

# Dolomías primarias de ambiente lacustre salino: Mioceno de la Cuenca de Madrid

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

Departamento Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

## ABSTRACT

The study focuses on dolomite carbonates that occur in a Miocene evaporitic succession, the Christmas tree gypsum unit. This unit outcrops in the eastern part of the Madrid Basin and it was deposited in a mudflat-saline lake complex during the Lower Miocene. Three types of dolostone facies have been considered: a) dolostone levels between mudstone or gypsum facies, b) patches and discontinuous levels of dolomite replacing gypsum crystals, and c) intra-and-inter-crystalline inclusions of dolomite in gypsum layers. Dolomites are mainly dolomicrites showing a low ordering degree and some Ca excess. Their isotopic composition ( $d_{18}O$ ,  $d_{13}C$ ) is characterized by light values. These dolostones are interpreted to be primary in origin and they are likely due to microbial activity as supported by facies relations, together with isotopic, textural and mineralogical evidences.

**Key words:** primary dolomite, gypsum replacement, Miocene, Madrid Basin.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha observado un aumento progresivo de estudios donde se describe e interpreta la presencia de dolomita primaria en ambientes lacustres actuales, invocando para ello procesos de precipitación bioinducida por bacterias. En este sentido, el trabajo llevado a cabo por Vasconcelos y McKenzie (1997) en un lago costero hipersalino brasileño ha abierto una línea de investigación que ha tenido continuación en otros trabajos efectuados, por ejemplo, en la región australiana del Coorong (Wright, 1999) o, dentro de España, en la laguna de Gallocanta (Pérez et al., 2002). Esta aproximación al estudio de la dolomita ofrece nuevas perspectivas cuando se aborda el análisis sedimentológico de lagos carbonáticos antiguos (Calvo et al., 2003), tal y como se constata en el trabajo de García del Cura et al. (2001) sobre dolomías pliocenas de la Roda (Albacete).

Siguiendo dicha línea de investigación, este trabajo describe e interpreta la presencia de dolomías generadas en un lago salino sulfatado cálcico del Mioceno de la Cuenca de Madrid. El interés de estos carbonatos no sólo radica en su carácter primario sino en su localización dentro de distintos subambientes sedimentarios y diagenéticos tempranos, entre los que se puede destacar como más novedoso el que caracteriza el reemplazamiento de yeso por dolomita.

## CONTEXTO GEOLÓGICO Y SEDIMENTOLÓGICO

La zona de estudio se localiza dentro de la provincia de Guadalajara en las proximidades de la Sierra de Altomira,

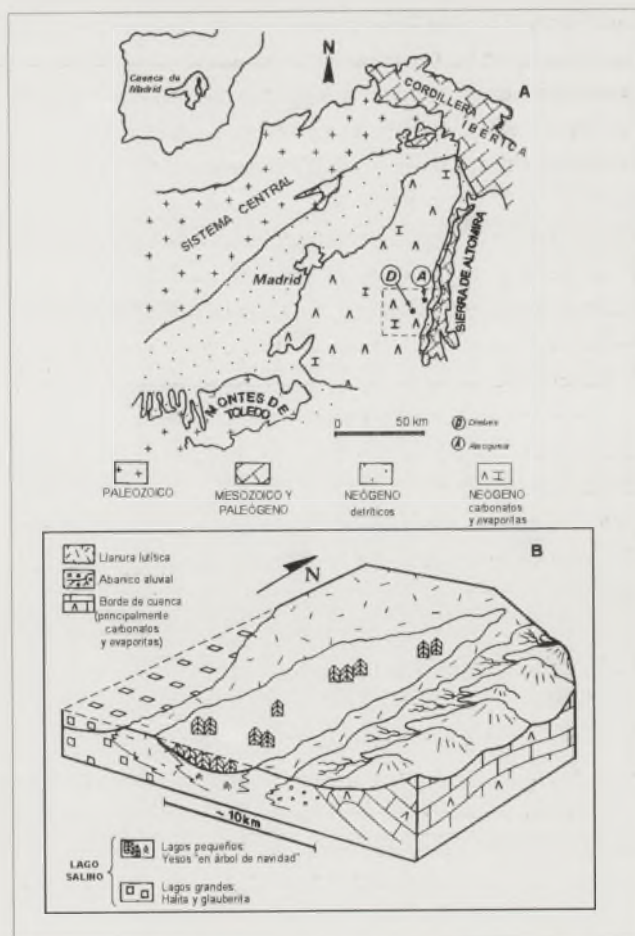


Figura 1. A) Mapa geológico simplificado de la Cuenca de Madrid indicando la situación de la zona de estudio. B) Modelo sedimentario de la unidad de "yesos en árbol de Navidad".

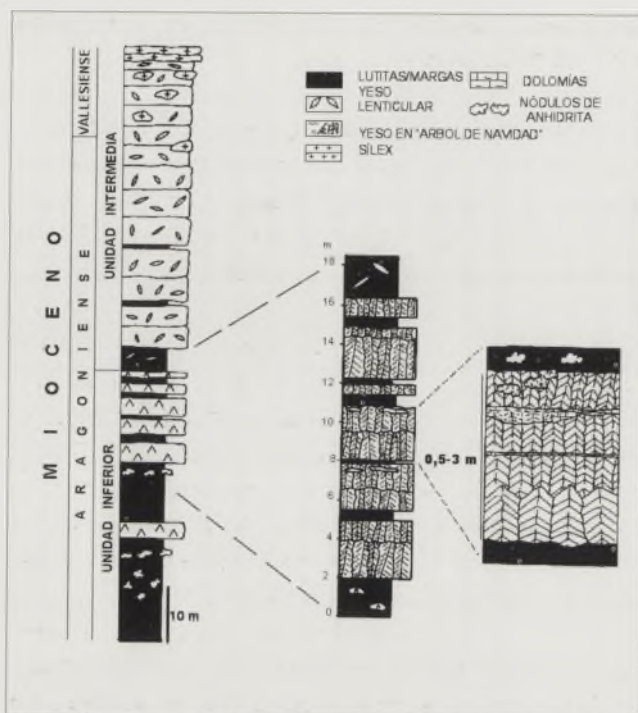


Figura 2. Columnas estratigráficas y secuencias características de la unidad de "yesos en árbol de Navidad".

relieve que constituye el borde oriental de la Cuenca de Madrid (Fig. 1A). Las dolomías estudiadas se presentan en una formación evaporítica formada fundamentalmente por la facies denominada "yesos en árbol de Navidad" dada la peculiar morfología de sus cristales (Rodríguez Aranda et al., 1995). Esta formación, de edad Mioceno inferior (Aragonesense), se sitúa en los tramos más altos de la Unidad Inferior del Mioceno. La formación evaporítica está constituida por una sucesión de yesos, dolomías, margas y lutitas, que ocasionalmente incluyen yesos alabastrinos nodulares (Fig. 2). Los yesos se estructuran normalmente en bancos tabulares de 0,5 a 3 m de espesor separados por niveles de lutitas margosas. Dentro de cada banco yesífero se distinguen secuencias, de 10-30 cm de potencia, que se corresponden con la altura de los macrocristales que las componen y están limitadas por carbonatos y/o superficies de disolución (Fig. 3). Estos macrocristales de yeso se presentan maclados según (100) (Fig. 4), con el plano de macla aproximadamente vertical, abriéndose el ángulo reentrante de macla sistemáticamente hacia abajo (Fig. 3), en oposición a la Regla de Mottura que siguen los cristales seleníticos clásicos (Rodríguez-Aranda et al., 1995).

La formación evaporítica descrita se depositó en un complejo sedimentario de llanura lutítica-lago salino localizado a continuación de los abanicos aluviales que orlaban la Sierra de Altomira durante el Aragonense. El sistema lacustre donde se sedimentó la unidad estaría formado por un cuerpo de agua de pequeñas dimensiones, que era independiente de un lago principal hipersalino, dispuesto en las zonas más centrales de la cuenca (Fig. 1B).

## DESCRIPCIÓN DE FACIES DOLOMÍTICAS

Las dolomías que se encuentran en la unidad evaporítica con yesos en árbol de Navidad se presentan de tres maneras distintas (Figs. 2 y 3): (a) niveles intercalados entre bancos de yesos y lutitas, (b) niveles discontinuos y parches reemplazando yesos en árbol de Navidad y (c) inclusiones y láminas dentro de cristales de yeso o en los bordes intercrystalinos.

### Niveles intercalados entre bancos de yeso y lutitas

Se trata de niveles de dolomías de color blanco o crema con espesores de hasta 50 cm y continuidad lateral métrica a decamétrica. Los niveles de mayor espesor poseen laminación centimétrica. Cuando los niveles se hallan intercalados entre yesos, separan diferentes generaciones de cristales. En este caso, sus límites y su espesor suelen ser irregulares y se adaptan a la forma original de dichos cristales de yeso, o bien se superponen a superficies de disolución (Fig. 3); no obstante, localmente se observan morfologías tabulares de los niveles relacionadas con la disolución de los ápices de los cristales de yeso (Fig. 2). Cuando los niveles dolomíticos se asocian con lutitas, su morfología es tabular y la continuidad lateral rebasa la de los afloramientos. Estos niveles comúnmente muestran desarrollo de nódulos de anhídrita y/o de lenticulas de yeso.

Esta tipología se compone de dolomicrita y, en menor proporción, dolomicroesparita que contienen cantidades de hasta un 15% de filosilicatos y cuarzo. Comúnmente, la fábrica micrítica presenta caráceas (tallos y oogonios) y peloides (0,2-1 mm), definiendo texturas de tipo mudstone mudstone-wackestone. En otras ocasiones, la fábrica muestra laminaciones de probable origen cianobacteriano distintivo y porosidad fenestral. En algunos casos se reconoce bioturbación por larvas de insectos y raíces. Al microscopio electrónico de barrido (SEM), se aprecian zonas masivas y poros. En las zonas masivas aparecen agrupaciones de cristales generalmente subhedrales y equidimensionales con formas de romboédricas a esféricas que suelen ser de tamaño inferior a 4 mm. Estos cristales resultan, a su vez, del apilamiento de individuos cristalinos submicrométricos. Por su parte, los cristales que se encuentran tapizando los poros son idiomorfos, aproximadamente 12 mm de tamaños y presentan morfologías en "grano de arroz". Ambas tipologías cristalinas presentan típicamente huecos en sus centros. Junto a los anteriores se han reconocido también agregados "en roseta" o individuos con forma de "donuts".

El grado de ordenamiento de los cristales de estas dolomías, determinado mediante difracción de rayos X (Hardy y Tucker, 1988), varía entre 0,31 y 0,45. El valor más bajo corresponde a las dolomías con mayor proporción de filosilicatos. La estequiometría de la dolomita, determinada según el méto-



Figura 3. Fotografía de afloramiento donde se observan las facies dolomíticas: (Dn) intercaladas entre yesos en "árbol de Navidad" (Y), (Dr) parches reemplazando a yesos, (Di) inclusiones intercrystalinas. (A) Nódulo de anhidrita reemplazativo-desplazativo.

do de Goldsmith et al. (1961) (citado en Hardy y Tucker, 1988), es elevada, generalmente la proporción de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  se sitúa próxima al 50%.

#### Niveles discontinuos y parches reemplazando yesos en árbol de Navidad

Esta tipología se caracteriza como parches de dolomías color crema de hasta 50 cm de diámetro con límites irregulares y transicionales desarrollados dentro de bancos de yeso. Tanto de facies en árbol de Navidad como de niveles de yeso alabastrino procedentes de la anhidritización de dichas facies y su posterior hidratación a yeso secundario. En algunas ocasiones, los parches se agrupan formando niveles discontinuos y en otras se asocian a los niveles de la tipología dolomítica *a*, descrita anteriormente. Los carbonatos mimetizan con mayor o menor nitidez las formas en árbol de Navidad de los cristales de yeso a los que reemplazan y generalmente incluyen restos de yeso de los cristales originales, o bien nódulos de yeso secundario (Fig. 3). En este último caso, los nódulos desplazan la fábrica carbonática de reemplazamiento. La textura es dolomicrítica y dolomicroesparítica. Los carbonatos reemplazantes se organizan dentro del yeso formando un entramado con morfologías de tipo alveolar (Fig. 4).

Mediante SEM, se ha constatado la presencia de minerales de arcilla autigénicos coexistiendo con los cristales de dolomita. La morfología de los cristales de dolomita es similar a la tipología descrita anteriormente, reconociéndose, además, disposiciones de los cristales preferentemente en hileras.

Estas dolomías se caracterizan por valores bajos en el grado de ordenamiento, comprendidos entre 0,34 y 0,36. Al mismo tiempo, se caracterizan por porcentajes de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  muy próximos al 55%.

#### Inclusiones y láminas dentro de cristales de yeso o en los bordes intercrystalinos

En la superficie de las caras que forman el ángulo reentrante de macla de los cristales de yeso se aprecian inclusiones de dolomita. Asimismo, los límites entre diferentes cristales de yeso suelen mostrar también cristales de dolomita (Fig. 3). Generalmente, no se observan reemplazamientos ni corrosiones del yeso por la dolomita.

Como ocurre en la tipología anterior, el SEM revela la existencia de bajas proporciones de minerales de arcilla coexistiendo con mosaicos cristalinos de dolomita. Además se observan las mismas texturas que en la tipología anterior.

Este grupo de dolomías presenta un mayor grado de ordenamiento cristalino que las anteriores (0,47). En lo referente a su composición se verifica un exceso de Ca respecto al Mg, con porcentajes de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  algo inferiores a 55%.

Se ha determinado la composición isotópica de 11 muestras de dolomita representativas de las tres tipologías descritas. Los valores referidos al Standard PDB que oscilan entre  $-6,969\text{‰}$  y  $-4,675\text{‰}$  para el  $\delta^{13}\text{C}$  y entre  $-6,910$  y  $-5,205\text{‰}$  para el  $\delta^{18}\text{O}$ .

#### INTERPRETACIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

La interpretación de las tipologías dolomíticas descritas se integra en un sistema lacustre salino. Sistema donde alternaban episodios de concentración de la salmuera, en los que precipitaba sulfato cálcico, y episodios de dilución relativa donde se formaban carbonatos.

La naturaleza sedimentaria de las dolomías estudiadas se manifiesta en dos características básicas: sus relaciones geométricas con las facies sedimentarias lutíticas y yesíferas y su precipitación previa a los nódulos de anhidrita que las desplazan

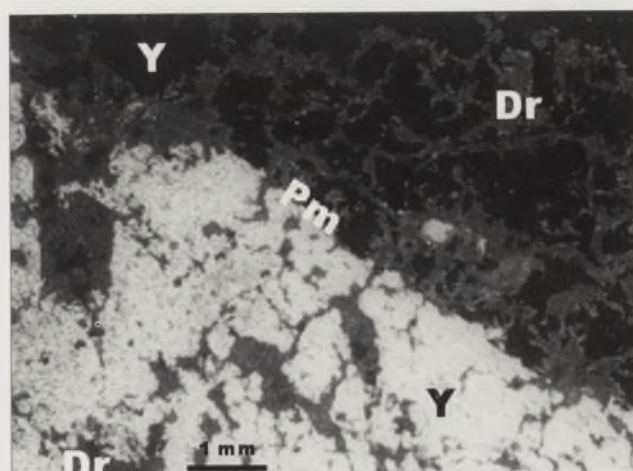


Figura 4. Microfotografía con nícoles cruzados de entramado ramificado que forma la dolomita (Dr) que se encuentra reemplazando al yeso (Y). Pm señala el plano de macla del yeso que en afloramiento se dispone vertical.

(Fig. 3). Estas anhidritizaciones han tenido lugar durante episodios de diagénesis temprana (Rodríguez Aranda et al., 1995).

El carácter primario de las dolomitas se apoya en los siguientes datos, similares a los manejados por García del Cura et al. (2001): pequeño tamaño de grano (normalmente inferior a 4 mm); ausencias petrográficas de precursores calcíticos o aragoníticos; bajo grado de ordenamiento y exceso de Ca.

Los ambientes en que se formaron las dolomías mostraban relaciones Mg/Ca no excesivamente elevadas. De acuerdo con Rodríguez Aranda et al. (1995), la salmuera del complejo lacustre donde se formó la unidad evaporítica se caracterizaba por la siguiente composición química de partida:  $\text{HCO}_3 \ll \text{Ca} + \text{Mg}, \text{Ca} \gg \text{Mg}$  y  $\text{Ca} > \text{SO}_4$ ; dada la naturaleza litológica del área fuente (Fig. 1B). Por otro lado, los valores negativos para el  $\text{d}^{18}\text{O}$  atestiguan condiciones de dilución en la salmuera. En este contexto, se requiere invocar un mecanismo que permita superar las barreras cinéticas para precipitar dolomita. Los valores negativos de  $\text{d}^{13}\text{C}$ , la conservación de estructuras sedimentarias desarrolladas por tapices cianobacterianos, así como la presencia de formas cristalinas típicas de microbios tales como agregados en roseta, cristales redondeados, cristales con huecos internos, etc., apoyarían la participación de microorganismos en la formación de la dolomita.

En el caso concreto de las dolomitas que reemplazan cristales de yeso la relación Mg/Ca sería aún más baja, lo que acentúa la conveniencia de invocar a procesos biogénicos de sulfato-reducción para superar las barreras cinéticas. De hecho, esta tipología de remplazamiento presenta los valores más altos de Ca y los más bajos de ordenamiento; así como los datos más negativos de  $\text{d}^{13}\text{C}$ .

#### AGRADECIMIENTOS

Proyecto BTE 2001-1443 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

#### REFERENCIAS

- Calvo, J.P., McKenzie, J. y Vasconcelos, C. (2003): Microbially mediated lacustrine dolomite formation: Evidence and current research trends. In: Libro Homenaje a K. Kelts (B. Valero, ed.), *in press*.
- García del Cura, M.A., Calvo, J.P., Ordóñez, S., Jones, B.F. y Cañaveras, J.C. (2001): Petrographic and geochemical evidence for the formation of primary, bacterially induced lacustrine dolomite: La Roda "white earth" (Pliocene, central Spain). *Sedimentology*, 48: 897-915.
- Hardy, R.G. y Tucker, M.E. (1988): X-ray powder diffraction of sediments. In: *Techniques in sedimentology* (Ed. M.E. Tucker), 191-228. Blackwell Sc. Publishers, Oxford.
- Pérez, A., Luzón, A., Roc, A.C., Soria, A.R., Mayayo, M.J. y Sánchez, J.A. (2002): Sedimentary facies distribution and genesis of recent carbonate-rich saline lake: Gallocanta Lake, Iberian Chain, NE Spain. *Sedim. Geol.*, 148: 185-202.
- Rodríguez-Aranda, J.P., Rouchy, J.M., Calvo, J.P., Ordóñez, S. y García del Cura, M.A. (1995): Unusual twinning features in large primary gypsum crystals formed in salt lake conditions, Middle Miocene, Madrid Basin, Spain -palaeoenvironmental implications. *Sedim. Geol.*, 95: 123-132.
- Vasconcelos, C y McKenzie, J.A. (1997): Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Río de Janeiro, Brazil). *J. Sed. Res.*, 67: 378-390.
- Wright, D.T. (1999): The role of sulfhate-reducing bacteria and cyanobacteria in dolomite formation in distal ephemeral lakes in the Coorong region, South Australia. *Sedim. Geol.*, 126: 147-157.