

El archivo lacustre del maar de Fuentillejo (Campo de Calatrava). Primeros protocolos científicos y estrategia de trabajo para el estudio paleoclimático del Cuaternario en el centro de España

J. Vegas⁽¹⁾, L. Galán⁽²⁾, A. Pérez-González⁽¹⁾ y A. García-Cortés⁽³⁾

(1) Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid.
E-mails: juanav@geo.ucm.es - alfredog@geo.ucm.es

(2) Instituto Geológico y Minero de España. C/ Calera, 1. 28760 Tres Cantos (Madrid).
E-mail: l.galan@igme.es

(3) Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.
E-mail: garcia.cortes@igme.es

RESUMEN

En este trabajo se presentan los primeros protocolos científicos y la estrategia de trabajo diseñada para el proyecto "*Programa Maares de la Región Volcánica Central de España. El maar de Fuentillejo: una iniciativa para el estudio paleoclimático del Cuaternario*", coordinado por los equipos de investigación del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y del Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). El objetivo principal consiste en obtener un registro de los sedimentos lacustres en maares para el estudio de las condiciones paleoclimáticas y paleoambientales del Cuaternario en el centro peninsular. Para el desarrollo de la primera etapa del programa, se ha elegido el maar de Fuentillejo como archivo paleoclimático. Los trabajos realizados hasta la actualidad se pueden agrupar en tres categorías bien diferenciadas: i) investigaciones pre-sondeo, con la realización de una campaña de exploración geofísica que estimó una potencia de más de 100 metros de relleno sedimentario, que han sido complementadas con el estudio geológico y geomorfológico de detalle. ii) Ejecución de dos sondeos mecánicos con recuperación continua de testigo, de un total de 142,40 y 96 metros de sedimentos lacustres. Las principales facies identificadas han sido varvas (carbonatadas, detríticas, orgánicas), limos bituminosos y, en menor proporción, sales. iii) Investigación post-sondeo, donde se detallan los protocolos de gestión, división del sondeo, siglado y la realización de una escala de profundidad. Estos trabajos han proporcionado un registro litológico continuo representativo del relleno lacustre del maar de Fuentillejo que, hoy por hoy, constituye un archivo sedimentario del Cuaternario continental único en la Península Ibérica.

Palabras clave: Campo de Calatrava (España), Cuaternario, exploración, maar, sondeos

The lacustrine archive of the Fuentillejo maar (Campo de Calatrava). Strategy and preliminary scientific activities for the palaeoclimatic reconstruction of the Quaternary in central Spain

ABSTRACT

This paper focuses on the strategies and scientific protocols designed for a first stage of the project "Maar Programme for the Central Spanish Volcanic Field. An initiative for the study of Quaternary Climatic Change", codirect by the research teams of the Instituto Geológico y Minero de España (IGME) and the Department of Geodynamics of the Universidad Complutense de Madrid (UCM). The project aims to recover lake sediments from maars to explore the palaeoenvironmental and palaeoclimatic conditions of central Spain during the Quaternary. The Fuentillejo maar was selected as a palaeoclimatic archive for the programme's first stage. This type of project should include the following categories: i) Exploration and advance works, site selection criteria, and a geophysical survey that has estimated a lacustrine sedimentary infill thickness of over 100 m. ii) Drilling technology and operations. A total of two twin boreholes were drilled recovering a 142 m section (FU-1 core) and a 96 m section (FU-2 core). Varves (clastic, organic, carbonate), bituminous silts, marls and in minor proportion salts are the main facies. iii) Post-drilling operations, the scientific protocols to be initially implemented are also presented, like storage and archiving of cores, split, development of single depth scale and a core description. This drilling program recovered a nearly complete lacustrine record from the Fuentillejo maar that has retrieved a unique continental sedimentary archive on the Iberian Peninsula.

Key words: Campo de Calatrava (Spain), drilling and post-drilling operations, Quaternary, maar

Introducción

Los lagos originados en maares son un ejemplo interesante para el estudio de las variaciones sedimentarias relacionadas con los cambios climáticos. La morfología y la profundidad de estos lagos favorecen una acumulación de sedimentos, rápida y continuada, con la suficiente resolución para el estudio de los períodos temporales involucrados. Con esta perspectiva, los lagos, y más concretamente aquellos localizados en maares, han sido objeto de estudio desde el último cuarto del siglo XX. Los primeros trabajos (Negendank y Zolitschka, 1993), que surgieron como iniciativas individuales (fundamentalmente desde las universidades y centros de investigación), posteriormente se consolidaron en diferentes grupos de investigación favorecidos por grandes proyectos multidisciplinares, que fueron apoyados desde diferentes instituciones y organizaciones internacionales: IGBP, *International Geosphere-Biosphere Programme*; ICDP *International Continental Scientific Drilling Program*; INQUA, *International Union for Quaternary Research*; NOAA *Paleoclimatology Program*; WCRP, *World Climate Research Program*; ESF, *European Science Foundation*; etc. La importancia de estos registros continentales se debe fundamentalmente a que proporcionan evidencias del impacto de los cambios climáticos del pasado en ambientes terrestres, que son clave para la actividad humana (Colman, 1995).

En el año 2000, con la coordinación conjunta de los equipos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y del Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) se diseñó un programa científico de carácter multidisciplinar denominado "Programa Maares del Campo de Calatrava", a la búsqueda de un registro continental largo en la Península Ibérica que tuviera el potencial de una alta resolución temporal (Pérez-González *et al.*, 2003). El objetivo principal de la investigación consiste en el estudio de los cambios climáticos y ambientales sucedidos durante el Cuaternario, mediante el estudio y la interpretación de los registros lacustres de los maares volcánicos de la región. Ante un objetivo tan ambicioso como éste, se realizó una selección preliminar de un elemento clave donde centrar las investigaciones. Después de varios meses de trabajo de campo y gabinete, para la primera fase del programa se decidió estudiar el maar de Fuentillejo, también denominado como laguna de las Posadillas, situado al suroeste del término municipal de Ciudad Real (Figs. 1 y 3). Este maar cumple la mayoría de los requisitos necesarios: es un sistema lacustre cerrado, con una cuenca de drenaje pequeña y de geología uniforme y con accesibilidad para los

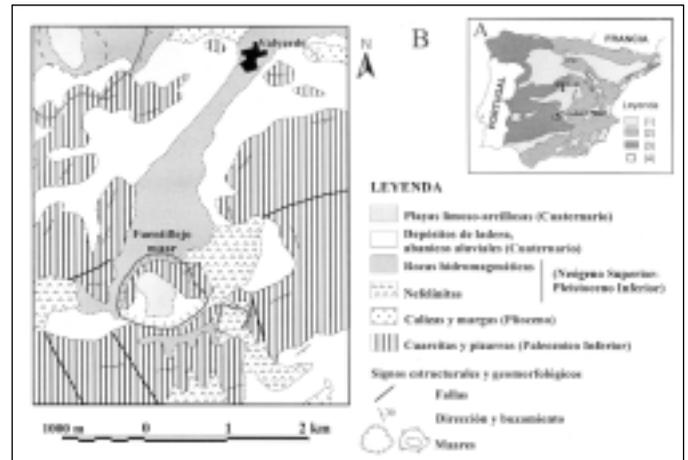


Fig. 1. A. Mapa de situación de la zona estudiada en la Península Ibérica: (1) Cuencas terciarias. (2) Cordilleras alpinas. (3) Macizos paleozoicos. (4) Zona de estudio en la región de Campo de Calatrava. B. Mapa geológico de los alrededores del maar de Fuentillejo, provincia de Ciudad Real (simplificado de Portero *et al.*, 1988).

Fig. 1. A. Situation map of the the study area in the Iberian Peninsula: (1) Tertiary basins. (2) Alpine mountain ranges. (3) Palaeozoic massifs. (4) Campo de Calatrava study site. B. Geological map of the Fuentillejo maar, Ciudad Real province (simplified from Portero *et al.*, 1988)

trabajos de perforación. Durante estos comienzos se diseñó la metodología de trabajo para las primeras etapas de la investigación, como se detallará a continuación.

Características generales de los archivos paleoclimáticos de origen lacustre

En términos del registro del cambio climático y ambiental, los lagos originados en maares se clasifican dentro del grupo de "lagos pequeños con cuencas hidrológicas cerradas" (ELDP, *European Lake Drilling Programme*, 1997). La mayor ventaja que ofrecen estos registros es su alta resolución temporal, preservando una detallada información de los cambios en los patrones de la sedimentación, que son el resultado de la imposición de factores climáticos, volcánicos y antrópicos.

Las lagunas del Campo de Calatrava se albergan en cráteres de explosión originados mediante procesos eruptivos hidromagmáticos, denominados maares (Ancochea, 1983; Portero *et al.*, 1988; Poblete, 1995; González-Cárdenas, 1997). De acuerdo con Büchel (1993), el término "maar" (además de definir un rasgo topográfico, comprende la estructura total y su formación) reúne la pared o anillo que rodea el cráter, los sedimentos que rellenan el cráter, la diatre-

ma y el sistema de diques de alimentación (Fig. 2). Las depresiones de los cráteres originadas por los procesos explosivos volcánicos pueden albergar lagos. Estos lagos cerrados favorecen la acumulación de sedimentos de forma continuada, dando lugar a un registro de alta resolución que se extiende durante largos períodos temporales. Los lagos en maars son un ejemplo interesante para el estudio de las variaciones sedimentarias relacionadas con los cambios climáticos.

Según Gasse *et al.* (1997), las características más significativas de las cuencas formadas en cráteres son las siguientes:

- La morfología de la cuenca es simple, lo que favorece una rápida acumulación de sedimentos que son susceptibles de ser comparados con los registros ambientales de otros lugares.
- Tienen una cuenca de drenaje relativamente pequeña, con una topografía y una geología uniformes. Esto facilita el conocimiento de las relaciones entre los sedimentos que proceden de su cuenca de drenaje y los sedimentos alóctonos que proceden de regiones externas al lago.
- Comparativamente tienen un régimen hidrológico simple, dominado por el balance entre precipitación y evaporación. Las entradas y salidas (*inputs and outputs*) del sistema normalmente son pequeñas y el tiempo de residencia del agua en la cuenca es largo. Esto favorece una retención máxima de sedimentos autóctonos y alóctonos en el lago.

- Muchos de ellos tienen sedimentos con laminaciones anuales, que pueden emplearse como un sistema cronológico propio. Pueden utilizarse como método de datación y calcular tasas de sedimentación.
- Tienen gran variabilidad temporal. Algunos son jóvenes y otros muchos son antiguos, pudiendo contener registros de múltiples ciclos glaciares-interglaciares.

Investigaciones pre-sondeo

Estudio geológico-geomorfológico

La zona de estudio se localiza en la Región Volcánica Central de España, concretamente, en la comarca del Campo de Calatrava, situada en el centro de la provincia de Ciudad Real (Comunidad de Castilla-La Mancha, fig. 1).

El volcanismo de Campo de Calatrava se desarrolla al menos en dos fases, de acuerdo con los trabajos clásicos y a las dataciones radiométricas efectuadas en centros volcánicos (Ancochea, 1983; Bonadonna y Villa, 1984). La primera fase tiene carácter ultrapotásico, ocupa el centro de la región volcánica y tiene una cronología que se sitúa entre 8,7 y 6,4 Ma. La segunda fase desarrolla un volcanismo alcalino y ultraalcalino, con una fase de actividad principal entre 4,7 y 1,75 Ma. Posteriormente, hay cierta actividad volcánica en el Pleistoceno inferior, donde la edad radiométrica de 1,3 Ma, junto a los datos de los estudios magnetoestratigráficos, amplían notablemente el período de actividad volcánica en la región, al menos, hasta los 0,7 Ma (Gallardo-Millán y Pérez-González, 2000; Gallardo-Millán *et al.*, 1998 y 2002).

A partir de esta situación general, se ha estudiado en detalle la geología y geomorfología del entorno del maar, con el objetivo de caracterizar la erupción volcánica y las relaciones espacio-temporales con las demás unidades geológicas. Para ello, se ha efectuado una síntesis de los mapas geológicos existentes (serie MAGNA), utilizando la hoja nº 784 de Ciudad Real a escala 1:50.000 (Portero *et al.*, 1985). Para la cartografía de detalle (Fig. 1) se ha utilizado la base topográfica de los mapas escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.). La cartografía geomorfológica de la zona de estudio (Fig. 4) se ha realizado mediante fotointerpretación de fotogramas a escala 1:18.000, en la que se ha utilizado la base topográfica de los mapas escala 1:25.000 del I.G.N., completándola con el trabajo de campo. A partir de estas cartografías, se han descrito las características particulares del sistema lacustre, de la cuenca de drenaje y de la colada piroclástica asociada al maar.

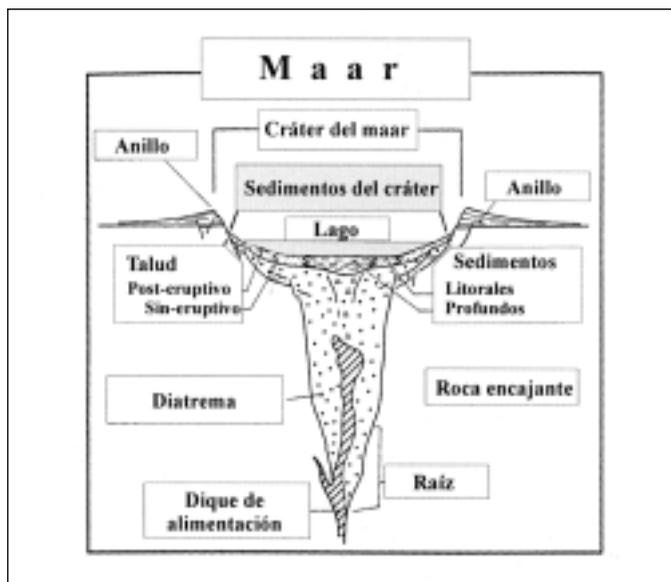


Fig. 2. Esquema simplificado de un maar (tomado de Büchel, 1993), donde se detallan las partes fundamentales que forman el sistema Fig. 2. Simplified scheme of a maar (modified from Büchel, 1993) where parts of this system are detailed

La explosión que originó el maar de Fuentillejo tuvo lugar entre pizarras y cuarcitas, formándose un cráter de morfología irregular. Este maar aparece rodeado al norte por un anillo de tobas volcánicas, con una diferencia de altura de 40 metros, mientras que por el sur presenta una pared de cuarcitas de más de 120 metros de altura (Fig. 3 A,C). La explosión también dio lugar a una colada piroclástica que se apoya en inconformidad sobre los materiales paleozoicos y pliocenos de la región (Fig. 1). Las dimensiones del maar son de 450 x 250 metros de diámetro interno y 1.400 x 1.400 metros de diámetro externo (Ancochea, 1983; Portero *et al.*, 1988; González-Cárdenas *et al.*, 2002).

La laguna de Fuentillejo se encuentra a una altitud de 638 m s.n.m. y ocupa el fondo del cráter del maar (Fig. 2). Por su situación geográfica puede clasificarse como una "laguna de sierra", debido a su localización en las serranías paleozoicas (Ancochea, 1983; Poblete, 1995; González-Cárdenas *et al.*, 2002). Desde su origen, la cuenca lacustre ha sido un sistema cerrado, con tres abanicos aluviales principales (Fig. 4) que han aportado material siliciclástico (fragmentos cuarcíticos) y volcánico (nefelinitas y fragmentos piroclásticos) desde el borde del cráter hacia la cuenca (Fig. 3B). La laguna que existe actualmente es de carácter temporal, con aguas hiposalinas, con un pH entre 9,7-9,9 y una conductividad entre 3,40-4,68 mS/cm (González-Cárdenas *et al.*, 2002).

Para caracterizar geocronológicamente, mediante el método de K-Ar, las emisiones volcánicas, se han tomado muestras del material piroclástico de la zona. De igual forma se han recogido muestras orientadas de la colada piroclástica, para el estudio magnetoestratigráfico de las secuencias de depósito definidas en campo.

Campaña geofísica

Por encargo del IGME, la compañía International Geophysical Technology (IGT) realizó, entre los años 2000-2001, tres perfiles de tomografía eléctrica en el maar de estudio (Granda *et al.*, 2000). Los resultados obtenidos indicaban la existencia de unos materiales de baja resistividad, con un espesor estimado superior a 100 metros (Fig. 5). Ante esta perspectiva, se planteó la realización de un sondeo mecánico con recuperación de testigo continuo, que se iniciaría en el mes de octubre de 2002. Para ello, se solicitó la autorización de la administración medioambiental (Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Castilla La Mancha) y la del propietario de los terrenos de la finca de las Posadillas.

Operaciones de perforación

Las operaciones de perforación en el maar de Fuentillejo se realizaron durante los meses de octubre a diciembre de 2002, siendo llevadas a cabo por equipos del Servicio de Sondeos II del Parque de Maquinaria del Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). Para ello, se ha empleado una máquina de perforación modelo Craelius D-900, montada sobre camión todo terreno y apta para el trabajo a rotación con recuperación continua de testigo (Fig. 3D). El objetivo inicialmente planteado fue la realización de un sondeo de investigación que atravesara el potencial relleno sedimentario del maar, con la máxima recuperación posible de testigo y el mínimo coste económico.

De acuerdo con los estudios geofísicos, se localizó el punto de sondeo en el lugar del maar donde se esperaba que estarían representadas las facies más profundas de todos los ambientes sedimentarios sucedidos a lo largo del tiempo (Fig. 5). Las coordenadas de dicho punto son 38° 56' 22" y 4° 3' 13". El resultado fue un sondeo de recuperación continua con 142,40 metros de testigo, denominado Fuentillejo-1 (FU-1), que concluyó cuando se alcanzaron las cuarcitas ordovícicas del diatrema.

Ejecución de los sondeos

La perforación se inició en seco, empleando una batería (o tubo sacatestigos) simple, de tipo B, de 116 mm de diámetro exterior y capaz de albergar un testigo de 103,3 mm de diámetro. A partir de los 3 metros de profundidad, esta batería fue sustituida por otra de diámetro inferior (101 mm), la cual proporcionaba un testigo de 88,3 mm.

Este procedimiento de perforación se mantuvo mientras se atravesaban materiales blandos, poco consolidados. Cuando se alcanzaron tramos más litificados (p.e. capas de sales o intercalaciones de areniscas en tramos laminados), se sustituyó la batería simple por una doble giratoria, de los tipos T o JPH, con diámetros exteriores de 101 mm y 101,5 mm, que permitieron obtener testigos de 86 y 77 mm de diámetro, respectivamente. La perforación con baterías de doble tubo giratorio permitió el empleo de agua o lodo de perforación que, inyectado a través del varillaje y pasando por el espacio anular existente entre los dos tubos de la misma, alcanzaba el frente de corte, lavando el testigo entre el borde exterior del portamuelles y dicho frente. Se han empleado baterías de 1,5 y 3 m de longitud, aunque durante cada maniobra nunca se perforaron esas profundida-

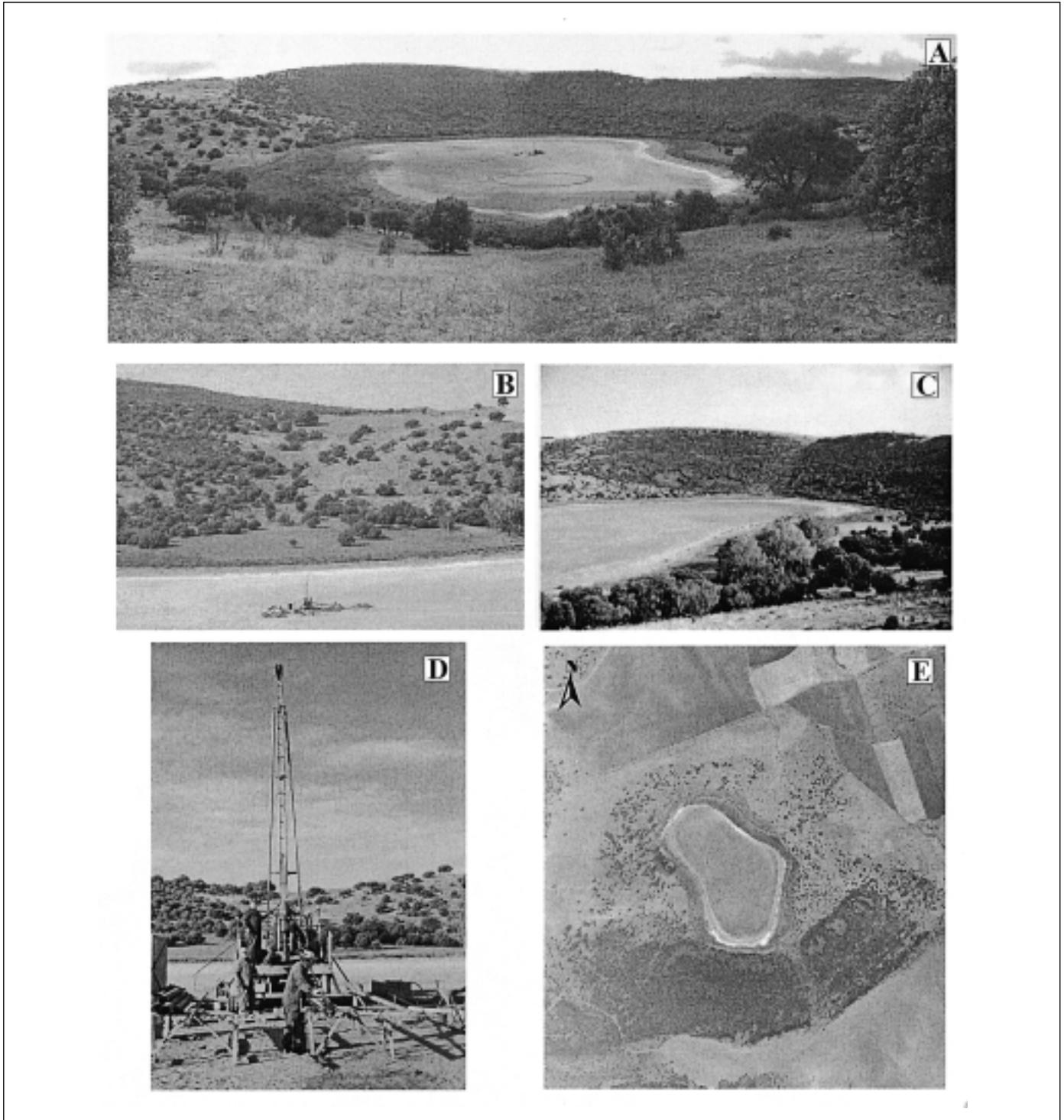


Fig. 3. A. El maar de Fuentillejo; fotografía tomada desde el borde norte hacia el sur, en octubre de 2002. **B.** Vista del borde oeste de la pared desde el fondo del maar. Se puede apreciar uno de los abanicos aluviales y la máquina de perforación, en octubre de 2002. **C.** Otra vista del maar de Fuentillejo; en el fondo la pared sur de cuarcitas (marzo de 1986). **D.** Torre de perforación con los sondistas trabajando con el varillaje, en noviembre de 2002. **E.** Fotografía aérea vertical (vuelo nacional del I.G.N., 1985)

Fig. 3. A. Fuentillejo maar seen from north to south. October 2002. **B.** Maar view from the bottom to the west wall. In the foreground the alluvial fan and the drilling machine, in October 2002. **C.** View of the Fuentillejo maar, showing the south wall of quartzite in the background, in March 1986. **D.** Photograph of the drilling machine. The system uses rotary drilling, with high and low mechanical speed ranges. Chief drill operator and two assistants are operating on the drill rig, in November 2002. **E.** Vertical aerial view (national flight of the I.G.N. of Spain, 1985)

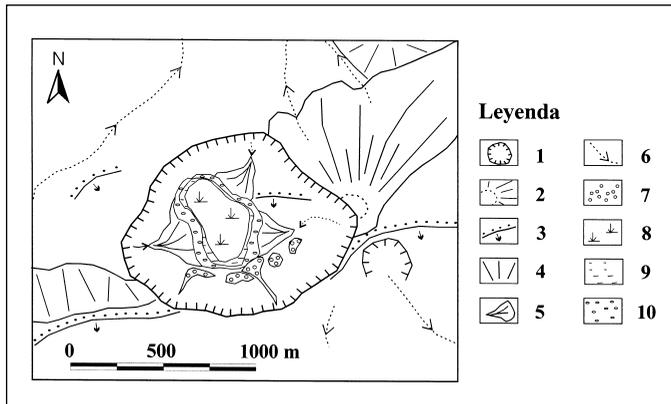


Fig. 4. Esquema geomorfológico del maar de Fuentillejo. Leyenda: (1) Cráter de explosión. (2) Cono volcánico degradado. (3) Resalte en cuarcitas y dirección de inclinación de la capa. (4) Coluviones. (5) Abanicos aluviales. (6) Arroyos con o sin cauces definidos. (7) Canchales no vegetados. (8) Fondo endorreico estacional. (9) Zona litoral lacustre. (10) Zonal litoral lacustre con vegetación de matorral y herbácea

Fig. 4. Geomorphological map. Legend: (1) Explosion crater. (2) Eroded volcanic cone. (3) Scarp in quartzite and direction of dip. (4) Colluvium. (5) Alluvial fans. (6) Streams with or without defined channels. (7) Non vegetated debris lobes. (8) Lacustrine mud flat. (9) Lake shoreline. (10) Lake shoreline with herbs and scrubs

des, con el fin de mantener un margen de seguridad para alojar el posible relleno de fondo (material caído de las paredes del sondeo en los tramos sin revestir) y no comprimir así el testigo obtenido, alterando su textura original.

Al concluir cada maniobra, se extraía del todo la sarta de perforación del sondeo, procediéndose a la recuperación del testigo. Esta operación se efectúa aplicando a la cabeza de la batería agua a presión controlada, que se inyecta mediante la bomba de la sonda hasta que la "barra" de testigo litológico se desprende de la pared interior de la batería y comienza a salir. Con este procedimiento se puede dañar ligeramente el testigo por su parte externa, pero no debe afectar a la textura y estructura del núcleo del cilindro litológico, zona que será utilizada para los análisis y estudios de detalle previstos.

Este sistema de extracción puede producir un lavado excesivo en aquellos materiales de granulometría limosa o arenosa fina, con poca cohesión, sobre todo si estos niveles se hallan próximos a la cabeza de la batería de perforación. Para evitarlo, se deben regular cuidadosamente el caudal y la presión del agua aportado por la bomba y, aun así, es muy posible que en alguna ocasión se haya distorsionado parcialmente su textura. Pese a ello, en el peor de los casos, siempre será posible realizar estudios composicionales y granulométricos sobre el material recuperado.

Seguidamente, con las mismas premisas de trabajo se realizó un segundo sondeo gemelo a FU-1, denominado como Fuentillejo-2 (FU-2) que alcanzó los 96 metros de profundidad. El objetivo de esta nueva perforación fue obtener testigos duplicados, incrementando así la cantidad de material disponible

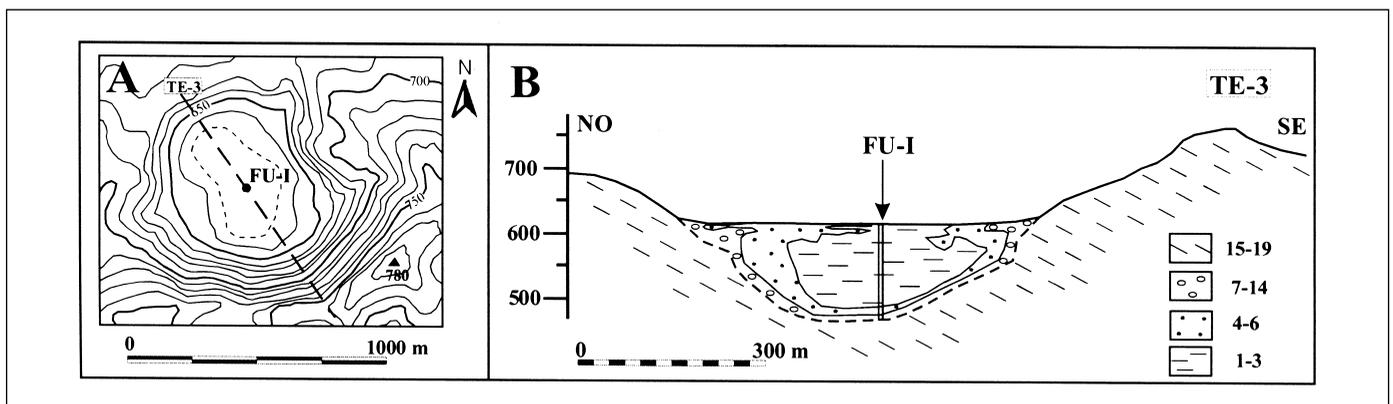


Fig. 5. A. Mapa topográfico (equidistancia entre curvas de nivel: 10 metros). La línea TE-3 indica el trazado del perfil de tomografía eléctrica de dirección NO-SE. El punto FU-1 es la posición del sondeo objeto de estudio. B. Perfil con la reconstrucción del maar de Fuentillejo a partir de los datos de tomografía eléctrica y de la profundidad del sondeo FU-1 (142,40 m). En la leyenda se indican los valores de resistividad (ohm-m) característicos de las diversas facies identificadas. Se observan los límites del cráter (15-19 ohm-m), la progradación de los abanicos desde los bordes (proximal, 7-14 ohm-m; medio-distal, 4-6 ohm-m) y el relleno lacustre sedimentario de menor resistividad (arcillas y sales, 1-3 ohm-m)

Fig. 5. A. Topographical map of the study site with 10 m between contour lines. Line TE-3 is showing the electrical resistivity tomography (ERT) profile, NW-SE direction. FU-1 dot is the borehole location. B. Sketch showing the reconstruction of the Fuentillejo maar from electric resistivity tomography profiles data and FU-1 depth core (142.40 m) evidences. Typical resistivity values (ohm-m) of the different facies are shown in the legend. Crater edges (15-19 ohm-m), fan progradation (proximal, 7-14 ohm-m; distal, 4-6 ohm-m) and the lacustrine deposit of lower resistivity (clays and salts, 1-3 ohm-m)

para los posteriores estudios analíticos y poder completar los segmentos que no se habían recuperado adecuadamente en FU-1.

Operaciones post-sondeo

Gestión de testigos

Una vez fuera de la batería, los testigos se colocaron en cajas portatestigos de material plástico rígido (64 x 44 x 8 cm), en tramos de 0,6 m de longitud máxima, equipadas en su interior con láminas de plástico de color negro, con el fin de envolver los testigos inmediatamente, evitando así su pérdida de humedad y alteración por exposición excesiva a la luz solar. Durante los trabajos de testificación en campo se realizaron descripciones macroscópicas, así como un primer registro fotográfico de los testigos, una vez colocados en las cajas. De este modo, se identificaron las principales facies sedimentarias a partir de las cuales se ha reconstruido una columna estratigráfica preliminar (Fig. 6), que no obstante proporciona un registro litológico continuo representativo de todo el relleno lacustre del maar de Fuentillejo que, en la actualidad, constituye un archivo sedimentario del Cuaternario continental único en la Península Ibérica.

Dentro de las cajas e intercalados entre los tramos de testigo, figuran unas tablillas con las cotas de techo y muro de cada maniobra. Además, en los extremos de cada una de las cajas se han anotado las profundidades de su contenido, que también figuran en las tapas de todas ellas, junto con los datos de localización y denominación de cada sondeo. Las cajas portatestigos completas fueron trasladadas diariamente a un almacén provisional, quedando preservadas de las inclemencias meteorológicas hasta su transporte y almacenamiento definitivo en la Litoteca del IGME en Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba). En esta Litoteca, que gestiona la conservación de muestras de sondeos y exploración geoquímica obtenidas en proyectos de investigación del IGME y de varias empresas en España y otros países, se ha construido una cámara frigorífica donde se guardan los testigos sin humedad, preservados de la luz solar y a una temperatura constante de 4°C, con el objetivo de mantener intactas las propiedades físico-químicas de los sedimentos (Fig. 7).

División del sondeo

Con el fin de efectuar un reconocimiento detallado de las características texturales y estructurales de los

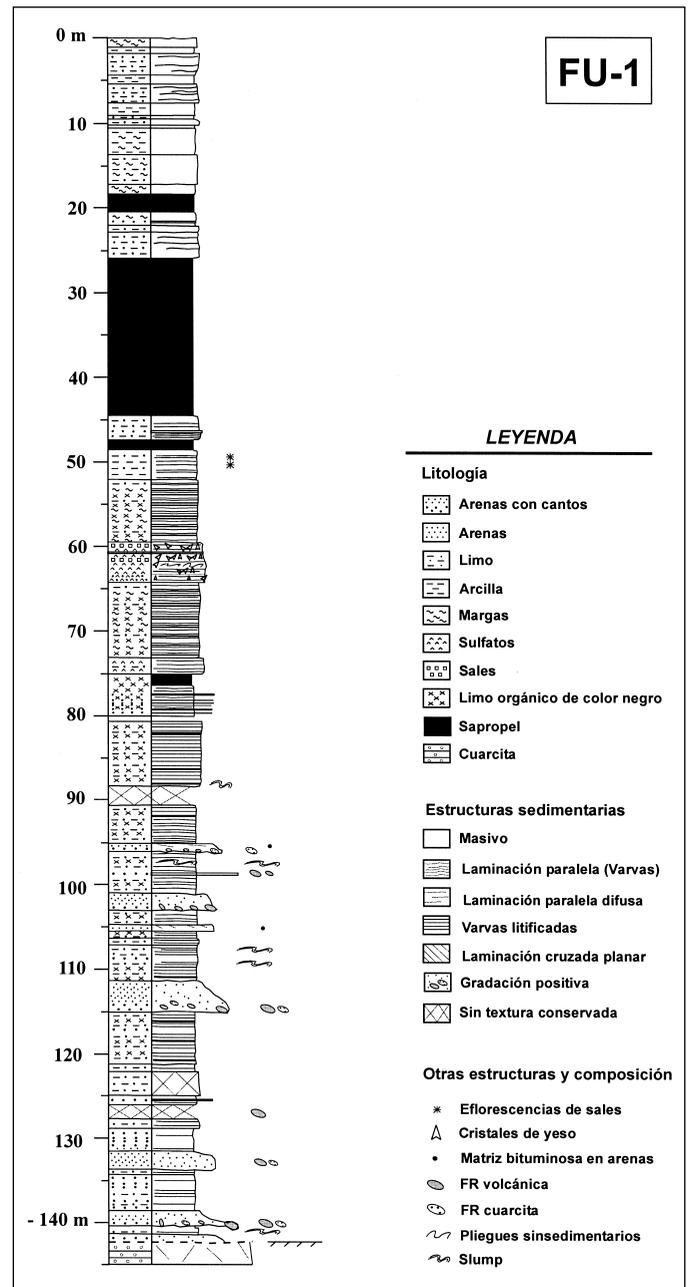


Fig. 6. Columna estratigráfica del relleno sedimentario del maar de Fuentillejo, realizada según la testificación en campo del sondeo FU-1 (142,40 m)

Fig. 6. Stratigraphical log of the Fuentillejo maar lacustrine record according to data obtained from field work (core FU-1, 142.40 m)

materiales perforados y facilitar las tareas de muestreo, se ha procedido a la división longitudinal de los testigos de los sondeos FU-1 y FU-2 en dos mitades. La condición fundamental de este proceso es que debe mantener lo más inalteradas posible las propiedades originales de los sedimentos, de manera que se minimicen su contaminación y distorsión.



Fig. 7. Interior de la cámara frigorífica donde se guardan los testigos de los sondeos FU-1 y FU-2 a una temperatura constante de 4°C. Litoteca del IGME, Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba)
Fig. 7. Cold store for FU-1 and FU-2 cores storage (4°C constant temperature). IGME core-archive, Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba)

Para abordar esta tarea se ha diseñado una guillotina (Vegas *et al.*, 2004) (Fig. 8) basada en el corte electro-osmótico (Chmelik, 1967), modificada a partir del prototipo de Sturm y Matter (1972). Este mecanismo consta de una hoja de acero inoxidable de 120 x 1.100 x 0,5 mm montada sobre una estructura metálica que desliza verticalmente, mediante cuatro rodillos, sobre dos columnas que conforman el armazón exterior fijo. Este dispositivo va atornillado a su vez a una mesa donde se halla el sistema que sujeta el testigo a seccionar (Fig. 8B).

El mecanismo de corte se acciona automáticamente por un pulsador que abre un circuito neumático conectado a dos cilindros de doble efecto (PES 50 a 160 DM). La parada y retroceso del sistema tras el corte se puede efectuar automáticamente, mediante un fin de carrera, o bien de modo manual, pulsando el otro interruptor del cuadro de controles (Fig. 8A).

La cuchilla de corte está conectada al polo negativo de una fuente de alimentación, mientras que su borne positivo se inserta lateralmente en el testigo, mediante ocho clavijas. El objetivo es polarizar los fluidos intersticiales de los sedimentos y forzar su migración por capilaridad hacia la cuchilla (efecto electro-osmótico), que al descender divide el testigo en dos mitades de superficies limpias e inalteradas.

La fuente de alimentación proporciona una corriente continua de hasta 50 V, con una intensidad de 0 a 5 A. Estos parámetros pueden graduarse en función de las características granulométricas y del

grado de humedad del material. A veces es conveniente lubricar la cuchilla mediante agua destilada, para facilitar su penetración en el testigo. Para evitar su disgregación durante el corte, se colocan previamente alrededor del testigo dos semicilindros de PVC de diámetro adecuado, que servirán como soporte definitivo para cada una de las partes seccionadas, facilitando su posterior manejo (Fig. 8B).

Después de realizar estas tareas, una de las mitades del sondeo permanecerá archivada en la cámara de la Litoteca del IGME, como patrón original de referencia, utilizándose únicamente en casos extremos. La otra mitad se empleará para los muestreos correspondientes.

Escala de profundidad y descripción del sondeo

Una vez divididos los testigos, se colocará una escala métrica de profundidad en cada una de las partes del sondeo, marcándose con indicadores los puntos de referencia oportunos. A su vez, se efectuará una descripción estratigráfica más detallada, el siglado de cada uno de los tramos y el muestreo para los estudios de alta resolución. Este proceso y su anotación en la base de datos del proyecto es crítico y de él depende en gran medida el éxito de la investigación. Una escala de profundidad única para el sondeo es de vital importancia para que no surjan problemas, ni discrepancias, entre la profundidad de cada una de las muestras a estudiar.

También es necesario fotografiar una de las superficies frescas. Estas fotografías (tomadas con una cámara digital), que también están incluidas en la base de datos, son muy útiles para documentar cualquier cambio posterior que se produzca en el color y la textura originales.

Investigaciones futuras

La siguiente etapa del proyecto se centrará en la selección y desarrollo de las técnicas analíticas y de estudio apropiadas para este registro lacustre. Un proyecto de estas características requiere la participación de un equipo de investigación multidisciplinar, que estudie y seleccione los indicadores paleoclimáticos y paleoambientales a escala global, regional y local. Las organizaciones participantes involucradas en la actualidad en este programa son: IGME, UCM, Universidad de Alcalá de Henares, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Las principales áreas de investigación son: sedimentología,

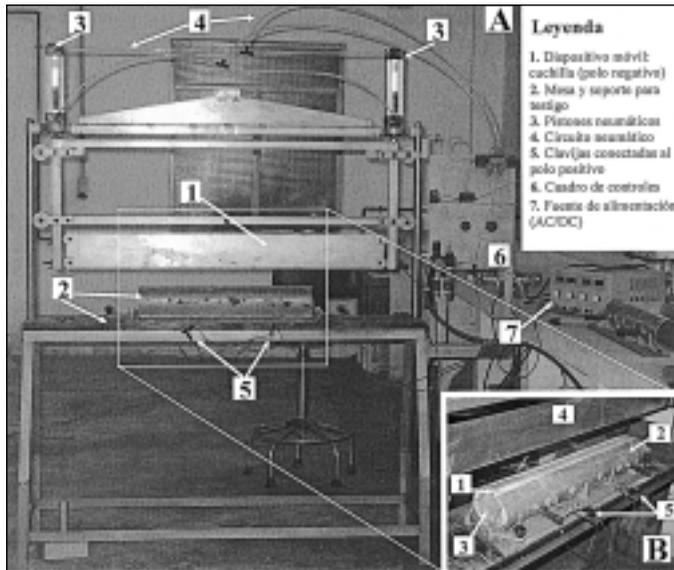


Fig. 8. **A.** Guillotina de corte electro-osmótico para la división longitudinal de los testigos. **B.** Detalle del dispositivo de la guillotina donde se coloca el testigo para el corte electro-osmótico. (1) Tubo de PVC cortado a la mitad. (2) Soporte metálico de la guillotina para la sujeción del testigo durante el corte. En este soporte se insertan las clavijas para la corriente eléctrica de polo positivo (cuatro a cada lado). (3) Testigo. (4) Hoja de acero inoxidable conectada al polo negativo. (5) Clavijas conectadas a la corriente eléctrica de polo positivo. Las secciones del tubo de PVC facilitan el manejo del testigo después del corte longitudinal y evitan disgregaciones. **Fig. 8. A.** *Electro-osmotic guillotine for core cutting. B.* *Detail of the guillotine device which holds the core for the electro-osmotic cut. (1) PVC tube divided in halves. (2) Metallic part which holds the core during the cutting processes. The plugs connected to the positive terminal are placed to the device in this part (four to each side). (3) Core section. (4) Stainless steel blade connected to the negative terminal. (5) Plugs connected to the positive terminal. PVC sections are useful for core manipulation after split and prevent unconsolidated sediment of distortion*

cronoestratigrafía, palinología, geoquímica orgánica, paleoecología de diatomeas, magnetismo ambiental, paleoecología de microfósiles no polínicos, antracología e isótopos estables. Con los resultados que se obtengan se espera obtener una serie de indicadores, índices y análogos climáticos con significado ambiental (*proxy data*).

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a los sondistas Santiago Martínez, Antonio Ortiz y J. Manuel Cortés y al resto del personal del Parque de Maquinaria del MIMAM por su colaboración en este proyecto. Damos las gracias al propietario de la Finca "Las Posadillas" y al personal de servicio de la misma por las facilidades ofrecidas durante los trabajos de campo. La

guillotina ha sido construida en los talleres Iglesias Ortiz, S.L. (Peñarroya-Pueblonuevo, Córdoba). Finalmente, queremos manifestar nuestra gratitud a José Montero y a su equipo por la colaboración prestada durante las operaciones efectuadas en la Litoteca del IGME.

Referencias

- Ancochea, E. 1983. *Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central*. Tesis Doctoral, Editorial Universidad Complutense, Madrid, 675 pp.
- Bonadonna, F.P. y Villa, J.M. 1984. Estudio geocronológico del vulcanismo de las Higuieruelas. I Reunión Estratigrafía Regional Castilla-La Mancha (Albacete). *Espacio y Sociedad*, III, 249-253.
- Büchel, G. 1993. Maars of the Westefel, Germany. En: J.F.K. Negendank y B. Zolitschka (eds.), *Paleolimnology of European Maar Lakes*, Springer-Verlag, 1-13.
- Chmelik, F.B. 1967. Electro-osmotic core cutting. *Marine Geology*, 5, 321-325.
- Colman, S.M. (Ed.). 1995. *Continental Drilling for Paleoclimatic Records*. *PAGES*, 96-4, <http://pages.unibe.ch/products/reports/Contidriill/0toc.html>.
- European Lake Drilling Programme (ELDP) 1997. *An ESF research programme to further the recovery and interpretation of lacustrine paleoclimatic archives*, <http://www.esf.org>
- Gallardo Millán, M.A., Ancochea, E. y Pérez-González, A. 2002. Secuencia magnetoestratigráfica y edad de los materiales volcánicos y sedimentarios de Poblete (Ciudad Real). *Geogaceta*, 32, 35-38.
- Gallardo-Millán, J.L., Gomis, E., Dinarés, J. y Pérez-González, A. 1998. Relación entre las polaridades paleomagnéticas y las edades radiométricas del volcanismo de Campo de Calatrava (Ciudad Real). *Geogaceta*, 22, 59-62.
- Gallardo-Millán, J.L. y Pérez-González, A. 2000. Magnetoestratigrafía del relleno neógeno en las cuencas del Campo de Calatrava (Ciudad Real). *Geotemas*, 1, 101-104.
- Gasse, F., Olfeld, F. y Kroepelin, S. (Eds). 1997. PEP III: The Pole-Ecuador-Pole transect through Europe and Africa. *PAGES Reports* 97-2. <http://www.pages.unibe.ch/products/reports.html>.
- González-Cárdenas, E. 1997. Secuencias eruptivas y formas del relieve en los volcanes del sector oriental del Campo de Calatrava. En: E. González-Cárdenas y J.L. García Rayego (coord.), *Elementos del medio natural en la provincia de Ciudad Real*, UCLM, Tarancón, Cuenca, 161-201.
- González-Cárdenas, E., García, J.L., Gosálvez, R.U., Morales, M. y Peinado, M. 2002. Los geosistemas lagunares de origen volcánico del Campo de Calatrava: Funcionamiento y dinámica reciente. En: A. Pérez-González, J. Vegas y M.J. Machado (eds.), *Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio*. Instituto Geológico y Minero de España - Sociedad Española de Geomorfología, Madrid, 395-403.

- Granda, A., Granda, T., Madrid, A., Granda, A.A., García-Baquero, F., Rodríguez, R y El Charef, E. 2000. *Informe técnico trabajos geofísicos en la laguna de Fuentillejo (Ciudad Real)*. (IGME, Inédito).
- Negendank, J.F.W. y Zolitschka, B. (Eds.). 1993. *Paleolimnology of European Maar Lakes*. Springer-Verlag. 513pp.
- Pérez-González, A., Vegas, J. y García-Cortés, A. 2003. Maar Programme for the Central Spanish Volcanic Field. An initiative for the study of Quaternary climatic change. En: M. Ruiz Zapata, M. Dorado, A. Valdeolillos, M.J. Gil García, T. Bardají, I. de Bustamente y I. Martínez Mendizábal (eds.), *Quaternary Climatic Changes and Environmental Crises in the Mediterranean Region*. Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, 215-219.
- Poblete, M.A. 1995. *El relieve volcánico del Campo de Calatrava (Ciudad Real)*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Gijón, 467 pp.
- Portero, J.M., Ramírez, J.I., Ancochea, E. y Pérez-González, A. 1988. Mapa Geológico de España 1:50.000 (MAGNA). Hoja N° 784 (Ciudad Real). IGME.
- Sturm, M. y Matter, A. 1972. The electro-osmotic guillotine, a new device for core cutting. *Journal of Sedimentary Petrology*, 42 (4), 987-989.
- Vegas, J., Galán de Frutos, L., Pérez-González, A. y García-Cortés, A. 2004. División longitudinal de sondeos de investigación paleoclimática realizados en registros sedimentarios sin consolidar ricos en arcilla. La guillotina de corte electroosmótico del IGME. *Geo-Temas*, 6(5), 161-163.

Recibido: noviembre 2003

Aceptado: octubre 2004