

NUEVO SISTEMA DE ANÁLISIS DESCRIPTIVO PARA FITOLITOS DE SÍLICE¹

ROSA MARIA ALBERT CRISTOBAL

S.E.R.P. (Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques)

Dept. de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia. Universitat de Barcelona

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el de proponer un nuevo sistema de análisis descriptivo de fitolitos de sílice. Anteriormente se habían realizado otros sistemas de análisis descriptivos para este tipo de fitolitos, especialmente en Estados Unidos. Estos sistemas, sin embargo, planteaban una serie de problemas para su aplicación en el área mediterránea, como es la falta de uniformidad de criterios y el estar centrados, básicamente, en el estudio de plantas del continente americano.

PALABRAS CLAVE

Fitolitos de sílice, sistema de análisis descriptivo, paleoetnobotánica, gramíneas, arqueología.

ABSTRACT

The purpose of this work is to propose a new analytical descriptive system for silica phytoliths. Other classification systems have been proposed and used in the past, especially in United States. However, those systems offered several disadvantages when applied in the Mediterranean area, like their lack of uniformity and the fact that they were mainly especially based on the study of plants from the american continent.

KEY WORDS

Silica phytoliths, analytical descriptive system, paleoethnobotany, gramineae, archaeology.

INTRODUCCIÓN

Los fitolitos son microrrestos de composición mineral que se forman en las plantas. De acuerdo con su composición mineral se dividen en dos grupos: fitolitos de sílice y fitolitos de oxalato de calcio.

El estudio de los fitolitos permite obtener información de carácter paleoetnobotánico, ya que nos indica que tipo de plantas han sido utilizadas por el hombre y con que finalidad. Su estudio ofrece una serie de ventajas frente a otro tipo de análisis como son: a) su durabilidad, pueden conservarse en suelos con un pH alcalino superior a 9 (Benayas 1963); b) sus características morfológicas, que permiten diferenciarlos entre familias, subfamilias e

incluso taxones; c) su producción en gran número que permite su comparación con especímenes vivos (Rovner 1971, p: 343) y por lo tanto su identificación; d) su aplicación a diversos tipos de restos arqueológicos como son muestras de suelos o sedimentos, de restos humanos o de fauna (coprolitos, contenidos del área estomacal y piezas dentales) (Cummings 1989; Danielson 1993; Middleton y Rovner 1994) y restos de cultura material (Calvo et al. 1995).

Sin embargo, su estudio también ofrece una serie de desventajas o problemas como son el hecho

¹ Este trabajo corresponde al capítulo 3 de la Tesis de Licenciatura presentada por la misma autora, bajo la dirección del Dr. Josep Maria Fullola i Pericot, en febrero de 1995 en la Universitat de Barcelona. Dept. de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia.

de que los fitolitos no aparecen de forma general en todas las plantas, sino que existen muchos taxones, en los que la producción de fitolitos es mínima o nula (Piperno 1988, p: 19). Los dos grandes problemas con que se enfrenta el investigador ante el estudio de los fitolitos son: 1) redundancia, es decir, se da la producción de una forma característica en diversos taxones, y 2) multiplicidad, o producción de varias formas morfológicamente diferentes en un mismo taxón. Se han intentado establecer diferentes soluciones para estos dos problemas. Rovner propone la aplicación de un sistema morfométrico especial (Russ y Rovner 1989; Rovner y Russ 1992). Para ello existe un programa informático que se basa en análisis de imágenes de las formas identificadas y que incluye un estereoscopio para determinar la profundidad en la tercera dimensión.

Los problemas de redundancia y multiplicidad son especialmente importantes cuando se trata de realizar colecciones de referencia, indispensables para la identificación e interpretación de los fitolitos en yacimientos arqueológicos. Estas colecciones se basan en el comportamiento ecológico de las especies modernas y en las características morfológicas de los fitolitos. Para realizar estas colecciones de referencia hay que seleccionar aquellas plantas que nos interesan para nuestros estudios. Normalmente esta selección se realiza por áreas geográficas, y por la información que poseemos, a priori, sobre las plantas a estudiar.

Los fitolitos de sílice son especialmente abundantes en las familias de las gramíneas y de las ciperáceas. Esta razón, unida a la importancia cultural y económica que éstas representan en contextos arqueológicos, ha motivado que los estudios de fitolitos realizados en los últimos años se hayan centrado principalmente en estas familias (Geis 1978; Hartley 1958b, 1973; Kaplan et al. 1992; Rosen 1983, 1987, 1991a, 1991b; Rovner 1983, 1986, 1987).

Una información detallada sobre la formación y funcionalidad de los fitolitos en las plantas, así como las ventajas y desventajas en su estudio se puede obtener en: Pearsall (1989); Piperno (1988); Juan, (1993); Albert, (1995) y Tardy (1991).

Una vez extraídos los fitolitos de las muestras objeto de estudio, el siguiente paso es su estudio e identificación. Para poder diferenciarlos y clasificarlos es necesario establecer un sistema de clasificación. En la actualidad son varios los sistemas de clasificación utilizados para los fitolitos de sílice. Algunos de los más representativos son los de Twiss et al. (1969); Twiss (1992); Mulholland y Rapp (1992); Pearsall y Dinan (1992) y Ollendorf (1992).

SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN PARA FITOLITOS DE SÍLICE

Sistema de clasificación de Twiss, Suess y Smith

La clasificación de Twiss, Suess y Smith (1969) ha sido ampliamente utilizada por los investigadores de fitolitos y readaptada en varias ocasiones. La última modificación fue realizada en 1992 (Twiss 1992). Para su realización se basó en el análisis de 17 especies diferentes de gramíneas, recogidas en la zona de las praderas de EEUU. Twiss, divide los fitolitos de gramíneas en dos grandes bloques. En el primero, incluye los fitolitos pertenecientes al grupo de células cortas y los divide según las subfamilias a las que pertenecen: **festucoides, cloridoides y panicoides**. Según Twiss, existen unos tipos morfológicos de fitolitos que son identificativos de cada una de estas tres subfamilias. El hecho de poder diferenciar estos fitolitos e integrarlos en cualquiera de los tres grupos proporciona información referente al tipo de clima en el cual se desarrollaron las plantas que dieron origen a esta clase de fitolitos. En el segundo bloque incluye aquellas morfologías que pueden ser encontradas en cualquiera de las tres subfamilias de gramíneas. De este modo distingue:

- **Formas alargadas** (elongates): fitolitos con forma alargada diferenciados según sea su margen, liso, granuloso o dentado.
- **Fitolitos en forma de abanico** (fan-shaped phytoliths): buliformes y almohadas (pillows), etc.
- **Fitolitos de forma apuntada** (point-shaped phytoliths): varios tipos de tricomas.

Nosotros hemos adaptado en este trabajo la separación entre subfamilias de gramíneas que hace Twiss de festucoides cloridoides y panicoides, debido a la información de tipo climático que proporciona. En nuestro caso, sin embargo, únicamente hemos desarrollado las tablas correspondientes a las subfamilias festucoides y panicoides ya que la subfamilia cloridoide no aparece en nuestra área de estudio. También hemos seguido las denominaciones de algunas de las formas, que incluye en el segundo grupo, como buliformes o formas alargadas.

La clasificación de Twiss ofrece, sin embargo, una serie de problemas: por un lado, se trata de una clasificación realizada sobre el estudio de gramíneas pertenecientes a una zona concreta de Estados Unidos, por lo que sus resultados no tienen porque coincidir con los resultados obtenidos en

nuestros análisis. Por otro lado, se trata de una clasificación de formas ideales, lo que no se corresponde muchas veces con la realidad; en la práctica cada forma adquiere características especiales. Otro problema se produce cuando en un análisis de fitolitos nos encontramos con que la vegetación dominante que aparece no corresponde a la familia de gramíneas. Por otro lado, en estudios realizados posteriormente, se ha comprobado que algunas formas adscritas a una de las tres subfamilias de gramíneas, como son las formas circulares de la subfamilia festucoide, pueden aparecer en las otras subfamilias. Se requieren estudios más detallados para poder identificarlas o adscribirlas a uno u otro grupo como son características morfométricas, frecuencia de aparición, relación con otras morfologías, etc.

Sistema de clasificación de Mulholland y Rapp

La clasificación de fitolitos de gramíneas realizada por Mulholland y Rapp (1992) se basa en la morfología de los cuerpos silicificados. Para ello, realizaron el estudio comparativo de 100 cuerpos silíceos pertenecientes a hojas de 19 especies diferentes de gramíneas.

Dividen su clasificación en dos grupos. El primero, no exclusivo para gramíneas, se basa en el reconocimiento de la célula de origen de la planta. Definen seis formas que pueden ser ampliadas a medida que avancen las investigaciones:

Tricomas: agrupan tanto los pelos (hairs) como los tricomas propiamente dichos. Nosotros los hemos diferenciado debido a las diferencias morfológicas que existen entre ellos y que permiten una clara división, que puede hacer más fácil su identificación e interpretación.

Stomata: son células guardianas o subsidiarias del complejo estomatal. Su morfología es ovoidal.

Buliformes: son células epidérmicas alargadas con una pared muy fina. Aparecen en la epidermis de las hojas de gramíneas. Su función en la planta está todavía en fase de investigación siendo varias las hipótesis que se ofrecen.

Células epidérmicas compactas (epidermal groundmass cells): son células epidérmicas no especializadas. Tienen formas rectangulares como cajas con bordes gruesos.

Formas de bastones o varas (rods): incluyen fibras, esclereidas, células xylem y otras for-

mas cilíndricas. También se encuentran aquí las denominadas formas alargadas (elongates), nosotros hemos preferido mantener esta terminología y los hemos descrito según sea su margen siguiendo a Twiss (1992). Las esclereidas han sido definidas separadamente, debido a la información que como tales pueden aportar.

Rectángulos/Cuadrados: son células grandes en forma de bloques, cajas cúbicas o rectangulares. Se incluyen aquí las formas de almohadas y sus diferentes variedades definidas por Twiss (1992).

En el segundo grupo incluyen los **cuerpos-silíceos** (silica-bodies). Éstos sólo han sido observados en gramíneas y aparecen siempre silicificados; son células que, mientras viven, acumulan sílice constantemente. Son las mencionadas anteriormente como células cortas. Para su estudio se basan en parámetros generales como su tridimensionalidad. Dividen los cuerpos-silíceos en tres clases geométricas en función de su forma general. De esta forma se intenta evitar la clasificación de las formas aparecidas dentro de tipos ideales que pueden conllevar a errores, como indican Rovner y Russ (1992).

- **Clase I:** cubos, cajas rectangulares, pirámides truncadas y paralelepípedos.
- **Clase II:** cilindros y conos.
- **Clase III:** formas mayoritariamente con caras cóncavas y forma exterior de "silla de montar" (saddle).

Estas tres clases son en principio formas ideales, ya que los cuerpos-silíceos varían considerablemente en su morfología. Las caras no son completamente planas ni las formas son cajas rectangulares perfectas, ni pirámides, conos u otras figuras geométricas. Además hay mucha variación en la forma de la base, el grado de concavidad y la configuración general. Sin embargo, estas tres clases morfológicas describen la mayoría de los cuerpos-silíceos observados hasta la fecha. Para una mejor identificación, Mulholland y Rapp dividen estas tres clases principales, en 8 formas diferenciadas por la forma de la base.

La clase I se divide en dos grupos:

- **No-lobulados:** triángulos, base con 3 lados, rectángulos con 4 y pentágonos con 5.
- **Lobulados:** a) cruces (cross), con el diámetro mínimo de la base aproximadamente igual; b) con el diámetro mínimo de la base desigual agrupan a los bilobulados y dentro de éstos, distinguen bilobulados con los lóbulos ligera-

mente diferenciados (sinuate) y bilobulados con los lóbulos diferenciados (dumbbel); c) polilobulados donde integran también la distinción entre sinuate y dumbbel.

La clase II se divide en tres grupos denominados:

- a) **rondel entero**: los lados de la base son convexos.
- b) **rondel alisado**: uno o más lados pueden ser rectos.
- c) **rondel indentado**: uno o más lados son cóncavos.

La clase III también se divide en tres grupos:

- a) **dos lados cóncavos**.
- b) **un lado cóncavo**.
- c) **sin lados cóncavos**.

En nuestro trabajo, hemos utilizado algunas de las morfologías establecidas en esta clasificación como son los tricomas, stomata, buliformes, etc. Para la división de los cuerpos-silíceos hemos preferido seguir la clasificación de Twiss, ya que distingue las subfamilias de las gramíneas, lo que no se contempla en esta clasificación. Si bien la descripción que ofrecen de las diversas morfologías, nos ha sido de gran utilidad en el momento de realizar las tablas descriptivas, por otro lado, esta clasificación se basa únicamente en el estudio de hojas de gramíneas y no contempla otras partes de la planta que también pueden presentar fitolitos, como son el tallo, la raíz, etc.

Sistema de clasificación de Pearsall y Dinan

Pearsall y Dinan (1992) establecen otro tipo de clasificación de fitolitos no sólo para gramíneas sino aplicable a todas las familias donde aparecen. Esta clasificación se basa, tanto en el estudio de diversas plantas de colección de referencia, como en el estudio de fitolitos procedentes de suelos actuales y arqueológicos. Dividen los fitolitos que encuentran en 11 grupos, ampliables a medida que avance la investigación. Para su diferenciación se basan, en el origen de la célula en la planta, si lo conocen, y sino, incluyen los fitolitos en un grupo aparte: origen desconocido. Estos grupos son:

10.- Formas cuadrilaterales de la epidermis (epidermal-quadrilaterals): grandes células de la epidermis, cuadrilaterales, cuadradas o alar-

gadas. Aquí se incluyen tanto los esqueletos de sílice (silica-skeletons) como las formas alargadas individuales (elongates) que nosotros hemos separado.

20.- Formas no cuadrilaterales de la epidermis (epidermal non-quadrilateral): partes de la epidermis de morfología irregular.

30.- Células cortas (short-cells): Gramineae, producidas en las hojas. En este grupo se incluyen los cuerpos-silíceos de Mulholland y Rapp, y se agrupan en un solo bloque festucoides, panicoides y cloridoides.

40.- Apéndices de la epidermis (dermal appendages): espinas, pelos, bordes de espinas y células de la base epidérmica.

50.- Buliforme: Localizadas en el mesófilo o en la epidermis, de formas variables. Éstas pueden ser encontradas en otras familias.

60.- Origen anatómico desconocido: Origen desconocido en la planta.

70.- Forma de panal de abejas (Honey-combed material): material amorfo altamente silicificado, usualmente de forma irregular, que se rompe con facilidad.

80.- Stegmata y otros cuerpos esféricos: proceden de las células mesófilas con forma esférica o esferoide.

90.- Otros elementos de sílice: diatomeas, espículas, etc.

100.- Cystolitos: paredes muy silicificadas, se encuentran en la epidermis y subepidermis. Su morfología es variable, generalmente con superficie nodular.

110.- Esclereidas: células sclerenchyma de formas normalmente alargadas.

Aparte de estos grupos principales, después aparecen otros subgrupos que van definiendo paso a paso la forma identificada. El problema de este sistema es que en esta clasificación no se distingue entre las subfamilias de las gramíneas (festucoide, panicoides y cloridoide) lo que reduce las posibilidades de interpretación. Además se incluyen en un mismo grupo morfologías celulares totalmente diferente e incluso con diferente funcionalidad en la planta. No parece existir un criterio más o menos unificado para establecer las diferentes categorías. Sin embargo, no hemos podido acceder a todo el trabajo realizado, ya que no ha sido publicado en su totalidad.

Como se ha podido observar, muchas de las formas descritas en las diferentes clasificaciones se repiten con la misma, o distinta denominación. Por ejemplo, las formas de "silla de montar" (saddles) de Mulholland y Rapp son las formas correspondientes a la subfamilia cloridoide de Twiss, mientras que

las rondel, se corresponden con algunas de las formas de la subfamilia festucoide.

Sistema de Clasificación de Ollendorf

Para la familia de las ciperáceas Amy L. Ollendorf (1992) realizó un sistema de definición y clasificación que hemos intentado adaptar a nuestro propio sistema. El propósito de Ollendorf, es el de sintetizar todas las descripciones aparecidas con anterioridad en el caso de los fitolitos de ciperáceas. Más que un sistema de clasificación se trataría de un sistema descriptivo, sobre un determinado tipo de fitolito.

Su sistema es el siguiente:

Forma:	Angular	: A
	Redonda	: R
	Sinuosa	: N
Ápice:	Múltiple	: Z
	Knobby	: K
	Apuntado	: P
	Redondo	: D
Superficie:	Verrucate (granulosa)	: V
	Psilate (lisa)	: X
Satélites:	Satélites presentes	: S
	“ ausentes	: W
Aparecen en plataforma		: M
Número individual		: I

DESCRIPCIÓN DEL NUEVO SISTEMA ANALÍTICO DESCRIPTIVO PARA LOS FITOLITOS DE SÍLICE

Al intentar aplicar estos sistemas de clasificación en los análisis de fitolitos realizados en la Península Ibérica nos encontramos con una serie de problemas, como son:

- Ninguno de estos sistemas agrupa en conjunto, todas las formas aparecidas hasta el momento en los análisis realizados en nuestra área geográfica, lo cual dificulta la clasificación e interpretación de los fitolitos.
- Las clasificaciones establecidas se basan casi exclusivamente en el estudio de la familia de las gramíneas, lo cual puede impedir el reconocimiento de formas pertenecientes a otras familias, si las hubiese.
- Algunas de las clasificaciones ofrecen la representación de formas ideales hecho que

no se corresponde con la realidad, ya que se ha observado que los fitolitos poseen innumerables variaciones en cuanto a forma y medida, a veces difíciles de apreciar y que pueden alterar la determinación del origen de la planta a la que corresponden.

- En la bibliografía existente, no encontramos un sistema para diferenciar estas variaciones, ya que normalmente aparecen fotografías y no descripciones detalladas sobre las formas aparecidas.
- La mayoría de las clasificaciones se basan en estudios realizados con plantas procedentes del continente americano, no existiendo apenas colecciones de referencia o estudios realizados sobre plantas del continente europeo y especialmente del área mediterránea. Los únicos trabajos realizados en el área mediterránea son, los realizados por Rosen (1992, 1994) que se basan en el estudio de los Esqueletos de Sílice procedentes de gramíneas, mediante el cual intenta establecer una relación directa con las primeras actividades agrícolas.

En la Península Ibérica los análisis de fitolitos realizados hasta este momento son pocos y relativamente recientes (Juan 1993; Juan 1994; Juan y Lalueza 1994; Juan, Lalueza y Nadal 1993; Juan et al. 1995; Lalueza et al. (1994); Lalueza et al. (e.p.); Albert (1995), Albert et al. (1995), etc.). Sin embargo, en los últimos años se ha producido un importante avance en la realización de estos análisis, especialmente en el noreste peninsular. La novedad de este tipo de estudios hizo que los primeros análisis se realizaran teniendo en cuenta los sistemas de clasificación ya establecidos, no existiendo un sistema de clasificación basado en las morfologías aparecidas en nuestra área de estudio. Este hecho y los problemas enumerados anteriormente hizo que nos planteáramos la posibilidad de elaborar un sistema de análisis descriptivo de la morfología de los fitolitos, teniendo en cuenta los sistemas de clasificación ya existentes. En este nuevo sistema se engloban los fitolitos que van apareciendo en los diversos análisis realizados y al mismo tiempo se comparan con los fitolitos identificados en el estudio de colecciones de referencia. Se trata, pues, de un sistema de análisis descriptivo basado, en parte, en el realizado por Ollendorf (1992) para las ciperáceas, que permite definir los fitolitos aparecidos, en las muestras objeto de estudio, con sus características y variaciones.

Este nuevo sistema fue elaborado en el PaleoResearch Laboratory de Golden (Colorado) con la ayuda y colaboración de la titular de este laboratorio, la Dra. Linda Scott Cummings.

Del mismo modo, fue utilizado y aplicado en el estudio de los análisis de fitolitos realizados en la EE1 de la Cova del Parco (Alòs de Balaguer, la Noguera), siguiendo la metodología establecida por la Dra. Cummings (1995) (Albert 1995; Petit et al. e.p.). Este hecho hizo que este nuevo sistema fuera elaborado únicamente con aquellas morfologías que aparecieron en la muestra estudiada. Sin embargo, el planteamiento a seguir sería el de ir elaborando y corrigiendo estas tablas a medida que avancen las investigaciones y nuevas morfologías vayan apareciendo.

Para poder definir todas las características y variaciones que presentan los fitolitos identificados, se elaboraron una serie de tablas con unos parámetros aplicados en la definición del fitolito. Estas tablas, fueron divididas en cuatro grandes bloques, que a su vez, se subdividieron en diferentes grupos para permitir una mejor definición y clasificación de los fitolitos. Para la división y clasificación de las tablas se siguieron los siguientes criterios, basados en estudios realizados anteriormente y en la revisión de la bibliografía existente. La descripción de los fitolitos pertenecientes a los grupos festucoide y panicoides se realizó a partir de la parte superior del fitolito, ya que es donde las diferentes características morfológicas son más apreciables.

En cuanto a la terminología, se intentó mantener la establecida a nivel internacional y, por tanto, para las definiciones se conservaron las denominaciones de las diferentes formas aparecidas en el idioma original, principalmente en inglés. Las traducciones al castellano siguen, cuando ha sido posible, la terminología utilizada en términos botánicos (Esau 1985).

Una vez realizado el análisis descriptivo, se introducen los datos procedentes de la observación microscópica en una ficha informatizada, incluida en una base de datos programada específicamente para este tema y que contiene una colección de referencia. Con la utilización de este programa será posible tratar estadísticamente los datos obtenidos.

Las divisiones establecidas, son las siguientes:

A. Células cortas (Short cells): Siguiendo a Twiss et al. (1969); Twiss (1992) se subdividieron entre las diferentes subfamilias de gramíneas. Este grupo de células tienen una morfología muy variada. Pueden aparecer en forma individual o como puntuaciones de los esqueletos de sílice.

a) Festucoides (Fig. 1, morfología 1a; Fig., 3; Tabla 1):

Este grupo de plantas suele crecer en lugares húmedos y templados. Pertenecen al grupo C3, es decir, que durante el proceso de fotosíntesis de las plantas terrestres se forma la molécula 3-carbón de ácido fosfoglicérico. Los fitolitos pertenecientes a este grupo suelen ser producidos en la epidermis de las hojas de las gramíneas. Tienden a agrupar multitud de formas diferentes: esféricas, rectangulares, elípticas o cuadradas con una doble línea marcada.

b) Panicoides (Fig. 1, morfología 1b; Fig. 4a; Tabla 2):

El grupo panicoides que se incluye dentro de esta subfamilia es característico de climas secos y templados, suele crecer en lugares con climas tropicales y subtropicales adaptándose algunas veces a climas templados, aunque no suelen aparecer sobre 40° de latitud.

Los fitolitos producidos en el grupo panicoides suelen formarse en la epidermis de las hojas. Para la definición y clasificación de estos fitolitos hemos seguido, al igual que para los del grupo festucoide, y cuando nos ha sido posible las divisiones de carácter morfológico establecidas por Twiss (1992).

B. Apéndices del tejido epidérmico (epidermal appendix): Dentro de este grupo se incluyen tricomas, pelos y pequeños tricomas. Estos tres grupos, a su vez, han sido subdivididos en diferentes tablas descriptivas debido a sus diferencias morfológicas. Algunos autores (Mulholland y Rapp 1992) agrupan pelos y tricomas en un mismo bloque.

a) Tricomas (Fig. 1, morfología 1c; Fig. 4b; Tabla 3):

Los tricomas (del griego "cabellera") son apéndices epidérmicos de las células largas. Un tricoma se inicia como una protuberancia de una célula epidérmica. Pueden aparecer en todas las partes de la planta.

b) Pequeños Tricomas (Small trichomes/Papillae/Hat shaped) (Fig. 1, morfología 1d; Fig. 4c; Tabla 4):

Los denominados pequeños tricomas, papila, o formas de sombrero, pertenecen al grupo de los tricomas, son conocidos también como células glandulares (papillae). Este grupo suele ser bastante problemático, algunos autores atribuyen sus formas a la familia de las gramíneas como Ball (1992). Piperno (1988), los ha identificado en 4 familias diferentes: palmas, ciperáceas, marantáceas y orquídeas. Ollendorf (1992) clasifica estas formas dentro de las ciperáceas. También su denominación es bastante variada, pequeños tricomas, fitolitos con forma

de sombrero, con forma de cono, etc. Cuando aparecen formando parte de los esqueletos de sílice suelen denominarse papillae (Rosen 1992). Su tamaño varía de 3 a 25 micras en diámetro. Sus diferencias pueden ser muy sutiles y requieren el uso de magnificaciones de hasta 1000. Ollendorf (1992) los distingue de las correspondientes a otras familias por los ápices apuntados con superficies lisas o casi lisas. Andrejko y Cohen (n.d.) también han identificado ápices redondeados en esta familia. Para establecer la definición de estos fitolitos en nuestro trabajo se han seguido algunos de los criterios establecidos por Ollendorf (1992) adaptándolos a nuestras necesidades y homogeneizándolos con los criterios establecidos para todas las tablas de definiciones. Se han incluido dentro del grupo pequeños tricomas las formas claramente definitivas de la familia ciperácea ya que siguen perfectamente los criterios de definición.

b.1) Cyperaceae

El sistema de clasificación y definición es el mismo que el utilizado para pequeños tricomas, ya que el criterio de distinción morfológica a seguir es idéntico. Sin embargo, tienen unas características específicas que permite diferenciarlos y adscribirlos a esta familia. Se distinguen por tener una base hexagonal, con una protuberancia parecida a la de los pequeños tricomas en la parte central, las líneas que lo delimitan suelen ser dobles.

c) Pelos (hairs) (Fig. 1, morfología 1e; Fig. 4d; Tabla 5):

Sus tamaños y morfologías pueden ser muy variados. Estructuralmente los pelos pueden subdividirse en dos grupos o categorías: a) no seccionados o unicelulares y b) seccionados o multicelulares, con un número distinto de divisiones a lo largo del fitolito.

Éstos suelen aparecer en gran número y es difícil, en muchas ocasiones, establecer su planta de origen. Son particularmente abundantes en plantas dicotiledóneas, aunque también aparecen, en menor cantidad, en las monocotiledóneas, como gramíneas.

Las denominadas bases de pelos son células de la epidermis donde se originan los pelos. Suelen ser esféricas, a menudo con una marca circular en el centro que es en realidad una protuberancia silíceas en el tejido subepidérmico. Estos fitolitos son muy comunes en las dicotiledóneas.

C. Células largas (Long cells): suelen tener una forma más o menos rectangular, están alineadas

en filas paralelas y constituyen la mayor parte del tejido epidérmico. Normalmente están silicificadas y cuando este fenómeno se intensifica, encontramos los denominados esqueletos de sílice. En nuestro estudio hemos dividido estas células largas en dos grupos: formas alargadas, cuando aparecen individualmente y esqueletos de sílice, cuando aparecen en grupo.

a) Formas alargadas (elongates) (Fig. 2, morfología 2a; Figs. 5a y 5b; Tabla 6):

Son formas alargadas unicelulares. El criterio de distinción se basa en los márgenes, que pueden ser lisos, sinuosos, granulados, espinosos y denticulados. Las formas alargadas son muy numerosas en todas las especies de gramíneas, por lo que su identificación, más allá de la familia, suele ser complicada.

b) Esqueletos de sílice (silica skeletons) (Fig. 2, morfología 2b; Fig. 5c; Tabla 7):

Rosen (1992 p: 129) define los esqueletos de sílice como secciones fosilizadas del tejido epidérmico. Se trata de una estructura multicelular compuesta, como ya hemos visto, de un conjunto de células alargadas puntuadas por células cortas. El estudio de los esqueletos de sílice está demostrando ser muy útil por los trabajos realizados por Rosen (1992) en yacimientos del Levante mediterráneo, donde trata de identificar el origen de las plantas de estos esqueletos de sílice por comparación con las características anatómicas de la epidermis de la planta viva, a partir de los márgenes que separan las diferentes células.

D. Células grandes (Large cells): normalmente conocemos el origen de la célula de la planta o su funcionalidad.

Twiss (1992) agrupa en un mismo bloque tanto las formas buliformes como las formas de almohada (pillows) y las denomina fan-shaped (fitolitos con forma de abanico). Nosotros los mantenemos separados ya que si bien la superficie es muy similar, no lo es su forma.

a) Buliformes (Fig. 2, morfología 2c; Fig. 6a y 6b; Tabla 8):

Las buliformes son células grandes de almacenaje, alargadas, de pared fina y forma de abanico o de cuña. Aunque estas células no pueden ser asignadas a un taxón determinado, sólo se silicifican bajo condiciones de humedad altas (Rovner 1988). Son muy frecuentes en todos los órdenes de monocotiledóneas y en especial en la familia de las gramíneas. No están restringidas necesariamente a la epidermis, ya que

a veces aparecen células similares en el mesófilo. En cuanto a su funcionalidad, son varias las opiniones que se ofrecen. Algunos investigadores creen que intervienen en el despliegue de las hojas en crecimiento, otros opinan que estas células intervienen en los movimientos de abertura y cierre de las hojas adultas (de aquí el nombre de células motor). Sin embargo, otros autores dudan que estas células tengan otra función que el simple almacenamiento de agua (Esau 1985, p: 173).

b) Formas de almohada (pillows) (Fig. 2, morfología 2d; Fig. 6c; Tabla 9): Estas células, como su nombre indica, tienen formas cuadradas o rectangulares.

CONCLUSIONES

Como ya se ha indicado anteriormente, en este nuevo sistema se pretende englobar todos los fitolitos aparecidos en el área mediterránea. Este sistema está basado en el estudio de fitolitos identificados en plantas de colecciones de referencia y en estudios de fitolitos realizados en nuestra península.

Como primera aproximación, únicamente se han realizado las tablas descriptivas de los fitolitos identificados hasta este momento. Sin embargo, el objetivo a seguir es el de seguir ampliando estas tablas a medida que avancen las investigaciones.

1. CÉLULAS CORTAS

FESTUCOIDES

TABLA 1: Análisis descriptivo de fitolitos grupo festucoide

Categoría	Forma	Margen	Parte superior y base	Otros	Descripción
F					festucoides
	S				esférica (spherical)
	Sq				cuadrada (square)
	R				rectangular
	E				elíptica
	B				bilobulada
	P				polilobulada (en () número de lóbulos)
		S			sinuosa
		L			doble línea
			T		tabular (parte superior y base iguales)
			P		meseta (parte superior y base diferente)
			r		cresta en la parte superior (ridge)
			nr		sin cresta en la parte superior
				H	cuernos (horns)
				H2	torre larga (largo al menos 2 veces la anchura)

Definiciones:

Torre (Tower): Una torre vista desde el lado tiene dos lados cóncavos y una parte superior más pequeña que la base. Para evitar confusiones definiremos la torre dependiendo de la base. La clave para reconocer una torre consiste en determinar una base esférica o elíptica con cuernos y una forma general de meseta. Se define como torre larga aquellas morfologías, vistas de perfil, con cuernos en la parte superior y en la que la altura es, como mínimo, dos veces el largo de la base.

Ejemplos: FR(L)P - Festucoide con forma rectangular, doble línea y forma general en meseta.

El grupo llamado trapezoidal se ha incluido también en los festucoides. Nosotros llamaremos a los trapezoidales polilobulados. Cuando es un polilobulado se debe añadir entre paréntesis el número de lóbulos en cada lado, por ejemplo:

FP(4-3)(L)Tr: Festucoide, forma polilobulada con 4 lóbulos en un lado y 3 lóbulos en el otro lado, doble línea, tabular, con cresta en la parte superior.

PANICOIDES

TABLA 2: Análisis descriptivo de fitolitos del grupo panicoide

Categoría	Forma	Margen	Forma lóbulos	Orientación lóbulos	Caña	Descripción
P						panicoide
	B					bilobulados
	P					polilobulados
	C					cruces
		L				doble línea
			s			esféricos
			i			esféricos con lado liso hacia dentro (lado de la caña)
			o			esféricos con lado liso hacia afuera
			e			alargado (estirado)
			v			verticalmente exagerado
				1		recto
				2		inclinado
					00	delgado-largo
					01	delgado-corto
					10	medio-largo
					11	medio-corto
					20	grueso-largo
					21	grueso-corto

Ejemplo.- PBLs100: Panicoide bilobulado con doble línea, forma de los lóbulos esférica, orientación de los lóbulos recta, con la caña delgada y larga.

Caña: La caña (parte que une los lóbulos) puede ser delgada, media o gruesa y también larga o corta. Hemos dado un número para cada una de estas formas: delgada=0, medio=1, gruesa=2; larga=0, corta=1. De este modo, la combinación de estos números nos dará la información que necesitamos sobre la forma de la caña. «Larga» es cuando el largo de la caña es, como mínimo, dos veces superior al ancho y «corta» cuando es inferior. «Delgada» es cuando el ancho de la caña es inferior a 1/3 de la dimensión de los lóbulos en la misma dirección, «media» es cuando es superior a 1/3 pero inferior a 1/2 y «gruesa» cuando es superior a 1/2.

2. APÉNDICES DEL TEJIDO EPIDÉRMICO

TRICOMAS

TABLA 3: Análisis descriptivo de fitolitos denominados tricomas

Categoría	Forma base	Forma parte superior	Superficie	Otros	Descripción
Tr					tricoma
	0				base no apuntada
	1				base con un lado apuntado
	2				base con dos lados apuntados
		1			parte superior redondeada
		2			parte superior apuntada
			X		psilate (lisa)
			G		granulosa (scabrate)
				color	escribir el color
				oc	restos de carbón (Occluded carbon)

PEQUEÑOS TRICOMAS/PAPILLAE/FORMA DE SOMBRERO

TABLA 4: Análisis descriptivo de fitolitos denominados pequeños tricomas

Categoría	Forma	Margen	Ápice (Apex)	Superficie	Otros	Descripción
Pp						pequeño Tricoma/Papillae/Forma de sombrero
	S					esférico (Spherical)
	Sq					cuadrado (Square)
	R					rectangular
	P (?)					poligonal (n. de lados en ())
		0				rectilíneo
		1				sinuoso
		2				doble línea
			P			apuntado (Pointed)
			R			redondeado
			M			mixto (ni redondeado ni apuntado)
				X		Psilate (liso)
				G		granuloso
					S	satélites presente
					W	satélites ausente
					M	en plataforma
					I	en n. individual
					G	en grupo (n. en ())

PELOS

TABLA 5: Análisis descriptivo de fitolitos denominados pelos

Categoría	Forma	Superficie	Otros	Descripción
H				pelos (hairs)
	1			recto
	2			curvado
		X		psilate (liso)
		G		granuloso
			S	segmentado
			NS	no segmentado

3. CÉLULAS LARGAS

FORMAS ALARGADAS

TABLA 6: Análisis descriptivo de fitolitos denominados formas alargadas

Categoría	Superficie	Otros	Descripción
E			Alargada
	X		psilate (liso)
	S		sinuoso
	G		granuloso
	G2		muy granuloso
	E		echinate (espinoso)
	D		denticulado
		color	escribir color

Se define como margen granuloso, cuando el largo de la protuberancia que sobresale de la forma alargada es igual o inferior a su ancho, mientras que margen muy granuloso sería aquel en que el largo de la protuberancia sea superior al ancho de la misma.

ESQUELETOS DE SÍLICE

TABLA 7: Análisis descriptivo de fitolitos denominados esqueletos de sílice

Categoría	Forma	Margen	Grosor margen	Otros	Descripción
SS					esqueletos de sílice (Silica Skeletons)
	E				alargados
	S				esféricos
	P				poligonal
		X			psilate (liso)
		S			sinuoso
		R			redondeado
		P			apuntado
			0		línea margen fino
			1		línea margen medio
			2		línea margen grueso
			3		línea margen doble
				color	escribir color

4. CÉLULAS GRANDES

BULIFORMES

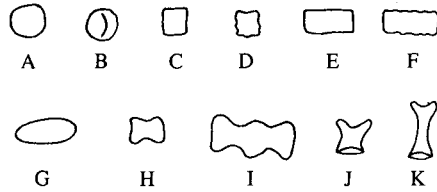
TABLA 8: Análisis descriptivo de fitolitos denominados buliformes

Categoría	Forma base	Forma lado	Forma parte superior	Hombro	Superficie	Otros	Descripción
B							buliforme
	P						apuntada (pointed)
	F						lisa (flat)
	C						cóncava
		2					2 lados cóncavos
		1					1 lado cóncavo/ 1 lado recto
		0					2 lados rectos
			C				convexa
			R				recta
			V				cóncava
				r			redondeado
				p			apuntado
					X		psilate, suave
					G		scabrate (granulosa)
						color	escribir el color
						oc	restos de carbón (occluded carbon)

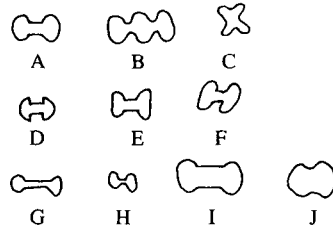
FORMAS DE ALMOHADA

TABLA 9: Análisis descriptivo de fitolitos denominados formas de almohadas

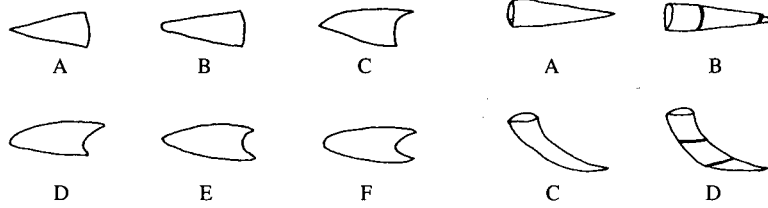
Categoría	Forma base	Forma parte superior	N. de lados	Esquinas (en (n. de esquinas)	Superficie	Otros	Descripción
PL							forma de almohada (Pillow)
	a	a	1,2a				recta
	b	b	1,2b				convexa
	c	c	1,2c				cóncava
				s			angulares
				r			redondeadas
					X		psilate, suave
					G		scabrate (granulosa)
						Color	escribir el color
						oc	restos de carbón (occluded carbon)



1a) Subfamilia Festucoideae

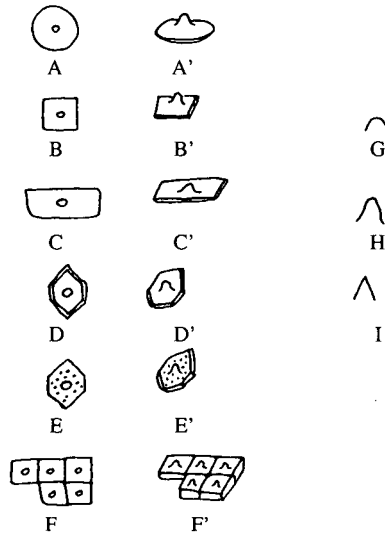


1b) Subfamilia Panicoideae



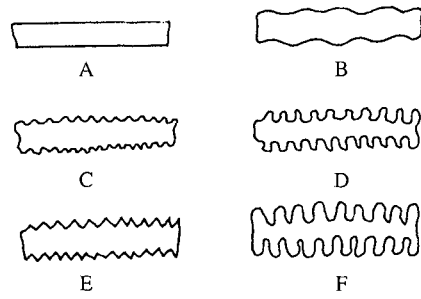
1c) Tricomas

1e) Pelos

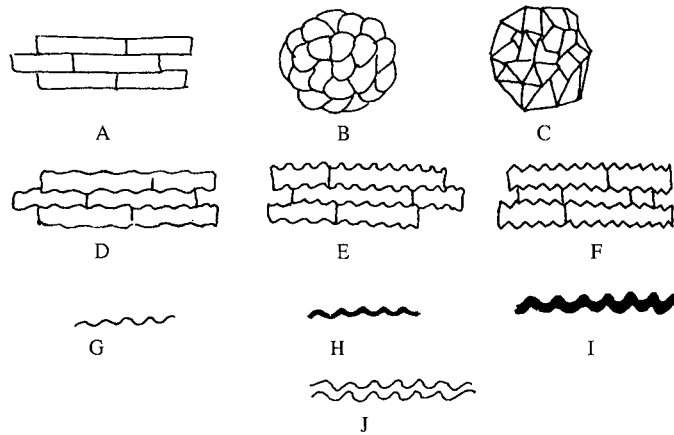


1d) Pequeños Tricomas

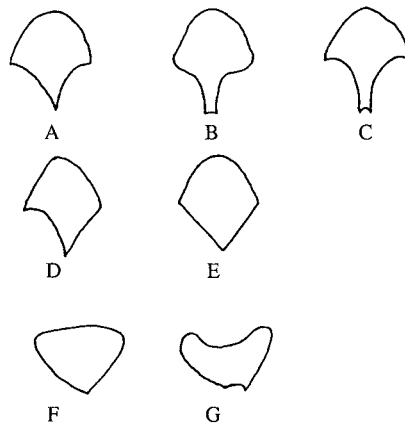
FIGURA 1: Representación de diversas morfologías de fitolitos pertenecientes a las categorías de Células Cortas (1a y 1b) y Apéndices del tejido epidérmico (1c, 1d y 1e). **1a)** Subfamilia Festucoideae: A: forma esférica; B: creciente; C: cuadrada; D: cuadrada sinuosa; E: rectangular; F: rectangular sinuosa; G: elíptica; H: bilobulada; I: polilobulada; K: torre larga. **1b)** Subfamilia Panicoideae: A: bilobular; B: polilobular; C: cruz; D: bilobular con lóbulos redondeados y lados interiores rectos; E: bilobular con lóbulos redondeados y lados exteriores rectos; F: bilobular con lóbulos inclinados; G: bilobular con caña gruesa y larga; H: bilobular con caña delgada y corta; I: bilobular con lóbulos inclinados; J: bilobular con caña gruesa y corta. **1c)** Tricomas: A: base no apuntada y parte superior en punta; B: base no apuntada y parte superior redondeada; C: base con un lado apuntado y parte superior en punta; D: base con un lado apuntado y parte superior redondeada; E: base con dos lados apuntados y parte superior en punta; F: base con dos lados apuntados y parte superior redondeada. **1d)** Pequeños Tricomas: A-A': base circular; B-B': base cuadrada; C-C': base rectangular; D-D': base poligonal; E-E': satélites presentes; F-F': en plataforma; G: ápice redondeado; H: ápice mixto; I: ápice apuntado. **1e)** Pelos: A: recto; B: recto segmentado; C: curvo; D: curvo segmentado. Rosa María Albert, 1995.



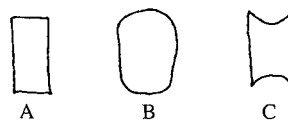
2a) Formas alargadas



2b) Esqueletos de sílice



2c) Buliformes



2d) Almohadas

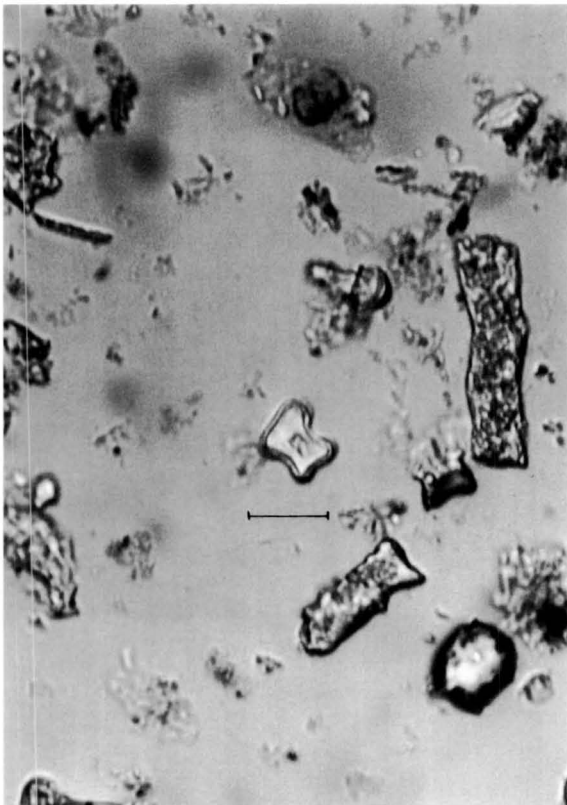
FIGURA 2. Representación de diversas morfologías de fitolitos pertenecientes a las categorías de Células largas (2a y 2b) y Células grandes (2c y 2d). **2a)** Formas alargadas: A: margen liso; B: margen sinuoso; C: margen granuloso; D: margen muy granuloso; E: margen espinoso; F: margen denticulado. **2b)** Esqueletos de Sílice: A: margen liso; B: formas circulares; C: formas poligonales; D: formas alargadas con margen sinuoso; E: formas alargadas con margen granuloso; F: formas alargadas con margen espinoso; G: margen fino; H: margen medio; I: margen grueso; J: doble margen. **2c)** Buliformes: A: base y hombros apuntados, lados cóncavos y parte superior convexa; B: base recta y hombros redondeados; C: base cóncava; D: un lado cóncavo y un lado recto, base y hombros apuntados y parte superior convexa; E: dos lados rectos; F: Parte superior recta, hombros redondeados, base apuntada y lados rectos; G: parte superior y base cóncava, hombros redondeados y lados rectos. **2d)** Almohadas: A: Base, parte superior y lados rectos con esquinas rectas; B: base y parte superior convexas, lados rectos y esquinas redondeadas; C: Base y parte superior cóncavas, lados y esquinas rectas. Rosa Maria Albert, 1995.



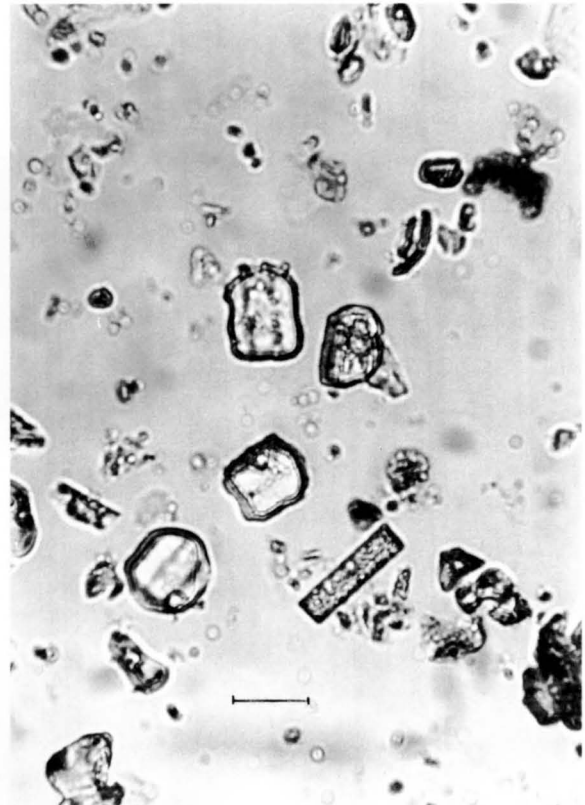
a)



b)



c)



d)

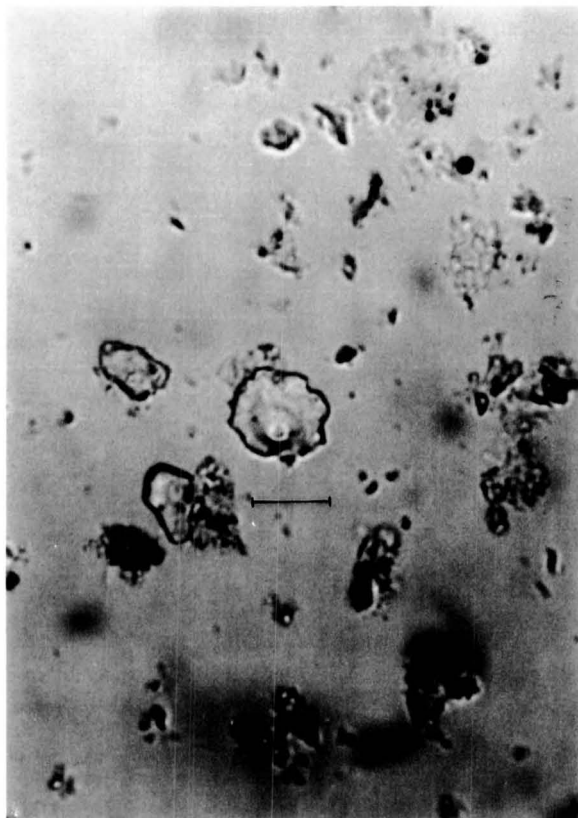
FIGURA 3: formas festucoides: a) elíptica; b) trapezoidal; c) bilobular; d) circular, cuadrada y rectangular sinuosa. Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera). Magnif. 400. Barra=20 micras.



a)



b)



c)

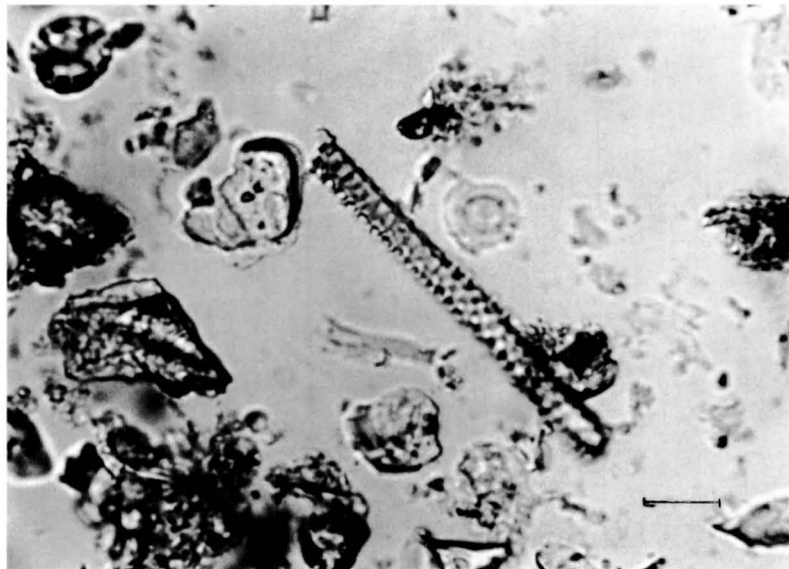


d)

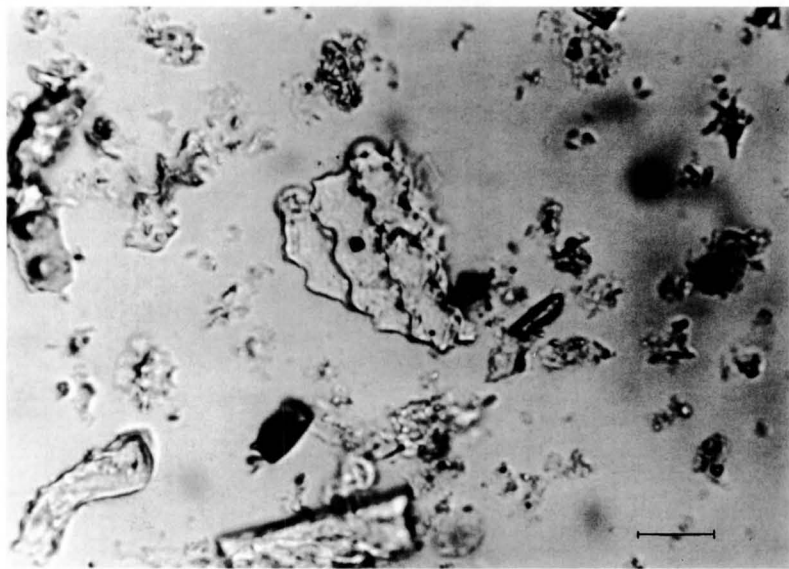
FIGURA 4: a) panicoid; b) tricoma; c) pequeño tricoma; d) pelo. Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera)
Magnif. 400. Barra=20 micras.



a)

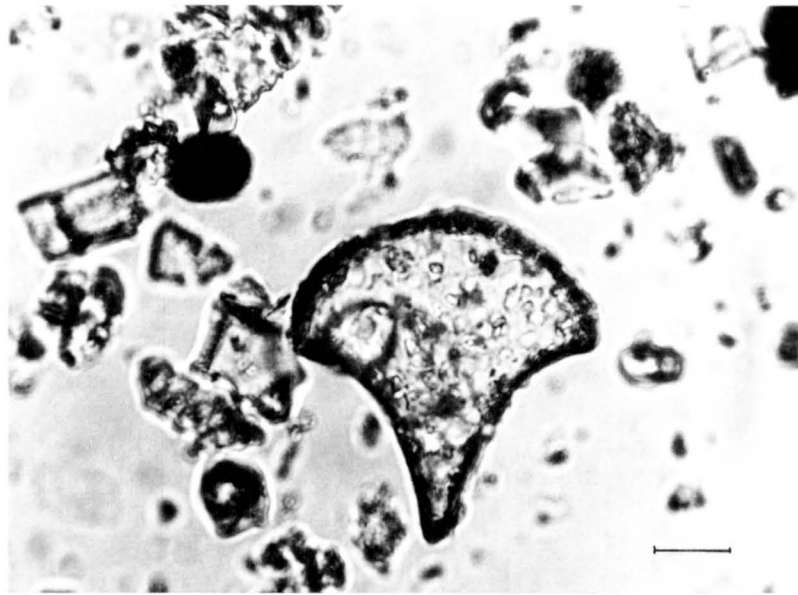


b)

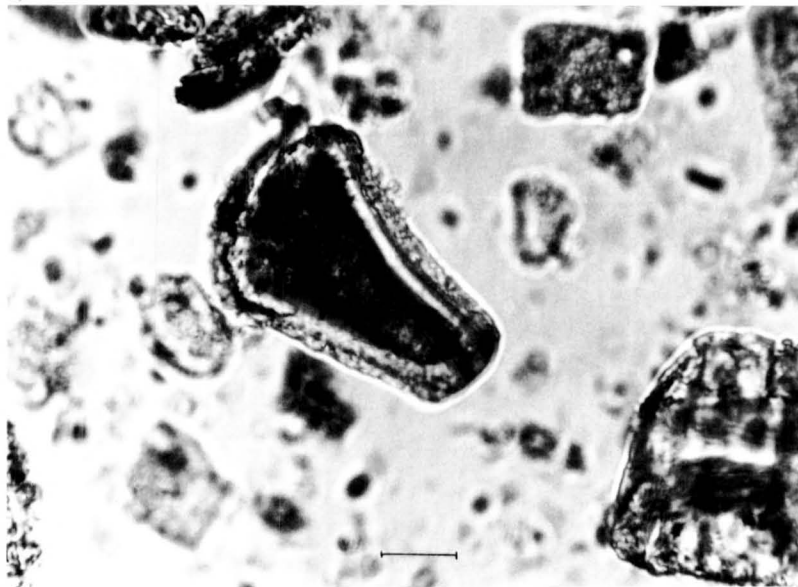


c)

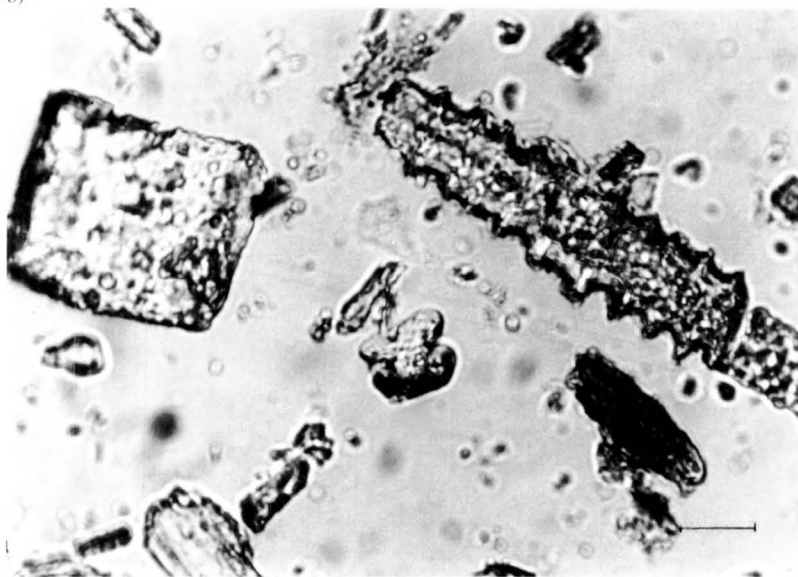
FIGURA 5: a) alargado liso; b) alargado granuloso; c) esqueleto de sílice con margen ondulado. Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera). Magnif. 400 Barra=20 micras.



a)



b)



c)

FIGURA 6: a) y b) buliformes. c) almohada. Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera) Magnif. 400. Barra=20 micras.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBERT, R.M. (1995), *Análisis y descripción de fitolitos de una Estructura Neolítica: Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera)*. Tesis de Licenciatura (inédita), Universidad de Barcelona, Dept. de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, 113 pp.
- ALBERT, R.M.; CUMMINGS, L. SCOTT.; JUAN, J. & MARTIN, A. (1995), "Análisis de fitolitos de un hogar neolítico de la Cova del Frare (Matadepera, Barcelona), *PreActes del I Congrés del Neolític a la Península Ibèrica*, Gavà-Bellaterra, Març, 1995, pp. 13-14.
- ANDREJKO, COHEN (n.d.), "Use of Sem imagery for distinguishing sedge phytoliths: Significance in peat research", Ms. on file with the Department of Geology, Washington State University, 23 pp.
- BALL, T. (1992), *Phytolith morphometrics: The use of image analysis for morphologic and systematic study of various grass phytoliths (Bouteloua, Panicum, Zea and Triticum)*. Tesis Doctoral, Department of Botany and Range Science of Brigham Young University, August, 1992, 117 pp.
- BENAYAS, J. (1963), "Disolución parcial de sílice orgánica en suelos", *Anales de Edafología y Agrobiología*, Tomo XXII, Núms. 11-12, Madrid, pp. 623-626.
- CALVO, M.; ALBERT, R.M.; JUAN, J.; MANGADO, X. & ZAMORA, J.E. (1995), "Estudio de complejos funerarios: reconstrucción de los patrones de dieta humana y de los ritos funerarios a través de los análisis paleoetnobotánicos y de las deformaciones microscópicas de objetos líticos por uso antrópico en el Mediterraneo Occidental". En IIIrd Deia International Conference of Prehistory. Ritual, Rites and Religion, Deia, 25-30 setembre 1993. *British Archaeological Report*, International Series 611. IIIrd. Deia International Conference of Prehistory, volume I, pp. 281-295.
- CUMMINGS L. SCOTT (1989), *Coprolites from medieval christian Nubia: An interpretation of diet and nutritional stress*. Tesis doctoral, University of Colorado, Department of Anthropology, 204 pp.
- CUMMINGS, L. SCOTT. (1995), "Paleoenvironmental Interpretations for the Mill Iron Site, based on Stratigraphic Pollen and Phytolith Analysis". Chapter 9 In *The Mill Iron Site, 24CT30, and the Goshen-Plainview Paleoindian Cultural Complex on the Northern High Plains*. Ed. by George C. Frison, University of New Mexico Press, Albuquerque (in press). Also Ms. on file with PaleoResearch Labs, Golden, Co. 49 pp.
- DANIELSON, D.R. (1993), *The role of phytoliths in prehistoric diet reconstruction and dental attrition*. Tesis doctoral, University of Nebraska, Department of Anthropology, 112 pp.
- ESAU, K. (1985), *Anatomía Vegetal*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 779 pp.
- GEIS, J.W. (1978), "Biogenic Opal in three species of gramineae", *Annals of Botany Company*, pp. 1119-1135.
- HARTLEY, W. (1958b), "Studies on the origin, evolution, and distribution of the Gramineae. II. The tribe Paniceae", *Australian Journal of Botany* 6, pp. 343-357.
- HARTLEY, W. (1973), "Studies on the origin, evolution, and distribution of the Gramineae. V. The subfamily Festucoideae", *Australian Journal of Botany* 21, pp. 201-234.
- JUAN, J. (1993), "Nuevos datos sobre la evolución del paisaje y los recursos vegetales en el Abric del Filador (Margalef de Montsant, Tarragona)", *Pyrenae*, n. 24, Barcelona, pp. 23-33.
- JUAN, J. (1994), "Paisaje y Megalitismo. Primeros resultados paleoecológicos del Paleosuelo de la Mamoa I Das Madorras (Sabrosa, Portugal)". En Jordà, J. (Ed). *Geoarqueología*, Actas de la 2ª Reunión de Geoarqueología, Madrid, 1992, pp. 143-152.
- JUAN, J.; LALUEZA C. & NADAL J. (1993), "Estudio de fitolitos en dientes como indicadores de patrones de dieta y su aplicación en arqueología". En 1º Congreso de Arqueología Peninsular, Porto (Portugal), 1993, *En trabalhos de Antropologia e etnologia*, 33 (1-2), pp. 471-485.
- JUAN, J. & LALUEZA, C. (1994), "Aportacions de les anàlisis fitolitològiques a l'estudi dels patrons de dieta vegetal en poblacions medievals de la península ibèrica", en Actas del IV Congreso de Arqueología Medieval Española, Vol. 3, Alacant, 1993, pp. 687-691.
- JUAN, J.; ALBERT, R.M.; GALVÁN, V.; LALUEZA, C. & PINILLA, A. (1995), "Nuevos planteamientos metodológicos sobre la intervención en necrópolis romanas de inhumación: las aportaciones de los análisis de fitolitos". XIV Congrés Internacional d'Arqueologia Clàssica, Tarragona, 5-11 setembre 1993. *Actes Definitives, volum II Comunicacions*, pp. 225-226.
- KAPLAN, L.; SMITH, M.B. & SNEDDON, L.A. (1992), "Cereal Grain Phytoliths of Southwest Asia and Europe", Rapp, G., Jr. y Mulholland, S.C. (Ed), *Phytolith systematics. Emerging issues*, Advances in Archaeological and Museum Science, Vol. 1, Plenum Press, London/New York, pp. 149-174.
- LALUEZA, C.; JUAN, J. & PÉREZ-PÉREZ, A. (1994), "Dietary Information through the examination of plant phytoliths on the Enamel surface of human dentition", *Journal of Archaeological Science*, 21, pp. 29-34.
- LALUEZA, C.; JUAN, J. & ALBERT, R.M. (en prensa), "Phytolith analysis on dental tartar of enamel surface in burial site: Information about diet and paleoenvironment", *Journal of Physical Anthropology*.
- MIDDLETON, W. & ROVNER, I. (1994), "Extraction of opal phytoliths from herbivor dental calculus", *Journal of Archaeological Science*, 21, pp. 469-473.
- MULHOLLAND S. & RAPP G.Jr. (1992), "A morphological classification of grass silica-bodies", Rapp, G., Jr. y Mulholland, S. (Ed), *Phytolith systematics*.

- tics. Emerging issues, Advances in Archaeological and Museum Science, Vol. 1, Plenum Press, London/New York, pp. 65-89.*
- OLLENDORF, A.L. (1992), "Toward a Classification scheme of sedge (Cyperaceae) phytoliths", Rapp, G., Jr. y Mulholland, S.C. (Ed), *Phytolith systematics. Emerging issues, Advances in Archaeological and Museum Science, Vol.1, Plenum Press, London/New York, pp. 91-111.*
- PEARSALL, D.M. (1989), *Paleoethnobotany. A handbook of procedures.* Academic Press, 470 pp.
- PEARSALL, D.M. & DINAN, E.H. (1992), "Developing a phytolith classification system", Rapp, G., Jr. y Mulholland, S.C. (Ed), *Phytolith systematics. Emerging issues, Advances in Archaeological and Museum Science, Vol. 1, Plenum Press, London/New York, pp. 37-64.*
- PETIT, M.A.; ESTRADA, A.; BERGADÀ, M.M.; BARTROLÍ, R.; FULLOLA, J.M.; GAMARRA, A.; NADAL, J.; ALBERT, R.M. & FARELL, D. (en prensa), "La Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera), Estudi de les ocupacions humanes del Vè al IIon. mil·leni A.C.
- PIPERNO, D. (1988), *Phytolith analysis. An archaeological and geological perspective.* Academic Press, San Diego, 273 pp.
- ROSEN, A. MILLER (1983), "Phytoliths of cereals from two Negev Chalcolithic sites: Identification and edaphic implications", *48th. Annual Meeting of the Society for American Archaeology*, Pittsburgh, Pennsylvania.
- ROSEN, A. MILLER (1987), "Phytolith studies at Shiqmim". In Levy, TER, (Ed), Shiqmim I: Studies concerning Chalcolithic societies in the northern Negev Desert, Israel (1982-1984), *British Archaeological Reports, International Series 356*, pp. 243-249.
- ROSEN, A. MILLER (1991a), "Phytoliths as indicators of ancient irrigation farming". In Anderson-Gerfaud, P. (Ed), *Préhistoire de l'Agriculture: Nouvelles Approches Expérimentales et Ethnographiques*, Paris, CNRS, pp. 1-7.
- ROSEN, A. MILLER (1991b), "Phytolith evidence for early cereal exploitation in the Levant". In Pearsall, D.M. and Piperno, D. (Ed), *Current Research in Phytolith Analysis: Applications in Archaeology and Paleocology*, In preparation.
- ROSEN, A. MILLER (1992), "Preliminary Identification of Silica Skeletons from Near Eastern Archaeological Sites: An Anatomical Approach", Rapp, G., Jr. y Mulholland, S.C. (Ed), *Phytolith systematics. Emerging issues, Advances in Archaeological and Museum Science, Vol.1, Plenum Press, London/New York, pp. 129-147.*
- ROSEN, A. MILLER (1994), "Identifying Ancient Irrigation: a New Method Using Opaline Phytoliths from Emmer Wheat", *Journal of Archaeological Science*, Vol. 21, pp. 125-132.
- ROVNER I. (1971), "Potential of Opal Phytoliths for Use in Paleocological Reconstruction", *Quaternary Research* 1, pp. 343-359.
- ROVNER I. (1983), "Plant opal phytoliths analysis: major advances in archaeobotanical research", Schiffer, M.B. (Ed), *Advances in archaeological method and theory* 6, pp. 225-266.
- ROVNER, I. (1986), "Plant opal phytolith analysis in archaeology and paleoecology", *Proceedings of the 1984 Phytolith Research Workshop*, North Carolina State University, Raleigh, Occasional Papers of the Phytolitharian No. 1, 147 pp.
- ROVNER, I. (1987), "Plant opal phytoliths: A probable factor in the origins of agriculture", The V. Gordon Childe Colloquium, Mexico, 1986, *British Archaeological Report, International Series*, 349.
- ROVNER, I. (1988), "Macro and microecological reconstruction using plant opal phytolith data from archaeological sediments", *International Journal of Geoarchaeology* 3, pp. 155-163.
- ROVNER, I. & RUSS, J.C. (1992), "Darwin and Design in Morphometric Methods for Mitigating Redundancy", Rapp, G., Jr. y Mulholland, S.C. (Ed), *Phytolith systematics. Emerging issues, Advances in Archaeological and Museum Science, Vol.1, Plenum Press, London/New York, pp. 253-276.*
- RUSS, J.C. & ROVNER, I. (1989), "Expert Vision Systems in Archaeometry", *Mrs. Bulletin*, pp. 40-44.
- TARDY, C. (1991), *Les Phytolithes. Forme et Role dans les Plantes, Indices paléoclimatiques, Révélatrices des structures et Artefacts Archéologiques.* Diplome d'Etudes approfondies, Academie de Montpellier, Université de Montpellier II, 88 pp.
- TWISS, P.C.; SUESS, E. & SMITH, R.M. (1969), "Morphological classification of grass phytoliths", *Soil Science Society. Am. proc.* 33, pp. 109-115.
- TWISS, P.C. (1992), "Predicted World Distribution of C3 and C4 grass phytoliths", Rapp, G., Jr. y Mulholland, S.C. (Ed), *Phytolith systematics. Emerging issues. Advances in Archaeological and Museum Science, Vol. 1, Plenum Press, London/New York, pp. 113-128.*