

# Depósitos de magnesita en la Cuenca de Calatayud: facies y asociaciones mineralógicas

M. Pozo<sup>1</sup>, E. Sanz-Rubio<sup>2</sup>, J.P. Rodríguez-Aranda<sup>3</sup>, J. Casas Sainz de Aja<sup>4</sup>, J.P. Calvo<sup>3</sup>  
y J.C. Cañaveras<sup>5</sup>

1 Dpto. Q.A. Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Cantoblanco, Madrid.

2 Centro de Astrobiología (INTA-CSIC). Crta. de Ajalvir km 4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid.

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

4 Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). Serrano 115. 28006. Madrid.

5 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Fac. de Ciencias. Universidad de Alicante. 03080 San Vicente Raspeig, Alicante.

## ABSTRACT

*Sedimentary magnesite is largely present in the Miocene evaporite formations (Lower and Intermediate units) of the Calatayud Basin (NE Spain). Magnesite deposits are forming part of sedimentary sequences corresponding to hypersaline and moderate-to-high concentrated saline lakes. Both field and mineralogical studies show that magnesite is associated with a wide range of lithofacies, but most commonly with phyllosilicates and gypsum. Trioctahedral clay minerals (Mg-smectites) were identified in mudflat environments of the hypersaline Lower Unit, probably formed by transformation of inherited phases in Mg and Si-rich saline-alkaline environments. Moderate to well ordered smectites (diocta-trioctahedral) in green clay lithofacies in absence of magnesite suggest a genetic competition forming magnesite or Mg-smectite. In contrast, the exclusive presence of illite associated with interstratified illite/smectite in sequences that correspond to moderate-to-high concentrated saline lakes could result from illitization processes of smectites in Mg-K-rich environments, under periodical dry/wet cycles.*

**Key words:** magnesita, Cuenca de Calatayud, Terciario, evaporitas, minerales de la arcilla.

## INTRODUCCIÓN

La magnesita sedimentaria se presenta en una gran variedad de ambientes deposicionales; sin embargo, no se han encontrado acumulaciones o depósitos importantes de magnesita asociada a medios actuales o al registro sedimentario, exceptuando los grandes yacimientos magnésicos de carácter hidrotermal-ultramáfico-metasomático. La magnesita sedimentaria se ha descrito en lagos salinos actuales, tanto costeros (Warren, 1999) como continentales (Irion y Müller, 1968; Pueyo e Inglés, 1987). Del mismo modo, se ha reconocido la existencia de magnesita en series estratigráficas antiguas marinas y continentales (Zachmann, 1989).

En el registro sedimentario terciario de la Península Ibérica, la magnesita ha sido descrita previamente en sistemas evaporíticos, en estrecha asociación con fases minerales características de alta-moderada salinidad, junto con anhidrita y glauberita en la Unidad Inferior Salina de la Cuenca de Madrid (Ordóñez y García del Cura, 1994), o en asociación directa con glauberita y polihalita en sectores centrales de la Cuenca del Ebro (Salvany y Ortí, 1994). En medios actuales la presencia de magnesita ha sido descrita en lagos playa de la Cuenca del Ebro (Pueyo e Inglés, 1987).

El registro sedimentario de la Cuenca terciaria de Calatayud se caracteriza por una abundante presencia de magnesita en sus secuencias evaporíticas (Sanz-Rubio, 1999). El presente trabajo tiene como objetivo fundamental la definición de las facies y asociaciones minerales en que aparece la magnesita como carbonato asociado dentro de la sedimentación salina lacustre que caracteriza una gran parte del registro sedimentario de la cuenca.

## MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca terciaria de Calatayud, ubicada en el NE de la Península Ibérica (Fig. 1), constituye una de las fosas tectónicas intramontañosas enclavadas en Cordillera Ibérica. Su longitud, en sentido NO-SE, es superior a los 120 km, con una anchura variable entre 10 y 26 km, y su relleno presenta un espesor máximo de unos 1.200 m. Se han reconocido tres unidades litoestratigráficas mayores (Inferior, Intermedia y Superior) separadas entre sí por discontinuidades sedimentarias a escala de cuenca (Sanz-Rubio, 1999), encontrándose magnesita únicamente en las dos primeras. La Unidad Inferior (Oligoceno superior?-Aragoniense inferior) consta, en superficie, de unos 100-150 m de depósitos evaporíticos (anhidrita, glauberita ±the-

nardita y yeso) actualmente transformados en yeso secundario, presentando magnesita como mineral asociado. La disposición de estos materiales evaporíticos presenta una organización centrípeta, con sedimentos clásticos en los bordes y facies evaporíticas en el centro de la cuenca. En sondeos se han reconocido depósitos de halita y anhidrita. **La Unidad Intermedia** (Aragoniense medio-Vallesiense inferior) está constituida en partes centrales de la cuenca por depósitos de yeso laminado primario alternantes con carbonatos magnésicos (magnesita, dolomita); su espesor es variable, desde 30 a 120 m. Dentro de la unidad se reconoce una evolución, tanto en vertical como en horizontal, desde estos materiales evaporítico-carbonatados a depósitos esencialmente carbonatados (dolomías, margas dolomíticas, calizas) con proporción variable de terrígenos finos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se han seleccionado 76 muestras representativas de diversas litofacies, potencialmente magnesíticas, repartidas en cinco secciones estratigráficas (SMA, BMA, CAS, MMA y VMA), localizadas en afloramientos de la Unidad Inferior y la parte basal de la Unidad Intermedia. Su estudio textural se ha llevado a cabo mediante microscopía óptica convencional y M.E.B. El estudio de la mineralogía global en la totalidad de las muestras ha sido realizada mediante DRX. En 25 de las muestras, con una proporción en filosilicatos superiores al 10%, se ha estudiado la mineralogía de la arcilla en la fracción inferior a  $2\mu\text{m}$  tras la aplicación de la metodología y tratamientos convencionales. En la fracción arcilla se ha medido, en muestras no orientadas, el valor del parámetro  $d(060)$  que indica el carácter aluminico (dioctaédrico) o magnésico (trioctaédrico) de los filosilicatos presentes.

## LA MAGNESITA EN LA CUENCA DE CALATAYUD

Las láminas y niveles magnesíticos se distinguen por su aspecto homogéneo, tonalidades blanquecinas y buena continuidad a escala local (Fig. 2). Generalmente, no presentan restos fósiles ni rasgos de exposición subaérea, aunque son comunes los restos vegetales flotados orientados paralelamente a la estratificación. La magnesita se asocia a los sectores marginales de los sistemas lacustres-evaporíticos de la Unidad Inferior e Intermedia, donde se puede presentar básicamente como:

1) Niveles blancos milimétricos-centimétricos de magnesita interlaminados con lutitas arcillosas verdes y grises ( $M_L$ , U. Inferior). Se agrupan en niveles de 20-30 cm de potencia que suelen quedar a base de niveles nodulares de sulfato cálcico.

2) Niveles blanco-grisáceos milimétricos-centimétricos de magnesita interlaminados con yeso secundario de reemplazamiento de anhidrita y glauberita ( $M_S$ , U. Inferior). En

ocasiones, los niveles de magnesita muestran crecimiento intrasedimentario de sulfatos.

3) Niveles milimétricos-centimétricos de magnesita interlaminados con yesos microseleníticos y yesos detríticos ( $M_P$ , techo de U. Inferior y base de U. Intermedia).

4) Niveles decimétricos blancos de magnesita con nódulos desplazativos/reemplazativos de anhidrita ( $M_N$ , U. Inferior y localmente U. Intermedia).

Se pueden distinguir dos asociaciones minerales fundamentales de la magnesita en los sistemas deposicionales evaporíticos de las unidades Inferior e Intermedia:

**Secuencias correspondientes a sistemas lacustres hipersalinos (secciones SMA, BMA, CAS).** La magnesita en estos sistemas deposicionales es dominante en la Unidad Inferior (facies de tipo  $M_L$ ,  $M_S$  y  $M_N$ ) formando una aureola alrededor de las facies centrales del lago salino. Además de la facies  $M_S$ , solamente apreciable a escala de afloramiento, su asociación con glauberita-anhidrita-yesothenardita y arcillas ha sido descrita en sondeos. En la figura 3A se representa la sección tipo BMA. En función de la disposición de los niveles con magnesita y las litofacies asociadas, se han diferenciado dos tipos de secuencias correspondientes a ambientes deposicionales distintos:

### a) Secuencia de margen lacustre somero

Esta secuencia queda constituida por lutitas verdes, grises, términos interlaminados con margas claras y capas diferenciadas de este último material (sección CAS). La mayor proporción de magnesita es observada en niveles margosos claros intercalados, o interlaminados con lutitas grises, alcanzando hasta un 70%. En las lutitas grises también se ha observado la presencia de magnesita en bajas proporciones, encontrándose ausente en las verdes. En yesos nodulares, es frecuente la existencia de magnesita en forma de matriz. En ausencia de yeso, los niveles de lutitas grises y verdes presentan contenidos en filosilicatos que oscilan entre 70-79% (con abundante mica), con porcentajes en cuarzo y feldespatos (plagioclasa>feldespato potásico) que unidos superan el 15%, predominado siempre el cuarzo. El estudio mineralógico de la fracción arcilla ha puesto de manifiesto la asociación: **ILLITA>>INT. IRREGULARES ILLITA/ESMECTITA>CAOLINITA.**

La illita es el filosilicato predominante en la fracción arcilla con porcentajes superiores al 75%. Esta misma asociación se ha observado en los términos laminados de lutitas grises y margas con magnesita. La medida del espaciado  $d(060)$  indica la existencia de fases dioctaédricas (1,492-1,504 Å).

### b) Secuencia de tránsito llanura lutítica-lago salino

Esta secuencia, reconocida en las secciones BMA (Fig. 3A) y SMA, queda constituida por lutitas rojas y verdes con intercalaciones de margas claras y yesos nodulares. El

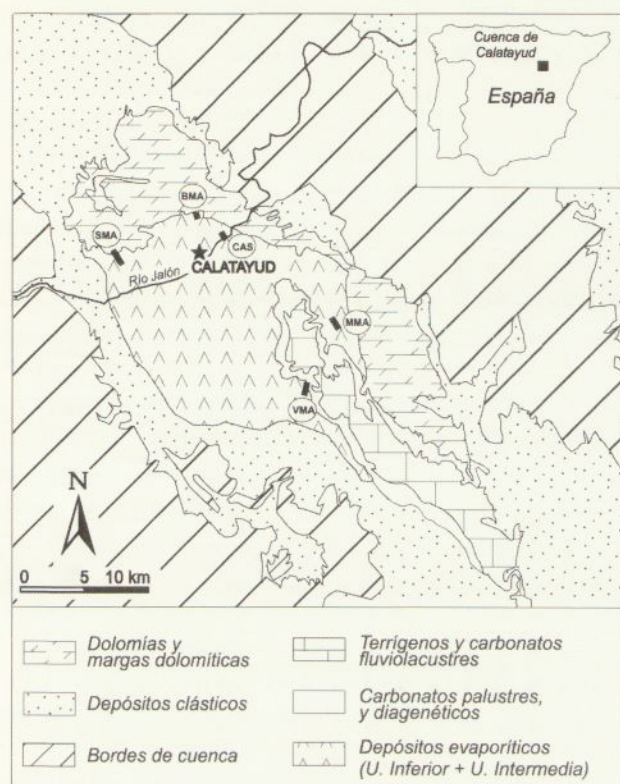


FIGURA 1: Esquema litológico del Neógeno de la Cuenca de Calatayud con la ubicación de las secciones estratigráficas estudiadas.

mayor porcentaje en magnesita se observa en los niveles margosos, donde puede representar el 58% en muestras con bajo contenido en yeso. Destaca su baja (<10%) o nula presencia en lutitas rojas y verdes respectivamente. Del mismo modo, se reconoce la aparición de magnesita como matriz carbonática de yesos nodulares. Los niveles de lutitas estudiados (verdes y rojizos) presentan porcentajes de filosilicatos que oscilan entre 72-86%, y subordinados cuarzo y feldespatos, que alcanzan juntos más del 15%, predominando siempre el cuarzo. El estudio mineralógico de la arcilla pone de manifiesto la siguiente asociación: ILLITA(ESMECTITA)>>CAOLINITA>CLORITA.

En la esmectita destacan cristalinidades que oscilan entre 0.41 y 0.63 según el índice de Biscaye. Los valores más bajos se observan en lutitas próximas a niveles yesíferos. En concordancia con este resultado se han observado cristalinidades muy bajas (0.20) en esmectitas presentes en margas magnesíticas, que actúan como matriz de yesos nodulares. La medida del espaciado  $d(060)$  pone de manifiesto la coexistencia de términos di y trioctaédricos (1,492-1,523 Å).

**Secuencias correspondientes a sistemas lacustres de moderada-alta salinidad (secciones VMA y MMA).** La magnesita en estos sistemas deposicionales es característica del techo de la Unidad Inferior y, especialmente de la base de la Unidad Intermedia en sectores meridionales de la cuenca. En la figura 3B se representa la sección tipo

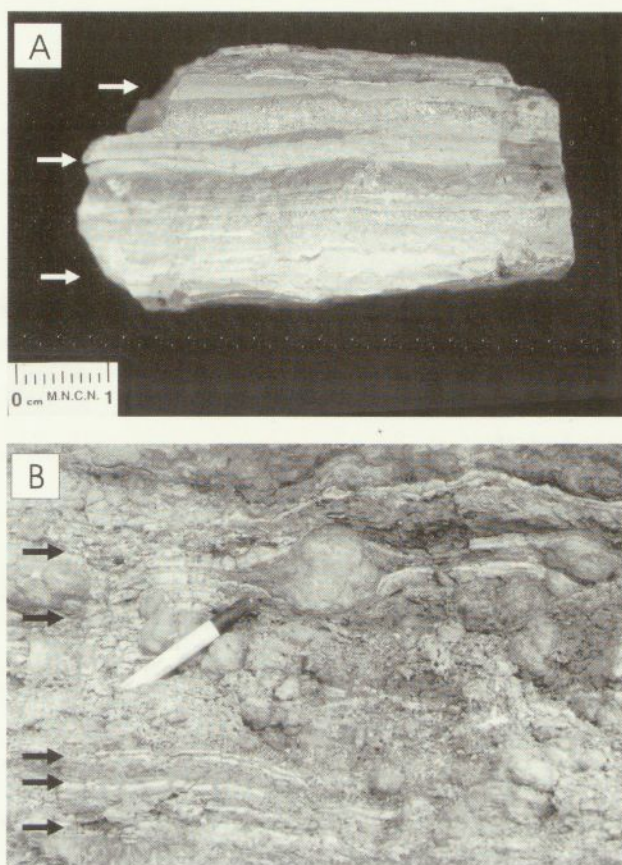


FIGURA 2: A) Aspecto de los niveles milimétricos-centimétricos de magnesita (tonalidades más blancas, señalados por flechas) en alternancia con niveles de lutitas y margas grises. B) Niveles centimétricos de magnesita (en blanco y señalados con flechas) en alternancia con lutitas, margas y yesos. Nótese la deformación que produce el desarrollo de los nódulos de sulfato cálcico en la laminación.

MMA. Las facies de magnesita presentes son  $M_p$  y excepcionalmente  $M_N$ , en niveles nodulares asociados a niveles de paleosuelos (Sanz-Rubio, 1999).

Las muestras estudiadas contienen cantidades variables en yeso que en muchas ocasiones es el único mineral asociado a la magnesita. Así, en niveles laminados yesíferos, la magnesita presenta contenidos que alcanzan el 31%. En margas yesíferas ocre y grises, el porcentaje en magnesita puede alcanzar el 30%, detectándose, además, en proporción baja (<10%) dolomita y calcita. En niveles de margas crema, pobres en yeso, la magnesita llega al 74%.

El contenido en filosilicatos es en general bajo, como resultado de la elevada proporción de yeso, que frecuentemente supera el 50%. En las margas grises, el porcentaje en filosilicatos oscila entre el 13 y el 48%, en las margas ocre se alcanza el 31% y en las verdes tan sólo el 11%. En general, los niveles con mayor proporción en filosilicatos van acompañados de un incremento en el contenido en cuarzo que puntualmente puede llegar al 21%, siendo reseñable la práctica ausencia de feldespatos.

El estudio de la fracción arcilla en las margas yesíferas grises permite establecer dos asociaciones mineralógicas:

1) ILLITA  $\geq$  ESMECTITA-INT.IRREGULARES ILLITA/ESMECTITA  $\gg$  CAOLINITA; 2) ILLITA  $>$  ESMECTITA  $\gg$  CAOLINITA.

La asociación 1 muestra illita con deficiente cristalinidad, frecuente interestratificación e indicios de caolinita. La asociación 2 presenta illita de mejor cristalinidad, esmectitas con índices de Biscaye bajos ( $<0.4$ ) y caolinita. Las margas verdes presentan una asociación de tipo 2 y las ocres de los dos tipos. La medida del espaciado  $d(060)$  indica predominio de los términos dioctaédricos que localmente se presentan con fases trioctaédricas.

## DISCUSIÓN

La distribución de la magnesita en niveles estratigráficos continuos lateralmente y en contacto neto con otros materiales, así como la ausencia de fases precursoras, permiten inferir un origen primario o diagenético muy temprano para este mineral. Aspectos texturales, como el tamaño de los cristales ( $<2 \mu\text{m}$ ), su morfología euhédrica y la ausencia de rasgos de recristalización confirman esta interpretación genética. La precipitación de magnesita tendría lugar bajo lámina somera de agua con exposiciones ocasionales, o bien se formaría muy tempranamente durante la diagénesis a partir de precursores magnésicos hidratados o mediante reemplazamiento de protodolomita o huntita (Irion y Müller, 1968; Warren, 1999).

Las secuencias sedimentarias con magnesita permiten establecer cambios en la salinidad del ambiente lacustre, donde la magnesita sería indicativa de moderada salinidad, mientras que los sulfatos cálcico y/o cálcico-sódicos marcarían condiciones características de una salinidad más elevada, correlativa con una mayor concentración de la salmuera. Las intercalaciones de materiales siliciclásticos finos indicarían fases de aporte responsables de la disminución local de salinidad del ambiente lacustre.

Las facies de magnesita  $M_p$  y  $M_s$  son netamente características de ambientes lacustres salinos. En la interfase sedimento-agua, en condiciones subacuáticas, se origina magnesita interlaminada con anhidrita/glauberita ( $M_s$ ) o con yeso primario ( $M_p$ ), representando cada una de estas asociaciones contextos hidroquímicos diferentes, en el primer caso con condiciones hipersalinas y, en el segundo caso, con condiciones de moderada-alta salinidad. Aunque la salinidad relativa en  $M_s$  es mucho mayor, en ambos casos el carbonato representa la fase de relativa dilución y el sulfato la de concentración. La existencia de facies con magnesita y yesos nodulares procedentes de anhidrita ( $M_N$ ) se interpreta como resultado de un descenso del nivel freático que deja temporalmente en condiciones vadosas el barro carbonático, dejando paso al desarrollo de nódulos de anhidrita primaria reemplazativa-desplazativa. En estas condiciones también se puede favorecer un desarrollo intrasedimentario de cristales de glauberita.

Asociaciones hipersalinas similares de magnesita interlaminada con anhidrita, glauberita o halita-polihalita se han observado en otras cuencas ibéricas (Ordóñez y García del Cura, 1994; Salvany y Ortí, 1994). Sin embargo, la asociación de magnesita y yesos primarios (detritico, microselinita y lenticular), no resulta nada común. La composición de la salmuera ejerce una influencia decisiva en la génesis de la magnesita, siendo necesarias altas concentraciones de bicarbonato y relaciones Mg/Ca superiores a 40, (Aharon, 1988). La asociación de magnesita con sulfatos cálcico-sódicos en depósitos de la Unidad Inferior es indicativa de una salmuera inicial de composición hidroquímica sulfatado sódico-magnésica. Más arriba en la sucesión estratigráfica dentro de la Unidad Intermedia, se produce una etapa de dilución relativa del medio, donde la magnesita se presenta con yeso primario, considerándose la salmuera sulfatado-magnésica.

En secuencias con aportes siliciclásticos finos, se desarrollan alternancias de magnesita con términos lutíticos o margosos ( $M_L$ ). El estudio mineralógico de las facies lutíticas y margosas pone de manifiesto la existencia de dos asociaciones de minerales de la arcilla que se presentan en facies concretas: (A). Illita-(Interestratificado illita/esmectita-Caolinita) y (B). Illita-Esmectita-Caolinita. La asociación (A) se presenta preferentemente en facies laminadas de lutitas y margas con intercalaciones de magnesita y sulfatos. Aunque la illita es una fase mineral típicamente heredada, en ambientes salinos parte de la illita posible podría ser el resultado de procesos de illitización de esmectitas heredadas en un medio rico en magnesio y potasio, sometido periódicamente a fenómenos de humectación-desecación (Singer y Stoffers, 1980). La asociación (B) es característica de facies de arcillas verdes donde prácticamente están ausentes sulfatos y magnesita, destacando la cristalinidad de la esmectita y la existencia de esmectitas trioctaédricas. Localmente esta asociación también se presenta en facies margosas donde las esmectitas son dioctaédricas, exhiben muy baja cristalinidad y muestran evidencias de interestratificación. Las esmectitas dioctaédricas, illita y caolinita serían minerales heredados. La esmectita magnésica se interpreta como el resultado de procesos autigénicos de transformación y/o neoformación por interacción de fases heredadas con magnesio y sílice en un medio salino-alcalino, siendo una zona especialmente favorable para este proceso la llanura lutítica (Pozo *et al.*, 1992).

## CONCLUSIONES

Las láminas y niveles magnésicos de la Cuenca terciaria de Calatayud se distinguen por su aspecto homogéneo, tonalidades blanquecinas y buena continuidad a escala local. La distribución de la magnesita en niveles estratigráficos continuos lateralmente y en contacto neto con otros materiales, así como la ausencia de probables fases precursoras, sugieren un origen sindeposicional. La magnesita se asocia

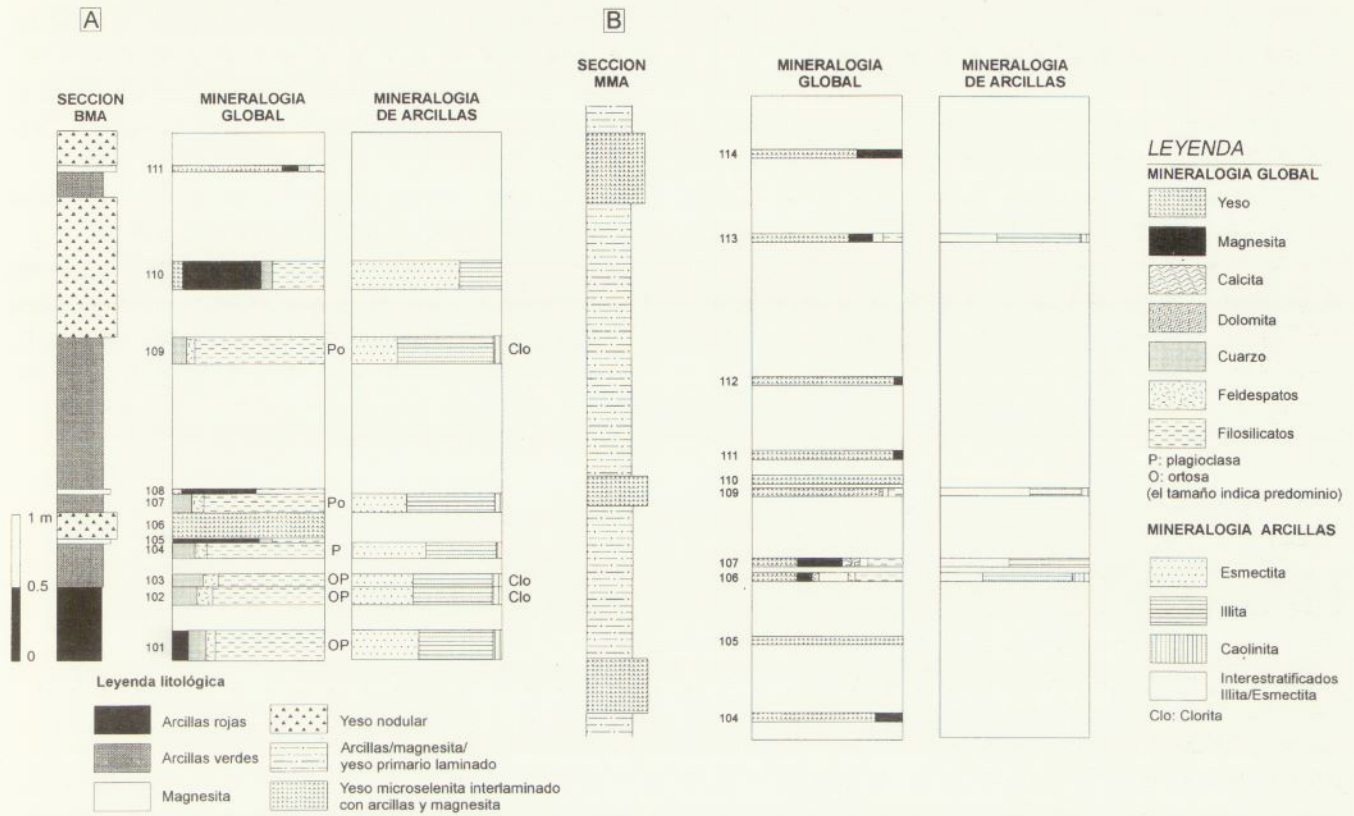


FIGURA 3: Representación gráfica de las secciones tipo utilizadas (BMA y MMA), con localización de muestras y composición mineralógica global y de la fracción arcilla.

típicamente a los sectores marginales de los sistemas lacustres-evaporíticos del Mioceno Inferior de la cuenca, presentándose en una amplia variedad de litofacies (frecuentemente asociada a filosilicatos o yeso), tanto en niveles laminados o masivos como en forma de matriz entre nódulos de yeso. La única excepción es la práctica ausencia de magnesita en lutitas verdes. Los minerales de la arcilla: illita, esmectita dioctaédrica, caolinita e interestratificados irregulares illita/esmectita, junto a cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico se consideran heredados. La presencia de fases trioctaédricas en los minerales de la arcilla en secuencias de sistemas lacustres hipersalinos corresponde probablemente a arcillas de carácter saponítico, resultado de procesos autigénicos por interacción de fases heredadas con magnesio y sílice en un medio salino-alcálico. El buen desarrollo de las esmectitas (di-trioctaédricas) en litofacies de lutitas verdes y la práctica ausencia de las mismas de magnesita, sugiere una competencia genética para formar el carbonato o el silicato autigénico. Por otra parte, la presencia casi exclusiva de illita con interestratificados illita/esmectita, en diversas muestras de las secuencias correspondientes a sistemas lacustres de moderada-alta salinidad, podría ser el resultado de procesos de illitización de esmectitas en un medio rico en magnesio y potasio, sometido periódicamente a fenómenos de humectación-desecación.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido elaborado en el marco de los proyectos DGES PB97-0244 y PB98-0503.

**REFERENCIAS**

Aharon, P. (1988): A stable isotope study of magnesites from the Rum Jungle Uranium Field, Australia: implications for the origin of strata-bound massive magnesites. *Chem. Geol.*, 69: 127-145.

Irion, G. y Müller, G. (1968): Huntite, dolomite, magnesite and polyhalite of recent age from Tuz Gölü, Turkey. *Nature*, 220: 1309-1310.

Ordóñez, S. y García del Cura, M.A. (1994): Deposition and diagenesis of sodium-calcium sulphate salts in the tertiary saline lakes of the Madrid Basin, Spain. En: *Sedimentology and geochemistry of modern and ancient saline lakes* (Renaut, R.W. y Last, W.M., Eds.). S. E. P. M. Spec. Publ., 50: 229-238.

Pozo, M., Casas, J., Moreno, A. y Medina, J.A. (1992): Origin of sedimentary magnesium bentonites in marginal lacustrine deposits (Madrid Basin, Spain). *Miner. Petrogr. Acta*, XXXV-A: 45-54.

Pueyo Mur, J.J. e Inglés, M. (1987): Magnesite formation in recent playa lakes, Los Monegros, Spain. En:

- Diagenesis of sedimentary sequences (Marshall, J.D., Ed.). *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 36: 119-122.
- Salvany, J.M. y Ortí, F. (1994): Miocene glauberite deposits of Alcanadre, Ebro basin, Spain: sedimentary and diagenetic processes. En: *Sedimentology and geochemistry of modern and ancient saline lakes* (Renaut, R. W. y Last, W. M., Eds.). *S.E.P.M. Spec. Publ.*, 50: 203-215.
- Sanz-Rubio, E. (1999): Análisis de los sistemas deposicionales carbonáticos y evaporíticos del Neógeno de la Cuenca de Calatayud (provincia de Zaragoza). Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 585 p.
- Singer, A y Stoeffers, P. (1980): Clay mineral diagenesis in two East African lake sediments. *Clay Miner.*, 15: 291-307.
- Warren, J.K. (1999): *Evaporite. Their evolution and economics*. Blackwell Science, Oxford, 438 p.
- Zachmann, D.W. (1989): Mg-carbonate deposits in freshwater environment. En: *Magnesite, Geology, Mineralogy, Geochemistry, formation of Mg-carbonates* (Möller, P., Ed.). *Monograph Series on Mineral Deposits*, 28: 61-94.