

Modelo sedimentario y paleogeográfico de un lago salino con presencia de bacterias endoevaporíticas. Mioceno de la Cuenca de Madrid

J. P. Rodríguez-Aranda y M. E. Sanz-Montero

Departamento Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid mesanz@geo.ucm.es

ABSTRACT

This work focuses on the Christmas tree gypsum formation, a Lower Miocene unit cropping out in the eastern part of the Madrid basin. This formation is typically composed by large primary twinned gypsum crystals showing habits which differ from the commonly accepted Mottura's rule. The gypsum occurs interbedded with dolomite facies that have been interpreted to precipitate in relation with microbial mats and endoevaporitic bacteria communities. Thus, elucidating the precise sedimentary, paleogeographic and lithostratigraphic conditions has implications to explain the concurrence of all those peculiarities in the unit. The deposition of the sedimentary sequence took place in mudflat-saline lake complexes controlled by NW-SE strike-slip faults in the basement of the basin. Location of the faults has been determined according to different criteria (e.g. isopach maps and tectonic structures affecting the basin margin). The petrogenetic model of the sedimentary sequence has been integrated in the tectonic and climatic regimes.

Key words: twinned gypsum, endoevaporitic communities, dolomite, Miocene, Madrid Basin.

INTRODUCCIÓN

En la zona oriental de la Cuenca de Madrid (Fig. 1) aflora la formación denominada yesos en árbol de Navidad, que se caracteriza por macrocristales maclados cuyo ángulo reentrante de macla se abre sistemáticamente hacia abajo en oposición a la *Regla de Mottura* (Rodríguez-Aranda, 1995; Rodríguez-Aranda *et al.*, 1995b). Dicha formación, que yace horizontal, tiene unos 50 m de espesor y se incluye en los términos superiores de la Unidad Inferior del Mioceno (Fig. 2), habiéndose depositado en sistemas de llanura lutítica-lago salino durante el Aragoniense inferior alto (Fig. 3).

Los sedimentos yesíferos de la mencionada formación muestran evidencias claras de la presencia de comunidades microbianas endoevaporíticas que, a su vez, están asociadas con la precipitación de dolomita (Sanz-Montero *et al.*, 2006). Las referencias de este tipo de comunidades microbianas en el registro geológico y del papel que llevan a cabo como generadoras de unas facies específicas son muy escasas, a pesar de que en medios actuales se ha reconocido su existencia. De todo ello deriva el interés por obtener un modelo sedimentario detallado de la secuencia deposicional de facies, circunscrito en un modelo paleogeográfico bien definido, que permita llevar a cabo comparaciones con otras formaciones salinas en las que se puedan identificar facies relacionadas con bacterias endoevaporíticas.

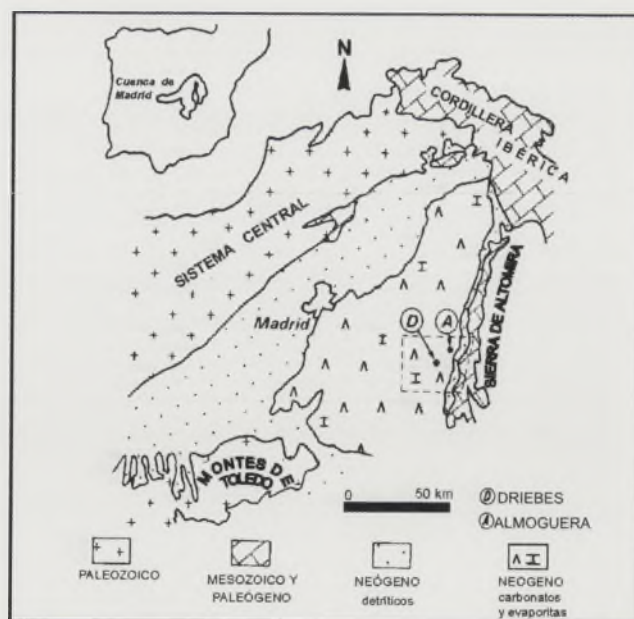


FIGURA 1. Esquema geológico de la Cuenca de Madrid y localización del área de estudio. D: Driebes. A: Almoquera.

LITOESTRATIGRAFÍA

La formación de yesos en árbol de Navidad está compuesta por el apilamiento vertical de secuencias sedimenta-

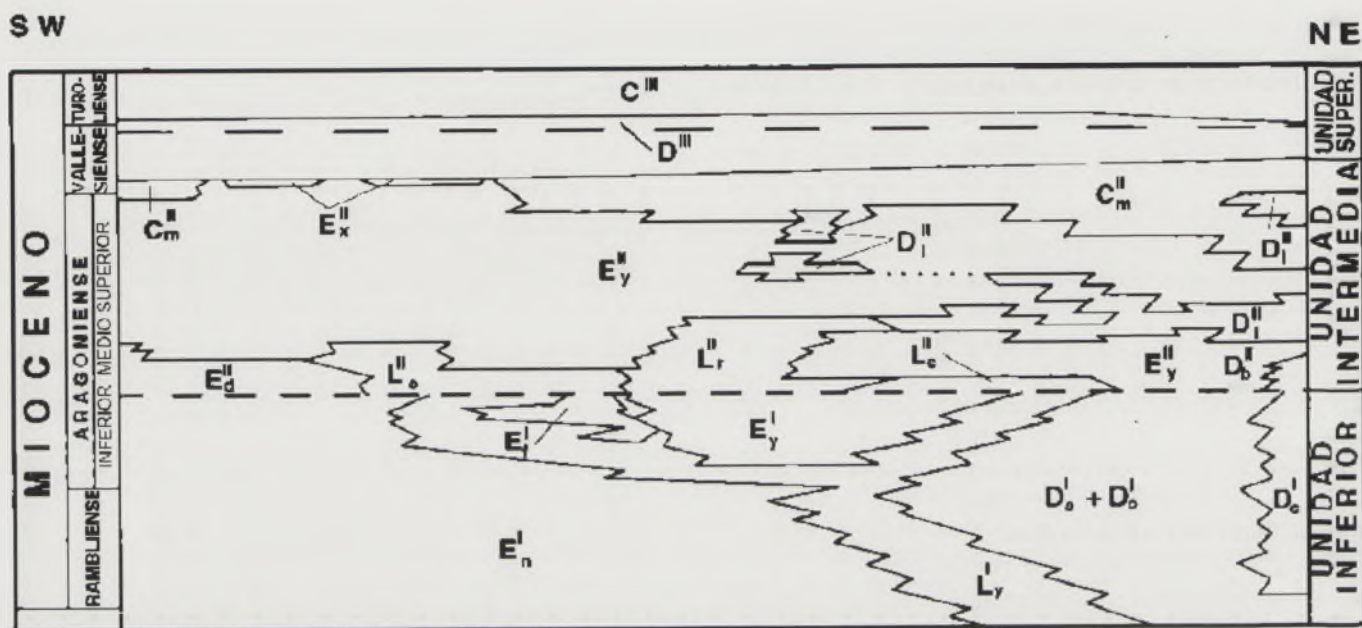


FIGURA 2. Cuadro litoestratigráfico regional de la zona oriental de la Cuenca de Madrid modificado de Rodríguez-Aranda (1995). UNIDAD INFERIOR: Facies Detríticas Salmón (D^s) y Ocreas (D^o), Brechas Calcáreas (D^c), Lutitas con Yesos (L^y), Yesos Macrocrystalinos y Nodulares (E^n), Yesos y Carbonatos Crema I (E^y), Yesos en Árbol de Navidad (E^f). UNIDAD INTERMEDIA: Facies Detríticas de Borde (D^b), Facies Detríticas Distales (D^d), Lutitas y Margas Verdes con Rosetas y Carbonatos (L^r), Lutitas Rojas (L^c), Yesos Detríticos (E^d), Yesos y Carbonatos Crema II (E^y), Carbonatos de la Intermedia (C^m), Niveles de Sílex (E^x). UNIDAD SUPERIOR: Subunidad Detrítica Superior (D^s), Subunidad Carbonática Superior (C^m).

rias (con 0,8-5 m de espesor) de expansión lacustre sobre facies de llanura lutítica, generalmente ocho, constituidas por lutitas, margas, dolomías y yesos, que pueden presentar nódulos de anhidrita reemplazativos y/o desplazativos (Sanz-Montero *et al.*, 2006). Las secuencias sedimentarias se estructuran como una, dos o tres mesosecuencias con un espesor del orden de 15-25 m. La extensión superficial de la formación es de unos 160 km², entre las localidades de Illana, Almoquera (Guadalajara) y Brea de Tajo (Madrid), teniendo a Driebes (Guadalajara) como centro (Fig. 3), y su espesor máximo se aproxima a 60 m. Hacia el norte, cambia lateralmente de facies a una subunidad que consta esencialmente de yesos lenticulares color crema; hacia el oeste y este gradúa a sedimentos lutíticos con nódulos de anhidrita; y, al sur, se relaciona genéticamente con yesos fibrosorradiales que poseen precursores glauberíticos y que, más al sur, cambian lateralmente a yesos lenticulares crema. Por otro lado, las facies lutíticas del este se indentan con depósitos de abanicos aluviales adosados al borde de cuenca constituido por la Sierra de Altomira (Figs. 1, 2 y 3).

La base de los yesos en árbol de Navidad se sitúa sobre la Unidad Salina de la Unidad Inferior del Mioceno, compuesta en afloramiento por yesos secundarios macrocrystalinos, nodulares y laminados, originados principalmente mediante la meteorización de facies con halita, glauberita, tenardita, anhidrita y magnesita. A techo de la formación estudiada, se halla la base de la Unidad Intermedia del Mioceno en facies lutítico-margosas, localizándose encima de esta última la característica subunidad de yesos y carbonatos crema II (Fig. 2).

MODELO SEDIMENTARIO

La serie sedimentaria estudiada se formó en sistemas de lagos salinos, orlados por llanuras lutíticas siliciclásticas, de unos 16 km de longitud y unos 10 km de anchura máximas, adyacentes a los abanicos aluviales que procedían de la Sierra de Altomira (Fig. 3). Dicho borde de cuenca se encontraba hacia el este a una distancia de sólo 2-5 km.

Por una parte, los sedimentos dolomíticos de la secuencia se corresponden con los episodios de dilución lacustre y las facies marginales y, por otra, los depósitos yesíferos caracterizan las facies de concentración lacustre, siendo su salinidad, deducida a partir de inclusiones fluidas, de alrededor de 50 g/L (Ayllón-Quevedo *et al.*, 2005).

En la figura 4 se describe la génesis de la secuencia de expansión lacustre típica de la serie, con lutitas a base, facies dolomíticas como término intermedio y yesos con dolomías hacia techo. El episodio A representa el desarrollo de estromatolitos dolomíticos, propios de margen lacustre, sobre las facies de una llanura lutítica que era alimentada por los abanicos aluviales procedentes de Altomira. En el episodio B, tras la precipitación de nódulos de anhidrita asociada con momentos de exposición subaérea, se instala un lago salino de salmueras sulfatado cálcicas-cloruradas (Rodríguez-Aranda *et al.*, 1995b), en el que precipitan los yesos en árbol de Navidad. El crecimiento de los cristales muestra discontinuidades de crecimiento muy regulares, posiblemente de carácter estacional. Durante el episodio C se produce una de estas fases de interrupción de crecimiento del yeso por dilución de las salmueras lacustres, en la que se visualiza la

colonización del fondo del lago por tapices bacterianos: algunos de estos microorganismos realizan perforaciones submilimétricas en el yeso y viven en su interior. Cuando el agua vuelve a sobresaturarse en yeso, su crecimiento se reanuda y parte de las comunidades bacterianas siguen viviendo dentro de los cristales como microorganismos endoevaporíticos que corroen el sulfato cálcico y favorecen la precipitación de dolomita (Sanz-Montero *et al.*, 2006); este microambiente les protege del estrés ambiental. El episodio D muestra una interrupción más prolongada en la cristalización de yeso debido a una dilución continuada de las salmueras lacustres. En este estadio, el desarrollo de tapices microbianos con formación de dolomita es notable (Sanz-Montero *et al.*, 2006). Dicho mineral precipitaba asociado con cianobacterias, pero también con bacterias sulfatorreductoras, dando lugar al reemplazamiento de yeso por dolomita (Sanz-Montero *et al.*, 2006). En el episodio E, fases sucesivas de formación de yeso generan un nivel que fosiliza el estromatolito dolomítico originado durante el episodio D. Este último nivel yesífero sufre a techo disolución y el conjunto se cubre con facies de llanura lutítica, con lo que se inicia una nueva secuencia sedimentaria. Para finalizar la sucesión de acontecimientos petrogenéticos, el episodio F representa un momento de exposición subaérea en el que se originan nódulos de anhidrita, desplazativos en las lutitas y reemplazativos en la masa de yeso (Rodríguez-Aranda *et al.*, 1995b).

MODELO PALEOGEOGRÁFICO

La formación de Yesos en árbol de Navidad se depositó durante el final del Aragoniense inferior en un sistema lacustre restringido (Fig. 3), separado tanto del lago principal hipersalino, que ocupaba más de 4.500 km² en la zona centro-meridional de la Cuenca de Madrid, como de los sistemas periféricos relativamente diluidos del sector norte y oriental de la cuenca, cuya área rondaba unos 1000 km². La máxima extensión del sistema lacustre de la formación estudiada probablemente nunca fue superior a 150 km², de acuerdo con los datos de Rodríguez-Aranda (1995).

El origen de esta compartimentación de la cuenca en varios sistemas lacustres a finales de la Unidad Inferior del Mioceno se puede relacionar con la existencia de accidentes tectónicos en su basamento paleozoico (Rodríguez-Aranda, 1995; Rodríguez-Aranda *et al.*, 1995a) y con cambios climáticos (Calvo *et al.*, 1993).

Los accidentes tectónicos del basamento se corresponden con fallas de desgarre tardihercínicas reactivadas durante el Terciario de dirección NO-SE y buzamiento hacia el norte (Rodríguez-Aranda, 1995). Su localización concreta (Fig. 3) se ha realizado según los siguientes criterios (Rodríguez-Aranda *et al.*, 1995a): existencia de fracturas y pliegues en los sedimentos miocenos, análisis de mapas de isopacas de la Unidad Intermedia del Mioceno, cambios de orientación en las estructuras tectónicas del borde de cuenca de la Sierra de Altomira, análisis poblacional de fallas, disposición de abanicos aluviales adosados al

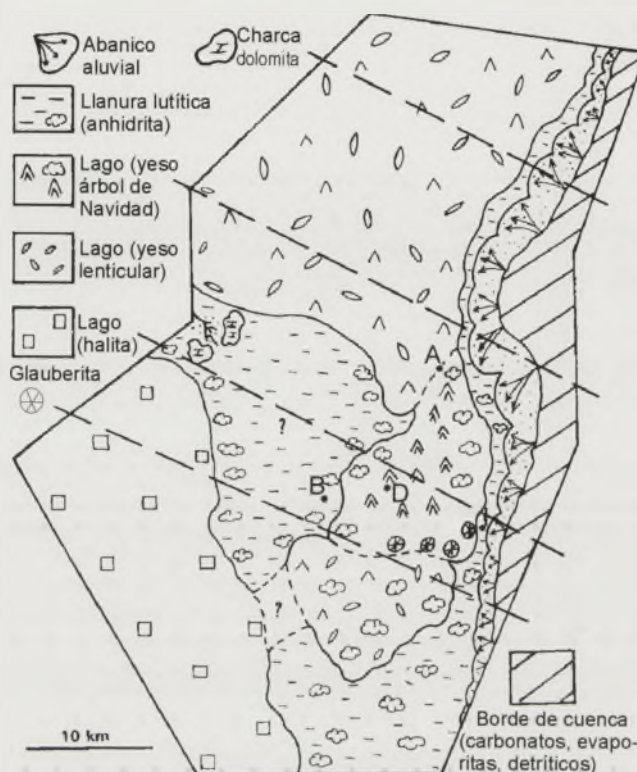


FIGURA 3. Esquema paleogeográfico para los términos superiores de la Unidad Inferior del Mioceno (Aragoniense inferior alto). Se muestra la localización de las fallas de desgarre del sustrato (líneas discontinuas) que han condicionado la sedimentación de la formación de Yesos en árbol de Navidad. B: Brea de Tajo, I: Illana, D: Driebes, A: Almoguera.

borde de cuenca, así como de otros ambientes sedimentarios o diagenéticos tempranos e interpretación de datos geofísicos. Realmente, la situación de las fallas (Fig. 3) refleja la existencia de zonas de fractura complejas que delimitarían pequeñas áreas tensionales o depocentros locales. Una de estas áreas se correspondería con los sistemas lacustres de la formación estudiada.

Las fallas de desgarre tuvieron un funcionamiento *sinistral* durante la sedimentación de la base de la Unidad Inferior del Mioceno (*fase de deformación Altomira*) y *dextral* durante la sedimentación de la Unidad Intermedia (*fase de deformación Guadarrama*) (Rodríguez-Aranda *et al.*, 1995a). Sin embargo, el régimen de movimientos para la subunidad de yesos en árbol de Navidad a techo de la Unidad Inferior no se ha podido precisar con exactitud, aunque tuvo un carácter local distensivo para la zona de estudio.

Los lagos de la formación estudiada mostraban una dilución relativa, unos 50 g/L, tanto respecto al lago hipersalino principal, de concentraciones superiores a 300 g/L (fases de halita y glauberita), como a los lagos con yesos lenticulares, que presentan meso y microcristales indicativos de altas sobresaturaciones en sulfato cálcico y trazas fósiles de fauna típicamente salina (Rodríguez-Aranda, 1995). El origen de esta dilución relativa se puede asociar a zonas preferentes de desagüe desde la Sierra de Altomira, pues

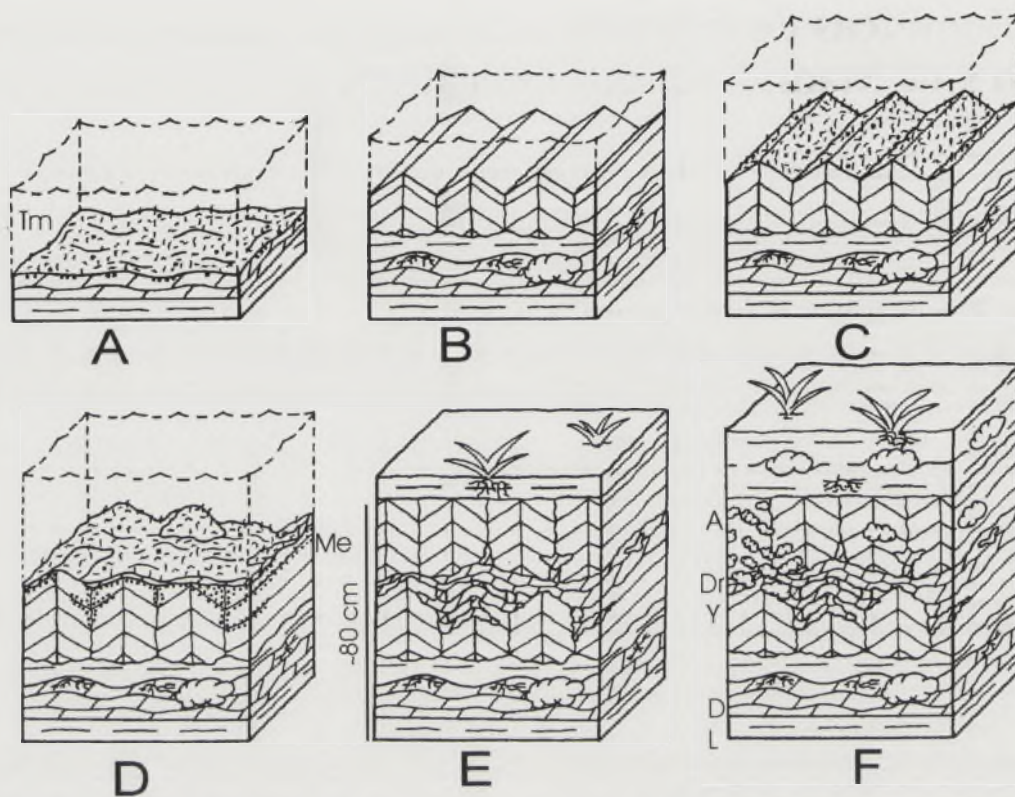


FIGURA 4. Modelo sedimentario y petrogenético de la secuencia característica de los yesos en árbol de Navidad. Explicación en el texto. L: lutitas; D: dolomita; Y: yeso; Dr: dolomita de reemplazamiento; A: anhidrita; Tm: tapiz microbiano; Me: microbios endoevaporíticos.

los abanicos aluviales próximos que proceden del NE poseen un desarrollo comparativamente mayor que los adyacentes (Fig. 3). Otra posibilidad sería la existencia de aportes de agua mediante surgencias, quizá relacionadas con las fracturas descritas NO-SE, ya que Rodríguez-Aranda (1995) ha determinado el funcionamiento de acuíferos durante la sedimentación de las facies aluviales de la Unidad Inferior del Mioceno, donde generaron una abundante cementación anhidrítica.

La relación de los yesos en árbol de Navidad con las facies glauberíticas del sur de la zona de estudio no está clara, pero la sedimentación de estas últimas parece asociarse con áreas más someras, menor aporte de agua y mayor salinidad dentro de los sistemas lacustres.

A grandes rasgos, se puede decir que el origen de las mesosecuencias sedimentarias se asocia probablemente con el régimen tectónico, ya que el desarrollo de éstas se restringe a las proximidades de los accidentes tectónicos. Por otro lado, la variación de facies dentro de las secuencias se correspondería principalmente con cambios climáticos, que son patentes también en las secuencias sedimentarias de los lagos adyacentes con presencia de yesos lenticulares o facies hipersalinas (Rodríguez-Aranda, 1995).

AGRADECIMIENTOS

Realizado bajo el Proyecto PR45/05-14165 U.C.M./C.A.M. Agradecemos los comentarios de dos revisores anónimos.

REFERENCIAS

- Ayllón-Quevedo, F., Souza-Egipsy, V., Sanz-Montero, M.E. y Rodríguez-Aranda, J.P. (2005): Formation conditions of "Christmas tree" gypsum from the Madrid basin (Spain). *XVIII Biennial European Conference on Research on Fluid Inclusions*. Siena (Italy).
- Calvo, J.P. y otros (1993). Up-to-date Spanish continental Neogene Synthesis and paleoclimatic interpretation. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 6: 29-40.
- Rodríguez-Aranda, J.P., (1995). *Sedimentología de los sistemas de llanura lutítica-lago salino del Mioceno en la zona oriental de la Cuenca de Madrid (Tarancón-Auñón)*. Tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 474 p.
- Rodríguez-Aranda, J.P., Muñoz Martín, A., Giner, J.L. y Cañaveras, J.C. (1995a): Estructuras tectónicas en el basamento de la Cuenca de Madrid y su reflejo en la cobertera sedimentaria. *Geogaceta*, 18: 19-22.
- Rodríguez-Aranda, J.P., Rouchy, J.M., Calvo, J.P., Ordóñez, S. y García del Cura, M.A. (1995b): Unusual twining features in large primary gypsum crystals formed in salt lake conditions, Middle Miocene, Madrid Basin, Spain-palaeoenvironmental implications. *Sedimentary Geology*, 95: 123-132.
- Sanz-Montero, M.E., Rodríguez-Aranda, J.P. y Calvo, J.P. (2006): Mediation of endoevaporitic microbial communities in early replacement of gypsum by dolomite. A case study from Miocene lake deposits of the Madrid basin, Spain. *Journal of Sedimentary Research* (en prensa).