

do por ciclos con diatomitas en la base y yesos a techo (ciclos diatomítico-evaporíticos de Chicamo) (Müller, 1986; Ortí *et al.*, 1993).

La diferenciación de tres unidades evaporíticas se mantiene en la cuenca de Archena-Mula y su correlación con las unidades de la cuenca de Lorca se establece en Ortí *et al.*, (1993).

El conjunto de las litofacies yesíferas de estas unidades indica condiciones someras de sedimentación (Santisteban, 1981; Playà, 1994). Las unidades inferior e intermedia, así como la parte inferior de la unidad evaporítica superior, fueron interpretadas por Santisteban (1981) y Müller (1986) como depósitos marinos, mientras que sólo el último tramo de la unidad superior fue atribuido por dichos autores a ambientes continentales.

Metodología

En una primera fase analítica se han determinado las composiciones isotópicas (oxígeno y azufre) de 16 muestras de yeso (litofacies primarias y secundarias), siguiendo los criterios de preparación de las muestras de Longinelli y Craig (1967) para el oxígeno y Robinson y Kusakabe (1975) para el azufre. Se ha realizado una segunda fase analítica, refuerzo de la anterior, en la que se ha determinado únicamente la composición isotópica del azufre en 30 muestras de yeso. El conjunto de muestras pertenece a las tres unidades evaporíticas y son representativas de las diferentes litofacies que presentan los yesos.

Los resultados obtenidos se expresan como $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{34}\text{S}$, de tal forma que la d equivale a la diferencia relativa en ‰ de la muestra respecto a una referencia. Los patrones o referencias utilizados son: SMOW (Craig, 1961), para los valores de $\delta^{18}\text{O}$, y CDT (Nakai y Jensen, 1963 y 1964) para los valores de $\delta^{34}\text{S}$.

La $\delta^{18}\text{O}$ se ha obtenido en un espectrómetro de masas VG ISOGAS SIRA series 10, y la $\delta^{34}\text{S}$ en un espectrómetro de masas VG SIRA series II.

Las muestras están tomadas en los perfiles de La Serratilla (ECH), Río Chicamo (CH), El Tale (TL y LS), Los Cabezos Negros (CN), carretera Fortuna-Murcia (FO), La Rambla Salada (RS), La Alcaina-El Montañal (AL) y Lorquí (LQ). Se añade, como elemento comparativo, el perfil de Fuente Librilla (FL) de la cuenca de Archena-Mula (véase localización en Ortí *et al.*, 1993 y en Playà, 1994).

MUESTRAS	LITOFACIES YESIFERAS	$\delta^{18}\text{O}_{\text{smow}}(\text{‰})$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{cdt}}(\text{‰})$	UNIDAD EVAP.
ECH-11	gipsarenita	-	+21.8	IIB
ECH-3	gipsarenita	-	+22.2	IIB
ECH-8	gipsarenita	-	+13.2	III
TL-3	yeso secundario	+14.3	+21.1	I
TL-4	yeso secundario	-	+19.1	I
CH-4	yeso secundario	-	+15.3	IIA
CH-9	yeso secundario	-	+20.7	IIB
CH-16	yeso secundario	-	+22.4	IIB
CH-18	yeso secundario	-	+21.8	IIB
CH-20	yeso secundario	-	+16.5	IIB
CH-26	yeso secundario	+25.5	+15.1	III
CH-31	yeso secundario	-	+12.4	III
CH-33	gipsarenita	+24.1	+14.5	III
CH-42	microlent. bioturbado	+20.3	+11.4	III
LS-5	yeso secundario	-	+21.1	IIB
CN-10	yeso secundario	-	+ 22.0	I
CN-11	yeso secundario	-	+23.1	I
CN-14	yeso secundario	-	+21.6	IIB
CN-15	yeso secundario	-	+20.2	IIB
CN-18	yeso secundario	-	+15.6	III
FO-2	yeso secundario	-	+17.0	I
FO-5	yeso secundario	-	+20.7	IIB
RS-104	yeso secundario	+18.7	+14.8	I
RS-2	yeso secundario	-	+16.2	IIA
RS-5	yeso secundario	-	+16.7	IIA
RS-7	yeso secundario	-	+21.3	IIB
RS-10	yeso secundario	-	+22.9	IIB
RS-11	yeso secundario	-	+20.1	IIB
RS-28	yeso selenítico	+14.9	+22.0	IIB
RS-30	yeso selenítico	-	+20.6	IIB
RS-32	microlent. bioturbado	+15.6	+20.4	IIB
RS-22	microlent. bioturbado	+17.5	+15.2	III
RS-17	microlent. bioturbado	-	+15.0	III
RS-153	microlent. bioturbado	+18.2	+16.3	III
RS-159	microlent. bioturbado	+16.1	+15.5	III
AL-3	yeso secundario	-	+17.4	I
AL-8A	yeso secundario	+19.2	+14.3	I
LQ-4	yeso secundario	-	+14.4	IIA
LQ-7	yeso secundario	-	+16.4	IIA
LQ-9'	yeso secundario	-	+22.1	IIB
FL-10	gipsarenita	-	+14.1	I
FL-16	gipsarenita	+14.0	+13.5	I
FL-20	gipsarenita	+13.2	+14.6	I
FL-24	yeso secundario	+15.9	+20.3	IIB
FL-28	yeso secundario	+18.5	+25.5	IIB
FL-33	gipsarenita	+19.9	+16.5	III

Tabla I. Composiciones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) de las unidades evaporíticas de la cuenca de Fortuna. I, IIA, IIB, III: ver leyenda fig.1; (-) no se dispone de resultados.

Table I. Isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) of the evaporitic units of the Fortuna basin. I, IIA, IIB, III: see legend in fig.1; (-) unavailable results.

	GIPSARENITA			MICROLENTICULAR		
	n	X	d	n	X	d
$\delta^{18}\text{O}_{\text{smow}} (‰)$	2	+22.0	3	4	+18.0	2
$\delta^{34}\text{S}_{\text{cdt}} (‰)$	3	+14.8	2	5	+14.7	5

Tabla II. Composiciones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) promedio de las litofacies primarias de la unidad evaporítica superior. n: número de muestras; X: valor promedio; d: desviación standard.

Table II. Average isotopic compositions ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) of the primary lithofacies of the upper evaporitic unit. n: number of samples; X: mean; d: standard deviation.

Composición isotópica de los yesos

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ obtenidos oscilan entre +13.2 y +20.3‰ (valor promedio de +16.7‰), salvo dos muestras con composiciones isotópicas superiores (+24.1 y +25.5‰). Respecto a los resultados de $\delta^{34}\text{S}$, se diferencian tres grupos de valores (Playà, 1994) (Tabla I y Fig.1):

- Valores que oscilan entre +11.4 y +17.0‰ (promedio de +15.0‰).
- Valores que oscilan entre +20.1 y +25.5‰ (promedio de +21.7‰).
- Valores de composición isotópica intermedia entre los dos conjuntos arriba definidos (entre +17 y +20‰).

Unidad evaporítica inferior

La unidad inferior es la que presenta mayor dispersión en los resultados de $\delta^{34}\text{S}$, puesto que éstos oscilan entre +13.5 y +20.1‰. Por el contrario, la $\delta^{18}\text{O}$ es más homogénea (entre +13.2 y +19.2‰), con un promedio de +15.9‰.

Las composiciones isotópicas del azufre se enmarcan predominantemente en el rango de las composiciones isotópicas de los sulfatos triásicos de la Península Ibérica (Utrilla *et al.*, 1992), excepto en algunas muestras del sector nororiental de la cuenca de Fortuna (muestras TL-3, CN-10 y CN-11). En estas últimas la $\delta^{34}\text{S}$ corresponde a la composición isotópica de los sulfatos terciarios marinos. Las muestras TL-4 y AL-3 presentan valores intermedios entre las composiciones isotópicas de los sulfatos terciarios y triásicos.

Por lo tanto, en el extremo nororiental de la cuenca de Fortuna, la unidad evaporítica inferior precipitó a partir de una salmuera marina. En el resto de la cuenca, se depositó a partir de aguas continentales procedentes del lixiviado de los sulfatos cálcicos triásicos (principalmente Keuper), que afloran am-

pliamente en el margen norte de la cuenca. En la cuenca de Archena-Mula se mantienen estas condiciones de sedimentación. Las muestras con composiciones isotópicas intermedias entre los sulfatos triásicos y terciarios se interpretan como evaporitas precipitadas a partir de una mezcla de salmueras marinas y continentales.

De acuerdo con estos resultados isotópicos y con las litofacies dominantes (yesos secundarios laminado-nodulares), la unidad evaporítica inferior se depositó en un medio lacustre somero (lago salino efímero, de Hardie *et al.*, 1978), que lateralmente (hacia el NE) gradaría a ambientes transicionales y medios de "sabkha" costera. Un modelo similar se ha descrito en un medio "sabkha" actual en el golfo de Sirta (Libia) (Rouse y Sherif, 1980).

La inestabilidad tectónica de la cuenca durante el Messiniense (Lukowski, 1988), conjuntamente con el carácter somero de los medios evaporíticos, favoreció la heterogeneidad sedimentológica de esta unidad evaporítica inferior.

Unidad evaporítica intermedia

La separación de la unidad intermedia en dos tramos también se refleja en la composición isotópica de cada uno de ellos:

-El nivel de yesos inferiores (yesos Chicamo) presenta valores de $\delta^{34}\text{S}$ entre +14.4‰ y +16.7‰, cuyo promedio es de +15.8‰. No se dispone de datos de oxígeno. Estos valores son comparables a las composiciones isotópicas típicas triásicas, hecho que indica que estos yesos se depositaron en un medio lacustre con soluciones procedentes de los márgenes de las cuencas.

-Las $\delta^{18}\text{O}$ de las capas de yesos desarrolladas a techo de los ciclos diatomítico-evaporíticos presentan valores de +14.4 a +18.5‰ (promedio de

15.9‰). La composición isotópica del azufre varía entre +20.1 y +25.5‰ (valor promedio de +21.7‰), resultados que indican un origen marino, excepto en la muestra CH-20, con $\delta^{34}\text{S}=+16.5‰$, perteneciente ya al último ciclo del perfil de Río Chicamo.

En la cuenca de Fortuna, el inicio de la unidad evaporítica intermedia representa la reinstalación de un medio sedimentario (del tipo lago salino efímero) similar a aquél en que se depositó la unidad inferior. Los ciclos diatomítico-evaporíticos, a techo de dicha unidad, implican un importante cambio en la dinámica de la cuenca, ya que pasa de condiciones evaporíticas lacustres a un ambiente marino. Müller y Schrader (1989) puntualizan que los ciclos de Chicamo reflejan episodios de somerización: para cada ciclo, las facies diatomíticas basales corresponden a las facies marinas abiertas, mientras que los niveles evaporíticos de techo se depositaron en ambientes marinos muy someros ("sabkha" costera o "lagoon" evaporítico). En el perfil de Fuente Librilla (cuenca de Archena-Mula), sin embargo, se mantienen las condiciones marinas durante toda la unidad evaporítica intermedia.

Unidad evaporítica superior

Los resultados de oxígeno oscilan entre +16.1 y +25.5‰ (valor promedio de +20.2‰). Por lo que respecta al azufre, y aunque ésta es la unidad más potente y la que presenta mayor heterogeneidad de litofacies, los valores de $\delta^{34}\text{S}$ muestran un rango de oscilación bajo, entre +11.4 y +16.5‰, con un promedio de +14.6‰; estos valores indican claramente en todas las muestras analizadas una precipitación a partir de aguas continentales procedentes de la disolución de las formaciones triásicas, sin influencia de salmueras marinas.

Las facies yesíferas que se presentan en esta unidad sugieren una zonación del medio lacustre:

-en la zona más externa del lago, que constituye el área permanentemente expuesta (llanura lutítica), la sedimentación es lutítica, con precipitación ocasional de yesos macrolenticulares intersticiales.

-la zona marginal se caracteriza por la sedimentación de facies microlenticulares bioturbadas con niveles silíceos interpretados como silcretas por Santisteban (1981).

-en la zona interna o central, relativamente somera, se depositaron sulfa-

tos laminados (gipsarenitas).

De la comparación de las composiciones isotópicas de la gipsarenitas con las facies microlenticulares bioturbadas se observa un aumento en la $\delta^{18}\text{O}$ de +4‰ en las muestras en posición de centro de cuenca, mientras que la $\delta^{34}\text{S}$ se mantiene comparativamente invariable (Tabla II). Este enriquecimiento en isótopos pesados de oxígeno hacia centro de cuenca se explica según el mecanismo de reciclaje parcial del yeso sedimentado en el borde de cuenca hacia el centro (caso de la cuenca de Calatayud, Ortí *et al.*, 1994). El proceso de disolución-reprecipitación implica un fraccionamiento isotópico significativo en el oxígeno (aumento de +3.5‰, según Lloyd, 1968), mientras que el azufre se ve menos afectado por este proceso (aumento de +1.65‰, según Thode y Monster, 1965).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto DGICYT PB90-0485. Los análisis isotópicos se han llevado a cabo en el Scottish Universities

Research & Reactor Centre (Glasgow, Escocia), y en el Servicio General de Análisis de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca; los autores agradecen la colaboración de los Drs. A. E. Fallick (S.U.R.R.C.), J. M. Ugidos y C. Recio (S.G.A.I.E.).

Referencias

- Craig, H. (1961): *Science*, 133: 1702-1703.
- Hardie, L. A.; Smoot, J. P. y Eugster, H. P. (1978): *Inter. Assoc. Sediment. Spec. Public.*, 2: 7-41.
- Lloyd, R. M. (1968): *Jour. Geophys. Res.*, 73, 18: 6099-6110.
- Longinelli, A. y Craig, H. (1967): *Science*, 156: 1431-1438.
- Lukowski, Ph. (1988): Thèse Doctorat Sciences, Univ. Paris Sud, *Géodiffusion*, 1: 147 p.
- Müller, D. W. (1986): *Tesis Doctoral*, E.T.H., Zürich, 183 p.
- Müller, D.W. y Schrader, H. (1989): *Paleoceanography*, 4, 1: 75-86.
- Nakai, N. y Jensen, M. L. (1963): *Biogeochem. of Sulfur Isot.*, Natl. Sci. Found. Symp. Volume, 30-35.
- Nakai, N. y Jensen, M. L. (1964): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, IV: 1893-1912.
- Ortí, F.; García-Veigas, J.; Rosell, L.; Rouchy, J. M.; Inglès, M.; Gimeno, D.; Kasprzyk, A. y Playà, E. (1993): *Geogaceta*, 14: 98-101.
- Ortí, F.; Rosell, L.; Fallick, A.E. y Utrilla, R. (1994): *Geogaceta*, 15: 74-77.
- Playà, E. (1994): *Tesis de Licenciatura*, Univ. de Barcelona, 159 pp.
- Robinson, B. W. y Kusakabe, M. (1975): *Analyt. Chem.*, 47 (7): 1179-1181.
- Rouchy, J.M. y Pierre, C. (1979): *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn.*, 21, 4: 267-280.
- Rouse, J. E. y Sherif, N. (1980): *Nature*, 285: 470-472.
- Santisteban, C. (1981): *Tesis Doctoral*, Univ. de Barcelona, 2 vol., 722 pp.
- Thode, H. G. y Monster, J. (1965): *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, 4: 367-377.
- Utrilla, R. (1989): *Tesis Doctoral*, Univ. de Barcelona. 276 pp.
- Utrilla, R.; Pierre, C.; Ortí, F. y Pueyo, J.J. (1992): *Chem. Geol. (Isot. Geoscience Sect.)*, 102: 229-244.