

EL PALEOMAGNETISMO : TECNICAS Y APLICACIONES A SECUENCIAS DE TRAVERTINOS Y DEPOSITOS ASOCIADOS

por R. BAENA ESCUDERO *

RÉSUMÉ : Les principes fondamentaux de la méthode paléomagnétique sont indiqués ainsi que quelques unes de ses applications à l'analyse des matériaux détritiques et carbonatés rencontrés dans les séquences travertineuses et les dépôts associés. La méthode révèle tout son intérêt avec les magnétostratigraphies et magnéto-séquences, ainsi qu'avec l'analyse des intensités et susceptibilités magnétiques obtenues sur les carbonates externes, dépôts détritiques et spéléothèmes.

MOTS CLÉS : Paléomagnétisme, travertins, magnétostratigraphies, magnéto-séquences, spéléothèmes.

I - INTRODUCCIÓN

Basado en la propiedad de las rocas y sedimentos para adquirir y retener las variaciones del campo magnético de la Tierra, el paleomagnetismo ha mostrado ser, desde la década de los 70 con el desarrollo de los magnetómetros de alta sensibilidad y la aplicación de los métodos radiométricos (K/Ar, U/Th, etc.), uno de los medios más útiles para la corrección y datación cronoestratigráfica de secuencias sedimentarias.

Su fundamento radica en las variaciones de intensidad y dirección que, a nivel planetario, registra el campo geomagnético y las cuales fijadas en las grandes estratigrafías permiten establecer escalas temporales de polaridad geomagnética (GPTS). En la actualidad, éstas alcanzan con buen grado de precisión y continuidad estratigráfica los últimos 5-6 M.a., extendiéndose de manera general desde el Mesozoico (J.P. VALET and L. MEYNADIER, 1993 ; S.C. CANDE and D.V. KENT, 1995). A nivel del Cuaternario, dos tipos de secuencias geomagnéticas comienzan a difundirse : de un lado las realizadas en afloramientos con registros estratigráficos continuos o magnetoestratigrafías (J.A. VERA, 1994), y de otro, las que en el ámbito continental se establecen sobre formaciones correlativas de la evolución del modelado en secuencias geomorfológicas de carácter local o regional, denominadas magnetosecuencias (R. BAENA y F. DIAZ DEL OLMO, 1994 ; R. BAENA *et al.*, 1996). En ambas, travertinos y espeleotemas destacan por los buenos resultados obtenidos a partir de la señal paleomagnética contenida en sus pequeñas partículas de origen detrítico o diagenético.

Por su parte las múltiples posibilidades de aplicación a este tipo de formaciones de parámetros magnéticos tales como la intensidad del remanente de magnetización natural (NRM), la susceptibilidad (K), la temperatura de saturación magnética (Tc), etc., en relación con las condiciones de transporte, deposición o transformación de los granos magnéticos, está dando lugar a una nueva especialización en este tipo de estudios denominada magnetismo medioambiental (R. THOMPSON and F. OLDFIELD, 1986 ; J.M. PARÉS, 1995).

II - MÉTODO PALEOMAGNETICO

Su aplicación puede efectuarse, grosso modo, sobre todo sedimento con suficiente cantidad de partículas magnéticas por unidad de volumen analizado (Intensidad, J). El procedimiento se inicia con la toma de muestras orientadas, obtenidas bien mediante perforadores de rocas o blandos (Fig. 1), bien mediante cubos tallados en el sedimento in situ e introducidos en plástico, o también a partir de bloques cortados en el laboratorio. La medida del momento magnético (M) de cada uno de ellos y por tanto, en relación con el volumen, de su intensidad inicial (J0), se efectúa a temperatura ambiente en un magnetómetro de giro, o en un criogénico, en el caso de intensidades muy débiles ($<10^{-4}$ mA/m), obteniéndose la declinación e inclinación inicial del NRM. Igualmente en esta situación puede medirse la susceptibilidad inicial de los especímenes, esto es la respuesta del material (magnetización inducida, Ji) a la aplicación de un pequeño

* Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Facultad de Geografía e Historia. M^a. de Padilla s/n^o. Universidad de Sevilla, 41004 SEVILLA, ESPAÑA.

campo magnético (H) generado por el susceptómetro, lo que permite clasificarlos como : diamagnéticos ($K < 0$) si J_i es de sentido opuesto al campo aplicado e independiente de la temperatura, siendo su dimensión del orden de -10^{-6} u SI ; paramagnéticos ($K > 0$) cuando exhiben un valor de K débil pero positivo al adquirir una J_i paralela al sentido de H del que se muestra linealmente dependiente ; y ferromagnéticos ($K \gg 1$) en aquellas sustancias que cuentan con una magnetización permanente y cuya J_i se incrementa de manera no constante hasta su saturación (J_s), convirtiéndose el material en paramagnético. A partir de aquí se inicia el limpiado progresivo de la señal magnética o desmagnetización, bien mediante campos alternos (Af), bien térmica (Th) o con nitrógeno líquido ; repitiéndose en cada paso el procedimiento de medida de las componentes direccionales del vector J hasta alcanzar la dirección característica del remanente de magnetización (Ch_{RM}) que define la componente inicial del campo geomagnético deposicional del sedimento. Esto último se evalúa mediante diagramas ortogonales o estereográficos de desmagnetización (J.D.A. ZIJDERVELD, 1967).

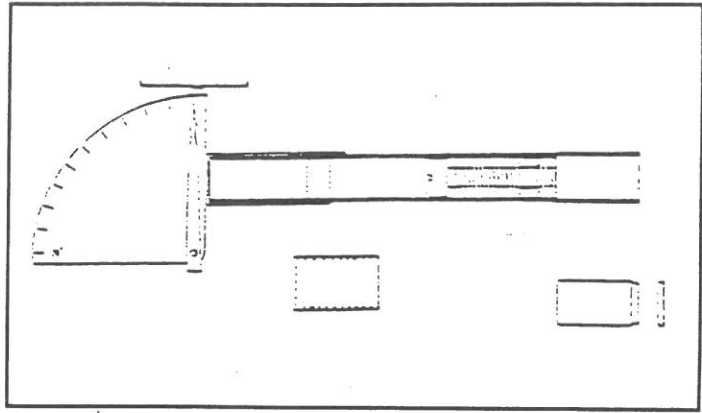


Figura 1 - Extractor de muestras blandas CODRIBA-a.

III - PALEOMAGNETISMO Y TRAVERTINOS : CARACTERISTICAS Y ALCANCE METODOLOGICO

Al objeto de este trabajo, tres son las cuestiones con las que queremos poner de manifiesto el alcance del método paleomagnético. A saber :

1. Magnetoestratigrafías, micromagnetoestratigrafías y magnetosecuencias

Las primeras representan el modo clásico de estudio de las características magnéticas de cualquier roca estratificada, estableciéndose su aplicación sobre registros continuos de cara a su correlación estratigráfica, datación geocronológica, o estudio de facies y minerales. En nuestro caso su utilización en el travertino del Puerto de los Martínez (R. BAENA *et al.* en este vol.), con 8 estaciones sobre un total de 10,2 m de potencia, recoge un cambio de polaridad que se muestra progresivo, aún cuando sin alcanzar la inversión completa de los valores de D entre ambas magnetozonas. De los resultados obtenidos destacan por su mala calidad los correspondientes a las muestras diamagnéticas y paramagnéticas ($K_0 < 5 \times 10^{-6}$ u SI) de menor intensidad ($J_0 < 0,4$ mA/m).

En cuanto a las denominadas por nosotros micromagnetoestratigrafías, pretenden abordar variaciones geomagnética que no suponen cambios de polaridad, esto es con periodicidad entre 1 y 10^5 años, para lo cual su análisis se efectúa sobre cuerpos sedimentarios de carácter homogéneo desde un punto de vista de litofacies, estableciendo al menos una estación de muestreo por cada 50 cm o menos de depósito. Se obtienen de este modo interesantes variaciones geomagnéticas seculares, sobre todo a nivel de declinación, con ciclos de deriva completos entre declinaciones E y W para rangos temporales entre 1.000 y 1.500 años (BAENA *et al.*, en este vol.).

Por último las magnetosecuencias pretenden soslayar, en el caso de los travertinos, pero igualmente en el de otros muchos ambientes deposicionales (lacustres, fluviales, etc.), la ausencia de registros estratigráficos continuos en el ámbito continental. Para ello el muestreo paleomagnético se efectúa de manera sistemática sobre las formaciones correlativas de los distintos episodios geomorfológicos, intentando detectar intervalos geomagnéticos de polaridad de dimensión temporal apreciable (épocas y eventos), al tiempo que se realiza una interpretación paleoambiental del registro paleomagnético que contienen. Así en el caso de los travertinos de Jorox (R. BAENA *et al.*, en este vol.), la existencia de fases de incisión, karstificación y desmantelamientos de relieves que interrumpen los episodios de sedimentación carbonatada de los travertinos dando lugar a un dispositivo escalonado de los mismos, dificultan la posible correlación de las magnetozonas detectadas con la GPTS. Sin embargo, el comportamiento de las intensidades a lo largo de la magnetosecuencia refleja cambios ambientales de interés, con valores bajos y medio-bajos (entre 0,1 y 1,3 mA/m), para las formaciones carbonatadas constituidas durante los óptimos climáticos ; frente a las intensidades altas (entre 3,2 y 14,5 mA/m) que acompañan a las formaciones detríticas correlativas de fases rhexistásicas y arrastres de paleosuelos.

2. Intensidad en carbonatos externos y depósitos detríticos

Su valor esta condicionado tanto por la fuerza del campo magnético terrestre durante el momento de la deposición del sedimento, como por el contenido en material magnético de éste en relación con el volumen analizado. La dificultad en la determinación del primero de ellos nos lleva a valorar indirectamente la paleointensidad de las muestras mediante la normalización de su NRM inicial en relación con la susceptibilidad a bajo campo. Ello permite establecer una primera aproximación al comportamiento magnético de los carbonatos externos y sus depósitos detríticos asociados. Los primeros siempre diamagnéticos o paramagnéticos (K_0 entre -15 y 20×10^{-6} u SI), se caracterizan por sus intensidades medias-bajas (< 4 mA/m); mientras que los segundos, integrados por arcillas, limos y arenas finas, se muestran siempre, en relación con los anteriores, en terminos de mayor susceptibilidad (para y ferromagnéticos) e intensidad magnética (Fig. 2).

3. Problemática de los espeleotemas (en travertinos y en cavidades)

Su comportamiento, siguiendo la normalización de sus intensidades (Fig. 2), es de lo mas variado pudiendo presentar tanto valores de K propios de sustancias diamagnéticas, como paramagnéticas o ferromagnéticas en función del contenido en pequeñas partículas magnéticas detríticas, fundamentalmente existentes en terra-rossa e incorporadas en sus cristales y/o poros. No obstante pueden ser diferenciados los espeleotemas resultantes de la karstificación de los travertinos o generados en cavidades con facies cristalinas laminadas y tonalidades blanquecinas de aquellos otros integrados por grandes cristales de calcita (0,5-1 cm) y tonalidades rojizas, debido a la menor cantidad de residuo de la descalcificación que contienen los primeros. Esto les confiere un comportamiento diamagnético ($K < -10 \times 10^{-6}$ SI) frente al ferromagnético de los segundos (K de 10 a 600×10^{-6} SI), con intensidades menores (del orden de $0,1$ mA/m) y presencia de minerales como goetita y sulfuros de hierro responsables de la componente de baja temperatura en su desmagnetización, junto a otros como magnetita y hematites que contienen la señal magnética a altas temperaturas en ambos tipos de espeleotemas.

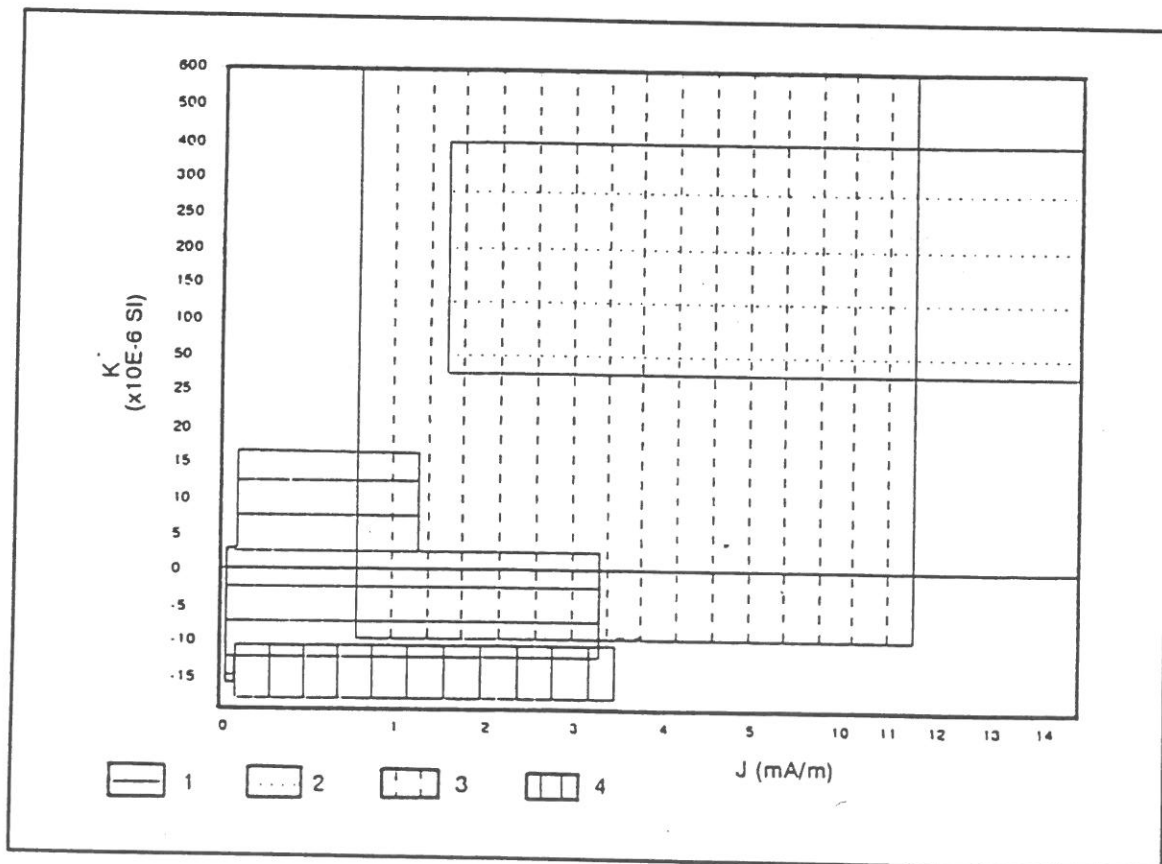


Figura 2 - Normalización del NRM inicial en relación con la susceptibilidad a bajo campo.

1. resultados en travertinos.
2. Resultados en arcillas, limos y arenas finas.
3. Espeleotemas con terra-rossa incorporada.
4. Espeleotemas en travertinos.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a los Dr. J.M^a. Parés y J. Dinarés del Lab. de Paleomagnetismo Jaume Almera (CSIC, Barcelona, España).

Este trabajo es una contribución al Programa Picasso (1995-96) (Acciones Integradas, 289B y 316B) y a los Proyectos DGICYT PS93-0105, UR93-0098 y UR95-0073.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAENA R. y DÍAZ DEL OLMO F. - 1994. Cuaternario aluvial de la depresión del Guadalquivir : episodios geomorfológicos y cronología paleomagnética. *Geogaceta*, 15 : 102-104.
- BAENA R., DELANNOY J.J. y DÍAZ DEL OLMO F. - 1996. Geomorfología y paleomagnetismo : magnetosecuencia del Neógeno-Cuaternario en las cordilleras Béticas (Málaga, España). *Dinámica y evolución de medios Cuaternarios*. A. Pérez Alberti, P. Martini, W. Chesworth y A. Martínez Cortizas (Eds.) Santiago de Compostela, pp. 203-217.
- CANDE S.C. and KENT D.V. - 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 100 : 6093-6095.
- PARÉS J.M^a. - 1995. Paleomagnetismo y magnetismo medioambiental en el Cuaternario. *Ponencia Mesa redonda IX Reunión Nacional sobre Cuaternario*. Madrid, pp.1-5.
- TOOMPSON R. and OLDFIELD, R. - 1986. *Environmental magnetism*. Allen and Unwin, London, 227 pp.
- VALET J.P. and MEYNADIER L. - 1993. Geomagnetic field intensity and reversals during the past four million years. *Nature*, vol. 366 : 234-242.
- ZIJDERVELD, J.D.A. - 1967. Desmagnetización of rocks : analysis of results. In D.W. Collison, K.M. Creer and S.K. Runcorn (Eds.), *Methods in Paleomagnetism*. Elsevier, New York, pp. 254-286.