

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA VARIACIÓN EN LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE ARTEFACTOS LÍTICOS ALTERADOS POR PROCESOS DE CALENTAMIENTO

Ángel Carrancho Alonso* Rodrigo Alonso Alcalde** Marcos Terradillos Bernal***

Se presenta un estudio experimental sobre las variaciones en las propiedades magnéticas y macroscópicas generadas por el calentamiento de artefactos líticos de diversas litologías. El objetivo es establecer criterios magnéticos que permitan identificar procesos de calentamiento en yacimientos arqueológicos. El calentamiento a altas temperaturas (~ 700 °C) genera un incremento de los parámetros dependientes de la concentración mineral y variaciones macroscópicas notables. Se discuten los resultados y sus implicaciones arqueológicas.

fuego experimental, propiedades magnéticas, susceptibilidad magnética, artefactos líticos, procesos de calentamiento.

Here we present an experimental study about the variations in the magnetic and macroscopic properties induced by heating of lithic artefacts of different lithologies. The aim is to establish magnetic criteria in order to identify heating processes at archaeological sites. High-temperature heating (~ 700 °C) produces an enhancement in the magnetic mineral concentration dependent parameters as well as noticeable macroscopic variations. The results and their archaeological implications are discussed.

Experimental fires, magnetic properties, magnetic susceptibility, lithic artefacts, heating processes.

191

1. INTRODUCCIÓN

La identificación de procesos de alteración térmica en yacimientos prehistóricos, principalmente paleolíticos, es problemática porque las evidencias suelen ser pocas, ambiguas y generalmente, mal conservadas. Estas evidencias normalmente consisten en carbones, rubefacciones, restos óseos y/o líticos termoalterados y en el mejor de los casos, la presencia de cenizas. Su identificación es importante porque confirmar actividades antrópicas de calentamiento en un yacimiento arqueológico, tiene un gran interés como potencial interpretativo del comportamiento humano.

El estudio de actividades de producción, uso y conservación de fuego en yacimientos arqueológicos ha adquirido en las últimas décadas un marcado carácter multidisciplinar. Desde las técnicas sedimentológicas más tradicionales (Ej.: análisis de composición mineral, granulométricos, pH, etc.) hasta otras más sofisticadas como la microscopía electrónica, análisis de rayos X o espectrometría Fourier de infrarrojos (FTIR), entre otras (ej.: Weiner *et al.* 1993; Schiegl *et al.* 1996; Karkanas 2010), todas parten necesariamente de reconocer macroscópicamente evidencias de fuego observando las alteraciones térmicas de los restos en el propio yacimiento. Los cambios de coloración han sido

* Dpto. Física, Universidad de Burgos. Escuela Politécnica Superior, Avda. Cantabria S/N 09006, Burgos, España. E-mail: acarrancho@ubu.es
Centro Nacional de Investigación sobre Evolución Humana (CENIEH), Paseo Sierra de Atapuerca s/n. 09002, Burgos.

** Museo de la Evolución Humana. Paseo Sierra de Atapuerca s/n. 09002. Burgos. ralonso@museoevolucionhumana.com

*** Área de Prehistoria, Universidad de Burgos, Edificio I+D+i, Plaza Misael Bañuelos s/n, 09001, Burgos, mterraddillos@hotmail.com

tradicionalmente utilizados como indicio preliminar en la identificación de fuego especialmente en yacimientos prehistóricos. Sin embargo, estos rasgos son sugerentes, que no concluyentes, de la presencia de fuego, ya sea natural o antrópico.

El análisis de las alteraciones macroscópicas producidas por el fuego en las rocas ha sido analizado desde principios del siglo XX (Bellesme 1908) y en la actualidad se estudian en el corpus bibliográfico bajo dos aproximaciones. La primera sería determinar qué tipo de alteraciones en las rocas son marcadoras de la producción de fuego antrópico (Ej.: Bellomo 1993; Pagoulatos 2006) y la segunda analiza las alteraciones producidas por los incendios en los materiales arqueológicos diseminados por el paisaje (Ej.: Shackley/Dillian, 2002; Deban *et al.* 1998, Deal 2012; Incropera/Dewitt 2002; Trastebas *et al.* 2004).

El fuego es uno de los principales mecanismos responsables de la alteración de las propiedades magnéticas en suelos y sedimentos (Le Borgne 1955, 1960). La presencia de minerales ferromagnéticos (s.l.)—óxidos e hidróxidos de hierro fundamentalmente— en materiales arqueológicos es muy común y cualquier proceso de calentamiento, es susceptible de alterar sus propiedades magnéticas. En este sentido, los métodos magnéticos representan una de las técnicas más versátiles aplicadas al estudio de fuegos arqueológicos. La datación arqueomagnética es probablemente su aplicación más conocida, pero estos métodos se están aplicando también con éxito a la identificación de fuego en yacimientos prehistóricos (Ej.: Herries 2009; Herries/Fisher 2010; Morinaga *et al.* 1999), la evaluación de procesos sin- y/o post-deposicionales (Ej.: Carrancho *et al.* 2012) o en la determinación de paleotemperaturas (Gose 2000; Hrouda *et al.* 2003).

En este trabajo presentamos un estudio experimental de las variaciones en las propiedades magnéticas y macroscópicas generadas por calentamiento de lascas de diversas litologías. Mediante un sistema de termopares para registrar la temperatura, se calentó bajo condiciones controladas un conjunto de lascas experimentales pertenecientes a cinco materias primas de diversa procedencia: sílex, caliza, dos tipos de cuarcita y obsidiana. Los objetivos que se persiguen con este trabajo son: *i)* determinar el comportamiento magnético y describir las principales alteraciones macroscópicas de estas litologías al ser calentadas; *ii)* establecer criterios magnéticos que permitan identificar procesos de calentamiento en artefactos líticos arqueológicos, *iii)* evaluar la capacidad de los métodos magnéticos como técnica para estimar paleotemperaturas y *iv)* Iniciar la elaboración de una base de referencia para que otros autores puedan cotejar resultados de experimentos similares en yacimientos arqueológicos de diversa edad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La quema experimental se realizó en un sustrato arcilloso en la localidad de Humienta (Burgos) en Mayo del 2008. Seleccionamos un sustrato arcilloso por la disponibilidad para realizar la experimentación y porque este tipo de sustratos son relativamente comunes en contextos arqueológicos. Para evitar posibles contaminaciones se eliminaron los primeros 15–20 cm del suelo superficial. Las variaciones en temperatura fueron controladas mediante un sistema de termopares (tipo K) dispuestos en línea a 0–1 cm de profundidad y otro en el centro del hogar a 3 cm de profundidad [Termopar 3; Fig. 1a]. Posteriormente, la superficie de quema fue subdividida en 5 cuadrantes distintos, depositando dos piezas de cada litología estudiada en cada uno de ellos. Las lascas experimentales corresponden a las siguientes litologías: *i)* sílex neógeno de la Sierra de Atapuerca (Mioceno final; Villalbal, Burgos), *ii)* caliza de la Sierra de Atapuerca (Cretácico; Ibeas de Juarros, Burgos), *iii)* cuarcita de las terrazas fluviales del río Arlanzón (Paleozoico de la Sierra de la Demanda, Burgos), *iv)* cuarcita de la facies Utrillas (Cretácico; Olmos de Atapuerca, Burgos) y *v)* obsidiana de Nuevo México (Neógeno, Estados Unidos). La quema se realizó empleando combustible leñoso (roble y haya) durante 80 minutos. Las piezas fueron dispersadas sobre la superficie para garantizar que recibían el mayor impacto térmico posible y así estudiar las alteraciones que produce un calentamiento intenso.

Las temperaturas del sustrato fueron completadas con medidas de la temperatura del aire (Termopar 6; Fig. 1b) y de la brasa del sustrato en el que estaban depositadas las piezas líticas (Termopar 7; Fig. 1c). Es importante comentar que el sustrato estaba mojado pues la experimentación se realizó en un día lluvioso. Este hecho, junto a la poca conductividad térmica de la arcilla, limitó claramente la penetración del calor en profundidad. Esto explica cómo a pesar de calentar continuamente durante 80 minutos, las temperaturas de los termopares enterrados en el sustrato no superaron en ningún caso los 120 °C (Fig. 2). Sin embargo, si observamos la temperatura de la brasa donde se encontraban los artefactos (Termopar 7; Fig. 2), se aprecia cómo realmente se alcanzaron de media 700 °C.

Todas las piezas líticas fueron medidas, fotografiadas y sus principales rasgos macroscópicos descritos antes y después de la quema. Al menos a una muestra piloto de cada litología (material “pre-quema”) así como a una pieza de cada cuadrante tras la quema (material “post-quema”), se les realizaron diversos experimentos del magnetismo de las rocas con una Balanza de Traslación del campo magnético Variable (MM_VFTB). Éstos comprendieron: *i)* curvas de adquisición progresiva de la magnetización remanente isoterma (IRM); *ii)*

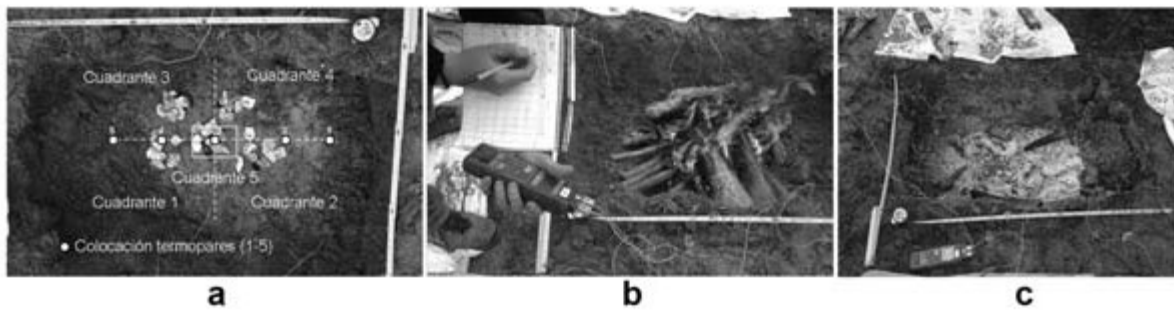


Figura 1. (a-c) Composición fotográfica mostrando diferentes pasos del experimento. (a) Distribución de los cuadrantes y termopares en la planta del hogar. Termopares del 1 al 5 de derecha a izquierda. El termopar 7 (brasa) se situó en el cuadrante 5. (b) Registro de temperaturas durante el experimento. (c) Aspecto del fuego tras la quema con las piezas líticas entre las brasas.

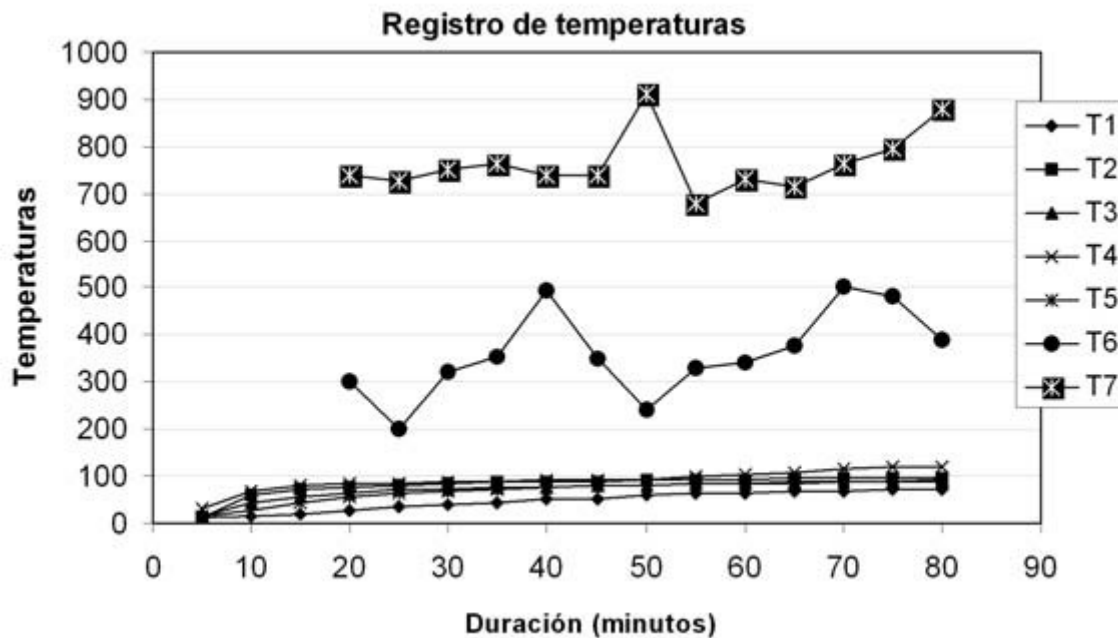


Figura 2. Registro de temperaturas obtenido durante el experimento para cada termopar. T-6 (temperatura del aire) y T-7 (temperatura de la brasa donde se encontraban los artefactos).

ciclos de histéresis (± 1 T); *iii*) curvas de *backfield* y *iv*) curvas termomagnéticas hasta 700 °C en aire. La susceptibilidad magnética fue también medida para toda la colección antes y después de la quema experimental con un puente de susceptibilidad KLY-4. Todos los experimentos magnéticos fueron realizados en el laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Burgos (UBU).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. PROPIEDADES MAGNÉTICAS

El contenido de minerales ferromagnéticos del material pre-quema es muy pobre, dominando el comportamiento dia- o paramagnético y caracterizado por diagramas ruidosos y de baja intensidad de la magnetización (Fig. 3a-b). Únicamente la obsidiana (Fig. 3c)

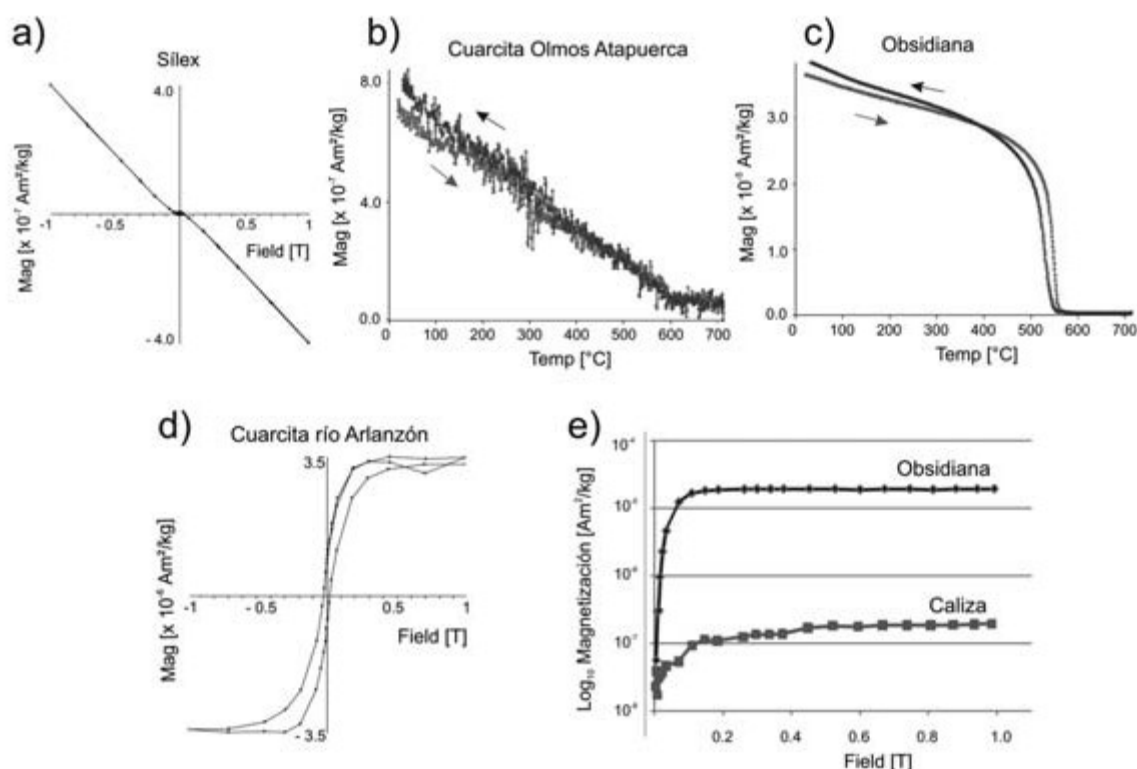


Figura 3. (a-e). Ejemplos representativos de diferentes análisis del magnetismo de las rocas del material pre-quema. (a y d) Ciclos de histéresis. (b y c) Curvas termomagnéticas y (e) Curvas de adquisición progresiva de la magnetización remanente isoterma (IRM). Se indican los valores de magnetización para cada litología.

194

y en menor medida la cuarcita del Río Arlanzón (Fig. 3d), presentan un mayor contenido ferromagnético destacando la presencia dominante de magnetita (T^a de Curie magnetita $\sim 580^{\circ}\text{C}$; Dunlop/Özdemir, 1997). La presencia de hematites en la cuarcita del Río Arlanzón se aprecia en la forma constreñida de su ciclo de histéresis (Fig. 3d). Además, la variación en la intensidad de la magnetización entre litologías llega a ser de hasta dos órdenes de magnitud, como se observa en las curvas de adquisición de IRM de la caliza y la obsidiana (Fig. 3e).

El comportamiento del material post-quema puede diferenciarse claramente por litologías, independientemente del cuadrante analizado. El sílex, la caliza y la cuarcita de Olmos de Atapuerca presentan diagramas con las intensidades de magnetización más bajas y en algunos casos muy ruidosos, dominando en todo caso el comportamiento diamagnético como se aprecia por la forma original de sus ciclos de histéresis (Fig. 4b-e-h). El mineral ferromagnético dominante es magnetita, como se observa por las curvas de IRM saturadas en torno a 200 mT (Fig. 4a y d) y especialmente, por la caída brusca de la magnetización en torno a 580°C en sus respectivas curvas termomagnéticas (Fig. 4c-f-i).

La obsidiana y la cuarcita del Río Arlanzón presentan diagramas con las intensidades de magnetización más altas (hasta dos órdenes de magnitud mayor) y también están dominadas por magnetita.

Un aspecto que hemos estudiado es observar si existe relación entre el comportamiento termomagnético de la muestra al recalentarla en el laboratorio y la temperatura de calentamiento del material durante la quema experimental. Hrouda *et al.* (2003) sugirieron estudiar la reversibilidad termomagnética en materiales calentados como método para estimar paleotemperaturas. En nuestro caso, destaca la alta reversibilidad de las curvas termomagnéticas –coincidencia entre los ciclos de calentamiento y enfriamiento–, indicativos de una alta estabilidad térmica de la muestra. Aquellas muestras que presentan una reversibilidad total (Fig. 4i-l-ñ), indican que experimentaron temperaturas de calentamiento de al menos 700°C , porque no se alteran al recalentarlas de nuevo a esa temperatura en los experimentos de laboratorio. Por el contrario, si no hay una reversibilidad total indica que la muestra no superó temperaturas de 700°C , (Fig. 4f). Esta relación entre reversibilidad termomagnética y temperatura de calentamiento es particularmente interesante en la obsidiana, un vidrio de origen

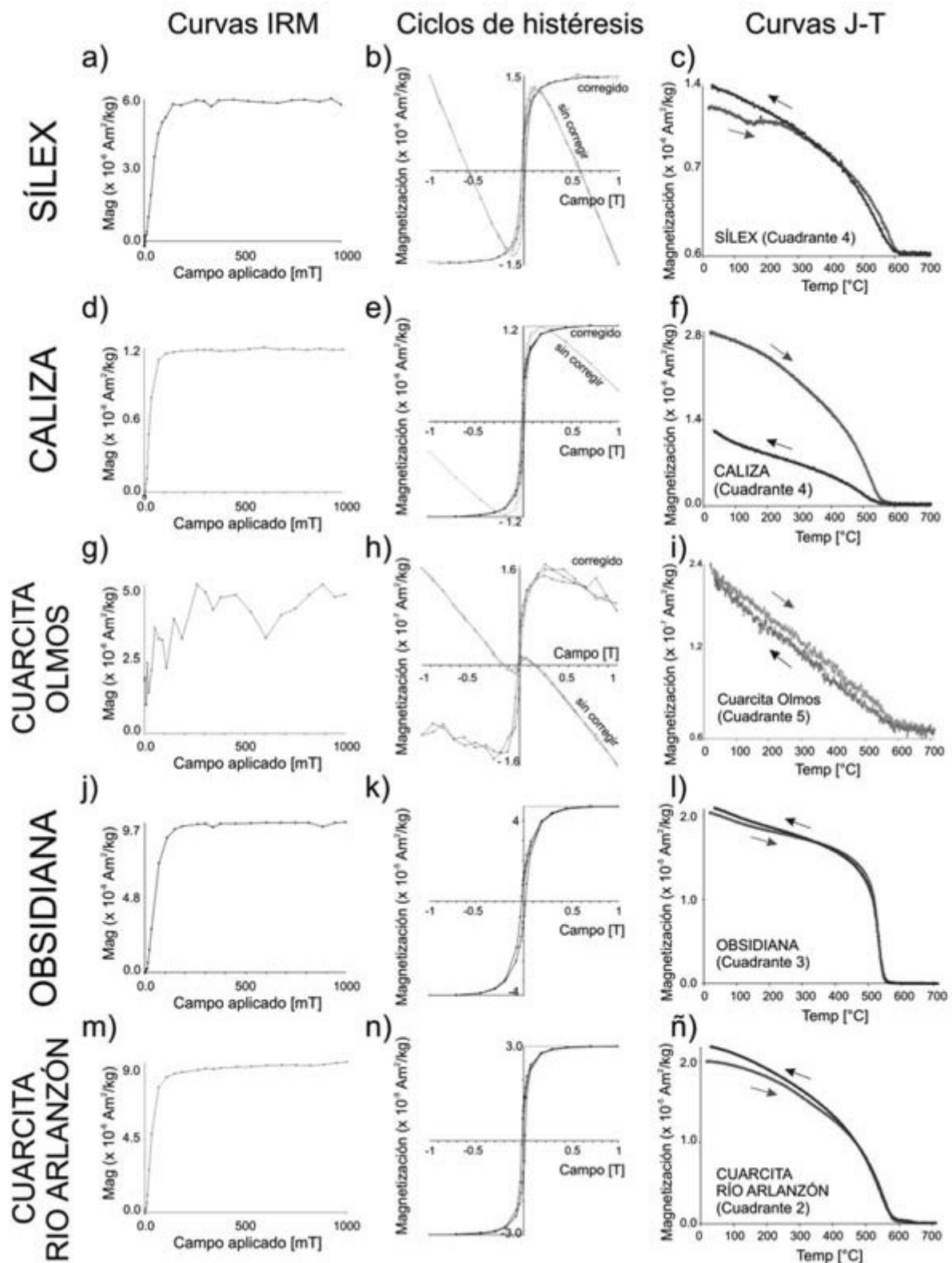


Figura 4. (a-ñ). Ejemplos representativos de curvas de adquisición de IRM (columna izquierda), ciclos de histéresis corregidos y sin corregir por su fracción dia- o paramagnética (columna central) y curvas termomagnéticas (columna derecha) para muestras representativas de cada litología. Se indican litologías, campos aplicados, valores de magnetización y cuadrante correspondiente.

volcánico que muy probablemente superó los 700 °C cuando se formó. Precisamente, llama la atención la gran similitud entre la curva termomagnética de la obsidiana pre-quema (Fig. 3c) y su respectiva post-quema (Fig. 4l) tanto en valores de intensidad de magnetización, composición mineralógica como comportamiento termomagnético. Aunque el método tiene sus variantes de aplicación y por supuesto sus limitaciones -para una discusión más detallada ver Hroudá *et al.* (2003)-, la concordancia entre el comportamiento termomagnético observado y las temperaturas de la brasa registradas en el campo [~ 700 °C, Termopar 7; (Fig. 2)], indican que en este caso de estudio, el método es válido para determinar la temperatura alcanzada.

Cuando hablamos de variaciones en las propiedades magnéticas nos referimos a cambios en la composición, concentración y granulometría de la mineralogía magnética. Los resultados aquí obtenidos demuestran que el calentamiento experimental ha generado alteraciones evidentes en las propiedades magnéticas de las litologías estudiadas. Sin embargo, de cara a interpretar experimentos del magnetismo de las rocas en artefactos líticos arqueológicos susceptibles de haber sido calentados, es necesario tener en cuenta que la variación en las propiedades magnéticas no sólo depende de las condiciones de combustión -que son específicas a cada caso-, sino también de la mineralogía magnética previa del material. Esto es importante porque si se pretende demostrar si una determinada litología arqueológica ha sufrido o no calentamiento, es necesario estudiar, caracterizar y comparar las propiedades magnéticas de esta litología sin quemar (por ejemplo, si se conoce su área fuente) con las de los artefactos arqueológicos de esta misma litología. El éxito de los análisis magnéticos en su aplicación a casos arqueológicos concretos estriba en comparar las muestras arqueológicas (potencialmente quemadas) con materiales naturales de la misma litología sin quemar. Si el contraste entre las propiedades pre-quema y post-quema es lo suficientemente distintivo, se pueden tener argumentos para afirmar que algo ha sido quemado o no. En definitiva, son numerosas las variables a controlar: mineralogía magnética original, tipo de combustible, duración e intensidad de la combustión, potenciales procesos diagenéticos, etc. Cuanto mayor control se tenga de estas variables, más rigurosa será la interpretación de si un material ha sido o no calentado. La experimentación es un procedimiento complementario al estudio de conjuntos líticos arqueológicos. Como tal, estos resultados son el primer paso de un programa experimental cuya continuación pasa por estudiar y comparar colecciones arqueológicas.

3.2. CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA

Los principales rasgos macroscópicos observados en el material post-quema están presentados por litologías y cuadrantes en la Tabla representada en la Figura 5. En la figura 6 se muestran ejemplos representativos de cada uno de estos comportamientos. De toda la colección, el sílex es la materia prima que más alteraciones sufre al ser calentado (Fig. 5). La alteración más documentada es la rubefacción, la cual se ha registrado en todas las litologías excepto en la obsidiana. Sin embargo, en esta litología en un 90% de las piezas se han producido fisuras internas. El cambio de coloración es la segunda alteración más documentada, la cual ha afectado a todas los diferentes tipos de materias primas excepto la caliza. Destaca la aparición de microretoques, los cuales a simple vista se pueden confundir con huellas de uso y, en menor medida, fracturas y cúpulas térmicas.

4. CONCLUSIONES

El calentamiento a altas temperaturas (~ 700 °C) de artefactos de las cinco litologías estudiadas ha generado alteraciones macroscópicas y de sus propiedades magnéticas notables. Todas las litologías presentan como mineral magnético dominante la magnetita, lo que sugiere un ambiente de calentamiento esencialmente reductor. Dentro de la variabilidad entre litologías, el material "post-quema" es magnéticamente más intenso que el "pre-quema". El sílex, la caliza y la cuarcita de Olmos son magnéticamente débiles, mientras que la obsidiana y la cuarcita del Río Arlanzón son más intensas, porque presentan mayor concentración de minerales magnéticos. Estas variaciones en composición y concentración magnética pueden ser utilizadas como criterio de identificación de procesos de calentamiento.

Las alteraciones macroscópicas observadas (cambios en la coloración, cúpulas térmicas, rubefacción, fisuras, fracturas o microretoques) son especialmente visibles en el sílex que por el contrario es una litología que apenas varía sus propiedades magnéticas. Esto pone de manifiesto la complementariedad de ambos métodos de análisis. Finalmente, destaca la concordancia entre la temperatura de calentamiento registrada (~ 700 °C) y el alto grado de reversibilidad de las curvas termomagnéticas, lo que puede ser utilizado como criterio para estimar paleotemperaturas.

Cuadrante	Sigla	Cambio coloración	Adquisición de brillo	Rubefactado	Cúpulas térmicas	Fracturas	Fisuras internas	Micro retoques
1	A1	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
	A2	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
	C1	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	C2	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	K1	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	K2	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	CA1	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	CA2	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	O1	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI
	O2	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO
2	A3	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	A4	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	C3	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	C4	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	K3	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO
	K4	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	CA3	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	CA4	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO
	O3	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
	O4	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
3	A5	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
	A6	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	C5	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
	C6	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	K5	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
	K6	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI
	CA5	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	CA6	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO
	O5	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
	O6	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
4	A7	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO
	A8	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO
	C7	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	C8	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	K7	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI
	K8	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI
	CA7	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO
	CA8	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	O7	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
	O8	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
5	A9	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	A10	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI
	C9	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	C10	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	K9	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	K10	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	CA9	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	CA10	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	O9	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
	O10	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO

Figura 5. Tabla con las principales alteraciones macroscópicas documentadas en la colección de lascas experimentales según litología y cuadrante. Códigos: (A) Silex de Villalval, (C) Cuarcita de Olmos de Atapuerca, (K) Cuarcita de Arlanzón, (CA) Caliza de Atapuerca y (O) Obsidiana de Nuevo Mexico, EE.UU.

Figura 6. Fotografías de piezas post-quema de cada litología con las alteraciones macroscópicas más representativas. a.) Microretoques (A10); b.) Rubefacción (C1); c.) Fracturas (CA4); d.) Cúpulas térmicas (A2); e.) Adquisición de brillo (A5); f.) Fisuras internas (O4).

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha realizado gracias a los proyectos CGL2009-12703C03-01/BTE del Ministerio de Educación y Ciencia; y orden EDU/940/2009 de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León. La investigación de Á.C. está financiada con fondos del *Programa del Campus de Excelencia Internacional, Subprograma de Fortalecimiento* del Ministerio de Educación. M.T.B. ha sido becario de la Cátedra Atapuerca (Fundación Atapuerca y Fundación Duques de Soria). Agradecemos especialmente la ayuda prestada por Rodrigo Arauzo Jiménez por cedernos el sitio donde se realizó la experimentación.

BIBLIOGRAFÍA

BELLESME, J. 1908, De l'action du feu sur le silex, *Bulletin de la Société Préhistorique de France* 5, 282-296.

BELLOMO, R.V. 1993, A Methodological Approach for Identifying Archaeological Evidence of Fire Resulting from Human Activities. *Journal of Archaeological Science* 20, 525-553.

CARRANCHO, Á. *et al.* 2012, Assessing post-depositional processes in archaeological cave fires through the analysis of archaeomagnetic vectors, *Quaternary International*, doi:10.1016/j.quaint.2012.01.010. 9 pp.

DEAL, K. 2012, Fire effects to flaked stone, ground stone and other stone artifacts, in Ryan, K.C. *et al.* (eds.), *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on cultural resources and archaeology*. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 97-111.

DEBANO, L. F., NEARY, D.G., FOLLIOT, P.F. 1998, *Fire's effects on ecosystems*. New York, John Wiley and Sons.

DUNLOP, D., ÖZDEMİR, Ö. 1997, *Rock Magnetism. Fundamentals and Frontiers*, New York, Cambridge Univ. Press.

GOSE, W. 2000, Paleomagnetic studies of burned rocks. *Journal of Archaeological Science*, 27 : 409-421.

HERRIES, A.I.R. (2009), New approaches for integrating palaeomagnetic and mineral magnetic methods to answer archaeological and geological questions on Stone Age sites, in Fairbrain, A. *et al.* (eds.), *New Directions in Archaeological Science*. The Australian National University Press, Canberra, Australia, 235-253.

HERRIES, A.I.R., FISHER, E.C., 2010, Multidimensional GIS modelling of magnetic mineralogy as a proxy for fire use and spatial patterning: evidence from the Middle Stone Age bearing sea cave of Pinnacle Point 13B (Western Cape, South Africa). *Journal of Human Evolution* 59, 306 - 320.

HROUDA, F., MÜLLER, P. & HANÁK, J. (2003), Repeated progressive heating in susceptibility vs. temperature investigation: A new palaeotemperature indicator? *Physics and Chemistry of the Earth* 28, 653-657.

INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. 2002, *Introduction to Heat Transfer*. John Wiley & Sons.

KARKANAS, P., 2010, Preservation of anthropogenic materials under different geochemical processes: a mineralogical approach. *Quaternary International* 214, 63-69.

LE BORGNE, E. (1955), Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel. *Ann. Géophys* 11, 399-419.

LE BORGNE, E (1960), Influence du feu sur les propriétés magnétiques du sol et sur celles du schiste et du granite. *Ann. Géophys*. 16, 159-195.

MORINAGA, H. *et al.* 1999, Magnetic detection of heated soils at Palaeolithic sites in Japan, *Geoarchaeology* 14-5, 377-399.

PAGOULATOS, P. 2006, Experimental burned rock studies on the Edwards Plateau : a view from Camp Bullis, Texas. *North American Archaeologist* 26, 289-329.

SCHIEGL, S. *et al.*, 1996. Ash deposits in Hayonim and Kebara Caves, Israel: macroscopic, microscopic and mineralogical observations, and their archaeological implications. *Journal of Archaeological Science* 23, 763-781.

TRASTEBAS, A. M., CERVENI, N. V., DORN, R. I. 2004, The effect of fire on rock art: microscopic evidence reveals the importance of weathering rinds, *Physical Geography* 25, 4, 313-333.

SHACKLEY, M.S., DILLIAN, C. 2002, Thermal and Environmental Effects on Obsidian Geochemistry: Experimental and Archaeological Evidence, in Loyd, J. M., *et al.* (eds.), *The Effects of Fire and Heat on Obsidian*. Bureau of Land Management, California, Cultural Resources Publication, Bishop Field Office.

WEINER, S., GOLDBERG, P., BAR-YOSEF, O., 1993, Bone preservation in Kebara Cave, Israel using on-site Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Archaeological Science* 20, 613 - 627.