

Variaciones de color y contenido de CaCO_3 en los pares margaliza del Maastrichtiense superior y Eoceno inferior en Sopelana (Arco Vasco): reflejo de cambios paleoambientales

Colour and CaCO_3 content in the Upper Maastrichtian and the Lower Eocene couplets at Sopelana (Basque Arc): palaeoenvironmental responses

Peru Iridoy, Saioa Zudaire, Maddi Azaguirre, Ane Dorronsoro, Galder Olano, Eneko Beriain, Ariane Usarbarrena y Javier Elorza

Departamento Mineralogía y Petrología, Universidad del País Vasco, Apdo.644; 48080 Bilbao. josejavier@ehu.es

ABSTRACT

The Sopelana sea-cliff exposes marl-limestone couplets from the Upper Maastrichtian (MS1 and MS2 sections) and the Lower Eocene (EI section), in the deep Basque Arc domain. The high-resolution analysis (% CaCO_3) of the MS1 couplets confirms a complex behaviour with strong compositional contrast vs. a more regular MS2 couplets. This may be due to a drastic environmental change (long humid and rainy alternating to drier periods) towards dominant humid and rainy periods, with a minor seasonal nature and high sedimentation rate (72 cm/20 ky). The deep, cold, oxygenated marine water produces a change of coloration (grey to purple) during the sedimentation, in the Upper Maastrichtian couplets before diagenesis activity. It is the beginning of the Cretaceous oceanic red beds (CORB's).

Key words: Colour, marl-limestone couplets, Late Maastrichtian, Early Eocene, Basque Arc.

Geogaceta, 49 (2010), 91-94
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

Desde hace más de 50 años, los materiales sedimentarios presentes en los acantilados de la playa de Sopelana (NE de Bilbao), vienen siendo estudiados bajo diferentes puntos de vista. En un primer reconocimiento, resulta destacable la presencia regular de pares marga-caliza (M-C), correspondientes al Maastrichtiense, Daniense y Eoceno. En estos últimos años, como trabajo de campo con estudiantes de 2º Ciclo de Geología, nos hemos centrado en determinar las variaciones del espesor de los pares, la evolución composicional en % CaCO_3 (6 análisis/par y alta resolución H» 1 análisis/2cm), su patente ciclicidad, confirmada por el análisis espectral de los pares M-C, de edad Maastrichtiense inferior y Daniense (Álvarez-Llano *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2007). Las variaciones en el color (gris/amarillo-verdoso/rojo), que exhiben ciertos tramos, así como la procedencia del Sr en la celestita diagenética encontrada con estructuras «cono en cono» y asociada a delgados lechos de turbiditas tractivas, son otros de los aspectos tratados en materiales del Maastrichtiense inferior

(Santander *et al.*, 2007; Pascual-Zabalza *et al.*, 2008).

Admitidas las variaciones orbitales (precesión y excentricidad) como las causantes de la ritmicidad de los pares M-C, incidimos en los análisis de alta resolución para apreciar las variaciones en % CaCO_3 , que exhiben 17 pares escogidos en tres pequeñas secciones. Por otro lado, el auge en el estudio de los llamados «Cretaceous oceanic red beds» (CORB's) (Hu *et al.*, 2005; Cai *et al.*, 2009), nos invita a insistir sobre el origen de las coloraciones púrpuras.

Situación geológica

La playa de Sopelana, con 800 metros de longitud, ofrece en sus acantilados sedimentos ordenados por pares M-C, correspondientes al Maastrichtiense, Daniense y Eoceno inferior (Ypresiense). Han sido generados en un ambiente de cuenca profunda, y han quedado plegados y fracturados por la orogenia alpina. Conforman el flanco noreste del Sinclinorio de Bizkaia, con direcciones de N120° E, y, pertenecen al llamado Dominio del Arco Vasco dentro de la Cuenca Vasco Cantábrica (CVC) (Elorza *et al.*, 1984).

Materiales y metodología

Tres pequeñas secciones han sido escogidas para su estudio. La Sección MS1 formada por pares M-C de tonos grises en las calizas y ligeramente púrpuras (vinosos-violetas) en la margas, dispuestos en posición normal y pertenecientes a la parte inferior del Maastrichtiense superior. Por encima, la sección MS2 con pares M-C de tonos púrpuras generalizados tanto en margas como en calizas. Ambas secciones se encuentran en la biozona de *Abathomphalus mayaroensis* y forman parte del llamado Miembro IV de Ward y Kennedy (1993) (Fig. 1). La sección EI, dispuesta en posición subvertical y ligeramente invertida con pares M-C de tonos grises-amarillentos, se integra en la biozona de *Morozovella subbotinae* del Ypresiense (Eoceno inferior Elorza *et al.*, 1984, véase la Fig. 2). Las técnicas utilizadas han consistido en realizar calcimetrías, análisis por DRX y microscopía electrónica de barrido (SEM), con la metodología habitual.

Resultados

Las potencias de los 17 pares M-C, los valores medios parciales y totales de

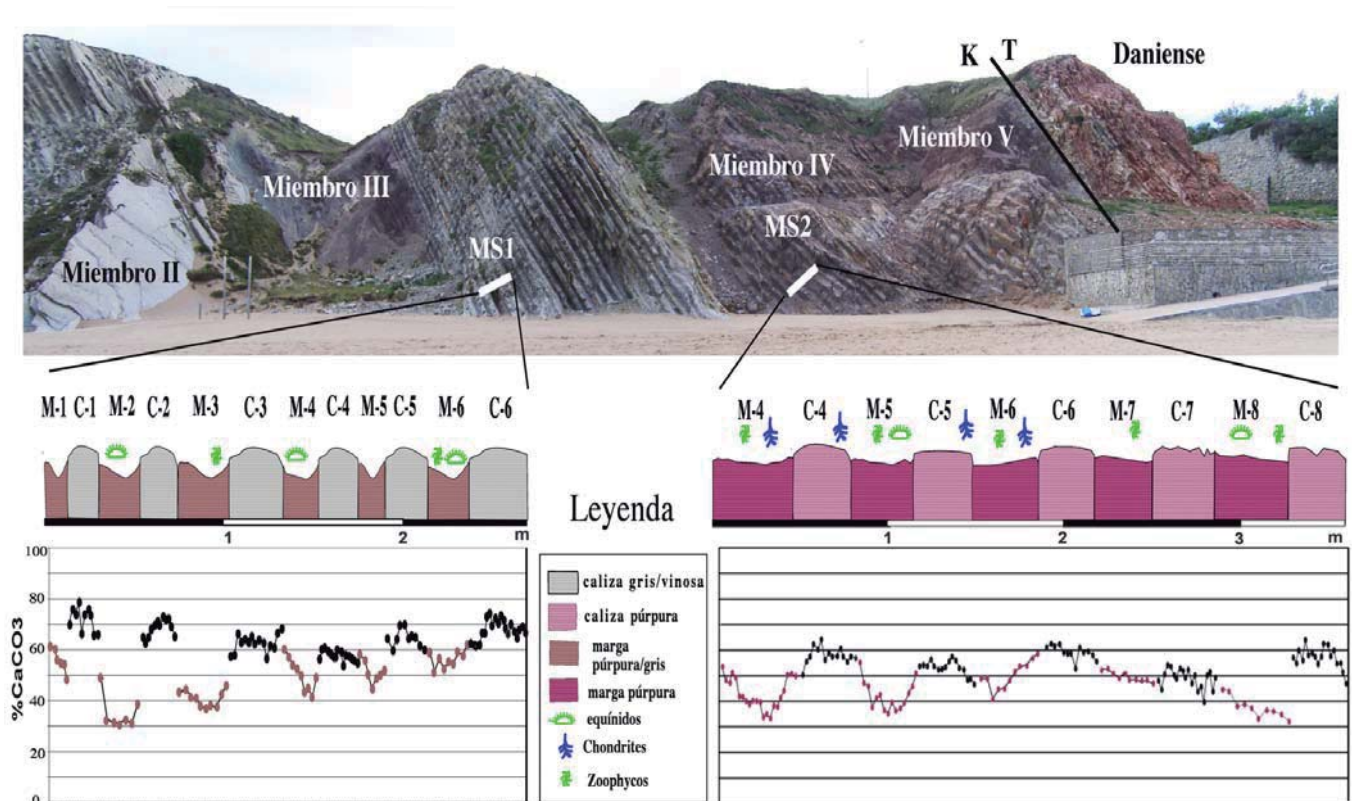


Fig. 1.- Vista de Soplana con las secciones MS1 y MS2 estudiadas. Explicaciones en el texto.

Fig. 1.- The Soplana outcrop with the studied sections (MS1 and MS2). See text.

las 396 calcimetrías (% CaCO₃) realizadas en las tres secciones, quedan reflejadas en la Tabla I. Las Figs. 1-3 y 4A-F muestran los trazados de alta resolución, con las variaciones del % CaCO₃ de los pares M-C en las tres zonas estudiadas. El análisis de calizas y margas por DRX, nos confirma que las fases minerales minoritarias corresponden al cuarzo, plagioclasa, feldespato, micas y arcillas como la caolinita e illita/esmectita. En las facies púrpuras resulta detectable todas las fases anteriores, más la presencia de hematites (Fig. 3). El análisis por SEM, nos enseña cómo la matriz carbonatada, aunque amortiguada por la cementación y compactación, está compuesta por innumerables fragmentos de cocolitos agrupados unos con otros junto con illitas, como micas detríticas.

Discusión

Contenidos en % CaCO₃

Las curvas obtenidas con los valores de %CaCO₃ en las tres secciones son sensiblemente desiguales entre sí e indican variaciones en las condiciones paleoambientales (oceanográficas y climáticas), que dominaron en esa etapa. Así, en la sección MS1 (2,67 m de poten-

cia y 48 cm/20ky), se producen sensibles saltos composicionales entre las M-C de los primeros pares (1, 2 y 3), mientras que hacia techo se van amortiguando las diferencias. Este acercamiento composicional M-C queda mucho mejor reflejado en la sección MS2 (3,60 m de potencia y 72 cm/20ky), donde se dibuja una curva más regular en los pares 4, 5, 6 y 7. Son mínimas las diferencias entre los valores últimos de los subpares margosos y primeros de los subpares calizos. El par 8 marca un cambio en esta tendencia (Fig. 1). El comportamiento en la sección EI (2,84 m y 47,4 cm/20ky), es más cercano al de la sección MS1, fundamentalmente en los pares 1, 2, 4 y 5. Resulta reseñable que el mayor contraste composicional medio entre M-C (17%) coincide con una velocidad de sedimentación menor (~48cm/20ky), mientras que cuando quedan amortiguados (10%), llegan a ~72cm/20ky (Tabla I).

Por otro lado, el trazado de la curva de cada subpar es complejo, puesto que además de estar ligeramente desplazados los máximos y los mínimos de su teórico centro, se producen roturas en las tendencias con depresiones/ascensos puntuales respecto al trazado general. Este comportamiento difiere del modelo más regular

observado en los pares estudiados en el Maastrichtiense inferior (Álvarez-Llano et al., 2006). También apreciamos cómo en los subpares M se producen de muro a techo subidas y caídas continuadas (M6 y

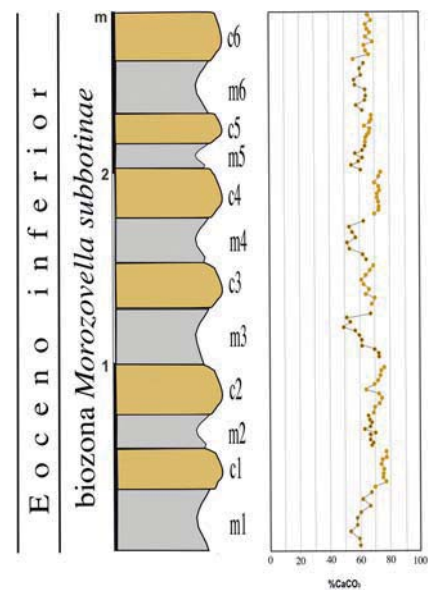


Fig. 2.- Variaciones del (%) CaCO₃ en los pares marga-caliza de la Sección IE.

Fig. 2.- The marl-limestone couplets (% CaCO₃ variations of the Section IE. See text.

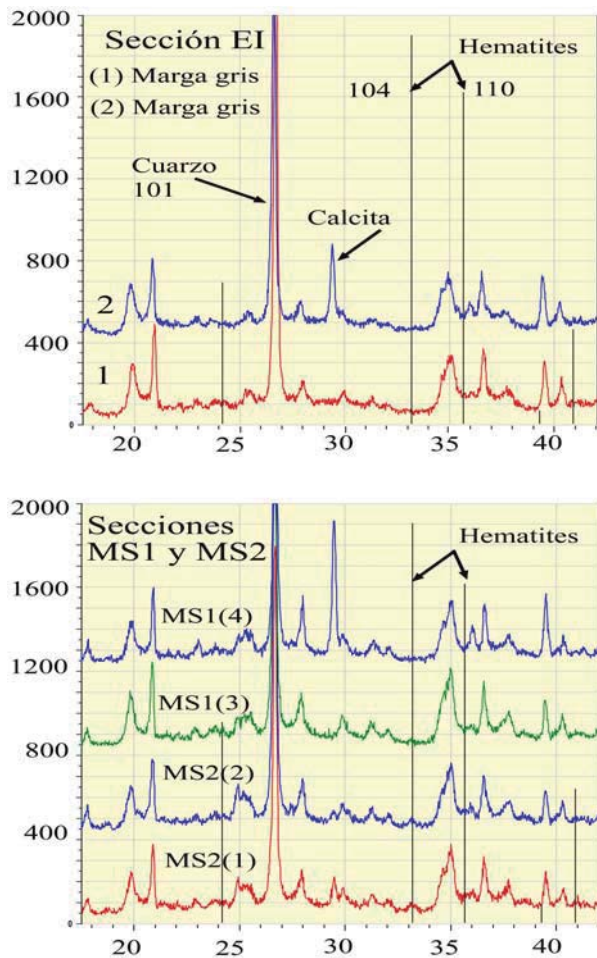


Fig. 3.- Difractogramas de las facies grises y púrpuras. Explicaciones en el texto.

Fig. 3.-Difractograms of the grey and purple

M7-M8 de la sección MS2), ya detectadas en las M del Daniense (Santander *et al.*, 2007), y que fue interpretado como consecuencia de la interacción de la precesión dominante con otro ciclo de mayor amplitud (excentricidad), dentro de la banda de frecuencia de Milankovitch.

Entendemos que la sección MS1 refleja unas condiciones paleoambientales más drásticas entre las M (periodos largos lluviosos y húmedos) y C (periodos más secos). A medida que alcanzamos la sección MS2, las condiciones paleoambientales se amortiguan sin apenas diferencias, dominando los periodos lluviosos húmedos y aumentando el aporte detrítico, reflejado en una mayor potencia media de los pares (Tabla I). Estas condiciones dominantes fueron alteradas con espacios cortos, evidenciados en las rupturas composicionales intrapar. El comportamiento de la sección EI, resulta ser más próximo a la sección MS1, donde también se aprecian las rupturas intrapar, dibujando curvas más complejas. En conclusión, se constata que a partir del Maastrichtiense superior se produce un cambio notable tanto en la velocidad de sedimentación, como en el amortiguamiento de las condiciones paleoambientales entre los subpares margo y calizo.

Origen de las coloraciones

Inicialmente aceptamos que en la CVC, el paso de facies grises a amarillo-verdosas para terminar en rojas (CORB's), se debe a un mayor contenido en oxígeno de las masas de agua profunda, lo cual produce una precipitación continuada de hematites con la consiguiente tinción del sedimento, durante su «tránsito» hacia el fondo de cuenca (Santander *et al.*, 2007). Es por tanto un cambio paleoceanográfico, con una circulación termohalina más vigorosa, lo que genera la incursión de aguas de fondo más frescas y con un potencial de oxidación mayor, capaces de propiciar la precipitación a hematites (Fe₂O₃) del Fe⁺² disuelto en el medio. La presencia de hematites en los materiales de tonos púrpuras es indicativa de alcanzar una relación de Fe⁺²/Fe⁺² + Fe⁺³ = 0,3 a 0,5 frente a una relación de 0,3 a 0 para los tonos rojizos-rosados (Stow, 2005).

El origen sinsedimentario de las tinciones queda confirmado por otras evidencias recogidas en los acantilados de Sopelana como: a) la fauna epibentónica se ve afectada, evidenciada por la mínima presencia de pequeños y delgados inocerámidos (grosor <1 mm) y un alto grado de bioturbación en las

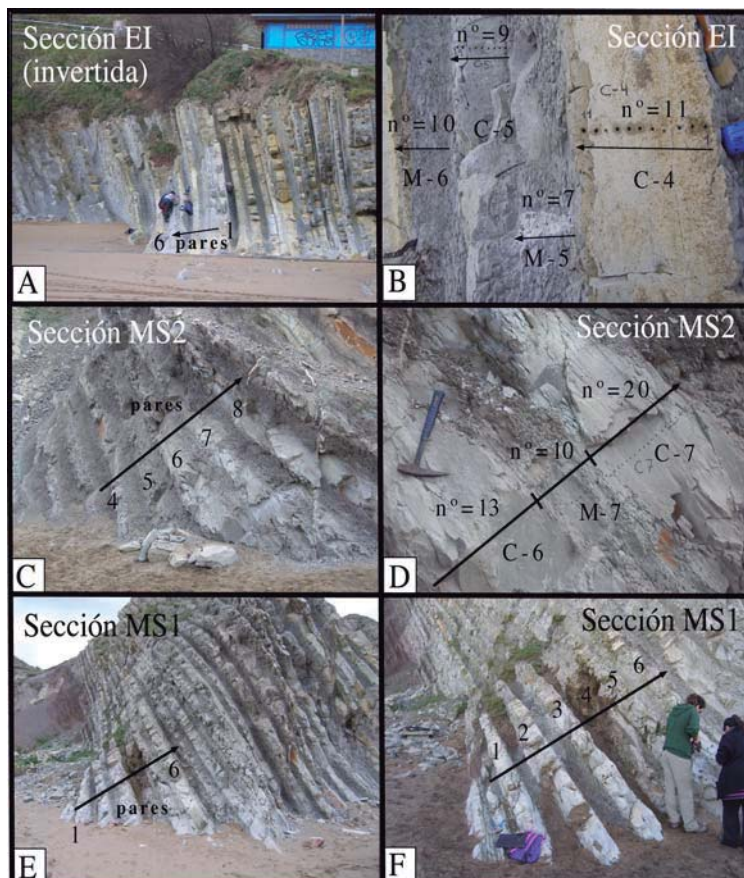


Fig. 4.- Detalles de las secciones MS1, MS2 y EI.

Fig. 4.- Close-up of SMI, SM2 and EI sections.

facies rojas. A esta respuesta adaptativa se le antepone los inocerámidos de gran talla y grosor (< 6 mm), presentes en las facies grises (Santander et al., 2007); b) los cambios de color a diferentes escalas: desde el Miembro II gris al Miembro

III púrpura; a escala de varios pares, con el paso gradual desde tonos grises a amarillo verdosos hasta llegar a rojos; a escala del par (caliza gris pasa a marga púrpura); a escala de subpar (caliza blanca en la base pasa a rosa en techo; marga púrpura en la base pasa a gris en techo); c) el «blanqueo» por descomposición temprana de la materia orgánica en restos de equínidos fósiles, bioturbaciones y *Zoophycos* incluidos en las facies púrpuras; d) la igualdad composicional registrada por DRX (salvo la hematites), entre las calizas grises y púrpuras (MS1) y las calizas y margas púrpuras (MS2) (Fig. 3). Por ello, descartamos la influencia de procesos diagenéticos tempranos, para justificar la coloración rojiza en la CVC, tal como invocan Hu et al. (2005) en las CORB's de las cuencas tethisianas y noratlánticas. La alta tasa de sedimentación en MS2 (72cm/20ky) puede justificar que la oxidación no fuera completa, no siendo necesario invocar aguas menos oxigenadas, para generar las margas púrpuras con valores de $Fe^{+2}/Fe^{+2} + Fe^{+3} = 0,3$ a $0,5$ (Stow, 2005). Los altos valores de sedimentación no coinciden con la idea propugnada para las CORB's con muy baja tasa de sedimentación.

Conclusiones

El análisis de alta resolución (% $CaCO_3$), ofrece en la sección MS1 (2,67 m de potencia y 48 cm/20ky) un trazado con un fuerte contraste composicional entre los subpares marga (M) y caliza (C), que gradualmente se amortigua hacia techo. En la sección MS2 (3,60 m de potencia y 72 cm/20ky), el trazado es más gradual y regular con acercamiento de los valores de M y C. El trazado en la sección EI (2,84 m y 47,4 cm/20ky), está más cercano a la MS1. Ello es interpretado como el paso desde unas condiciones paleoambientales más drásticas (periodos largos lluviosos y húmedos frente a más secos) a un dominio de periodos lluviosos húmedos con menor estacionalidad, y con un generalizado aporte detrítico. Estas condiciones dominantes quedan alteradas con espacios cortos, evidenciados en las rupturas composicionales intrapar. El comportamiento de la sección EI, resulta ser más próximo a la sección MS1, donde también

se aprecian las rupturas intrapar, dibujando curvas más complejas. Los llamados *Cretaceous oceanic red beds* (CORB's) se muestran de forma continuada desde la base del Miembro III y afectan minoritariamente a la sección MS1, para ser netos en la MS2, con una alta tasa de sedimentación. La coloración a tonos púrpura se debe al contenido disperso de hematites presente en el sedimento y precipitado durante el proceso sinsedimentario en aguas oxidantes. Propugnamos que la coloración púrpura está condicionada por la alta velocidad de sedimentación que no permite la completa oxidación. Se descarta un origen diagénético.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la asignatura «Trabajos de Campo en Petrología Sedimentaria» impartida por J. Elorza, durante el curso 2009-10. Agradecemos a Dinarés-Turell y a un revisor anónimo las interesantes sugerencias aportadas.

Referencias

Alvarez-Llano, I., Bager, A., Martínez López de Sabando, M., Mugica, J., Pérez-García, J.R., Unanue, L. y Elorza, J. (2006). *Geogaceta*, 39, 131-134.
 Cai, Y., Li, X., Chen, X., Pan, Y. (2009). *Cretaceous Research*, 30, 1205-1216.
 Domínguez, E., Echeberria, J., Gómez-Urtasun, I., Ibisate R., Martínez-García, B. y Elorza J. (2007). *Geogaceta*, 41, 67-70.
 Elorza, J., Orue-Etxebarria, X. y Lamolda, M.A. (1984). En: I Congreso Geológico de España. Comunicaciones, 3, 177-188.
 Hu, X., Jansa, L., Wang, Ch., Sarti, M., Bak, K., Wagreich, M., Michalik, J. y Soták, J. (2005). *Cretaceous Research*, 26, 3-20.
 Pascual-Zabalza, B., Portos, O., Epelde, A.M., Jaurena, E., Zugasti, I. y Elorza, J. (2008). *Geogaceta*, 45, 107-110.
 Santander, J., Sopelana, A., Ramírez-Rodríguez, J.A., García-Peregrina, I., Castaños, J., Díez-López, A., Perdígón, O. y Elorza, J. (2007). *Geogaceta*, 43, 95-98.
 Stow, D.A.V. (2005). *Sedimentary Rocks in the field*. Manson publishing, 320 p.
 Ward, J. y Kennedy, P.D. (1993). *Journal of Paleontology*, 67, 1-58.

Sección Eoceno inferior (EI)			
Pares	Potencia (cm) Marga; Caliza	Marga (%CaCO ₃) (nº =10)	Caliza (%CaCO ₃) (nº =11)
6	27;24	61,1 (nº =7)	65,1 (nº =9)
5	13;16	60,0 (nº =8)	66,1 (nº =11)
4	24;26	57,4 (nº =11)	72,4 (nº =9)
3	30;24	61,6 (nº =10)	66,0 (nº =11)
2	18;26	67,1 (nº =9)	71,9 (nº =9)
1	33;21	60,5 (nº =56)	75,4 (nº =60)
V. Medios	24,2;23,2	62,1	69,5
Potencia / nº de muestras	2.84 m	115 muestras	
Sección Maastrichtense sup. (MS2)			
Pares	Potencia (cm) Marga; Caliza	Marga (%CaCO ₃) (nº =10)	Caliza (%CaCO ₃) (nº =18)
8	42;32	37,6 (nº =10)	57,3 (nº =20)
7	34;33	49,6 (nº =11)	49,0 (nº =13)
6	38;32	50,1 (nº =15)	59,4 (nº =16)
5	33;35	42,1 (nº =22)	53,1 (nº =15)
4	46;35	42,1 (nº =68)	57,9 (nº =82)
V. Medios	38,6;33,4	44,7	55,4
Potencia / nº de muestras	3,60 m	150 muestras	
Sección Maastrichtense sup. (MS1)			
Pares	Potencia (cm) Marga; Caliza	Marga (%CaCO ₃) (nº =9)	Caliza (%CaCO ₃) (nº =21)
6	22;32	56,5 (nº =7)	67,7 (nº =10)
5	16;23	51,3 (nº =9)	64,5 (nº =15)
4	20;22	50,0 (nº =10)	57,8 (nº =15)
3	29;29	40,1 (nº =7)	63,0 (nº =12)
2	23;21	35,3 (nº =6)	68,4 (nº =10)
1	12;18	55,9 (nº =21)	72,0 (nº =3)
V. Medios	20,3;27,5	48,1	65,3
Potencia / nº de muestras	2,67 m	131 muestras	
Potencia total	9,11 m	nº total =396	

Tabla I.- Número de pares, nº de análisis y valores medios (%) CaCO₃ en las tres secciones de Sopelana.

Table I.- Number of couplets and analysis, together with (%) CaCO₃ mean values from the three Sopelana sections.