

Relación entre la evolución sedimentaria de la laguna de Gallocanta (Cordillera Ibérica, NE de España) y la historia de la vegetación de su cuenca durante el Cuaternario reciente

Relationship between the sedimentary evolution of Gallocanta Lake (Iberian Chain, NE Spain) and the history of the basin vegetation during the late Quaternary

A.C. ROC¹, M.F. SÁNCHEZ GOÑI², A. PÉREZ¹, S. ALFONSO²,
J.M. JOUANNEAU² Y J.A. SÁNCHEZ¹

ABSTRACT

The analysis of the facies in the sediments from Gallocanta Lake allows the identification of three stages of sedimentation. The lowest stage related with the late Pleistocene corresponds with distal alluvial areas, the second stage reflects a shallow carbonated lake probably developed from the beginning of the Holocene to the Middle Age and, the last one corresponds to a saline-carbonated lake formed in the last centuries. In the alluvial facies the pollen concentration is very low. The following stages are related with different types of pollen assemblages. The stage of a shallow carbonated lake is associated with the development of a deciduous and evergreen *Quercus* forest in the basin and represents the maximum water depth, 4 to 10 meters, of the Gallocanta Lake. This period The last stage of saline-carbonated lake, dated at 1900 AD, coincides with the maximum phase of *Olea* cultivation contemporaneous with the decrease of the lake level. The depth of the water was between 0 and 2 m. The drying out of the Gallocanta lake coincides with the lake level lowering of other lakes in the Ebro basin suggesting a regional driving-factor (climatic and/or anthropic) as the main responsible for the observed desiccation of the last century.

(1) Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza. España. Fax: 34-976.76.10.88. anperez@posta.unizar.es

(2) Dpt. de Géologie et Océanographie. UMR-CNRS 5805, Université Bordeaux 1. Avenue des Facultés, 33405 Talence. Francia. Fax: 33-(0)556.84.08.48. mfs@epoc.u-bordeaux.fr

Keywords: Carbonated-saline facies, pollen, Gallocanta Lake, Holocene, Ebro Basin, Spain.

RESUMEN

El análisis de las facies en los sedimentos de la laguna de Gallocanta permite la identificación de tres episodios de sedimentación. El episodio inferior, atribuido al final del Pleistoceno, corresponde con áreas aluviales distales; el segundo estadio refleja un lago carbonatado somero desarrollado probablemente entre el inicio del Holoceno y la Edad Media. El último estadio representa un lago salino carbonatado formado durante los últimos siglos. Estos episodios están relacionados con diferentes asociaciones polínicas. En las facies aluviales la concentración de polen es muy baja. El estadio de lago carbonatado somero está asociado con el desarrollo de un bosque de *Quercus* perennifolio y *Q.* caducifolio en la cuenca y representa el máximo de profundidad de la columna de agua, de 4 a 10 metros, de la Laguna de Gallocanta. Durante este episodio se detectan varios cambios en la vegetación debidos fundamentalmente a la actividad humana. El último estadio de lago salino carbonatado, con una datación de 1900 AD, coincide con la mayor expansión de los olivares y la disminución de la profundidad de la lámina de agua (0-2 m). Este periodo de desecación se detecta en otras lagunas de la cuenca del Ebro apuntando a la existencia de un fenómeno regional (climático y/o antrópico) como la causa principal de estos bajos niveles lacustres durante el último siglo.

Palabras clave: facies salino-carbonatadas, polen, laguna de Gallocanta, Holoceno, Cuenca del Ebro, España.

INTRODUCCIÓN

El estudio del origen y los mecanismos del cambio climático requiere el conocimiento de la variabilidad climática del pasado. El estudio de la evolución sedimentaria de la laguna de Gallocanta y de la historia de la vegetación de su cuenca permitirán abordar el impacto de los cambios climáticos holocenos detectados en secuencias marinas del Atlántico Norte (Bond *et al.*, 1997) sobre la cuenca de Gallocanta. Esta laguna, localizada en una cuenca endorreica, posee una gran extensión y esta sometida a variabilidades climáticas muy extremas convirtiéndola en un área inmejorable de estudio (Mason *et al.*, 1994) del alcance y la repercusión del cambio climático global en España. Este estudio también permitirá de tratar del impacto de la actividad humana sobre esta cuenca durante las épocas más recientes del registro sedimentario.

Los trabajos paleoambientales sobre este tipo de lagunas son más bien escasos en España, ya que tanto la potencia del sedimento como la presencia de hiatus no las hacen propicias para estudiar largos periodos de tiempo en continuidad. No obstante, en zonas donde otro tipo de lagos más favorables a registros sedimentarios continuos no existen, estas lagunas pueden registrar periodos de

tiempo cortos con una gran tasa de sedimentación y por lo tanto, documentarnos de manera detallada determinados periodos.

Un ejemplo reciente son los estudios multidisciplinarios de las Lagunas Salada de Mediana y de Chiprana, por Valero-Garcés *et al.* (2000 a, b y c), en los cuales a través de estudios sedimentológicos, hidrológicos y polínicos, detectan una serie de fluctuaciones del nivel de agua en respuesta a los cambios climáticos de los últimos 12.000 años BP.

Entre los estudios sedimentológicos de la Laguna de Gallocanta caben destacar, Villena (1969) y Calvo *et al.* (1978) que realizan trabajos detallados de la cartografía de los alrededores de la laguna. González *et al.* (1983) analizan la granulometría y la mineralogía de los sedimentos marginales de la laguna y Comín *et al.* (1990) caracterizan el quimismo de las aguas. Schütt (1998) realiza un estudio geoquímico a partir de las muestras recogidas en un sondeo de 90 cm obtenido en el sector NE de la laguna. Establece tres unidades estratigráfi-

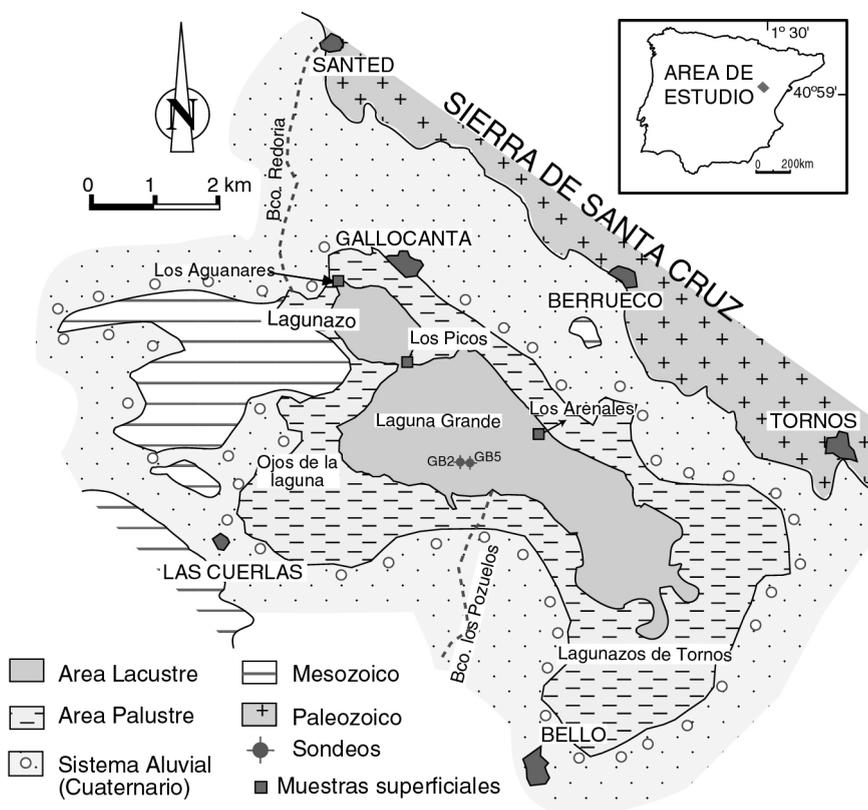


FIG. 1.- Situación de la Laguna de Gallocanta y localización de sondeos.

FIG. 1.- Situation of the Gallocanta lake and location of the cores.

cas superpuestas, caracterizadas por diferentes asociaciones mineralógicas y características geoquímicas que interpreta como el resultado de cambios climáticos. La base reflejaría condiciones subáridas, la parte central condiciones subhúmedas y la unidad más reciente indicaría de nuevo condiciones subáridas. Por último, Pérez y Roc (1999) realizan un mapa de facies sedimentarias de la laguna y Pérez *et al.* (2002) establecen por primera vez las relaciones laterales y verticales de las facies de la laguna según una transversal N-S.

Rodó *et al.* (1997), por su parte, establecen para los últimos cien años una correlación de los cambios de los niveles del agua de la laguna y, por lo tanto, de las precipitaciones de la cuenca de Gallocanta con las fluctuaciones de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO).

Los primeros estudios palinológicos realizados en la laguna de Gallocanta son debidos a Davis (1994) que analiza los últimos veinte centímetros de la secuencia, infiriendo con la curva de los porcentajes de *Olea*, una edad de 1500 AD o 450 BP a los 14-15 cm. Burjachs *et al.* (1996), realizaron un estudio palinológico de la secuencia completa y dataciones de ^{14}C sobre granos de polen. A la base de la secuencia (93-95 cm) de la laguna de Gallocanta le correspondería una edad de 12.230 BP. La mitad de dicha secuencia arroja una fecha de 840 BP (58-60 cm). Para la parte superior de la misma, obtienen dos dataciones una ^{210}Pb de 1842 AD (45 cm) y otra ^{137}Cs de 1963 AD (10 cm). Estos autores detectan una sucesión de fases climáticas y, en particular, el Periodo Cálido Medieval y la Pequeña Edad del Hielo. No obstante, en ningún momento discuten la posibilidad de que los cambios observados en el diagrama polínico sean debidos a la actividad humana sobre la vegetación de la cuenca de Gallocanta.

La falta de correlación observada entre las edades y las profundidades de la secuencia de Gallocanta puede ser debida a un envejecimiento de la datación de la base a causa de la actividad bacteriana o a cambios significativos en la tasa de sedimentación. Esto nos ha llevado a realizar nuevas dataciones utilizando el método de los radionucléidos ^{210}Pb y ^{137}Cs . Además, se ha efectuado un análisis sedimentológico detallado de esta secuencia que se ha completado con un análisis palinológico. Estos resultados, comparados con los obtenidos en otros lagos salinos de la Cuenca del Ebro, nos han permitido abordar las hipótesis climáticas y antrópicas propuestas con anterioridad.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA, CLIMA Y VEGETACIÓN

La laguna de Gallocanta se encuentra en el sector central de la Cordillera Ibérica, concretamente en el contacto entre la Rama Aragonesa y la Rama Castellana de dicho sistema. Es un lago salino somero, cuyas aguas son sodico-cloruro-magnésicas. La lámina de agua puede variar desde 2 m hasta estar totalmente seca. La laguna se dispone en una extensa planicie de 1000 metros de altitud media, localizada en el límite sur-occidental de la comunidad autónoma de Aragón, entre las provincias de Zaragoza y Teruel ($40^{\circ}58'30''\text{N}$ y $1^{\circ}30'10''\text{W}$). Es una de las mayores lagunas endorreicas existentes en la penín-

sula Ibérica, presentando una superficie de unos 14.14 km². Se emplaza sobre depósitos carbonatados y evaporíticos del Triásico y presenta una dirección NW-SE marcada por los rasgos estructurales de la región.

El clima de la zona es de tipo mediterráneo continentalizado. La temperatura media varía desde 1-2°C en el mes más frío, hasta los 18-19 °C en los meses más calurosos pudiéndose alcanzar valores extremos entre -15 °C y 42°C. Las precipitaciones medias anuales oscilan entre los 400 y los 600 mm, existiendo dos periodos de lluvias (otoño y primavera) y dos estaciones secas (verano e invierno). Es frecuente que soplen vientos procedentes principalmente del NW, alcanzando velocidades de 100 km/h.

La vegetación de la zona está caracterizada por presentar en las áreas montañosas *Quercus rotundifolia* (encina), y de forma más dispersa, *Quercus caducifolia* (*Q. faginea* y *Q. pyrenaica*) junto con áreas de repoblación de *Pinus pinaster*. La planicie está ocupada por extensos cultivos de secano, y en los alrededores de la laguna se desarrollan unas bandas de vegetación acuática caracterizadas principalmente, desde el interior de la laguna hacia afuera, por *Scirpus maritimus* (Cyperaceae), *Salicornia ramosissima* (Chenopodiaceae), *Puccinellia fasciculata*, *Puccinellia pungens*, *Juncus maritimus* (Juncaceae), *Elymus pungens*. En las aguas de la laguna la vegetación sumergida está formada exclusivamente por las carofíceas *Lamprothamnium papulosum* y *Chara galioides*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Dos campañas para la extracción de sondeos se realizaron en Marzo del 2000 y en Febrero del 2001 cuando la laguna estaba prácticamente seca y cubierta por una capa de sales. Los sondeos GB-2 y GB-5 fueron extraídos en el sector denominado Laguna Grande (Fig.1). Los sondeos se introdujeron golpeando manualmente un tubo de PVC, y fueron extraídos por medio de poleas. Una vez en el laboratorio se abrieron por la mitad y se procedió a su fotografiado y descripción litológica detallada. Además fueron recogidas tres muestras polínicas superficiales en diferentes puntos de la laguna de Gallocanta en Septiembre del 2000.

En la mitad del sondeo GB-2 se hizo un muestreo cada dos centímetros para la realización de los análisis polínicos y la otra mitad de dicho sondeo fue muestreada cada centímetro para realizar los estudios sedimentológicos. El sondeo GB-5 se muestreó cada centímetro en los 33 cm superiores para realizar las dataciones radiométricas ²¹⁰Pb y ¹³⁷Cs (Fig.2).

ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICOS

Para realizar las calcimetrías se utilizó un manocalcómetro GEOSERVICES. Su estudio permite conocer el contenido total en carbonatos y discernir el porcentaje correspondiente a caliza y dolomía. Además se realizó un análisis granulométrico para delimitar la fracción de grava, arena y lutita. Finalmente se

realizaron levigados para conocer el contenido en restos orgánicos tanto de flora como de fauna. También se dispone de estudios mineralógicos por DRX y análisis de imágenes SEM. El contenido en materia orgánica total (TOC) ha sido analizado en un PERTINERKIL-ELMER 24 microanalyser.

ANÁLISIS PALINOLÓGICOS

El análisis palinológico se realizó sobre el sondeo GB-2. Las litologías de los testigos GB2 y GB5 son idénticas, por lo que se puede establecer una buena correlación entre las dataciones y los registros sedimentológicos y polínicos.

Profundidad (cm)	Edad	Edad AD	Actividad Pb 210(Bq/Kg)	log (A)	Error (+/-)
0	0	2000			
2,5	20,83333333	1979,16667	144,8	4,975	11
3,5	29,1666667	1970,83333	87,2	4,468	11
4,5	37,5	1962,5	58,9	4,076	10
5,5	45,83333333	1954,16667	38,9	3,661	10
6,5	54,1666667	1945,83333	36,5	3,597	12
7,5	62,5	1937,5	31,2	3,440	11
8,5	70,83333333	1929,16667	47,9	3,869	13
9,5	79,1666667	1920,83333	17	2,833	7
10,5	87,5	1912,5	9	2,197	9
11,5	95,83333333	1904,16667	22	3,091	8
12,5	104,166667	1895,83333	11	2,398	6
14,5	120,833333	1879,16667	10	2,303	7
19,5	162,5	1837,5	0	0,000	0

Tasa de sedimentación= 0.12 cm/año

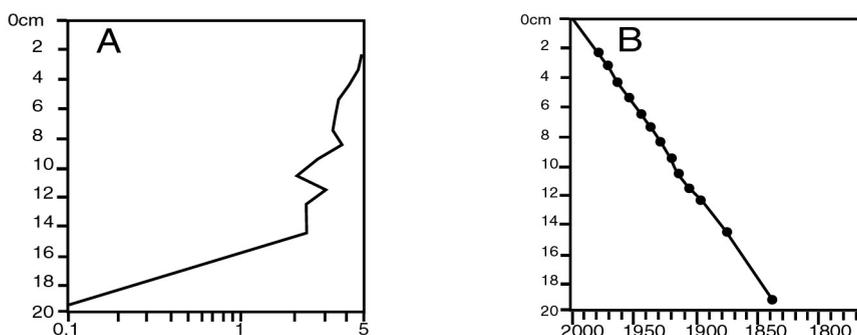


FIG. 2.- Tabla de dataciones del sondeo GB2 y gráficos. A: Actividad total del ^{210}Pb en los 19,5 cm más superficiales. B: Cronología del sondeo de la laguna de Gallocanta basada en la actividad de ^{210}Pb : modelo de sedimentación constante.

FIG. 2.- Chronology table of the GB2 core and graphics. A: Total ^{210}Pb activity in the upper 19,5 cm. B: Chronology for Gallocanta core based on a ^{210}Pb activity: constant sedimentation model.

Se analizaron tres muestras superficiales de tapiz microbiano de la laguna para conocer la representación polínica de la vegetación que coloniza actualmente la cuenca de Gallocanta. Esto nos ha permitido una mejor interpretación de los datos polínicos fósiles. La técnica de preparación de las muestras polínicas empleada es la descrita por Vernal *et al.* (1996). Al principio del tratamiento se añadieron en cada muestra dos pastillas de *Lycopodium* de concentración conocida para calcular las concentraciones polínicas. Después del tratamiento químico (HCl en frío, 10, 25 y 50 %, HF frío 45 y 70%), las muestras fueron filtradas a través de un tamiz de 10 micras. El residuo final fue montado con glicerina bidestilada en un porta-objetos para permitir la movilidad del polen, y facilitar así su identificación. La lectura de las preparaciones se realizó utilizando un microscopio óptico (Photomicroscope Zeiss), con un aumento de x400 y la identificación de los granos de polen y esporas a x1000, con un objetivo de aceite de inmersión.

En los niveles inferiores (137-79 cm), debido a que *Pinus* es el taxón dominante, se ha contado un mínimo de 100 pólenes diferentes a él. La concentración esporopolínica es baja (1.780 granos/cm³) con una media de 15 taxones por muestra. En las muestras superiores (41-0 cm) se han contado un mínimo de 350 granos de polen, excluyendo esporas y plantas acuáticas, junto con un mínimo de 20 taxones, ya que estas muestras presentan una mayor riqueza esporopolínica (31.880 granos/cm³).

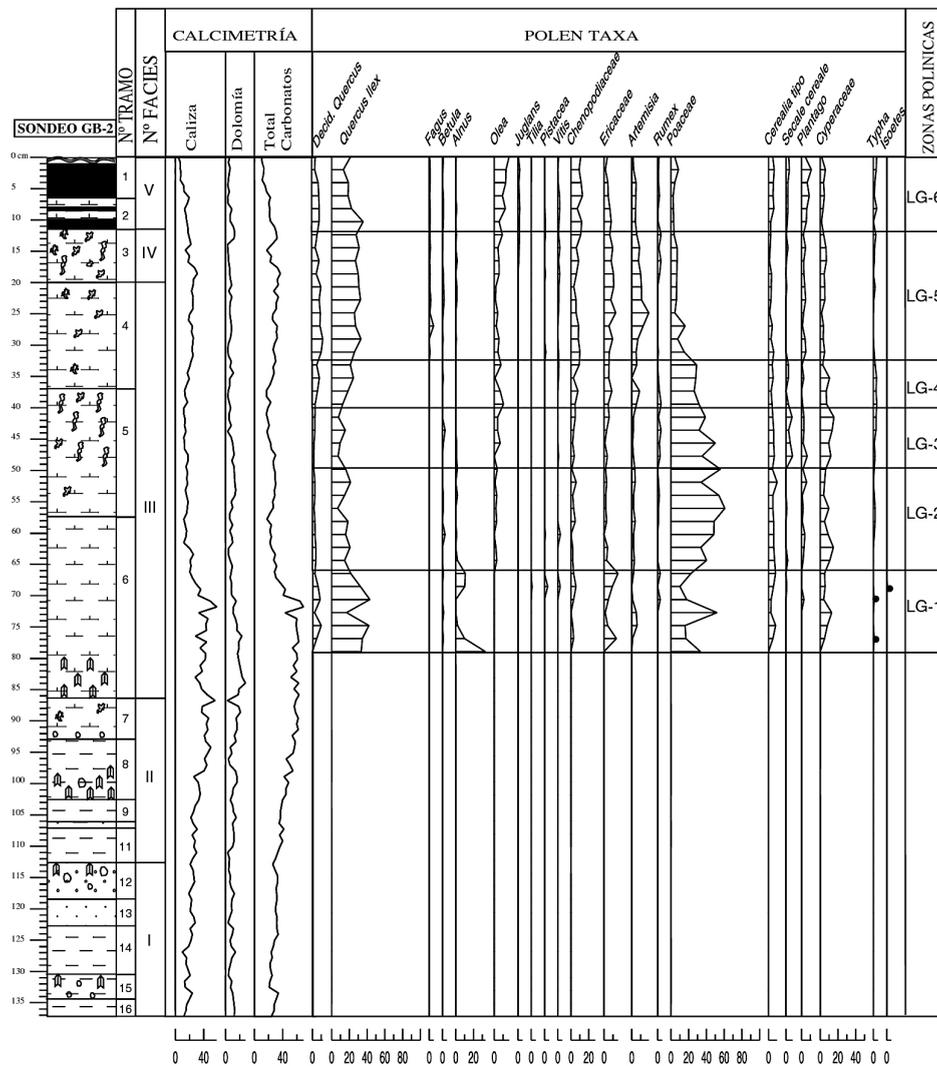
Los porcentajes de polen han sido calculados con respecto a la suma de base excluyendo *Pinus* (nº total de granos de polen-*Pinus*). Los porcentajes de las esporas, indeterminables e indeterminados se han obtenido con respecto a la suma total (nº total de granos de polen+esporas+Indeterminados+Indeterminables).

RESULTADOS

EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA

El sondeo realizado presenta una profundidad de 166 cm, que con un índice de compactación de 18.6 % nos ha permitido recuperar 137 cm de sedimento. En él se han distinguido un total de 16 tramos litológicos (Fig. 3). Los ocho tramos basales están constituidos por lutitas de color anaranjado y marrón amarillento y escasas intercalaciones de arenas entre las que se identifican clastos de cuarcita de hasta 1 cm de diámetro. El tramo siguiente está integrado por lutitas grises con abundantes decoloraciones de tonos ocre. Sobre ellos se reconoce una sucesión de margas grises masivas, con abundantes caráceas y escasos ostrácodos (tramos 4 a 7) que hacia la mitad presenta restos de bioturbaciones por raíces. Hacia techo, el tramo 3 está constituido por margas grises con abundantes decoloraciones y la sucesión finaliza con un intervalo de barros negros laminados en bandas oscuras y claras, estando éstas últimas integradas por niveles de acumulaciones de sales.

En esta sucesión litológica se pueden reconocer las facies definidas por Pérez *et al.* (2002) para el conjunto de la laguna. Así, los tramos basales lutíti-



LEYENDA

- Barros negros
- Arenas grano medio
- Bioturbación de hábito vertical
- Lutitas margosas y margas grises
- Arenas grano fino
- Cristales de yeso
- Lutitas ocreas
- Cantos dispersos
- Tapiz estromatolítico

Fig. 3.- Sucesión litológica, facies sedimentarias, contenido expresado en tanto por ciento de calcita, dolomita, total carbonatos y diagrama polínico resultante del sondeo GB-2. Facies I y II: depósito aluvial distal; Facies III: sedimentos lacustres carbonatados someros; Facies IV: sedimentos de un lago carbonatado-salino; Facies V: sedimentos de un lago salino-carbonatado.

Fig. 3.- Litology succession, sedimentary facies, content expressed in percentage of calcite, dolomite, total carbonates and pollen diagram from the core GB-2. Facies I and II: distal alluvial deposit; Facies III: shallow-carbonated lacustrine sediments; Facies IV: sediments of a carbonate-saline lake; Facies V: sediments of a saline-carbonated lake.

cos y arenosos (Fig. 4A) integran la facies I de estos autores, mientras que las margas con decoloraciones amarillas corresponden a la facies II. La composición de estas facies consiste en lutitas con baja proporción de carbonatos, siendo los minerales dominantes cuarzo y minerales de las arcillas, en concreto illita, interestratificados de clorita-caolinita e indicios de esmectita. Existen además escasas proporciones de calcita y dolomita. Ambas facies son interpretadas como depósitos aluviales distales procedentes de los relieves circundantes del lago y sometidos a condiciones subaéreas, correspondiendo estos ambientes a llanuras de barros a las que ocasionalmente llegan flujos que depositan láminas de arenas. En función de la distribución granulométrica de estas arenas se puede interpretar que los procesos acuosos son flujos tractivos o transporte en suspensión. La facies II concretamente representa el desarrollo de suelos hidromorfos.

El conjunto de margas grises (Fig. 4B) integra la facies III, la cual en este sondeo presenta proporciones en carbonatos entre el 40 y 50%, los resultados de los análisis de difracción de RX reflejan el predominio de calcita y dolomita como minerales principales y además indicios de magnesita, también presencia de halita e indicios de cuarzo. Los resultados de los levigados indican abundancia de restos de caráceas y escasos ostrácodos. En el tramo 5 del sondeo se reconoce la existencia de restos atribuidos a bioturbación por raíces. Estos sedimentos son propiamente lacustres, depositados por decantación bajo una lámina de agua perenne-semiperenne. Se trata de un episodio de lago carbonatado somero con elevada iluminación y oxigenación, con unas profundidades estimadas para este tipo de lagos de entre 2 y 4 metros. El desarrollo de bioturbación por raíces es correlativo con niveles de alta concentración de yesos en sondeos de las áreas marginales. Este hecho pone de manifiesto que el lago ha sufrido, a lo largo del desarrollo de la facies III, variaciones del nivel de la lámina de agua que ha podido llegar a desecación total.

Las margas grises con decoloraciones negras integran la facies IV, mientras que los barros negros laminados (Fig. 4C) corresponden a la facies V de Pérez *et al.* (2002). La facies IV en este sondeo presenta una proporción de alrededor de un 20% de carbonatos y está constituida predominantemente por minerales de las arcillas (illita casi exclusivamente e interestratificados clorita-caolinita), además de cuarzo, calcita, dolomita, halita e indicios de aragonito. El contenido en TOC es de un 4%. La facies V está constituida por barros negros masivos o con laminación dada por alternancias de láminas de color claro y oscuro. Las láminas negras están constituidas por minerales de la arcilla, halita, cuarzo, calcita, aragonito, dolomita e indicios de magnesita. Los estudios de SEM revelan además el desarrollo generalizado de tapices de algas y cianobacterias (Fig. 4D) y láminas constituidas por acumulaciones de diatomeas (Fig. 4E y 4F). El contenido en TOC es de un 6%. Las láminas claras están constituidas predominantemente por yeso y halita, además de escasas proporciones de cuarzo, calcita, dolomita y magnesita. Estas facies representan el desarrollo de un lago carbonatado-salino con fases de alta producción de materia orgánica que alternan con periodos en los que la superficie lacustre se encuentra completamente expues-

ta, desarrollándose una costra formada por eflorescencias salinas con yeso, halita, hexahedrita y blohedita.

Las laminaciones de bandas claras y oscuras en depósitos lacustres se asocian frecuentemente con la existencia de aguas estratificadas y el desarrollo de un hipolimnion característico de lagos profundos, aunque Freytet (1984) y Vasconcelos y McKencie (1997), entre otros, identifican facies de este tipo en depósitos generados en lagos someros.

En este sentido se ha observado que los barros negros de la laguna de Gallocanta se están generando sin apenas lámina de agua libre (con una profundidad máxima de 30 centímetros en los periodos húmedos) y que en condiciones extremadamente secas en la superficie lacustre, se desarrolla una costra formada por eflorescencias salinas con yeso, halita, hexahedrita y blohedita. El principal aporte de aguas procede actualmente de flujos subterráneos (altamente mineralizados) y el nivel freático permanece a unos centímetros de la superficie. En épocas de tormenta pueden llegar flujos superficiales que introducen partículas detríticas y diluyen ligeramente las aguas.

En épocas extremadamente secas, el nivel freático desciende quedando la superficie del sedimento emergida durante largos periodos de tiempo. La intensa evaporación existente provoca un ascenso capilar de flujos subterráneos que aportan aguas altamente mineralizadas dando lugar a la precipitación de las sales identificadas. Además, en contacto con el aire los depósitos superficiales y la materia orgánica se oxidan, el sedimento adquiere tonalidades grises o marrones y se enriquece en partículas carbonatadas o evaporíticas. En esta fase seca los organismos bioturban el sedimento y generan las decoloraciones propias de las facies IV.

Las láminas negras de las facies V de la laguna de Gallocanta se corresponden con las condiciones más húmedas existentes actualmente en la misma (con una lámina de agua anóxica de escasa profundidad), mientras que la lámina clara responde a épocas secas, en las que existe una fuerte insolación sobre la superficie del lago, el nivel freático desciende y se produce un ascenso capilar de las salmueras.

HISTORIA DE LA VEGETACIÓN DE LA CUENCA DE GALLOCANTA

Lluvia polínica actual en la laguna de Gallocanta

El análisis de las tres muestras superficiales de la laguna de Gallocanta, recogidas en Septiembre del 2000, indica que el porcentaje de polen de *Pinus* (20-60%) domina en las tres muestras. En la vegetación de la cuenca de Gallocanta, sin embargo, las zonas colonizadas por *Pinus* son escasas. Esta contradicción puede ser explicada por el hecho de que *Pinus* es un buen productor y dispersor polínico y porque los pinares se encuentran en la dirección del viento dominante. Por esta razón, se ha considerado que *Pinus* está probablemente también super-representado en los conjuntos polínicos fósiles y, por lo tanto, los porcentajes en el diagrama polínico se han calculado sobre la suma de base en la que se ha excluido el polen de este árbol.

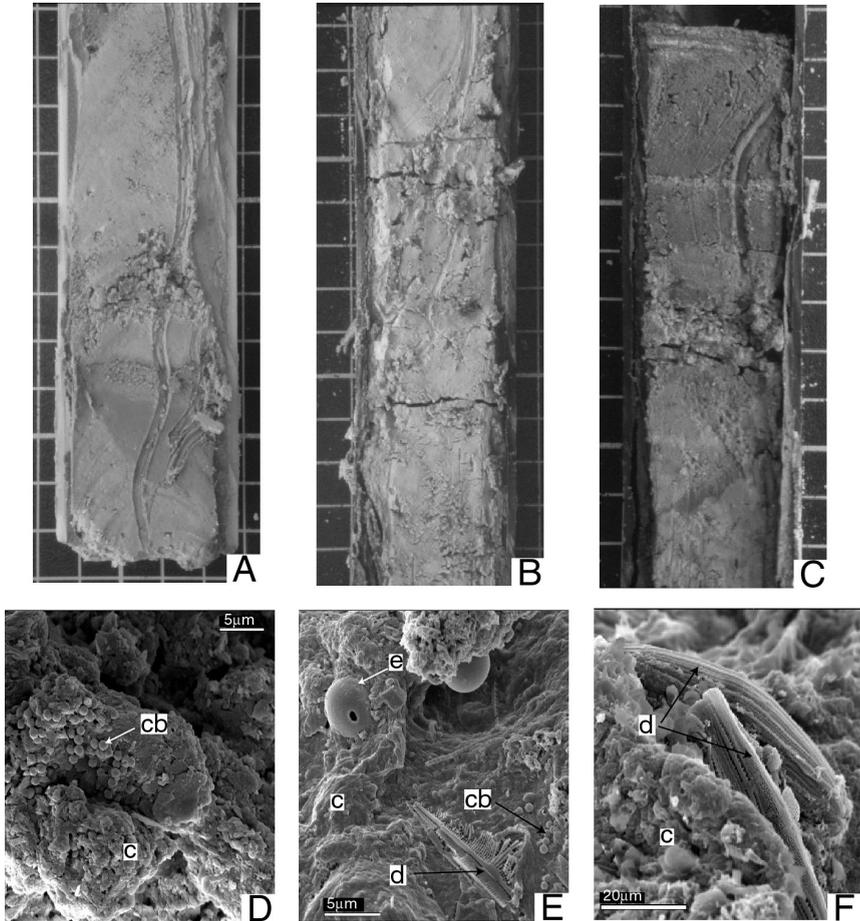


FIG. 4.- Aspecto general de las facies sedimentarias e imágenes SEM: A: Facies lutíticas de depósitos aluviales; B: Facies margosas de lago carbonatado somero; C: Facies laminadas del lago salino carbonatado; D, E y F imágenes SEM de las facies laminadas (D: Sedimento carbonatado (c) y restos de cianobacterias (cb); E y F: Sedimento carbonatado (c), restos de diatomeas (d), esporas (e) y cianobacterias (cb)).

FIG. 4.- General aspect of the sedimentary facies and SEM images: A: Lutitic facies of alluvial deposits; B: Marly facies of a shallow carbonated lake; C: Laminated facies of the carbonated saline lake; D, E and F images SEM of laminated facies (D: Carbonated sediment (c) and rest of cianobacteria (cb); D and F: carbonated sediment (c), rest of diatomites (d), espores (e) and cianobacteria (cb)).

Las muestras polínicas superficiales están compuestas principalmente por *Pinus*, *Quercus* perennifolio (encina), *Chenopodiaceae* y *Poaceae* (gramíneas), y como plantas acuáticas por *Cyperaceae* y *Typha*. Estas muestras traducen de manera bastante fiable la composición y dominancia de las diferentes plantas en la vegetación que rodea la laguna (cf. Sección 2 Situación geográfica, clima y

vegetación). Sin embargo, los porcentajes de los diferentes taxones varían según el lugar donde fue recogida la muestra. La muestra de los Aguanares, localizada en el sector más Noroccidental de la laguna, presenta principalmente *Pinus* (20,6%), Poaceae (20%), Chenopodiaceae (10%), *Quercus* perennifolio (6%) y *Cerealia* tipo (5%), mientras que entre las plantas acuáticas aparecen *Pediastrum* (11%), *Typha* (9%) y Cyperaceae (4%). Esta muestra está caracterizada por un porcentaje de acuáticas relativamente elevado. Ello es debido a que en esta zona se encuentra la única entrada de agua permanente a la laguna. La muestra de los Picos (Fig. 1) en cambio presenta *Pinus* (58,8%), *Quercus* perennifolio (15%), *Quercus* caducifolio (rebollo) (6%), Poaceae (5%), *Olea* (4%) y Chenopodiaceae (4%), y como acuáticas aparecen los valores más bajos de Cyperaceae (0,4%) y de *Typha* (0,53%).

Finalmente, la muestra recogida en la Laguna Grande (Fig. 1) está compuesta principalmente por *Pinus* (40%), Chenopodiaceae (24%), *Quercus* perennifolio, (7%), y Poaceae (6%). Las plantas acuáticas están representadas por Cyperaceae (4%) y *Typha* (2%)

Evolución de la vegetación: cambios climáticos y/o antrópicos

En el diagrama de porcentajes se han identificado seis zonas polínicas. La base de la secuencia ha sido considerada estéril desde el punto de vista polínico aunque se han distinguido tres intervalos con concentraciones esporopolínicas diferentes. La causa por la que estos sedimentos correspondientes a sedimentos aluviales (Pérez *et al.* 2002) son pobres en polen es debida probablemente a que son sedimentos normalmente expuestos a condiciones subaéreas que oxidan el polen. En estas facies aluviales se ha identificado un tramo comprendido entre los 125 y 111 cm que presenta una concentración esporopolínica ligeramente más elevada que los tramos inmediatamente por debajo y por encima. La existencia de una lámina de agua contemporánea a la formación de ese tramo y, por lo tanto de condiciones reductoras, permitieron la conservación del polen depositado.

Desde la primera zona polínica LG-1 (76-65 cm) y hasta la parte superior de la secuencia, los valores de la concentración polínica son suficientes para interpretar los conjuntos polínicos en términos de vegetación. En la zona LG-1, el porcentaje de *Quercus* perennifolio (35%) traduce, según los estudios de lluvia polínica actual (e.g. Huntley & Birks, 1983) un bosque cercano a la laguna de Gallocanta. Las zonas más lejanas y de mayor humedad estarían ocupadas por *Quercus* caducifolio, *Tilia* (tilo), *Alnus* (aliso), *Corylus* (avellano) y *Betula* (abedul). La laguna tendría bastante profundidad de lámina de agua, ya que la presencia de *Isoetes* nos indica (Harrison & Digerfeldt, 1993) una profundidad de 4 a 10 metros. El estrato herbáceo estaba ocupado por Ericaceae (brezos), Chenopodiaceae, *Plantago*, *Artemisia* y Poaceae. En la siguiente zona, LG-2 (65-49 cm), se observa una disminución de los porcentajes arbóreos (20%) y un aumento de los valores de Poaceae (48%). Esto indica una disminución de la cubierta arbórea dando paso a un desarrollo de zonas de vegetación abierta. Aparece *Olea* (olivo) por primera vez en el diagrama aunque sus porcentajes

son bajos. La siguiente zona LG-3 (49-39 cm) se caracteriza, con respecto a la zona precedente, por el desarrollo de *Olea* y del cultivo de cereales, sobretudo de *Secale cereale* (centeno). La zona LG-4 (39-33 cm) refleja el aumento del bosque de *Quercus perennifolia* concomitante con la disminución de *Secale cereale*. En la zona LG-5 (33-12 cm) los porcentajes de *Quercus perennifolia* y de *Q. caducifolia* aumentan respectivamente hasta 40 y 10% al mismo tiempo que disminuyen los valores de *Olea* y de *Secale cereale*, indicándonos una disminución en la actividad agrícola. Aparece por primera vez polen de *Juglans*. Esta zona sugiere además que el nivel del lago ha disminuido ya que se observa en el diagrama una reducción de las plantas acuáticas y, en particular, la desaparición virtual de *Typha* y la disminución de Cyperaceae. Por último, la zona LG-6 (12-0 cm) detecta un nuevo desarrollo del cultivo de *Olea* y de cereales en la cuenca de Gallocanta coincidiendo con el último siglo.

La presencia de Cereales desde la base de la secuencia indica que los cambios de vegetación deducidos a través del diagrama polínico de Gallocanta pueden ser debidos no sólo a factores climáticos sino también al impacto antrópico. La zona LG-2 traduce una disminución de la masa forestal concomitante con el aumento del cultivo de *Olea*. Si la disminución del encinar podría indicar un enfriamiento durante este periodo, el aumento de los olivares contradicen esta interpretación ya que es bien sabido que el buen desarrollo de *Olea* necesita temperaturas relativamente elevadas.

La zona LG-3 presenta una disminución de la masa arbórea coincidiendo con un aumento del cultivo de cereales y *Olea*, indicándonos que el factor principal del cambio en la vegetación es antrópico. En cambio, en las zonas sucesivas LG-4 y LG-5 aumenta la masa arbórea (el bosque de *Quercus perennifolia*) y disminuye al mismo tiempo el cultivo de cereales y de *Olea*. Esta zona sugiere una disminución de la actividad agrícola en la cuenca de Gallocanta y el bosque de encina comienza a recuperar sus límites de la época precedente.

Por último, en la zona LG-6, que coincide con el último siglo, el factor antrópico parece ser el principal en el cambio de la vegetación, ya que el diagrama polínico sugiere un aumento de la actividad agrícola, en especial del cultivo del cereal y de *Olea*, asociado a la disminución de los encinares.

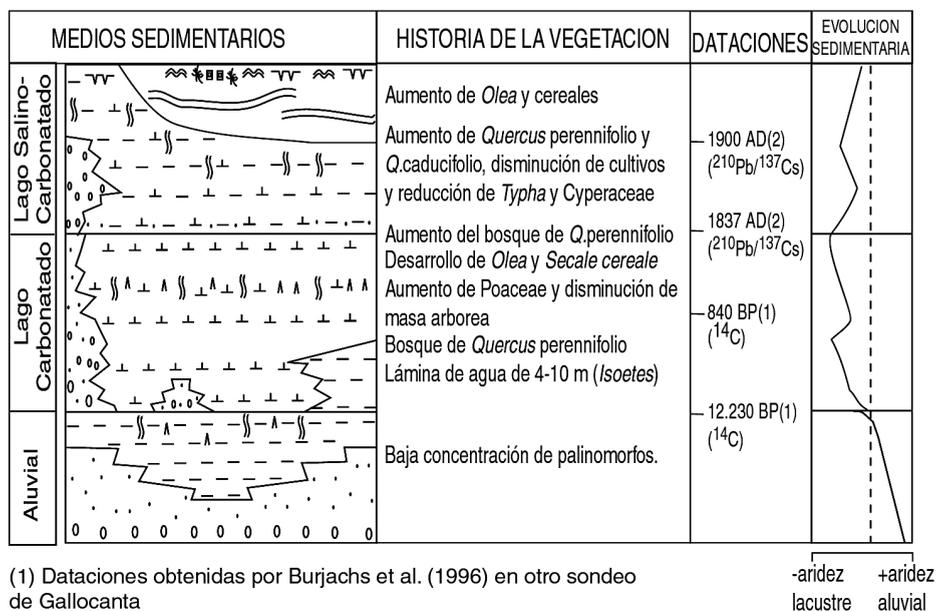
DISCUSIÓN

EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA Y CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN EN LA CUENCA DE GALLOCANTA

Desde el punto de vista sedimentológico la evolución vertical del relleno sedimentario de la Laguna de Gallocanta está caracterizada por el desarrollo de cinco facies que se corresponden con tres episodios distintos de la evolución de la laguna (Fig. 3 y 5) Las facies I y II se corresponden con depósitos aluviales. La concentración esporopolínica es baja aunque en el tramo intermedio esta concentración aumenta ligeramente. Este hecho, junto con la aparición de are-

nas con matriz margosa, indicaría un mayor aporte de agua a la laguna durante este episodio de edad no determinada todavía.

La facies III traduce un lago carbonatado somero con una lámina de agua semi-perenne o perenne. La evolución de dicho lago está asociada a varios cambios en la vegetación, la mayoría de ellos relacionados con la acción antrópica. La formación del lago carbonatado, que presenta la máxima profundidad de lámina de agua (4-10 m) a lo largo de toda su evolución coincide con el desarrollo de un encinar. Este desarrollo se ve truncado por la acción antrópica, pasando a tener la cuenca una vegetación abierta en la que dominan los cultivos y *Olea*. Hay un momento, anterior a 1900 AD, en el que el factor antrópico es menor, disminuyen los cultivos, y el bosque comienza a expandirse. Este periodo puede ser correlacionado con la crisis agraria del siglo XVIII atestiguada históricamente. Aunque el bosque sigue aumentando al final de esta facies, las condiciones parecen ser más áridas dando paso a un lago salino carbonatado (facies IV). El último cambio en la vegetación corresponde a un aumento de la



(1) Dataciones obtenidas por Burjachs et al. (1996) en otro sondeo de Gallocanta

(2) Dataciones realizadas en este trabajo

LEYENDA

- | | | |
|--------------------|-----------------------|------------------------------|
| Gravas y areniscas | Raíces | Cristales de halita |
| Margas | Grietas de desecación | Cristales de yeso |
| Lutitas | Estromatolitos | Filamentos de cianobacterias |

Fig. 5.- Relación entre la evolución sedimentaria y los cambios en la vegetación.

FIG. 5.- Relation-ship between the sedimentary evolution and the changes in the vegetation.

actividad agrícola en detrimento del encinar y es contemporáneo de la facies V que nos indica un régimen estacional de la laguna.

La comparación de nuestros resultados con los publicados por diferentes autores que han trabajado en Gallocanta esta resumida en la figura 6. Esta comparación resulta difícil debido a que los diferentes autores han trabajado sobre secuencias provenientes de diferentes zonas de la laguna y a que en ciertos trabajos no aparece una descripción detallada de la litología. Además, la mayoría de estos estudios carecen de buenas series cronológicas. En consecuencia, las conclusiones entre los diferentes autores son en la mayoría de los casos contradictorias.

La parte inferior de nuestra secuencia y la parte inferior de la secuencia de Schütt (1998) han sido interpretadas como depósitos generados en un medio sedimentario propio de abanicos aluviales distales probablemente de edad Pleistocena y procedentes de la Sierra de Santacruz situada al Norte de la laguna.

La parte superior de la secuencia (95-0 cm) estudiada por Schütt (1998), formada por lutitas de color gris claro que pasan a color negro en la parte más superficial, es homogénea y no laminada. La unidad basal de este tramo superior se habría depositado según esta autora en condiciones climáticas subáridas con un balance de agua anual muy negativo típico de una laguna efímera con un ambiente que varía de salino a hipersalino. Por el contrario, el mismo intervalo de profundidades en nuestra secuencia corresponde, según los datos sedimentológicos y polínicos, con una etapa más húmeda que el episodio anterior caracterizado por abanicos aluviales. Las diferentes conclusiones entre nuestro trabajo y el de Schütt (1998) son probablemente debidas a que esta autora solamente estudia un sondeo muy marginal que puede estar altamente influenciado por los efectos de aportes sedimentarios locales procedentes del margen Norte, mientras que nuestro trabajo tiene en cuenta la evolución sedimentaria de la totalidad de la laguna, tanto de facies sedimentarias marginales como centrales, gracias a la información procedente de la correlación de sondeos según una transversal Norte-Sur (Pérez *et al.*, 2002).

Schütt correlaciona la unidad sedimentaria sucesiva de su secuencia (56-23 cm), que se habría formado bajo condiciones subhúmedas, con la "Zone Gal-2" de Davis (1994) definida entre 15 y 9 cm. Este autor atribuye esta zona a un depósito generado durante una disminución del nivel de la laguna y contemporáneo de la Pequeña Edad del Hielo. Sin embargo, Burjachs *et al.* (1996) atribuyen los 45 cm superiores de su secuencia a un momento posterior a la Pequeña Edad del Hielo. A falta de nuevas dataciones, Schütt (1998) atribuye su unidad intermedia a un periodo post-Medieval. El tramo fechado por Burjachs *et al.* (1996) anterior a 1110 AD (75-60 cm) sería contemporáneo según estos autores con un máximo del nivel de la laguna, coincidiendo con el Periodo Cálido Medieval. A la misma profundidad nuestro estudio también detecta un máximo del nivel de la laguna. Por el contrario, el intervalo sucesivo entre 60 y 45 cm, atribuido por Burjachs *et al.* (1996) a la Pequeña Edad del Hielo coincide en nuestra secuencia con una disminución de la cubierta arbórea y el inicio del cultivo de *Olea*. Al contrario de lo que sugieren estos autores, es difícil pensar que el inicio de los olivares corresponda a un periodo de enfriamiento.

Finalmente, el último depósito de nuestra secuencia (20-0 cm) se ha interpretado como la sedimentación generada en un lago salino-carbonatado. Esta interpretación coincide con la propuesta por Schütt (1998) para la parte más superficial de su secuencia (23-0 cm) sobre la base de la identificación de sedimentos típicos de una fase en la que Gallocanta funcionaba como laguna efímera. Por el contrario, Burjachs *et al.* (1996) interpretan los 45 cm superiores de su secuencia como depósitos formados durante una mejoría climático-pluviométrica con presencia de agua durante la mayor parte del año. No obstante, estos autores presentan en su artículo dos conclusiones contradictorias. Por una parte, detectan para los 45 cm superiores de su secuencia una disminución en las plantas acuáticas y, por lo tanto, un descenso de la pluviometría y, por otra parte, sugieren, sobre la base de la buena preservación del material esporopolínico que este intervalo superior se ha formado en un medio lagunar con agua durante la mayor parte del año implicando un aumento de las precipitaciones con respecto al periodo precedente. La disminución de los taxones acuáticos en este intervalo no apoya, sin embargo las conclusiones de estos autores. Desde el punto de vista estrictamente botánico, es interesante señalar que los diagramas de Davis (1994) y Burjachs *et al.* (1996) detectan la presencia de hasta un 15% de *Juniperus* (enebro) mientras que nuestro análisis no registra polen de *Juniperus* ni en las muestras actuales ni en las fósiles. Actualmente, *Juniperus communis* existe de forma muy dispersa en las áreas montañosas de la cuenca de Gallocanta (Gómez *et al.*, 1983). El polen de esta especie está además subrepresentado en la lluvia polínica. Por lo tanto, es lógico que no esté presente en las muestras polínicas actuales. Sería lógico también pensar que, dada la ausencia de *Juniperus* en nuestras muestras del Holoceno, esta planta sería muy escasa al final del Holoceno en la cuenca de Gallocanta contrariamente a lo que reflejan los diagramas de los autores antes mencionados.

EVOLUCIÓN DE LA CUENCA DE GALLOCANTA CON RESPECTO A OTRAS CUENCAS VECINAS

Estudios realizados en la Laguna Salada de Mediana situada en la Cuenca del Ebro y a unos 80 km al NE de la Cuenca de Gallocanta, realizados por Valero *et al.* (2000 a y b), detectan tres episodios sedimentarios a los que van asociados cuatro cambios en los conjuntos polínicos. El primer episodio sedimentario, atribuido al Pleistoceno superior, comienza con un máximo de agua en la laguna, definida en este momento como un lago salino sulfato-carbonatado. Sus dataciones AMS presentan inversión de edades (a los 148 cm, una edad de 11.250 BP y a 135 cm 17.300 BP). El segundo episodio sedimentario, también es atribuido al Pleistoceno superior basándose en las siguientes dataciones AMS: a 91 cm 10.350 BP; a 51 cm 10.850 BP y a 28 cm 12.400 BP. Este episodio se correspondería con un complejo de playa-lake con fluctuaciones de la lámina de agua. Esta época está asociada a una vegetación dominada por Chenopodiaceae. La escasa cubierta forestal está principalmente representada por *Juniperus* y *Quercus perennifolia*. Después de esta fase, se produce un aumento en la masa arbórea, en especial de *Corylus*, *Pinus*

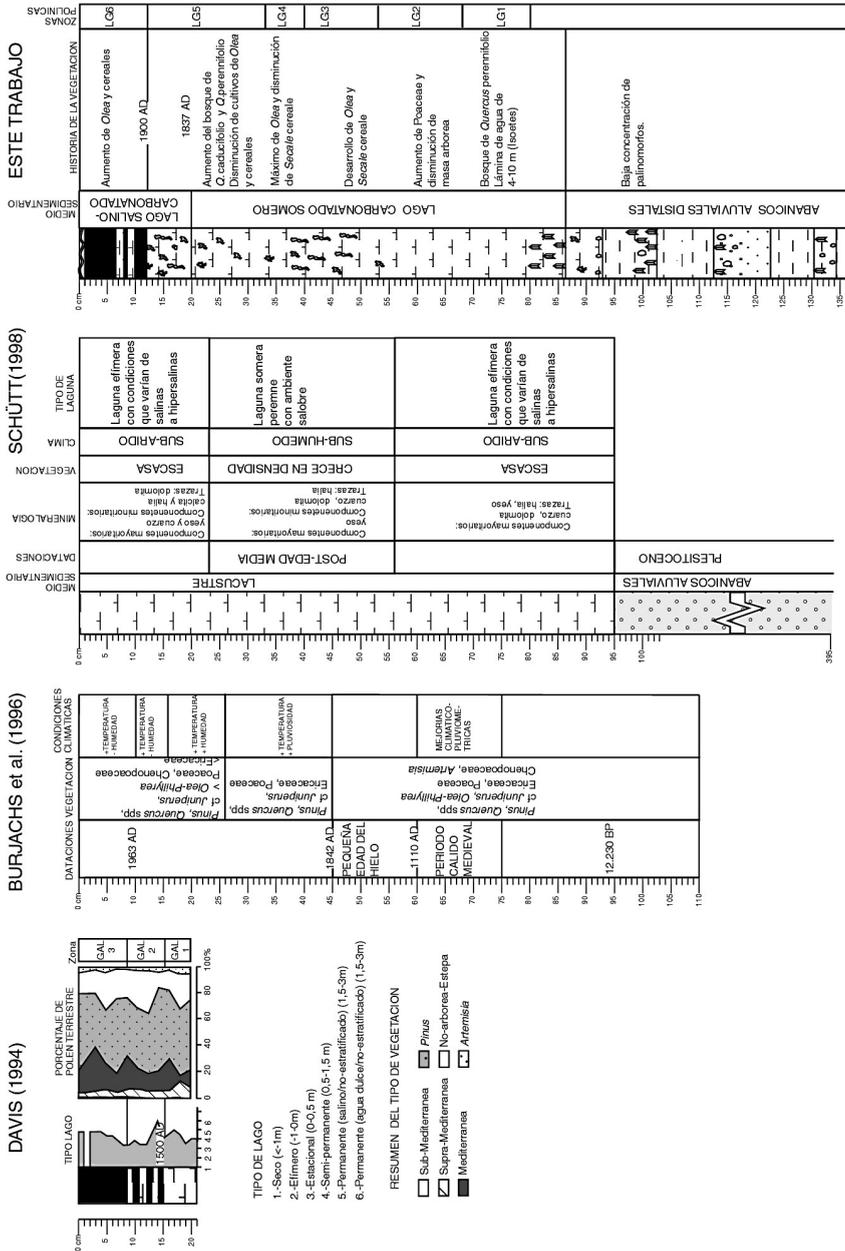


Fig. 6.- Comparación de los datos deducidos en este trabajo para la evolución de la Laguna de Gallocanta, con tres trabajos precedentes (Davis, 1994; Burjachs et al., 1996 y Schütt, 1998).

Fig. 6.- Comparison of the data deduced in this work for the evolution of the Gallocanta lake, with three preceding works (Davis, 1994; Burjachs et al., 1996 y Schütt, 1998).

y *Quercus perennifolio*, concomitante con el máximo desarrollo de *Ruppia* en la laguna. El último episodio está representado por un lago salino somero con menores niveles de agua con respecto a los episodios anteriores y se corresponde con los últimos siglos. Este último episodio es el único en el que los conjuntos polínicos indican una acción antrópica en los alrededores de la Salada de Mediana. Los estudios realizados por Valero *et al.* (2000 c) en la laguna Chiprana, situada a unos 100 km al NE con respecto a Gallocanta, sugieren que sólo durante el último milenio la actividad humana ha sido el factor más importante de cambios en la vegetación. Con anterioridad, los cambios de vegetación pueden ser relacionados con cambios climáticos. En esta laguna identifican seis estadios sedimentarios a los que van asociados cuatro cambios polínicos. El estadio basal, 6, comienza con un aumento del nivel freático que tendría lugar entre los 6.000 y 4.000 BP. El estadio 5 representa un episodio árido ocurrido hacia el 3.400 BP detectándose hiatos en la sedimentación. A partir del estadio 4 la sedimentación es continua y en relación con un aumento del nivel freático de la laguna. Este episodio lo correlacionan con el final del Periodo Cálido Medieval. En el estadio 3 hay otro aumento del nivel freático contemporáneo del comienzo de la agricultura moderna (expansión de los olivares). El estadio 2 (siglo XIX) se caracteriza por una estabilidad de las condiciones limnológicas caracterizadas por aguas hipersalinas y bajos niveles de la laguna que favorecen el dominio de tapices de cianobacterias dando lugar a las facies laminadas. Y por último, el estadio 1 refleja el incremento de la agricultura del final del siglo XIX y sobretodo, a partir de 1950 debido a la mecanización de los cultivos.

La ausencia por el momento de dataciones radiométricas por debajo de 19,5 cm en nuestra secuencia de Gallocanta impide realizar una correlación precisa entre las tres secuencias. No obstante, la parte superior de Gallocanta, correspondiente con la formación de un lago salino somero datado del último siglo, coincide con el nivel superior de la laguna Salada de Mediana. Ambos niveles han registrado la acción antrópica en la cuenca de Gallocanta durante el siglo XX. En cuanto a Chiprana, los dos niveles superiores laminados, estadios 2 y 1, caracterizados por indicadores polínicos de la actividad antrópica pueden ser correlacionados, respectivamente, con la base y techo del nivel superior de Gallocanta formado en un medio de lago salino-carbonatado. El tramo basal de este nivel de Gallocanta y el estadio 2 de Chiprana, caracterizados por una disminución de los cultivos de *Olea* y cereales, se habrían depositado durante la crisis agraria del siglo XVIII. El tramo superficial de Gallocanta y el estadio 1 de Chiprana reflejarían, por el contrario, el aumento de la producción agraria de los siglos XIX y XX.

CONCLUSIONES

La evolución sedimentaria de la laguna de Gallocanta está caracterizada por la superposición de tres ambientes sedimentarios: ambiente aluvial, lago carbonatado somero y lago salino. En las facies aluviales, la concentración del registro polínico es escasa, por lo que no se puede deducir la vegetación que rodeaba a la laguna ya que las condiciones de preservación de los palinomorfos no eran adecuadas.

Una vez establecido el lago carbonatado comienza el registro polínico indicando un máximo en el nivel de agua de la laguna. En este periodo la cuenca de Gallocanta estaba colonizada por un bosque de *Quercus perennifolia* y *Quercus caducifolia*. Tanto el estudio sedimentológico como el polínico indican un periodo relativamente húmedo. El descenso del nivel de agua sucesivo coincide con una disminución de la cubierta forestal y el inicio del cultivo de *Olea*. El episodio de lago carbonatado somero, es contemporáneo con una serie de cambios en la vegetación que parecen ser debidos sobretudo a la actividad humana. Nuestro registro detecta, en particular, la crisis agraria del siglo XVIII como en otros registros de la cuenca del Ebro. Durante el episodio de lago salino carbonatado y, sobretudo, en el intervalo correspondiente al siglo XX nuestro estudio indica un aumento en la actividad agrícola en detrimento del bosque y la disminución contemporánea de los niveles de agua. El paso de laguna permanente a laguna efímera detectado en Gallocanta en la parte superior de la secuencia es común a otras lagunas de la Cuenca del Ebro (Salada de Mediana y Chiprana) sugiriendo que un factor regional (natural y/o antrópico) produjo su desecación en el siglo XX.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al proyecto P122/97 de la Diputación General de Aragón. A.C. Roc ha disfrutado de una beca de la Caja de Ahorros de la Inmaculada (Programa Europa de Estancias de Investigación). Los autores agradecen a Marie-Hélène Castera (DGO, Universidad Burdeos 1) la preparación de las muestras polínicas.

REFERENCIAS

- BOND, G., SHOWERS, W., CHESEBY, M., LOTTI, R., ALMASI, P., DE MENOCAL, P., PRIORE, P., CULLEN, H., HAJDAS, I., BONANI, B. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in north Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278: 1257-66.
- BURIJACHS, F., RODÓ, X., COMÍN, F., (1996): Gallocanta: ejemplo de secuencia palinológica en una laguna efímera. In: B.R. ZAPATA (ed.): *Estudios Palinológicos*: 25-29. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- CALVO, J., GONZÁLEZ LÓPEZ, J.M., GONZÁLEZ MARTÍNEZ, J., VILLENA, J., (1978): Primeros datos sobre la sedimentación de dolomía en la Laguna de Gallocanta. *Tecniterrae*, 21:1-10.
- COMÍN, F., JULIA, R., COMÍN, P., PLANA, F. (1990): Hydrogeochemistry of Lake Gallocanta (Aragón, NE Spain). *Hydrobiología*, 197: 51-66.
- DAVIS, B.A.S. (1994): *Paleolimnology and Holocene environmental change from endoreic lakes in the Ebro Basin, north-east Spain*. Unpublished Ph.D. dissertation. University of Newcastle-Upon-Tyne, UK. 319 p.
- FREYET, P. (1984): Les sédiments lacustres carbonatés et leurs transformations par émerision et pédogénese. Impotance de leur identification pour les reconstructions paléogéographiques. *Bulletin Centres des Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine*, 8(1): 223-277.

- GÓMEZ, D, MONTSERRAT, G., FERRER, J. (1983): Aportación al estudio de la flora y vegetación en la Cuenca endorreica de Gallocanta. In: E., Aranzadi, J.J., Guiral (eds.): *Estudio de la Biocenosis de La Laguna de Gallocanta y su Cuenca*. Proyex: 139-301.
- GONZÁLEZ-LÓPEZ, J. M., GONZÁLEZ MARTÍNEZ, J., FERNÁNDEZ-NIETO, C., PARDO, G., (1983): Sedimentación carbonatada en la Laguna de Gallocanta (Prov. de Zaragoza y Teruel). *Boletín Sociedad Española de Mineralogía*, 6: 81-88.
- HARRISON, S., DIGERFELDT, G. (1993): European lakes as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators. *Quaternary Science reviews*, 12: 233-248.
- HUNTLEY, B., BIRKS, H.J.B. (1983): *An atlas of past and present pollenmaps for Europe: 0-13,000 BP years ago*. 667 p., Cambridge University Press, Cambridge
- MASON, L.M., GUZKOWSKA, M.A., RAPLEY, C.G. (1994): The respons of lake levels and areas to climatic change. *Clim Change*, 27: 161-197
- PÉREZ, A., LUZÓN, A., ROC, A.C., SORIA, A.R., MAYAYO, M.J., SÁNCHEZ, J.A. (2002): Sedimentary facies distribution and genesis of a recent carbonate-rich saline lake: Gallocanta lake. Iberian Chain, NE Spain. *Sedimentary Geology*, 148: 185-202.
- PÉREZ, A., ROC, A.C. (1999): *Los sedimentos de la laguna de Gallocanta y su comparación con las calizas de la Muela de Zaragoza* Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Serie Investigación, 14: 114 p.
- RODÓ, X., BAERT, E., COMÍN, F. (1997): Variations in seasonal rainfall during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation. *Climate Dynamics*, 13: 275-284.
- SCHÜTT, B. (1998): Reconstruction of Holocene paleoenvironments in the endorheic basin of Laguna de Gallocanta, Central Spain by investigation of mineralogical and geochemical characters from lacustrine sediments. *Journal of Paleolimnology*, 20: 217-234.
- VALERO-GARCÉS, B.L., DELGADO A., NAVAS A., MACHIN J., GONZÁLEZ P., KELTS K. (2000 a): Quaternary palaeohydrological evolution of a playa lake: Salada Mediana, central Ebro Basin, Spain. *Sedimentology*, 47: 1135-1156
- VALERO-GARCÉS, B.L., GONZÁLEZ P., DELGADO A., NAVAS A., MACHIN J., KELTS K. (2000 b): Lateglacial and Late Holocene environmental and vegetational change in Salada Mediana, central Ebro Basin, Spain. *Quaternary International*, 73/74: 29-46.
- VALERO-GARCÉS, B.L., NAVAS A., MACHIN J. (2000 c): Responses of saline lake ecosystems in semi-arid regions to irrigation and climate variability. The History of Salada Chiprana. Central Ebro Basin, Spain. *Ambio*, 26 (6): 344-350 .
- VASCONCELOS, C., MCKENZIE, J. (1997): Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Sedimentary Research*, 67:378-391.
- VERNAL, A., HENRY, M. (1996): Techniques de preparation et d'analyse en micropaléontologie. *Les cahiers du GEOTOP*, 3: 16-27.
- VILLENA, J. (1969): *Mapa Geológico de la Laguna de Gallocanta (Teruel-Zaragoza) y sus alrededores*. Guía Exc. V Reunión Grupo Español de Sedimentología. Pamplona, Zaragoza: 2 p.

Recibido / Received : 8/11/01

Aceptado / Accepted: 13/02/02