

# Identificación de las principales fases áridas del Pleistoceno superior en el registro sedimentario lacustre del *maar* de Fuentillejo (Campo de Calatrava)

## *Identification of arid phases during the upper Pleistocene from Fuentillejo maar lacustrine record (Campo de Calatrava Volcanic Field)*

J. Vegas<sup>1</sup>, B. Ruiz-Zapata<sup>2</sup>, J.E. Ortiz<sup>3</sup>, L. Galán<sup>4</sup>, T. Torres<sup>3</sup>, A. García-Cortés<sup>1</sup>,  
A. Pérez-González<sup>5</sup> y J.L. Gallardo-Millán<sup>6</sup>

- 1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. [j.vegas@igme.es](mailto:j.vegas@igme.es), [garcia.cortes@igme.es](mailto:garcia.cortes@igme.es)
- 2 Dpto. Geología. Facultad Ciencias. Campus Universitario. Universidad Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, Madrid. [blanca.ruiz@uah.es](mailto:blanca.ruiz@uah.es)
- 3 Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular. E.T.S.I. Minas, Universidad Politécnica Madrid, Ríos Rosas 21. 28003 Madrid. [joseeugenio.ortiz@upm.es](mailto:joseeugenio.ortiz@upm.es), [trinidad.torres@upm.es](mailto:trinidad.torres@upm.es)
- 4 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). La Calera 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. [l.galan@igme.es](mailto:l.galan@igme.es)
- 5 Centro Nacional de la Evolución Humana. Avda. de la Paz 28. 09004 Burgos. [alfredo.perez@cenieh.es](mailto:alfredo.perez@cenieh.es)
- 6 Dpto. Ingeniería Geológica y Minera, Universidad Castilla-La Mancha. Plaza Manuel Meca 1, 13400 Almadén, Ciudad Real. [JoseLuis.GMillan@uclm.es](mailto:JoseLuis.GMillan@uclm.es)

**Resumen:** Se han realizado análisis de facies sedimentarias, geoquímicos (análisis elemental, análisis moleculares de la fracción orgánica), propiedades físicas, palinológicos y mineralógicos para caracterizar el registro sedimentario de la laguna del *maar* de Fuentillejo, en la región volcánica central de España de Campo de Calatrava, con el objetivo de reconstruir los procesos paleoambientales y paleoclimáticos que controlaron los patrones de la vegetación y la sedimentación. Los primeros 29 m del sondeo FU-1 muestran acusadas variaciones en el aporte de terrígenos, la química de las aguas, la vegetación y en la fracción orgánica a lo largo del Pleistoceno superior y Holoceno. En las facies de dolomicritas (con magnesita y analcima), los datos polínicos muestran un incremento del componente herbáceo, fundamentalmente taxones estépicos –*Chenopodiaceae*, *Artemisia* y *Ephedra*–; junto con un índice Paq bajo, descenso en el porcentaje relativo de alcano n-C<sub>27</sub> y un incremento de alcano n-C<sub>31</sub>. Esta facies, probablemente, es el resultado de un bajo nivel del lago y condiciones salinas-alcálicas, que se han interpretado como el periodo más árido en el techo de la unidad 19.2. Las facies siliciclásticas con valores altos de susceptibilidad magnética, alto contenido en polen de *Juniperus*, bajo índice Paq, descenso en el porcentaje relativo de alcanos n-C<sub>27</sub> e incremento de n-C<sub>31</sub> son indicativos de eventos climáticos áridos y fríos.

**Palabras clave:** Taxones estépicos, susceptibilidad magnética, biomarcadores, facies lacustres, fases áridas.

**Abstract:** *Geochemical (elemental analysis, molecular analysis of organic compounds), physical, palynological, mineralogical and sedimentary facies analysis were performed to characterize the sedimentary record in Fuentillejo maar lake in the Central Spanish Volcanic Field of Calatrava, in order to reconstruct the paleoenvironmental and paleoclimatic processes which controlled vegetation patterns and deposition of different sedimentary facies. The upper 29 m of FU-1 core point out variations in clastic input, water chemistry, vegetation and organic fraction sources in the lake throughout the late Pleistocene and Holocene. In dolomite-mud facies (magnesite and analcime), the pollen data shows an increase of the herbs component, mainly –Chenopodiaceae, Artemisia and Ephedra– steppe taxa; low Paq index, decrease in the relative percentage of the n-C<sub>27</sub> alkane and increase in the n-C<sub>31</sub> alkane are also observed. This facies was probably the result of lower lake levels and more saline-alkaline conditions which can be interpreted as linked to the most arid periods, especially in the top of unit 19.2. Siliciclastic facies with high magnetic susceptibility values, high Juniperus pollen content, low Paq index, decrease in the relative percentage of the n-C<sub>27</sub> alkane and increase in the n-C<sub>31</sub> alkane are indicative of arid and colder climatic events.*

**Key words:** *Steppe taxa, magnetic susceptibility, biomarkers, lacustrine facies, arid phases.*

## INTRODUCCIÓN

Uno de los mejores ejemplos en la Península Ibérica de sondeos largos y con registro temporal amplio, a escala continental, es el sondeo FU-1. Se ha realizado en la laguna del cráter del *maar* de Fuentillejo y se

estudia con el objetivo de realizar reconstrucciones paleoclimáticas en esta región (Vegas *et al.*, 2006). En la Península Ibérica se han identificado, tanto en ámbito terrestre como marino, la ocurrencia de fases frías y áridas ligadas a los eventos fríos de los ciclos Dansgaard/Oeschger para la región oeste del

Mediterráneo (p.e. Moreno *et al.*, 2007; Valero-Garcés *et al.*, 2004). En este trabajo se detallan las características de los principales indicadores de aridez que se han empleado en el estudio paleoclimático del registro de FU-1. La correlación entre los indicadores físicos, geoquímicos, sedimentológicos y polínicos nos muestran una serie de fases áridas ocurridas a escala milenaria en el centro peninsular.

## ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza al suroeste del término municipal de Valverde de Calatrava (Ciudad Real), en la Región Volcánica Central de España, en el Campo de Calatrava. Una de las formas volcánicas de la región son los cráteres originados por procesos hidromagmáticos, denominados *maares*, que albergan la mayoría de las lagunas de la comarca. La laguna de Fuentillejo, también denominada La Posadilla, se encuentra a 638 m s.n.m y en la actualidad es temporal, con aguas hiposalinas (pH 8,7 y conductividad 2005 nS/cm.). Esta laguna tiene un registro sedimentario continuo de 142,4 m que abarca un rango cronológico desde 780 ka BP hasta la actualidad, estimado mediante magnetoestratigrafía. La cuenca de drenaje está formada por rocas metasedimentarias (cuarcitas y pizarras) del Ordovícico Inferior y rocas volcánicas (basanitas y materiales volcanoclásticos) del Plioceno.

## METODOLOGÍA

Se realizó un sondeo de 142,4 m con recuperación continua de testigo denominado FU-1 (38° 56' 22" - 4° 3' 13"). Se conserva a 4° C y se ha dividido mediante corte electro-osmótico (Vegas *et al.*, 2006). La susceptibilidad magnética se ha medido (espaciado 1 cm) con el *Multisensor Core Logger* (MSCL) GEOTEK (IGME). La cronología se ha establecido mediante 12 dataciones en materia orgánica total por AMS (BETA Analytic). Algunas de ellas indican inversiones de las edades debido, principalmente, a periodos de erosión.

El análisis geoquímico de elementos mayores se realizó por Fluorescencia de rayos-X, equipo MagiX de PANalytical (IGME). El Na y Sr se han analizado por absorción atómica, equipo VARIAN FS-220. El análisis de C y S se ha realizado con un analizador elemental ELTRA CS-800. Mediante difracción de rayos-X (IGME) se ha hecho el estudio mineralógico, equipo XPERT Pro de PANalytical, con tubo de cobre y monocromador de grafito. Las texturas y los minerales diagenéticos se han identificado al MEB (Luis Brú-UCM), equipo JEOL JSM 6400, 20 kV, con EDAX.

Los biomarcadores moleculares se han analizado en el Lab. de Estratigrafía Molecular (UPM). Cromatógrafo de gases Hewlett-Packard 6890 Series con detector selectivo de masas Hewlett-Packard 5973, corriente de helio y columna HP-5MS. Los cromatogramas se estudian con el programa *Data Analysis* de Hewlett-Packard.

El contenido polínico se ha analizado en el Lab. de Palinología (Dpto. Geología-UA) según protocolos estandarizados (Coûteaux, 1977; Moore *et al.*, 1991 y Goeury y de Beaulieu, 1979). Los datos se han procesado con el paquete informático TILIA®, TILIA GRAPH® y TGVIEW (© Eric C. Grimm).

## INDICADORES DE ARIDEZ CONTINENTAL

Se han inferido condiciones climáticas áridas en ambiente continental mediante la correlación de los siguientes indicadores estudiados en los primeros 29 m del sondeo FU-1, que corresponden con los estadios isotópicos marinos 1-2-3-4 y comienzo del 5:

### Susceptibilidad magnética (SM) - %TiO<sub>2</sub> - carbono orgánico total (TOC)

El parámetro de la SM está fuertemente controlado por los procesos erosivos y eodiagenéticos de los minerales de hierro que se han preservado durante los periodos áridos, con sedimentación detrítica y bajo nivel del lago (Galán *et al.*, 2007). Los valores elevados de la SM y del contenido en Ti de los sedimentos indican un mayor aporte de terrígenos. Si, además, coinciden con bajos contenidos en TOC indican la presencia de ambientes sedimentarios óxicos, que permiten la preservación de óxidos de Fe(III). Los óxidos-oxihidróxidos de Fe(III) se preservan mejor durante los periodos áridos y de bajo nivel del lago.

### Registro polínico: vegetación estépica y presencia de *Juniperus*

Los elementos seleccionados para caracterizar la vegetación estépica en FU-1, corresponden a Chenopodiaceae, *Artemisia* y *Ephedra*. Son indicadores de condiciones áridas y cálidas, pues llevan asociado tolerancia a alta salinidad en esta laguna, marcando el carácter cálido. Entre los microfósiles no polínicos destaca el Tipo 3 b como indicador de condiciones secas. También se ha seleccionado el porcentaje en *Juniperus* por ser un marcador de condiciones áridas, pero a diferencia de los elementos estépicos seleccionados, aparece en ambientes fríos. Por ello, es característico de eventos áridos y fríos para esta región de la península.

### Biomarcadores moleculares: Índice Paq y % nC<sub>27</sub>

Ficken *et al.*, (1998) proponen el índice Paq como forma de valorar de un modo aproximado el aporte de uno u otro tipo de macrofitas acuáticas al sedimento. Mide la abundancia relativa de las cadenas de 23 y 25 carbonos, características de macrofitas flotantes y subacuáticas, frente a cadenas de 29 y 31, típicas de plantas terrestres:  $Paq = (c23+c25)/(c23+c25+c29+c31)$ . Los intervalos calculados por Ficken *et al.*, (1998) para diferenciar el origen de la materia orgánica son: <0,1 (plantas terrestres), 0,1-0,4 (macrofitas emergentes) y 0,4-1 (macrofitas subacuáticas y flotantes). Están relacionados con la profundidad de la lámina de agua, de tal forma que un índice Paq inferior o igual a 0,1

indica una lámina de agua baja. Cuando ésto ocurre, junto con un bajo porcentaje de n-C<sub>27</sub>, indican una menor disponibilidad hídrica por condiciones ambientales más áridas.

### Minerales autigénicos – facies sedimentarias

Los cambios de facies sedimentarias lacustres son mucho más acusadas que en el medio marino profundo, por ello son buenos indicadores ambientales junto con los minerales autigénicos. Se han identificado dolomita y ceolitas (analcima, chabacita, herschelita y merlinoita) como minerales que precipitaron en fases muy tempranas por alteración de materiales volcánicos. La presencia de dolomita primaria, analcima, junto con magnesita se interpreta como muy bajo nivel del lago, elevada salinidad y alta evaporación, que son indicadores de condiciones ambientales áridas y cálidas. En cambio, si las ceolitas son de tipo chabacita la salinidad y alcalinidad en la laguna será alta, pero no tan elevada como en el caso anterior (Singer y Stoffers, 1980).

### DISCUSIÓN-CONCLUSIONES

En el registro de FU-1, de acuerdo a los indicadores analizados, pueden reconocerse cambios acusados en el ecosistema lacustre debido, en gran parte, a una gran variabilidad hidrológica controlada por los grandes cambios en los sistemas atmosférico y marino que han actuado en el Atlántico Norte a escala milenaria. De acuerdo a los resultados obtenidos (Fig. 1) se pueden interpretar fases áridas que, a su vez, se distinguen por su carácter frío o cálido.

El periodo de mayor aridez y más cálido se produjo a techo de la unidad 18 (25,6-26 m de profundidad) que está caracterizado por dolomicríticas, con magnesita y analcima, evidencias de desecación, alto porcentaje de elementos estépicos, lámina de agua muy baja, aporte de vegetación terrestre y mínimo aporte de material terrígeno a la cuenca. Además, hay un bajo contenido en TOC, debido a la degradación que sufre la M.O. en este ambiente. Todo ello indica una baja disponibilidad hídrica, alta salinidad y temperaturas elevadas. Otras fases similares a ésta, pero de menor intensidad, se identifican en el techo de la unidad 18.9, techo unidad 19.2 y el límite entre las unidades 19 y 20 (ver figura 1).

En cambio, fases áridas pero de tipo frío se han identificado en la unidad 23.1, techo 23.2, 23.3, 23.4 y base de 23.5, que están marcadas por facies de limos, con alto aporte de terrígenos, conservación de óxidos de hierro(III), bajo contenido en TOC y bajo nivel del lago, con un nivel de bioturbación. La coexistencia de estos indicadores, junto con un porcentaje elevado de *Juniperus*, apunta a periodos áridos y fríos. La cronología estimada para la unidad 23.1 es de 23-24,5 ka BP, que coincide con el evento frío Heinrich 2. Todo ello apunta a una gran influencia de éstos eventos marinos más fríos en el medio terrestre del centro peninsular.

### AGRADECIMIENTOS

Proyecto CGL2004-06212/BTE "Variabilidad climática y ambiental en el centro de la Península Ibérica durante el Cuaternario. Estudio de alta resolución del registro lacustre del sondeo FU-1 (laguna de Fuentillejo, Ciudad Real)" y proyecto interno del IGME "Estudio Paleoclimático del Maar de Fuentillejo" (CC 54.020).

### REFERENCIAS

- Coûteaux, M. (1977): A propos de l'interpretation des analyses polliniques de sediments minéraux, principalement archéologiques. En: Le Milieu Végétal, les faunas et l'Homme. *Supplément Bulletin A.F.E.Q.*, 47: 259-276.
- Ficken, K. J., Li, B., Swain, D.L. y Eglinton, G. (2000): An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry* 31: 745-749.
- Galán, L.A., Vegas, J. y García-Cortés, A. (2007): Caracterización de las propiedades físicas en registros lacustres mediante GEOTEK Multisensor Core Logger. Aplicación para el estudio paleoclimático del maar de Fuentillejo. *Contribuciones al estudio del periodo Cuaternario* (J. Lario y P.G. Silva, eds.). AEQUA, Ávila. 187-188
- Goery, CL. y Beaulieu, J.L. (1979): Á propos de la concentration du pollen à l'aide de la liquer de Thoulet dans les sediments minéraux. *Pollen et Spores*, 21: 239-251
- Grimm, E.C. (1987): CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13: 13-35.
- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Grimalt, J.O., Sanchez-Goñi, M.F. y Sierro, F.J. (2007): Conexiones climáticas de escala milenaria entre procesos oceánicos y atmosféricos durante el último ciclo glacial: Estudio multidisciplinar de un sondeo del mar de Alborán (Mediterráneo occidental). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 20: 31-52.
- Singer, A. y Stoffers, P. (1980): Clay mineral diagenesis in two east african lake sediments. *Clay Minerals* 15: 291-307.
- Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., Navas, A., Machín, J., Delgado-Huertas, A., Peña-Monné, J.L., Sancho-Marcén, C., Stevenson, T. y Davis, B. (2004): Paleohydrological fluctuations and steppe vegetation during the last glacial maximum in the central Ebro valley (NE Spain). *Quaternary International*, 122: 43-55.
- Vegas, J., García-Cortés, A., Galán, L., Pérez-González, A. y Martín-Serrano, A. (2006): El registro sedimentario lacustre del maar de Fuentillejo (Ciudad Real). *Boletín Geológico y Minero*, 117: 339-349.

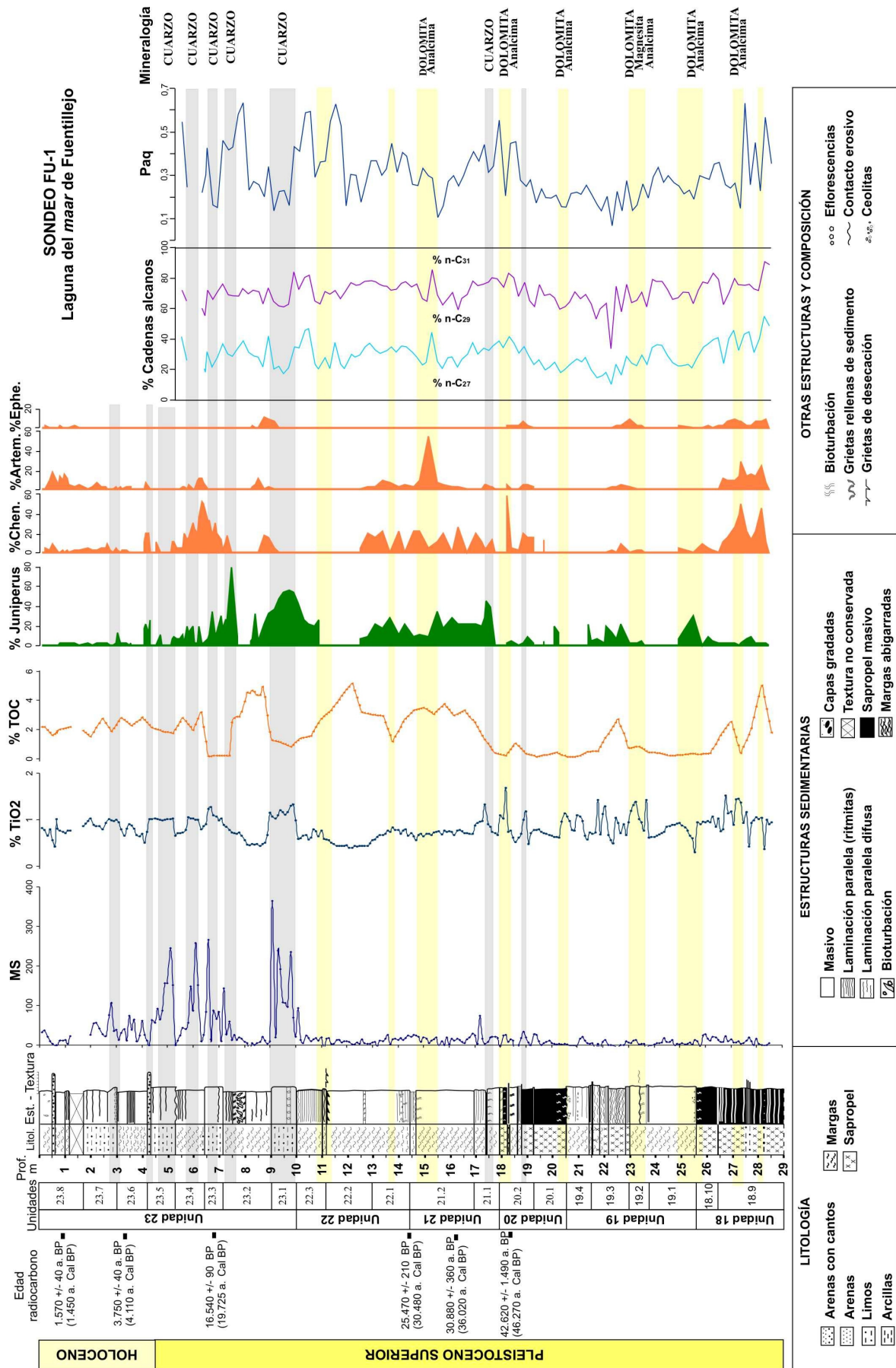


FIGURA 1. Columna estratigráfica y principales indicadores de aridez continental. 29 m del sondeo FU-1, laguna del maar de Fuentillejo (Ciudad Real). Las barras de color amarillo indican las fases áridas-cálidas y las barras de color gris muestran los principales eventos áridos-fríos identificados. MS: susceptibilidad magnética. TOC: carbono orgánico total. Chen.: Chenopodiacea. Artem: Artemisia. Ephe.: Ephedra.