

Facies laminadas en la secuencia sedimentaria del lago de Montcortés (Lleida) durante los últimos 6.000 años

Finely laminated facies within the Montcortés lake sedimentary sequence (Lleida) during the last 6.000 years

Juan Pablo Corella ⁽¹⁾, Blas Lorenzo Valero-Garcés ⁽¹⁾, Achim Brauer ⁽²⁾, Ana Moreno ⁽¹⁾ y Ana Pérez-Sanz ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC, Av/ Montañana 1005, Apdo 202, 50.080 Zaragoza. pablocorella@ipe.csic.es; blas@ipe.csic.es; amoreno@ipe.csic.es; anaperez@ipe.csic.es

⁽²⁾ GeoForschungsZentrum Potsdam, Section 3.3, Climate Dynamics and Sediments, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, Germany. brau@gfz-potsdam.de

ABSTRACT

The different sedimentological, geochemical and geophysical analysis performed in the Montcortés lake sedimentary record (Pre-Pyrenees, Lleida) helps to interpret the sedimentary evolution of this karstic lake during the last 6.000 years. The deposition of lacustrine varves is continuous during, at least, the last 3.500 Cal. yr BP. This fine lamination is punctuated by massive clastic facies corresponding to turbidite events. A total of 9 lithostratigraphic units were recognized corresponding to three different depositional environments that alternate throughout the record; i) a shallow, meromictic lake with very high bioproductivity (unit VI: 6.000- 3.500 Cal. yr BP), ii) a deep, meromictic lake with high bioproductivity (units V, III and I; 3.500-1.250, 500-180 Cal. yr BP and last decades) and iii) deep, meromictic lake with higher clastic inputs (units IV and II; 1.250-500 and 180 Cal. yr BP- last decades). Several slumps deposits have been recognized within the sequence (units A, B and C).

Key words: Holocene, Sedimentology, laminated sediments, Pre-Pyrenees, lacustrine record

Geogaceta, 46 (2009), 103-106
ISSN: 0213683X

Introducción

En el Pre-Pirineo se localizan varios lagos kársticos en zonas con afloramientos de rocas evaporíticas de las facies Keuper asociadas a accidentes tectónicos (e.g., la laguna de Estanya, Morellón *et al.*, 2008), el lago de Montcortés (Camps *et al.*, 1976), el lago de Arreo (Rico *et al.*, 1995)). El tamaño relativamente pequeño de las cuencas de drenaje de estos lagos kársticos, así como su conexión con acuíferos, hace que sean muy sensibles a los balances hídricos regionales, con fluctuaciones considerables del nivel del lago y de la química del agua en respuesta a cambios climáticos (Cohen, 2003). Por otra parte, su morfología en embudo y la elevada relación profundidad/superficie facilita la estratificación de las aguas, que tiene como resultado el desarrollo de fondos anóxicos, y la consiguiente preservación de facies laminadas. Cuando estas son anuales (varvas lacustres), proporcionan una excelente herramienta paleoambiental debido a su gran resolución temporal, llegando a la escala estacional (Lotter *et al.*, 1997). En este

trabajo se realiza una descripción de las facies laminadas del lago kárstico y meromictico de Montcortés, cuyo registro sedimentario cubre los últimos 6.000 años y que presenta una laminación anual durante, al menos, los últimos 3.500 años.

Situación Geográfica y Geología

El lago de Montcortés (42° 19' 50" N, 0° 59' 46" E, 1027m s.n.m.) está situado en el Pre-pirineo de la provincia de Lleida. El sustrato del lago está compuesto por materiales Triásicos de la facies Keuper y Muschelkalk (Fig. 1) emplazados en el borde norte de la Unidad Surpirenaica Central (Rosell, 1994). El origen kárstico del lago se debe a la presencia de materiales calcáreos y yesíferos que, junto con las numerosas estructuras tectónicas presentes asociadas a los cabalgamientos de Boixols y Les Nogueres, favorecen los procesos de disolución con el consecuente desarrollo de cubetas lacustres. La profundidad del lago de Montcortés es de 30 metros, presenta una morfología casi circular, unos márgenes escarpados y un perímetro de

1.320 m (Camps *et al.*, 1976). Es un lago oligotrófico y meromictico, cuya hidrología está controlada fundamentalmente por aportes subterráneos que compensan las pérdidas que tiene el lago tanto por evaporación como por un pequeño arroyo emisario situado en su orilla norte (Bayarri, 2005).

Metodología

En los cuatro sondeos recuperados de la parte más profunda del lago de Montcortés usando un sondeador tipo Kullenberg y una plataforma flotante perteneciente al Limnological Research Center (LRC/UMN) se obtuvo un total de 24,48m. Para el estudio de dichos sondeos se emplearon técnicas geofísicas (susceptibilidad magnética), sedimentológicas, geoquímicas y de microscopía óptica y electrónica de barrido (MEB). La cronología de la secuencia se ha establecido en base a 12 dataciones AMS ¹⁴C obtenidas en muestras orgánicas (8 macrorrestos terrestres, 1 macrorresto acuático y 3 muestras de sedimento total) de los sondeos MON04-

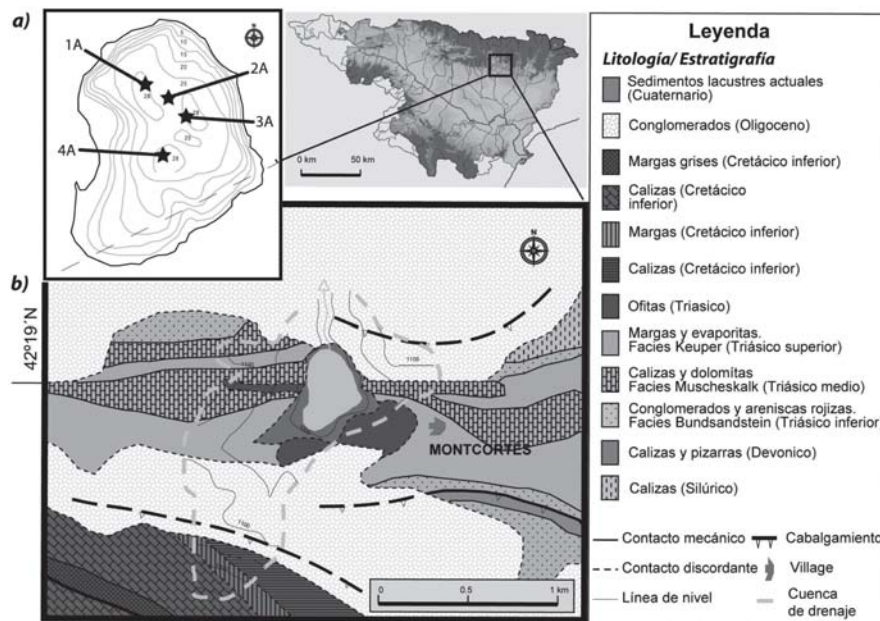


Fig. 1.- 1a) Mapa batimétrico del lago de Montcortés con la posición de los sondeos obtenidos. 1A= sondeo MON04-1A-1K, 2A= sondeo MON04-2A-1K, 3A= sondeo MON04-3A-1K, 4A= sondeo MON04-4A-1K. 1b) Localización geográfica del área de estudio y mapa geológico del entorno del lago (basado en Rosell, 1994).

Fig. 1.- 1a) Montcortés lake bathymetric map with the position of the sediment cores. 1b) Geographical location of the studied site and geological map of the surroundings of the lake (from Rosell, 1994).

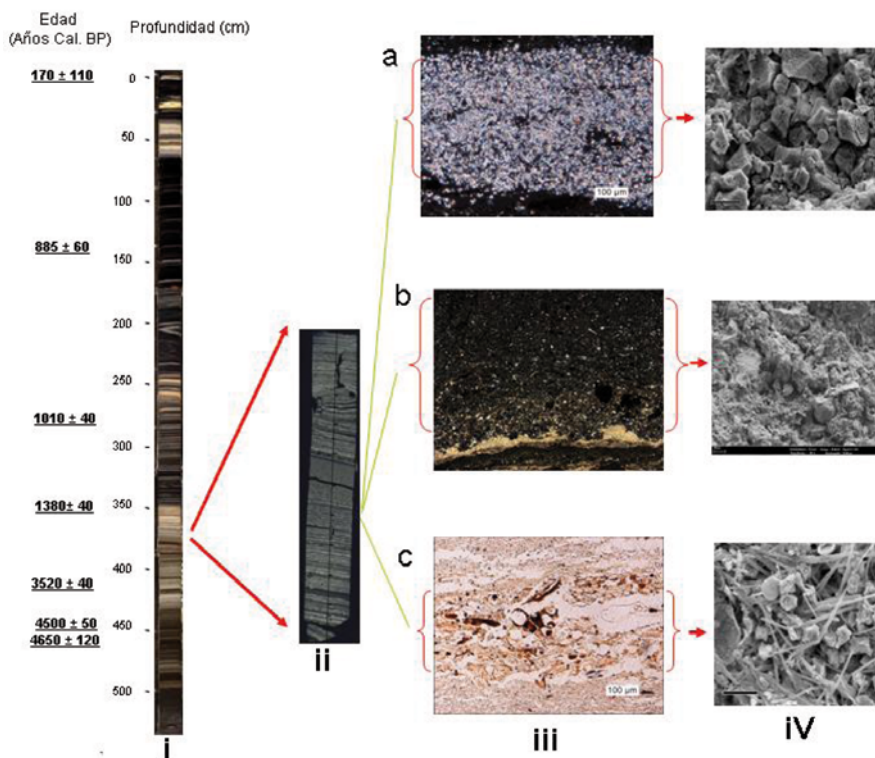


Fig. 2.- Registro sedimentario finamente laminado del lago de Montcortés; i) sondeo largo MON04-4A-1K con las dataciones ¹⁴C AMS calibradas, ii) lámina delgada de una sección del sondeo, iii) imagen de microscopía óptica de las diferentes laminaciones que comprenden una varva: a) lámina de calcita, b) lámina detrítica y c) lámina orgánica, iv) imágenes de MEB de las diferentes láminas.

Fig. 2.- Montcortés lake finely laminated sedimentary record; i) MON04-4A-1K long core with the calibrated ¹⁴C AMS dates, ii) Thin section of a varved interval, iii) optical microscopy image showing the different laminae within a varve: a) calcite layer, b) detrital layer and c) organic layer, iv) SEM images from the different layers.

4A-1K (5,38m) y MON04-1A-1K (6,69 m) (Fig. 1A), que han sido calibradas usando el programa CALPAL y la curva INTCAL04 (Reimer *et al.*, 2004).

Sedimentología y Estratigrafía

El registro sedimentario de Montcortés se encuentra afectado por diversos depósitos de gravedad. Por este motivo la serie sedimentaria completa se ha obtenido con los sondeos MON04-4A-1K para la parte basal, MON04-1A-1K para la parte superior del registro, y el sondeo corto MON07-1A-1M que incluye los sedimentos más recientes y la interfase sedimento-agua. La correlación estratigráfica de todos los sondeos se ha realizado gracias a la litología y los perfiles de susceptibilidad magnética. El estudio de las diferentes facies en el registro sedimentario del lago se ha realizado mediante descripciones sedimentológicas, observación de frotis de sedimento al microscopio, láminas delgadas y análisis geoquímicos (Carbono orgánico total (TOC), Carbono inorgánico total (TIC), azufre total (TS) y relación Carbono/Nitrógeno (C/N)), así como observaciones mediante MEB. El registro sedimentario de Montcortés se compone de: i) facies finamente laminadas con presencia (facies 1) o ausencia (facies 2) de calcita endogénica, ii) facies carbonatadas litorales (facies 3), iii) facies masivas (correspondientes a eventos clásticos (facies 4 y 5) y iv) facies convolucionadas (facies 6) y caóticas (facies 7) pertenecientes a depósitos de gravedad.

Las facies laminadas de Montcortés (facies 1, Fig. 2) forman un triplete constituido por grupos de tres láminas; i) láminas blancas de 0,3 mm de espesor medio formadas por acumulaciones de cristales romboédricos de calcita endogénica de 5 micras de tamaño. Se interpretan como formación de calcita bioinducida debido a desarrollos algales en primavera/verano (Brauer, 2004) (Fig. 2A), ii) láminas grises detríticas de barro calcítico, de 1 mm de espesor medio, compuestas por granos irregulares de calcita y cuarzo y abundantes restos de plantas terrestres (en la base), con una textura granodecreciente. Estas láminas se encuentran ausentes en ocasiones. Se interpretan como el resultado de la sedimentación clástica por escorrentía y decantación durante los periodos de mayor intensidad de lluvias (Fig. 2B) y, iii) láminas marrones de 0,56 mm de espesor medio, ricas en materia orgánica amorfa y diatomeas con variable cantidad de arcillas que se interpreta como acumula-

ción de la materia orgánica durante los periodos de mayor bioproduktividad (Fig. 2c). Las facies laminadas reflejan condiciones de anoxia en el fondo del lago, sin bioturbación (O'Sullivan, 1983; Brauer, 2004; Zolitschka, 2007). Su estructura es similar a las varvas biogénicas descritas por Brauer (2004) para lagos alpinos con sustrato calcáreo y a las varvas presentes en otros lagos kársticos españoles como el lago de La Cruz (Julia *et al.*, 1998) y la Laguna de Zoñar (Martín-Puertas *et al.*, 2008). El modelo cronológico construido mediante conteo de láminas, dataciones de ^{14}C AMS y datos preliminares de ^{210}Pb indica que la laminación de Montcortés es varvada y que el triplete de láminas (varva) se depositó durante un ciclo anual.

Las diferentes asociaciones de facies han permitido distinguir 6 unidades litoestratigráficas principales (unidades I a VI) y 3 unidades alóctonas (unidades A, B y C). La unidad VI es orgánica compuesta por las facies 2, finamente laminadas con ausencia de láminas de calcita endogénica. Las unidades V, III y I (la unidad I ha quedado en el sondeo de gravedad MON07-1A) están compuestas por una alternancia de las subfacies 1.1 (finamente laminadas con buen desarrollo de las láminas de calcita endogénica) y 1.2 (finamente laminadas con calcita endogénica, pero con mayor espesor de las láminas detríticas). Las unidades IV y II están compuestas por las subfacies 1.2 alternando con facies masivas 4 correspondientes a eventos turbidíticos. Estas unidades presentan la mayor tasa de sedimentación de toda la secuencia. Por último, las unidades alóctonas A (presente en los sondeos 1A y 2A), B (presente en el sondeo 3A) y C (presente en el sondeo 4A), están compuestas por sedimentos carbonatados litorales y facies tectonizadas de clastos poliminerálicos dentro de una matriz arenosa que han sido transportados a la parte más profunda del lago por procesos de depósitos de gravedad.

Evolución de las facies laminadas

La presencia o ausencia de calcita endogénica en las facies laminadas (facies 1 y 2), así como el mayor o menor número de eventos clásticos y su magnitud, hacen posible la diferenciación de tres tipos de facies y ambientes de formación durante la evolución sedimentológica del lago:

- Facies orgánicas (unidades VI y V.b; 6.000-3.500 y 2.300-1.900 años Cal. BP).

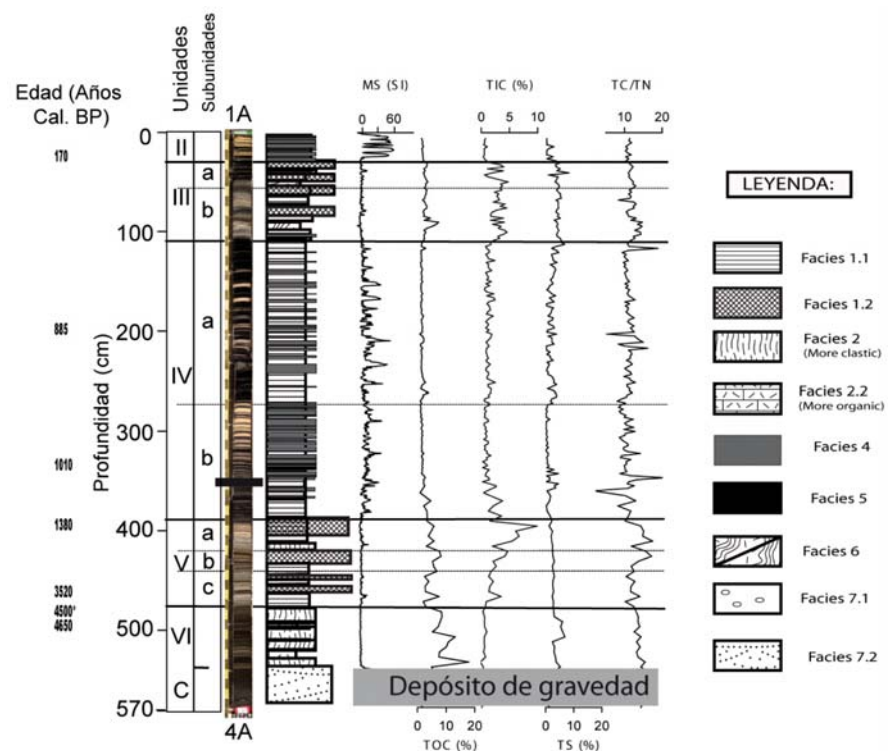


Fig. 3.- Perfil sedimentológico y geoquímico de la secuencia compuesta de Montcortés con los sondeos 4A (parte basal) y 1A (parte superior). En la parte izquierda de la figura se indican las dataciones ^{14}C AMS calibradas.

Fig. 3.- Sedimentological and geochemical profile of the composite Montcortés sequence : 4A (lower part) and 1A (upper part) cores. Calibrated ^{14}C AMS dates are also listed.

BP) caracterizadas por un alto contenido en carbono orgánico (Fig. 3) y el mejor desarrollo de las láminas orgánicas, ricas en diatomeas y materia orgánica (facies 2). Los altos valores de la relación C/N (Fig. 3) indican que una buena parte de la materia orgánica acumulada es de origen terrestre. La presencia de gasterópodos y láminas de carbonato litoral retrabajado sugieren un nivel del lago relativamente somero. Estas facies se depositarían en un lago con una bioproduktividad muy elevada y con una gran tasa de acumulación orgánica que limitaría la preservación de la calcita formada en el epilimnion.

- Facies orgánicas y carbonatadas (unidades V; III y I; 3.500-1.250, 500-180 años Cal. BP y últimas décadas). Constituyen el depósito típico de varvas lacustres con tres láminas bien diferenciadas. La formación de calcita endogénica bioinducida sugiere una productividad del lago relativamente alta pero con menor tasa de acumulación orgánica que favorecería la preservación del

carbonato en el hipolimnion.

- Facies laminadas con abundantes capas clásticas (unidades IV y II; 1.250-500 y 180 años Cal. BP-últimas décadas). El incremento en la frecuencia y magnitud de turbiditas (facies 4), así como el aumento de la tasa de sedimentación en este periodo, indican un mayor aporte de terrígenos al lago debido a un aumento en la escorrentía de la cuenca.

Conclusiones

La secuencia sedimentaria es un ejemplo de varvas lacustres biogénicas de lagos alpinos con sustrato calcáreo descrito por Brauer (2004), compuestas por; i) una lámina de calcita endogénica, ii) una lámina detrítica y, iii) una lámina orgánica. Estas facies laminadas están interrumpidas por facies masivas de tipo turbidita. Las varvas contienen una lámina de calcita endogénica durante los últimos 3.500 años, cuando las condiciones de formación y preservación fueron más adecuadas. La ausencia o el menor desarrollo de las láminas de calcita durante otros periodos del Holoceno (unidades VI y V.b; 6.000-3.500 y 2.300-1.900 años Cal. BP) puede deber-

se a condiciones físico-químicas poco adecuadas para su formación en el epilimnion como a una disolución de la calcita endogénica en el hipolimnion debido a la elevada tasa de acumulación de materia orgánica. Durante los periodos 1.250-500 y 180 años Cal. BP- últimas décadas se produjo un incremento de los aportes clásticos al lago, mientras que durante el periodo comprendido entre ellos se produjo un descenso de estos aportes.

Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) a través del proyecto CALIBRE (CGL2006-13327-C04/CLI), y por la acción integrada (UCA-GFZ): «High resolution sedimentary analysis of Spanish karstic lakes: paleoenvironmental and geochronological implications». (HA2007-007) La CAJA DE AHORROS DE LA INMACULADA proporcionó financiación adicional a través del programa Europa para el desarrollo del estudio de microfacies. Juan Pablo Corella tiene una beca DGA de doctorado concedida por

la Diputación General de Aragón (CONAI+D). Por último, un especial agradecimiento al Dr. Carlos de Santisteban, por la revisión detallada y minuciosa de este manuscrito.

Referencias

- Bayarri, J. (2005). *Origen de les aigües del llac de Montcortès (Baix Pallars, Lleida)*. Treball de fi de carrera. Universitat de Barcelona.
- Brauer, A. (2004). En: *The Climate in Historical Times: Towards a Synthesis of Holocene Proxy Data and Climate Models*. Springer, 109-128.
- Camps, J. Gonzalvo, I., Güell, J., López, P., Tejero, A., Toldrà, X., Vallespinos, F. y Vicens, M., (1976). *Oecología acuática*, 2, 99-100.
- Cohen, A.S. (2003). *Paleolimnology. The history and evolution of lake systems*. Oxford University Press, New York, 500 p.
- Julia, R., Burjachs, F., Dasi, M.J., Mezquita, F., Miracle, M.R., Roca, J.R., Seret G. y Vicente, E. (1998). *Aquatic Sciences* 60, 279-299.
- Lotter, A.F., Sturm, M., Teranes, J.L. y Wehrli, B. (1997). *Aquat Sci.*, 59, 304-325.
- Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B.L., Brauer, A., Mata, M.P., Delgado-Huertas, A. y Dulski, P. (2009). *Quaternary Research* 71, 108-120.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Moreno, A., González-Sampériz, P., Mata, P., Romero, O., Maestro, M. y Navas, A. (2008). *Quaternary International*, 181(1), 15-31.
- O'Sullivan, P.E. (1983). *Quaternary Science Reviews*, 1(4), 245-313.
- Reimer, P.J., y 28 autores más. (2004). *Radiocarbon*, 46(3), 1029-1058.
- Rico, E., Chicote, A., González, M.E. y Montes, C. (1995). *Limnética*, 1 (11), 55-58.
- Rosell, J. (1994). *Mapa Geológico de España y Memoria. Escala 1:50.000, Hoja de Tremp (252)*. Instituto Tecnológico Geominero de España (IGME), Madrid.
- Zolitschka, B. (2007). En: *Encyclopedia of Quaternary Science*. (S.A. Elias, Eds.) Elsevier, Amsterdam, 3105-3114.