

ANALISIS DE FITOLITOS EN OPALO Y PSEUDOMORFOS DE OXALATO CALCICO EN CALCITA COMO INDICADORES ARQUEOBOTANICOS

C. Hoyas, J. Juan, A. Palet & E. Villate

Laboratorio Paleoeológico. Museo Arqueológico de Barcelona.
Parc de Montjuïc, s/n. Barcelona

Resumen. El Laboratorio Paleoeológico del Museo Arqueológico de Barcelona inició hace dos años un proyecto de investigación sobre microrestos vegetales (silicofitolitos y pseudomorfos de oxalato calcico en calcita), aplicando su estudio a la paleoecología del Cuaternario. Seguimos aún en una fase inicial de experimentación, pero hemos creído oportuno presentar este tipo de análisis y alguno de los resultados obtenidos para fomentar y difundir su estudio.

Los silicofitolitos son corpúsculos opalinos ($\text{SiO}_2, n\text{H}_2\text{O}$) segregados por ciertos vegetales, especialmente gramíneas y ciperáceas. Este tipo de análisis está experimentando un desarrollo sistemático de la investigación arqueológica interdisciplinar desde hace tan sólo quince años, a pesar de que las bases previas surgieron a mediados del siglo pasado. Las investigaciones pioneras aplicaron los datos fitolíticos a problemática tan diversa como la reconstrucción del macro y microentorno, patrones de dieta animal y humana, la utilización no alimenticia de algunas plantas, el origen de la agricultura, tecnología agrícola, función de los útiles y datación absoluta.

Los fitolitos de oxalato calcico son cristales de calcio que se forman como reacción del metabolismo de la planta al ácido oxálico ($\text{Ca}_2\text{CO}_4, n\text{H}_2\text{O}$). La morfología y la calificación taxonómica están aún en estado de elaboración. La aplicación de su estudio a la arqueología supondrá un complemento a los análisis antracológicos.

Palabras clave: Arqueobotánica, Calcita, Fitolitos, Oxalato de calcio, Paleoecología del Cuaternario, Silicofitolitos.

Abstract: The Paleoeological Laboratory of the Archaeological Museum of Barcelona started, two years ago, an investigation project about plant microremains (opal phytoliths and calcium oxalate pseudomorphous) in order to apply its study to Quaternary paleoecology. We are still in the first level of experimentation, but we think it's worth showing this kind of analyses and some of our first results in order to promote their study.

Phytoliths are opaline bodies ($\text{SiO}_2, n\text{H}_2\text{O}$) segregated by some plants, especially gramineas and ciperaceas. Since the last century there has been scientific knowledge about these particles, but only during the last fifteen years has been carry out a sistematic developoment of these analyses in order to apply to the archaeology. The most important phytoliths studies are: macro and microenvironment, animal and human diet patterns, non alimentary plant uses, agriculture origins, agricultural technology, tools function and dating.

Calcium oxalate phytoliths are calcium crystals formed as a reaction of plant metabolism to oxalic acid ($\text{Ca}_2\text{CO}_4, n\text{H}_2\text{O}$). Morphology and taxonomic clasification is still in elaboration phase. Now we are working in its systematization. It will be an useful complement of antracological analyses.

Key words: Archaeobotany, Calcite, Calcium oxalate, Opal phytoliths, Phytoliths, Quaternary Paleoecology.

1. Introducción

En los últimos años, las investigaciones fitolitológicas han centrado su interés especialmente en el estudio de los silicofitolitos o fitolitos en ópalo, mientras que el estudio de los fitolitos de oxalato de calcio se encuentra aún en un estado inicial de desarrollo tanto en lo referente a morfología como a aplicación. En nuestro país las escasas investigaciones sobre fitolitos en ópalo se han centrado en el estudio de microscopía de suelos en su fracción limosa, desconociéndose hasta el momento aplicaciones arqueológicas concretas (Alfárez Delgado, 1969).

El Laboratorio Paleocológico del Museo Arqueológico de Barcelona inició sus investigaciones en este campo en el otoño de 1987. La participación en el Seminario Intensivo Europeo sobre "*La investigación y estudio de los fitolitos y sus aplicaciones en paleoecología y arqueología*" a cargo de Irwin Rovner, y realizado en el Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali (Ravello-Italia, Octubre 1988), contribuyó notablemente a la sistematización de nuestros estudios.

Las primeras noticias sobre investigaciones fitolitológicas las debemos a la expedición científica que realizó Charles Darwin en 1830 alrededor del mundo. Darwin envió muestras de polvo recogidas en las velas del Beagle a un microbiólogo alemán, Ehrenberg, que publicaría entre 1840 y 1850 las primeras noticias sobre partículas de sílice orgánico (Rovner, 1986a).

La aplicación arqueológica de los fitolitos no se dió hasta inicios del siglo XX. La primera noticia que tenemos documentada procede de H.C. Schellenberg que, en 1908, publicó un artículo en el que señala el uso de esqueletos silíceos para identificar semillas domesticadas, procedentes de excavaciones arqueológicas realizadas en el Kurgan Norte, Turquía (Schellenberg, 1908; Rovner, 1986a).

2. Silicofitolitos. Génesis, morfología y aplicaciones

Los silicofitolitos son partículas formadas a partir del ácido silícico (Si OH_4) que se encuentra en la solución del suelo, éste es absorbido por las raíces de la planta y transportado por la misma a través del sistema vascular. Por un proceso de desecación progresiva ligado a la transpiración, la sílice soluble evoluciona al estado de gel y, posteriormente, al de ópalo (sílice hidratado amorfo: $\text{Si O}_2 \cdot 5-15\% \text{ H}_2\text{O}$) que constituye los silicofitolitos.

Estos se forman en el interior de la hoja en varias localizaciones diferentes, adaptándose a las formas de las células o a los espacios intercelulares. Aparecen como rellenos completos o casi completos de varias células; formando sólidos moldes en el interior de éstas; formando una fina y frágil silicificación de los revestimientos celulares; realizando substituciones de la pared celular; como ganchos, espinas y tricomas silicificados y partículas adventicias diversas. Esto comporta una amplia diversificación de la morfología de la partícula individual en una determinada planta, entre las partes de la misma planta y entre miembros de un mismo grupo de plantas.

La producción de cuerpos silíceos es continua durante el crecimiento de la planta, con un incremento de la silicificación en las partes maduras o seniles. El sílice puede funcionar pasivamente como endoesqueleto estructural que favorece el desarrollo y/o la productividad, evitando la flacidez y actuando como defensa contra los ataques de hongos o insectos y las enfermedades (Rovner, 1988b).

El análisis fitolítico es superficialmente comparable al análisis polínico. Ambos se ocupan de abundantes poblaciones de partículas biogénicas de tamaño microscópico. El muestreo y la manipulación de las muestras de sedimento sobre el terreno es esencialmente idéntica, de manera que cualquier muestra tomada para un proceso puede servir también para el otro. De todos modos, como también sugiere Rovner, las muestras para ambos análisis, para conseguir una información más amplia, han de ser tomadas individualmente para cada uno, sin que ello quiera decir que no se realicen muestreos conjuntos (Rovner,

1986b).

Ciertamente, el estudio comparado de diagramas fitolíticos y polínicos permite una cierta precisión, a la hora de garantizar la autoctonía de las especies, y fijar los grandes rasgos de la evolución de la flora local.

Pólenes y fitolitos se diferencian por otros factores que resultan decisivos para su utilización en la investigación arqueológica. Se producen en la planta a través de diferentes procesos y a partir de diferentes constituyentes químicos, desempeñando diferentes funciones en la vida de la planta. El polen se produce normalmente en una sola forma repetitiva, mientras que los fitolitos pueden variar considerablemente en tipo, forma y tamaño en la misma especie. A la multiplicidad de tipos en una misma planta se añade el problema de la redundancia, ya que idénticos tipos aparecen en especies no emparentadas entre sí. El polen se preserva en condiciones diferentes, más limitadas que los fitolitos, que sólo se ven afectados por niveles de alcalinidad superiores a 9, pudiendo aparecer incluso en tierras quemadas.

Estas diferencias permiten que en muchos casos uno de estos análisis pueda suplir o complementar al otro, proporcionando más información de la que cada uno puede producir por separado.

A pesar de los estudios realizados hasta el momento sobre la morfología de los silicofitolitos, hemos de decir que, aunque pueden ayudar notablemente a nuestra investigación, corresponden en su mayor parte a la vegetación americana. En este sentido es necesario e imprescindible la realización de una colección de referencia para la Europa Mediterránea.

Twiss, Suess & Smith realizaron una revisión de las obras existentes, efectuando una completa clasificación morfológica de los silicofitolitos (Twiss *et al.*, 1969). Rovner la reformó y, a grandes rasgos, es la que utilizamos en nuestros estudios (Rovner, 1971).

2.1. Extracción de los silicofitolitos de las plantas

La preparación del material se hace en función de la información que se desea obtener: peso del porcentaje relativo de sílice en el tejido vegetal; o bien aislamiento de los fitolitos totalmente desarticulados; o esporogramas, que evidencian su localización anatómica. La variedad de los cristales producidos por una misma planta recomienda que sus diferentes partes sean procesadas por separado.

Los distintos métodos de extracción pueden ser agrupados en dos tipos; método seco y método húmedo. El primero consiste en la incineración de los vegetales a una temperatura desde 500 °C a más de 1000 °C, con el inconveniente de una posible alteración morfológica (Jones *et al.*, 1963).

El segundo método implica la utilización de líquidos oxidantes como el peróxido de hidrógeno o una mezcla de varios líquidos ácidos. Cuando se ha completado la digestión, se centrifuga a velocidad moderada entre 5 y 10 minutos. Se decanta el líquido y se procede a varios lavados con agua destilada y un último con ethanol, (Rovner, 1983). El montaje se realiza mediante el sistema Styrolite (Powers, 1988) o Naphrax.

2.2. Extracción de los fitolitos del suelo

La recogida de las muestras de suelos para análisis fitolíticos no requiere ningún tratamiento especial. Se puede aplicar el mismo procedimiento que en la recogida de muestras para estudios polínicos, si bien al realizar el muestreo se tiene que tener en cuenta el particular modo de deposición de los fitolitos.

En general, se siguen dos métodos de extracción; seleccionando diferentes fracciones de la muestra o considerándola en su totalidad. Según Rovner, aparecen fitolitos con significación taxonómica en todas las fracciones (Rovner, 1983). La técnica de extracción que utilizamos se basa en las diferencias de peso específico entre los fitolitos y los restantes constituyentes del suelo. Se coloca una muestra de suelo de unos 5 ó 10 cm³ en un tubo de centrifuga de 50 ml., se añade agua destilada y se agita. Tras centrifugar a

velocidad moderada de 5 a 10 minutos se elimina el material flotante por decantación. Las muestras con excesivo contenido de materia orgánica pueden ser tratadas con peróxido de hidrógeno para oxidar y eliminar el exceso de carbono. La muestra se diluye entonces en ácido clorhídrico para lograr una completa disgregación, y finalmente se lava con alcohol para deshidratarla de modo que nada perturbe la calibración mediante líquidos pesados. La flotación se realiza en tetrabromoetano o bromoformo, ambos con un peso específico de 2.3, gracias al cual los fitolitos flotan mientras los restantes componentes del suelo se precipitan. El líquido se decanta y la muestra de fitolitos es lavada con ethanol (Rovner, 1983). El montaje se realiza por el sistema Styrolite o Naphrax.

Otros procedimientos han sido propuestos por diversos autores, entre los que destaca el de Powers y Gilbertson por su simplicidad y reducido coste (Powers & Gilbertson, 1987; Powers, 1988).

2.3. Aplicaciones de los análisis de silicofitolitos

La aplicación de los análisis fitolitológicos en la paleoecología del Cuaternario puede aportar novedosos datos en la reconstrucción paleoecológica de yacimientos arqueológicos. Existen estudios de este tipo en varios yacimientos de diferentes cronologías, culturas y condiciones medioambientales: sobre los índices paleoclimáticos, como los obtenidos por Folder que, recogió fitolitos de plantas terrestres en filtros aéreos colocados en un barco ante la costa africana y analizó los cores de sedimento oceánico, demostrando una correcta correlación entre la cantidad de fitolitos transportados por el viento, y las fluctuaciones de la temperatura marina durante los últimos 1.8 millones de años; o bien estudios de agricultura prehistórica, donde numerosos análisis de fitolitos se han orientado especialmente a la detección de cultivos en contextos arqueológicos, a través de estudios botánicos, pedológicos y de fitolitos procedentes del rumen de animales herbívoros (Rovner, 1983).

Los estudios botánicos sobre el papel del sílice y de los fitolitos de sílice en el crecimiento, resistencia y productividad de las plantas vivas, sugieren que jugaron un papel activo en la evolución y selección de los cultígenos, es decir, en el proceso coevolutivo que dio origen a la agricultura (Rovner, 1988).

El estudio de los patrones dietéticos también ha utilizado los fitolitos a tres niveles: la interpretación del patrón de desgaste de la dentadura; la recogida directa de fitolitos adherida a los dientes y mandíbulas (en este sentido Armitage desarrolló una técnica para la recogida de fitolitos en los dientes de ungulados), y la recuperación de fitolitos tanto en los coprolitos como en los intestinos y estómagos de cuerpos momificados.

Destacamos también la utilización de los recursos vegetales como combustibles, especialmente conservados en los sedimentos como contenidos de cenizas -hogares, hornos,...-, contenedores, estructuras, armas, vestimenta,... Así, mientras la producción de alimentos intensificó el uso de un grupo restringido de plantas, la utilización no alimenticia tuvo siempre en cuenta gran variedad de especies (Anderson, 1983b; Collins, 1979; Matsutani, 1973; Rovner, 1983).

Pueden aparecer concentraciones de fitolitos en áreas de destrucción, en vertederos, en depósitos de ceniza, en adobes y tapias trabados con materia vegetal, en la cerámica, y en los restos de tejados, paredes de paja y esteras o lechos abandonados (Rovner, 1983).

Por otro lado, Anderson coordinó un estudio experimental de instrumentos líticos utilizados para el procesado de materias animales y vegetales. La mayor parte de la superficie de los útiles estudiados en sílex presentaba la característica pátina y partículas atribuibles a especies concretas, planteándose el uso cerealístico o la explotación de otros vegetales (Anderson, 1980, 1983a, 1983b).

El uso de los fitolitos como método de datación se ha basado en la durabilidad de los fitolitos, que permiten establecer cronologías relativas acotando episodios climáticos de manera similar a las dataciones de polen.

Paradójicamente, la naturaleza inorgánica de los fitolitos proporciona una fuente de materia orgánica para la datación radiocarbónica. Wilding apuntó que el color oscuro de

algunos fitolitos opacos se debía a la materia orgánica atrapada en el interior de las partículas, ideando un sistema para liberar este carbono, sin embargo, dada la complejidad del método, resulta poco práctica su aplicación sistemática (Wilding, 1967).

Actualmente Pearsall investiga la datación por termoluminiscencia, sistema posible debido a la naturaleza química de los silicofitolitos. Las muestras se preparan siguiendo el procedimiento normal de separación y los resultados se derivan de tres niveles de temperatura: 200-275 °C, 200-280 °C y 350-380 °C (Pearsall-Rowlett, 1988).

3. Fitolitos de oxalato cálcico. Génesis, morfología y aplicaciones

Los fitolitos de oxalato cálcico se forman como reacción del metabolismo de la planta a una substancia tóxica, neutralizándose el calcio en forma de cristal. Sabemos que la mayor parte de los vegetales contienen sales de calcio, tratándose a veces de un silico-carbonato amorfo (cystolita) que se transforma en calcita a la muerte de la planta (Boureau, 1954). Sin embargo, los oxalatos de calcio son más abundantes y más frecuentes, presentando una serie de características particulares (morfología, propiedades físico-químicas y cristalográficas) que deducen su presencia en los vegetales bajo tres formas: una monohidratada relativamente estable (whewelita), una bihidratada (weddelita) y una forma trihidratada inestable que se transforma a corto o largo plazo en oxalato monohidratado en polvo (Buonanni, 1691; Esau, 1953; Jacob y Luczak, 1929; Lowenstam, 1968; Malpighi, 1675; Philipsborn, 1954; Pobeguín, 1943).

Estos oxalatos se descomponen con el calor, y se transforman durante la combustión en carbonato cálcico. La forma originaria del cristal se conserva, cambiando únicamente su naturaleza química (pseudomorfos). La temperatura de descomposición está situada entre 430 y 510 °C. Pobeguín fijó entre 780 y 910 °C el paso a cal. Los resultados de estas medidas han sido realizados sobre oxalatos de síntesis, es decir, oxalatos puros. Hemos de destacar que las formas cristalinas de los oxalatos observados en las células vegetales son siempre idénticas a los cristales encontrados en las cenizas.

Actualmente se está trabajando en la sistematización morfológica de oxalatos y pseudomorfos. Como factor a tener en cuenta, su estudio, en algunos casos, nos permite la identificación del género, incluso la especie de la planta quemada. En la fase previa de colección de referencia, hemos realizado el muestreo de distintas especies características del clima mediterráneo en el Parc Natural del Montseny (Barcelona), procediendo a su estudio para su identificación y sistematización morfológica. (Foto.1 y 2).

Ya desde los primeros momentos se evidenció que los fitolitos de oxalato de calcio presentaban una problemática similar a los silicofitolitos en lo que se refiere a multiplicidad y redundancia; es decir, que cada especie produce varias formas de cristales y de varios tamaños, y que muchas de éstas se repiten en diferentes plantas. De modo que la identificación, que por ahora se limita al nivel de género, no puede realizarse basándose en la detección de una sola forma, salvo en el caso muy característico de los cristales alargados de los *Pinus*. En los demás casos, parece ser que se tendrá que realizar una observación del conjunto y, previo estudio estadístico, considerar la presencia de unos y otros géneros según la frecuencia de aparición de las formas y los tamaños, tal como hizo Pearsall para diferenciar entre silicofitolitos de varias especies de maíz.

Otros aspectos a estudiar serían cuestiones como la durabilidad y la representatividad. Sabemos poco aún sobre como afectan la naturaleza del suelo o la circulación de aguas a las calcitas; aunque parece ser que, a causa de la disolución, tienden a concentrarse en las capas subyacentes a los hogares. De ahí que no sea frecuente encontrar limos abundantes en cenizas en yacimientos al aire libre, y si en cuevas y abrigos.

En cuanto a la representación de las especies, hemos de determinar aún sus índices de producción de cristales y su posible relación con la naturaleza del suelo sobre el que han crecido.

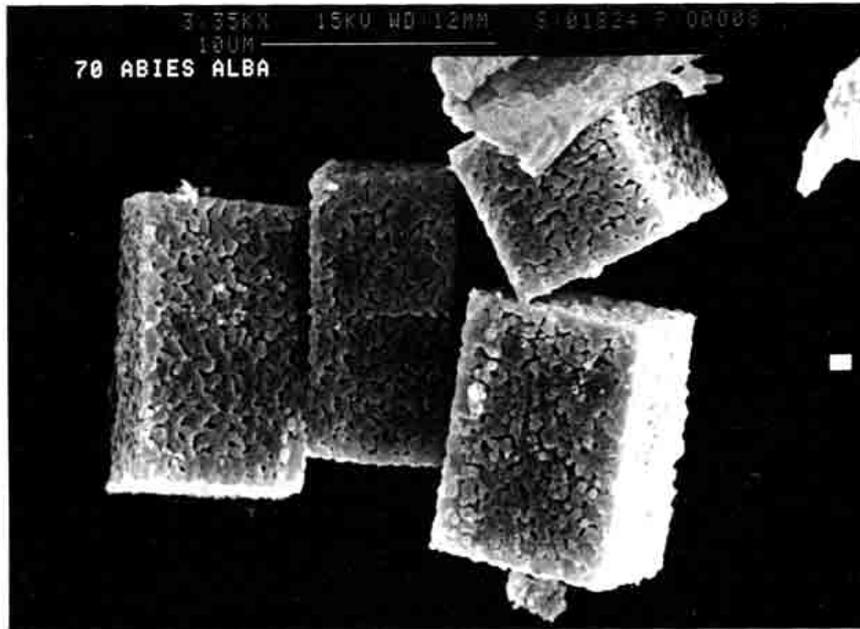


Foto. 1. Cenizas de madera de *Abies Alba* fotografiadas en MEB (1608 a.)

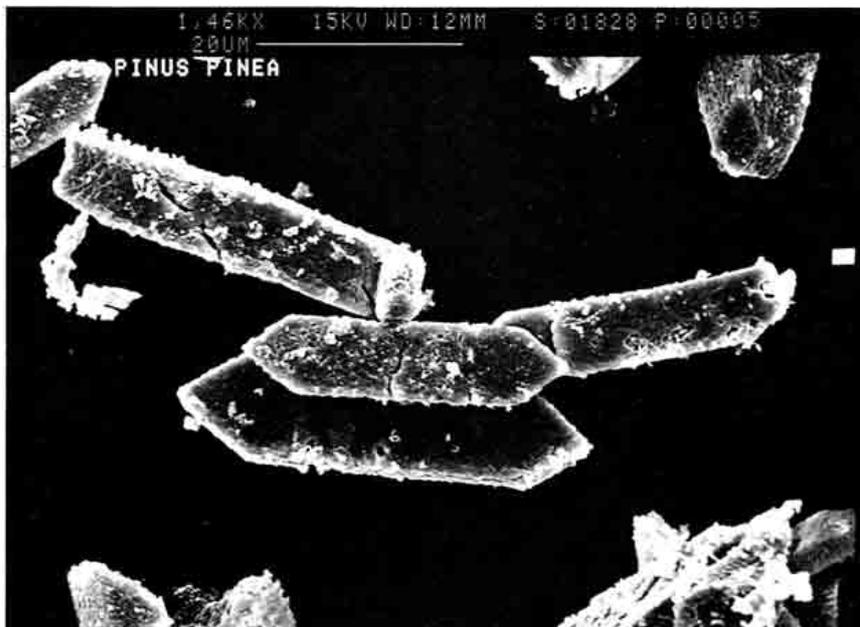


Foto 2. Cenizas de madera de *Pinus Pinea* fotografiadas en MEB (700 a.)

3.1. Extracción de oxalatos de la planta

Selección de hojas y troncos. Limpieza con agua destilada. Combustión controlada dependiendo de la especie, entre 450 y 600 °C. Dispersión de la muestra en una solución de hexametafosfato. Tratamiento con peróxido. Cribado del sedimento resultante con agua destilada sobre una malla de 10 micras, seleccionando los tamaños entre 10 y 50 micras. Montaje por el sistema de gelatinaglicerina.

3.2. Extracción de oxalatos del suelo

Selección de la muestra. Dispersión de la muestra en una solución de hexametafosfato. Tratamiento con peróxido. Cribado del sedimento resultante con agua destilada sobre una malla de 10 micras, seleccionando los tamaños entre 10 y 50 micras. Montaje por el sistema gelatina-glicerina.

3.3. Aplicaciones de los análisis de fitolitos de oxalato de calcio

La aplicación paleoecológica y arqueológica del estudio de los fitolitos de oxalato calcico y de los pseudomorfos en calcita es muy reciente. Su estudio nos ha demostrado el papel fundamental del hombre en la génesis de los sedimentos limosos del Holoceno de las grutas y abrigos rocosos. Por otro lado, permite reconocer las cenizas que aparecen en las estructuras de combustión y fuera de ellas formando parte del sedimento, aunque a simple vista no se evidencie la presencia de carbones (Brochier, 1985). Evidentemente complementa a la antracología en el estudio de las estructuras de combustión permitiendo extraer nuevas conclusiones arqueobotánicas.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Sr. Martí Boada del Servei de Parcs Naturals de la Diputació de Barcelona que nos asesoró en la recogida de muestras en el Parc del Montseny utilizadas para nuestra colección de referencia. También queremos agradecer las facilidades y los servicios prestados por la sección de Microscopía Electrónica del Servei Científic-Tècnic General de la Universitat de Barcelona.

Referencias bibliográficas

- Alferez Delgado, F. 1972: Importancia de los fitolitos en el estudio de los paleosuelos cuaternarios. *Col-Pa* 22, S-6.
- Anderson-Gerfaud, P. 1980: A Testimony of Prehistoric Tasks: Diagnostic Residues on Stone Working Edges. *World Archaeology*, 12, nº 2, 181-194 .
- Anderson-Gerfaud, P. 1983a: Prehistoric Harvesting Experiments and their application to Archaeological Documents, en *Experimente zur Agrararchaologie*, Koln.
- Anderson-Gerfaud, P. 1983b: A Consideration of the Uses of Certain Backed and Lustred Stone Tool from the Late Mesolithic and Natufian Level of Abu Hureyra and Mureybet, en *Traces d'utilisation sur les outils néolithiques du Proche-Orient*, (Cauvin, Cl, ed.), T.M.O. 5, Lyon, 77-105.
- Boureau, E. 1954: *Anatomie Végétale I*. PUF ed., p. 230.
- Brochier, J.E. 1983: Bergeries et feux de bois neolithiques dans le Midi de la France. *Quartar*, band 33/34, 181-193.
- Lrochier, J.E. 1985: Ce que nous apprennent les sediments. *Les Dossiers. Histoire et Archéologie*, 96, 16-18.
- Buonanni, F. 1675: *Obsevationes circa viventia quae in rebus non viventibus reperimentur, cum micrographia curiose*. Roma.
- Esau, K. 1953: *Plant Anatomy*. John Wiley ed. p. 735.

- Fredlund, G. 1936: Problems in the simultaneous extraction of pollen and phytoliths from clastic sediments, en *Plant Opal Phytolith Analysis, Archaeology and Paleoecology*, (Rovner, I., ed.), Raleigh, N.C., 102-110.
- Jacob, W.F. & Luczak, E. 1929: Contribution al etude des hydrates d'oxalate de calcium. *Roczniki chemji*, IX, 41-48.
- Jones, L.H.P. & Milne A.A., 1963: Studies of silica in the oat plant, I. *Plant and Soil*, 18, n°2.
- Lowenstam, H.A., 1968: Weddellite in a Marine Gastropod and in Antarctic Sediments. *Science*, 162, 1129-1130.
- Malpighi, M. 1675: *Plantarum Anatome*. London.
- Matsumani, A. 1973: Microscopic study of amorphous silica in sediments from Douara Cave, en *The Paleolithic Site of Douara Cave in Syria*, Univ. Mus. Tokyo, 127-131.
- Pearsall, D.M. 1978: Phytolith analysis of archaeological soils, evidence for maize cultivation in formative Ecuador. *Science*, 199 (4325), 177-178.
- Pearsall, D.M. 1982: Maize fytoliths: a clasification. *Phytolitarien Newsletter*, 1 (2), p. 3.
- Phillipsborn, H.V. 1954: Calciumoxalat-275 Jahre Mikroskopischer Forschung. *Sudhoffs Arch. Gest. Med. Naturwiss*, 36, 336-366.
- Pobeguín, T. 1943: Les oxalates de calcium chez quelques angiospermes. *Ann. Sciences Nat. Botanique*, 4, 1-95.
- Powers, A.H. & Gilbertson, D.D. 1987: A Simple Preparation Technique for the Study of Opal Phytoliths from Archaeological and Luaternary Sediments. *Journal of Archaeological Science*, 14, 529-535.
- Rovner, I. 1971: Potential of Opal Phytoliths for Use in Paleocological Reconstruction. *Quaternary Research*, 1, 343-359.
- Rovner, I. 1983: Plant Opal Phytolith Analysis: Major Advances in Archaeobotanical Research, en *Advances in Archaeological Method and Theory*, (Schiffer, M.P., ed.), vol. 6, New York, Academic Press, 225-263.
- Rovner, I. 1986a: The History of Phytolith Analysis in Archaeology, en *Plant Opal Phytolith Analysis in Archaeology and Paleoecology*, (Rovner, I., ed.), Raleigh, N.C., 1-2.
- Rovner, I. 1986b: Phytolith Sampling and Research Design in Archaeology, en *Plant Opal Phytolith Analysis in Archaeology and Paleoecology*, (Rovner I., ed.), Raleigh, N.C., 111-120.
- Rovner, I. 1988: Fitolitos en las plantas: un factor probable de los orígenes de la agricultura, en *Estudios sobre la revolución neolítica y la revolución urbana*. Univ. Nac. Auton. México.
- Schellenberg, H.C. 1908: The remanis of plants from the North Kurgan, Anau, en *Explorations in Turkestan*, (Pumpelly, R., ed.), Carnegie Institute Washington.
- Twiss, P.C. et al. 1969: A Morfological Classification of Grass Phytoliths. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, 33, n°1.
- Wilding, L.P. 1967: Radiocarbon Dating of Biogenic Opal. *Science*, 156, 66-67.