

Nuevos datos magnetoestratigráficos del tránsito Oligoceno-Mioceno en el sector SE de la Cuenca del Ebro (provincias de Lleida, Zaragoza y Huesca, NE de España)

New data on the Magnetostratigraphy of the Oligocene-Miocene alluvial-lacustrine successions in the Mequinenza area (SE Ebro Basin, NE Spain)

E. GOMIS COLL⁽¹⁾, J.M. PARÉS^{(1)*} y L. CABRERA⁽²⁾

(1) Instituto de Ciencias de la Tierra: Jaume Almera. CSIC. C/ Solé i Sabarís s/n. E-08028 Barcelona

*(2) Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques, Departament d' Estratigrafia i Paleontologia,
Universitat de Barcelona, Zona Universitària Campus de Pedralbes, E-08028 Barcelona. e mail: lluis@natura.geo.ub.es*

**Actualmente en: Department of Geological Sciences, University of Michigan, 2534 C.C.
Little Building, Ann Arbor, Michigan 48109-1063. e-mail: jmpares@umich.edu*

RESUMEN

A partir de la obtención del registro de la polaridad magnética en los sedimentos aluviales y lacustres pertenecientes a dos secciones del SE de la Cuenca del Ebro (Mina Pilar y Valcuerna, situadas en el Valle del Ebro, cerca de la población de Mequinenza), se ha realizado una correlación magnetobioestratigráfica con el objetivo de precisar el tránsito Oligoceno-Mioceno establecido anteriormente en este sector de la cuenca. Para ello se realizó un muestreo paleomagnético de las dos sucesiones elegidas y, posteriormente, se desmagnetizaron, térmicamente o por campos alternantes, un mínimo de dos especímenes por estación de muestreo, para determinar la polaridad magnética de cada estación. Los resultados obtenidos permitieron complementar la sección de Torrente de Cinca anteriormente estudiada, realizar una correlación con la ETPG (Escala Temporal de Polaridad Geomagnética) y datar las sucesiones elegidas.

Palabras clave: Magnetoestratigrafía. Oligoceno superior. Mioceno inferior. Cuenca del Ebro.

ABSTRACT

The study of two late Oligocene-early Miocene stratigraphic sections of alluvial and shallow lacustrine facies in the SE Ebro Basin has enabled the establishment of a high-resolution magnetostratigraphy for the Oligocene-Miocene boundary. The studied samples include alluvial sandstones and mudstones as well as shallow lacustrine limestones. A total of 121 stratigraphic levels, with an

average sample spacing of ~2.5 m, were sampled in two sections, using a portable gasoline powered drill machine. Core samples were cut in the laboratory into two or three standard specimens of 2.54 cm diameter X 2.1 cm in length. A minimum of two specimens per site were thermally or AF demagnetized in 8-9 steps at intervals of 50°C or 30°C, and intervals of 2.5 mT and 5 mT, respectively. The magnetic polarity zonation of the sections have been correlated to the Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS) allowing the recognition of Chrons 9r, 9n, 8r and 8n in the Mina Pilar section, and Chrons 6Cr, 6Cn, 6Br, 6Bn and 6AAr in the Valcuerna section. On the basis of magnetostratigraphic correlation it is deduced an interval of sedimentation time of ~1.6 Ma for the Mina Pilar section, and 1.7-1.9 Ma for the Valcuerna section.

Keywords: Magnetostratigraphy. Late Oligocene. Early Miocene. Ebro Basin. NE Spain.

EXTENDED ABSTRACT

Preliminary paleomagnetic results from the SE Ebro Basin obtained by Friend et al. (1988-89) revealed the suitability of the Oligocene and Miocene alluvial and lacustrine facies for magnetostratigraphic studies in a succession near Fraga. Later on Barberà et al. (1994 and 1996) carried out a detailed paleomagnetic research in the stratigraphic section of Torrente de Cinca (TC), where several micromammal localities had been described, and established a magnetic record for the Oligocene-Miocene transition. Despite the resolution of the paleomagnetic record, the fossil assemblages indicate that two different anchorages of the obtained scale to the GPTS are possible, as discussed in Agustí et al. (1994). This uncertainty could only be tackled by expanding the existing paleomagnetic record of the TC section, main objective of the present study.

The Ebro Basin developed in the NE Iberian Plate during the Tertiary as the Southern late foreland Basin of the Pyrenees. Along its SW and SE margins, the basin is bounded by the Iberian Range and the Catalan Coastal Range respectively. Deformation along these two ranges was also active during the Tertiary, so the sedimentation along the southern margin of the Ebro Basin was partially controlled by those ranges along with the Pyrenees in the north. The sedimentology and stratigraphy of the Ebro Basin have been studied in detail in the region (see Anadón and Roca, 1997 and references therein). The base of the Tertiary beds in the Ebro Basin is over 5,000 m deep in the northern part and relatively shallower in the southern part (1,500-2,000 m). From the Uppermost Cretaceous to the late Eocene, the main trough of the southern foreland was connected to the Atlantic Ocean, giving rise to widespread marine deposition. In the Late Eocene-Lower Oligocene this scenario changed when the basin became unconnected to the Atlantic. The sedimentation became then continental through the Oligocene-Miocene (Cabrera et al., 1985; Cabrera and Sáez, 1987; Riba et al., 1987; Pérez, 1989; Anadón et al., 1989 a and b; Arenas, 1993; Luzón, 1994).

In order to extend the magnetostratigraphic record obtained by Barberà et al. (1994) at Torrente de Cinca, two different sections, Mina Pilar (MP) and Valcuerna de Candanos (VC) were selected, with 181 m and 149 m respectively. The former section correlates with the lower part of TC section, whereas the later overlaps the upper most TC. A total of 65 (at MP) and 56 (at VC) stratigraphic levels were sampled along the sections respectively. Standard paleomagnetic procedures were used for both field work and laboratory treatment. Samples were stepwise thermally or magnetically demagnetized using a TSD-1 Thermal demagnetizer (Schonstedt) and a GSD-5 (Schonstedt) AF tumbling demagnetizer. Natural Remanent Magnetization (NRM) and remanent magnetization during magnetic cleaning were measured with a three axes GM400 cryogenic magnetometer housed in a three axes Helmholtz coil. Orthogonal demagnetization plot diagrams (Zijderveld, 1967) were used to visually pick up the demagnetization steps for Principal Component Analysis (Kirschvink, 1980) to obtain the Characteristic Remanent Magnetization (ChRM) directions.

Stratigraphic section Mina del Pilar is located ESE of Mequinenza (Figs. 1 and 2), and is composed by a succession of lutites, sandstones and marly limestones which begin to the Mequinenza and Granja d'Escarp Formations. Lutite and sandstone levels have a massive appearance and are dominantly red (mudstones) and gray (sandstones). In the middle part of the succession there are some lignites that have been extensively mined in the region. The Mina Pilar successions are interpreted as formed in lacustrine deltas and marginal to inner, carbonate dominated shallow lacustrine zones. The Valcuerna section (VC) is found SSE of Candanos (Figs. 1 and 2) and also has a dominance of alluvial mudstone-sandstone beds of the Caspe Formation at the lower 15 m of the section whereas the rest of 135 m of the section contains bio-

clastic and laminated limestones of the Torrente de Cinca carbonate dominated unit. These carbonates are interpreted as shallow marginal to inner lacustrine deposits.

Two magnetic components can be isolated upon demagnetization (Figs. 3 and 4). A low temperature viscous component is removed at 200°C, whereas the Characteristic Remanent Magnetization is defined from 250°C up to 580 or 680°C depending on the lithology. Both positive and negative inclinations are observed in the ChRM component, supporting its primary origin (Figs. 5 and 6). For every stratigraphic level we have taken the Fisherian mean direction of the ChRM to calculate the corresponding Virtual Geomagnetic Pole (VGP). The mean directions for the overall directions are Dec, Inc=111/55, Dec, Inc=194/-48 for MP section and Dec/Inc=2/62, D=189/-50 for VC section (Fig. 7).

The main anchoring criteria for the correlation of the VGP column to the Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS, Cande and Kent, 1992 and 1995) is provided by the presence of Late Oligocene and Early Miocene fossil assemblages along several sections within the area, which have allowed to recognize four biochronological MP (Mammal Paleogene) units (*sensu* Schmidt-Kittler, 1987) and one MN (Mammal Neogene) unit (*sensu* Mein, 1975). Details about location and features of the biochronologic-biostratigraphic levels are found in Agustí et al. (1985, 1987, 1988, 1994). Taking into account these anchoring points the R1 and N1 magnetozones are thus correlated to Chron 9r and 9n respectively, whereas R2 and N2 magnetozones correspond to Chron 8r and 8n respectively. The Valcuerna section completes the upper part of the previously studied TC section, and displays chrons 6Cn to 6AAr. The overall magnetostratigraphic data -Mina Pilar, Torrente de Cinca and Valcuerna- (from older to younger) spans Chrons 9r to 6AAr, about 6 Ma. The Oligocene-Miocene boundary, located within Chron 6Cn, lies at the section TC (Fig. 8).

INTRODUCCIÓN

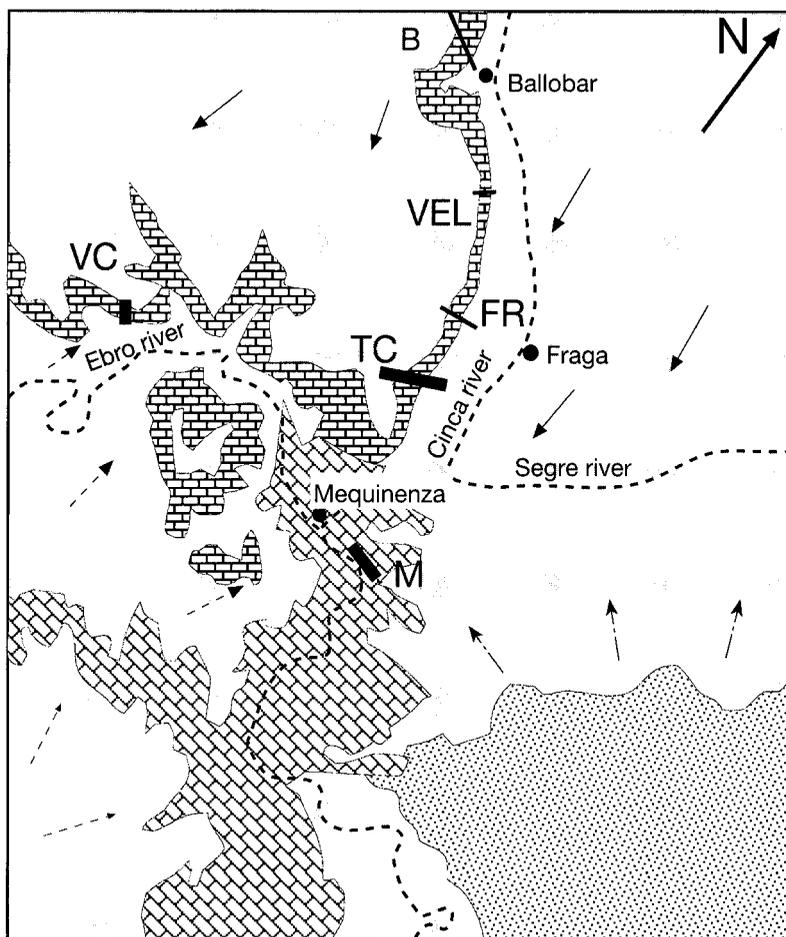
La Cuenca del Ebro, por sus características geológicas, ofrece un gran potencial para estudios paleomagnéticos y, en particular, para magnetoestratigrafía del Cenozoico. Los primeros datos paleomagnéticos del sector suroriental de la Cuenca del Ebro se deben a Friend et al. (1988-89), quienes realizaron un estudio magnetoestratigráfico en una sucesión fluvial de los alrededores de Fraga. Aunque el objetivo principal de dicho estudio (la determinación del límite Oligoceno-Mioceno) no fue logrado, los resultados obtenidos revelaron la estabilidad magnética de las litologías y también la presencia de varias magnetozonas para el Oligoceno Superior. Barberà et al. (1994) establecen la magnetoestratigrafía en la sucesión de Torrente de Cinca y logran situar aproximadamente el límite Oligoceno-Mioceno. Sin embargo, la falta de extensión vertical del registro magnetoestratigráfico por encima y por debajo del perfil de Torrente de Cinca (TC), no permitió una correlación definitiva de la escala de polaridades obtenida con la Escala de Tiempo de Polaridad Geomagnética (ETPG). Las distintas posibilidades de correlación e implicaciones fueron discutidas por Agustí et al. (1994), quienes propusieron dos posibilidades de anclaje de la sucesión de TC con la ETPG.

El principal objetivo de este trabajo es aportar nuevo registro magnetoestratigráfico, que complementa la sección de Torrente de Cinca, para realizar una más sólida correlación con la ETPG. El disponer de una mayor precisión

es un paso previo a la realización de análisis de detalle, para una mayor comprensión de la evolución e interpretación de los sistemas sedimentarios, en estudios posteriores.

CONTEXTO GEOLÓGICO: LA CUENCA DEL EBRO

La Cuenca terciaria del Ebro se desarrolló durante el Paleógeno en la parte noroccidental de la Placa Ibérica como consecuencia de la evolución tectónica de la zona sur-pirenaica. Limita por el norte con los Pirineos, por el suroeste con la Cordillera Ibérica y la Zona de Enlace, y por el sureste con las Cordilleras Costero Catalanas. Se trata de una cuenca asimétrica con los principales depocentros sedimentarios localizados hacia la zona norte de la cuenca, donde el substrato pre-terciario se encuentra entre 3.000 y 5.000 metros de profundidad (Riba et al., 1987; Puigdefàbregas et al., 1992; Vergés et al., 1992). Desde el Paleoceno hasta el Eoceno superior, la Cuenca del Ebro estuvo conectada con el Océano Atlántico de manera que los ambientes marinos estuvieron ampliamente representados en la zona norte de la cuenca (Souquet y Puigdefàbregas, 1986; Riba et al., 1987). Desde el Eoceno superior-Oligoceno inferior hasta el Mioceno superior la cuenca quedó desconectada del Atlántico y se caracterizó por una sedimentación continental (Riba et al., 1987). La activación de la subsidencia debida a la evolución del Pirineo junto con los cambios paleogeográficos a ella asociados, fueron las principales influencias en la evolución del relleno sedimentario durante el Oligoceno



SISTEMAS ALUVIALES



UNIDADES LACUSTRES DE LOS MONEGROS

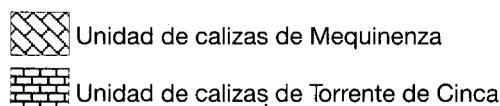


Figura 1. Localización de las sucesiones estratigráficas utilizadas en el muestreo magnetostratigráfico y de otras en las que se sitúan localidades de interés biostratigráfico. B= Ballobar; FR= Fraga; MP= Mina Pilar; TC= Torrente de Cinca VC= Valcuerna. El esquema muestra las relaciones entre las sucesiones aluviales terminales de procedencias pirenaica, catalánide (Sistema Montsant) e Ibérica (Sistema Guadalupe-Matarranya) y las sucesiones carbonatadas lacustres de Los Monegros. Las barras de situaciones de perfiles más gruesas corresponden a aquéllos en los que se cuenta con datos magnetostratigráficos.

Figure 1. Geological sketch with the location of the sections sampled for magnetostratigraphic purposes and others which include fossil mammal localities. B= Ballobar; FR= Fraga; MP= Mina Pilar; TC= Torrente de Cinca VC= Valcuerna. ; VEL= Velilla de Cinca. The sketch shows the relationships between the terminal alluvial successions which spread from the Pyrenees, the Catalan Coastal Range (Montsant System) and the Iberian Range (Guadalupe-Matarranya System) and the carbonate dominated lacustrine assemblages of Los Monegros. The thickest bars show the location of the sections with available magnetostratigraphic data.

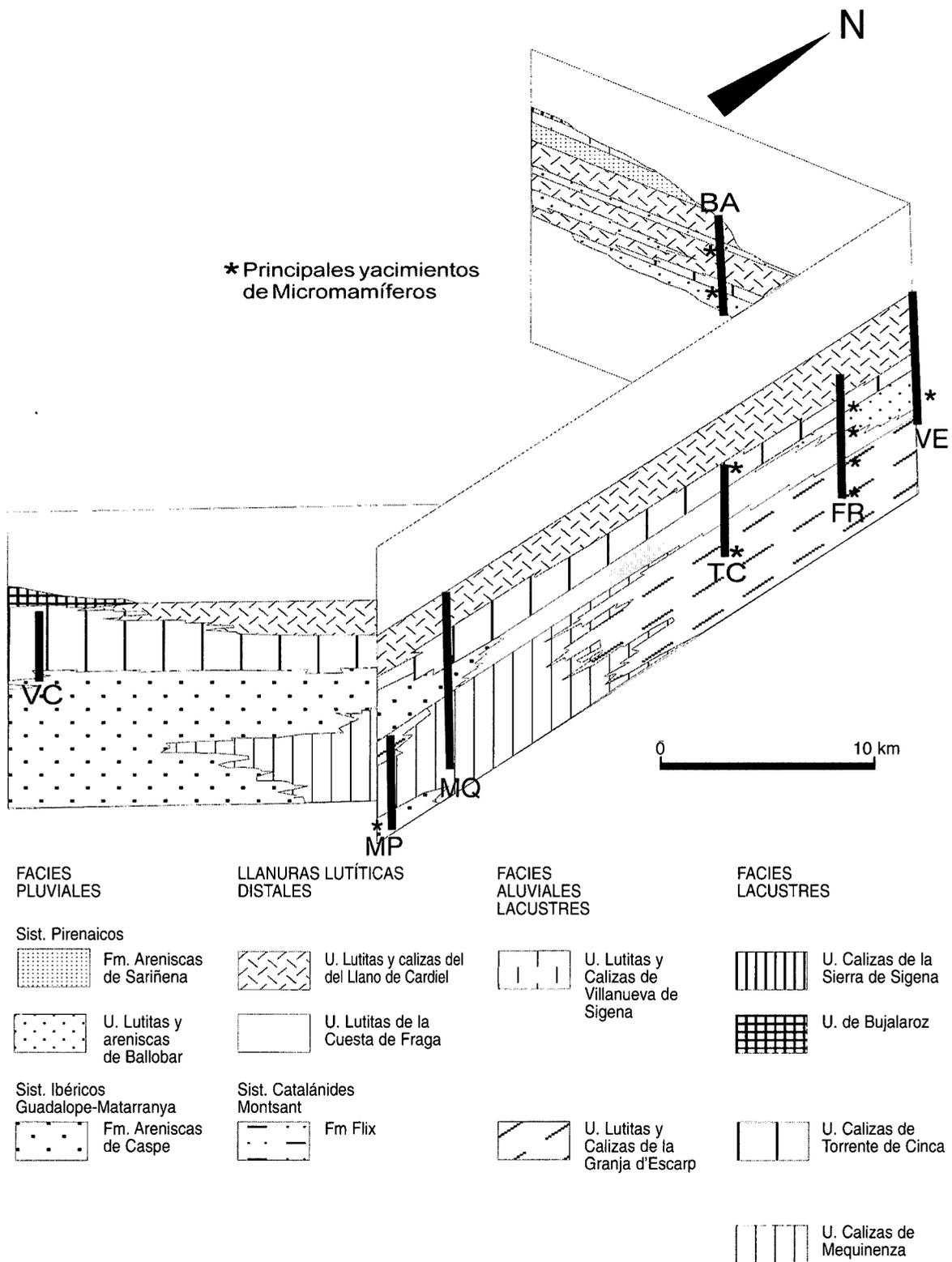


Figura 2. Panel de correlación estratigráfica de las sucesiones estudiadas. Adaptado y ligeramente modificado de Luzón. (1994).

Figure 2. Stratigraphic framework of the studied sections. Adapted and slightly modified from Luzón (1994).

superior-Mioceno inferior. Además la actividad tectónica en las Cordilleras Ibérica y Costero Catalana también tuvo una influencia importante en la distribución general de las facies (Cabrera, 1983; Cabrera et al., 1985; Anadón et al., 1985, 1989a y 1989b; Cabrera y Sáez, 1987; Pérez, 1989; Arenas, 1993; Luzón, 1994).

LAS SUCESIONES ESTUDIADAS

Dado que el objetivo primordial de este trabajo era resolver la ambigüedad existente actualmente en la interpretación cronológica de la sucesión magnetoestratigráfica de Torrente de Cinca (Barberà et al., 1994; Agustí et al., 1994), esta sucesión se utilizó como punto de partida para la realización de este estudio. Se procedió a seleccionar dos sucesiones adicionales que permitieran su continuación más allá de su techo y de su base y que mostrasen cierto solapamiento con ella. Las sucesiones elegidas tenían que cumplir además unos requisitos mínimos para poder ser muestreadas. Estos requisitos se resumirían en buena continuidad estratigráfica, incluir materiales con un contenido suficiente en minerales magnéticos (fundamentalmente magnetita y/o hematites) y presentar la menor alteración posible. De esta manera fueron seleccionadas las sucesiones de Mina Pilar, al sudeste de Mequinzenza, y de Valcuerna, al sureste de Candanos.

Situación y descripción de las sucesiones

Sucesión de Mina Pilar

La sucesión de Mina Pilar se encuentra a 6 km al sudeste de Mequinzenza (Figs. 1 y 2) en una zona donde abundan las explotaciones mineras activas y abandonadas de lignitos. Esta columna incluye sucesiones de las formaciones de Flix, Mequinzenza y Granja d'Escarp (Cabrera, 1983; Luzón, 1994). A grandes rasgos, la sucesión estudiada se depositó en las zonas de influencia más distales de las extensas redes fluviales distributivas procedentes del sistema del Montsant. El conjunto de la sucesión registra el desarrollo de secuencias de expansión y retracción lacustres relacionadas con rápidos pulsos transgresivos-regresivos que alternaron con etapas de estabilización. La entidad y persistencia de estos cambios fue variable y quedaron registradas en la organización megasecuencial reconocida en este sector de la cuenca (Cabrera, 1983; Cabrera y Sáez, 1987).

La sucesión comienza en el barranco del Aiguamoll. La parte basal (Fm. Flix) está integrada por tramos de lu-

titas y de areniscas a litocalcarenitas de tonalidades variadas a ocres y rojizas, en los que se intercalan delgados niveles o tramos de calizas lenticulares claras u oscuras, con algún delgado nivel de lignito. Las areniscas y litocalcarenitas cuarzosas son de grano fino a medio aunque en algunos casos llegan a tener grano grueso. Pueden estar cementadas por dolomita, calcita o yeso (Peterson, 1988; Peterson y Cabrera, 1989). Estos tramos inferiores fueron depositados en sistemas deltaicos lacustres marginales, dominados por la influencia fluvial. El hecho de que se trate de una asociación de facies transicional motiva la presencia de una amplia variedad de facies y tipos de relación.

En el resto de la sucesión dominan o son más frecuentes potentes y lateralmente extensos tramos de calizas lacustres de diversas litofacies (Fm. Mequinzenza) que alternan con tramos lutíticos o lutítico arenosos. Subordinadamente aparecen en la parte media de la sección niveles significativos de hasta 0,9 m de lignitos que han sido objeto de una intensiva explotación. Las lutitas son principalmente grises y son predominantemente masivas, aunque esporádicamente pueden presentar laminación. Las calizas forman niveles centimétricos a decimétricos, pero en algunos casos aislados alcanzan hasta dos metros de potencia; intercalan entre ellas niveles centimétricos de materiales lutíticos masivos. Las calizas son micríticas con un componente terrígeno variable; abundan las litofacies masivas, aunque son frecuentes también las finas o groseramente estratificadas, con acumulaciones selectivas de bioclastos. Presentan predominantemente coloraciones ocres, blancas, beige, grises y negras. La geometría de los niveles suele ser lenticular, con tendencia a amalgamarse integrando tramos de potencia métrica a decamétrica. Las areniscas se caracterizan por su amplia extensión lateral, aunque no son infrecuentes los cuerpos acanalados de escasa extensión lateral.

Barranco de Valcuerna

La sucesión del barranco de la Valcuerna se encuentra a unos 8 km al SSE de Candanos (Figs. 1 y 2). Se compone de una parte inferior perteneciente a la formación Caspe, y una parte superior, que engloba la mayor parte de la sucesión, perteneciente a la Unidad de Calizas de Torrente de Cinca. El conjunto de la sucesión registra la extensa transgresión lacustre desarrollada durante la parte final del Oligoceno superior en este sector de la cuenca. Esta transgresión se extendió sobre las llanuras fluviales distales de los sistemas de

Guadalupe-Matarranya y Pirenaicos (Cabrera, 1983) y dio lugar a la implantación de un sistema lacustre-palustre carbonatado somero que generó sucesiones predominantemente carbonatadas, en las que ocasionalmente se observan delgados depósitos de lignito y claros indicios de influencia evaporítica (Cabrera, 1983; Luzón, 1994).

La parte inferior de la sucesión está formada por lutitas y areniscas. Las lutitas son marrón rojizas con potencias decimétricas. Las areniscas son ocre y grises de potencia decimétrica y con nódulos intersticiales de yeso o anhidrita. Estas facies registran la sedimentación desarrollada en este sector en las llanuras fluviales distales del sistema de Guadalupe-Matarranya, sometidas a oscilaciones del nivel freático que dieron lugar a la formación de evaporitas.

Las partes media y superior de la sucesión son predominantemente carbonatadas. Las calizas son micríticas y bioclásticas, masivas o laminadas con un componente terrígeno variable; contienen una gran cantidad de fósiles de organismos límnicos y presentan coloraciones pardas, beige, blanquecinas y algún nivel gris. En muchos niveles se observan indicios de desarrollo de evaporitas nodulares intersticiales, algunas de las cuales aparecen disueltas o incluso quizá transformadas en nódulos de sílex, que constituyen a veces horizontes bien diferenciados. Existen niveles afectados por una intensa bioturbación vertical, atribuible a las raíces de plantas acuáticas o adaptadas a medios palustres.

MUESTREO Y ANÁLISIS PALEOMAGNÉTICO

Con el objetivo de determinar la sucesión de polaridades magnéticas en ambas secciones, Mina Pilar y Valcuerna, se realizó un muestreo continuo siguiendo un esquema de trabajo paleomagnético estándar. En la sección de Mina Pilar se realizaron un total de 81 estaciones magnetoestratigráficas a lo largo de sus 213 metros de potencia. En la sección de Valcuerna fueron 56 las estaciones recogidas a lo largo de 149 metros de sucesión aflorante. En general, se obtuvo un número mínimo de dos muestras cilíndricas para cada estación. Para determinar la polaridad magnética de cada estación se han desmagnetizado progresivamente al menos dos especímenes para cada nivel estratigráfico de muestreo, utilizando esencialmente un desmagnetizador térmico modelo TSD-1 (Schonsted) y eventualmente un desmagnetizador por campos alternantes (AF) modelo GSD-5 (Schonsted). La magnetización remanente na-

tural y la remanencia para cada paso de desmagnetización fue medida con un magnetómetro criogénico de 3 ejes (GM400, CCL). La caída de la desmagnetización durante el lavado magnético fue representada en diagramas ortogonales de desmagnetización (Zijderveld, 1967). La dirección de la magnetización remanente característica es calculada mediante análisis de componentes principales (Kirschvink, 1980), para posteriormente realizar la media fisheriana (Fisher, 1953) de cada nivel de muestreo y, finalmente, determinar el polo geomagnético virtual.

La desmagnetización progresiva o lavado magnético de las muestras es imprescindible para la obtención de la información básica (dirección e intensidad) de la magnetización bloqueada en la roca cuando ésta se formó. En las rocas estudiadas, la desmagnetización progresiva permite definir en general 2 direcciones o componentes de magnetización: una dirección de baja temperatura desbloqueada a los 200°C, y una dirección de temperatura alta desbloqueada entre los 250°C y 580°C / 680°C, la cual es considerada como la dirección magnetización remanente característica (Fig. 3).

El componente de baja temperatura reconocido se atribuye a una magnetización viscosa de los sedimentos adquirida durante el Chron Brunhes (<780 ka). Las direcciones medias determinadas para las secciones de Mina Pilar y Valcuerna (Fig. 4) indican efectivamente que la magnetización es paralela al campo geomagnético reciente: Dec/Inc=6.5/55.7 (Mina Pilar) y Dec/Inc=0.2/63.3 (Valcuerna).

MAGNETOESTRATIGRAFÍA

La escala de polaridad geomagnética se ha obtenido a partir de la dirección media de la magnetización característica determinada en cada estación. El polo geomagnético virtual (PGV) para cada nivel estratigráfico muestreado define si la magnetización es de polaridad inversa (valor negativo) o de polaridad normal (valor positivo). Cuando se encuentra un cambio de polaridad entre 2 estaciones contiguas hemos situado el límite de polaridad en la distancia media entre las dos estaciones. De esta manera se han definido 4 magnetozonas en la sección de Mina Pilar (Fig. 5), dos inversas R1 y R2, y dos normales N1 y N2, en las que han sido detectados dos breves periodos de polaridad inversa que han sido considerados como criptocrones. En Valcuerna han sido definidos 6 periodos de polaridad inversa, de R6 a R11, y 5 de normal de N7 a N11 (Fig. 6).

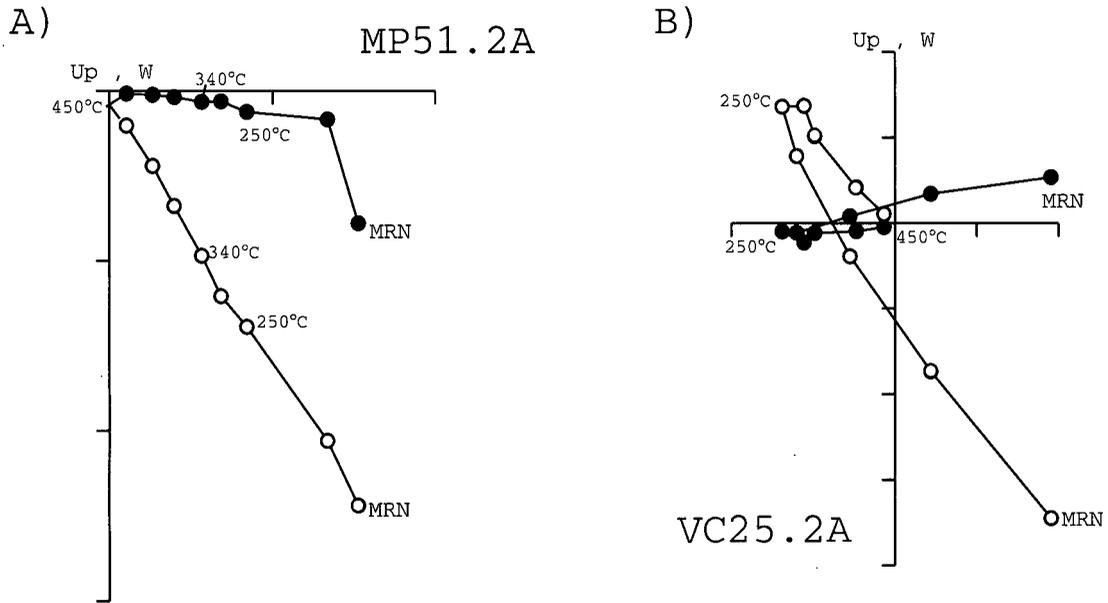


Figura 3. Diagramas ortogonales de desmagnetización térmica progresiva. La magnetización remanente característica se define a partir de los 250°C. A) Sección de Mina Pilar; B) sección de Valcuerna.

Figure 3. Orthogonal demagnetization Zijderveld plots for two representative samples from A) Mina Pilar section and B) Valcuerna section. The Characteristic Remanent Magnetization direction is defined between 250 to 450°C. See further explanation in the english extended abstract.

Las medias de las direcciones características para estas 2 secciones son Dec/Inc=11.2/54.6 y Dec/Inc=193.6/-48.1 en Mina Pilar (Fig. 6), Dec/Inc=2.4/61.8 y Dec/Inc=188.6/-50.5 en Valcuerna. Ambas concuerdan con el paleopolo Terciario propuesto por Barberà et al. (1996; Fig. 7).

CORRELACIÓN DE LAS SUCESIONES Y CON LA ESCALA TEMPORAL DE POLARIDAD GEOMAGNÉTICA (ETPG)

Correlación magnetoestratigráfica de las sucesiones

La correlación entre las sucesiones magnetoestratigráficas estudiadas se ha realizado comparando la secuencia y desarrollo de las magnetozonas y teniendo en cuenta su correlación litoestratigráfica. Los datos litoestratigráficos y su cartografía han facilitado la contrastación de la correlación de todas las columnas.

La parte más alta de la sucesión de Mina Pilar es correlacionable con la parte inferior de la sucesión de Torrente de Cinca, previamente estudiada, gracias a la correlación que puede establecerse a partir de la

magnetozona local N2. Esta correlación es coherente con las relaciones litoestratigráficas mencionadas anteriormente (Fig. 8).

La sucesión de Valcuerna se correlaciona con la de Torrente de Cinca gracias a la correlación física establecida a partir de la unidad litoestratigráfica de las calizas de Torrente de Cinca y a la buena correspondencia secuencial y desarrollo de las sucesivas magnetozonas que comparten: R6, R7 y N7.

La figura 8 muestra la propuesta de correlación magnetoestratigráfica realizada a partir de los criterios indicados. De las 11 magnetozonas normales y de las 11 inversas de la sucesión magnetoestratigráfica aquí establecida, las más destacables son:

a) Las magnetozonas normales N1, N2 y N9 y las inversas R2, R4 y R6 por su entidad y desarrollo.

b) Las magnetozonas N1, N2 y N7 que incluyen en ellas algunas localidades paleontológicas MPI-1, MPI-2 y MPI-3 (N1), TC-4, -7 y -18 (N2), y TC-68 (N7). Ello permite atribuirles respectivamente unas edades Oligoceno superior, Oligoceno superior alto y tránsito

Oligoceno -Mioceno o Mioceno inferior (Agustí et al., 1994).

Por otra parte, aunque no se sitúan sobre los perfiles aquí estudiados, los yacimientos paleontológicos de los perfiles de Fraga y Ballobar son ubicables, de manera muy aproximada, dentro del rango de las siguientes magnetozonas: FR-4 (N2), FR-6 (N3), FR-7 (N5), FR-11 (R6) y BALL-21 (tránsito R9-N9).

Correlación con la escala temporal de polaridad geomagnética (ETPG)

La correlación de la sucesión magnetoestratigráfica establecida con la ETPG se ha basado en la información bioestratigráfica disponible en la actualidad sobre las asociaciones de roedores fósiles. La mayor parte de la información bioestratigráfica de los materiales continentales del sector SE de la Cuenca del Ebro procede de las facies lutíticas de las Formaciones de Flix, Mequinenza, Granja d'Escarp, Cuesta de Fraga, Ballobar y Llano de Cardiel. A partir de toda la información bioestratigráfica obtenida en el sector SE de la Cuenca del Ebro (Cabrera, 1983; Agustí et al., 1985, 1987 y 1988), se estableció una biozonación local para el tránsito Oligoceno-Mioceno de esta región. Esta primera biozonación fue posteriormente actualizada a partir de una revisión sistemática del material existente y de nuevos hallazgos posteriores (Agustí et al., 1994). La sucesión de faunas propuesta por Agustí et al. (1994) para el tránsito Oligoceno-Mioceno, y su correlación con las sucesiones de unidades biocronológicas representadas por la escala de biocronozonas MP (Mammal Paleogene, Schmidt-Kittler, 1987) para el Oligoceno y MN (Mein, 1975) para el Mioceno, han sido la base para establecer el anclaje de las sucesiones magnetoestratigráficas.

Para la correlación de la sucesión de Mina Pilar con la ETPG nos hemos basado en el reconocimiento del nivel de referencia biocronológico paleomastológico MP-27 identificado en los primeros 40 metros de la columna dentro de la magnetozona local N1. Este dato biocronológico nos indica que la sucesión es atribuible a la parte alta del Oligoceno superior. En la correlación propuesta (Fig. 8), la magnetozona R1 corresponde al cron 9r de la ETPG, N1 al 9n, R2 al 8r y N2 al 8n.

La sucesión de Torrente de Cinca ha podido ser correlacionada con la ETPG gracias a la existencia de varias biozonas identificadas a lo largo de la sucesión. Así se ha identificado (Agustí et al., 1994) el nivel de referencia

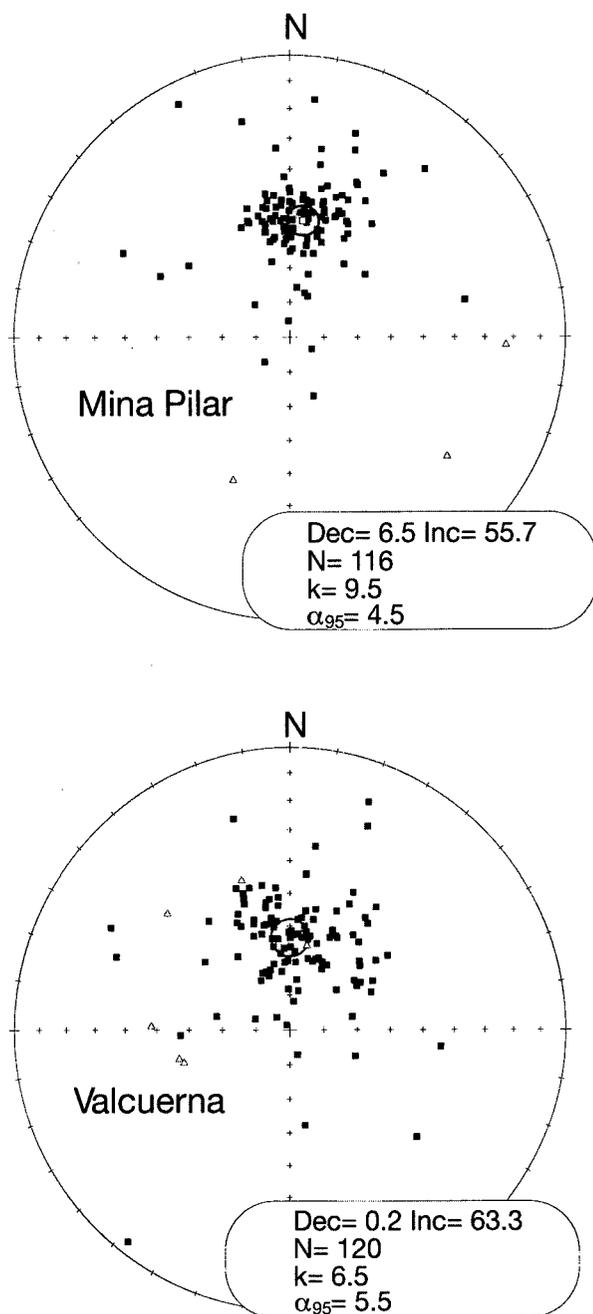


Figura 4. Proyección estereográfica de las direcciones de magnetización de baja temperatura para Mina Pilar y Valcuerna. La media correspondiente para las dos secciones refleja que esta componente de magnetización fue adquirida bajo el campo geomagnético reciente.

Figure 4. Lower hemisphere equal area stereographic projection of low temperature component for Mina Pilar and Valcuerna sections. The mean direction reveals that this component of magnetization was acquired under the recent geomagnetic field. See further explanation in the english extended abstract.

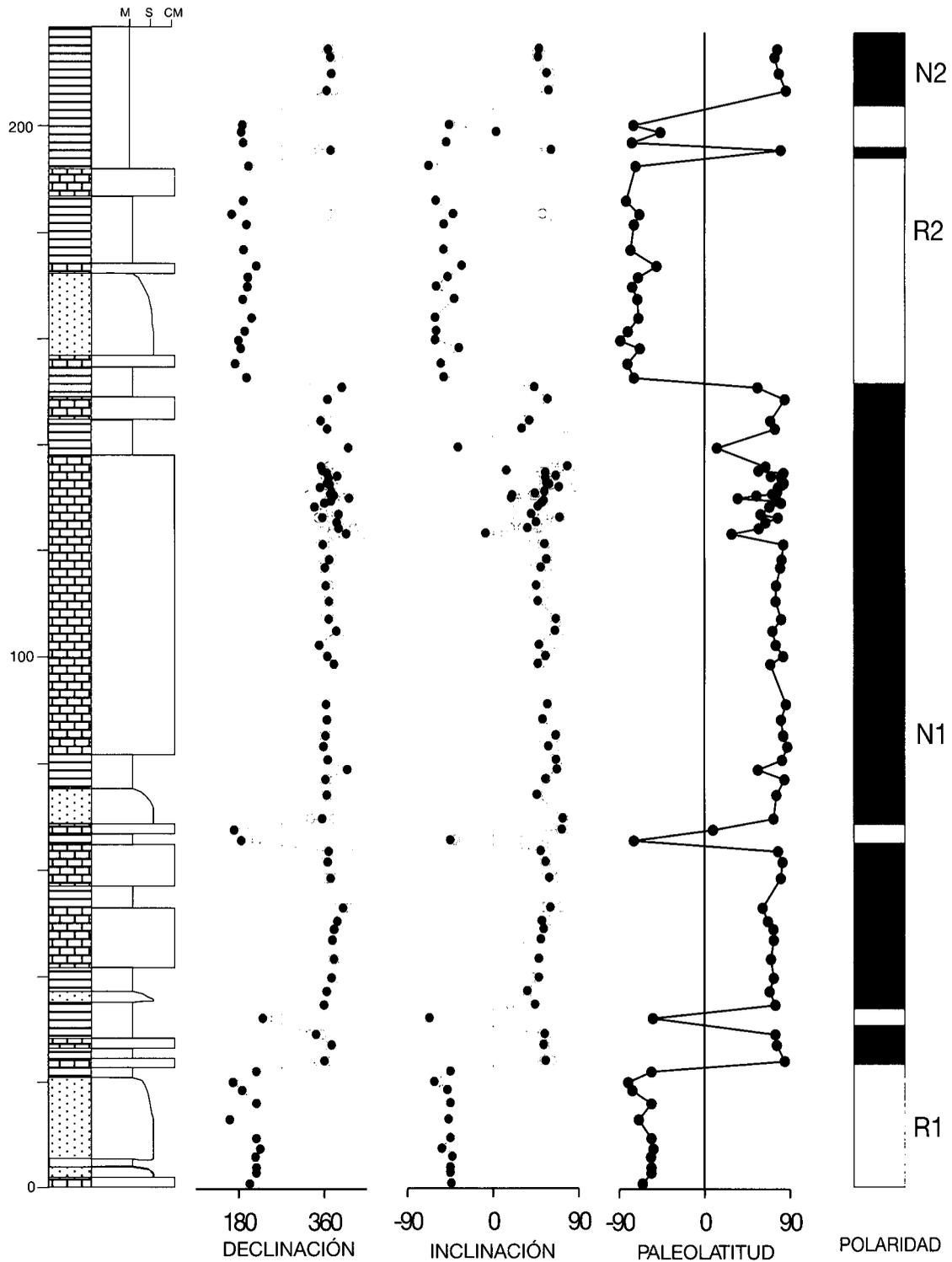


Figura 5. Valores de Declinación, Inclinación y Paleolatitud para la sección de Mina Pilar. Los círculos blancos representan las direcciones obtenidas en especímenes individuales, mientras que los círculos negros son las direcciones medias fisherianas de cada estación de muestreo.

Figure 5. Local magnetostratigraphic section obtained for Mina Pilar section. Circles are individual specimen magnetization directions, whereas dots are fisherian mean directions of each stratigraphic site. See further explanation in the extended abstract.

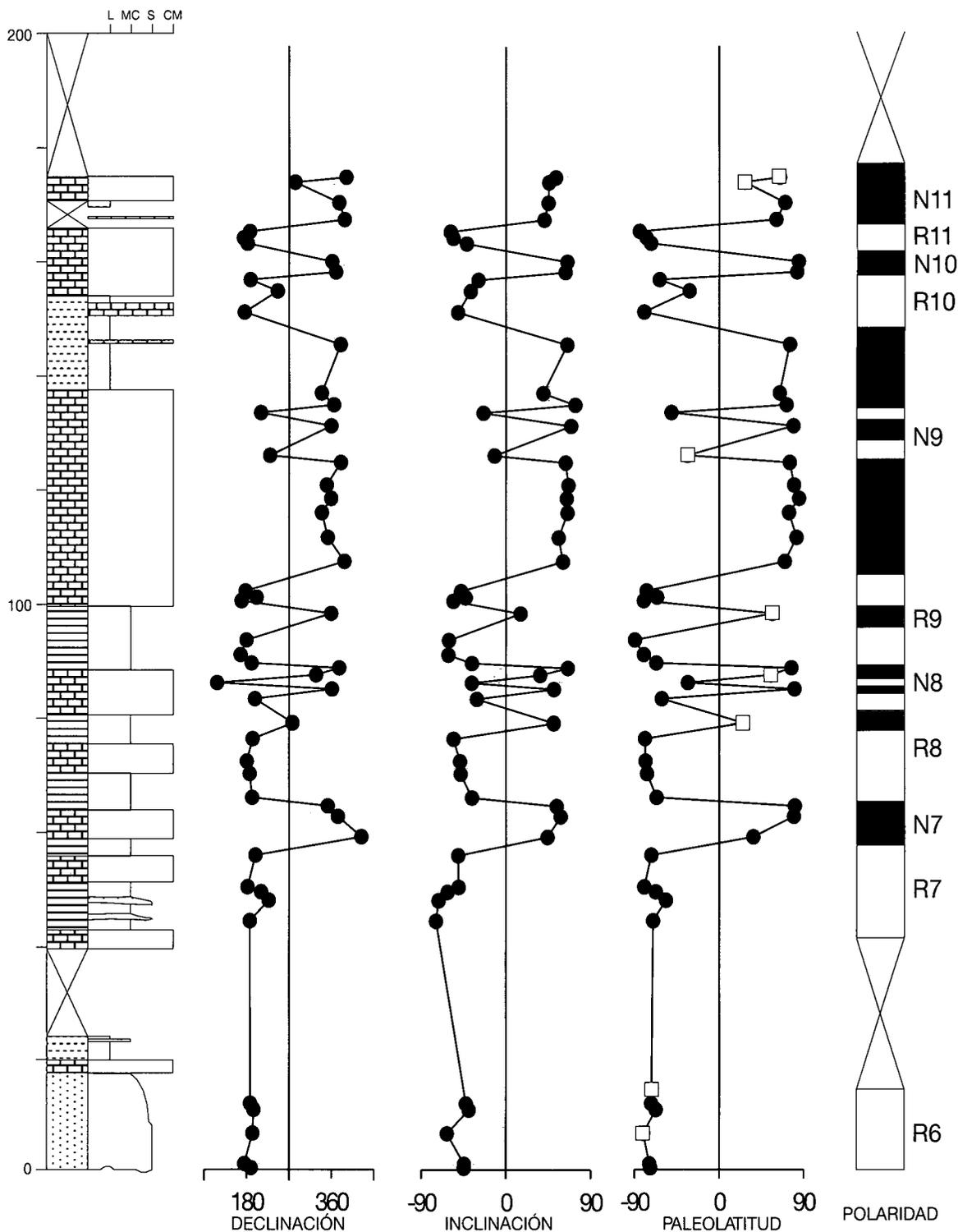


Figura 6. Valores de Declinación, Inclinación y Paleolatitud para la sección de Valcuerna. Los círculos blancos representan las direcciones obtenidas en especímenes individuales, mientras que los círculos negros son las direcciones medias fisherianas de cada estación de muestreo. Los cuadrados blancos son medias obtenidas a partir de círculos de remagnetización.

Figure 6. Local magnetostratigraphic section obtained in Valcuerna section. Same symbols as in figure 5 and white squares representing means resulting from remagnetization circles. See further explanation in the extended abstract.

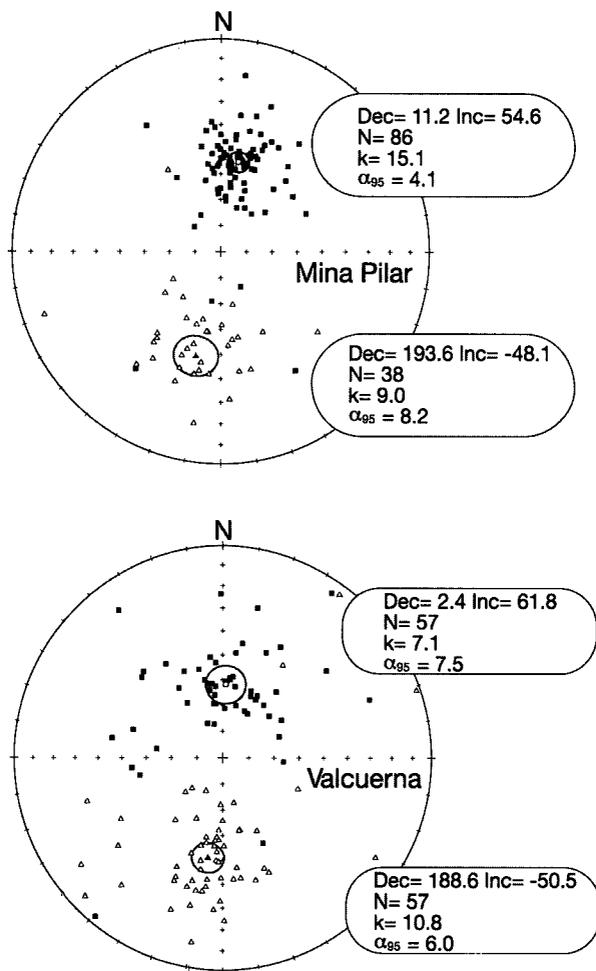


Figura 7. Proyección estereográfica de las direcciones características del componente de alta temperatura para la sección de Mina Pilar y Valcuerna. Obsérvese la presencia de polaridad normal e inversa.

Figure 7. Equal area lower hemisphere stereographic projection for the Characteristic Remanent Magnetization components from Mina Pilar and Valcuerna sections. Notice the presence of both normal and reverse magnetization directions. See further explanation in the extended abstract.

MP-28 en las localidades TC-4, 7 y 18; y el nivel de referencia MP-30 en la localidad TC-68. En la correlación propuesta N2 corresponde al cron 8n, R3, N3, R4 y N4 a los 7Ar, 7An, 7r y 7n, y R5, N5, R6 y N6 al 6Cr, 6Cn.3n, 6Cn.2r y 6Cn.2n (Fig. 8).

La sucesión de Valcuerna no cuenta con datos bioestratigráficos directos. No obstante, han sido encontrados en zonas próximas yacimientos de micromamíferos dentro de la unidad de calizas de Torrente de Cinca, a la que pertenecen la mayor parte de los materiales de Valcuerna.

na. Estos yacimientos atribuyen a la parte baja de esta unidad una edad oligocena terminal en tránsito al Mioceno, encontrándose el nivel de referencia MP30 en Fraga-11 (Agustí et al., 1994); en cambio, para a la parte media de esta unidad permiten *lll* una edad Aquitaniense al encontrarse el nivel de referencia MN1 en Torrente de Cinca-68 (Barberà et al., 1994). Además, el yacimiento de Ballobar 21, con una asociación de roedores claramente del mioceno inferior, corresponde aproximadamente a la parte media del perfil. De esta forma, la correlación que se propone conlleva que las magnetozonas locales comprendidas entre R6 y N11 se corresponden con los cronos de la ETPG situados entre 6Cr y 6AAr.1n. En la figura 8 se muestra la propuesta final de correlación de todo el conjunto de las sucesiones con la ETPG.

CONCLUSIONES

Correlación con la ETPG

La correlación de la sucesión de Mina Pilar con la ETPG permite atribuir el cron R1 con el cron 9r de la ETPG, N1 con 9n, R2 con 8r y N2 con 8n.

La sucesión magnetostratigráfica de Valcuerna correlaciona la magnetozonas locales R6, R7, N7, R8, N8, R9, N9, R10, N10, R11, y N11 con los cronos de la ETPG situados entre 6Cr y 6AAr.1n.

Datación de las unidades litoestratigráficas

A partir de la correlación establecida se han determinado diferentes isocronas dadas por los límites de las magnetozonas locales obteniéndose los siguientes resultados:

- 1) El conjunto de las unidades litoestratigráficas estudiadas se depositaron en un intervalo de tiempo de 5,724 Ma, entre la base del cron 9n y el techo del cron 6AAr.2r.
- 2) Las sucesiones de la Fm Mequinenza y Granja d'Escarp en el sector estudiado se depositaron en 2,789 Ma entre los cronos 9n y 7r durante el Chattense superior. El inicio en este sector de la cuenca de la sedimentación carbonatada lacustre fue sin embargo algo anterior, como lo demuestran las relaciones estratigráficas reconocidas en la zona a partir de los datos de sondeos (Cabrera y Sáez, 1987).
- 3) Las lutitas de la cuesta de Fraga y sus equivalentes de la parte superior de la Fm Caspe y de la Fm Sariñena fue-

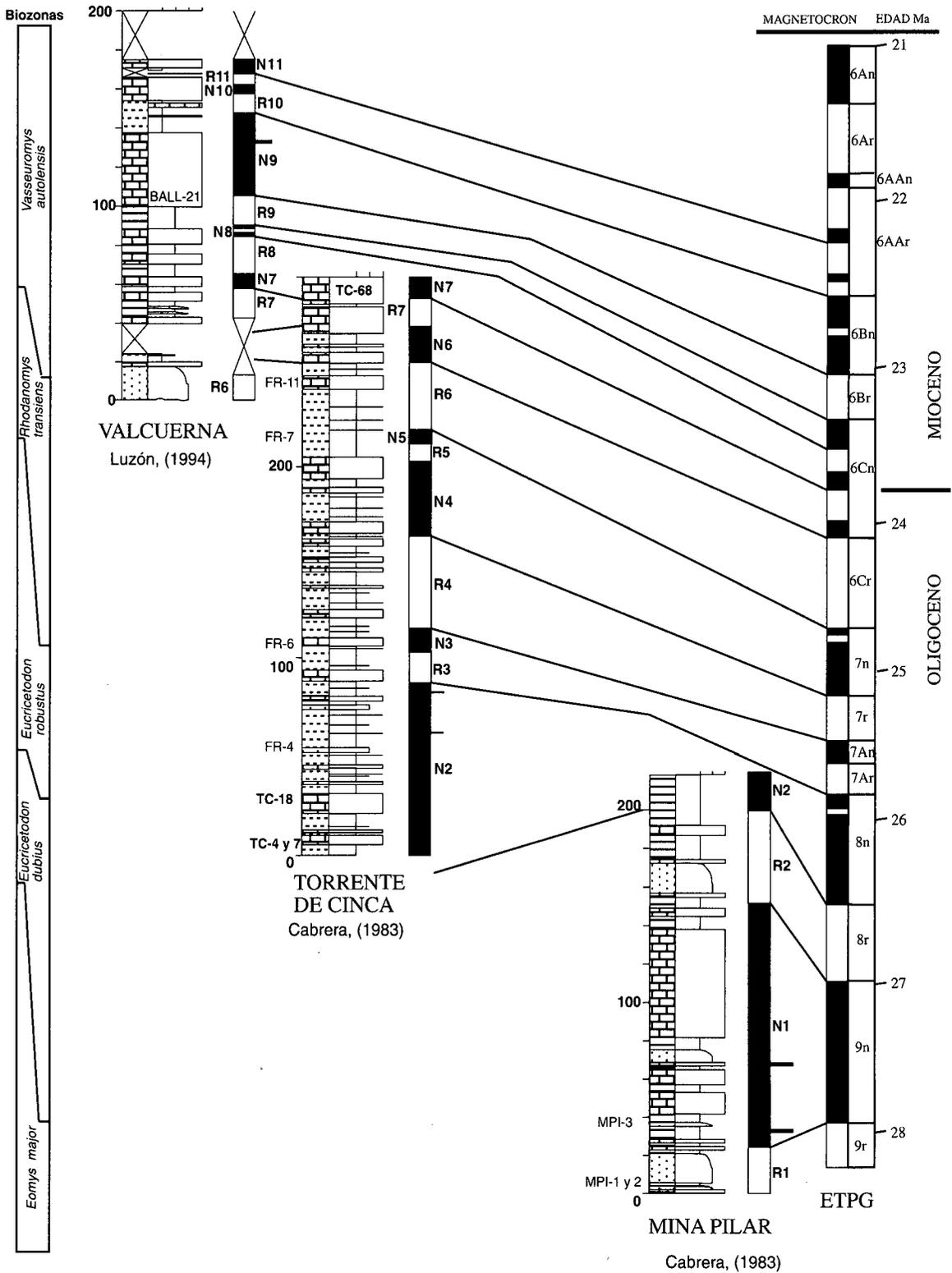


Figura 8. Correlación magnetostratigráfica de las secciones de Mina Pilar, Torre de Cinca y Valcuerna con la Escala de Tiempo de Polaridad Geomagnética (ETPG). La biozonación de micromamíferos, base del anclaje de la magnetoestratigrafía aquí establecida, es indicada. Explicación en el texto.

Figure 8. Magnetostratigraphic correlation of Mina Pilar, Torre de Cinca y Valcuerna sections to the GPTS. The micromammal biozonation used to anchor the composite magnetostratigraphic column is shown. See further explanation and discussion in the extended abstract.

ron depositadas en 1,065 Ma entre los cronos 7n y 6Cr en el Chattiense terminal.

4) Las calizas lacustres de Torrente de Cinca fueron depositadas en el sector estudiado entre 24,118 Ma y 22,248 Ma al final del Chattiense y al comienzo del Aquitaniense.

Estas edades corresponden a las etapas de implantación, expansión y desarrollo de los principales depocentros lacustres en el sector, así como la edad y duración de las expansiones aluviales que obliteraron su evolución. Cabe señalar aquí que los resultados obtenidos proporcionan un marco cronológico de la evolución durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior del sector central de la zona SE de la cuenca del Ebro y, por extensión, a algunos de los procesos tectónicos regionales que afectaron la región NE de Iberia.

Los resultados aquí obtenidos permitirán proseguir los trabajos biostratigráficos, paleogeográficos, paleoclimáticos y tectonosedimentarios en la región y abordar la discriminación de su importancia relativa en la génesis del relleno sedimentario. El papel genético secuencial de estos procesos y su encuadre dentro de la evolución general de este sector de la cuenca del Ebro será abordado en futuras contribuciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo resume los resultados preliminares de la Tesis de Licenciatura del primer firmante, E.G.C., presentada en la Universidad de Barcelona. El desarrollo de este trabajo se enmarcó dentro de los proyectos de investigación nº PB94-0826 (Respuesta secuencial de dispositivos aluviales-lacustres en cuencas contractivas: Discriminación de las influencias tectónica y climática) y PB-97-0882-603-01 (Registro tectonosedimentario y paleoclimático del Oligoceno y Neógeno del NE de Iberia (sector oriental) del Ministerio de Educación y Cultura y de la DGES PB96-0815. También fue en parte financiado por el "Grup de Recerca de Qualitat SGR 1997-00073 del Comissionat per Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya (Geodinàmica i Anàlisi de Conques)". Parte del trabajo de campo tuvo lugar durante el disfrute por E.G.C. de una beca de colaboración de la Diputación de Barcelona en el Instituto de Paleontología Miguel Crusafont. Los autores desean expresar su agradecimiento a Xavier Barberà, Jaume Dinarés, Miguel Garcés y a John Eyre por su desinteresada colaboración en las tareas de muestreo. También a Aránzazu Luzón y a Ángel González del Departamento de Geología (Área de Estratigrafía) de la Universidad de Zaragoza, por su ayuda e indicaciones sobre el terreno para la selección del perfil de Valcuerna.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, J., Anadón, P., Arbiol, S., Cabrera, L., 1985. Biozonación mediante roedores (Mammalia) del Tránsito Oligoceno-Mioceno en el sector sureste de la cuenca del Ebro. *Paleont. Evol.*, 18, 131-150.
- Agustí, J., Anadón, P., Arbiol, S., Cabrera, L., Colombo, F., Sáez, A. 1987. Biostratigraphical characteristics of the Oligocene sequences of North-Eastern Spain (Ebro and Campins basins). *Münchner Geowiss. Abh. (A)*, 10, 35-42.
- Agustí, J., Cabrera, L., Anadón, P., Arbiol, S., 1988. A Late Oligocene-Early Miocene rodent biozonation from the SE Ebro Basin (NE Spain): A potential mammal stage stratotype. *Newsl. Stratigr.*, 18(2), 81-97.
- Agustí, J., Barberà, X., Cabrera, L., Parés, J.M., Llenas, M., 1994. Magnetobiostratigraphy of the Oligocene-Miocene transition in the Ebro Basin (Eastern Spain): State of the Art. *Münchner Geowiss. Abh. (A)*, 26, 161-172.
- Anadón, P., Cabrera, L., Guimerà, J., Santanach, P., 1985. Paleogene strike-slip deformation and sedimentation along the southeastern margin of the Ebro basin. In K. Biddle and N. Christie-Blick (eds.). *Strike-Slip Deformation, Basin Formation and sedimentation. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral.*, 37, 303-318.
- Anadón, P., Cabrera, L., Colldeforns, B., Colombo, F., Cuevas, J.L., Marzo, M., 1989a. Alluvial fan evolution in the SE Ebro Basin: Response to tectonics and lacustrine base level change. In M. Marzo, C. Puigdefàbregas (eds.). *4th Int. Confer. Fluvial Sedimentology. Excursion Guidebook nº 9, Publ. Servei Geol. Catalunya*, 1-91.
- Anadón, P., Roca, E., 1997. Geological setting of the Tertiary basins of Northeast Spain. In P. F. Friend, C. Dabrio (eds.), *Tertiary Basins of Spain*, 43-48. Cambridge University Press.
- Anadón, P., Cabrera, L., Colldeforns, B., Sáez, A., 1989b. Los sistemas lacustres del Eoceno Superior y Oligoceno del sector oriental de la cuenca del Ebro. *Acta Geologica Hispanica*, 24, 205-230.
- Arenas, C., 1993. Sedimentología y Paleogeografía del Terciario de Margen Pirenaico y sector central de la cuenca del Ebro. Zona Aragonesa Occidental. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 858 pp.
- Barberà, X., Parés, J. M., Cabrera, L., Anadón, P., 1994. High resolution magnetic stratigraphy across the Oligocene-Miocene boundary in an alluvial-Lacustrine succession (Ebro Basin, northeast Spain). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 85, 181-193.
- Barberà, X., Cabrera, L., Gomis Coll, E., Parés, J.M., 1996. Determinación del polo paleomagnético para el límite Oligoceno-Mioceno en la Cuenca del Ebro. *Geogaceta*, 20(5), 1014-1016.
- Cabrera, L., 1983. Estratigrafía y sedimentología de las formaciones lacustres del tránsito Oligoceno-Mioceno del SE de

- la Cuenca del Ebro. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 427 pp.
- Cabrera, L., Colombo, F., Robles, S., 1985. Sedimentation and tectonics interrelationships in the Paleogene marginal alluvial systems of the SE Ebro Basin. Transition from alluvial to shallow lacustrine environments. In J. Rosell, M. Milà (eds.). 6th. Europ. Reg. Meet. I. A. S. Exc. Guidebook, 10. Institut d'Estudis Ilerdencs, Lleida, 393-492.
- Cabrera, L., Sáez, A., 1987. Coal deposition in carbonate-rich shallow lacustrine systems: the Calaf and Mequinenza sequences (Oligocene, eastern Ebro Basin, NE Spain). *Journal Geol. Soc. London*, 144, 451-461.
- Cande, S.C., Kent, D.V., 1992. A new geomagnetic polarity time scale for the late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 97, 13917-13951.
- Cande, S.C., Kent, D.V., 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 100, 6093-6095.
- Friend, P.F., Brazier, S.A., Cabrera, L., Feistner, K.W.A., Shaw, J., 1988-1989. Magnetic Reversal stratigraphy in the Late Oligocene succession of the Ebro Basin, near Fraga, Province of Huesca, Northern Spain. *Cuad. Geol. Ibérica*, 12, 121-130.
- Gomis-Coll, E., 1997. Precisión sobre la magnetoestratigrafía de las sucesiones del Oligoceno superior - Mioceno inferior en los valles del Cinca, Segre y Ebro (Sector SE de la cuenca del Ebro, provincias de Lleida, Zaragoza y Huesca). Tesis de Licenciatura. Universidad de Barcelona, 104 pp.
- Kirschvink, J.L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 62, 699-718.
- Luzón, A., 1994. Los materiales del tránsito Oligoceno-Mioceno del Sector centro-oriental de la Depresión del Ebro: Análisis estratigráfico e interpretación evolutiva. Tesis de Licenciatura. Universidad de Zaragoza. 259 pp.
- Mein, P., 1975. Résultats du groupe de travail des vertébrés: Biozonation du Neogène méditerranéen a partir des mammifères. In J. Senes (ed.). Report on Activity of RCMNS working groups (1971-1975). Bratislava, 78-81.
- Pérez, A., 1989. Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector Riojano-Aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 525 pp.
- Peterson, J., 1988. Dolomitization in thin bedded calcarenites of the Oligocene Los Monegros Group, SE Ebro Basin, Spain. Thesis of Master Degree. University of California, Sta. Barbara. 79 pp.
- Peterson, J., Cabrera, L., 1989. Dolomitization in thin bedded calcarenites in the lacustrine Los Monegros Group Oligocene, SE Ebro Basin, Spain. In J.D. Cooper (ed.). *Cavalcade of carbonates. Abstracts volume and Guidebook. AAPG/SEPM Annual Meeting*, 135-144.
- Puigdefàbregas, C., Muñoz, J.A., Vergés, J., 1992. Thrusting and foreland basin evolution in the southern Pyrenees. In K.R. McClay (ed.). *Thrust and tectonics*. Chapman & Hall, London, 247-254.
- Riba, O., Reguant, S., Villena, J., 1987. Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. IGME, Libro Homenaje a J. Rios, Vol II. Instituto Geológico Minero de España, Madrid, 131-159.
- Schmidt-Kittler, N., 1987. European reference levels and correlation tables. In: N. Schmidt-Kittler (ed.), *Int. Symp. on Mammalian Biostratigraphy and Paleogeology of the European Paleogene*, Mainz, 18-21 February 1987. *Münchner Geowiss. Abh. (A)*, 10, 13-31.
- Souquet, P., Puigdefàbregas, C., 1986. Tecto-sedimentary cycles and depositional sequences of the Mesozoic and Tertiary from the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129, 173-203.
- Vergés, J., Muñoz, J.A., Martínez, A., 1992. South Pyrenean fold and thrust belt: The role of foreland evaporitic levels in thrust geometry. In K.R. McClay (ed.). *Thrust Tectonics*. Chapman & Hall, London, 255-264.
- Zijderveld, J. D. A., 1967. Demagnetization of rocks: Analysis of results. In D.W. Collinson, K.M. Creer, S.K. Runcorn (eds.). *Methods in Paleomagnetism*. Elsevier, New York, 254-286.