

VARIABILIDAD LITOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LOS NIVELES SILÍCEOS DEL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE CASA MONTERO Y SU COMPARACIÓN CON OTROS DE LA CUENCA DE MADRID

Lithological and Geochemical Silica Level Variability in the Archaeological Site “Casa Montero”, Compared with that Observed in Other Madrid Basin Sites

MARÍA ÁNGELES BUSTILLO* y
JOSÉ LUIS PÉREZ JIMÉNEZ**

RESUMEN Este trabajo recopila los datos existentes sobre la mineralogía, petrología y geoquímica de los niveles de rocas de la sílice explotados en la mina neolítica de Casa Montero, con objeto de poder determinar su variabilidad intrínseca y sus posibilidades para ser diferenciados de otras fuentes de suministro de utensilios líticos. El yacimiento arqueológico de Casa Montero está localizado en niveles silíceos (capas nodulares, nódulos y cuerpos lenticulares), que se formaron por silicificación de dolomías y lutitas (Unidad Intermedia, Mioceno de la Cuenca de Madrid), en ambiente superficial. La mayoría de las fases iniciales (fases opalinas) fueron inestables y posteriormente se transformaron a cuarzo, por un proceso que se denomina envejecimiento. Los datos petrológicos y geoquímicos fueron obtenidos mediante difracción de RX, Micro-Raman, microscopía óptica, espectrometría de emisión y espectrometría de masas (ICP-ES e ICP-MS). Los resultados han permitido definir a las rocas de la sílice como sílex, ópalo y sílex opalinos, y determinar características texturales y de fábrica comunes y frecuentes en la zona de Casa Montero. El estudio geoquímico ha permitido conocer que las rocas silíceas, funcionan como grupo en el estudio estadístico de análisis discriminante. El grupo definido está inducido fundamentalmente por las inclusiones de las rocas caja (dolomías o lutitas), siendo el tipo de arcilla con sus tierras raras, lo que provoca su principal caracterización.

Palabras clave: Petrología, Geoquímica, Sílex, Opalos, Mioceno, Vicálvaro.

* Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, Dpto. de Geología, José Gutiérrez Abascal n.º 2, CP 28006, Madrid. abustillo@mncn.csic.es

** Centro Tecnológico Repsol, 28931-Móstoles, Madrid (Spain). jose Luis.perez@repsol.com

Fecha de recepción: 28-11-2016. Fecha de aceptación: 2-05-2017.

ABSTRACT This work compiles mineralogical, petrological and geochemical data from silica deposits of the “Casa Montero” Neolithic mine. The objective of the work is to determine intrinsic variability in the silica deposits to distinguish them from other deposits potentially used as source rock for lithic tools. The archeological site of “Casa Montero” is located in a region with silica deposits (nodules, nodular beds, and lenticular beds), formed by silicification of dolomites and mudstones in surficial environment (Miocene of the Madrid Basin). The majority of the initially formed silica phases (opaline phases) were unstable and transformed to quartz by a process of aging. Petrological and geochemical data were obtained by XR diffraction, Micro-Raman, optic microscopy, emission and mass spectrometry (CP-ES and ICP-MS respectively). The results indicate that the rock types present in the site are chert, opal and opaline chert. They also allowed determining the textural characteristics and fabric of the silica deposits from the “Casa Montero” site. The statistical analysis of the geochemical data indicates that the Casa Montero silica rocks. Constitute a characteristic group. Their differentiation is due to the presence of dolomite and mudstone host rock inclusions. The recorded clay minerals and rare earth element contents are the main distinguishing factors of the silica deposits from the “Casa Montero” site.

Key words: Petrology, Geochemistry, Chert, Opal, Miocene, Vicálvaro.

INTRODUCCIÓN

La cuenca cenozoica de Madrid es conocida por poseer una gran variedad de rocas de la sílice sedimentarias (sílex, ópalos y sílex opalinos), que desde el Paleolítico han sido utilizadas para la elaboración de utensilios líticos. Estas rocas son recogidas de las terrazas de los ríos, derrubios de superficie, y pequeños afloramientos de fácil acceso, por lo que el hallazgo de una minería de sílex de la envergadura del yacimiento arqueológico de Casa Montero es de gran importancia.

La mina neolítica de sílex de Casa Montero fue descubierta como resultado de los estudios de impacto realizados durante la construcción de un ramal de la autopista M-45 en Vicálvaro (Madrid) (Consuegra *et al.*, 2004). Se localiza en los escarpes de la confluencia de los ríos Jarama y Henares, y por el momento se ha documentado una superficie de 4,2 ha del yacimiento, con alrededor de 3.794 pozos neolíticos realizados para la extracción de sílex, y que presentan una anchura de alrededor de 1 m y una profundidad de hasta 9 m. Esta explotación tiene una edad de 5350-5220 cal. BC, y hasta la actualidad se han excavado trescientos treinta y ocho pozos a lo largo de varias campañas de intervención arqueológica (2003-2006) (Díaz del Río *et al.*, 2006 y Criado *et al.*, 2010; Consuegra *et al.*, 2018, en prensa).

CONTEXTO GEOLÓGICO

La formación de la Cuenca de Madrid es consecuencia del levantamiento durante el Cenozoico de los relieves que actualmente la rodean, debido a la transmisión de esfuerzos desde los Pirineos y las Cordilleras Béticas durante la Orogenia Alpina. La cuenca de Madrid es una cuenca intracratónica. El margen norte está limitado por los granitos y las rocas metamórficas del Sistema Central. El margen este está definido por las calizas, arenas y yesos de los materiales mesozoicos de la Cordillera

Ibérica y la Sierra de Altomira. El margen sur está marcado por los granitos y las rocas metamórficas de los Montes de Toledo (fig. 1).

La cuenca de Madrid esta rellena fundamentalmente por depósitos paleógenos y neógenos. Los depósitos paleógenos afloran exclusivamente en los márgenes de la cuenca, mientras que los neógenos (mayormente miocenos) son los que ocupan una mayor superficie de afloramiento. Ambos depósitos incluyen rocas de la sílice, pero es en el Mioceno cuando estas rocas aparecen distribuidas por toda la cuenca. Los depósitos paleógenos de la zona Norte, llegan a presentar espesores de 880 m, pero solo una unidad carbonática determinada, formada por calizas lacustres y palustres presentan procesos de silicificación, existiendo sílex en la base y sílex opalinos en la parte superior (Arribas y Bustillo, 1985; Bustillo *et al.*, 2002).

El Mioceno de la Cuenca de Madrid se divide en tres Unidades Tectosedimentarias, denominadas Unidad Inferior, Intermedia y Superior (Junco y Calvo, 1983; Hoyos *et al.*, 1985) (fig. 2). Los límites entre estas unidades están marcados por discontinuidades sedimentarias importantes, como los paleokarsts situados a techo de la Unidad Intermedia (Cañaveras *et al.*, 1996) e Inferior (Rodríguez-Aranda *et al.*, 2002), o por cambios en la evolución vertical de los depósitos. Estos últimos motivados por periodos de reactivación tectónica de los bordes de la cuenca o por cambios climáticos significativos (Alonso-Zarza *et al.*, 2004). Los materiales que rellenan la cuenca, durante el Mioceno, se suelen distribuir de forma concéntrica, con los depósitos detríticos gruesos adosados a los bordes, dando paso gradual a depósitos detríticos medios y finos y depósitos químicos. Los medios sedimentarios inferidos a partir de estos depósitos son sistemas fluviales en los márgenes de la cuenca y charcas y lagos poco profundos en las partes centrales.

La mayoría de las rocas silíceas miocenas están incluidas en la denominada Unidad Intermedia que se depositó entre el Aragoniense inferior y el Vallesiense superior y que está formada por conglomerados, arcosas, arcillas, carbonatos y yesos. En ella, las rocas de la sílice, se forman fundamentalmente por silicificación de otras rocas, sedimentos o paleosuelos, y se encuentran preferentemente: 1) a lo largo de un cinturón de zonas de transición entre las facies fluviales y lacustres efímeras de los márgenes de la cuenca, formando silcretas sobre detríticos finos, arcillas y carbonatos, y 2) en la zona noreste de la cuenca, también de transición entre ambiente fluvial y lacustre pero con unas condiciones ambientales ligeramente más húmedas, formando silcretas sobre carbonatos y yesos de origen palustre-lacustre (Pérez-Jiménez, 2010). Solo localmente aparecen depósitos de diatomeas que originan sílex biogénicos por recristalización o envejecimiento (Bustillo y Bustillo, 1988; Pozo y López, 2004).

SEDIMENTOLOGÍA Y GÉNESIS DE LOS NIVELES SILÍCEOS EN LA ZONA DE CASA MONTERO

Las litológicas en las que se enclava la minería neolítica, y los niveles silíceos que se utilizaron, fueron estudiados en las trincheras realizadas durante las campañas

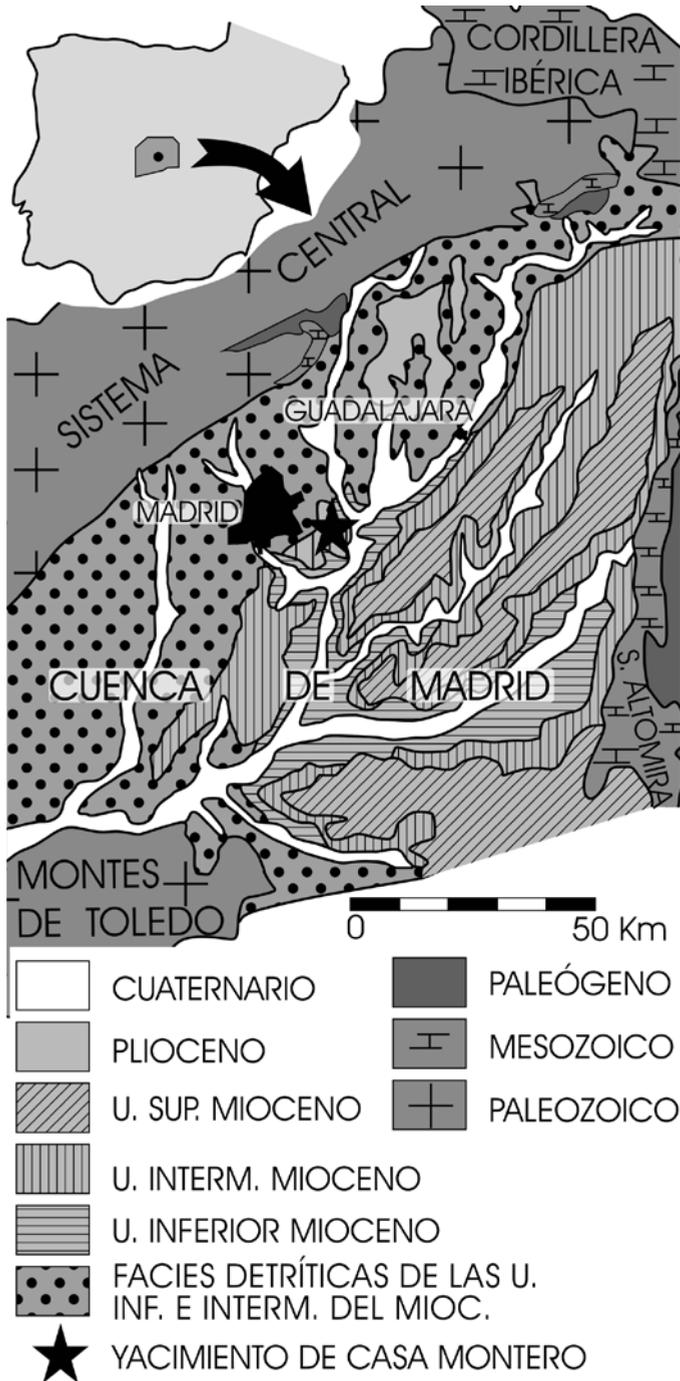
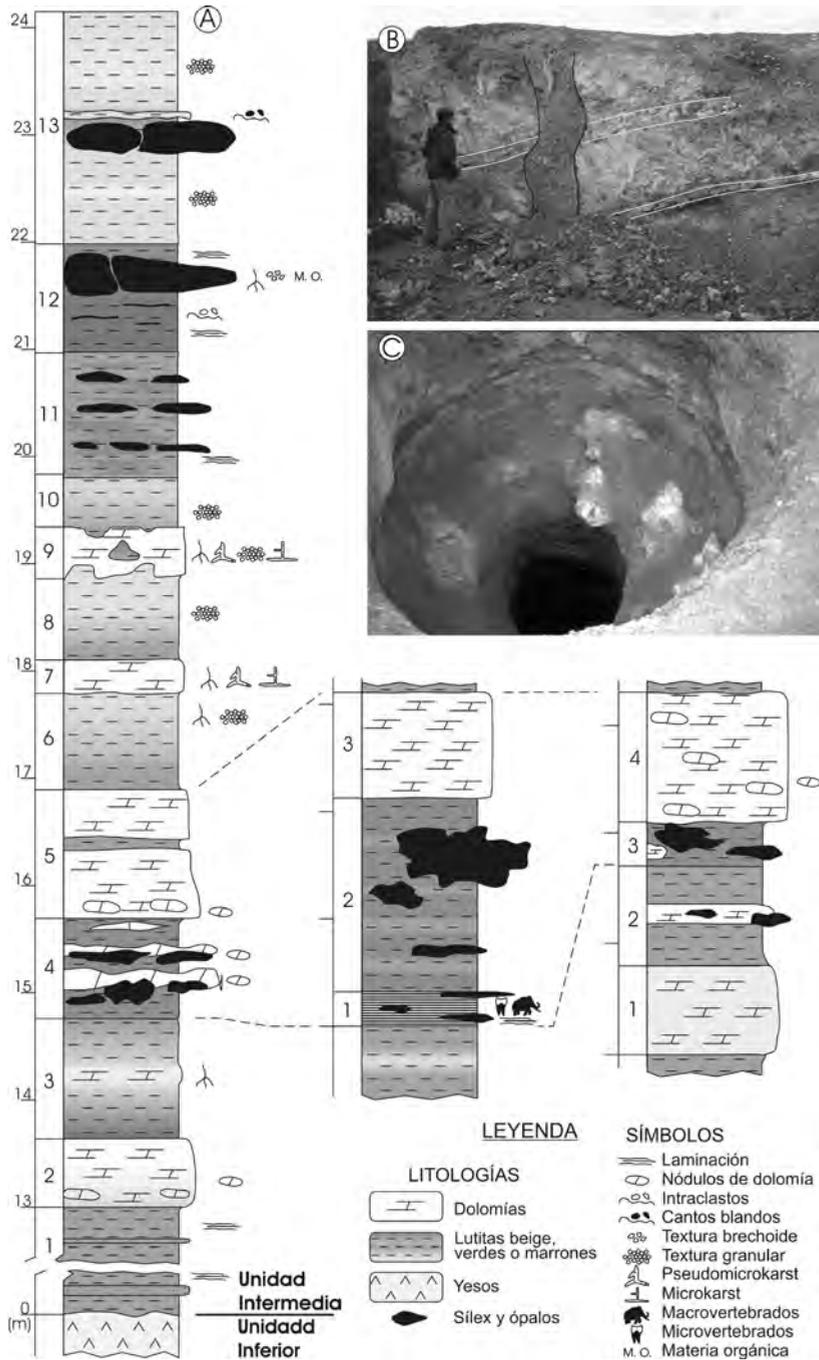


Fig. 1.—Esquema geológico de la Cuenca de Madrid y localización del yacimiento arqueológico de Casa Montero.



de intervención arqueológica. En la figura 2, se muestra las columnas geológicas donde aparecen todos los niveles con rocas silíceas que pudieron ser explotados en los pozos cercanos. Estas columnas están formadas fundamentalmente por capas de arcillas, marrones o verdes, y dolomías, blancas o grises. Las rocas silíceas presentan aspectos y colores variables (beige, gris, marrón o verde). El análisis de la composición, textura y estructura de las diferentes capas de dolomías y arcillas ha permitido definir la características sedimentológicas y paleogeográficas de la zona (Pérez-Jimenez *et al.*, 2005; Pérez-Jiménez 2010). Un esquema paleogeográfico se muestra en la figura 3. Las rocas/sedimentos que constituyen la columna se formaron en un ambiente lacustre alcalino y somero con variaciones en el nivel del lago. Hacia los márgenes de este lago somero se aparece una llanura lutítica alcalina con paleosuelos y nódulos carbonático de origen sedáfico. En las zonas distales de abanicos aluviales se desarrollaron vertisuelos que dieron lugar a la formación de lutitas en agregados y se instalaron charcas carbonáticas en las que los sedimentos sufrieron procesos de pseudomicrokarstificación muy avanzados. En ciertas zonas, además de carbonatos palustres, hubo acumulación detrítica de agregados edáficos de lutitas transportados como carga de fondo en cursos de agua efímeros. En algunos cuerpos de agua relativamente aislados de aportes detríticos se formaron turberas debido a la acumulación de cantidades significativas de materia orgánica (fig. 3). En el esquema se refleja como en estos ambientes puede cambiar el tipo de roca, su textura y estructura en pocos metros, generándose estratos muy heterogéneos con cambios laterales de facies.

Los niveles silíceos de la zona de Casa Montero se formaron posteriormente a la génesis de las rocas anteriormente referidas, por procesos de silicificación en ambiente superficial. Disoluciones silíceas atacan mediante un proceso químico a dolomías y arcillas, y las reemplazan, constituyendo silcretas. Este ataque supone la disolución de la roca precedente (dolomía o arcilla) y formación de nuevos minerales de SiO₂ (fases opalinas, cuarzo y moganita). En la mayoría de los casos, se formaron inicialmente fases opalinas, que al ser fases inestables, con el tiempo se transformaron parcial o totalmente a cuarzo (y moganita posiblemente). A este proceso se le denomina envejecimiento.

Como consecuencia de la silicificación se originan nódulos, cuerpos lenticulares, y capas nodulares de rocas silíceas que aparecen incluidas en las rocas que fueron atacadas, y que se denominan rocas caja. La silicificación frecuentemente se realiza a microescala, molécula a molécula, lo que permite que se conserven muchas características de la roca atacada. Es un proceso que en geología se llama pseudomorfismo. De esta forma, estudiando las características de las rocas silíceas se puede llegar a deducir cómo fue la roca atacada (forma de los cristales, microestructuras, microfósiles que incluía, etc.). La heterogeneidad de los estratos en esta zona, como consecuencia de los ambientes sedimentarios, se refleja claramente en la roca silícea, ya que el proceso de silicificación es pseudomorfo.

La roca silícea adquiere de la roca precedente un registro propio que sirve para su identificación. Por otra parte, los relictos reales de la roca inicial que quedan intactos dentro de la roca silícea también sirven para caracterizarla. Cuando el

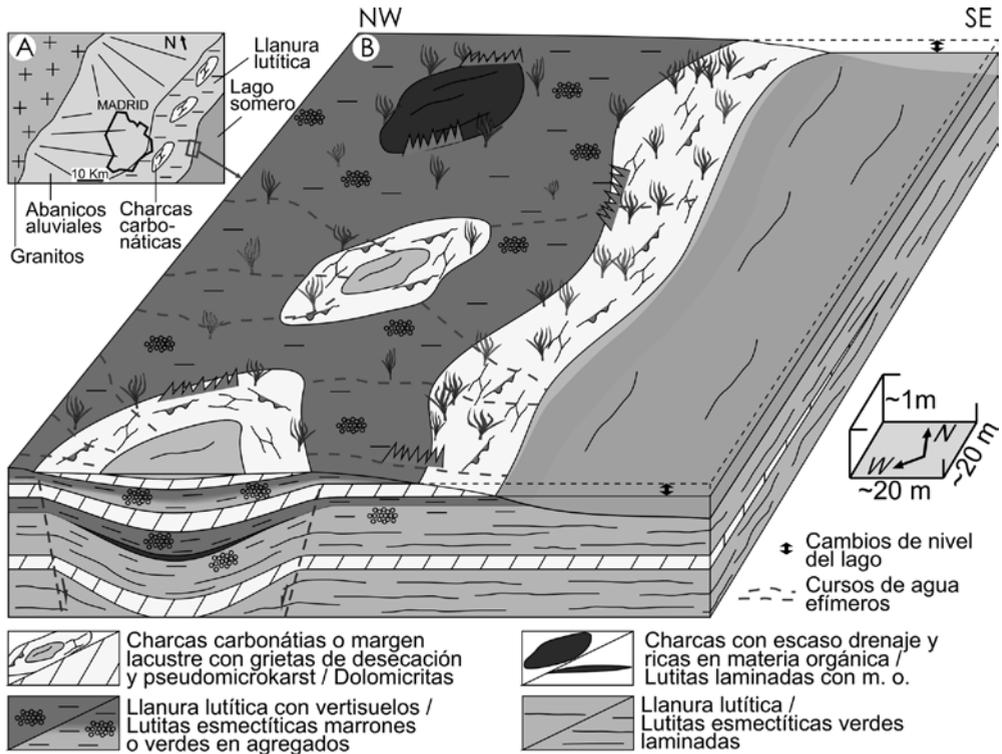


Fig. 3.—Esquema paleogeográfico correspondiente a los sedimentos o rocas (lutitas, esmectitas, dolomías, etc.) afectados por la silicificación en la zona del yacimiento.

proceso de silicificación no es pseudomorfo, o es demasiado intenso y no quedan relictos de la roca previa, el proceso de caracterización es más difícil.

PETROLOGÍA

Las rocas silíceas de Casa Montero, en base a la composición mineralógica de las fases de la sílice que aparecen son clasificadas como: sílex, sílex opalinos y ópalos (Bustillo *et al.*, 2009).

Sílex

Están formados mayoritariamente por cuarzo (reconocido en DRX), aunque entre unos niveles y otros, e incluso dentro de un mismo nódulo o nivel, varían las texturas del cuarzo (reconocido en microscopía óptica).

Los sílex del episodio I (tramo 4 de las columnas en figura 2) se diferencian de los del resto de los episodios por presentar “de visu” color gris muy oscuro, siendo más densos y pesados. Mediante micro-Raman, en alguna muestra, se detecta junto con el cuarzo, moganita (fig. 4).

En microscopía óptica son incoloros, y con nícoles cruzados se observa la textura del cuarzo formando mosaicos de cristales (desde micro-criptocristalinos a macrocristalinos) y diferentes tipos de texturas fibro-radiales, llamadas genéricamente calcedonías y que se clasifican específicamente en función de su elongación como calcedonita normal, calcedonita helicoidal, quartzina y lutcita (Bustillo, 1976; Bustillo *et al.*, 2009). Los sílex presentan, a su vez, fábricas complejas donde se advierten intraclastos, bioturbación, alguna forma de microfósil y pseudomorfos lenticulares de cristales de yeso. Todos estos componentes de la fábrica son observables también en las dolomías compactas que aparecen en los primeros tramos de las columnas.

Los sílex del resto de los episodios (II, III y IV) están constituidos en gran parte por mosaicos de cuarzo micro-criptocristalino, reflejando muchas veces la existencia

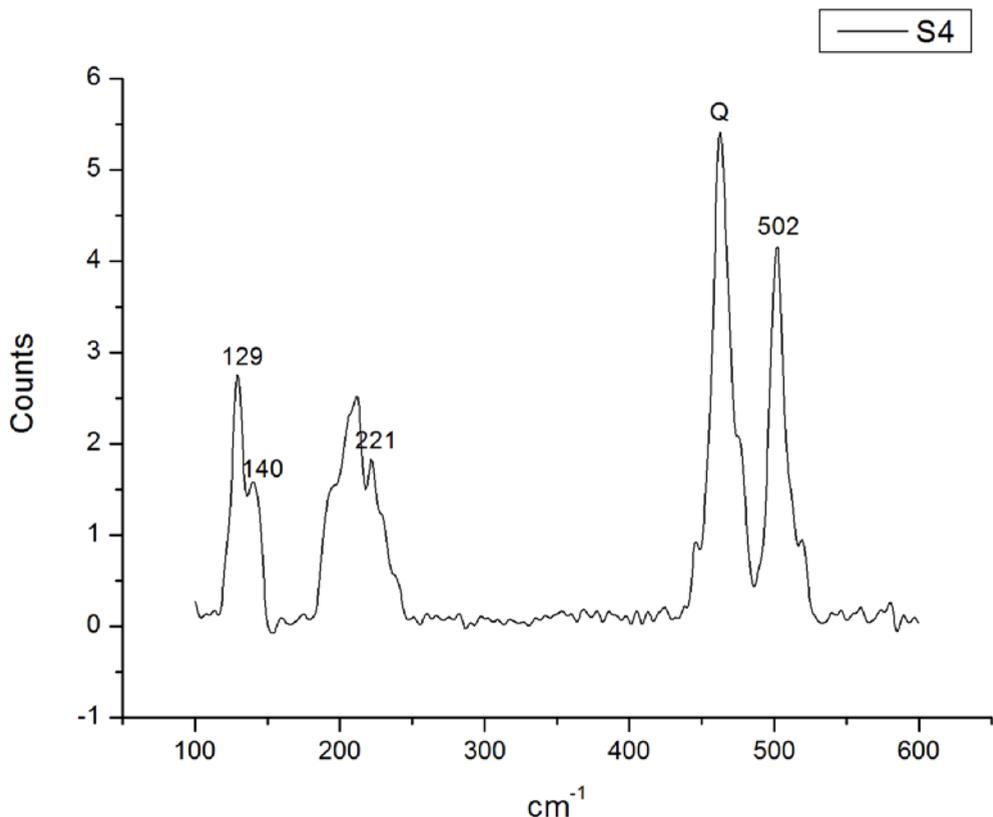


Fig. 4.—Espectro Raman de un sílex, donde además de cuarzo (Q) existe una proporción importante de moganita. Los picos correspondientes a esta fase silícea se han señalado numéricamente.

de una fábrica granular, que es reflejo de los granulos arcillosos que aparecen en la roca caja (Pérez-Jiménez *et al.*, 2005), o de los glóbulos que constituían el ópalo previo al envejecimiento (Bustillo y Pérez-Jiménez, 2005). En DRX presentan frecuentemente índices de cristalinidad bajos (≤ 1). (Bustillo *et al.*, 2009). Localmente todas las texturas fibro-radiales de cuarzo encontradas en el episodio I, también pueden aparecer en el resto de los episodios. En los mosaicos microcristalinos de estos sílex se puede observar un modelo de extinción denominado “en parrilla” (“grid work extinction”), consistente en una disposición de dos direcciones perpendiculares de extinción. Cuando se introduce además la lámina de yeso, este modelo de extinción queda todavía más en evidencia, por la diferencia de retardos de los grupos de láminas o fibras, ya que existe una dirección con elongación positiva (colores azules), y otra perpendicular con elongación negativa (colores amarillos). Podría pensarse que se trata de un conjunto compacto de pequeñas texturas fibro-radiales de calcedonita, que presentan mayoritariamente tamaños inferiores a 25 micras. Cuando el tamaño de las texturas fibrosas es mayor, el aspecto “en parrilla” tiende a desdibujarse.

En otras ocasiones, con nícoles cruzados, pueden verse zonas localizadas de birrefringencia estriada, que es semejante a aquella birrefringencia que se ocasionan cuando se silicifican las arcillas. Puntualmente pseudomorfos de yeso o celestina pueden aparecer al igual que en los sílex del Episodio I.

Ópalos

Presentan a simple vista un brillo resinoso y color marrón o verde con diferentes tonalidades, estando a veces muy fracturados. En función de la proporción ópalo/arcilla varía la intensidad del color, siendo más oscuras las partes más opalinas. Mediante DRX se advierte que están formados por ópalo CT (Guthrie *et al.*, 1995) y proporciones variables de esmectitas magnesianas.

Mediante microscopía óptica y con luz paralela los ópalos típicos muestran gran relieve y color beige, mientras que las partes más arcillosas muestran menos relieve y suelen tener color más marrón. Presentan, a veces, microfacies globular, debido a su disgregación en granos redondeados, o microfacies intraclástica, consecuencia de una brechificación, tal y como se observa en las rocas caja que están en contacto. Con nícoles cruzados los ópalos son isótropos, pero pueden presentar una débil birrefringencia estriada consecuencia de la presencia de arcillas.

Sílex opalinos

Suponen un tipo intermedio entre los sílex propiamente dichos y los ópalos. Mediante DRX y petrografía de lámina delgada se advierte que están formados por mezclas diferentes de cuarzo y ópalo CT, siendo las esmectitas magnesianas muy minoritarias. En micro-Raman se detecta además moganita (Bustillo *et al.*, 2012).

Sus características texturales y estructurales se derivan de las rocas caja en las que están incluidos, como sucede en el caso de los ópalos, pero también son consecuencia del proceso de “envejecimiento” que sufrió el ópalo CT transformándose a cuarzo. Toda esta gran variabilidad hace que sean muy heterogéneos en color y aspecto.

Procesos de recristalización de ópalo a cuarzo (envejecimiento)

Cuando se comparan los análisis de DRX realizados en el exterior e interior de ciertos nódulos y niveles lenticulares se ven diferencias significativas (fig. 5), encontrándose que en el exterior se detectan débilmente las esmectitas magnesianas, mientras que el cuarzo es más abundante en el interior. Se interpreta entonces que el cuarzo podría producirse fundamentalmente por un proceso de recristalización del ópalo (Williams y Crerar, 1985) y que las esmectitas magnesianas son relictos de la roca caja, que son más abundantes en la zona exterior. Este envejecimiento es una característica diferencial de las rocas silíceas de Casa Montero. En niveles opalinos próximos a Casa Montero, formados por silicificación de sepiolita, el envejecimiento es casi inapreciable (Bustillo y Bustillo, 2000; Pérez-Jiménez, 2010).

GEOQUÍMICA DE LOS NIVELES DE LA SÍLICE Y SUS ROCAS CAJA

El estudio geoquímico de rocas silíceas de Casa Montero puede jugar un papel importante en su caracterización debido a dos causas diferentes. Por un lado, porque durante los procesos de disolución de las dolomías o arcillas las soluciones resultantes pueden quedar enriquecidas en elementos susceptibles de ser incluidos en las fases opalinas. Por otra parte, aunque los procesos de silicificación y envejecimiento sean muy intensos, suelen quedar pequeños relictos de roca caja difíciles de valorar por los análisis mineralógicos estándar, pero que de forma indirecta sí pueden inferirse a través de su composición química.

Bustillo *et al.* (2012) mediante tratamientos estadísticos de datos químicos, han intentado determinar si existen características químicas que sirvan para caracterizar las rocas de la sílice del Mioceno de la Cuenca de Madrid de acuerdo con su localización geográfica. Consideran 27 sílex, 13 sílex opalinos y 50 ópalos con diferentes proporciones de impurezas tomando como criterio que las muestras tuvieran más del 50% de sílice. La mayoría de la proporción de sílice (SiO_2), proviene de los minerales de la sílice (cuarzo, ópalos y moganita), y una pequeña parte la aportan otros minerales silicatados (arcillas, feldespatos, etc.). Las rocas estudiadas están distribuidas en diferentes columnas litológicas en la zona central y norte de la Cuenca de Madrid. De la totalidad de 90 muestras, 21 pertenecen a los niveles explotados de Casa Montero Loa. Se consideran 44 parámetros correspondientes a la composición química de mayores, menores y tierra raras: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 , C total, Ba, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sr, Th, U, V,

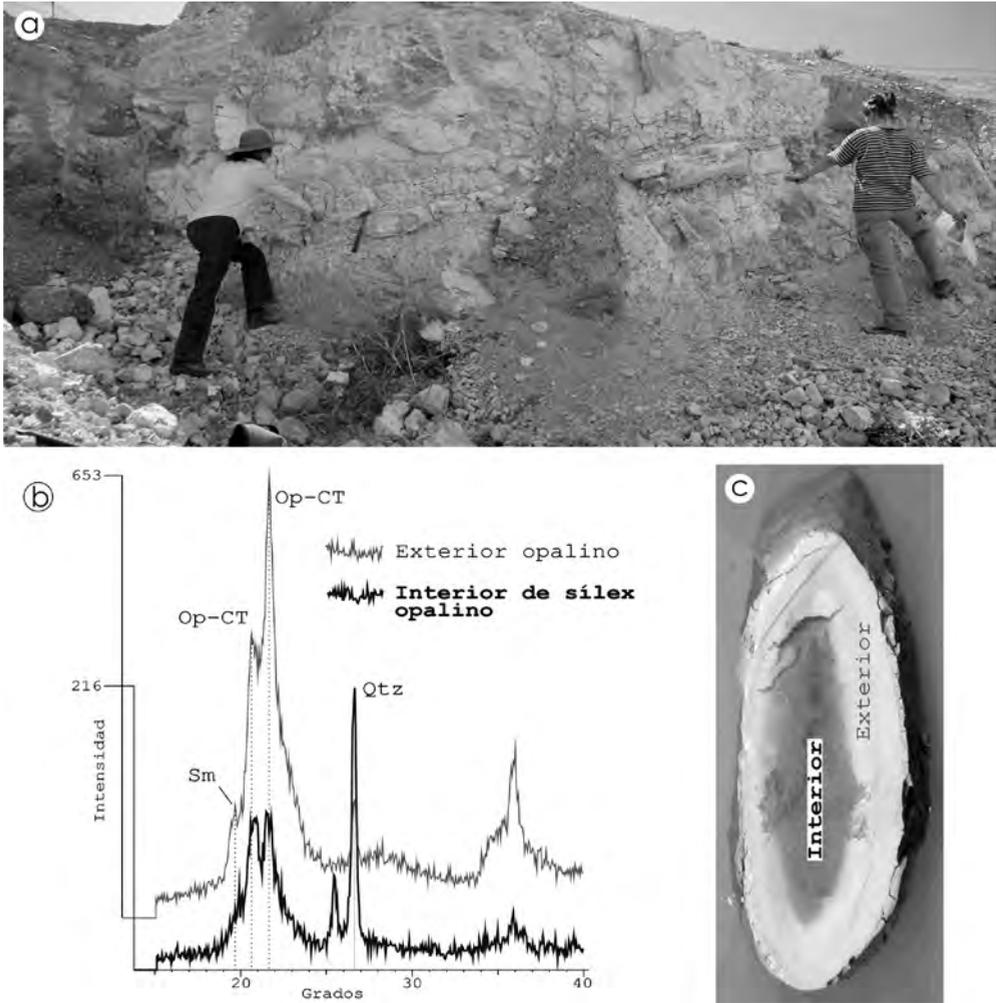


Fig. 5.—a) Sección correspondiente a una de las trincheras donde se observa el nivel III con importantes procesos de envejecimiento. b) Difractogramas de RX, obtenidos en la parte exterior e interior de un nódulo de este nivel. Los difractogramas marcan la existencia de ópalo CT y esmectitas en el exterior, y cuarzo en el interior como consecuencia del envejecimiento. c) Nódulo analizado en (b) y donde se observa el cambio de aspecto del interior de este nódulo por el envejecimiento.

Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Au. El estudio estadístico de los datos fue realizado mediante análisis bivalente (coeficientes de correlación Pearson) y multivalente (componentes principales y discriminante, con estandarización de las variables).

En las muestras de Casa Montero, considerando el Al_2O_3 como representante de la fracción arcillosas y terrígenos de grano fino, aparecen factores de correlación

> 0.8 entre el Al_2O_3 , y el CaO , K_2O , TiO_2 , Cs, Hf, Nb, Rb, Sr, Th, Zr, Y, Zn y todas las tierras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), indicando la gran influencia que tienen las esmectitas en la concentración de tierras raras. La sílice solo presenta un alto coeficiente de correlación con el MgO . Se trata de un coeficiente negativo (-0.97) porque el proceso de silicificación se realiza, en mayor o menor medida, reemplazando determinados tipos de esmectitas magnesianas y dolomías, sin suponer ningún aporte de otros elementos.

Sobre la totalidad de las muestras analizadas Bustillo *et al.* (2012) realizan un análisis estadístico de componentes principales, basado en la matriz de correlación, y cuyo objetivo básico era reducir el tamaño de la matriz de datos, es decir, establecer las variables que poseen un mayor peso en la variabilidad del conjunto. Los resultados revelaron que, existe un primer componente principal que explica el 58% de la variabilidad, y un segundo componente que explica el 10%. El peso de las variables para ambos componentes sale muy repartido, y por lo tanto se deduce que la totalidad de las rocas silíceas son un conjunto heterogéneo susceptible de ser desglosado en grupos. Por otra parte aparecen todas las tierras raras con valores similares, lo que indica que están muy relacionadas entre sí, corroborándose la asociación tan estrecha que mantienen con la fracción arcillosa.

Con la totalidad de las muestras los autores mencionados hacen además un análisis estadístico discriminante, con objeto de valorar si la composición química podría definir una situación geográfica. Este método, al igual que el de análisis de componentes principales, ha sido usado anteriormente en rocas silíceas, para mostrar si se pueden definir formaciones homogéneas como fuentes de suministro (Glascock, 2004; Huckel *et al.*, 2011). En el análisis discriminante realizado por Bustillo y colaboradores (Bustillo *et al.*, 2012) se obtiene que el 97,7% de las muestras analizadas salen asignadas correctamente en los grupos previamente definidos por su localización geográfica (A, B, C..., etc.). Los coeficientes estándar de la primera función discriminante variaban entre 11.22 y 0.09 para los valores positivos, y entre -10.74 y -0.01 para los valores negativos, presentando mayor peso: Ce (11.22), La (-10.74), Tb (-7.48), Sm (6.14), Ho (6.81), K_2O (5.57), SiO_2 (-4.22), Pr (4.14), Nb (-4.13), Gd (-4.01), Eu (-3.93), Y (-3.69), Zn (3.60), Rb (-3.59), Na_2O (-3.41), Yb (-3.22), Tm (3.13) y MgO (-3.09). Este análisis vuelve a demostrar que las tierras raras tienen un valor significativo. Sin embargo, todos los parámetros químicos estudiados tienen su importancia en mayor o menor medida (Bustillo *et al.*, 2012), ya que cuando estos autores plantean análisis discriminatorios con menos elementos, incluso con aquellos de menos peso en la función discriminadora, el número de muestras que pueden ser adscritas a los grupos geográficos definidos *a priori*, disminuye de una forma importante. Las conclusiones más significativas obtenidas después del análisis discriminante es que los grupos definidos por las funciones discriminantes están inducidos fundamentalmente por las inclusiones de las rocas caja que aparecen dentro de las rocas silíceas, siendo el tipo de arcilla con sus tierras raras, las que provocan la mayor caracterización.

CONCLUSIONES

1. Los niveles silíceos que fueron explotados en Casa Montero, presentan mucha variabilidad debido a que: a) el proceso de silicificación que los genera varía en intensidad según las zonas, generando incluso dentro de un mismo nivel rocas muy silicificadas, que llevan solo pequeños restos de la roca previa, y otras escasamente silicificadas donde los minerales de la arcilla o la dolomía todavía permanecen, b) los estratos que se silicifican son muy heterogéneos debido a su ambiente de formación (llanura aluvial-palustre-lacustre poco profundo) y como consecuencia la roca silícea resultante por procesos de reemplazamiento también lo es, y c) las rocas silíceas están geológicamente hablando “en vías” de recristalización de ópalo a cuarzo. Dentro de un mismo nivel o nódulo, este proceso de recristalización (envejecimiento) es heterogéneo y puede que en unas zonas (exterior de nódulos y capas frecuentemente) no haya comenzado, en otras esté en un estado intermedio, y en otras haya finalizado. Como consecuencia, varían, en pocos centímetros, los minerales de la sílice (cuarzo, moganita y ópalos) y sus texturas.

2. A pesar de la variabilidad litológica hay características bastante frecuentes en estos niveles silíceos y que serían: 1) mezclas de ópalo y cuarzo en las muestras que se obtienen de ellos, 2) presencia en lámina delgada de una fábrica granular y extinción en parrilla en las zonas formadas por sílex de cuarzo microcristalino, 3) observación en lámina delgada de calcedonias de elongación negativa (cuarcina y lutcina) formadas en cementos y por procesos de envejecimiento, 4) índices de cristalinidad de cuarzo (medidos por DRX), bajos o muy bajos, y 5) aparición en la composición de Mg como elemento más abundante después del Si.

3. El estudio geoquímico de los niveles silíceos puede ser una herramienta de caracterización de las rocas silíceas de Casa Montero. Las litologías analizadas (sílex, sílex opalinos y ópalos), funcionan como grupo en el estudio estadístico de análisis discriminante (Bustillo *et al.*, 2012). El grupo definido por la función discriminante principal está inducido fundamentalmente por las inclusiones de las rocas caja, siendo el tipo de arcilla con sus tierras raras, lo que provoca su principal caracterización.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha subvencionado a través del proyecto CGL 2008-05584-CO2-01/BTE del Ministerio de Ciencia e Innovación. Nuestro agradecimiento a todo el equipo de arqueólogos que han participado en las excavaciones y estudio del yacimiento arqueológico de Casa Montero, y especialmente a Susana Consuegra, Nuria Castañeda y Pedro Díaz-del-Río, sin cuya ayuda y entusiasmo no hubiera sido posible el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ARRIBAS, M.E. y BUSTILLO, M.A. (1985): "Modelos de silicificación en los carbonatos lacustres palustres del Paleógeno del borde NE de la Cuenca del Tajo", *Boletín Geológico y Minero* 96:3, pp. 325-343.
- ALONSO-ZARZA, A.M., CALVO, J.P., SILVA, P.G. y TORRES, T. (2004): "Cuenca del Tajo", *Geología de España* (Vera, J.A. ed.), Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 556-562.
- BUSTILLO, M.A. (1976): "Texturas de rocas de la sílice inorgánicas en ambiente continental significado genético", *Estudios Geológicos* 32, pp. 371-383.
- BUSTILLO, M.A. y BUSTILLO, M. (1988): "Características diferenciales e interpretación genética de ópalos constituidos en sedimentos biosilíceos y ópalos inorgánicos", *Boletín Geológico y Minero* 99:4, pp. 615-627.
- BUSTILLO, M.A. y BUSTILLO, M. (2000): "Miocene silcretes in argillaceous playa deposits, Madrid Basin, Spain: petrological and geochemical features", *Sedimentology* 47:5, pp. 1023-1039.
- BUSTILLO, M.A. y PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L. (2005): "Características diferenciales y génesis de los niveles silíceos explotados en el yacimiento arqueológico de Casa Montero (Vicalvaro, Madrid)", *Geogaceta* 38, pp. 243-246.
- BUSTILLO, M.A., ARRIBAS, M.E. y BUSTILLO, M. (2002): "Dolomitization and silicification in low energy lacustrine carbonates (Paleogene, Madrid Basin, Spain)", *Sedimentary Geology* 151:1-2, pp. 107-126.
- BUSTILLO, M.A., PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L. y BUSTILLO, M. (2012): "Caracterización geoquímica de rocas sedimentarias formadas por silicificación como fuentes de suministro de utensilios líticos (Mioceno, Cuenca de Madrid)", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29:1, pp. 233-247.
- BUSTILLO, M.A., PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L., ALONSO-ZARZA, A.M. y FURIO, M. (2012): "Moganite in the chalcedony varieties of continental cherts (Miocene, Madrid basin, Spain)", *Spectroscopy Letters* 45:2, pp. 109-113.
- BUSTILLO, M.A., CASTAÑEDA, N., CAPOTE, M., CONSUEGRA, S., CRIADO, C., DÍAZ-DEL-RÍO, P., OROZCO, T., PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L. y TERRADAS, X. (2009): "Is the macroscopic classification of flint useful: a petroarchaeological analysis and characterization of flint raw materials from the Iberian Neolithic Mine of Casa Montero", *Archaeometry* 51:2, pp. 175-196.
- CAÑAVERAS, J.C., CALVO, J.P., HOYOS, M., ORDÓÑEZ, S. (1996): "Paleomorphologic features of an intra-Vallesian paleokarst, Tertiary Madrid Basin: significance of paleokarstic surfaces in continental basin analysis", *Tertiary Basins of Spain: the Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (Friend, P.F., Dabrio, C.J., eds), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 278-284.
- CONSUEGRA, S., GALLEGO, M.M. y CASTAÑEDA, N. (2004): "Minería neolítica en Casa Montero (Vicalvaro, Madrid)", *Trabajos de Prehistoria* 61:2, pp. 121-140.
- CONSUEGRA, S., DÍAZ-DEL-RÍO, P., CASTAÑEDA, N., CAPOTE, M., CRIADO, C., CASAS, C., NIETO, A. y ENRIQUE CAPDEVILA (2018 en prensa). The Early Neolithic flint mine of Casa Montero (Madrid, Spain), 5350-5220 cal BC. *Trabajos de Prehistoria*.
- CRIADO, C., CASTAÑEDA, N., CAPOTE, M., BUSTILLO, M.A., PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L., CONSUEGRA, S., DÍAZ-DEL-RÍO, P., OROZCO, T. y TERRADAS, X. (2010): "El sílex Casa Montero: Estudio y caracterización", *Minerales y rocas en las sociedades de la Prehistoria* (Domínguez-Bella, S., Ramos Muñoz, J., Gutiérrez López, J.M. y Pérez Rodríguez, M., eds.), Universidad de Cádiz, Cádiz, pp. 189-199.
- DÍAZ-DEL-RÍO, P., CONSUEGRA, S., CAPOTE, M., CASTAÑEDA, N., CRIADO, C., VICENT, J. M., OROZCO, T. y TERRADAS, X. (2006): "Estructura, contexto y cronología de la mina de sílex de Casa Montero (Madrid)", *Actas del IV Congreso Neolítico Peninsular*, Tomo 1, Universidad de Alicante, Alicante, pp. 200-207.
- GLASCOCK, M.D. (2004): "Neutron activation analysis of chert artifacts from a Hopewell mound", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 262:1, pp. 97-102.

- GUTHRIE, G.D, BISH, D. y REYNOLDS, R.C. (1995): "Modeling the X-ray diffraction pattern of opal CT", *American Mineralogist* 80, pp. 869-72.
- HOYOS, M., JUNCO, F., PLAZA, J.M., RAMÍREZ, A. y RUIZ SÁNCHEZ-PORRO, J. (1985): "El Mioceno de Madrid", *Geología y Paleontología del Terciario continental de la provincia de Madrid* (Alberdi, M.T., ed.), Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, pp. 9-16.
- HUCKEL, B.B., KILBY, J.D., BOULANGER, M.T. y GLASCOCK, M.D. (2011): "Sentinel Butte: neutron activation analysis of White River Group chert from a primary source and artifacts from a Clovis cache in North Dakota, USA", *Journal of Archeological Science* 38:5, pp. 965-976.
- JUNCO, F. y CALVO, J.P. (1983): "Cuenca de Madrid", *Geología de España* (Gibbons, W. y Moreno, T., eds.), Tomo 2, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 534-543.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L., ALONSO-ZARZA, A.M. y BUSTILLO, M.A. (2005): "Sedimentología y diagénesis de las secuencias lacustres someras en el área del yacimiento neolítico de Casa Montero (Vicalvaro, Madrid)", *Geotemas* 8, pp. 77-80.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L. (2010): *Sedimentología, silicificaciones y otros procesos diagenéticos en las unidades Intermedia y Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid (zonas NE, NW y W)*, Tesis doctoral inédita, Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Geológicas, Universidad Complutense, Madrid.
- POZO RODRÍGUEZ, M., LÓPEZ, M.J. (2004): "Facies biosilíceas en el neógeno de la Cuenca de Madrid: origen e implicaciones sedimentológicas", *Revista de la Sociedad Geológica de España* 17:3-4, pp. 229-247.
- RODRÍGUEZ-ARANDA, J.P., CALVO, J.P. y SANZ-MONTERO, M.E. (2002): "Lower Miocene gypsum palaeokarst in the Madrid Basin (central Spain): dissolution diagenesis, morphological relics and karst end-products", *Sedimentology* 49:6, pp. 1385-1400.
- WILLIAMS, L.A. y CRERAR, D.A. (1985): "Silica diagénesis II. General mechanisms", *Journal of Sedimentary Petrology* 55:3, pp. 312-321.