia de formaciones predominantemente gipso-anhidríticas (que pueden incluir tramos halíticos). Este hecho las diferencia de las cuencas más internas, con potentes secuencias evaporíticas (millares de metros) en las que predomina la fase clorurada.

Aunque el registro evaporítico de gran parte de estas cuencas marginales era conocido, existen pocos trabajos geoquímicos de detalle de estos sedimentos. De acuerdo con ello, el principal objetivo de este trabajo es el estudio geoquímico-sedimentológico de una de estas cuencas: la cuenca de Fortuna.

Las primeras referencias a los depósitos postorogénicos del área de Fortuna se encuentran en Jiménez de Cisneros (1912) y Meseguer (1924). La tesis de Montenat (1973) significó un importante avance en el estudio local y regional de estos depósitos en el sector oriental del Sistema Bético. Santisteban (1981) enfoca su trabajo al análisis estratigráfico detallado de la cuenca de Fortuna, mientras que Lukowski (1988) y Loiseau (1988) se centran en la evolución tectosedimentaria de las cuencas de Fortuna y Archena-Mula, respectivamente. Aunque todos los trabajos describen las unidades evaporíticas, Müller (1986) es el primer autor que aplica la analítica geoquímica a estas facies. Playà (1994) estudia las evaporitas de esta cuenca introduciendo nuevos datos geoquímicos y ampliando los aspectos petrológicos y sedimentológicos.

MARCO GEOLÓGICO

La cuenca de Fortuna se sitúa en el margen SE de la Península Ibérica, en el extremo oriental de la provincia de Murcia. Se trata de una cuenca miocena que se extiende en dirección NE-SW y enlaza con la cuenca de Archena-Mula (fig. 1). La conexión entre ambas cuencas tiene lugar mediante una fractura direccional que coincide con el actual curso del río Segura: accidente del Segura Medio (Montenat, 1977). Sus límites NW y SE corresponden a dos zonas de cizalla: la falla Norbética (que define, a su vez, el límite estructural entre la zona interna o Bética y las unidades Prebéticas y Subbéticas de la zona externa) y la falla de Alhama de Murcia, respectivamente (fig. 1). La cuenca sedimentaria se configuró como tal en el Tortonense, en relación con la evolución tectónica post-serravaliense de la orogenia alpina en las Béticas orientales.

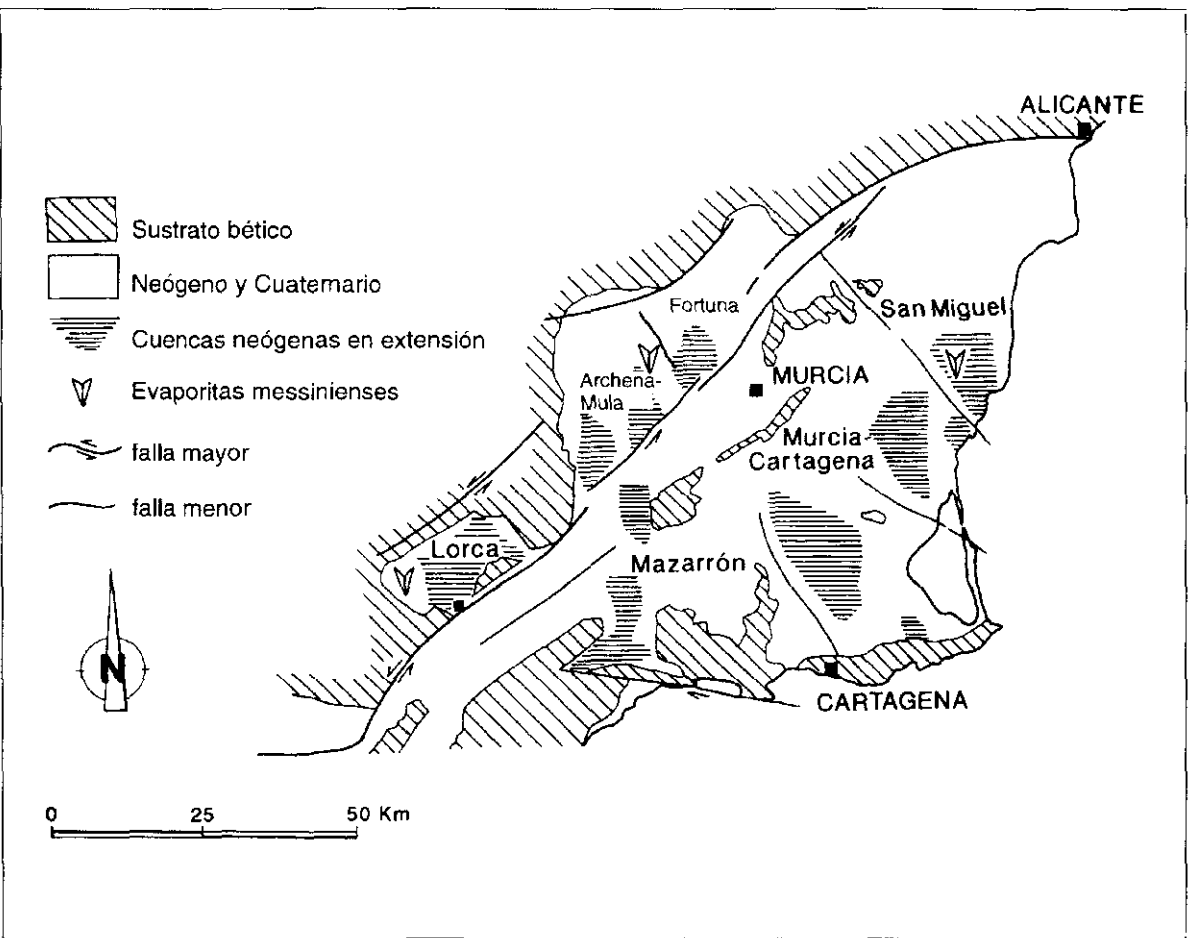


Fig. 1.—Cuencas neógenas del dominio nororiental de las Cordilleras Béticas (Ortí, 1990, modificado de Montenat *et al.*, 1987).

Fig. 1.—Neogene basins of the north-eastern Betic domain (Ortí, 1990, modified from Montenat *et al.*, 1987).

METODOLOGÍA

El muestreo se ha realizado en los perfiles de: La Serratilla (corresponde a las muestras con la nomenclatura ECH), El Tale (TL y LS), Río Chicamo (CH), Los Cabezos Negros (CN), carretera de Fortuna a Murcia C-3223 (FO), La Rambla Salada (RS), La Alcaina-El Montañal (AL), y Lorquí (LQ) (fig. 2).

ANÁLISIS DE ELEMENTOS TRAZA

El principal objetivo ha sido la determinación del contenido en Sr del sulfato cálcico, así como los contenidos en Na, K, Mg y Ca.

Las muestras han sido molidas y atacadas con HCl 2N, a fin de eliminar los carbonatos. Se ha utilizado esta concentración de ácido ya que es la concentración a la cual la celestina presenta la máxima solubilidad (Lucchesi & Whitney, 1962); mediante este proceso se consigue eliminar en los primeros estadios de tratamiento de la muestra una fracción de la celestina presente y disminuir el efecto de contaminación en estroncio por parte de este mineral (Playà, 1994). El yeso, que se encuentra en el residuo insoluble, es separado de los otros minerales acompañantes (arcillas, cuarzo) por disolución en agua bidestilada. La concentración de esta disolución es de 1:500 (0,5 gr de muestra en 250 ml de agua).

Finalmente, el residuo insoluble resultante (arcillas y cuarzo, principalmente) es filtrado y pesado, a fin de efectuar la «corrección del residuo» en el resultado final, si es necesario. Esta corrección toma en consideración el grado de pureza de las muestras para calcular la disolución real que efectuamos. Para residuos muy bajos y/o concentraciones del elemento en la muestra muy pequeñas no se ha tenido en cuenta el efecto del residuo.

Sr, Mg y Ca se han determinado mediante espectrofotometría de absorción atómica, mientras que para Na y K se ha utilizado la espectrofotometría de emisión atómica.

COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LOS YESOS

Se han determinado las composiciones isotópicas del oxígeno y azufre del sulfato, expresadas como $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{34}\text{S}$ (en ‰) respectivamente. Las muestras, previamente, han sido sometidas a un ataque ácido (HCl 2N) para eliminar el aporte de CO_2 del carbonato encajante en los yesos. Se ha seguido el método de preparación de Longinelli & Craig (1967) para el oxígeno, y Robinson & Kusakabe (1975) para el azufre. La $\delta^{18}\text{O}$ se ha obtenido en un espectrómetro de masas VG ISOGAS SIRA series 10, en referencia al patrón SMOW

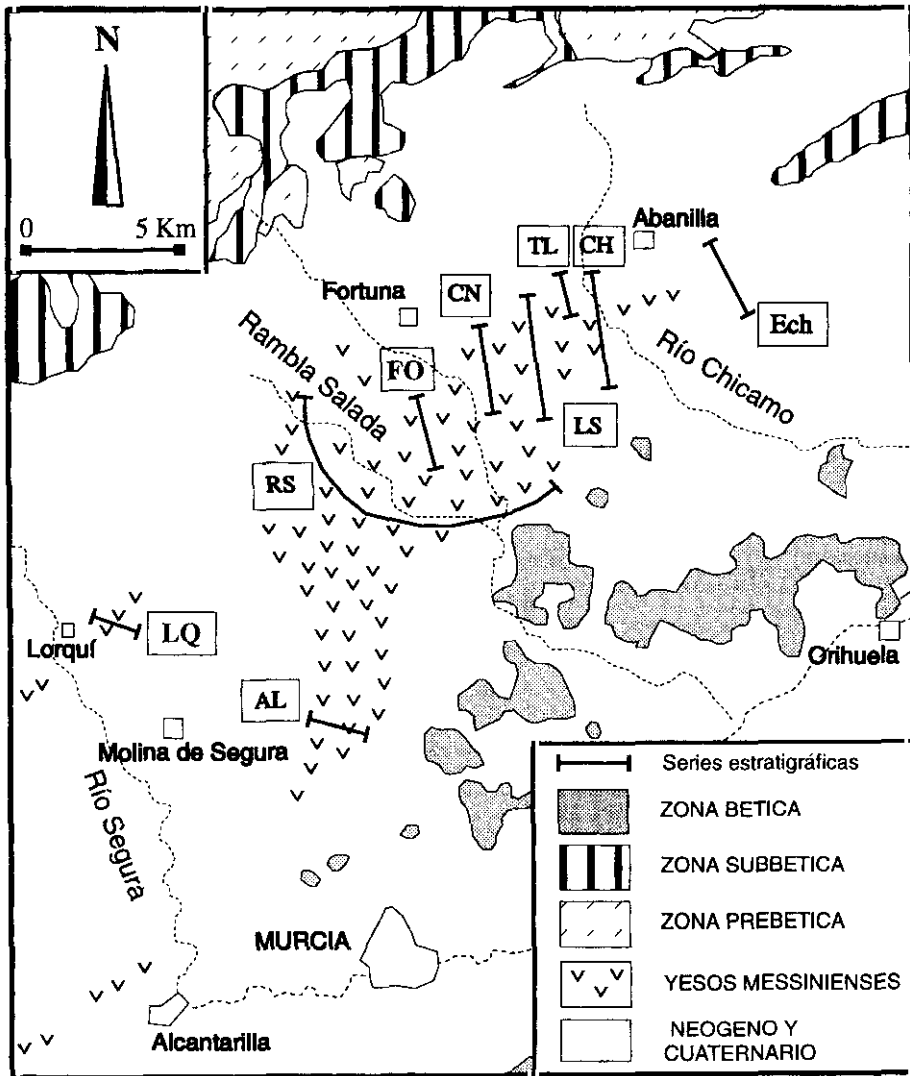


Fig. 2.—Situación de las series estratigráficas. AL: La Alcaina, LQ: Lorquí, RS: Rambla Salada, FO: carretera Fortuna-Murcia, CN: Los Cabezos Negros, TL: El Tale, LS: El Tale (II), CH: Río Chicamo, ECH: este de la cuenca de Fortuna (La Serratilla).

Fig. 2.—Location of the stratigraphic profiles. AL: La Alcaina, LQ: Lorquí, RS: Rambla Salada, FO: Fortuna-Murcia road, CN: Los Cabezos Negros, TL: El Tale, LS: El Tale (II), CH: Río Chicamo, ECH: East of Fortuna basin (La Serratilla).

(Craig, 1961). Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ se han obtenido en un espectrómetro de masas VG ISOGAS SIRA series II, según el patrón CDT (Nakai & Jensen, 1963 y 1964).

LAS UNIDADES EVAPORÍTICAS

El registro evaporítico de la cuenca de Fortuna ha sido estudiado por varios autores (Santisteban, 1981; Müller, 1986; Lukowski, 1988; Playà, 1994). En el presente trabajo se ha tomado como referencia la estratigrafía evaporítica seguida en Ortí *et al.* (1993) y Playà (1994), trabajos en los cuales se distinguen tres unidades yesíferas principales: unidad evaporítica inferior, unidad evaporítica intermedia y unidad evaporítica superior, las cuales son sólo en parte coincidentes con las de autores previos (fig. 3).

La distribución de estas tres unidades en la cuenca no es simple, sino que está íntimamente relacionada con la evolución tectónica messiniense (Playà, 1994), período en el cual la cuenca mantiene un régimen tectónico compresivo (Lukowski, 1988).

La *unidad evaporítica inferior* está formada por yesos secundarios laminado-nodulares, con una potencia de 5-15 m. Su distribución en la cuenca es irregular, aflorando predominantemente en el margen norte de la cuenca evaporítica (entre las poblaciones de Abanilla y Fortuna).

La *unidad evaporítica intermedia*, separada de la anterior por un tramo lutítico de 25 a 100 m de espesor, está formada por dos subunidades:

— *Yesos Chicamo* (Ortí *et al.*, 1993) o de *Tale* (de Müller, 1986): tramo inferior constituido por yesos secundarios laminado-nodulares (10-15 m). En las cercanías de la localidad de Abanilla se ha descrito la existencia de domos seleníticos diagenizados (Santisteban, 1981).

— *Ciclos diatomítico-evaporíticos Chicamo* (Müller, 1986; Müller & Schrader, 1989): tramo superior formado por varios ciclos con margas y diatomitas en la base. El techo de los ciclos puede estar constituido por: capas de yeso secundario, frecuentemente con laminación estromatolítica y nódulos de azufre elemental, yeso secundario con laminación planoparalela, o yeso primario selenítico. La potencia promedio de cada ciclo es de 5 m, reconociéndose hasta 7 ciclos completos aflorantes. Este tramo presenta un espesor total de 30-75 m.

Entre la unidad intermedia y la superior, localmente se encuentra un nivel detrítico de unos 10 m. de potencia. Esta capa, denominada por Santisteban (1981) «capa Wichmann», está formada por conglomerados y brechas rojas con base erosiva, que intercalan niveles de areniscas y lutitas. La *unidad evaporítica superior* es la única que incluye facies de yesos predominantemente primarias, en contraposición con las anteriores. El espesor es muy variable: desde 25 m en el sector más oriental de la cuenca de Fortuna (Abanilla), has-

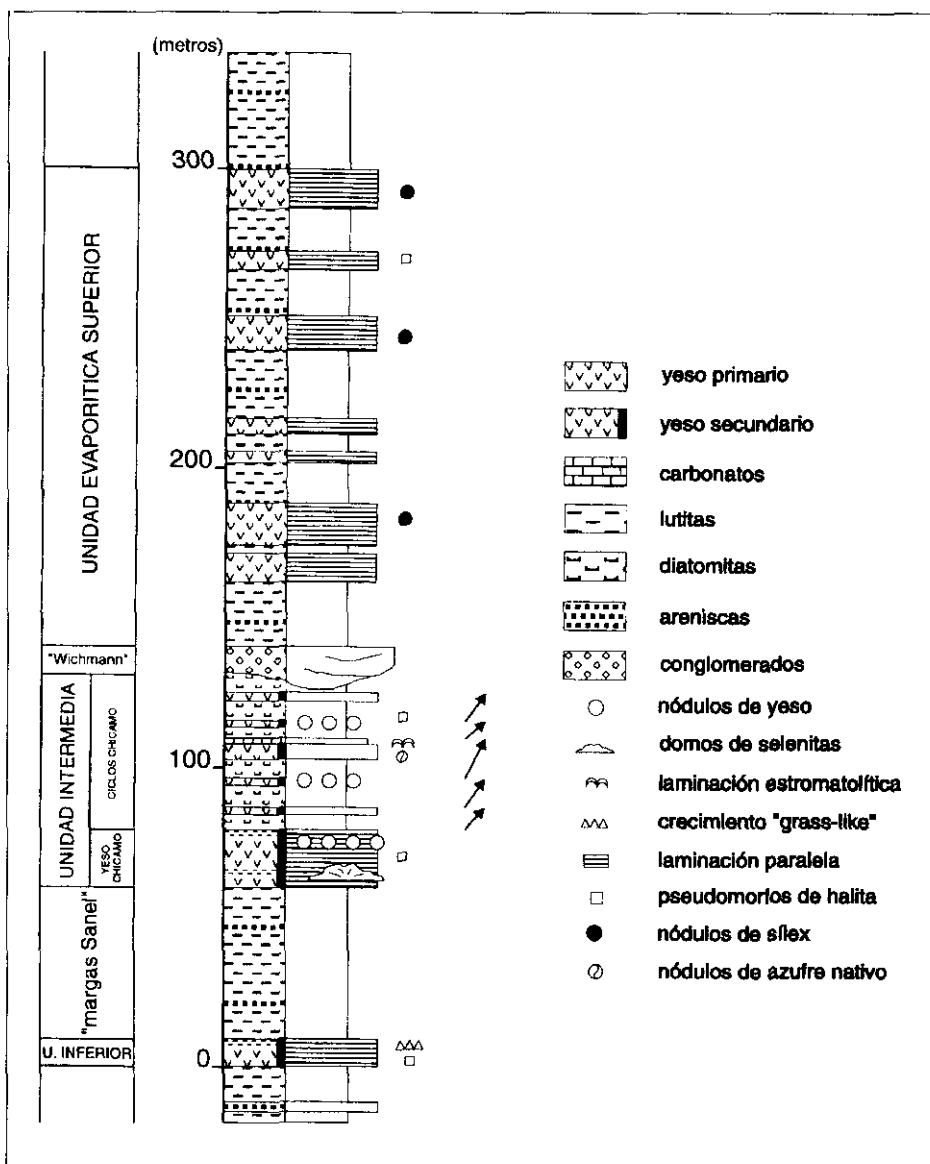


Fig. 3.—Columna estratigráfica sintética de las unidades evaporíticas de la cuenca de Fortuna.
 Fig. 3.—Synthetic stratigraphic profile of the evaporitic units of the Fortuna basin.

ta 200 m en la Rambla Salada. En el sector de la Rambla Salada, la unidad se identifica como una sucesión de niveles de lutitas y margas con yesos lenticulares intersticiales, y capas de yeso microlenticular bioturbado con nódulos de sílex a techo. En el área de Río Chicamo, la unidad está básicamente formada por gipsarenitas y lutitas.

PETROLOGÍA DE LAS UNIDADES EVAPORÍTICAS

En las evaporitas de Fortuna se distinguen: (1) facies primarias (deposicionales): yeso microlenticular bioturbado, gipsarenita, yeso selenítico, (2) facies secundarias: heredadas de la anhidrita (nodulares), heredadas del yeso primario (laminada y selenítica), (3) facies macrolenticular intersticial (4) carbonatos, (5) sílex, (6) encajante detrítico y minerales accesorios. Si bien los tres últimos elementos no son propiamente litofacies sulfatadas, se han englobado en el conjunto de facies evaporíticas por estar íntimamente relacionados con el proceso de deposición evaporítica, tal como se expondrá en el apartado de evolución diagénica.

YESO PRIMARIO

Si bien las litofacies deposicionales no son las más representadas en la cuenca de Fortuna, existen buenos afloramientos de yeso primario microlenticular bioturbado y gipsarenitas laminadas en la unidad evaporítica superior.

La litofacies microlenticular bioturbada, tal como su nombre indica, está formada por microlentículas cuyo diámetro oscila entre 30 y 400 μm . La microestructura de estos cristales es desorientada, excepto en las zonas bioturbadas, donde éstos se disponen tangencialmente alrededor de los tubos de bioturbación. Rodríguez-Aranda (1992) interpreta estas estructuras tubulares como bioturbación de origen animal (insectos, principalmente). Los cristales delimitan claramente el contorno de los tubos mediante una estructura en forma de arcos concéntricos característica. Los tubos están rellenos de cemento de yeso anhedral isométrico de tamaño inferior a 25 μm o de las propias microlentículas del encajante.

La litofacies gipsarenita, típicamente laminada, está constituida por cristales de yeso de 150 μm a 2 mm, de cuhbrales a anhbrales.

El yeso selenítico, como estructuras primarias preservadas, está presente a techo de la unidad evaporítica intermedia. Se manifiesta como cristales decimétricos, frecuentemente maclados según el plano (100) (macla típica de los selenitas messinienses). Estos crecen con tendencia subvertical pero, contrariamente a lo que sucede en las cuencas de Sorbas o San Miguel de Sali-

nas, no definen estructuras domáticas. Sin embargo, sí se encuentran estructuras pseudomórficas domáticas en la unidad evaporítica intermedia, ahora transformadas a yeso secundario alabastrino.

YESO SECUNDARIO

Las unidades inferior e intermedia están constituidas por yeso secundario en variedad megacristalina y alabastrina, si bien pueden intercalar algunos niveles de yeso primario. Puesto que el yeso secundario no tiene litofacies propias (Ortí, 1977), conserva la heredadas de las fases precursoras. En estas unidades evaporíticas, predominan las facies nodulares, categoría en la cual se han incluido también las estructuras en mosaico y del tipo «chicken-wire», heredadas todas ellas de la fase anhidrítica. Sin embargo, también se han distinguido algunas litofacies heredadas del yeso primario: facies laminada planoparalela, laminada estromatolítica y selenítica (dómica y crecimiento «grass-like»).

El yeso secundario raramente presenta una única variedad petrográfica, sino que éstas se asocian entre ellas. Los yesos estudiados se han clasificado como yesos secundarios laminado-nodulares, término ya utilizado con anterioridad en la cuenca de Calatayud (Ortí, 1992).

YESO LENTICULAR INTERSTICIAL

Esta litofacies se describe separadamente de las anteriores porque, a pesar de ser mineralógicamente primaria, se desarrolla durante la diagénesis temprana, por crecimiento intersticial. Este yeso se restringe a la unidad evaporítica superior, y siempre se encuentra asociado a la facies microlenticular bioturbada. Son cristales lenticulares de tamaño variable entre unos pocos milímetros hasta unos 20 cm., que crecen aislados, o en agregados, entre el encajante lutítico-margoso.

CARBONATOS

Los carbonatos (siempre en cantidades inferiores a los sulfatos) se encuentran como matriz calcítica de tamaño micrita, envolvente al yeso, o formando capas carbonatadas poco potentes (menos de 30 cm.). En este último caso, sus facies son poco variadas: mudstones masivos o con laminación estromatolítica, o wackestones bioclásticos, con fragmentos de bivalvos, gasterópodos, peloides, y, ocasionalmente, oogonios de carófitas.

Por otro lado, destaca la presencia de dolomita diseminada entre los

sulfatos. Se trata de dolomita microcristalina (dolomicrita) que sólo esporádicamente se manifiesta como dolomita euhedral (cristales romboédricos de 40-50 μm).

SÍLEX

El sílex se encuentra ampliamente representado en toda la sucesión evaporítica. Se distinguen varias litofacies características: (1) *Costras* de continuidad lateral decimétrica a métrica. Se hallan a techo de las capas de yeso microlenticular bioturbado de la unidad evaporítica superior. Han englobado las estructuras de bioturbación, preservándolas silicificadas. (2) *Nódulos* s.s., de 5 a 15 cm de diámetro, que también han silicificado la bioturbación. Se encuentran en la misma posición estratigráfica que las costras. (3) *Micro-nódulos*, de diámetro milimétrico hasta unos pocos centímetros. Se encuentran indiscriminadamente en toda la secuencia evaporítica y en cualquier posición dentro de las capas. Pueden englobar pseudomorfo de anhidrita prismática transformada a yeso secundario.

El cuarzo es la principal variedad de la sílice, encontrándose, según la clasificación de Arbey (1980), como megacuarzo heterométrico petaloide, megacuarzo isométrico y microcuarzo anhedral. Otras variedades detectadas son: calcedonia (lutecita), tridimita, ópalo y lussatita. La calcedonia forma esferulitos radiales, que pueden estar recubiertos por una película de lussatita.

ENCAJANTE DETRÍTICO Y MINERALES ACCESORIOS

El sedimento detrítico que incluye las litofacies evaporíticas es predominantemente arcilla. Presenta una composición similar en todas las unidades, caracterizada por la asociación mineralógica illita —interestratificados— clorita, principalmente, con proporciones variables de cuarzo, dolomita, calcita y feldespatos.

Otros minerales acompañan al sulfato, si bien son poco abundantes respecto a la roca total: celestina, nódulos de azufre elemental y piritita «fram-boidal».

La celestina se detecta tanto en las facies primarias como en los yesos secundarios. Se distribuye de forma irregular, formando acumulaciones puntuales de cristales de celestina prismáticos (5-80 μm) o anhedrales.

El azufre nativo, microcristalino, se encuentra formando nódulos de hasta 5 cm. de diámetro, que frecuentemente deforman la laminación del encajante. No es extraño encontrar pseudomorfo de cristales prismáticos de yeso primario englobados en estos nódulos. Las capas de yeso de los ciclos Chico de la unidad evaporítica intermedia son las que suelen contener el azufre.

DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS TRAZA EN EL YESO

Los contenidos en Sr, Na, K, Mg y Ca determinados en 96 muestras de yeso permiten caracterizar geoquímicamente las litofacies deposicionales representadas en las tres unidades evaporíticas, tomándose como referencia las unidades evaporíticas definidas en Ortí *et al.* (1993) y PLayerà (1994) (fig. 4 y fig. 5). Los mayores contenidos en Sr (1337 a 4986 ppm) se han detectado en los yesos microlenticulares bioturbados, seguidos por la litofacies de gipsarenita (485 a 3573 ppm Sr). Este hecho está en parte debido a la abundancia de celestina en las litofacies microlenticulares. Por otro lado, los contenidos en Na y K de las gipsarenitas muestran una mayor dispersión que los contenidos de estos elementos en los microlenticulares bioturbados, más homogéneos. Finalmente, las litofacies seleníticas son las que contienen menores cantidades de Sr (1121 a 1817 ppm), así como de Na, K y Mg, respecto al resto de facies primarias. El espectro de valores de estos elementos en los yesos seleníticos es muy similar al obtenido en las mismas facies de la cuenca de San Miguel de Salinas (Rosell, Ortí & García-Veigas, 1994).

Se pone de manifiesto una clara diferencia entre los contenidos en elementos de los yesos primarios respecto a los secundarios, siendo estos últimos los que presentan contenidos inferiores en elementos traza (especialmente en estroncio): los yesos secundarios contienen, en promedio, 793 ppm de Sr (fig.

LITOFACIES		Sr	Na	K	Mg
yeso selenítico	a	1121	93	31	<25
	b	1817	150	39	27
	c	763	55	25	<25
	d	376	36	7	*
	e	6	6	3	3
yeso microlenticular bioturbado	a	2380	90	61	91-112
	b	4986	229	215	432
	c	1337	32	11	<25
	d	1000	53	52	*
	e	20	19	20	20
gipsarenita	a	1633	129	84	60-74
	b	3573	271	280	261
	c	485	32	17	<25
	d	834	76	77	*
	e	23	22	22	16
yeso secundario	a	793	42	48	<25
	b	1879	72	198	204
	c	106	18	3	<25
	d	516	19	52	*
	e	45	47	47	46

Fig. 4.—Contenidos promedio en Sr, Na, K y Mg de yeso en función de sus litofacies. a. Media aritmética, b. valor máximo, c. valor mínimo, d. desviación estándar, e. número de muestras.

Fig. 4.—Mean contents of Sr, Na, K and Mg of the different gypsum lithofacies. a. mean, b. maximum, c. minimum, d. standard deviation, e. sample number.

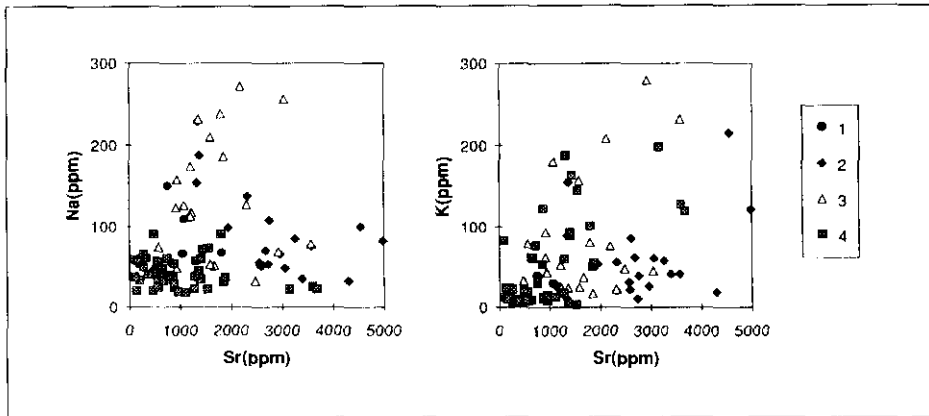


Fig. 5.—Diagramas Na-Sr y K-Sr de las muestras de yeso analizadas. 1. Yeso selenítico, 2. yeso microlenticular bioturbado, 3. gipsarenita, 4. yeso secundario.

Fig. 5.—Na-Sr and K-Sr diagrams of the analyzed samples. 1. Selenitic gypsum, 2. microlenticular bioturbated gypsum, 3. gypsarenite, 4. secondary gypsum.

4 y fig. 5). La transformación de la anhidrita a yeso secundario se traduce en un empobrecimiento en cationes (principalmente en Sr), de la misma manera que ocurre en otras cuencas de la Península Ibérica (Fort & Bustillo, 1986; Salvany, 1989; Rosell & Ortí, 1992). Se ha determinado una pérdida en Sr del orden del 50% en el caso de la rehidratación de los nódulos de anhidrita que reemplazan parcialmente a la capa de yeso primario selenítico.

Sin embargo, y contrariamente a lo que sucede con las litofacies primarias, no existe diferencia en función de los contenidos en elementos traza entre las litofacies ni variedades del yeso secundario.

COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LOS YESOS

Playà (1994) y Playà, Ortí & Rosell (1995) ofrecen las composiciones isotópicas de los sulfatos ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{34}\text{S}$, resultados en ‰) de las unidades evaporíticas de la cuenca de Fortuna. Estos análisis permiten distinguir el origen marino o continental de estos depósitos. Contrastando con interpretaciones previas, la sedimentación de los yesos en medios continentales y de transición fue frecuente durante el período evaporítico: las unidades evaporíticas inferior, los yesos Chicamo (unidad intermedia) y la unidad evaporítica superior se depositaron en medios continentales (localmente con influencias marinas), con salmueras procedentes de las disolución de evaporitas triásicas (ampliamente representadas en el margen norte de la cuenca). Por el contrario, las capas de yeso de los ciclos diatomítico-evaporíticos Chicamo precipitaron a partir de salmueras marinas.

SEDIMENTACIÓN EVAPORÍTICA Y PROCESOS DIAGENÉTICOS ASOCIADOS

Las unidades evaporíticas se depositaron en una cuenca somera (Santisteban, 1981; Playà, 1994) compartimentada en subdominios sedimentarios, controlados por el movimiento de las fallas transversales (N-S y NW-SE): accidentes del Segura, El Rellano, El Catalar, Chicamo y Los Vicentes (Lukowski, 1988).

La existencia de facies nodulares en la unidades inferior e intermedia es el reflejo de complejos de «sabkha», que evolucionan lateralmente a medios con lámina de agua que permiten la deposición de facies laminadas. Las facies primarias de la unidad superior definen el tránsito del medio deposicional más somero a las facies de centro de cuenca (fig. 6): en la zona externa (llanura lútica) se depositaron las lutitas con agregados lenticulares de yeso; la zona marginal se caracteriza por la presencia de yesos microlenticulares bioturbados, que gradan a gipsarenitas en la zona interna del lago salino efímero.

La mayor parte de procesos diagenéticos que han afectado a las unidades evaporíticas de la cuenca de Fortuna se han producido durante la etapa de diagénesis temprana. Se reconocen la mayoría de procesos característicos de los ambientes de «sabkha» (fig. 7):

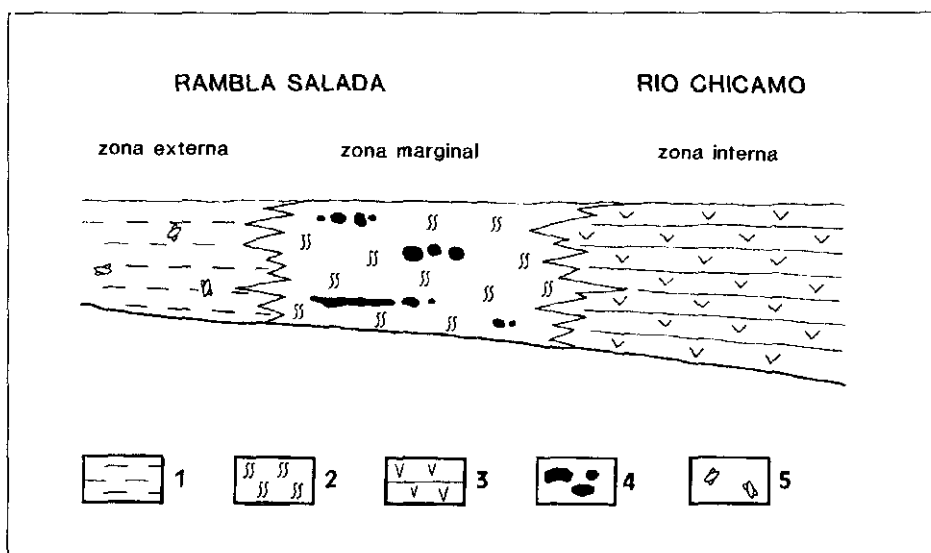


Fig. 6.—Modelo deposicional de las litofacies primarias de la unidad evaporítica superior. 1: lutitas, 2: yeso microlenticular bioturbado, 3: gipsarenita, 4: sílex, 5: yeso lenticular intersticial.
Fig. 6.—Depositional model of primary lithofacies of the upper evaporitic unit. 1: marls, 2: yeso microlenticular bioturbated gypsum, 3: gypsarenite, 4: chert, 5: lenticular intersticial gypsum.

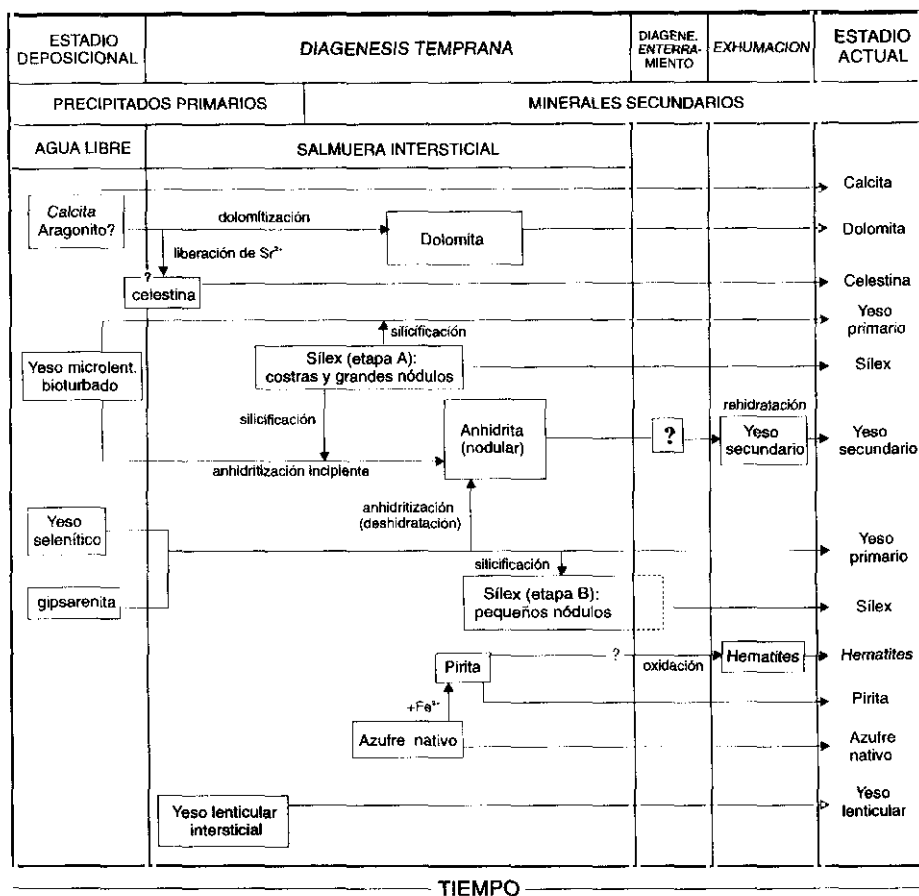


Fig. 7.—Sucesión temporal de las etapas diagenéticas que han afectado a las unidades evaporíticas.

Fig. 7.—Timing of the diagenetic stages that affected the evaporitic units.

DOLOMITIZACIÓN

La dolomitización ha sido un proceso poco importante en estas litofacies, no llegando a dar lugar a capas continuas de carbonato dolomitizado, sino que se encuentra en forma de encajante microdolomítico disperso entre el yeso. El proceso de dolomitización puede ser atribuido a la diagénesis temprana, inducido por la precipitación del yeso, de modo análogo al descrito en los sedimentos actuales del Golfo Pérsico (Illing, Wells & Taylor, 1965; Kinsman & Patterson, 1973).

ANHIDRITIZACIÓN

La preservación de niveles de yeso primario entre yeso secundario y la existencia de tránsitos laterales de facies primarias a facies nodulares secundarias sugiere descartar un proceso global de anhidritización por enterramiento (Murray, 1964), que habría provocado la transformación general de las unidades evaporíticas. Sin embargo, es posible aplicar el modelo de anhidritización temprana («sabkhatización»), modelo que ha sido ampliamente reconocido en varias cuencas de la Península Ibérica (Ortí & Pueyo, 1976; Ortí, 1992; Salvany, 1989; Salvany, Muñoz & Pérez, 1994).

Las generaciones de crecimientos anhidríticos del tipo «sabkha» provocan la alternancia de litofacies laminado-nodulares. Esta asociación de facies consiste en una repetición de: a) capas de yeso anhidritizadas que preservan la facies laminada original, y b) nódulos y niveles enterolíticos de anhidrita (Ortí, 1992).

SILICIFICACIÓN

El proceso de silicificación no ha sido único, sino que se ha producido, como mínimo, en dos etapas diferenciadas: etapa A y etapa B (fig. 8).

La *etapa A* ha afectado exclusivamente a los yesos microlenticulares bio-

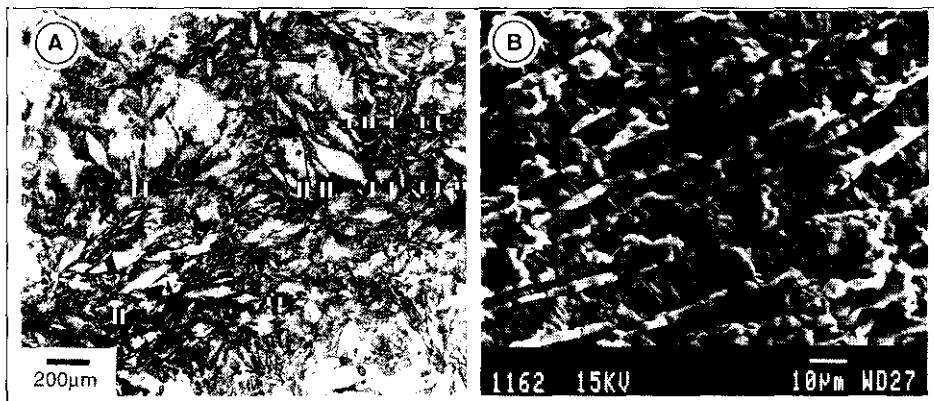


Fig. 8.—Etapas de silicificación. A. Etapa A: nódulo de sílex entre las facies microlenticulares bioturbadas de la unidad evaporítica superior con pseudomorfos de microlenticulas de yeso primario. B. Etapa B: micronódulo de sílex entre yesos secundarios con pseudomorfos de cristales prismáticos de anhidrita

Fig. 8.—Silicification stages. A. A Stage: microlenticular pseudomorphs in a chert nodule in the microlenticular bioturbated lithofacies (upper evaporitic unit). B. B stage: prismatic anhydrite pseudomorphs in a chert micronodule in secondary gypsum facies.

turbados de la unidad evaporítica superior, manifestándose siempre como costras o nódulos centimétricos de calcedonia y microcuarzo en la parte superior de las capas. Esta asociación con los yesos es muy común en algunas cuencas terciarias: cuenca de Calatayud (Ortí, 1992), cuenca del Ebro (Salvany, Muñoz & Pérez 1994), cuenca del Tajo (Bustillo & Bustillo, 1987), cuenca de Loranca (Arribas, Bustillo & Díaz, 1991), ... Se han propuesto diferentes teorías sobre el origen de este sílex: Santisteban (1981) señala un origen edáfico de estas facies, con la consecuente formación de una silcreta en un medio subaéreo. Sin embargo, los procesos pedogenéticos suelen tener carácter destructivo, por lo que probablemente no se habrían preservado las estructuras de bioturbación (de origen animal) presentes en los yesos microlenticulares.

La *etapa B* afectó a todas las unidades evaporíticas de Fortuna, manifestándose como micronódulos de cuarzo y calcedonia con pseudomorfos de anhidrita. En este caso, se trata claramente de un proceso post-anhidrítico, y previo a la rehidratación de la anhidrita.

SULFATO-REDUCCIÓN BACTERIAL

Los nódulos de azufre nativo engloban pseudomorfos de cristales prismáticos de yeso primario, y frecuentemente deforman la laminación del encajante (yeso secundario y carbonato); este hecho indica un origen temprano del proceso. Por otro lado, este origen temprano y la composición isotópica del azufre elemental (el valor promedio de $\delta^{34}\text{S}$ es de -18.5‰) concuerdan con un proceso de sulfato-reducción bacterial. Una parte del H_2S resultante de la sulfato-reducción bacterial pudo reaccionar con algunas de las partículas de hierro existentes en el medio (componentes clásticos), produciendo la formación de sulfuros de hierro. La frecuente presencia de pirita, se interpreta como la consecuencia de este fenómeno.

PRECIPITACIÓN DE CELESTINA

A pesar de que la celestina es un mineral muy común entre los sulfatos (fig. 9), su relación con el proceso evaporítico no se conoce muy bien. La presencia de éste mineral en las facies de yeso primario descarta el mecanismo de precipitación como consecuencia de la liberación de estroncio durante la transformación anhidrita-yeso. La fuente de estroncio necesario se ha podido conseguir por: evaporación de la salmuera (precipitación de la celestina coetáneamente con otros minerales evaporíticos, como el sulfato), transformación del encajante micrítico (aragonítico) a calcita (Olaussen, 1981) y/o liberación de este elemento durante la dolomitización sinsedimentaria de las partículas

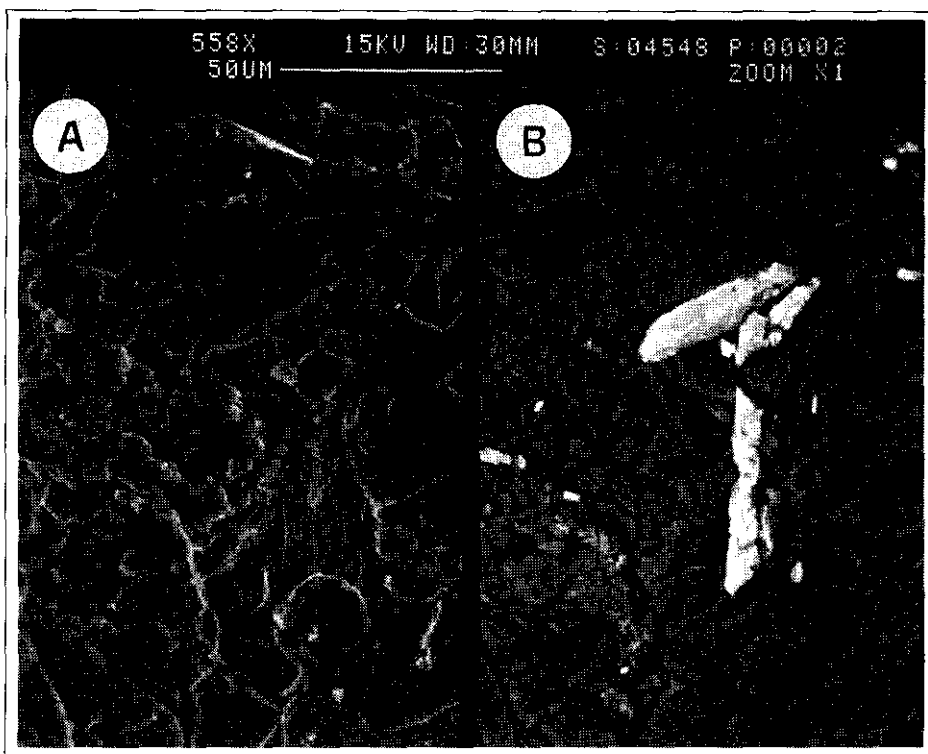


Fig. 9.—Cristales prismáticos de celestina entre yesos microlenticulares bioturbados. Comparación de la imagen de microscopía electrónica con electrones secundarios (A) y electrones retrodispersados (B).

Fig. 9.—Celestite prismatic crystals in microlenticular bioturbated gypsum. (A) Secondary electron image and (B) back-scattering electron image.

carbonatadas (Wood & Shaw, 1976; Kendall, 1984). Los tres mecanismos son aplicables al modelo de la cuenca de Fortuna, no pudiéndose descartar ninguno de ellos.

CONCLUSIONES

— En las unidades inferior e intermedia predominan los yesos secundarios laminado-nodulares. La unidad superior está formada por litofacies primarias: gipsarenitas y yesos microlenticulares bioturbados.

— Los contenidos en Sr, Na y K de los sulfatos cálcicos caracterizan las diferentes litofacies primarias. Los contenidos de estos elementos en los yesos

secundarios son más bajos que en las facies primarias, si bien no permiten la distinción de las litofacies de estos yesos secundarios.

— Excepto los yesos de los ciclos Chicamo de la unidad intermedia, que se depositaron en medios claramente marinos, el resto de unidades evaporíticas se sedimentaron en ambientes con importantes influencias continentales o de transición. La disolución y reprecipitación de las evaporitas triásicas fue un mecanismo de aporte de sulfatos al medio evaporítico en la cuenca de Fortuna.

— Los sulfatos de la cuenca de Fortuna se depositaron en una cuenca somera. Los procesos diagenéticos que han afectado a estas unidades han tenido lugar, principalmente, durante la etapa de diagénesis temprana. Se reconocen la mayor parte de procesos característicos de medios de «sabkha»: anhidritización, dolomitización, sulfato-reducción bacteriana y silicificación.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado en el marco del proyecto DGICYT PB90-0485.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARBÉY, F. (1980): «Les formes de la silice et l'identification des évaporites dans les formations silicifiées, Les évaporites: mécanismes, diagenèse et applications», *Bull. Cent. Rech. Explor-Prod. Elf Aquit.*, 4, 309-365.
- ARRIBAS, J., BUSTILLO, M. A. y DÍAZ, M. (1991): «Chert in bioturbated sediments of sabkha paleoenvironment», *VI Flint. International Symp.*, Abstracts, Madrid, 29-33.
- BUSTILLO, M. A. y BUSTILLO, M. (1987): «Contribución al conocimiento petrológico y geoquímico de silcretas formadas por silicificación (Mioceno, Cuenca del Tajo)», *Bol. Geol. Min.*, 98, 238-255.
- CRAIG, H. (1961): «Isotopic variations in meteoric waters», *Science*, 133, 1702-1703.
- FORT, R. y BUSTILLO, M. (1986): «Estudio geológico de los yesos miocenos de la zona este de la cuenca de Madrid», *Est. Geol.*, 42, 387-395.
- ILLING, L. V., WELLS, A. J. y TAYLOR, J. C. M. (1965): «Penecontemporary dolomite in the Persian Gulf», en L. C. Pray y R. C. Murray (eds.), *Dolomitization and limestone diagenesis: a symposium, SEPM sp. publ.*, 13, 89-111.
- JIMÉNEZ DE CISNEROS, D. (1912): «De Orihuela a Murcia», *Bol. Soc. Esp. Hist. Nat.*, XII, 204-208.
- KENDALL, A. C. (1984): «Evaporites», en R. G. Walker (ed.), *Facies models*, Geoscience Canada-Reprint series 1, 2.^a ed., 259-296.
- KINSMAN, D. J. J. y PATTERSON, R. J. (1973): «Dolomitization process in sabkha environment», *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 57, 788-789.
- LOISEAU, J. (1988): *Le segment d'Archena-Mula de l'accident Nord-Bétique (Espagne); ses relations avec la sédimentation néogène. Implications structurales*, Thèse Univ. Paris XI-Orsay, 192 pp., inédita.

- LONGINELLI, A. y CRAIG, H. (1967): «Oxygen-18 variations in sulfate ions in sea-water and saline lakes», *Science*, 156, 1431-1438.
- LUCCHESE, P. J. y WHITNEY, E. D. (1962): «Solubility of strontium sulphate in water and aqueous solutions of hydrogen chloride, sodium chloride, sulphuric acid and sodium sulphate by the radiotracer method», *Jour. Appl. Chem.*, 12, 277-279.
- LUKOWSKI, Ph. (1988): *Evolution tectonosédimentaire du bassin néogène de Fortuna (Cordillères bétiques orientales-Espagne)*, mem. 1, Géodiffusion éd., Paris, 255 pp.
- MESEGUER, J. (1924): «Estudio de los yacimientos de azufre de las provincias de Murcia y Albacete», *Bol. Inst. Geol.*, 45, 131-214.
- MONTENAT, Ch. (1973): *Les formations néogènes et quaternaires du Levant espagnol (provinces d'Alicante et de Murcia)*, Thèse Sci. Univ. Orsay, 1170 pp.
- (1977): «Les bassins néogènes du levant d'Alicante et de Murcia (Cordillères bétiques orientales-Espagne). Stratigraphie, paléogéographie et évolution dynamique», *Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, núm. 69, 345 pp.
- OTT D'ESTEVOL, Ph., DE LAROUZIERE, D. y BEDU, P. (1987): «Originalité géodynamique des bassins néogènes du domaine Bétique oriental (Espagne)», *Notes et Mémoires*, TOTAL, Compagnie Française des Pétroles, 21, 11-50.
- MÜLLER, D. W. (1986): *Die salinitätskrise im Messinian (spätes Miozän) der Becken von Fortuna und Sorbas (Südost-Spanien)*, Tesis Doctoral, R.T.H Zürich, 183 pp., inédita.
- y SCHIRADER, H. (1989): «Diatoms of the Fortuna Basin, South-east Spain: Evidence for the intra-messinian inundation», *Paleoceanography*, 4(1), 75-86.
- MURRAY, R. C. (1964): «Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite», *Jour. Sed. Petrol.*, 34(3), 512-523.
- NAKAI, N. y JENSEN, M. L. (1963): «Sulfur isotope meteorite standards, results and recommendation», *Biogeochim. of Sulfur Isot.*, Natl. Sci. Found. Symp. Volume, 30-35.
- (1964): «The kinetic isotope effect in the bacterial reduction and oxidation of sulfur», *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28(IV), 1893-1912.
- OLAUSSEN, S. (1981): «Formation of celestite in the Wenlock, Oslo Region Norway- evidence for evaporitic depositional environments», *Jour. Sed. Petrol.*, 51(1), 37-45.
- ORTÍ, F. (1977): «Aproximación al estudio de las microestructuras de las rocas de yeso secundario y a su origen», *Rev. Inv. Geol. Dip. Prov. Barc.*, 32, 87-152.
- (1990): «Introducción a las evaporitas de la Cuenca de Lorca», en F. Ortí y J. M. Salvany (eds.), *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante. Nuevas aportaciones y guía de superficie*, ENRESA-GPPG, Barcelona, 251-256.
- (1992): «Diagénesis en las evaporitas continentales del Terciario peninsular ibérico», *III Congr. Geol. Esp. i VIII Cong. Latinoam. Geol.*, Simposios I, 118-127, Salamanca.
- y PUEYO, J. J. (1976): «Yeso primario y secundario del depósito de Viloví (provincia de Barcelona, España)», *Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barc.*, 31, 5-34.
- GARCÍA-VEIGAS, J., ROSELL, L., ROUCHY, J. M., INGLÉS, M., GIMENO, D., KASPRZYK, A. y PLAYA, E. (1993): «Correlación litoestratigráfica de las evaporitas messinienses en las cuencas de Lorca y Fortuna (Murcia)», *Geogaceta*, 14, 98-101.
- PLAYA, E. (1994): *Petrologia, geoquímica i sedimentologia de les unitats evaporítiques de la conca de Fortuna. Comparació amb la conca d'Archena-Mula (Múrcia)*, Tesis de Licenciatura, Univ. Barcelona, 158 pp., inédita.

- ORTÍ, F. y ROSELL, L. (1995): «Composición isotópica de los yesos messinienses de la cuenca de Fortuna (Murcia): implicaciones sedimentológicas», *Geogaceta*, 18, 122-125.
- ROBINSON, B. W. y KUSAKABE, M. (1975): «Quantitative preparation of sulfur dioxide, for $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ analyses, from sulfides by combustion with cuprous oxide», *Analyt. Chem.*, 47(7), 1179-1181.
- RODRÍGUEZ-ARANDA, J. P. (1992): «Significado de bioturbaciones en un medio evaporítico continental (Mioceno de la Cuenca de Madrid)», *Geogaceta*, 12, 113-115.
- ROSELL, L. y ORTÍ, F. (1992): «Geochemical characteristics and facies analysis of a Miocene lacustrine gypsum deposit (Calatayud basin, Zaragoza, Spain)», *IGCP-324 Global*, Annual Meeting, Abstracts, 39-41.
- y GARCÍA-VEIGAS, J. (1994): «Geoquímica del estroncio en los yesos messinienses de la cuenca de San Miguel de Salinas (Alicante)», *Geogaceta*, 15, 82-85.
- ROUCHY, J. M. (1981): *La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée*, Thèse de Doctorat, Muséum National Hist. Naturel- Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 295 pp.
- SALVANY, J. M. (1989): *Las formaciones evaporíticas del terciario continental de la cuenca del Ebro en Navarra y la Rioja. Litoestratigrafía, petrología y sedimentología*, Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, 397 pp., inédita.
- MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (1994): «Nonmarine evaporitic sedimentation and associated diagenetic processes of the southwestern margin of the Ebro basin (Lower Miocene), Spain», *Jour. Sed. Research*, A64(2), 190-203.
- SANTISTEBAN, C. (1981): *Petrología y sedimentología de los materiales del Mioceno Superior de la Cuenca de Fortuna (Murcia), a la luz de la «Teoría de la crisis de salinidad»*, Tesis Doct., Univ. Barcelona, 2 vol., 722 pp., inédita.
- WOOD, M. W. y SHAW, H. F. (1976): «The geochemistry of celestites from the Yate area near Bristol (U. K.)», *Chem. Geol.*, 17, 179-193.

Manuscrito recibido: 29 de junio 1995

Manuscrito aceptado: 8 enero 1996