

Análisis de paleocorrientes en la unidad de Arroyofrío (Calloviense-Oxfordiense; Cordillera Ibérica) por medio de análisis de imágenes de lámina delgada y Anisotropía de Susceptibilidad Magnética (ASM). Datos preliminares

Paleocurrent analysis in Arroyofrío beds (Callovian-Oxfordian; Iberian Range) by means of thin section image analysis and Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS). Preliminary data

Óscar Pueyo Anchuela, Andrés Gil Imaz, Javier Ramajo Cordero y Guillermo Meléndez Hevia

⁽¹⁾ Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, nº 12. CP. 50.009 Zaragoza. opueyo@unizar.es; agil@unizar.es; ramajo@unizar.es; gmelende@unizar.es

ABSTRACT

The Arroyofrío bed (Oxfordian-Callovian) from NE Iberian Chain represents a sedimentary shallow marine deposit with iron oolites. The paleogeographic model shows two possible paleocurrent directions: i) normal to the Ejulve-Maestrazgo emerged area or ii) parallel to the shore line. Different techniques have been applied to analyze paleocurrents in different environments. AMS analysis together with thin section image analysis is developed to test the application of AMS to unravel the sedimentary imprint linked to tractive currents. The obtained results show a general parallelism between magnetic lineation and oolite arrangement analyzed from thin sections. The obtained results show an imbricated oolite pattern compatible with a paleocurrent direction N020-040°E.

Key words: AMS, iron oolites, Iberian Range, paleocurrent analysis, thin section image analysis.

Geogaceta, 49 (2010), 99-102
ISSN: 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2010
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2010
Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2010

Introducción

La presencia de una ordenación preferente de partículas asociada al proceso de sedimentación, puede parecer directo cuando se analizan series estratigráficas donde la grano-clasificación, la laminación paralela a la superficie de sedimentación y la ordenación preferente de partículas compatibles con corrientes tractivas son evidentes incluso a escala de afloramiento.

Los estudios en los casos de granulometrías de tamaño de grano medio-alto, como puede ocurrir en niveles de gravas fluviales, suponen una orientación preferente estadística de los cantos según distintos modelos de relación con la corriente a(t) b(i) o a(i) b(t).

El estudio de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética ha sido utilizado en numerosos trabajos para la identificación de ordenaciones preferentes de partículas (petrofábrica) asociadas a procesos deformativos o sedimentarios. La

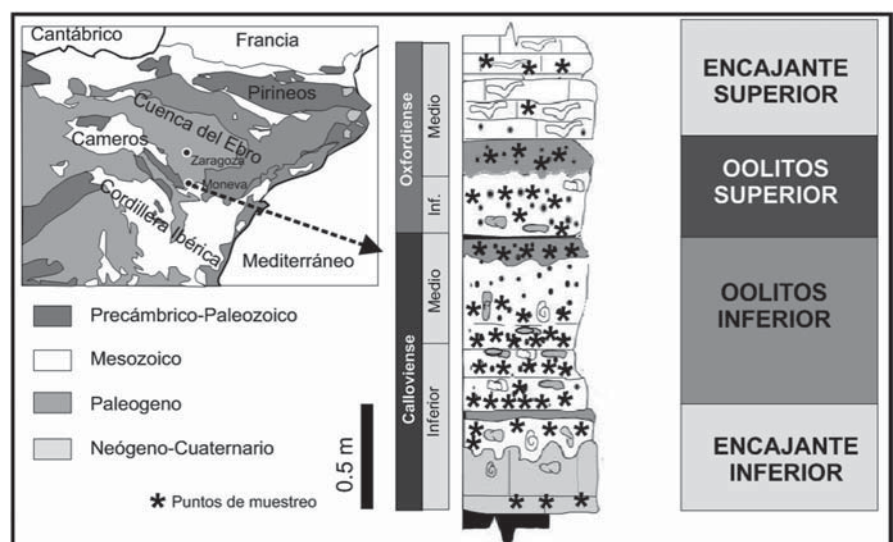


Fig. 1.- Situación geológica de la zona de estudio (Moneva, Cordillera Ibérica). Columna estratigráfica del intervalo estudiado indicando los puntos de muestreo y unidades definidas en este trabajo.

Fig.1.-Geological context of the studied area (Moneva, Iberian Chain),log of the recorded section showing the sampling points stratigraphic column, sampling points and defined levels.

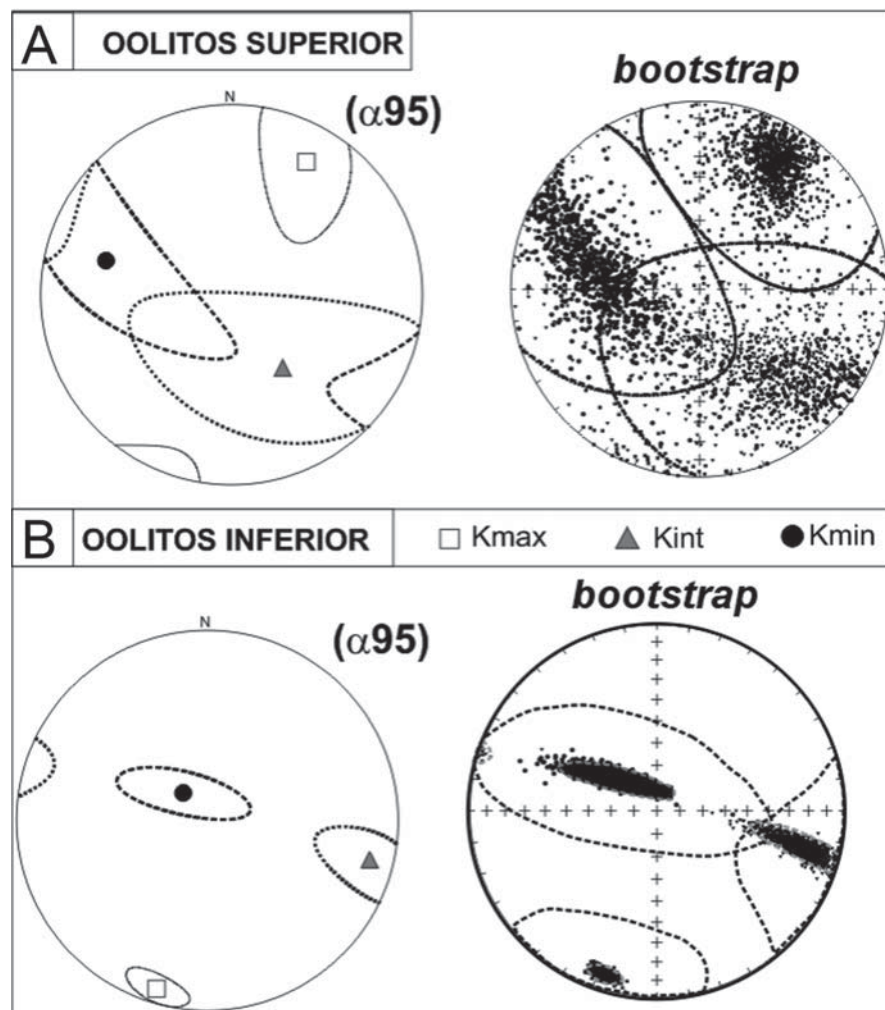


Fig. 2.- Distribución de conos de fiabilidad del 95% para las muestras analizadas y bootstrap paramétrico para el nivel de oolitos (A) superior y (B) inferior.

Fig. 2.- 95% fiability distribution cones for the analyzed samples and parametric for (A) upper and (B) lower oolite unit.

El modelo regional evolutivo plantea un área fuente temporalmente emergida situada en el sector meridional de la Cuenca (área del Alto de Ejulve – Maestrazgo) donde los oolitos ferruginosos serían arrastrados por corrientes de alta energía (principalmente tormentas), y redistribuidos en áreas periféricas someras bordeando el alto paleogeográfico. (Ramajo 2006).

Las paleocorrientes de los depósitos podrían registrar o bien la distribución con respecto al área fuente o la redistribución a lo largo de la cuenca occidental del Tethys a través de corrientes con una disposición general paralela a la costa. El muestreo se ha realizado a lo largo de un afloramiento localizado en las proximidades de la localidad de Moneva (Fig. 1). Las muestras obtenidas para su análisis se han agrupado en función de variaciones sedimentológicas y estratigráficas (Fig. 1) en: encajante inferior, nivel de oolitos inferior de edad Calloviense, nivel de oolitos superior de edad Oxfordiense y encajante superior.

Metodología

La ASM se ha determinado a partir de un puente de susceptibilidad KLY3-s (Agico) y las curvas de variación de la susceptibilidad con la temperatura se han determinado por medio de un horno CS-2.

El tratamiento de los datos ha consistido en la representación estereográfica de los ejes del elipsoide de susceptibilidad magnética (K1, K2 y K3) para los ejes máximo, intermedio y mínimo. Por otro lado se ha realizado el análisis estadístico de los datos (bootstrap paramétrico) siguiendo la metodología de Constable y Tauxe, (1990) y Tauxe *et al.*, (1998).

Se han realizado curvas de variación de la susceptibilidad con la temperatura (calentamiento y enfriamiento) para el intervalo entre 25 y 700 °C. A partir de estas curvas se ha determinado las temperaturas de desbloqueo para distintas fases minerales y la contribución ferromagnética a la susceptibilidad (para el intervalo de 25 a 200°C).

El análisis de imagen de las láminas delgadas se ha realizado a través de los programas informáticos Image-J e Intercepts (Launeau y Robin, 1996).

Resultados

Fábrica magnética

La fábrica magnética obtenida muestra una distribución general de tipo

aplicación de la ASM con el objetivo de identificar paleocorrientes (ver Parés *et al.*, 2007 y citas) muestra, de igual forma que en depósitos sedimentarios, diferentes relaciones espaciales entre el elipsoide de la ASM y la dirección de paleocorrientes (e.g. Tauxe, 1998).

En este trabajo se analiza, a modo de campaña piloto, la sensibilidad de la ASM para determinar dirección y sentido de paleocorrientes en una unidad con un marcador claro en afloramiento: la orientación preferente de los oolitos ferruginosos. El objetivo es analizar la aplicabilidad de la técnica de forma sistemática a lo largo de distintas zonas para el análisis paleogeográfico de sector occidental del Tethys durante el intervalo Jurásico Medio-Superior.

El estudio se contrasta con el análisis de imágenes de lámina delgada (por ejemplo Archanjo *et al.*, 2002) a través de los programas informáticos Image-J

(Wayne Rasband, Health, USA) e Intercepts (Launeau y Robin, 1996).

Contexto Geológico

En la Cordillera Ibérica, el intervalo Calloviense-Oxfordiense (Jurásico Medio-Superior) se encuentra representado por una serie condensada donde predominan restos fósiles (principalmente ammonioideos, belemnites y braquiópodos) y oolitos ferruginosos (Capa de oolitos ferruginosos de Arroyofrío; Gómez y Goy, 1979). Las características sedimentológicas de esta unidad indican un origen submarino en condiciones submareales someras y sedimentación por encima del nivel de base de tormentas (Ramajo 2006). Por su parte, los datos tafonómicos de las asociaciones de ammonites indican que las discontinuidades existentes entre los distintos niveles corresponden a intervalos prolongados de exposición subaérea de la plataforma (Meléndez *et al.*, 2007)

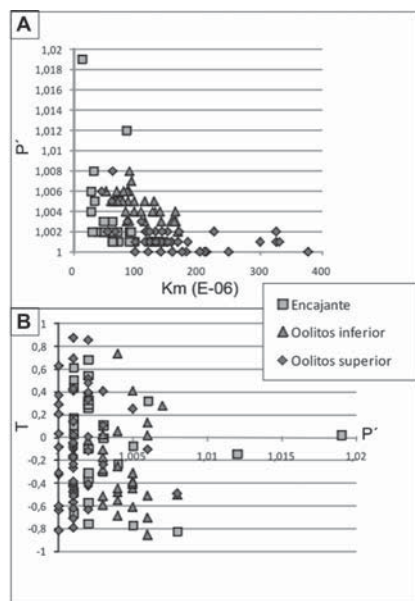


Fig. 3.-Gráficos de (A) susceptibilidad media frente al grado de anisotropía corregida P' y (B) parámetro de forma frente al grado de anisotropía corregida (T vs. P').

Fig. 3.-Plots of (A) mean susceptibility against corrected degree of anisotropy P' and (B) shape parameter against corrected degree of anisotropy (T vs. P').

triaxial (Fig. 2) pero configurada por elipsoides discretos con una amplia distribución de morfologías (Fig. 3; definición de parámetros de Jelinek, 1981). En el caso del nivel de oolitos inferior se identifica una distribución principal de tipo prolato a triaxial.

La orientación preferente de la lineación magnética (concentración de los ejes largos del elipsoide de susceptibilidad siguiendo estadística de Jelinek, 1978) muestra, para los niveles oolíticos muestreados, una orientación preferente NNE-SSW. En el caso del nivel inferior la inmersión de la lineación magnética muestra una distribución concentrada y sentido SSW (Fig. 2B), mientras que en el caso del nivel superior existe una mayor dispersión y el eje del cono α_{95} presenta una orientación NNE (Fig. 2A).

Los modelos de bootstrap paramétrico realizados (Fig. 2) presentan resultados similares a la concentración analizada para el α_{95} de Jelinek (1979).

Sin embargo para el nivel superior existe un solapamiento de los conos de distribución de los eigen-vectores que no permite su discriminación efectiva.

Mineralogía magnética

Las curvas de variación de la susceptibilidad magnética con la temperatura (curvas de calentamiento y enfriamiento entre los 25 y 700°C bajo atmósfera de

Argón) muestran bajos descensos para el intervalo de 25 a 200°C (intervalo analizado para el ajuste de hipérbolas de contribución paramagnética: Fig. 4A). La contribución cuantificada para el grupo de muestras analizadas muestra altos valores de la contribución ferromagnética a la susceptibilidad con valores entre el 58 y el 95%.

Los aspectos más significativos de estas curvas (Fig. 4) consisten en la presencia de un pico de incremento de la susceptibilidad en el entorno de los 500°C y mantenimiento de susceptibilidad (valores entre el 25 y 35% de la susceptibilidad inicial) hasta temperaturas próximas a los 700°C. Las curvas de susceptibilidad de enfriamiento posterior muestran patrones muy similares con un pico desarrollado en el entorno de los 500°C (ligemente a menor temperatura que en las curvas de calentamiento).

Los resultados obtenidos son compatibles con la presencia de magnetita con variación del tamaño de grano, en algunos casos incluso de tipo bimodal. La contribución de tamaño de grano compatible con el desarrollo del efecto Hopkinson es dominante (habitual en magnetitas de tipo SD). Por otro lado la presencia de susceptibilidad hasta temperaturas próximas a los 700°C es compatible con la presencia de hematitas en las muestras. Estos resultados son compatibles con los obtenidos por Ramajo y Galé (2009) para análisis químicos de muestras del mismo afloramiento estudiado.

Análisis de imágenes

Se han seleccionado dos grupos de muestras para el análisis de láminas delgadas coincidentes con las dos unidades de oolitos definidas. El análisis se ha realizado a través del ajuste a geometrías elípticas de los oolitos presentes. Las láminas delgadas se han realizado directamente sobre las muestras obtenidas para el estudio de la ASM. Sobre cada lámina se ha realizado la proyección de la lineación magnética de la misma muestra estudiada, con el objetivo de comparar la orientación preferente de elementos elípticos y de orientación del eje largo del elipsoide de susceptibilidad de la misma muestra. Los resultados obtenidos muestran un paralelismo general entre la orientación de la lineación magnética y la orientación preferente obtenida del estudio de láminas delgadas. Sin embargo, la definición de la anisotropía de orientación varía de unas láminas a otras.

Con este objetivo se han realizado análisis parciales dentro de las láminas dependiendo de la posición de los oolitos:

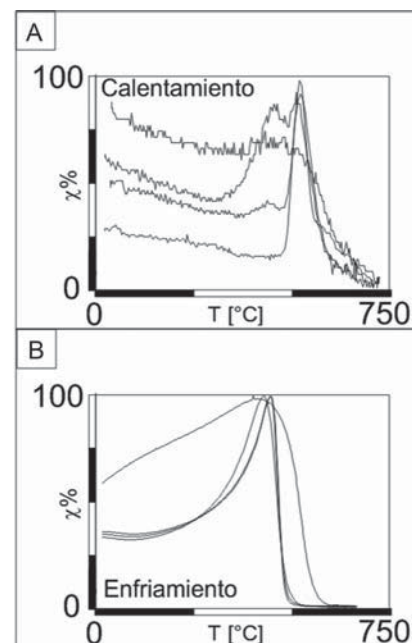


Fig. 4.- Curvas de variación de la susceptibilidad con la temperatura para muestras procedentes de los niveles oolíticos estudiados para (A) temperaturas crecientes y (B) decrecientes.

Fig. 4.- Distribution curves of susceptibility variation with temperature for the oolite unit samples (A) increasing and (B) decreasing temperature.

oolitos en el interior de fósiles, bordeando éstos (zonas de sombra) y oolitos aislados (tanto granosostenidos como no granosostenidos: Fig. 5).

En el caso de oolitos en el interior de fósiles o adaptados a éstos, la definición es mucho menor y la imagen del análisis de lámina delgada obtenida muestra una mayor isotropía.

El análisis comparado de los resultados muestra que la definición de la orientación preferente de los oolitos y la mayor coincidencia con los datos obtenidos de la ASM se produce para agrupaciones de oolitos granosostenidos.

Discusión y Conclusiones

El análisis comparado de la orientación preferente de partículas inferido a partir de la ASM y del estudio de la orientación preferente de partículas elípticas (oolitos), muestra una buena correlación en el afloramiento estudiado. Sin embargo, algunas de las muestras estudiadas presentan una baja definición de la fábrica magnética que se asocia a muestras con valores bajos de susceptibilidad media o con los mayores desarrollos del efecto Hopkinson en las curvas KT. Por otro lado y como muestran los análisis de imágenes de lámina delgada, en algunas de las muestras, o zonas de láminas, no exis-

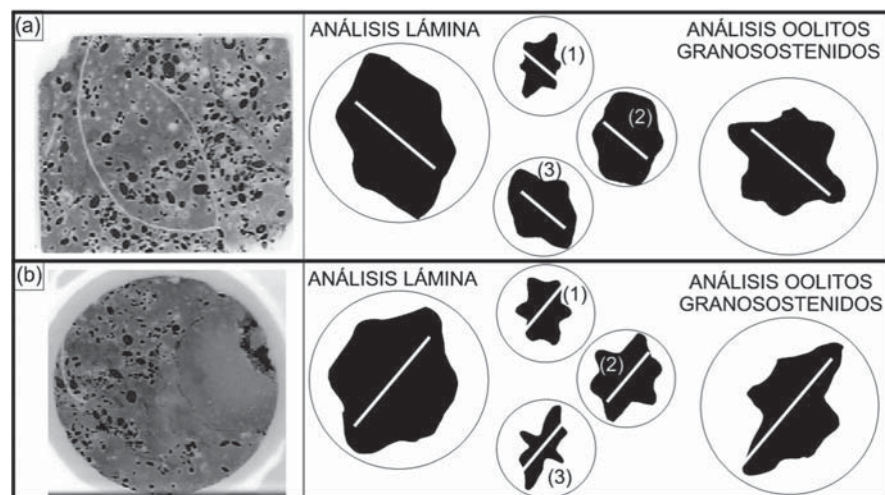


Fig. 5.- Principales resultados obtenidos del análisis de imágenes para dos secciones del nivel de oolitos inferior (A y B) y distintos sectores de estudio: análisis total de la lámina, (1) oolitos en el interior de fósiles, (2) zonas de sombra asociados a fósiles, (3) oolitos no granosostenidos y análisis de oolitos granosostenidos. La línea blanca representa la proyección de la lineación magnética sobre la superficie de estudio.

Fig.5.- Main results obtained from the thin section analysis for two sections from the lower oolitic unit (A and B) and different study sectors: whole thin section analysis, (1) oolites in fossils, (2) oolites surrounding fossils (shadow zones) (3) non grain supported oolites and grain supported oolites. White line represents magnetic lineation projection over analyzed section.

te una orientación preferente de los oolitos.

El análisis de imagen realizado en el nivel superior también muestra una menor definición de la orientación preferente asociada a una textura menos granosostenida.

Por otro lado, además de la influencia de la mayor o menor clasificación y ordenación preferente de oolitos en los niveles analizados, las variaciones de la mineralogía ferromagnética presente en las muestras puede ser otro aspecto que afecta a la concentración de las fábricas sobre todo en el nivel superior de oolitos estudiado. Sin embargo esta variación no se debe únicamente al cambio del nivel analizado.

El análisis de láminas delgadas en este momento se ha realizado en muestras que presentaban una orientación de la lineación magnética compatible con el modelo general de la ASM para el afloramiento estudiado. Sin embargo, algunas de las muestras presentan aparentes intercambios de ejes (la distribución del elipsoide de susceptibilidad de una determinada muestra presenta sus ejes distribuidos en los α_{95} del modelo a escala de afloramiento pero con sus ejes intercambiados (K1- K3 o K2- K3).

La comparación entre los resultados obtenidos en los niveles oolíticos y el encajante no muestra correlación en

orientación de la fábrica magnética. Por otro lado, la orientación preferente identificada no coincide con las direcciones tectónicas compresivas locales o regionales.

La fábrica magnética obtenida en los niveles de oolitos muestra un claro patrón triaxial con orientación principal de la lineación magnética NNE-SSW. La disposición de la lineación magnética, con una orientación SSW, es compatible con un modelo de imbricación de partículas en sentido contrario a la corriente a(i) b(t). Esta disposición mostraría una dirección y sentido de la corriente de orientación N20E a N40E, lo cual estaría de acuerdo con el modelo postulado por Ramajo (2006) de paleocorriente perpendicular al alto paleogeográfico de Ejulve-Maestrazgo situado al S de la zona de estudio.

Por otro lado en los estudios de lámina delgada se identifica la presencia de una segunda orientación perpendicular a la principal, y que se identifica en algunas de las muestras analizadas mediante ASM. Esta orientación es compatible tanto con las corrientes postuladas como paralelas a la línea de costa, intercambios de ejes en la ASM asociadas a variaciones mineralógicas como con la impronta de procesos de deformacionales posteriores a la sedimentación. Los resultados obtenidos plantean la posibi-

lidad de la aplicación sistemática de la técnica de la ASM para la identificación de paleocorrientes dentro de la capa de Arroyofrío. Aunque existen variaciones en la definición y orientación de la anisotropía a escala de muestra o de sector de lámina delgada analizada, el análisis estadístico a escala de estación muestra un paralelismo entre la lineación magnética y la orientación preferente de oolitos, al menos en el nivel inferior asociable a una corriente de mayor energía. Esta correlación permitiría la aplicación regional de la metodología utilizada para la reconstrucción paleogeográfica de la cuenca occidental del Tethys durante el intervalo Calloviense-Oxfordiense.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto GLC 2008-01273/BTE (MICIIN) y el Grupo de investigación Geotransfer. Los autores quieren agradecer los comentarios y sugerencias realizadas a la primera versión de este trabajo por la Dra. Fátima Martín y un revisor anónimo.

Referencias

- Archanjo, C.J., Araújo, M.G.S., y Launeau, P. (2002). *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 107, B3.
- Constable, C.G. y Tauxe, L. (1990). *Journal of Geophysical Research*, 95, 8383-8395
- Gómez, J.J. y Goy, A. (1979). *Estudios Geológicos*, 35, 17-57
- Jelinek, V. (1981). *Tectonophysics*, 70 (3-4), 63-67
- Jelinek, V. (1978). *Studia Geographica and Geodetica*, 22, 50-62
- Launeau, P. y Robin, P.Y. (1996) *Tectonophysics*, 267, 91-119.
- Meléndez, G., Ramajo, J., Bello, J. y Page, K. (2007). *Journal of Iberian Geology*, 33 (2), 261-282
- Parès, J.M., Hassold, N.J.C., Rea, D.K. y van der Pluijm, B. (2007). *Marine Geology*, 242 (4), 261-269
- Ramajo, J. (2006). *Evolución Sedimentaria del Calloviense-Oxfordiense en el Sector Central de la Cordillera Ibérica (Rama Aragonesa)*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 405 p.
- Ramajo Cordero, J. y Galé Bornao C. (2009). *Teruel*, 92 (I), 29-66
- Tauxe, L. (1998) *Paleomagnetic principles and practice*. Kluwer Academic Publishers, 311p.