

Facies dolomíticas de sistemas lacustres miocenos en las cuencas del Duero y de Madrid. Rasgos indicativos de su origen microbiano

M. E. Sanz Montero¹, M. A. García del Cura² y J. P. Rodríguez Aranda¹

¹ Departamento de Petrología y Geoquímica, Fac. de CC. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. mesanz@geo.ucm.es

² IGE (CSIC-UCM) y LPA Unidad Asociada CSIC-Universidad de Alicante

ABSTRACT

This work is centred on the dolomite facies from lower and middle Miocene sedimentary successions of the Madrid and Duero basins, Central Spain. The general sedimentary context for dolomite-bearing formations is well established in mudflat-(saline) lake systems developed in closed basins. Traditionally, early diagenetic dolomitization processes of carbonate precursors have been invoked to explain the dolomite formation in those sedimentary environments. However, the sedimentary, isotopic, mineralogical and petrographic results support that dolomite was formed as a primary product linked to microbial activity. The epicellular precipitation of dolomite on coccoid bacteria accounted for the formation of diagnostic hollow crystals. High intracrystalline porosity rates, and poor crystallized morphologies are also typical textures of the dolomite crystals. In spite of the lithostratigraphic and the spatial variability of the study successions, the dolomite features show scarce variability, which confirms that microbial imprints can be preserved in the geological record, and validates its use as biomarkers.

Key words: dolomite, bacteria, carbonate mud flat-lake systems, Tertiary basins.

INTRODUCCIÓN

Una parte importante de las series sedimentarias del Mioceno inferior y medio de las cuencas de Madrid y Duero se depositó en sistemas sedimentarios de llanura fangosa carbonática-lago (salino) (Calvo *et al.*, 1989; Armenteros, 1991; Alonso-Gavilán *et al.*, 2004). Dentro de estas secuencias, la fase carbonática más abundante es la dolomita y, subordinadamente, magnesita en el Mioceno inferior, y calcita en el Mioceno medio. Durante el Mioceno superior, y coincidiendo con un cambio en el régimen de sedimentación hacia condiciones fluvio-lacustres, el mineral carbonático predominante es la calcita y se presenta con rasgos texturales muy diferentes. Sin embargo, las dolomías también son términos frecuentes dentro de las unidades carbonáticas del Paleógeno de la Cuenca de Madrid (Arribas *et al.*, 2004).

En el contexto sedimentario de llanura carbonática-lago salino, la dolomita se ha interpretado generalmente como un producto secundario resultante de la transformación de otros precursores carbonáticos. No obstante, los estudios específicos realizados sobre las dolomías miocenas de las cuencas del Duero y Madrid, apuntan en el sentido de que, al menos, una proporción importante de las facies dolomíticas son de origen primario y se habrían formado con participación microbiana (Sanz Montero *et al.*, 2003; Calvo *et al.*, 2004, Sanz Montero *et al.*, 2005), lo que permite extender el "Modelo de Dolomita Microbiana", propuesto por Vasconcelos y McKenzie (1997), al registro geológico.

En este trabajo se describen las características sedimentológicas, petrológicas y geoquímicas de las facies dolomíticas miocenas y se propone su uso como criterio para reconocer dolomitas microbianas en el registro fósil. Estos resultados asimismo concitan a la revisión de los procesos de formación de la dolomita y facies asociadas en los contextos sedimentarios de llanura carbonática-lago salino afines a los estudiados.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Los depósitos correspondientes a los sistemas lacustres desarrollados a lo largo del Mioceno en la Cuenca de Madrid se integran en tres unidades tectosedimentarias mayores (Calvo *et al.*, 1989). Estas son la Unidad Inferior, Media y Superior. La primera de ellas Aragoniense en sus términos superiores, está formada por depósitos característicos de sistemas de lagos cerrados evaporíticos, de naturaleza perenne. La Unidad Intermedia, Aragoniense-Vallesiense, contiene en las áreas centrales de la cuenca, depósitos carbonáticos, predominantemente dolomíticos, y yesíferos correspondientes a sistemas lacustres moderadamente salinos, muy someros. Durante la Unidad Superior, Vallesiense-Turoliense, la sedimentación de facies predominantemente calcárea se verificó en un sistema fluvio-lacustre.

Los términos dolomíticos analizados en la Cuenca de Madrid forman parte de las unidades Inferior e Intermedia del Mioceno. Los correspondientes a la Unidad Inferior se



FIGURA 1. Aspecto característico de las facies dolomíticas que afloran en el Mioceno medio de la Cuenca del Duero, en las proximidades de Cuéllar (Segovia).

localizan en el entorno de Driebes (Guadalajara), mientras que los correspondientes a la Unidad Intermedia se disponen en el centro de la cuenca (Calvo *et al.*, 2004).

Los materiales estudiados en la Cuenca del Duero afloran en los alrededores de Cuéllar (Segovia) y se sitúan en el sector Centro de la Cuenca del Duero, por debajo de la cota de 880 m (Fig. 1). Forman parte de la denominada Unidad Media del relleno neógeno de dicha cuenca, según García del Cura (1974), o Unidad Cuestas, según Alonso-Gavilán *et al.*, 2004. Esta unidad se depositó fundamentalmente durante el Aragoniense.

RASGOS CARACTERÍSTICOS E INTERPRETACIÓN

A continuación se enumeran los rasgos más característicos de las dolomías estudiadas.

Sedimentológicos

Se considera facies dolomíticas a aquellas que se componen en un porcentaje superior al 60% por dolomita. Estas facies afloran en niveles con un espesor que varía de centimétrico a decimétrico y que se acuñan lateralmente entre pocos metros y cientos de metros. La morfología de los estratos es generalmente tabular aunque, a veces, se reconocen morfologías dómicas hacia techo. Su estructura más común es la masiva pero, en ocasiones, se observa también laminación interna de orden milimétrico a centímetro. La bioturbación por raíces es frecuente. Las capas dolomíticas, se presentan con colores blancos que pueden adoptar tonalidades crema. Físicamente estas capas se caracterizan por su consistencia pulverulenta, esta propiedad ha propiciado que se aluda indebidamente a estas facies como "margas" (Fig. 1).

Los niveles dolomíticos estudiados forman asociación de facies con lutitas y yesos. Más esporádicamente pueden ir asociados a niveles de sílex y calcitas de neoformación (Armenteros, 1991; Sanz Montero *et al.*, 2005). A excepción de la sucesión estudiada en el entorno de Driebes (unidad inferior del Mioceno) en la que los yesos asociados son de carácter selenítico, las facies dolomíticas se relacionan con yesos lenticulares, frecuentemente de carácter intrasedimentario. Es habitual que los yesos lenticulares, que pueden

darse agrupados en rosetas, se encuentren disueltos y sus moldes cementados por calcita. La asociación lutitas-dolomías representaría los subambientes de llanura lutítica-margen de lago (salino), mientras que la asociación dolomías-yeso se habría formado dentro del subambiente lacustre, en el que las oscilaciones de la lámina de agua afectaría a extensas áreas.

Mineralógicos

Las dolomitas se caracterizan como no estequiométricas, ya que la mayoría de las muestras presenta cierto exceso de Ca, los valores medios de CaCO_3 en todos los casos se aproximan al 51%, con un intervalo de variación en el contenido de CaCO_3 del 55% al 47%. Cabe reseñar que estos datos estequiométricos se han obtenido tanto considerando los difractogramas de R-X como valores de microsonda y con ambas técnicas se obtienen rangos de variación equiparables. Los análisis elementales realizados mediante microsonda, no indican presencia en la red del mineral de otros elementos como Fe, Sr o Mn. El grado de orden de los cristales de dolomita es en todos los casos bajo y muestra variaciones muy similares. En la Unidad Inferior oscila entre 0,29 y 0,62 media 0,46. En el Mioceno medio varía entre 0,20 a 0,64, media 0,47, en la Cuenca de Madrid, y entre 0,25 y 0,64, media 0,43, en la Cuenca del Duero.

Tanto el bajo grado de orden de la dolomita como el enriquecimiento de Ca en la red del mineral son rasgos que caracterizan también a las dolomitas que se forman en la actualidad con mediación microbiana (Vasconcelos y McKenzie, 1997)

Las dolomitas forman frecuentemente paragénesis con otros minerales como pirita, que se encuentra generalmente oxidada, y celestina en la Unidad Inferior del Mioceno de la Cuenca de Madrid (Sanz Montero *et al.*, 2005). En el caso de las otras unidades la baritina es el sulfato asociado a las dolomitas.

Isotópicos

Los análisis isotópicos referentes a $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$ y a $\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})}$ realizados a la dolomita reflejan los siguientes resultados. Las muestras dolomíticas analizadas en la Unidad Inferior de la Cuenca de Madrid se caracterizan por valores de $\delta^{13}\text{C}$ negativos que varían entre -7,3 y -4,6‰ (media -6,5‰). Asimismo, son negativos los datos de $\delta^{18}\text{O}$ oscilando entre -7,9 y -2,6‰ (media -3,4‰). Las dolomitas correspondientes a la Unidad Intermedia de esta misma cuenca presentan, de acuerdo con Calvo *et al.* (2003), valores entre -5,1 y -4,2‰ (media -4,6‰) para $\delta^{13}\text{C}$, y -3,1 a -0,3‰ (media -1,7‰) para $\delta^{18}\text{O}$. En la Cuenca del Duero se dan variaciones entre -12 y -1,4‰ (media -4,6‰) para $\delta^{13}\text{C}$ y entre -12,8 y +2,85‰ (media -0,4‰) para $\delta^{18}\text{O}$.

Como se observa, los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ son negativos y oscilan en todos los casos en rangos bastante similares, que no justifican una fuente puramente inorgánica para el C sino que también indicarían una contribución orgánica.

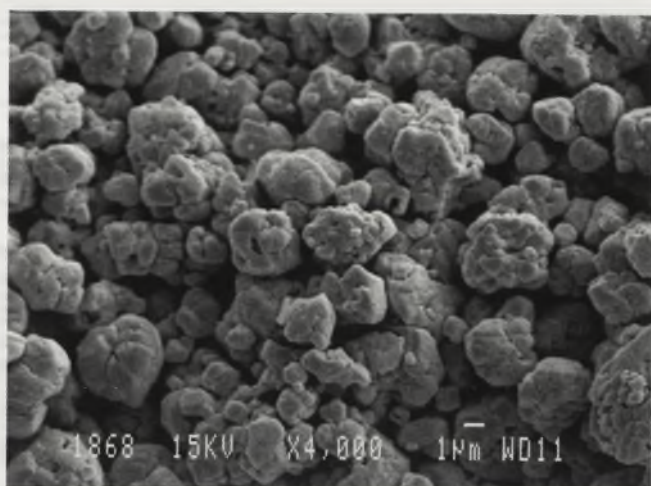


FIGURA 2. Cristales redondeados de dolomicrita formados por apilamiento de subcristales.

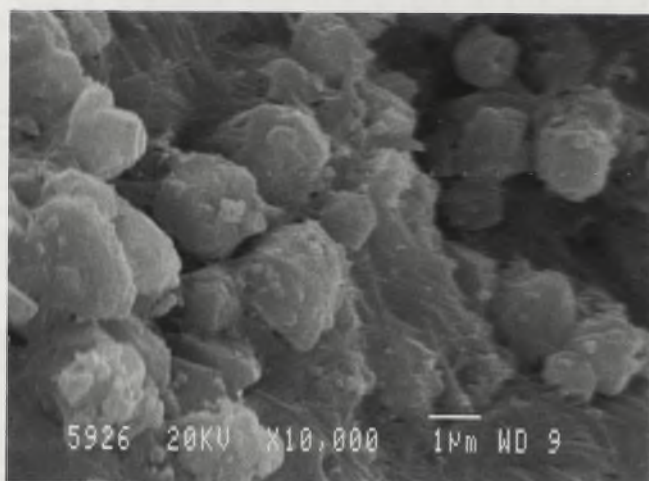


FIGURA 3. Cristales dolomíticos de superficie nudosa coexisten con texturas fibrosas.

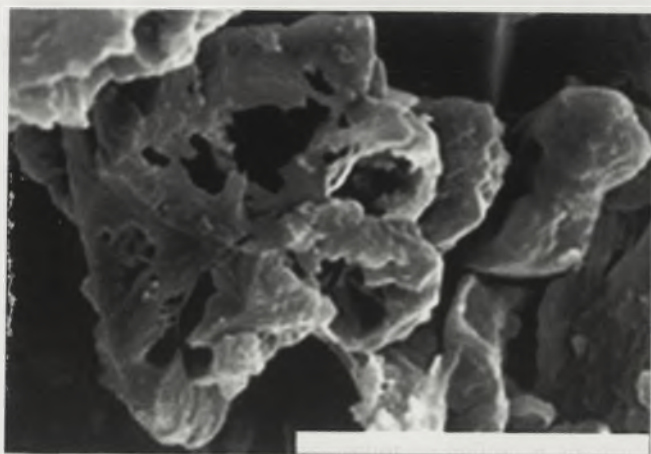


FIGURA 4. Cristales huecos de dolomita formando una tetrada característica de cianobacterias cocoides. Escala 30 µm.

nica para dicho elemento. Los datos isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ que caracterizan las dolomitas microbianas recientes estudiadas por Vasconcelos y McKenzie (1997) se asemejan bastante a los de las dolomitas miocenas. Por otra parte, los datos referentes a $\delta^{18}\text{O}$, aunque más variables también presentan valores medios negativos, que no son coherentes con una precipitación química del mineral a partir de una salmuera relativamente concentrada. Por el contrario, los datos reflejan condiciones de relativa dilución e, incluso, podrían explicarse con la aportación de aguas metabólicas relacionadas con comunidades microbianas (Sanz Montero *et al.*, 2005).

Petrográficos

Las microfacies dolomíticas se caracterizan como masivas, grumosas o, más raramente, muestran laminación milimétrica. En ellas se reconoce también porosidad fenestral. Estas pueden intercalar dolowackestones de carofitas. Generalmente, los cristales de dolomita presentan tamaños de micrita a microesparita, que, a su vez, están formados por agregados de cristales menores con tamaño y formas muy variables (Fig. 2). Los cristales resultantes generalmente son subidiomorfos, tienden a adoptar formas redondeadas, presentan protuberancias en su superficie, y mucha porosidad intracristalina. Junto a éstos se preservan restos de materia orgánica que, en muchos casos, actúan como puente de unión entre cristales contiguos. Asimismo, junto a la dolomita aparecen frecuentemente texturas fibrosas (Fig. 3) con contenidos variables de sílice que se han interpretado como restos fósiles de las sustancias extrapoliméricas que típicamente embeben a los tapices microbianos (Sanz-Montero *et al.*, 2005). Ocasionalmente, se reconocen también cristales muy idiomorfos de hábito romboédrico. En determinadas facies dolomíticas, se han reconocido cristales de dolomita con huecos centrales esféricos de dimensiones constantes, que se han interpretado como crecimientos epicelular de dolomita sobre bacterias cocoides (Sanz-Montero *et al.*, 2005). Estos cristales son especialmente abundantes en el Mioceno inferior (Fig. 4) pero también se han reconocido en la Cuenca del Duero (Fig. 5).

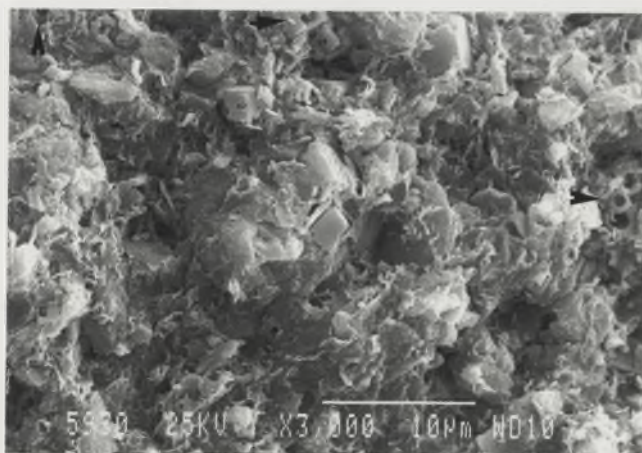


FIGURA 5. Cristales romboédricos de dolomita, con huecos esféricos en su interior, embebidos en una matriz arcillosa.

CONCLUSIONES

La falta total de evidencias que indiquen la existencia de precursores carbonáticos, junto con la composición y las características sedimentarias que definen a las facies dolomíticas presentes en las series analizadas, sugieren que las dolomitas son fases primarias que se habrían formado con la influencia de microorganismos. La génesis de dolomitas orgánicas se produjo dentro de complejos sedimentarios de llanura carbonática-lago salino típicos de cuencas cerradas, que se instalaron durante el Mioceno inferior y medio hacia las partes centrales de las Depresiones del Duero y de Madrid. La proliferación en el entorno de estos lagos, generalmente de carácter somero, de tapices microbianos y la presencia de Mg derivado de la meteorización de las áreas fuentes, tanto graníticas como carbonáticas, habrían favorecido la precipitación de dolomita. La formación de este tipo de dolomita en medios actuales se relaciona con procesos de sulfato reducción bacteriana en los que se utiliza el oxígeno del ión sulfato para metabolizar la materia orgánica presente en el medio (Vasconcelos y McKenzie, 1997). La presencia de óxidos de hierro pseudomorfizando piritita y restos de materia orgánica en las facies analizadas apoyaría la existencia de estas condiciones en los medios donde se formaron.

En general, los rasgos que definen las dolomitas descritas son bastante uniformes a pesar del amplio intervalo espacial y temporal abarcado. Estos rasgos son coincidentes asimismo con gran parte de los aspectos texturales, mineralógicos e isotópicos descritos para las dolomitas microbianas recientes. Por todo ello, se propone su uso como bioindicadores para dolomitas formadas en similares condiciones. Asimismo denota que la diagénesis experimentada por este tipo de dolomitas microbianas miocenas no sólo no borra de forma notable sus rasgos diagnósticos, sino que tampoco ha producido un aumento significativo en la cristalinidad ni en el grado de orden del mineral.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro de las actividades del Proyecto PR45/05-14165, con financiación de la Universidad Complutense de Madrid y la Comunidad Autónoma de Madrid.

REFERENCIAS

- Alonso-Gavilán, G., Armenteros, I., Carballeira, J., Corrochano, A. Huerta, P. y Rodríguez, J.M. (2004): Cuenca del Duero. En: *Geología de España* (J.A.Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 550-556 p.
- Armenteros, I. (1991): Contribución al conocimiento del Mioceno lacustre de la Cuenca terciaria del Duero, sector Centro-Oriental. Valladolid-Peñafiel-Sacramenia-Cuéllar. *Acta Geologica Hispanica*, 26: 97-131.
- Arribas, M.E., Bustillo, A. y Tsige, M. (2004): Lacustrine chalky carbonates: origin, physical properties and diagenesis (Palaeogene of the Madrid Basin, Spain). *Sedimentary Geology*, 166: 335-351.
- Calvo, J.P., Ordóñez, S., García del Cura, M.A., Hoyos, M., Alonso-Zarza, A.M., Sanz, E. y Rodríguez Aranda, J.P. (1989): Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid. *Acta Geologica Hispanica*, 24: 281-298.
- Calvo, J.P., García del Cura, M.A., Sanz-Montero, M.E. y Pozo, M. (2004): Bacterially induced formation of lacustrine dolomite in Middle Miocene deposits of the Madrid Basin, central Spain. *23rd IAS Meeting of Sedimentology*. Abstract Book, 76.
- García del Cura, M.A. (1974): Estudio sedimentológico de los materiales terciarios de la zona centro-oriental de la Cuenca del Duero (Aranda del Duero). *Estudios Geológicos*, 30: 579-597.
- Sanz Montero, M.E., Rodríguez Aranda, J.P. y Calvo, J.P. (2003): Dolomías primarias de ambiente lacustre salino: Mioceno de la Cuenca de Madrid. *Geo-Temas*, 5: 209-212.
- Sanz Montero, M.E., Rodríguez-Aranda, J.P. y García del Cura, M.A. (2005): Texturas diagenéticas de calcita desarrolladas sobre facies dolomíticas microbianas en el Mioceno de la Cuenca del Duero (zona de Cuéllar). *Macla*, 3: 193-195.
- Sanz-Montero, M.E., Rodríguez-Aranda, J.P. y Calvo, J.P. (2005): Biomineralization in relation with endoevaporitic microbial communities. Miocene lacustrine deposits from Madrid Basin, Central Spain. *Geophysical Research Abstracts*, 7: 06837.
- Vasconcelos, C. y McKenzie, J.A. (1997): Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lago Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Sedimentary Research*, 67: 378-390.