

Aportaciones de los estudios de fitolitos en la prehistoria: formación, metodología y casos de estudio

Rosa M. Albert¹, Marta Portillo²



Recibido: 28-10-2014

Aceptado: 10-11-2014

Resumen

En los últimos años los estudios de microfósiles vegetales, y los fitolitos en particular, se han consolidado como herramienta indispensable para reconstruir las condiciones paleoambientales y la paleovegetación, así como para trazar la utilización y explotación de los recursos vegetales en el pasado. En este trabajo se abordan diversas cuestiones metodológicas considerando procesos de formación, composición, producción y preservación de estos microrrestos. Asimismo se incide en la importancia de entender tanto los procesos de formación como los procesos postdeposicionales que pueden haber afectado la preservación de los restos y que son cruciales en la interpretación del registro arqueológico. A través de una selección de casos de estudio articulados en tres ejes temáticos principales (reconstrucción de la paleovegetación, uso del fuego y primeras prácticas agrícolas y ganaderas), se demuestra su enorme potencial y variabilidad de aplicaciones.

Palabras clave: prehistoria; fitolitos; metodología; paleovegetación; paleoeconomía; tafonomía.

Resum. Aportació dels estudis de fitòlits en la prehistòria: formació, metodologia i casos d'estudi

En els darrers anys els estudis de microfòssils vegetals i els fitòlits en particular s'han consolidat com una eina indispensable per a la reconstrucció de les condicions paleoambientals i la paleovegetació, com també per traçar la utilització i l'explotació dels recursos vegetals en el passat. En aquest treball s'aborden diferents qüestions metodològiques considerant el procés de formació, composició, producció i preservació d'aquestes microrrestes. Així mateix s'incideix en la importància d'entendre tant els processos de formació com els processos postdeposicionals que poden haver afectat la preservació de les restes i que són crucials en la interpretació del registre arqueològic. A través d'una selecció de casos d'estudi articulats en tres eixos principals (reconstrucció de paleovegetació, ús del foc i primeres pràctiques agrícoles i ramaderes), es demostra el gran potencial i variabilitat de les aplicacions.

Paraules clau: prehistòria; fitòlits; metodologia; paleovegetació; paleoeconomia; tafonomia.

1. ICREA/ERAAUB. Universitat de Barcelona. Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia. C/ Montalegre, 6-8. 08001 Barcelona.

rhalb@ub.edu

2. ERAAUB. Universitat de Barcelona. Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia. C/ Montalegre, 6-8. 08001 Barcelona.

mportillo@ub.edu

Abstract. Contributions from studies of phytoliths in prehistoric times: formation, methodology and case studies

In recent years studies of plant microfossils, and phytoliths in particular have emerged as an indispensable tool for reconstructing paleoenvironmental conditions and palaeovegetation and to trace the use and exploitation of plant resources in the past. This paper addresses several methodological issues considering formation processes, composition, production and preservation of this micro remains. It also stresses the importance of understanding both formation and post-depositional processes that may have affected the preservation of the remains which are crucial in interpreting the archaeological record. Through a selection of case studies related to three main themes (palaeovegetation reconstruction, use of fire and early farming practices), phytolith analysis demonstrates its huge potential and variability of applications.

Keywords: Prehistory; Phytolits; methodology; paleonviroment; paleoeconomy; taphonomy.

ALBERT, Rosa M.; PORTILLO, Marta. «Aportaciones de los estudios de fitolitos en la prehistoria: formación, metodología y casos de estudio». *Treballs d'Arqueologia*, 2014, núm. 20, p. 79-93. DOI: 10.5565/rev/tda.48

1. Definición de fitolitos y características principales

Los estudios paleoantropológicos y arqueológicos de los últimos años reflejan, cada vez más, la estrecha relación existente entre el ecosistema y el comportamiento y desarrollo cognitivo de los grupos humanos (Vrba, 1995; deMenocal, 2011). Uno de los aspectos principales que componen un ecosistema es la vegetación. A partir de su reconstrucción, es posible inferir el tipo de clima y la disponibilidad de recursos en un entorno y momento determinados. En los últimos años, el avance de la ciencia arqueológica y especialmente la aplicación de metodologías procedentes de diversas disciplinas científicas hace que en la actualidad tengamos acceso a un amplio rango metodológico que nos permite hacer inferencias sobre la vegetación en un lugar y tiempo determinados. De entre todos estos, queremos destacar

los análisis de fitolitos. Los análisis de fitolitos aplicados a contextos arqueológicos se enmarcan dentro la microarqueología (Weiner, 2010), y se basan en el estudio de microrrestos recuperados de yacimientos arqueológicos, que no son observables a primera vista y que necesitan de un equipamiento adicional para poder ser identificados. Además de los fitolitos también se incluyen dentro de la microarqueología, entre otros, los estudios de esferolitos fecales, las diatomeas, las espículas de esponja, los almidones, el polen, así como el estudio de los sedimentos, que permite obtener información sobre los procesos de formación, su composición mineralógica y química y su efecto sobre la conservación de los diferentes restos depositados.

Los fitolitos de sílice o silicofitolitos son microrrestos silíceos que se forman en el interior de las plantas cuando estas todavía están vivas. Las plantas absorben, junto con el agua del suelo, una

serie de minerales, entre los que se encuentra el ácido monosilíceo ($\text{Si}(\text{OH})_4$). Este ácido es transportado a las partes aéreas de la planta, donde, en forma de gel, puede depositarse en las paredes de las células, rellenar las células a medida que van muriendo o impregnar los espacios intercelulares. Posteriormente este gel se solidifica adaptando la morfología celular donde se han depositado. Es entonces cuando ya podemos hablar de fitolitos. Este proceso de silicificación tiene lugar principalmente en el tejido epidérmico de hojas, tallos e inflorescencias, así como ciertos frutos. Cuando las plantas o partes de las plantas mueren y se depositan en el suelo, la materia orgánica decae y libera los fitolitos que pasan a formar parte del sedimento (Piperino, 1988, 2006).

Características de los fitolitos

Morfología

Debido a su proceso de formación, los fitolitos reproducen el tejido celular de ciertas plantas, siendo, pues, fácilmente identificables en el microscopio. En algunos casos, como los cereales, los estudios morfométricos de fitolitos permiten reconocerlos a nivel de especie (Ball *et al.*, 1999). Además, al tener tejidos celulares diferenciados, es posible identificar la parte de la planta donde se han formado (hojas, tallos, inflorescencias, tronco, frutos, etc.) (Albert y Weiner, 2001) (figura 1).

Mineralogía

La composición de los fitolitos (sílice) hace que estos sean altamente resistentes

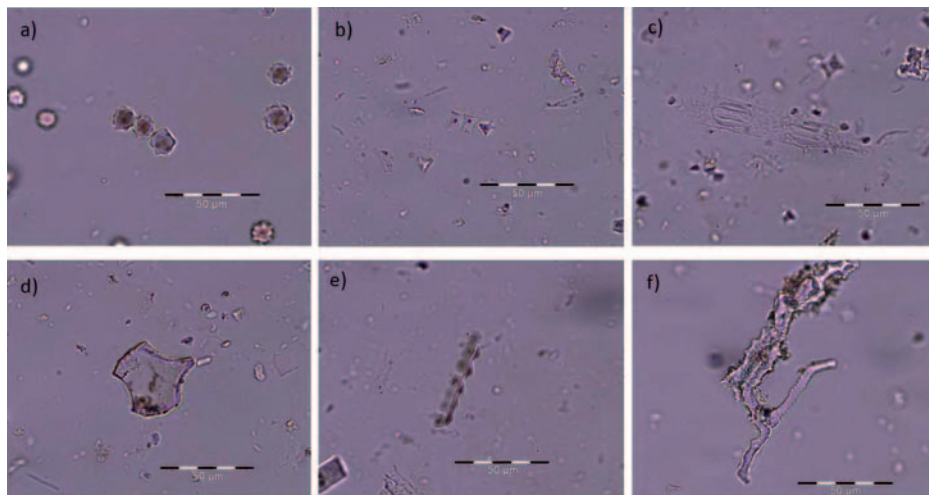


Figura 1. Microfotografías de fitolitos de plantas modernas de colección de referencia, Tanzania (Albert *et al.*, 2006; véase PhytCore, <http://www.phytcore.org>) (400×). a) esferoides equinados, hojas de *Phoenix reclinata*, b) células cortas de tipo rondel, tallo de *Sporobolus spicatus*, c) estomas, tallo de *Sporobolus spicatus*, d) célula buliforme, hojas de *Cynodon dactylon*, e) células epidérmicas «de forma de cono» (*Cone shaped*), tallo de *Cyperus dives*, f) traqueida, hojas de *Acacia tortilis*.

tes al paso del tiempo, pudiendo recuperarse en niveles de varios millones de años (McInerney *et al.*, 2011). También son resistentes a los procesos de combustión y permanecen morfológicamente inalterados hasta temperaturas cercanas a los 850° (Albert y Cabanes, 2007), modificando únicamente su índice de refracción (Elbaum *et al.*, 2003). Sin embargo, en ambientes altamente alcalinos con pH superior a 8,5-9 pueden llegar a disolverse (Piperino, 2006).

Producción diferencial

No todas las plantas ni partes de las plantas producen fitolitos en la misma proporción. Esta mayor o menor silicificación dependerá, entre otras cosas, de la disponibilidad de ácido monosilíceo en el suelo, así como del clima; a mayor presencia de agua en un suelo rico en sílice, mayor absorción por parte de la planta del ácido monosilíceo y, por lo tanto, mayor producción de fitolitos. Por otro lado, la mayor o menor absorción de sílice también depende del tipo de planta. Las plantas monocotiledóneas y, en especial, la familia de las gramíneas, son grandes productoras de fitolitos (Rosen y Weiner, 1994; Piperino, 2006). Otras monocotiledóneas también ricas en producción de fitolitos son las ciperáceas (Ollendorf, 1992) y las palmáceas (Bamford *et al.*, 2006). Dentro de las dicotiledóneas, los fitolitos se encuentran principalmente en las hojas, en ciertos frutos y, en menor medida, en el tronco y la corteza (Albert *et al.*, 1999; Tsartsidou *et al.*, 2007). En contextos arqueológicos, esta producción diferencial de fitolitos permite cuantificar la presencia de diversas plantas y partes de las mismas.

Condiciones de preservación

Los fitolitos pueden verse alterados tanto por acción química como mecánica. En relación a la alteración química, el ejemplo más característico es el de los ambientes con pH elevado. En ambientes cálcicos, el pH de los sedimentos compuestos de cenizas de madera oscila entre 9 y 13. Teniendo en cuenta que los fitolitos son estables en un pH hasta 8,2 aproximadamente, la primera pregunta a formular es la durabilidad y el estado de la conservación de fitolitos en sedimentos donde los principales componentes mineralógicos corresponden a la calcita derivada de cenizas. Un ejemplo es Cueva Bajondillo (Torremolinos), donde los fitolitos aparecieron fuertemente alterados químicamente (Albert, 2007). Datos más reveladores se obtuvieron, sin embargo, en la Cova del Frare (Matadepera), donde existe una fuerte circulación de agua permanente, llegando a formar planchas estalagmíticas. Los fitolitos identificados, aunque no eran de una cronología excesivamente antigua (alrededor de 4000 años), se encontraban en un pésimo estado de conservación siendo difícilmente identificables, especialmente en los niveles directamente por debajo de dichas planchas (Albert *et al.*, 1997a). Por el contrario, en los niveles superiores, los fitolitos fueron fácilmente reconocibles morfológicamente. Otro ejemplo es el de la cueva PP13 en Pinnacle Point (Sudáfrica), en la que se observó una conservación diferencial entre la zona más cercana a la entrada de la cueva, donde los fitolitos aparecían en un mal estado de conservación y la zona del fondo de la cueva, donde habían quedado preservados de las acciones exteriores y aparecieron en un excelente

estado, permitiendo identificar estructuras silíceas de dicotiledóneas en conexión anatómica (Albert y Marean, 2012). Por otro lado, en aquellas situaciones donde los fuegos no han estado en contacto directo con el agua o donde la calcita ha desaparecido como es el caso de Cova del Parco (Alòs de Balaguer) (Albert *et al.*, 1997b) o de los fuegos centrales de la cueva de Kebara en Israel (Albert *et al.*, 2000), los fitolitos se encuentran relativamente bien conservados. Así pues, un ambiente cálcico o la presencia de cenizas de madera no es *a priori* suficiente para provocar una disolución de los fitolitos. En cambio, un ambiente cálcico con una percolación hídrica más o menos constante a través de los sedimentos sí puede acelerar de forma dramática y en un relativamente corto espacio de tiempo la disolución de estos microrestos.

Por lo que respecta a la alteración mecánica de los fitolitos, en el Mirador (Sierra de Atapuerca) se identificaron estructuras multicelulares de fitolitos (en conexión anatómica), en mayor número, en los niveles mejor conservados, mientras que en aquellos niveles donde se había observado algún tipo de movimiento postdeposicional, estos elementos disminuían notablemente (Cabanes *et al.*, 2009). Así pues, los procesos postdeposicionales, como por ejemplo la bioturbación o el desplazamiento de sedimentos, pueden desmembrar las estructuras multicelulares, convirtiéndolas en fitolitos unicelulares.

El reconocimiento de las condiciones y causas de conservación o disolución de los fitolitos es también un buen indicador sobre los procesos postdeposicionales que tuvieron lugar posteriormente a la deposición de los restos en un yacimiento o nivel determinado, contri-

buyendo pues a mejorar la interpretación de los restos preservados a la vez que inferir las razones por las que pueden haberse disuelto otros restos.

2. Metodología

Al igual que otras disciplinas paleobotánicas, la identificación y adscripción de los fitolitos se realizan a partir de su comparación con colecciones de referencia de plantas modernas. Es importante que estas plantas procedan de la misma zona de estudio que las muestras arqueológicas. De esta forma se minimizan las diferencias relacionadas con un mayor o menor proceso de silicificación que pueden afectar en la cantidad y variedad de fitolitos.

Para la extracción de fitolitos de plantas modernas seguimos la metodología propuesta por Albert y Weiner (2001). Esta se basa en una primera combustión de la muestra en un horno de mufla a 500 °C durante 4 horas. Las cenizas obtenidas son tratadas con una solución de ácido clorhídrico y nítrico, y posteriormente de peróxido de hidrógeno para eliminar el resto de materia orgánica que pueda no haber sido eliminada correctamente durante la combustión. Las láminas para el estudio microscópico se preparan utilizando aproximadamente 0,5 mg de muestra mezclada con resina (Entellan New) y se cubren para ser observadas al microscopio petrográfico a 400×. También es posible realizar esta identificación a partir del microscopio electrónico (SEM). De esta forma se obtiene un mayor detalle especialmente a nivel de textura, que puede ser útil para su identificación taxonómica. Para obtener una interpretación fiable, es necesari-

rio cuantificar un número mínimo de 200 fitolitos (Piperno, 1988; Albert y Weiner, 2001). Las imágenes digitales de fitolitos son almacenadas posteriormente en bases de datos junto a la información relacionada. En nuestro caso utilizamos la base de datos PhytCore (<http://www.phytcore.org>), que contiene actualmente más de 4000 imágenes de fitolitos, tanto de colecciones de referencia como de muestras arqueológicas. PhytCore permite añadir imágenes que luego son refrendadas por un comité especializado. Asimismo posee también ámbitos abiertos que permiten establecer discusiones sobre nomenclatura, taxonomía, etc.

El muestreo de sedimentos arqueológicos para análisis de fitolitos es relativamente sencillo y solo hay que tener en cuenta una serie de precauciones necesarias: a) las muestras deben estar correctamente contextualizadas; b) es necesario realizar recogida de muestras de control (por ejemplo de zonas estériles) que permitan identificar el origen de las plantas reconocidas (acción antrópica o causas naturales); c) prevenir posibles contaminaciones, para ello la muestra debe ser recogida con material limpio y guardada en contenedores esterilizados.

Debido a su formación dentro de la planta mientras está viva, los fitolitos pueden encontrarse en cualquier tipo de resto susceptible de haber contenido estas plantas, desde el propio sedimento hasta otros restos materiales como dientes, molinos, cerámicas, industria lítica, etc. Dependiendo del tipo de resto a estudiar, la metodología de extracción puede variar susceptiblemente.

En general, el proceso se basa en la eliminación de todos aquellos componentes que pueden impedir la correcta identificación y cuantificación de los

fitolitos (por ejemplo, carbonatos, fosfatos, materia orgánica, etc.). Una vez eliminados, el material silíceo restante se separa por densidades, mediante la utilización de líquido pesado (polytungstato de sodio), lo que permite concentrar los fitolitos a la vez que separarlos de otros elementos más pesados como el cuarzo (Albert *et al.*, 1999). Finalmente los fitolitos son identificados tanto a partir del microscopio óptico a 400x, como del microscopio electrónico.

3. Casos de estudio

Debido a la gran variedad de soportes donde se pueden realizar estudios de estos microfósiles, la información a obtener también será de diverso tipo. Por ejemplo, el estudio de un suelo de ocupación puede ofrecer información sobre las diferentes funcionalidades (zonas dormitorio, actividades de estabulación, etc.) (Albert *et al.*, 2008). El estudio de los dientes nos informará de la dieta (Henry *et al.*, 2014), los molinos nos informarán de los materiales vegetales procesados (Portillo *et al.*, 2009), etc.

A pesar de que la aplicación de los estudios de fitolitos en contextos arqueológicos es relativamente reciente (principalmente desde los años setenta), son muchos los trabajos que se han realizado en estos cuarenta años abarcando diversos campos de actuación y con un amplio espectro tanto cronológico como geográfico.

Repasaremos algunos ejemplos significativos y que se enmarcan dentro de las tres líneas principales de investigación de las autoras: a) reconstrucción de la paleovegetación durante el plio-pleistoceno africano; b) uso del fuego por parte

de las primeras poblaciones de *Homo*, y c) primeras prácticas agrícolas y ganaderas. Estas tres líneas de investigación se centran en tres momentos clave de transición para la evolución y el desarrollo cognitivo humano que han dado lugar a las sociedades actuales. Repasaremos brevemente cada uno de ellos.

Reconstrucción del paleoambiente y la paleovegetación en África oriental durante el plio-pleistoceno

El desarrollo de los primeros homínidos africanos está fuertemente relacionado con el entorno y el modo en que utilizaron los recursos que tenían disponibles. A partir de esta línea de investigación, pretendemos mejorar nuestro conocimiento sobre cuáles eran estas condiciones, principalmente a nivel de vegetación. Solo así podremos conocer los recursos que tenían disponibles, tanto a nivel de dieta como de provisión de herramientas, refugios, etc., y que favorecieron su supervivencia. Desde el año 2001, nuestro equipo lleva realizando análisis de fitolitos para reconstruir la vegetación en la garganta de Olduvai (Tanzania) durante el período en que habitaban la zona *Parantropus boisei* y *Homo habilis* hace aproximadamente 1,8 millones de años. Nuestro trabajo se basa en un estudio combinado de plantas y suelos modernos, lo que nos permite obtener información sobre la cantidad y los tipos morfológicos producidos por diferentes especies de plantas, a la vez que determinar los morfotipos que tienen un mayor índice de conservación bajo unas condiciones mineralógicas determinadas. Para ello hemos realizado estudios en zonas cercanas a la garganta de Olduvai con características similares a las que existirían durante la época de estudio, en este

caso: el cráter del Ngorongoro, Parque Nacional del Serengeti, lagos Masek y Ndu, lago Eyasi, etc. (Albert *et al.*, 2006, 2014; Bamford *et al.*, 2006). La ventaja que poseen la mayor parte de estos sitios es que, al haber sido declarados parques nacionales, tienen un impacto antrópico limitado y controlado. Estos resultados son utilizados en el estudio del registro paleoantropológico. Aunque se trata de un proyecto a largo plazo, los resultados obtenidos hasta hoy día han permitido reconstruir el paisaje, entre otros de la localidad FLK, en el nivel superior del lecho I (UMBI), donde se recuperaron los restos de *Parantropus boisei* y *Homo habilis* (Blumenschine *et al.*, 2012) y en la zona HWKEE, definida por los trabajos de Hay (1976) como una zona de agua fresca caracterizada por una vegetación con abundancia de palmeras (Albert *et al.*, 2009). Actualmente hemos ampliando la zona de estudio a los contextos habitados por *H. erectus*.

Otros ejemplos de estudios de fitolitos realizados en la misma o en otras zonas geográficas y en períodos similares son, entre otros, Barboni *et al.* (2010), WoldeGabriel *et al.* (2009) o Mercader *et al.* (2013).

Control y uso del fuego

El fuego ha sido uno de los elementos imprescindibles para la supervivencia del ser humano y se ha relacionado con el desarrollo de la complejidad social e intelectual de los primeros homínidos (Perlès, 1977). En períodos prehistóricos, los fuegos representan un importante papel en la estructura social, alrededor del cual se desarrollaban las actividades principales. Aunque es posible que estos fuegos se realizaran en espacios abiertos,

abrigos o cuevas, es en estos dos últimos contextos donde se han identificado en mayor número.

Los estudios de fitolitos sobre fuegos prehistóricos permiten obtener información sobre su funcionalidad, a partir de la identificación del combustible y el papel que desempeñaban en el hábitat (cocina, calor, luz, transformación de materiales) e indirectamente sobre el tipo de hábitat (de larga o corta duración), el paisaje y la posible selección de combustible.

Los resultados obtenidos en la mayor parte de los yacimientos indican que la madera era el principal combustible utilizado para los fuegos. Este mayor dominio de la madera, sin embargo, puede ir acompañado por el uso de otros elementos vegetales en proporciones variables. Estas diferencias observadas en el tipo de combustible que acompaña a la madera se interpretan en términos de comportamientos humanos diversificados, relacionando los fuegos con diferentes estrategias de recolección y tipos de hábitats. Así, por ejemplo, un dominio de la madera sin prácticamente acompañamiento de otras partes de la planta o grupos de plantas puede responder a una utilización reiterativa de los fuegos y un uso continuado del hábitat, donde la madera sería probablemente seleccionada, almacenada y finalmente utilizada para realizar los fuegos. Estos fuegos proporcionarían principalmente brasas, las cuales pueden ser utilizadas para procesos culinarios. Un ejemplo de este tipo de fuegos se encuentra en los niveles del paleolítico medio de la cueva de Kebara, en Israel (Albert *et al.*, 2000), en la que, además, se identificó la dispersión de cenizas por el yacimiento. Un ejemplo diferente es la cueva de Hayonim (Israel) (Albert *et al.*, 2003), donde los

niveles musterienses estaban dominados por fitolitos de hojas de plantas dicotiledóneas y fitolitos de madera. Estos resultados, junto con la proporción en que estaban presentes estos fitolitos de hojas y madera, sugieren que el combustible utilizado correspondería mayoritariamente a ramas de árboles o arbustos. Este yacimiento se ha relacionado con un comportamiento de recogida de combustibles de manera aleatoria, en las inmediaciones del hábitat, como por ejemplo ramas caídas que todavía conservan las hojas. Hayonim se ha interpretado como un hábitat de corta ocupación, de pocos días, para realizar diferentes actividades probablemente relacionadas con la caza. En el yacimiento Grotte XVI (Francia) los resultados del nivel C (musteriense) evidenciaron, en contra de hipótesis anteriores, una mayor presencia de fitolitos de madera y gramíneas, lo que se interpretó como un posible uso de estas últimas, bien para producir fuegos destinados a secar pescado (justificado por el gran número de espinas identificadas), o para otras actividades como lechos que hubieran sido quemados (Karkanas *et al.*, 2002). Esta mayor presencia de gramíneas, junto con posiblemente hojas de *Quercus*, también se identificó en los niveles de paleolítico superior, nivel II de la Cova del Parco (Alòs de Balaguer) (Albert *et al.*, 1997b). En el nivel J del Abric Romaní (Capellades) se observó una variación en la utilización del combustible en los diferentes fuegos, yendo desde una mayoritaria utilización de las partes leñosas hasta un dominio de plantas gramíneas (Cabanes *et al.*, 2007). En el Mirador (Sierra de Atapuerca) la identificación de fitolitos, procedentes también de la familia de gramíneas y esferolitos fecales (partículas de carbonato cálcico formadas en el aparato

digestivo de determinados animales, principalmente herbívoros), indicaba la utilización de la mayoría de los sedimentos quemados del nivel 4 como lugar de estabulación durante la edad del bronce (Cabanes *et al.*, 2009). En Amud Cave (Israel), se ha sugerido el consumo de semillas de gramíneas por parte de los habitantes del paleolítico medio (Madella *et al.*, 2002).

Hay situaciones en que los fuegos, debido a procesos postdeposicionales, ya no son visibles a simple vista. Este es el caso de la cueva de Tabun (Israel). Aquí los fitolitos, junto con el análisis mineralógico de los sedimentos a partir de la espectrometría de infrarrojos por derivada de Fourier (FTIR), fueron determinantes para detectar la presencia de fuegos que habían quedado enmascarados por caídas de sedimentos procedentes de la chimenea (Albert *et al.*, 1999).

Pero los análisis de fitolitos también pueden ser utilizados en contextos de cuevas para detectar otras actividades además de los fuegos. Un ejemplo es la cueva de Sibudu en Sudáfrica, donde estos estudios permitieron identificar lechos para dormir (Wadley *et al.*, 2011).

Primeras prácticas agrícolas

En este apartado las investigaciones se han dirigido hacia la reconstrucción de los cambios paleoambientales en la transición del pleistoceno final hacia el holoceno, y los mecanismos socioculturales que dieron lugar a los procesos de domesticación de plantas y animales, con especial interés por el Levante, dado su papel pionero en la región mediterránea. Son diversas las cuestiones que emergen del estudio de estas sociedades, entre las que destaca la identificación de produc-

tos para su alimentación y la de sus animales, los productos secundarios y subproductos derivados de actividades agrícolas y ganaderas, de las técnicas de cultivo y de explotación animal, sistemas de almacenamiento y procesado, etc. En este sentido, los fitolitos se han demostrado indispensables especialmente en contextos con escasa o nula preservación de restos macrobotánicos, como es el caso del registro Natufiense, permitiendo reconocer la explotación de recursos vegetales de estas comunidades, así como la intensificación del uso de los cereales silvestres (Rosen, 2010).

Estos microfósiles son especialmente abundantes en la familia de las gramíneas y el estudio morfológico de fitolitos multicelulares (estructuras multicelulares o fitolitos en conexión anatómica, figura 2) permite realizar identificaciones taxonómicas a nivel de género (Rosen, 1992). Las estructuras multicelulares reproducen el conjunto del tejido celular y son el resultado de una fuerte silicificación de la planta, y han sido utilizados como indicadores de irrigación (Rosen y Weiner, 1994). Una segunda línea metodológica aplicada en la identificación de determinadas especies de cereales, permitiendo la discriminación de variedades domésticas y silvestres, es el estudio morfométrico de células individuales (Ball *et al.*, 1999). En lo que respecta al procesado de los cereales, y la molienda en particular, estos estudios han permitido identificar espacios destinados a esta actividad cotidiana, así como el tipo de cereal procesado en diversos yacimientos neolíticos (Portillo *et al.*, 2009, 2013; Portillo y Albert, 2014).

Una cuestión clave es también la de tratar de determinar la introducción de los restos vegetales en el contexto arqueoló-

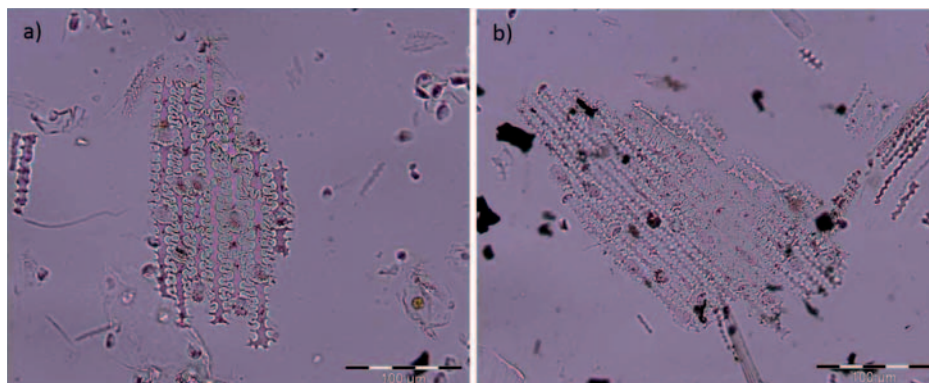


Figura 2. Microfotografías de fitolitos multicelulares de las inflorescencias de cereales levantinos, colección de referencia University College London (Portillo *et al.*, 2014) (200×). a) *Triticum diccocum*, b) *Hordeum vulgare*.

gico, ya sea en forma de productos o subproductos agrícolas o como componente de los excrementos de los animales domésticos. La integración de los estudios de fitolitos con otros microfósiles como los esferolitos fecales (partículas calcíticas) y otras evidencias directas (ácidos bílicos, concentraciones de fosfatos o microlaminación), ha permitido identificar espacios domésticos dedicados a la estabulación del ganado tanto en asentamientos al aire libre, abrigos y cuevas, como en yacimientos urbanos de arquitectura monumental, acumulaciones de material fecal en basureros, o la utilización de excrementos como combustible o material de construcción, entre otros usos (véase Matthews, 2010 y Shahack-Gross, 2011, y referencias).

Conclusiones

Los análisis de fitolitos se han convertido, en estos últimos años, en una herramienta imprescindible para reconstruir,

no solo las condiciones paleoambientales y la paleovegetación, sino también para mejorar nuestro conocimiento sobre diversos aspectos relacionados con la utilización y explotación de los recursos vegetales en el pasado. Asimismo no hay que olvidar la importante información que su estudio ofrece para comprender tanto los procesos de formación como los procesos postdeposicionales que pueden haber afectado los restos arqueológicos. En este trabajo nos hemos centrado en ofrecer ejemplos procedentes de nuestro trabajo de investigación durante los últimos veinte años. Sin embargo, no hay que olvidar que son cada vez más los grupos que se dedican a este tipo de análisis, aplicados no solo a contextos arqueológicos, sino también ambientales. Algunos ejemplos son los realizados sobre la domesticación del maíz en América (Piperno 2009; Piperno *et al.*, 2009), o para identificar la aparición en el tiempo de la familia de las gramíneas C4 (Strömberg y McNerney, 2011). Sin embargo, y a pesar de

estas aplicaciones de tan amplio espectro, todavía es mucho lo que queda por hacer y muchas preguntas a las que dar respuesta. Necesitamos seguir avanzando en varios aspectos de la investigación, los cuales incluyen la ampliación del estudio de muestras de referencia; un mayor desarrollo de los análisis morfométricos para mejorar la identificación al nivel de especie; seguir investigando las condiciones que afectan a la conservación de los fitolitos y la mayor resistencia de unos morfotipos respecto a otros; mejorar la fiabilidad en la identificación de los fitolitos quemados que permitan un mayor y mejor reconocimiento unido a la temperatura, etc.

Otros aspectos que se han tratado y que todavía son objeto de debate se relacionan con el carbón ocluido dentro de los fitolitos y que ha sido utilizado para responder a cuestiones de tipo ambiental, a partir de estudios de isótopos sobre el carbón (Hodson *et al.*, 2008; Strömberg y McInerney, 2011) o para datación de C14 (Wilding *et al.*, 1967; Piperno *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2012), estos últimos con diferentes y controvertidos resultados.

No cabe duda de que los análisis de fitolitos ofrecen un enorme potencial para resolver cuestiones de diversa índole y las investigaciones realizadas en los últimos años así lo demuestran.

Referencias bibliográficas

- ALBERT, R.M. 2007. «Identificación de restos vegetales en las capas de cenizas de Cueva Bajondillo (Torremolinos, Málaga): Los estudios de fitolitos», en CORTÉS, M. (ed.) *Cueva Bajondillo (Torremolinos). Secuencia cronocultural y paleoambiental del Cuaternario reciente en la Babía de Málaga*. Málaga: CEDMA.
- ALBERT, R.M.; CABANES, D. 2007. «Fire in prehistory: An experimental approach to combustion processes and phytolith remains». *Israel Journal of Earth Sciences* 56: 175-89.
<<http://dx.doi.org/10.1560/IJES.56.2-4.175>>
- ALBERT, R.M.; MAREAN, C. 2012. «Early *Homo Sapiens* Exploitation of Plant Resources Through The Study Of Phytoliths: A Case Study From Site Pinnacle Point 13b (South Africa)». *Geoarchaeology* 27: 363-84.
<<http://dx.doi.org/10.1002/gea.21413>>
- ALBERT, R.M.; WEINER, S. 2001. «Study of phytoliths in prehistoric ash layers using a quantitative approach», in: MEUNIER, J.D.; COLIN, F. (eds.) *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*: 251-66. Lisse: A.A. Balkema Publishers.
- ALBERT, R.M.; BAMFORD, M.K.; CABANES, D. 2006. «Taphonomy of phytoliths and macroplants in different soils from Olduvai Gorge, Tanzania: application to Plio-Pleistocene palaeoanthropological samples». *Quaternary International* 148: 78-94.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.026>>
- ALBERT, R.M.; BAMFORD, M.K.; CABANES, D. 2009. «Palaeoecological significance of palms at Olduvai Gorge, Tanzania based on phytolith remains». *Quaternary International* 193: 41-48.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.06.008>>

- ALBERT, R.M.; BAMFORD, M.K.; ESTEBAN, I. 2014. «Reconstruction of ancient palm vegetation landscapes using a phytolith approach». *Quaternary International*.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.067>>
- ALBERT, R.M.; MANGADO, X.; MARTIN, A. 1997a. «Estudio sobre la conservación y disolución de fitolitos en sedimentos calcáreos. Análisis de una columna estratigráfica de la Cova del Frare (Matadepera, Barcelona)». En: PINILLA, A.; JUAN-TRESSERRAS, J.; MACHADO, M.J. (eds). *Estado actual de los estudios de fitolitos en suelos y plantas*. Monografías 4: 187-196. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- ALBERT, R.M.; CALVO, M.; MANGADO, X. 1997b. «Raw material supplies, Microwear and Phytolith analyses of the lithic industry in Level II of Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Spain)». En: SCHILD, R.; SULGOSTOWSKA, Z. (eds.) *Man and Flint*: 161-66. Warszawa: Institute of Archaeology and Ethnology, Polish Academy of Sciences.
- ALBERT, R.M.; BAR-YOSEF, O.; MEIGNEN, L.; WEINER, S. 2000. «Phytoliths in the Middle Paleolithic deposits of Kebara cave, Mt. Carmel, Israel: Study of the plant materials used for fuel and other purposes». *Journal of Archaeological Science* 27: 931-47.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2000.0507>>
- ALBERT, R.M.; BAR-YOSEF, O.; GOLDBERG, P.; MEIGNEN, L.; WEINER, S. 2003. «Phytolith and mineralogical studies of hearths from the Middle Paleolithic levels of Hayonim cave (Galilee, Israel)». *Journal of Archaeological Science* 30: 461-80.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2002.0854>>
- ALBERT, R.M., TSATSKIN, A., RONEN, A., LAVI, O., ESTROFF, L., LEV-YADUN, S., WEINER, S. (1999). «Mode of occupation of Tabun Cave, Mt Carmel, Israel during the Mousterian Period: A study of the sediments and phytoliths». *Journal of Archaeological Science* 26: 1249-1260.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1999.0355>>
- ALBERT, R.M.; SHAHACK-GROSS, R.; CABANES, D.; GILBOA, A.; LEV-YADUN, S.; PORTILLO, M.; SHARON, I.; WEINER, S. 2008. «Phytolith-rich layers from the Late Bronze and Iron Ages at Tel Dor (Israel): mode of formation and archaeological significance». *Journal of Archaeological Science* 35: 55- 75.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2007.02.015>>
- BALL, T.B.; GARDNER, J.S.; ANDERSON, N. 1999. «Identifying inflorescence phytoliths from selected species of wheat (*Triticum monococcum*, *T. dicoccum*, *T. dicocoides*, and *T. aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare* and *H. spontaneum*) (Gramineae)». *American Journal of Botany* 86: 1615-23.
<<http://dx.doi.org/10.2307/2656798>>
- BAMFORD, M.K.; ALBERT, R.M.; CABANES, D. 2006. «Assessment of the Lowermost Bed II Plio-Pleistocene vegetation in the eastern palaeolake margin of Olduvai Gorge (Tanzania) and preliminary results from fossil macroplant and phytolith remains». *Quaternary International* 148: 95-112.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.027>>
- BARBONI, D.; ASHLEY, G. M.; DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M.; BUNN, MABULLA, A.Z.P.; BAQUEDANO, E. 2010. «Phytoliths infer locally dense and heterogeneous paleovegetation at FLK North and surrounding localities during upper Bed I time, Olduvai Gorge, Tanzania». *Quaternary Research* 74: 344-54.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2010.09.005>>
- BLUMENSCHINE, R.J.; STANISTRET, I.G.; NJAU, J.K.; BAMFORD, M.K.; MASAO, F.T.; ALBERT, R.M.; STOLLHOFEN, H.; ANDREWS, P.; PRASSACK, K.A.; MCHENRY, L.J.; FERNÁNDEZ-JALVO, Y.; CAMILLI, E.L.; EBERT, J. I. 2012. «Environments and hominin activities across the FLK Peninsula during *Zinjanthropus* times (1.84 Ma), Olduvai Gorge, Tanzania». *Journal of Human Evolution* 63: 364-83.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2011.10.001>>

- CABANES, D.; ALLUÉ, E.; VALLVERDÚ, J.; CÁCERES, I.; VAQUERO, M.; PASTÓ, I. (2007). «Hearth Functioning at Level J (50 kyr, B.P.) from Abric Romaní (Capellades, Spain): Phytoliths, charcoal, sediment, bones and stone-tools». En: MADELLA, M.; ZURRO, D. (eds.) *Plant, People and Places*. Oxford: Oxbow Books.
- CABANES, D.; BURJACHS, F.; EXPÓSITO, I.; RODRÍGUEZ, A.; ALLUE, E.; EUBA, I.; VERGES, J. M. 2009. «Formation processes through archaeobotanical remains: The case of the Bronze Age levels in El Mirador cave, Sierra de Atapuerca, Spain». *Quaternary International* 193: 160-73.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.08.002>>
- DEMENOCAL, P.B. 2011. «Climate and Human Evolution». *Science* 311: 540-41.
<<http://dx.doi.org/10.1126/science.1190683>>
- ELBAUM, R.; WEINER, S.; ALBERT, R. M.; ELBAUM, M. 2003. «Detection of burning of plant materials in the archaeological record by changes in the refractive indices of siliceous phytoliths». *Journal of Archaeological Science* 30: 217-26.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2002.0828>>
- HAY, R.L. 1976. *Geology of the Olduvai Gorge*. Berkeley: University of California Press.
- HENRY, A.G.; BROOKS, A.S.; PIPERNO, D.R. 2014. «Plant foods and the dietary ecology of Neanderthals and early modern humans». *Journal of Human Evolution* 69: 44-54.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.12.014>>
- HODSON, M. J.; PARKER, A. G.; LENG, M. J.; SLOANE, H. J. 2008. «Silicon, oxygen and carbon isotope composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) phytoliths: implications for palaeoecology and archaeology». *Journal of Quaternary Science* 23: 331-39.
<<http://dx.doi.org/10.1002/jqs.1176>>
- KARKANAS, P.; RIGAUD, J. P.; SIMEK, J. F.; ALBERT, R. M.; WEINER, S. 2002. «Ash bones and guano: A study of the minerals and phytoliths in the sediments of Grotte-XVI, Dordogne, France». *Journal of Archaeological Science* 29: 721-32.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2001.0742>>
- MADELLA, M.; JONES, M. K.; GOLDBERG, P.; GOREN, Y.; HOVERS, E. 2002. «The Exploitation of Plant Resources by Neanderthals in Amud Cave (Israel): The Evidence from Phytolith Studies». *Journal of Archaeological Science* 29: 703-19.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2001.0743>>
- MATTHEWS, W. 2010. «Geoarchaeology and taphonomy of plant remains and microarchaeological residues in early urban environments in the Ancient Near East». *Quaternary International* 214: 98-113.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2009.10.019>>
- MCINERNEY, F.; STRÖMBERG, C.A.; WHITE, W.C. 2011. «The Neogene transition from C3 to C4 grasslands in North America: stable carbon isotope ratios of fossil phytoliths». *Paleobiology* 37: 23-49.
<<http://dx.doi.org/10.1666/09068.1>>
- MERCADER, J.; BENNET, T.; ESSELMONT, C.; SIMPSON, S.; WALDE, D. 2013. «Phytoliths from Middle Stone Age habitats in the Mozambican Rift (105-29ka)». *Journal of Human Evolution* 64: 328-36.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2012.10.013>>
- OLLENDORF, A.L. 1992. «Towards a classification scheme of sedge (Cyperaceae) phytoliths», in RAPP, Jr. G.; MULHOLLAND, S.C. (eds.) *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeological and Museum Science*: 91-111. Nueva York: Plenum Press.
- PERLÈS, C. 1977. *La Préhistoire du Feu*. París: Masson.
- PIPERNO, D.R. 1988. *Phytolith analysis: An Archaeological and Geological Perspective*. San Diego: Academic Press.
- 2006. *Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. Lanham: AltaMira Press.

- 2009. «Identifying crop plants with phytoliths (and starch grains) in Central and South America: A review and an update of the evidence». *Quaternary International* 193: 146-59. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.11.011>>
- PIPERNO, D. R.; ANDRES, T. C.; STOTHERT, K. E. 2000. «Phytoliths in Cucurbita and Other Neotropical Cucurbitaceae and Their Occurrence in Early Archaeological Sites From the Lowland American Tropics». *Journal of Archaeological Science* 27: 193-208. <<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1999.0443>>
- PIPERNO, D. R.; RANERE, A. J.; HOLST, I.; IRIARTE, J.; DICKAU, R. 2009. «Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico». *PNAS* 106: 5019-24. <<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0812525106>>
- PORTILLO, M.; ALBERT R.M. 2014. «Early Crop Cultivation and Caprine Herding: The Evidence from Phytolith and Fecal Spherulite Studies». En: HENRY, D.O.; BEAVER, J.E. (eds.). *The Sands of Time: The Desert Neolithic Settlement at Ayn Abū Nukhayla*. 121-37. Berlín: Ex oriente.
- PORTILLO, M.; ALBERT R.M.; HENRY, D.O. 2009. «Domestic activities and spatial distribution in Ain Abū Nukhayla (Wadi Rum, Southern Jordan): The use of phytoliths and spherulites studies». *Quaternary International* 193: 174-83. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.06.002>>
- PORTILLO M.; BOFILL M.; MOLIST M.; ALBERT, R.M. 2013. «Phytolith and use-wear functional evidence for grinding stones from the Near East». En: ANDERSON, P.C.; CHEVAL, C.; DURAND, A. (dirs.). *Regards croisés sur les outils liés au travail des végétaux. An interdisciplinary focus on plant working tools*: 161-74. Antibes: Éd. APDCA.
- PORTILLO, M.; KADOWAKI, S.; NISHIAKI, Y.; ALBERT, R.M. 2014. «Early Neolithic household behavior at Tell Seker al-Aheimar (Upper Khabur, Syria): a comparison to ethnoarchaeological study of phytoliths and dung spherulites». *Journal of Archaeological Science* 42: 107-18. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.10.038>>
- ROSEN, A.M. 1992. «Preliminary identification of silica skeletons from Near Eastern archaeological sites: an anatomical approach». En: RAPP, Jr. G.; MULHOLLAND, S.C. (eds.) *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeological and Museum Science*: 129-47. Nueva York: Plenum Press.
- 2010. «Natufian plant exploitation: Managing risk and stability in an environment of change». *Eurasian Prehistory* 7: 117-31.
- ROSEN, A.M.; WEINER, S. 1994. «Identifying ancient irrigation- a new method using opaline phytoliths from Emmer Wheat». *Journal of Archaeological Science* 21: 125-32. <<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1994.1013>>
- SANTOS, G.M.; ALEXANDRE, A.; SOUTON, J.R.; TRESEDER, K.K.; CORBINEAU R.; REYERSON, P. 2012. «Possible source of ancient carbon in phytolith concentrates from harvested grasses». *Biogeosciences* 9: 1873-84. <<http://dx.doi.org/10.5194/bg-9-1873-2012>>
- SHAHACK-GROSS, R., 2011. «Herbivorous livestock dung: formation, taphonomy, methods for identification, and archaeological significance». *Journal of Archaeological Science* 38: 205-18. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.019>>
- STRÖMBERG, C.A.; MCINERNEY, F.A. 2011. «The Neogene transition from C₃ to C₄ grasslands in North America: assemblage analysis of fossil phytoliths». *Paleobiology* 37: 50-71. <<http://dx.doi.org/10.1666/09067.1>>
- TSARTSIDOU, G.; LEV-YADUN, S.; ALBERT, R.M.; MILLER-ROSEN, A.; EFSTRATIOU, N.; WEINER, S. 2007. «The Phytolith Archaeological Record: Strengths and Weaknesses Based on a Quantitative Modern Reference Collection from Greece». *Journal of Archaeological Science* 34: 1262-75. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2006.10.017>>

- VRBA, E.S. 1995. «On the connections between paleoclimate and evolution». En: VRBA, E.S.; DENTON, G.H.; PARTRIDGE, T.C.; BURCKLE, L.C. (eds), *Paleoclimate and Evolution with Emphasis on Human Origins*: 24-45. New Haven: Yale University Press.
- WADLEY, L.; SIEVERS, C.; BAMFORD, M.; GOLDBERG, P.; BERNA, F.; MILLER, C.H. 2011. «Middle Stone Age Bedding Construction and Settlement Patterns at Sibudu, South Africa». *Science* 334: 1388-91.
<<http://dx.doi.org/10.1126/science.1213317>>
- WEINER, S. 2010. *Microarchaeology: Beyond the Visible Archaeological Record*. Cambridge University Press.
<<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511811210>>
- WILDING, L.P.; BROWN, R.E.; HOLOWAYCHUK, N. 1967. «Accessibility and properties of occluded carbon in biogenetic opal». *Soil Science* 103: 56-61.
<<http://dx.doi.org/10.1097/00010694-196701000-00009>>
- WOLDEGABRIEL, G.; AMBROSE, S.H.; BARBONI, D.; BONNEFILLE, R.; BREMOND, L.O.; CURRIE, B.; DEGUSTA, F.; HART, W.K.; MURRAY, A. M.; RENNE, P.R.; JOLLY-SAAD, M.C.; STEWART, K.M.; WHITE, T.D. 2009. «The Geological, Isotopic, Botanical, Invertebrate, and Lower Vertebrate Surroundings of *Ardipithecus ramidus*». *Science* 326: 651-55.
<<http://dx.doi.org/10.1126/science.1175817>>

