

Caracterización petrológica del sílex de la Formación Calizas de Montmaneu (Sector oriental de la Cuenca del Ebro)

Petrological characterization of flint from Montmaneu's Limestones Formation (Eastern sector of the Ebro Basin)

David Ortega¹, Xavier Terradas¹, Carles Roqué², Jordi Ibáñez³, Elisabet Beamud⁴ y Juan C. Larrasoña^{4,5}

¹ CSIC - IMF, Departamento de Arqueología y Antropología. C/ Egipcíacques, 15, 08001 Barcelona, España. litocat@imf.csic.es; terradas@imf.csic.es

² Universitat de Girona, Depto. de Ciencias Ambientales. Campus de Montilivi s/n, 17071 Girona, España. carles.roque@udg.edu

³ CSIC - ICTJA, Laboratorio de Difracción de Rayos X. C/ Lluís Solé Sabarís s/n, 08028 Barcelona, España. jibanez@ictja.csic.es

⁴ CCITUB & CSIC - ICTJA, Laboratorio de Paleomagnetismo. C/ Lluís Solé Sabarís s/n, 08028 Barcelona, España. bbeamud@ictja.csic.es

⁵ Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala, 44 9B, 50006 Zaragoza, España. jc.larra@igme.es

ABSTRACT

Flint from Montmaneu's Limestones Formation of Rupelian age (Oligocene) is being here characterized. The analysis of the compositional texture, mineralogy and geochemical features has revealed this flint is highly pure and of microcrystalline texture, with a significant content of moganite. This flint is product of an early diagenetic replacement of limestone from littoral lacustrine facies. This flint was exploited by human populations in a regional range, especially in the early stages of the Neolithic.

Key-words: Ebro basin, Early Oligocene, Montmaneu Fm, lacustrine limestones, flint.

RESUMEN

Se caracteriza el sílex de la Formación calizas de Montmaneu, de edad Rupeliense (Oligoceno). El análisis textural, mineralógico y de sus rasgos geoquímicos indica que se trata de un sílex microcristalino, bastante puro, con una proporción significativa de moganita. Es producto del reemplazamiento diagenético temprano de calizas de facies lacustres litorales. Este sílex fue objeto de una explotación regional, especialmente en los primeros momentos del Neolítico.

Palabras clave: Cuenca del Ebro, Oligoceno inferior, Fm Montmaneu, calizas lacustres, sílex.

Geogaceta, 60 (2016), 95-98
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 7 de septiembre de 2015
Revisión: 20 de abril de 2016
Aceptación: 20 de Mayo de 2016

Introducción

En yacimientos prehistóricos del NE de la península Ibérica es habitual hallar artefactos tallados con sílex marrones cuyo origen puede atribuirse a formaciones de calizas lacustres de la cuenca del Ebro. No supone mayor dificultad distinguir tales tipos de sílex de otros de distinta edad, medio sedimentario y/o modelo petrogenético. Sin embargo, resulta difícil determinar a qué unidades corresponden los sílex recuperados en un sitio arqueológico concreto puesto que son varias las formaciones que libran rocas parecidas a lo largo de la cuenca (p.e., Fm Castelltallat, Fm Valldeperes, entre otras). Establecer los criterios para su discriminación requiere el censo y una completa caracterización petrológica de las rocas silíceas de cada unidad.

Con este objetivo se describe por primera vez el sílex de la formación de calizas de

Montmaneu, la más oriental de las unidades de la cuenca que libran sílex marrones y la única del margen catalánide en la que se dan. Aunque de excelente calidad para la talla de utensilios, se trata de una materia prima de difusión limitada a la región vecina al área, ya de por sí reducida, en que aflora la unidad.

Materiales y métodos

El tipo local de sílex se caracteriza mediante técnicas petrográficas, mineralógicas y geoquímicas habituales (Tariño y Terradas, 2013), además de magnéticas, que permiten atestiguar con técnicas no destructivas el eventual tratamiento térmico del sílex (Borradale *et al.*, 1998). Con el objeto de evaluar su variabilidad se analizan muestras de dos localidades distintas: Costa de la Creu (CC, coord. UTM ETRS89 x: 368803; y: 4609650, municipio de Montmaneu) y Pla de la Casilla

(PC, x: 370636; y: 4614929, Veciana), ambas en la provincia de Barcelona (Fig. 1).

El estudio petrográfico fue realizado en los laboratorios del CSIC-IMF en Barcelona, mediante microscopía óptica standard a partir de secciones delgadas realizadas en el *Laboratori de Preparació de Làmines Primes* de la UAB.

Para los análisis geoquímicos se emplearon técnicas de ICP-AES y de ICP-MS que se aplicaron en los laboratorios de *ALS Limited* (códigos de análisis refs. ME-ICP06, ME-MS81, ME-MS42 y ME-4ACD81, véase descripción en alsglobal.com). La mineralogía se determinó en el Servicio de Difracción de Rayos X del CSIC-ICTJA en Barcelona, empleando un difractor de polvo Bruker D-5005 y la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) para la identificación de las fases cristalinas, que se han cuantificado por el método

de Rietveld (Young, 1993). Los análisis de magnetismo se llevaron a cabo en la Unidad de Paleomagnetismo del CCITUB de la UB y del CSIC-ICTJA. Las muestras se tallaron en cubos regulares de 8 cm³ de volumen, completamente decorticadas. Para las mediciones de la susceptibilidad magnética (χ), de magnetización natural remanente (MRN), magnetización remanente anhisterética (ARM) y magnetización remanente isotérmica (IRM) se emplearon, por este orden, un puente de susceptibilidad magnética Kappabridge KLY2 (Geofyzika Brno, ahora AGICO), un magnetómetro superconductor SRM755R (2G Enterprises), un desmagnetizador por campos alternos D-Tech 2000 (ASC Scientific) y un magnetizador de impulso IM10-30 (ASC Scientific). Todas las medidas se normalizaron a masa. Las muestras, preparaciones y residuos de su procesado así como los informes técnicos derivados se archivan en la *Litoteca de roques silícies de Catalunya* (LITOCat, Terradas *et al.*, 2012), donde pueden consultarse.

Contexto geológico

La unidad de Montmaneu, con nódulos de sílex, se localiza en la cuenca terciaria del Ebro (Fig. 1). Ésta es una extensa

unidad morfoestructural que constituye la cuenca sedimentaria de antepaís surpirenaica. Originalmente comunicada con el océano, a partir del Priaboniense la cuenca se aísla de toda influencia marina (Costa *et al.*, 2010), pasando a partir de entonces a un régimen sedimentario continental endorreico que persiste hasta fines del Mioceno (Pardo, 2004). Bajo dicho régimen se suceden, en una extensísima región, condiciones geoquímicas propicias para la formación de sílex.

La Formación calizas de Montmaneu aflora en el sector oriental de la cuenca. La unidad se integra en el Sistema Lacustre de la Segarra, que junto con los sistemas aluviales relacionados con éste, forman parte de la Secuencia III de la subdivisión propuesta por Anadón *et al.* (1989) del relleno sedimentario del sector oriental de la cuenca del Ebro.

Está formada por hasta 120 m de calizas lacustres masivas y organógenas que intercalan niveles de margas. Las calizas son micríticas o margosas, de color gris claro a negruzco. Contienen fauna de ostrácodos y carófitas (Colldeforns *et al.*, 1994). Lateralmente la unidad pasa al miembro margas de Civit que está formado por margas y margocalizas laminadas correspondientes a

medios lacustres de mayor profundidad. Yace estratigráficamente sobre la Fm. margas y yesos de Santa Coloma y está cubierta en parte por la Fm. yesos de Talavera, a la que pasa a techo de modo gradual (Anadón *et al.*, 1989). Se data mediante correlaciones estratigráficas y flora de carófitas en el Rupeliense (Colldeforns *et al.*, 1994; Barberà *et al.*, 2001).

Las calizas de la unidad Montmaneu se depositaron en el centro de un extenso sistema lacustre poco profundo y somero, de márgenes fluctuantes. Tras una primera etapa de expansión, que corresponde a la sedimentación carbonática de la unidad, el sistema evolucionó localmente a condiciones de creciente salinidad que dieron lugar a la instalación de medios evaporíticos, evolucionando posteriormente a una sedimentación carbonática (Fm. calizas de Panadella, Anadón *et al.*, 1989).

Los detriticos y solutos de la sedimentación lacustre fueron aportados por sistemas fluviales procedentes de los márgenes pirenaico y catalánide de la cuenca. La precipitación de los carbonatos y, tras ésta, la silicificación, fueron los principales procesos que ocurrieron en el sistema.

El sílex de Montmaneu

Las silicificaciones de la unidad de Montmaneu se encuentran en niveles tabulares de estratificación decimétrica de calizas bioclásticas de estructura masiva o irregularmente laminada, de facies lacustres litorales. Da lugar a nódulos de tamaño centimétrico cuya longitud máxima se sitúa en torno a los 12 cm, con una forma elíptica a ligeramente botroidal. Los nódulos se disponen en horizontes paralelos a la estratificación y, ocasionalmente, a concreciones de tipo estratiforme, que se dan a lo largo de toda la secuencia.

El sílex es de color marrón oscuro (código de color Munsell 5YR 2.5-3/1-2), opaco, de estructura masiva y textura microcristalina (Fig. 2A). Al ser liberados de la caliza, los nódulos conservan una envuelta carbonática fuertemente adherida, de límite neto con el interior homogéneamente silicificado. Apenas conserva trazas visibles de la roca caja. Resulta distintivo sólo por un abundante contenido en bioclastos, perceptibles *de visu* en muestras de mano de cortes alterados.

El examen microscópico revela que el sílex está compuesto por un mosaico de

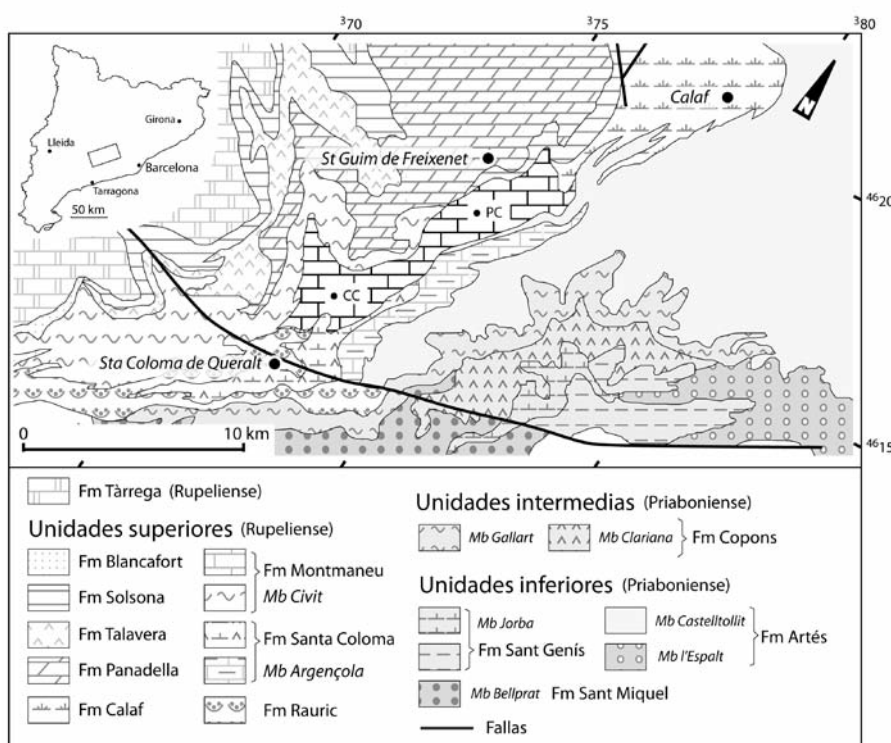


Fig. 1.- Esquema geológico del área en que aflora la unidad con la localización de los afloramientos Pla de la Casilla (PC) y Costa de la Creu (CC). Redibujado de Colldeforns *et al.* (1994).

Fig. 1.- Geological sketch of the region where the unit crops out. Location of Pla de la Casilla (PC) and Costa de la Creu (CC) outcrops is indicated. Redrawn from Colldeforns *et al.* (1994).

cuarzo anhedral de tamaño micro y criptocrystalino. Registra además calcedonia *lengt-fast* y mosaicos de megacuarzo en el relleno de las cavidades de los bioclastos, así como mosaicos de megacuarzo que reemplazan selectivamente la fábrica de bioclastos: caparzones de ostrácodos y tallos de algas carófitas. Cómo componentes adicionales aparecen sólo algunos minerales opacos (Fig. 2B).

Los difractogramas de rayos X en polvo señalan la presencia en todas las muestras analizadas de cuarzo, de pequeñas cantidades de calcita (< 5-10%) y, en algunas de las muestras, de moganita (Heaney y Post, 1992). Los análisis Rietveld realizados indican que el contenido de moganita varía en un amplio rango que puede alcanzar hasta el 15% en peso total de la muestra, con un valor medio aproximado del 5-10%.

Las muestras analizadas no contienen ópalo (ópalo A y ópalos C-T). Los análisis Rietveld permiten estimar, aplicando una convolución Lorentziana al perfil de los picos de DRX, la longitud de coherencia de los dominios microcristalinos del cuarzo. Los valores obtenidos se sitúan entre 60 y 90 nm, que aproximadamente se corresponden a un índice de cristalinidad de 4 a 5 según la definición de Murata y Norman (1976). Asimismo, la intensidad relativa de la reflexión (101) del cuarzo en relación a la (100) toma valores cercanos al 10% en todas las muestras, que son valores usuales para sílex de medios continentales de parecida edad (Bustillo *et al.*, 2002).

En lo relativo a las medidas de magnetismo ha de señalarse en primer lugar que la susceptibilidad magnética (χ) de todas las muestras es negativa, lo cual indica que dominan los minerales diamagnéticos. Los valores de χ varían entre $-5,05 \times 10^{-10}$ y

$-3,21 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg}$, con un valor medio de $-1,89 \times 10^{-9}$, cercanos a los que corresponden al cuarzo ($-0,62 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), lo que sugiere que se trata de un sílex bastante puro. La MRN tiene un valor medio de $6,14 \times 10^{-8} \text{ Am}^2/\text{kg}$, y la ARM de $5,57 \times 10^{-8} \text{ Am}^2/\text{kg}$, ambos valores normales para el sílex. Los valores de IRM de saturación, relativamente bajos, indican un pobre contenido en minerales ferromagnéticos (magnetita, hematites y/o goethita).

Los datos geoquímicos (Tabla I) confirman que se trata de un sílex cuyo valor medio de SiO_2 expresado en óxido total es igual a 93,18%, por lo que contiene pocas impurezas. Debido a la presencia de carbonatos relictos, el contenido en CaO se correlaciona negativamente con su contenido en SiO_2 (Pearson -0,815, sig > 0,05). El contenido en Fe_2O_3 y, en menor proporción, en Al_2O_3 da cuenta de la presencia de una pequeña fracción de arcillas y elementos terrígenos finos. En muy pequeñas cantidades aparecen MgO, Na_2O , P_2O_5 y K_2O . El valor de pérdida por calcinación LOI es aproximadamente equivalente a la suma de los carbonatos, de lo que cabe deducir que apenas si contienen materia orgánica.

Respecto a los elementos traza contiene Sr, Ba, Cr, Zr, Zn, Cu y U, en cantidades > 5 ppm de media, todos ellos en proporción muy por debajo del valor medio que corresponde a cada elemento en el conjunto de la corteza terrestre (Mason y More, 1982), salvo U, además de Ta, As y Sb, que se hallan en igual o mayor cuantía que en dicha referencia. Las muestras de PC tienen más U que las de CC, y éstas sólo algo más de Fe_2O_3 . Por cuanto se refiere a las tierras raras ha de notarse que, debido al bajo contenido en arcillas, las muestras vienen singularmente empobrecidas en tierras raras,

las más pesadas entre las cuales se hallan por debajo del umbral de detección de las técnicas empleadas. De los índices comunes sólo pueden calcularse para algunas muestras Ce/Ce^* y La_n/Ce_n (NASC normalizado, Murray, 1994), que con valores $< \sim 0,8$ y $\sim > 1,7$ respectivamente, registran un leve anomalía negativa del Cerio.

Usos en la prehistoria

El sílex de la unidad de Montmaneu es la roca sílicea que reúne mejores condiciones para la talla de herramientas líticas en una amplia región del litoral y prelitoral de la costa central catalana.

Se ha atestiguado su presencia en el nivel J, y otros, del Paleolítico medio del Abric Romaní (Capellades, Vaquero *et al.*, 2012) fechado en 49,3-50,0 Ka BP, a 25 km al SE de la unidad. Aparece también en niveles del Paleolítico Superior fechados en 18-22 Ka BP del yacimiento de la Dolina de l'Esquerda de les Alzines, en el Garraf, a unos 55 km de distancia (Rey *et al.*, 2014). En sitios de cronología neolítica del Penedès -Guixeres de Vilobí, Mas d'en Boixos, Cova Guineu y la Serreta, entre otros- (Oms *et al.*, 2014) y del Baix Llobregat -Cova de Can Sadurní y Sant Pau del Camp- (Borrell y Gibaja., 2012; Edo *et al.*, 2012) y aun otros de cronología posterior, se hallan sílex de color marrón que bien pudieran ser, al menos en parte, de Montmaneu, aunque su sola correspondencia macroscópica no sea suficiente para afirmar su identificación.

Conclusiones

En síntesis, el sílex de Montmaneu es una roca de textura microcristalina que contiene una proporción significativa de moganita, madura por cuanto no registra ópalos, que tiene como principales impurezas algo de carbonatos y una pequeña fracción de minerales de hierro y de la arcilla. Es producto del reemplazamiento mineral temprano de carbonatos litorales lacustres por minerales de la sílice, como indica su registro micropaleontológico y rasgos texturales.

Su explotación prehistórica se limitó a las comunidades asentadas en un entorno regional cercano. Este sílex fue usado como materia prima para la manufactura de herramientas a lo largo de la prehistoria, con mayor intensidad durante el Neolítico antiguo (5.600-4.500 ^{14}C cal BC).

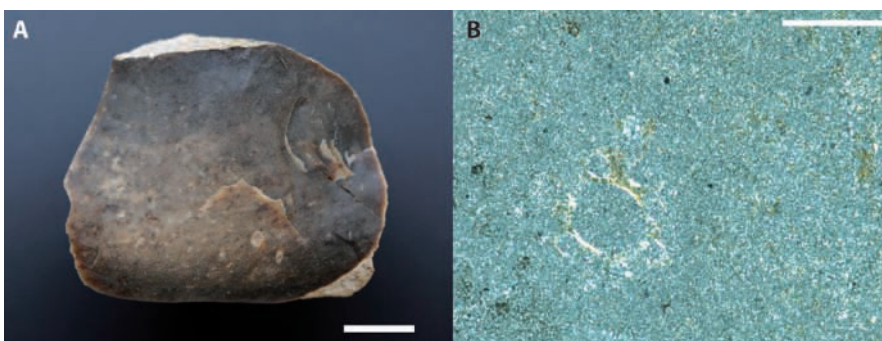


Fig. 2.- Detalles macro (A; la escala indica 1 cm) y microscópico (B; la escala indica 500 μm). Nótese la presencia de un tallo de alga carófitas del sílex de Montmaneu. Ver figura en color en la Web.

Fig. 2.- Macro (A; scale equals 1 cm) and microscopic (B; scale equals 500 μm). Note the presence of a section of a charophyte stem details of Montmaneu flint. See colour figure on the Web.

	386PC	387PC	388PC	357CC	355CC	356CC		
Oxidos mayoritarios (%)	SiO2	88,7	96,9	93,7	94,6	92,4	92,8	
	CaO	6,11	1,17	1,8	1,02	0,74	2,6	
	Fe2O3	0,57	0,98	0,69	1,92	1,36	1,47	
	Al2O3	0,09	0,09	0,19	0,1	0,12	0,12	
	MgO	0,13	0,04	0,03	0,03	0,03	0,08	
	Na2O	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04	
	P2O5	0,04	0,01	< 0,01	0,05	0,06	< 0,01	
	K2O	< 0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	
	SrO	0,03	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	
	MnO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	
	TiO2	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	
	BaO	0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
	Cr2O3	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
	LOI	5,72	1,68	2,38	2,26	1,8	2,86	
	Te	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	
	Elementos traza (ppm)	Ba	72,8	83,4	33	21,9	23,2	20,5
		Co	< 1	1	1	1	< 1	1
Cr		10	10	10	20	10	20	
Cs		0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	
Ga		0,9	1,1	0,8	1	1,2	0,9	
Hf		< 0,2	0,2	0,7	< 0,2	< 0,2	0,2	
Nb		0,5	0,2	0,5	0,4	0,8	0,3	
Rb		0,4	0,3	0,9	0,5	0,6	0,5	
Sn		< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Sr		196	39,3	42,4	28,6	25,2	52,8	
Ta		1	2	2	2	2	2	
Th		0,08	0,09	0,17	0,08	0,09	0,1	
U		8,28	8,64	10,8	2,39	3,16	1,96	
V		< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
W		1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Zr		3	4	25	< 2	< 2	4	
Mo		3	2	< 1	< 1	< 1	1	
Cu		5	6	7	13	9	8	
Pb		< 2	3	< 2	4	< 2	2	
Zn		10	16	3	11	3	7	
Ni		< 1	< 1	1	1	1	< 1	
As		4,9	6,9	2,5	2,8	1,3	1,9	
Cd		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
Sb		0,26	0,4	0,22	0,32	0,18	0,24	
Bi		0,04	0,12	0,05	0,08	0,04	0,06	
Ag		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
Hg		0,015	0,024	0,009	0,019	0,009	0,013	
Tl		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
Se	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2		
Y	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5		
Tierras raras (ppm)	La	0,7	0,6	0,8	< 0,5	< 0,5	0,5	
	Ce	0,7	0,6	0,9	< 0,5	0,5	0,6	
	Pr	0,08	0,07	0,1	0,05	0,05	0,06	
	Nd	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	
	Sm	0,05	0,04	0,07	0,04	0,04	0,04	
	Eu	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	
	Gd	0,06	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
	Tb	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	
	Dy	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
	Ho	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	
	Er	< 0,03	< 0,03	0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,03	
	Tm	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
	Yb	< 0,03	< 0,03	0,04	< 0,03	0,03	< 0,03	
	Lu	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	

Tabla I.- Datos geoquímicos de los afloramientos de Pla de la Casilla (PC) y Costa de la Creu (CC). El número identificativo corresponde al inventario de LITOCat.

Table I.- Geochemical data from Pla de la Casilla (PC) and Costa de la Creu (CC) outcrops. Register number corresponds to LITOCat collection identifier.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de constitución de una litoteca de rocas silíceas del NE peninsular (LITOCat). Los estudios sobre la explotación prehistórica del sílex de Montmaneu se llevan a cabo en el marco del proyecto *Aprofitament prehistòric i històric del sílex a Catalunya: contextos extractius i de primera transformació*. Ambos proyectos son financiados por el CSIC-IMF y el Departamento de Cultura de la Generalitat de Catalunya.

Agradecemos los comentarios y correcciones realizadas por los Drs. M^oE. Arribas Mocoroa, A. Tarrío Vinagre e I. Arenillas Sierra en la revisión de este trabajo.

Referencias

Anadón, P., Cabrera, L., Colldeforns, B. y Sáez, A. (1989). *Acta Geológica Hispánica* 24, 205-230.

Barberà, X., Cabrera, L., Marzo, M., Parés, J.M. y Agustí, J. (2001). *Earth and Planetary Science Letters* 187, 1-16.

Borradaile, G.J., Stewart, J.D. y Ross, W.A. (1998). *Geoarchaeology* 13, 93-91.

Borrell, F. y Gibaja, J.F. (2012). *The Journal of Island and Coastal Archaeology* 7, 313-337.

Bustillo, M.A., Arribas, M.E. y Bustillo, M. (2002). *Sedimentary Geology* 151, 107-126.

Colldeforns, B., Anadón, P. y Cabrera, L. (1994). *Geogaceta* 15, 55-58.

Costa, E., Garcés, M., López-Blanco, M.,

Beamud, E., Gómez-Paccard, M. y Larrasoña, J.C. (2010). *Basin Research* 22, 904-917.

Edo, M., Antolín, F. y Barrio, M.J. (2012). En: *Xarxes al Neolític* (M. Borrell, F. Borrell, J. Bosch, X. Clop y M. Molist, Eds.). *Revista del Museu de Gavà* 5, 299-306.

Heaney, P.J. y Post, J.E. (1992). *Science* 255, 441-443.

Mason, B. y Moore, C.B. (1982). *Principles of Geochemistry*. Wiley, New York, 352 p.

Murata, K.J. y Norman, M.B. (1976). *American Journal of Science* 276, 1120-1130.

Murray, R.W. (1994). *Sedimentary Geology* 90, 213-232.

Oms, F.X., Esteve, X., Mestres, J., Martín, P. y Martins, H. (2014). *Trabajos de Prehistoria* 71, 42-55.

Pardo, G. (coord.) (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 533-543.

Rey, M., Mangado, X., Daura, J. y Sanz, M. (2014). *Pyrenae* 45, 31-54.

Tarrío, A. y Terradas, X. (2013). En: *Métodos y técnicas de análisis y estudio en arqueología prehistórica* (M. García y L. Zapata, Eds.). Universidad del País Vasco, Vitoria, 439-452.

Terradas, X., Ortega, D. y Boix, J. (2012). *Tribuna d'Arqueologia* 2010-2011, 13-150.

Vaquero, M., Chacón, G., García-Antón, M.D., Gómez, B., Martínez, K. y Cuartero, F. (2012). *Quaternary International* 247, 162-181.

Young, R.A. (ed.) (1993). *The Rietveld method*. International Union of Crystallography, Oxford, 298