

## BIOMINERALIZACIONES DE SÍLICE EN *CELTIS TALA*<sup>1</sup> (CELTIDACEAE)

MARIANA FERNÁNDEZ HONAINÉ<sup>2,3</sup>, ALEJANDRO FABIÁN ZUCOL<sup>3,4</sup> y  
MARGARITA L. OSTERRIETH<sup>2</sup>

**Summary:** Silica biomineralizations in *Celtis tala* (Celtidaceae). The phytolith assemblage of *Celtis tala*, its chemical composition and variability were studied. Leaf, stem and fruit phytolith morphologies were analyzed with the purpose of establishing the contribution of each organ. The results showed that cystolith types, articulated polyhedral (with wall and lumen silicified) and irregular, rugose polyhedral phytoliths were the main morphologies present in *Celtis tala* phytolith assemblage. Silicon and calcium biomineralizations were detected by EDAX analysis and microscope observations in leaf, stem and fruit. Other elements, such as Mg, Al, K, P, Fe and S, were also detected by EDAX analysis in some phytoliths. The presence of silicon as an important structural cystolith component is detected in this study and supports the results obtained by other researchers for other species. The silicon cystolith constitution allows a long – term permanence of this morphology in sediment, and makes it an important *Celtis tala* indicator in fossil assemblages.

**Key words:** Phytolith records, *Celtis tala*, Celtidaceae, silica.

**Resumen:** Se estudió la asociación fitolítica de *Celtis tala* Planchon, su composición química y variabilidad morfológica, analizándose por separado los morfotipos presentes en hoja, tallo y fruto. La asociación fitolítica de *Celtis tala* está compuesta principalmente por cistolitos, fitolitos poliédricos articulados con paredes y/o lumen celular silicificados, y fitolitos de contorno irregular, superficie rugosa y lumen celular silicificado. Los análisis de EDAX y las observaciones al microscopio permitieron corroborar la presencia de biomineralizaciones de sílice y calcio en hoja, tallo y fruto. Además se detectaron otros elementos, como Mg, Al, K, P, Fe y S en algunos fitolitos. En particular, este trabajo revela la presencia de sílice como un componente fundamental en la estructura de los cistolitos en esta especie, apoyando los resultados obtenidos por otros autores para cistolitos en otras especies relacionadas. La presencia de un elemento mucho menos lábil que el carbonato de calcio, permite que estas estructuras luego de la descomposición de la materia orgánica, puedan permanecer durante más tiempo sin alterarse en el suelo, constituyendo importantes elementos indicadores de la presencia de *Celtis tala* en el registro fósil.

**Palabras clave:** Asociación fitolítica, *Celtis tala*, Celtidaceae, sílice.

### INTRODUCCIÓN

La biomineralización es la precipitación de un mineral o mineraloide como resultado de la actividad metabólica de los seres vivos (Jahren, 1996).

<sup>1</sup> Para Berg C. C. y S. V. Dahlberg (2001), *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm. es sinónimo de *celtis tala* Planchon.

<sup>2</sup> Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNMdP, Funes 3350, (7600) Mar del Plata. fhonaine@mdp.edu.ar

<sup>3</sup> CONICET

<sup>4</sup> Laboratorio de Paleobotánica, CICYTTP – Diamante (CONICET), Materi y España sn, Diamante (3105), Entre Ríos.

En las plantas son comunes los depósitos de cristales de carbonato y oxalato de calcio en el lumen celular y de sustancias amorfas (sílice hidratada, carbonato de calcio) en el lumen celular, pared celular o espacio intercelular (Metcalfe, 1985). Los fitolitos, biominerales originados en plantas, tienen una gran importancia taxonómica, ya que ciertas formas resultan diagnósticas para determinadas familias (Twiss *et al.*, 1969; Bertoldi de Pomar, 1975). Esta cualidad permite que aquellos fitolitos que logren conservarse adecuadamente en el suelo, como los silicofitolitos, puedan ser utilizados en la identificación de distintos grupos florísticos en el regis-

tro fósil desde principios del Cenozoico hasta depósitos recientes (Twiss *et al.*, 1969; Bertoldi de Pomar, 1975; Piperno, 1988).

Los estudios fitolíticos han concentrado su atención principalmente en las familias botánicas de mayor producción de estos cuerpos, tales como las gramíneas, ciperáceas y palmeras. Sin embargo, existen grupos vegetales con baja variabilidad y/o producción de elementos mineralizados, que son relevantes al momento de establecer inferencias paleobotánicas, paleoecológicas o paleoclimáticas y de los cuales no se cuenta con un acabado estudio de sus morfotipos fitolíticos ni del tipo de composición química de los mismos. Esta falencia en nuestro conocimiento, ocasiona la pérdida de información paleoambiental en estudios de material fitolítico disperso, en donde ciertos morfotipos son meramente descriptos y no se logra establecer una vinculación cierta con el vegetal productor. En la provincia de Buenos Aires se han realizado varios estudios fitolíticos en secuencias cuaternarias, en los cuales las colecciones de referencia de morfotipos fitolíticos resultan imprescindibles para una adecuada interpretación paleoambiental (Osterrieth, 1998; 2000; Osterrieth *et al.*, 2002; Zucol *et al.*, 2002). Como se mencionó anteriormente, predominan las descripciones en gramíneas siendo escasas las de otros grupos, como las de especies nativas arbóreas. Dentro de ellas, *Celtis tala* Planchon, es una especie nativa de gran importancia en la provincia de Buenos Aires. Su actual distribución está restringida a pequeñas comunidades ubicadas a lo largo de la costa bonaerense desde los 24° a los 38°S, conformando bosques edáficos xerófilos (Parodi, 1940; Cabrera, 1976; Romanczuk, 1976). El conocimiento de los morfotipos fitolíticos dominantes de esta especie permitirá ampliar el espectro fitolítico de la vegetación pampeana, y así brindar información no sólo fitogeográfica sobre su distribución en el pasado, sino también sobre condiciones ambientales y edáficas presentes durante el Cuaternario.

La presente contribución tiene por objeto el estudio de las distintas estructuras silíceas presentes en hoja, tallo y fruto de *Celtis tala*, su composición química y variabilidad morfológica, de modo de determinar su importancia taxonómica y paleobotánica.

#### *Biomíneralizaciones en Ulmaceae y Celtidaceae*

Las familias Ulmaceae y Celtidaceae se caracte-

rizan por la presencia de distintos tipos de biomineralizaciones, incluyendo depósitos calcáreos (amorfos y cristalinos) y silíceos (Metcalf, 1985).

Dottori (1976) describe drusas y cristales romboédricos en mesofilo, floema y el parénquima que rodea a los haces foliares de *Celtis tala* y *Celtis pallida* Torrey, los que también son citados en otras especies del género (Satake, 1931; Sweitzer, 1971). Los frutos de *C. tala* y *Trema micranta* (L.) Blume presentan células con paredes silicificadas, drusas y concreciones de carbonato de calcio, tanto en el exocarpo como en el mesocarpo (Dottori, 1990). El endocarpo del fruto de *Celtis occidentalis* L. presenta un esqueleto de ópalo ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) sobre el cual se deposita el carbonato de calcio en forma de aragonita (Cowan *et al.*, 1997; Jähren *et al.*, 1998). Un tipo de depósito característico en las ulmáceas y celtidáceas son los cistolitos, concreciones de carbonato de calcio formadas sobre excrecencias de la membrana interior de las células (Font Quer, 1977; Metcalfe, 1985). Estudios anatómicos foliares muestran la presencia de cistolitos de forma ovoide en la epidermis de *C. tala* y *C. pallida*, contenidos en pelos de base amplia, que suelen introducirse hasta el segundo o tercer estrato del parénquima (Dottori, 1976).

Se ha descripto la presencia de depósitos silíceos en células epidérmicas de pelos, en el mesofilo foliar y en leños de *Gironniera* sp., *Parasiphonia* sp. y *Ulmus* sp. (Metcalf, 1985). Bozarth (1992) describe la presencia de silicofitolitos de tipos poliédricos y esféricos en hoja de *Celtis occidentalis*, como así también silicofitolitos articulados equinados y en forma de panel de abejas en sus frutos. Por su parte, Pearsall (2000) describe fitolitos en epidermis de semillas en *Celtis schippi* y Wallis (2003) en semillas y hojas de *Celtis philippensis* y *Trema tomentosa*.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se muestrearon hojas, frutos, tallos con crecimiento primario (tallos primarios) y tallos con crecimiento secundario (tallos secundarios) de 10 ejemplares de *Celtis tala*, presentes en la Reserva Integral Laguna de los Padres, provincia de Buenos Aires (37° 55' - 37° 57' S; 57° 43' - 57° 45' W).

El material a procesar se colocó en ultrasonido por 15-20 minutos, se lavó con agua destilada, se secó en estufa y se pesó (peso inicial). La extracción de fitolitos se realizó mediante la técnica de

calcinado de Labouriau (1983), mediante la cual se sometió cada muestra a una carbonización a 200° C durante 2 horas. Sobre el material carbonizado se realizó una digestión química con HCl 5N para eliminar el CaCO<sub>3</sub>, se lavó con agua destilada y se filtró con papel de filtro de cenizas taradas. Por último, se calcinó a 760° C durante 2,5 horas. Las cenizas obtenidas fueron pesadas (peso final).

En forma paralela, se tomaron dos muestras de cada órgano. En ambas se aplicaron los pasos tradicionales de la técnica de Labouriau, excepto el tratamiento con HCl, de manera de obtener tanto el material silíceo como el cálcico. Los pesos de estas muestras se compararon con las que tuvieron tratamiento ácido, de manera de poder establecer una relación en peso entre los fitolitos totales (de calcio y sílice) y los silicofitolitos.

En cada muestra se calculó el contenido de fitolitos en relación con la materia seca según la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de fitolitos (\%)} = (\text{Peso final} / \text{Peso inicial}) \times 100$$

Las cenizas obtenidas de la calcinación con tratamiento ácido fueron montadas en aceite de inmersión para su observación microscópica. Para la obtención de las frecuencias relativas de cada morfotipo se determinó la unidad muestral mínima, que en este caso fue de 300 fitolitos por preparado.

Se midieron los fitolitos más abundantes y se

calcularon tres valores para cada morfotipo: valor mínimo (media aritmética) valor máximo.

Para su descripción e ilustración los preparados fueron observados con un microscopio óptico Leitz Wetzlar D.35780 con tubo de dibujo y las fotografías fueron obtenidas mediante una cámara Kodak DC5000. Para un mayor detalle de las morfologías y para analizar la presencia de sílice y calcio en las cenizas se utilizaron los microscopios electrónicos de barrido JEOL JSM-6460LV perteneciente a la Universidad Nacional de Mar del Plata y Phillip 515 perteneciente al CITEFA y se realizaron estudios semicuantitativos dispersivos (EDAX) con ventana de Be, operando entre 15 y 25 kV. Asimismo, se tomaron microfotografías de las morfologías más representativas. Los remanentes de las cenizas y preparados microscópicos resultantes de esta investigación se encuentran depositados en la colección del Laboratorio de Geoecología de Suelos, del Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, FCEyN, UNMdP.

## RESULTADOS

### *Morfologías fitolíticas silíceas*

#### *Hoja*

En la asociación fitolítica de hoja los cistolitos aislados constituyen en promedio el 56% de los morfotipos observados (Fig. 1 H - M, R - T y 2;

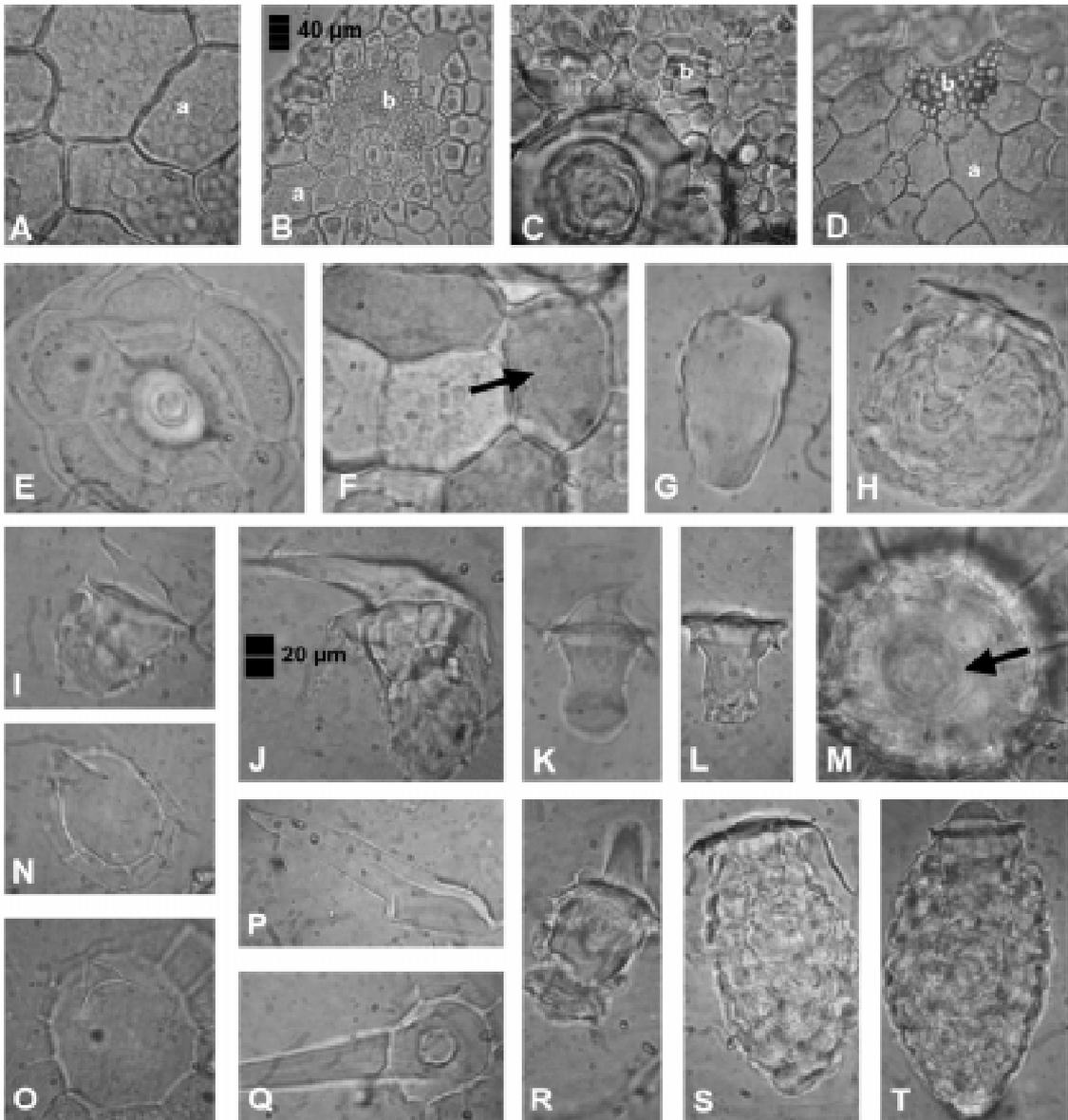
**Tabla 1.** Frecuencia relativa de morfotipos fitolíticos en *Celtis tala*.

Morfotipo	Frecuencia relativa (%)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Cistolitos aislados	□			
Cistolitos atilados	□			
olifios aislados		□□	□	□
olifios atilados	□	□	□	□□
flodados atilados		□□		
itolitos ias aislados				□
itolitos ias atilados				□
itolitos odisito lioidal				□
stoas	□			
lós	□	□□	□□□	
oidtiliados		□□□	□□	□

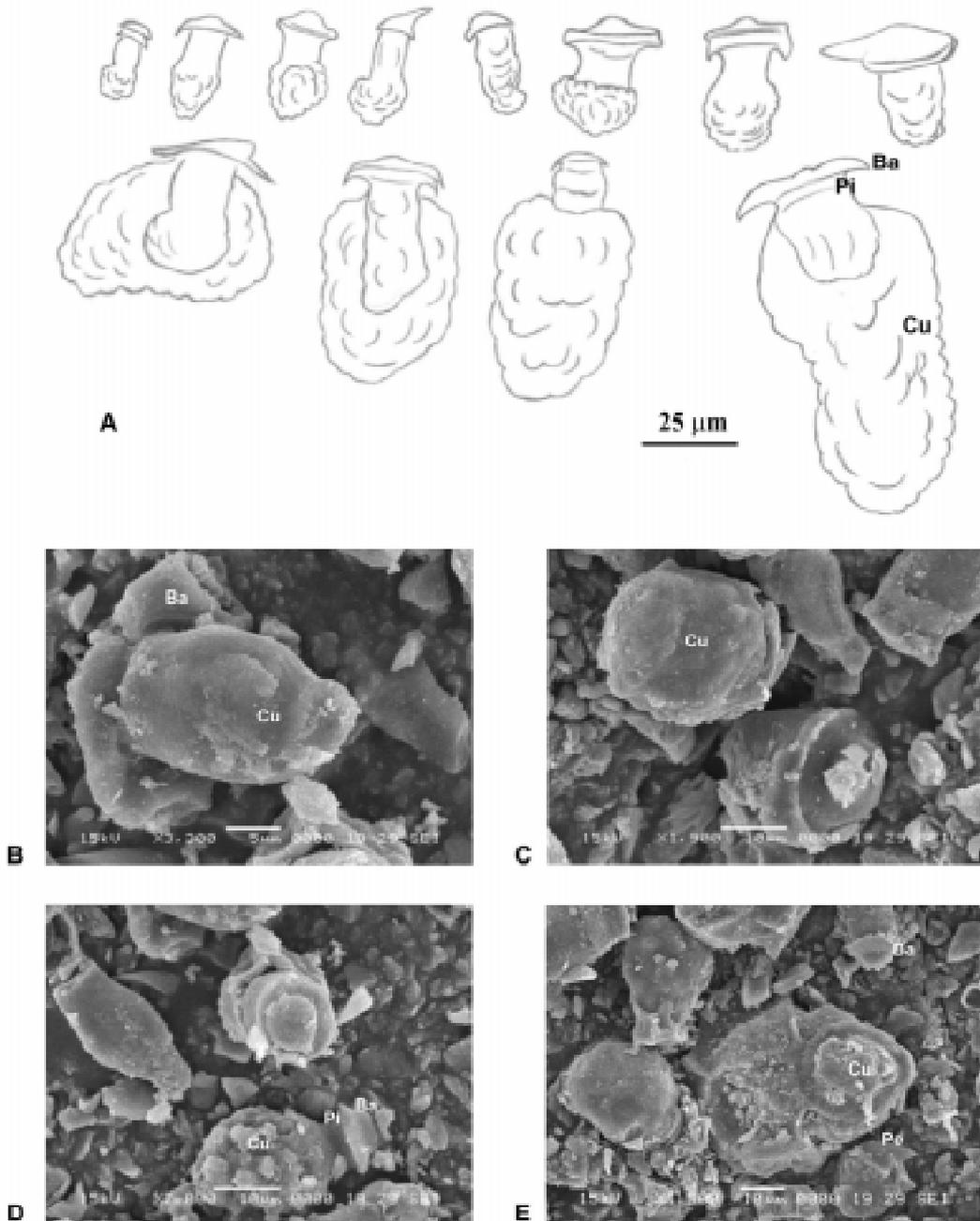
Los valores son las medias

Tabla 1). Están formados por una base de contorno poligonal a elíptico, inserta en la epidermis, de 10 (27) 80  $\mu\text{m}$  de diámetro, sobre la cual puede desarrollarse un pelo o una saliencia prominente redondeada (Fig. 1 I - K, L, R y 2). Un pie cilíndrico, de longitud y diámetro variable, une el cuerpo del cistolito que se desarrolla en el lumen celular con la

base. Este pie, que en muchos casos se encuentra muy reducido por la acumulación de capas de crecimiento en el cuerpo del cistolito, puede tener 5 (12) 35  $\mu\text{m}$  largo y 5 (13) 30  $\mu\text{m}$  de diámetro. El contorno del cuerpo del cistolito puede ser ovoide, con el eje paralelo a la superficie epidérmica de 7,5 (17) 25  $\mu\text{m}$  y el eje perpendicular de 7,5 (13) 50  $\mu\text{m}$ ;



**Fig. 1.** Fitolitos foliares de *Celtis tala*. A - D. Fitolitos poliédricos articulados de origen epidérmico (a) y subepidérmico (b). E. Vista superficial de la cara inferior de un fitolito articulado, donde se observa la base y parte del pie cistolítico y las células epidérmicas adyacentes. F - G. Fitolitos poliédricos articulados (F) y aislados (G). H. Cistolito redondeado, vista lateral. I - K. Cistolitos en distintos estados de desarrollo, formados en la base de pelos. L. Cistolito con escaso desarrollo del cuerpo. M. Corte óptico de cistolito redondeado, en donde se observa el pie central y el desarrollo concéntrico de las capas que forman el cuerpo. N y O. Pelos y fitolitos poliédricos articulados. P y Q. Pelos con paredes silicificadas. R - T. Cistolitos ovoides alargados en distintos estados de desarrollo.



**Fig. 2.** Cistolitos de *Celtis tala*. A. Distintos estados de desarrollo (Ba: base del cistolito, Pe: pelos, Pi: pie, Cu: cuerpo). B. Cistolito con cuerpo escasamente desarrollado. C. Vista inferior del cuerpo de un cistolito. D. Vista lateral de un cistolito redondeado. E. Vista general de distintos cistolitos.

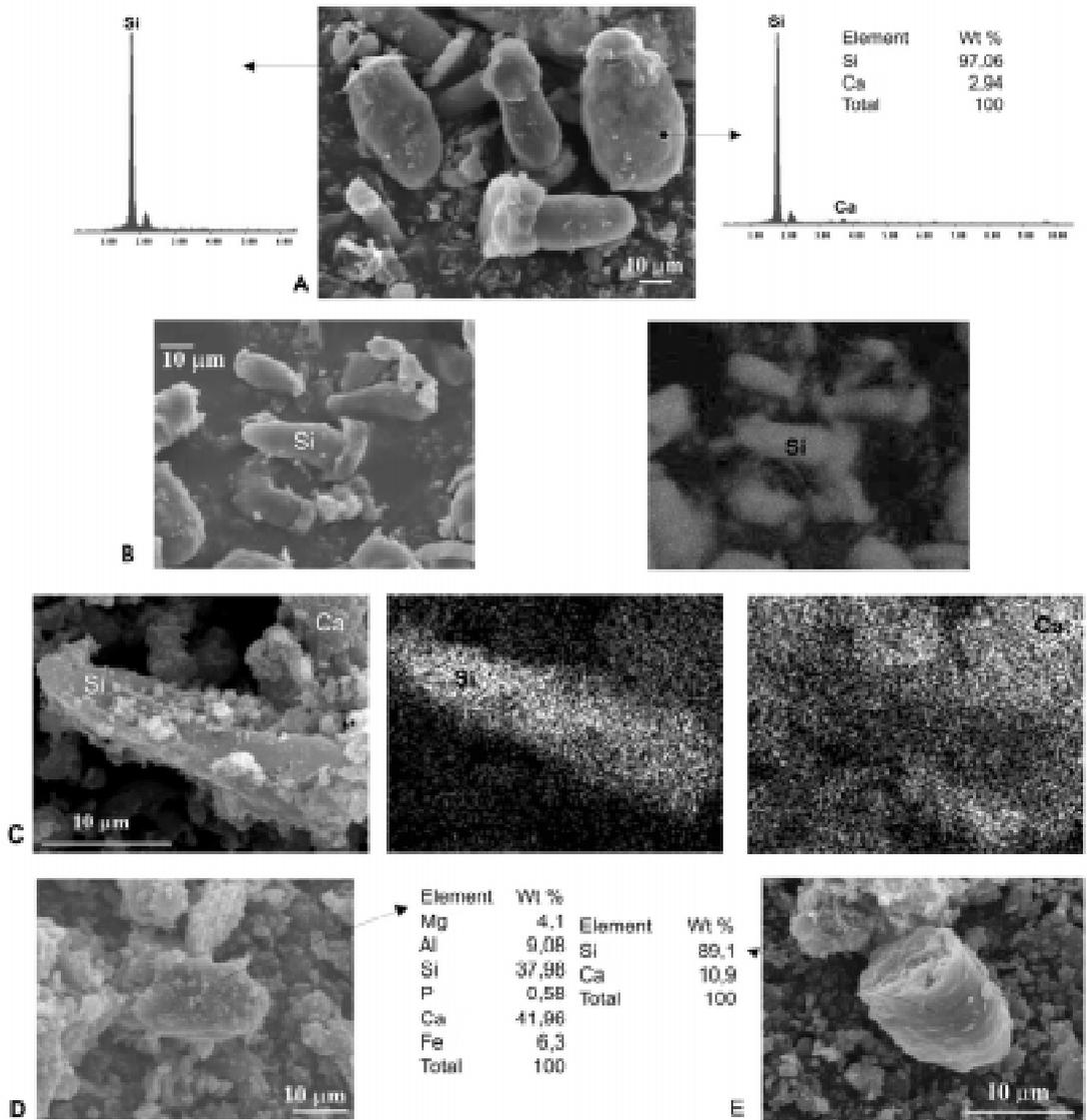


(asignados a los tallos primarios y secundarios) y fitolitos de contorno irregular, superficie rugosa y el interior silicificado aislados y articulados (asignados a fruto). Se caracteriza además por la presencia en menor proporción de pelos, estomas, fitolitos poliédricos aislados de tallos primarios y secundarios y fruto, fitolitos poliédricos articulados de hoja

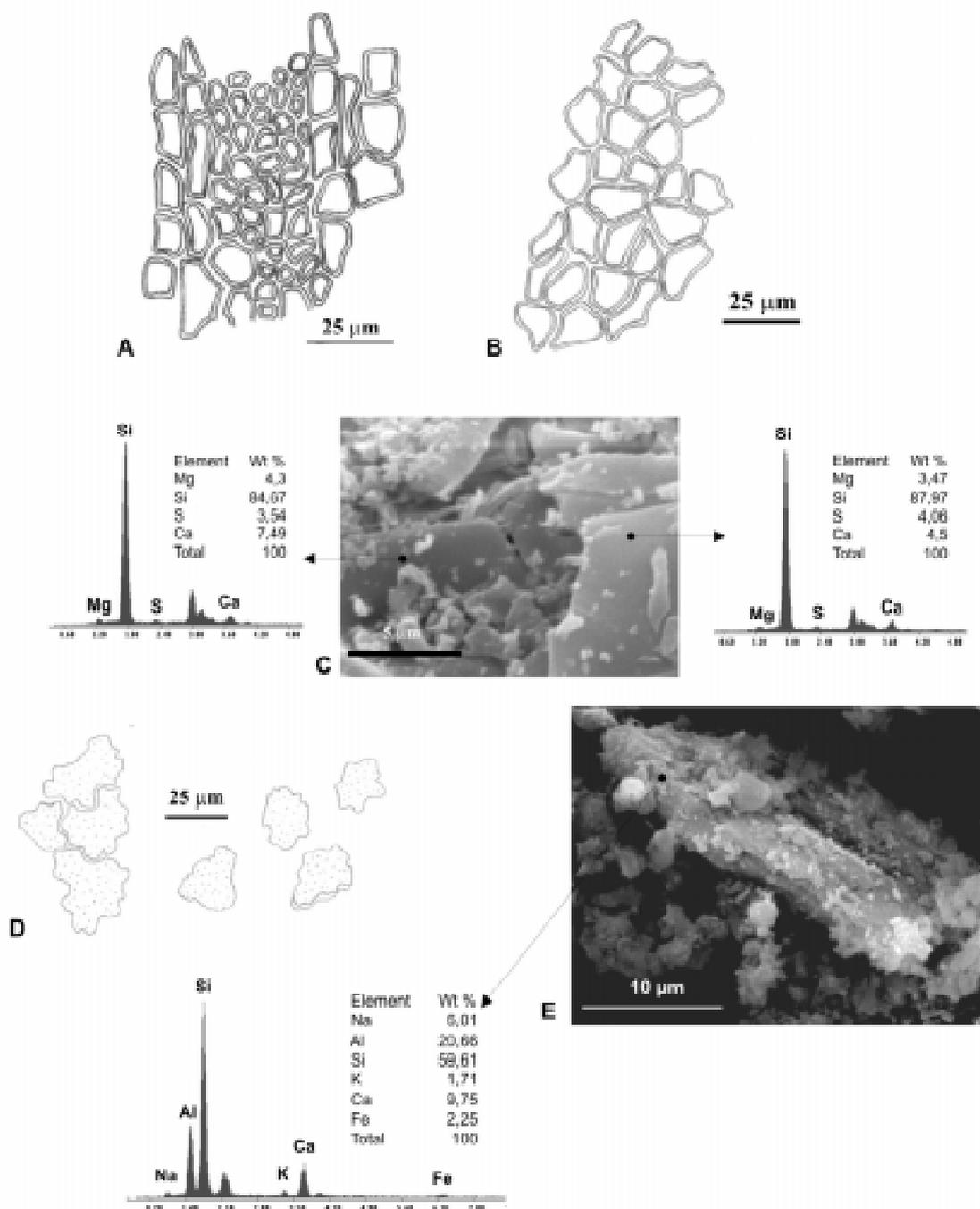
y fruto.

*Contenido de fitolitos y naturaleza química*

Los valores medios del contenido de fitolitos (% en peso seco) en las muestras con tratamiento ácido permiten diferenciar dos tendencias: la hoja y el fruto con los valores más elevados y los dos tipos de tallos con los más bajos. Estas tendencias, se acrecientan cuando se consideran las muestras



**Fig. 3.** A. EDAX de cistolitos de hojas en muestras con tratamiento ácido, realizados en la base y cuerpo. B. Análisis elemental por área (mapping) de Si de cistolitos en muestras con tratamiento ácido. C. Mapping de sílice y calcio de fitolito poliédrico en muestras sin tratamiento ácido de hoja. D -E. EDAX en distintos tipos de cistolitos de hoja en muestras sin tratamiento ácido en donde se observa la diferencia composicional en cistolitos con cuerpo desarrollado (D) y cistolitos con escaso desarrollo de su cuerpo (E).



**Fig. 4.** A - B. Fitolitos poliédricos de tallo primario (A) y tallo secundario (B). C. EDAX de fitolitos poliédricos de tallo primario, en muestras con tratamiento ácido. D. Fitolitos de contorno irregular y superficie rugosa de fruto. E. EDAX de fitolitos de contorno irregular y superficie rugosa de fruto, en muestras con tratamiento ácido.

sin tratamiento ácido, con una marcada diferencia de los porcentajes de hoja y fruto frente a los hallados en los tallos, de igual modo que se puede observar si se compara la abundancia de estos biominerales (silíceos y cálcicos) con respecto al total de la materia vegetal seca (Tabla 2 y Fig. 5).

Los análisis efectuados mediante EDAX, confirmaron la presencia de sílice, calcio y otros elementos en los fitolitos descriptos en las muestras de hoja, tallo y fruto (Fig. 3 y 4).

Los cistolitos obtenidos en muestras de hojas con tratamiento ácido contienen un alto porcentaje de Si, tanto en la base, como en el pie y el cuerpo (Fig. 3 A y B). En las muestras sin tratamiento ácido el porcentaje de Ca aumenta y se detectan otros elementos como Mg, P, Al y Fe, pero el silicio (Si) constituye una parte importante en la composición del cistolito (Fig. 3 D y E). Los fitolitos poliédricos, menos frecuentes en la asociación fitolítica de hoja, están constituidos casi en su totalidad por Si (Fig. 3 C).

Los fitolitos poliédricos hallados en muestras de tallo con tratamiento ácido están constituidos principalmente por Si (más del 80%), pero presentan además Mg, S y Ca (Fig. 4 C).

Los fitolitos de contorno irregular y superficie rugosa, predominantes en la asociación fitolítica de fruto, están constituidos por un 60% de Si, 20% de Al y en menor proporción por Ca, Na, Fe y K (Fig. 4 E).

## DISCUSIÓN

De acuerdo a las observaciones realizadas y estudios previos (Dottori, 1976), es posible asignar un origen anatómico epidérmico, subepidérmico y en algunos casos en los tejidos de conducción, de los morfotipos fitolíticos de hoja y tallos descriptos

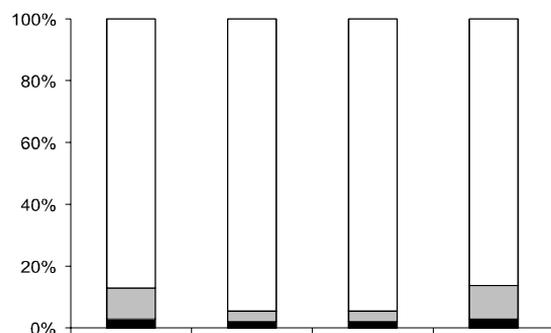


Fig. 5. Porcentajes de sílice (negro), de calcio (gris) y resto de materia orgánica (blanco) calculado en peso seco.

en este trabajo.

Los resultados expuestos revelan que la hoja de *Celtis tala* presenta, además de los cistolitos descriptos por Dottori (1976), fitolitos poliédricos, estomas y pelos simples lineares silicificados. Los cistolitos observados se encuentran por debajo de pelos o de células algo prominentes. Estas estructuras están situadas dentro de litocistos, células inicialmente epidérmicas y luego subepidérmicas, las que se caracterizan por una elevada concentración de mitocondrias, retículo endoplasmático y aparato de Golgi con respecto a las restantes células de la epidermis (Watt *et al.*, 1987). El largo máximo total de los cistolitos de *Celtis tala* (256  $\mu$ m) resulta mayor que en los observados en *Pilea cardieri* (217  $\mu$ m) y en otras Urticaceae (150  $\mu$ m) (Metcalf, 1985; Watt *et al.*, 1987). El ancho del cistolito en *Celtis tala* puede alcanzar los 75  $\mu$ m, mientras que en representantes de Urticaceae sólo llega a 40  $\mu$ m (Metcalf, 1985; Watt *et al.*, 1987).

La mayoría de los estudios anatómicos coinciden en que el componente principal de los cistolitos es el carbonato de calcio, depositado en forma cristalina o amorfa (Metcalf, 1985; Watt *et al.*, 1987; Wu & Kuo-Huang, 1997; Kuo-Huang *et al.*, 2002), siendo escasos los trabajos que mencionan la presencia de sílice (en forma de dióxido de silicio o de silicato de calcio) en su composición (Metcalf, 1985; Watt *et al.*, 1987; Piperno, 1988). Nuestros resultados provenientes del análisis con EDAX coinciden con lo hallado por Watt *et al.* (1987). Estos autores observaron que el Si forma parte del cuello y cuerpo del cistolito, mientras que el Ca está restringido al cuerpo principal del cistolito, conclusiones que apoyan las ideas de otros investigadores sobre la composición química de estas estructuras (Watt *et al.*, 1987). Asimismo, detectan la presencia de Mg, y no así la de P, elementos que junto al Al y Fe han sido observados en los análisis del presente trabajo.

Si bien estudios previos han detectado la presencia de sílice en los cistolitos, este no ha sido considerado como fundamental en la estructura de los mismos. Las fotos a los microscopios óptico y electrónico de barrido obtenidas de muestras con tratamiento ácido permiten observar que los cistolitos conservan su morfología y pueden ser perfectamente identificados aun cuando el calcio ha sido removido y solo se conserva su estructura silíceo. Esto reviste un importante valor paleobotánico, considerando que la sílice constitu-

ye un elemento menos lábil y de mejor preservación en el suelo, que el calcio.

Las diferencias observadas en el contenido de calcio entre muestras de hoja y tallos pueden ser atribuidas a la presencia de este elemento no solo en los cistolitos, sino también en las drusas y cristales romboédricos descriptos en otras partes del tejido por Dottori (1976) (Tabla 2).

Los morfotipos fitolíticos observados en los tallos primarios y secundarios son similares y pueden ser asignados al tejido epidérmico. El contenido de fitolitos (en % del peso seco) en muestras con tratamiento ácido es similar para los tallos primarios y secundarios estudiados, de lo que se desprende que la acumulación de sílice en estos órganos no estaría relacionada a la edad del órgano, ni a la aparición del crecimiento secundario. El análisis con EDAX refleja la presencia de otros elementos como Mg, S y Ca, además del Si, el principal componente.

Los morfotipos fitolíticos hallados en fruto pueden ser asignados al tejido epidérmico o parénquima subepidérmico del exocarpo (fitolitos poliédricos con paredes y/o el interior silicificados) y al estrato de transición del mesocarpo (fitolitos de contorno irregular y superficie rugosa), de acuerdo a la descripción realizada por Dottori (1990). Estos últimos son similares a los descriptos para el mismo órgano en *Celtis shippii* (Pearsall, 2000).

El fruto de *Celtis* sp. ha sido estudiado en varias especies, encontrándose habitualmente concreciones de carbonato de calcio (aragonita) depositadas sobre un esqueleto silíceo y paredes silicificadas en células provenientes de tejidos del exocarpo y mesocarpo (Dottori, 1990; Cowan *et al.*, 1997; Jähren *et al.*, 1998). Los análisis con EDAX en los fitolitos de contorno irregular y superficie rugosa en muestras con tratamiento ácido reflejan no solo la presencia de Si, como componente principal, sino también de Al, Ca, Na, K y Fe. Los valores del contenido de calcio en este órgano en peso seco son los más elevados de todos los analizados, representando el 11% del peso seco, lo que concuerda con los antecedentes anteriormente citados (Dottori, 1990; Cowan *et al.*, 1997; Jähren *et al.*, 1998).

## CONCLUSIONES

Los resultados aquí expuestos revelan la presencia de variadas morfologías de silicofitolitos en

hojas, tallos de diferentes edades y frutos, algunas de las cuales habían sido citadas para el género por Bozarth (1992), Runge (1999), Pearsall (2000) y Wallis (2003) y para esta especie en particular por Dottori (1976, 1990).

La asociación fitolítica de *Celtis tala*, en base al análisis de los morfotipos fitolíticos de hoja, tallos y fruto, está compuesta principalmente por cistolitos, fitolitos poliédricos articulados y fitolitos de contorno irregular, superficie rugosa e interior silicificado.

Los análisis de EDAX y las observaciones al microscopio permitieron corroborar y determinar la presencia de biomineralizaciones de sílice y calcio en hoja, tallo y fruto.

Surge de este trabajo que el silicio constituye un componente fundamental en la estructura de los cistolitos, a diferencia de lo que se menciona en gran parte de la literatura botánica donde se describen a los cistolitos como concreciones principalmente de calcio. Por ello, se plantea la necesidad de revisión del término cistolito, dado que, en *Celtis tala* y quizás en otras especies de celtidáceas, estarían compuestos principalmente por silicio.

La composición silícea de las biomineralizaciones de los órganos analizados y especialmente de los cistolitos (morfologías características de Celtidaceae), favorece su permanencia durante más tiempo sin alterarse en el suelo, en comparación con un elemento más lábil, como el carbonato de calcio. De esta manera es posible utilizar estas estructuras como elementos indicadores de esta familia en el registro fósil y en particular de *Celtis tala*.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto 15/E239 EXA 292/04 de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Los autores desean agradecer a la Dra. Mariana Brea por la lectura y comentarios del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- BERG, C. C. & S. V. DAHLBERG. 2001. A revision of *Celtis* subg. *Mertensia* (Ulmaceae). *Brittonia* 53: 66-81.
- BERTOLDI DE POMAR, H. 1975. Los silicofitolitos: Sinopsis de su conocimiento. *Darwiniana* 19: 173-206.

- BOZARTH, S. R. 1992. Classification of opal phytoliths formed in selected dicotyledons native to the Great Plains. In: RAPP, G. & S. C. MULHOLLAND (eds.), *Phytolith Systematics*, pp. 193-214. Plenum Press, Nueva York.
- CABRERA, A. L. 1976. *Regiones fitogeográficas argentinas*. Editorial ACME SACI, Buenos Aires.
- COWAN, M. R., M. C. GABEL, A. H. JAHREN & L. L. TIESZEN. 1997. Growth and biomineralization of *Celtis occidentalis* (Ulmaceae) pericarps. *Am. Midl. Nat.* 137: 266-273.
- DOTTORI, N. M. 1976. Morfología foliar en *Celtis tala* y *Celtis pallida* con especial referencia a los domacios. *Kurtziana* 9: 63-80.
- DOTTORI, N. M. 1990. Anatomía reproductiva en Ulmaceae "sensu lato" II. Estructura y desarrollo del fruto de *Celtis tala* y *Trema micrantha*. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 26: 247-257.
- FONT QUER, P. 1977. *Diccionario de Botánica*. Editorial Labor, Barcelona.
- JAHREN, A. H. 1996. How and why do phytoliths form?: Biomineralization. *The Phytolitharien* 9: 2-10.
- JAHREN, A. H., M. L. GABEL & R. AMUNDZON. 1998. Biomineralization in seeds: developmental trends in isotopic signatures of hackberry. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 138: 259-269.
- KUO-HUANG, L. L., T. YEN & S. C. CHEN. 2002. Formation of calcium oxalate and calcium carbonate depositions in the leaves of *Ficus pumila* L. var. *awkeotsang* (Makino) Corner. *Taiwania* 47: 1-10.
- LABOURIAU, L. G. 1983. Phytolith work in Brazil: a minireview. *The Phytolitharien* 2: 6-10.
- METCALFE, C. R. 1985. Secreted mineral substances. Crystals. In: METCALFE, C.R. & L. CHALK (eds.) *Anatomy of the Dicotyledons Vol II. Wood structure and conclusion of the general introduction*, pp: 82-97. Ed. Clarendon Press, Oxford.
- OSTERRIETH, M. 1998. Phytoliths in Late Quaternary paleosoils of the Pampean Plains, Buenos Aires, Argentina: paleoenvironmental implications. *Abstracts II International Meeting of Phytolith Research*. 1: 33.
- OSTERRIETH, M. 2000. Silicofitolitos una herramienta para la comprensión de procesos pedológicos del Cuaternario. *Actas XVII Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo* V: 21.
- OSTERRIETH, M., MARTINEZ, G., ZURRO, D., ZUCOL, A., BREA, M & D. MAZZANTI. 2002. Procesos de formación del sitio 2 de la localidad arqueológica Amalia: evolución paleoambiental. In: MAZZANTI, D. L.; BERÓN, M. A. & F. W. OLIVA (Ed). *Del mar a los salitrales: Diez mil años de historia pampeana en el umbral del tercer milenio*. pp 355-363. UNMdP. Sociedad Argentina de Arqueología.
- PARODI, L. R. 1940. La distribución geográfica de los talares en la Provincia de Buenos Aires. *Darwiniana* 4: 33-56.
- PEARSALL, D. M. 2000. *Paleoethnobotany: A handbook of procedures*. Academic Press, San Diego.
- PIPERNO, D. R. 1988. *Phytolith analysis. An archaeological and geological perspective*. Academic Press, INC., San Diego.
- ROMANCZUK, M. C. 1976. Nota sobre algunas especies de *Celtis* de la Argentina. *Hickenia* 1: 5-12.
- RUNGE, F. 1999. The opal phytolith inventory of soils in central Africa – quantities, shapes, classification and spectra. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 107: 23-53.
- SATAKE, Y. 1931. Systematic and anatomical studies on some Japanese plants. I. Systematic importance of spodograms in the Urticales. *J. Fac. Sci. Tokio Univ.* 3: 485-511.
- SWEITZER, E. M. 1971. Comparative anatomy of Ulmaceae. *Jour. Arnold Arb.* 52: 523-585.
- TWISS, P.C., SUESS, E. & R. M. SMITH. 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 109-115.
- WALLIS, L. A. 2003. An overview of leaf phytolith production patterns in selected northwest Australian flora. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 125: 201-248.
- WATT, W. M., C. K. MORRELL, D. L. SMITH & M. W. STEER. 1987. Cystolith development and structure in *Pilea cadieri* (Urticaceae). *Ann. Bot.* 60: 71-84.
- WU, C. C. & L. L. KUO-HUANG. 1997. Calcium crystals in the leaves of some species of Moraceae. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 38: 97-104.
- ZUCOL, A. F., M. BREA, M. OSTERRIETH & G. MARTINEZ. 2002. Análisis fitolítico de un horizonte sedimentario del sitio 2 de la localidad arqueológica Amalia (Holoceno temprano). In: MAZZANTI, D. L.; BERÓN, M. A. & F. W. OLIVA (Ed). *Del mar a los salitrales: Diez mil años de historia pampeana en el umbral del tercer milenio*. pp 355-363. UNMdP. Sociedad Argentina de Arqueología.

Recibido el 03 de Mayo de 2005, aceptado el 16 de Setiembre de 2005.