

# ANÁLISIS FITOLÍTICOS DE LA FORMACIÓN SAN SALVADOR (PLIOCENO–PLEISTOCENO INFERIOR) EN LA CUENCA DEL RÍO URUGUAY, ENTRE RÍOS, ARGENTINA

Noelia I. PATTERER<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Paleobotánica, Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia de Tecnología a la Producción (CICYTTP-CONICET), E3105BWA, Diamante, Entre Ríos, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Entre Ríos, Subsede Diamante, Entre Ríos, Argentina. E-mail: noepatt1@hotmail.com

## RESUMEN

En el presente trabajo se da a conocer el primer registro fósil a través de las asociaciones fitolíticas halladas en los perfiles Salvia y Concordia correspondientes a la Formación San Salvador (Plioceno–Pleistoceno inferior), este de la provincia de Entre Ríos, Argentina. Los procesos metodológicos se basaron en la aplicación de los principios y técnicas clásicos de la geología regional, geomorfología, estratigrafía y sedimentología, llevados a cabo durante el trabajo de campo y laboratorio. La obtención de silicofitolitos se realizó siguiendo el protocolo de procesamiento de muestras sedimentarias de origen fluvial. Los sedimentos son principalmente gravas matriz soportadas y arenas con estructuras internas y de superficie, de diferentes tamaños de grano y color, la fracción pelítica está representada por estratos arcillosos de importante potencia. Los silicofitolitos fueron observados frecuentemente en los estratos de textura psamítica fina a pelítica. Mientras que se registraron ausencia y/o escases de silicofitolitos en los estratos gravosos. Fitolitos elongados, poliédricos, flabeliformes y lobulares e irregulares fueron comunes al total de las muestras fértiles, mientras que entre los fitolitos de menor tamaño; globulares, bilobados, conos truncados y oblongos y crenados se presentaron en ambos perfiles. Se destaca una abundante presencia de fitolitos en forma de sillas de montar colapsadas afines a bambusoideas en las muestras correspondientes al perfil Concordia. Las asociaciones fitolíticas estudiadas representan el primer registro fósil de la Formación San Salvador, y están integradas por elementos de las familias Arecaceae, Poaceae (Bambusoideae, Panicoideae, Danthonioideae, Chloridoideae y Pooideae) y Podostemaceae. Estas asociaciones fueron originadas por paleocomunidades de bosques higrófilos, palmares y bosques en galería, que indican un clima tropical-subtropical húmedo, con gran disponibilidad hídrica.

**Palabras clave:** *Formación San Salvador, fitolitos, cuenca del río Uruguay, Cenozoico superior*

## ABSTRACT

*Phytolith analysis of San Salvador Formation (Pliocene–lower Pleistocene) in the río Uruguay Basin, Entre Ríos, Argentina*

This paper describes the phytolith assemblages recovered in the San Salvador Formation (Pliocene–Lower Pleistocene), East of the Entre Ríos province, Argentina. The methodological procedures were based applications of regional geology, geomorphology, stratigraphy and sedimentology principles and techniques, which consist primarily a task field and laboratory. The silica microremains were extracted using standard protocol for sediment samples, but adapted for fluvial sediments. Sedimentary strata were conglomerates mainly of gravels matrix supported and sands of grain size different, with internal and surface structures. The clays fraction was represented by major clay strata. The phytoliths were observed in sand layers of fine texture and mud. In the gravel strata, absence and / or shortage of phytoliths were recorded. Elongated, polyhedral and fan shaped phytoliths were abundant. Smaller phytoliths as globular, bilobate, truncated cones are oblong and crenate were present in both profiles. Collapsed saddles of bambusoideas affinity were very frequent in the Concordia profile samples. The phytolith assemblages study, represent the first fossil record of this sedimentological unit, integrated by Arecaceae, Poaceae (Bambusoideae, Panicoideae, Chloridoideae and Danthonioideae) and Podostemaceae families. These assemblages were originated by humid forest, palm and riparian forests paleocommunities and indicate humid tropical-subtropical climate with high water availability.

**Keywords:** *San Salvador formation, phytoliths, Río Uruguay Basin, Upper Cenozoic*

## INTRODUCCIÓN

Los estudios fitolíticos en secuencias sedimentarias han demostrado ser una herramienta útil en la interpretación de

paleoambientes y su caracterización paleoecológica (Blinnikov *et al.* 2002, Delhon *et al.* 2003, Strömberg 2004). En la provincia de Entre Ríos para la cuenca del río Paraná, se han realizado distin-

tos trabajos entre los que cabe mencionar aquellos llevados a cabo en algunas de las principales formaciones geológicas de la región, como en la Formación Paraná (Mioceno superior), donde el análisis ca-

racterizó un ambiente dulceacuícola con cursos de agua correntosas y paleocomunidades de palmeras en entornos fluviales (Zucol y Brea 2000a c); en la Formación Puerto Alvear del Plioceno–Pleistoceno temprano (Candela *et al.* 2007), caracterizada por la presencia de fitolitos principalmente globulares afines a la familia *Arecaceae* asociados a elementos graminoides meso-megatérmicos (Zucol y Brea 2000b, 2001, 2005) y en la Formación Tezanos Pinto del Pleistoceno Tardío–Holoceno Temprano (Kröhling 1998, Kröhling *et al.* 2010), las asociaciones fitolíticas caracterizan una vegetación de clima templado a templado cálido conformando comunidades de estepas y sabanas de palmeras (Erra 2010, Erra *et al.* 2011, Erra *et al.* 2013).

En la cuenca del río Uruguay, se han descrito dos formaciones cuaternarias fluviales de similares características, la Formación San Salvador del Plioceno–Pleistoceno inferior (Iriondo y Kröhling 2007, 2008) y la Formación El Palmar del Pleistoceno superior (Iriondo 1980). Los primeros estudios fitolíticos fueron realizados por Zucol *et al.* (2005) en la Formación El Palmar (Iriondo y Kröhling 2008, Tonni 1987), donde registraron fitolitos con afinidad graminoides (del tipo *Panicoides*) conjuntamente con *Cyperaceae*, *Podostemaceae*, *Arecaceae* y angiospermas dicotiledóneas asociados a espículas de esponjas de agua dulce. Los fitolitos de *Arecaceae* hallados en esta localidad son similares en sus características morfológicas con los de la especie actual *Butia yatay* (Mart.) Becc. (Zucol *et al.* 2005). Recientemente, se dieron a conocer nuevos resultados sobre las asociaciones fitolíticas halladas en distintos perfiles correspondientes a Formación El Palmar (Patterer 2010, 2012, Patterer y Brea 2011, Patterer *et al.* 2012a, b; 2014). Este registro fósil permitió caracterizar paleocomunidades compuestas principalmente por palmeras (*Arecaceae*), estrato herbáceo de graminoides meso y megatérmicos (*Panicoides*, *Chloridoideae* y *Danthonioideae*) que definen pastizales de climas cálidos. Además, se registran fitolitos con afinidad a angiospermas dicotiledóneas que podrían

estar representando comunidades boscosas o arbustivas mixtas (Brea *et al.* 2010, Patterer 2012).

En el presente trabajo se da a conocer el primer registro fitolítico fósil de la Formación San Salvador (Plioceno–Pleistoceno inferior). Distribuida en el subsuelo del este de la provincia de Entre Ríos, Argentina, la Formación San Salvador es un depósito fluvial donde las facies de cauce están representadas por un enorme paleocauce meándrico, probablemente originado por la unión de los ríos Paraná y Uruguay. El área típica del cauce enterrado está localizada en San Salvador y las imágenes satelitales reflejan un cauce meándrico único de grandes dimensiones (*sensu* Iriondo y Kröhling 2007, 2008).

## MARCO GEOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO

La cuenca del río Uruguay está ubicada en la región sudeste de América del Sur. Tiene sus nacientes en el estado brasileño de Santa Catarina a los 27,5° S y 50° O, ya en Argentina, el río Uruguay forma el límite entre Argentina-Brasil y Argentina-Uruguay, con una dirección de escurrimiento predominantemente norte-sur desembocando en el río de La Plata. De acuerdo a su tamaño representa el segundo río de la Argentina después del Paraná (Paoli y Schreider 2000). El río Uruguay se originó durante el Plioceno sobre basaltos del Cretácico superior, con la formación de grandes meandros en el tramo superior del mismo (Iriondo 1996). Los registros sedimentarios y la información geomorfológica del Pleistoceno inferior sugieren condiciones y procesos claramente diferentes de los actuales, tanto desde el punto de vista sedimentario como geomorfológico (Iriondo y Kröhling, 2008).

La columna estratigráfica cuaternaria de la cuenca en el área de estudio se inicia con la Formación San Salvador (Fig. 1), definida por Iriondo y Kröhling (2007, 2008) en su área tipo a partir de una perforación que la caracteriza de abajo hacia arriba: a) por un depósito compuesto por arena gruesa con gravas (facies de cauce) con un espesor que oscila entre 10 y 30

m. La arena es cuarzosa, mediana a gruesa, reciclada de areniscas mesozoicas; los cantos rodados son mayoritariamente calcedonias, con escasos clastos de basalto y arenisca; b) un depósito compuesto por arena arcillosa, interpretado como relleno de cauce abandonado, de 2 a 6 m de potencia y c) un depósito formado por arcilla gris, que constituye una facies de pantano de 4 a 8 m de espesor. La Formación San Salvador constituye el mayor acuífero de la provincia de Entre Ríos (Iriondo y Kröhling 2007, 2008).

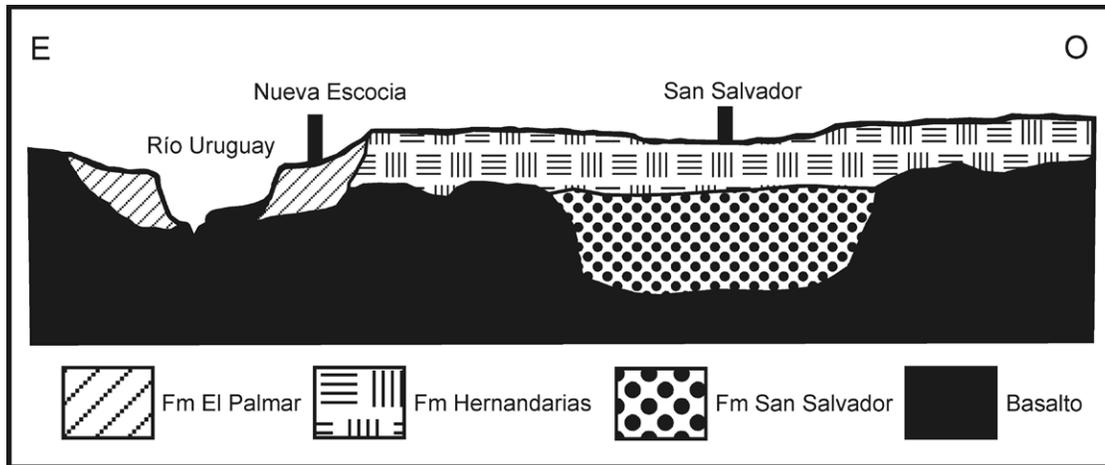
En el Pleistoceno medio no hay registro sedimentario significativo en la cuenca, por lo que se deduce la existencia de un largo periodo de erosión generalizada en la región (Kröhling e Iriondo 2007).

El Estadio Isotópico Marino 5a (EIO 5a) está representado para la cuenca media por un clima húmedo y cálido con actividad fluvial generalizada, dando origen a la Formación El Palmar (este de Entre Ríos). Dicho depósito constituye la terraza alta del río, la misma fue datada por termoluminiscencia en 80.670±13.420 años AP (Iriondo y Kröhling 2008, Kröhling 2009). Esta formación abarca depósitos sedimentarios que se extienden en una faja de 4 a 15 km de ancho a lo largo de la margen derecha del río Uruguay desde Ubajay hasta Concepción del Uruguay, integrada por arenas medianas y gruesas de origen fluvial, de color rojizo y ocre amarillento, entre las que se intercalan lentes de cantos rodados y gravas de calcedonia y ópalo. Durante los periodos húmedos la red fluvial de la cuenca se desarrolló de manera importante y se formaron amplias llanuras aluviales en los afluentes principales (Iriondo y Kröhling 2008).

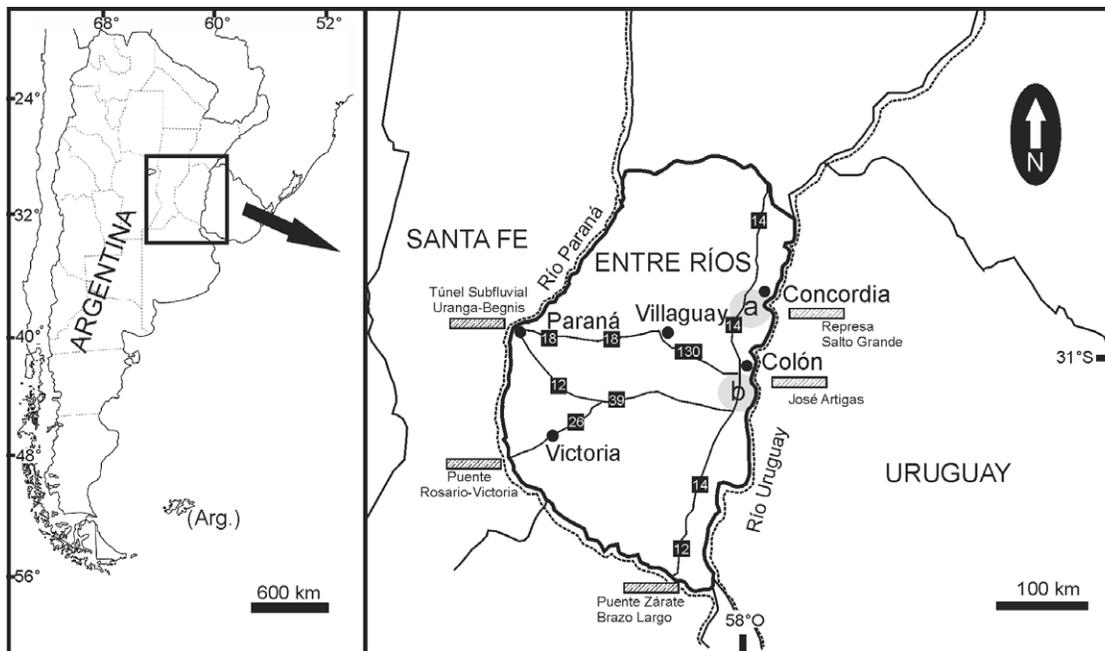
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo, extracción de fitolitos y conteo

El levantamiento estratigráfico, la caracterización sedimentológica primaria y los muestreos de los perfiles se realizaron en canteras (Fig. 2). Para el levantamiento de los perfiles se tuvieron en cuenta la geometría de los bancos, tipo de contactos, estructuras y texturas sedimentarias.



**Figura 1:** Perfil geológico esquemático del este de Entre Ríos a la latitud 31° 40'S (tomado y modificado de Iriondo y Kröhling 2007).

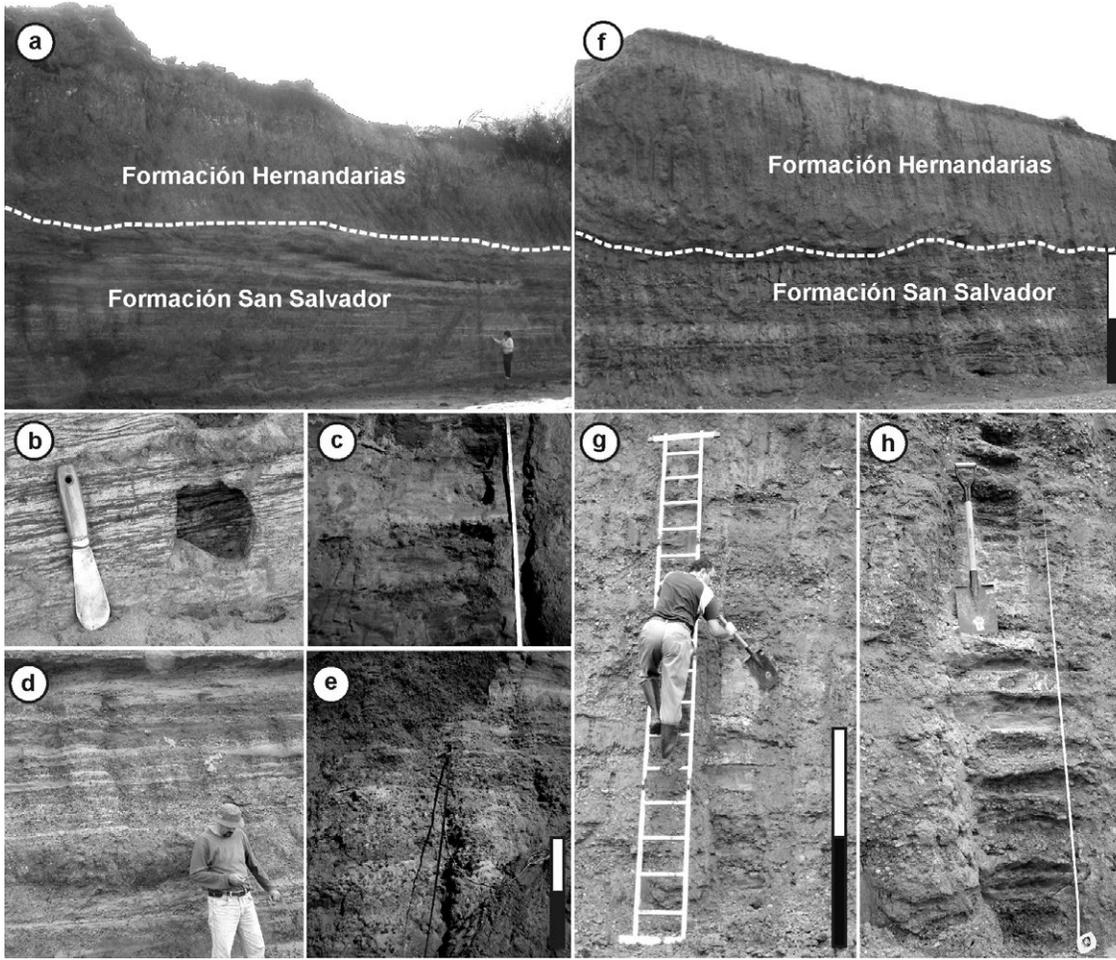


**Figura 2:** Mapa del área de estudio y ubicación de los perfiles sedimentológicos esquemáticos de la Formación San Salvador. a) Cantera Scévola, Concordia. b) Cantera Salvia, Colón.

El perfil Salvia (S:31°56'30.2"; O: 58°11'14.0") se ubica a *c.* 3 km hacia el este de la ruta Nacional N° 14 entre la ciudad de Colón y el Parque Nacional El Palmar (Fig. 3a-e), mientras que el perfil Concordia (S:31°19'10.9"; O: 57°59'44.5") se ubica en la cantera Scévola en la zona sur de la ciudad de Concordia a *c.* 2 km al sur del camping Tortugas Alegres (Fig. 3f-h). Para la obtención de las biomineralizaciones de sílice amorfo se utilizó la metodología de procesamiento convencional (Zucol *et al.* 2010), ajustando la misma a muestras de origen fluvial (Patterer 2012). La alícuota de inicio fue de 1500 g de material sedimentario, dado el volumen de la misma, se procedió a llevar a cabo una sepa-

ración previa a los fines de obtener el material cuyo tamaño de grano estuviera por debajo de los 250  $\mu\text{m}$ . La técnica, utiliza diferentes agentes químicos para eliminar las sales solubles, materia orgánica y carbonatos, en tanto que el procesamiento físico de separación granulométrica se realiza por medio de tamizado (fracción gruesa) y decantación (fracciones finas). De esta forma se obtuvieron cuatro fracciones acorde al diámetro de las partículas: fina (<5  $\mu\text{m}$ ), medias (5 a 53  $\mu\text{m}$  y de 53 a 250  $\mu\text{m}$ ), y gruesa (> 250  $\mu\text{m}$ ). Para la separación densimétrica se tomaron las fracciones medias y se utilizó una solución de politungstato de sodio (líquido pesado, densidad: 2,345  $\text{gr}/\text{cm}^3$ ). Con la

fracción liviana, se realizaron los preparados microscópicos, los cuales se hicieron en medio líquido con aceite de glicerina (lo cual facilita la observación tridimensional de los fitolitos) y preparados fijos en medio permanente, con Bálsamo de Canadá. Se contaron entre 300 y 400 fitolitos por muestra, valores estos que se encontraron por encima de la muestra mínima representativa, aquellas muestras que no presentaban estos valores mínimos de conteos no fueron consideradas para el análisis. Para el resto de las biomineralizaciones de sílice amorfo; como espículas, diatomeas y quistes de crisostomatáceas, las mismas fueron observadas pero no cuantificadas. La observación se realizó



**Figura 3:** Imágenes de la Formación San Salvador. a) Imagen general de la Formación San Salvador en cantera Salvia. b) Estrato arenoso con laminación ondulada de color negro y detalle del muestreo. c) Detalle de estrato arenoso de arenas bien seleccionadas. d) Vista general de los estratos arenosos intercalados con estratos de gravas del perfil Salvia. e) Estrato de gravas matriz soportadas. f) Vista general de cantera Scévola, donde se observa en la sección inferior la Formación San Salvador y sobreyaciendo a la misma la Formación Hernandarias. g-h) Limpieza y detalle del muestreo realizado al perfil Concordia. Escala: e=1m, f=5m, g=2m.

con un microscopio óptico Nikon Eclipse E200. El procesamiento de la información y diagramas de fitolitos se realizaron con el programa POLPAL (Walanus y Nalepka 2000, Nalepka y Walanus 2003). Mientras que para el análisis multivariado (PCA) se utilizó el programa PAST, *PA-leontological Statistics* (Hammer *et al.* 2001). Las muestras sedimentarias se encuentran depositadas en el Laboratorio de Paleobotánica del CICyTTP-CONICET.

#### **Tipos de Fitolitos: clasificación**

Los fitolitos fueron identificados por medio de acrónimos (Cuadro 1), usando la clasificación de Patterer *et al.* (2011), basada en las propuestas de Twiss *et al.* (1969), Bertoldi de Pomar (1971), Mulholland (1989), Twiss (1992), Kondo *et al.* (1994), Fredlund y Tieszen (1994) y Zucol (1996), siguiendo las normativas y descriptores propuestos por el ICPN WG (Madella *et al.* 2005). En el presente trabajo

se lograron identificar distintos tipos de morfotipos pertenecientes a células cortas epidérmicas de gramíneas, las cuales permitieron distinguir entre 5 subfamilias. Fitolitos bilobados, acrónimo Ha (Patterer *et al.* 2011), se encuentran predominantemente en gramíneas panicoides (Twiss *et al.* 1969, Mulholland 1989, Fredlund y Tieszen 1994, Kondo *et al.* 1994). Fitolitos en forma de sillas de montar, acrónimo Sm (Patterer *et al.* 2011) son producidos en una alta proporción por gramíneas chloridoides (Twiss *et al.* 1969; Mulholland 1989, Fredlund y Tieszen 1994, Kondo *et al.* 1994), dentro de este grupo se encuentran los fitolitos denominados sillas de montar colapsadas (Piperno y Pearsall 1998) cuyo acrónimo es Sm06 (Patterer *et al.* 2011), éstos fitolitos han sido registrados principalmente en gramíneas bambusoides (Stromberg 2004, Kondo *et al.* 1994, Lu *et al.* 1995, Lu y Liu 2003, Montti *et al.* 2009). Fitolitos

oblongos y crenados (Fernandez Honaine *et al.* 2009), crenados (Fredlund y Tieszen 1994) y/o polilobados trapeziformes (Madella *et al.* 2005) acrónimo Oc (Patterer *et al.* 2011) son producidos principalmente por gramíneas pooides (Twiss *et al.* 1969). Los conos truncados, cuyo acrónimo es Ct (Patterer *et al.* 2011) y/o rondel (Mulholland 1989) son producidos en abundancia por gramíneas arundinoides/ danthonioides (Carter 2002) y también son producidos en abundancia por gramíneas pooides (Twiss *et al.* 1969). En las asociaciones fitolíticas descritas se encontraron con frecuencia fitolitos graminiformes no diagnósticos como formas aguzadas (Twiss 1992) ganchos, pelos y macropelos (Madella *et al.* 2005), cuyo acrónimo es Ac (Patterer *et al.* 2011). Fitolitos en forma de abanico (flabelos) producidos en el interior de células epidérmicas buliformes (Twiss *et al.* 1969, Kondo *et al.* 1994) de acrónimo Fl (Pat-

**CUADRO 1:** Denominación de morfotipos fitolíticos utilizados en este trabajo.

Acronimo <sup>b</sup>	Breve descripción	Grupo <sup>a</sup>	Denominación propuesta por el ICPN <sup>c</sup>
Ac	Elementos aguzados con base, a veces en forma de gancho y barbas aciculares, antrosas, retrosas y/o cortas.	Aculeolita	<i>Point shaped</i>
Ha	Elementos originados a partir de células cortas en forma de halterios.	Halteriolita	<i>Bilobate</i>
Fl	Elementos en forma de abanico.	Flabelolita	<i>Cuneiform bulliform cell</i>
Gl	Elementos Globulares esféricos o elipsoidales de superficie lisa o espinosa.	Globulolita	<i>Globular</i>
Ln	Elementos de cuerpo claviforme.	Longolita	<i>Fusiform</i>
Mi	Elementos prismáticos, elongados, de bordes lisos, cuyo largo nunca supera los 30 µm.	Prismatolita	<i>Elongate</i>
Mp	Elementos prismáticos, elongados, de contorno levemente ensanchado, liso y/o festoneados.		
Ct	Elementos originados a partir de células cortas en forma de cono truncado.	Estrobilolita	<i>Trapeziform short cell</i>
Sx	Elementos poliédricos.	Poliédricos	<i>Parallepipedal bulliform cell</i>
Sm	Elemento en forma de silla de montar.	Doliolita	<i>Saddle</i>
Du	Elemento cilíndrico originado a partir de componentes del tejido de conducción.	Elementos de conducción	<i>Cylindric sulcate tracheid</i>
Oc	Elementos oblongos y crenados	-----	<i>Oblong and crenate</i>

<sup>a</sup> Bertoldi de Pomar (1971); <sup>b</sup> Patterer *et al.* (2011); <sup>c</sup> Madella *et al.* (2005)

terer *et al.* 2011), fitolitos elongados formados por células largas epidérmicas de gramíneas, Mp (Patterer *et al.* 2011) y poliédricos Sx (Patterer *et al.* 2011).

Los fitolitos no graminiformes están representados por morfotipos globulares espinosos, acrónimo Gl (Patterer *et al.* 2011) producidos por palmeras (Kondo *et al.* 1994, Runge 1999) y fitolitos lobulares, Lb e irregulares, Ln (Patterer *et al.* 2011) correspondientes a células subepidérmicas de podostemáceas (Bertoldi de Pomar 1971, 1972, 1975, Bertoldi de Pomar y Tur 1970).

## RESULTADOS

### Descripción de los perfiles sedimentológicos

En el departamento Colón, el perfil Salvia presenta una potencia de 3,5 m y 22 muestras (Fig. 4a). Litológicamente de piso a techo se observa, 2 m de gravas matriz soportadas de tamaño mediano, de subredondeadas a bien redondeadas, subprismáticas a esféricas, bien seleccionadas. Suprayacen estratos arenosos en los cuales se pueden identificar las siguientes facies: a) arena fina masiva; b) arena de granulometría fina a muy gruesa con la presencia de ondulitas; c) arena mediana a

fina con estratificación cruzada; d) arena de granulometría media con laminación horizontal. Suprayaciendo se encuentra la Formación Hernandarias con una potencia aproximada de 2 m (Fig. 3a).

En el perfil Concordia, de 4 m de potencia ubicado en cantera Scévola (Fig. 4b) se obtuvieron 31 muestras. Dicho perfil, se caracteriza por presentar una sucesión de estratos formados por gravas matriz soportadas de color anaranjado intercaladas con estratos de arenas de textura muy gruesa, masivas, moderadamente consolidadas y arena fina a muy gruesa con laminación cruzada y facies finas de arcillas masivas muy plásticas con manchones de arena de color amarillo (Fig. 3f-h).

### Caracterización fitolítica

*Perfil Salvia.* Este perfil presentó fitolitos en abundancia cuantificables en un estrato basal de 20 centímetros de espesor (1856, 1857) y en la sección superior del perfil de 1,50 m de potencia (1866, 1865, 1864, 1863, 1862, 1861, 1860, 1867). La sección basal mostró una asociación fitolítica caracterizada por la presencia de fitolitos graminoides no diagnósticos como; elongados, flabelos y poliédricos, fitolitos originados en elementos de conducción, Du01 (Fig. 5g) y espículas de es-

pongiarios tanto enteras como fragmentadas. Por su parte, en la sección superior, las asociaciones fitolíticas presentan una abundante presencia de fitolitos elongados, de los cuales se destacaron elongados cortos de bordes lisos, Mi01 (Fig. 5f), elongados largos y delgados, Mp04 (Fig. 5h), elongados de bordes ondulados (Mp08) y elongados de bordes lisos, Mp09 (Fig. 5i). Los fitolitos poliédricos fueron los más abundantes, se pudo observar la presencia de poliédricos grandes (Sx01, Sx02 y Sx03), así como de poliédricos pequeños (Mx01, Mx02 y Mx03). Se observaron frecuentes fitolitos en forma de flabelos (Fig. 5j, k), como así también fitolitos aguzados, Ac01 (Fig. 5n). Los fitolitos irregulares (Ln01, Ln03 y Ln04) fueron muy frecuentes en las muestras analizadas (Fig. 5a-e). De la misma manera lo hacen los fitolitos globulares, Gl04 y Gl05 (Fig. 5ñ), conos truncados: Ct03, Ct04 y Ct05 (Fig. 5s-v), así como aquellos de forma oblonga y crenada, Oc01 y Oc02 (Fig. 5o, p). En tanto que dentro de los fitolitos de menor tamaño (<40 µm) se cuantificaron de manera escasa fitolitos en formas de cruces (Ch01), de sillas de montar, Sm03 (Fig. 5w, x) y bilobados: Ha01, Ha07 y Ha10 (Fig. 5y).

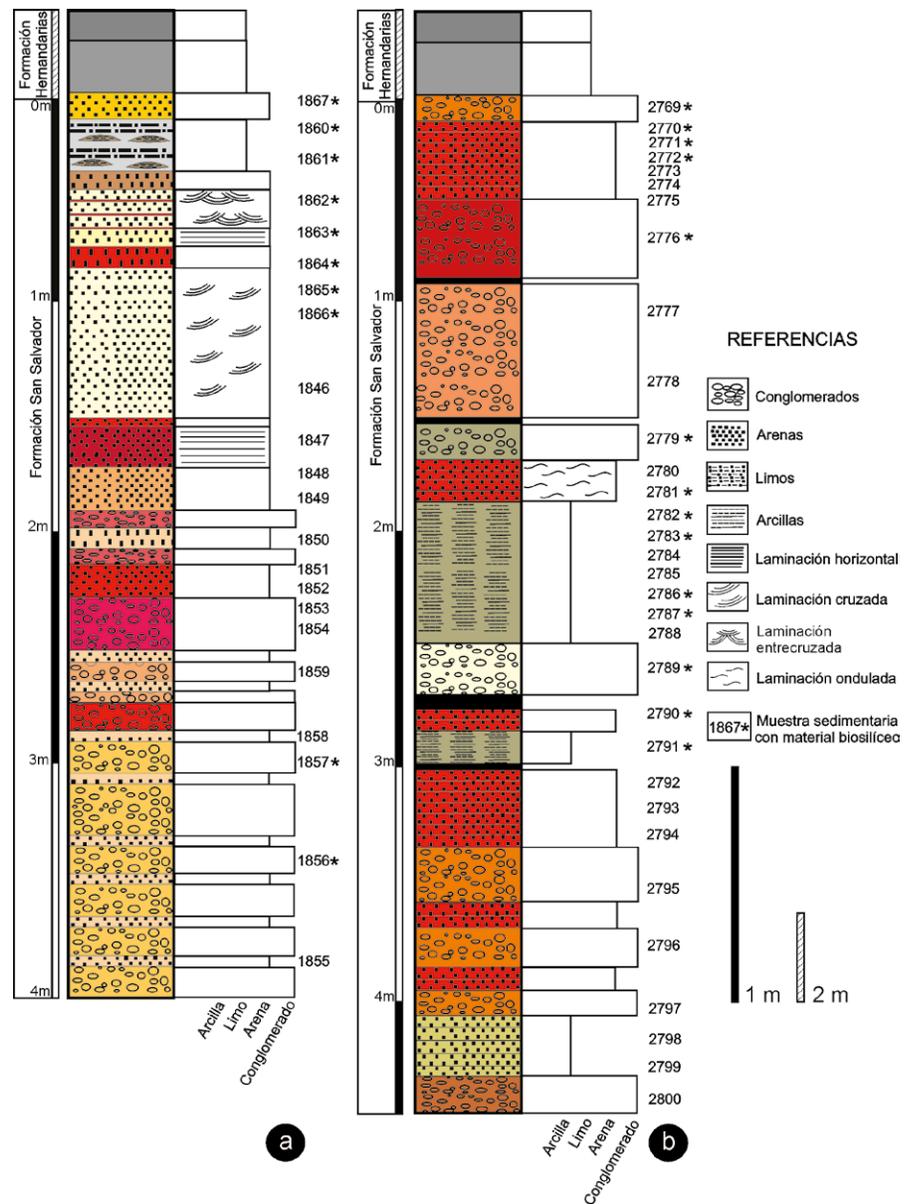
El diagrama fitolítico (Fig. 7) muestra en los niveles inferiores una importante presencia de fitolitos irregulares de podostemáceas; elongados, poliédricos y flabelos de afinidad graminoides sin poder diagnóstico, fitolitos globulares arecoideos, fitolitos oblongos y crenados de afinidad pooides y elementos derivados de tejido de conducción. En este caso los estratos resultan ser arenosos de granulometría fina a gruesa y en algunos casos la presencia de gravas. En la sección superior existe una variedad de fitolitos, tanto de mayor tamaño (>40 µm) como de menor tamaño (<40 µm); por ejemplo, son exclusivos de esta sección los fitolitos bilobados tipo Ha07 y Ha10, así como cruces (Ch01), los cuales presentan una afinidad de tipo graminoides de la subfamilia panicoides. Los fitolitos aguzados (Ac01) y los irregulares (Ln01), presentes principalmente en plantas de la familia Podostemaceae. Los estratos asociados a esta sección son

principalmente limo-arenosos.

*Perfil Concordia.* En este perfil sólo las muestras de la sección media superior presentaron suficientes silicofitolitos para realizar los recuentos (sección hasta los 2,50 m). De ésta sección, de abajo hacia arriba, en los niveles inferiores (2791, 2790, 2789) se presentaron abundantes elementos de mayor tamaño (flabelos, elongados, irregulares) con un importante grado de desgaste (Fig. 6e, h). En los siguientes 0,80 m (2787, 2786, 2783, 2782, 2781) se observó una mayor variabilidad de fitolitos, tanto de mayor tamaño como aquellos más pequeños, abundantes elementos poliédricos, elongados, en forma de flabelos y aguzados, como así también globulares, G104 y G105 (Fig. 6q-y) y fitolitos en forma de sillas de montar colapsadas, Sm06 (Fig. 6i-p) que lo hacen de modo muy frecuente. Se destaca la presencia de elementos bilobados (Ha01, Ha02 y Ha07).

En los niveles medios (2780-2773) se presentaron escasas muestras con material fitolítico (2779 y 2776). En muchas de estas muestras se registraron ausencias y escasas presencias de algunos morfotipos muy abundantes en la sección inferior, tales como: bilobados (Ha01, Ha02, Ha07); flabelos (F107); globulares (G104), elongados (Mp09) y lobulares (Lb01). En la sección superior (2772, 2771, 2770, 2769) las muestras se caracterizan por presentar una asociación con abundantes fitolitos de mayor tamaño (>40 µm), fitolitos cortos de bordes lisos (Mi01), largos y delgados (Mp04) y de bordes ondulados (Mp08). Los fitolitos poliédricos estuvieron presentes de manera abundante. Gran parte de estos presentan un evidente desgaste superficial (Fig. 6h). Abundantes flabelos (Fig. 6d-f) y escasos aguzados, Ac01 (Fig. 6g). Los elementos irregulares se observaron de manera abundantes en todas las muestras, principalmente los morfotipos Ln01 y Ln02 (Fig. 6a-c). Las espículas de espongiarios fueron frecuentes a lo largo del perfil, las mismas se presentaron tanto de manera entera como fragmentadas, con un elevado grado de desgaste superficial.

A lo largo de la sección analizada en el

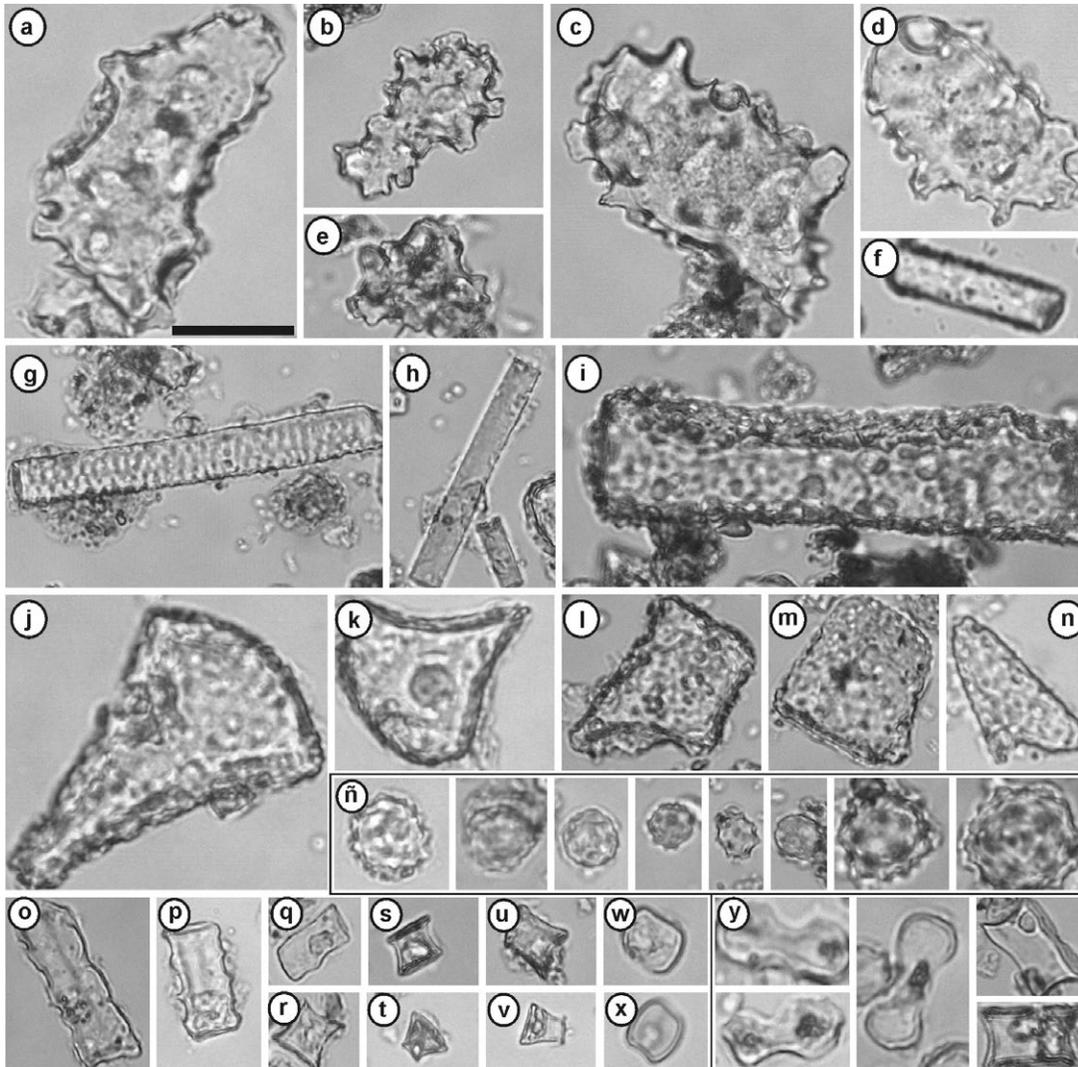


**Figura 4:** Perfiles sedimentológicos esquemáticos de la Formación San Salvador, a) perfil Salvia, b) perfil Concordia.

perfil Concordia (Fig. 7) se puede observar la presencia de muestras en donde el material fitolítico no resultó lo suficientemente abundante como para superar la muestra mínima representativa. Se observa aquí que las muestras de menor variabilidad fitolítica, presentaron solo fitolitos de mayor tamaño y en su mayoría con superficies desgastadas, principalmente aquellos de afinidad gramínoideas asociados a niveles litológicos gravosos. Los niveles con mayor abundancia y variabilidad fitolítica, fueron los estratos arenosos de grano medio a fino y arcillo-

so, donde la asociación fitolítica es muy característica y la preservación de los fitolitos es buena. En general, se registraron fitolitos globulares (G104 y G105) de afinidad arcoide, fitolitos gramínoideas bilobados del tipo panicoides y en forma de sillas de montar colapsadas (Sm06) afín a bambusoideas, acompañados de fitolitos irregulares, los cuales se originan en células subepidérmicas de plantas acuáticas como las Podostemaceae.

En el análisis multivariado (PCA) realizado a las muestras de ambos perfiles (Fig. 8), donde los componente 1 y 2 re-



**Figura 5:** Fitolitos de la Formación San Salvador en el perfil Salvia. a-e) fitolitos irregulares, f, g y h) fitolitos elongados, i) elementos derivados del tejido de conducción, j y k) fitolitos flabeliformes, l y m) fitolitos poliédricos, n) fitolito aguzado, ñ) fitolitos globulares, o-q) fitolitos oblongos y crenados, r-v) fitolitos en forma de conos truncados, w y x) fitolitos en forma de sillas de montar, y) fitolitos bilobados. Escala en a= 20  $\mu\text{m}$  válido para todas las figuras.

presentan el 70 % de la variabilidad total, se observó que el componente 1 asocia las muestras correspondientes a cada perfil (elipse 1, Salvia; elipse 2, Concordia). Los morfotipos que proporcionan el mayor aporte a este componente son los elementos lobulares (Lb01) y globulares (Gl05); mientras que el componente 2 asocia las muestras del perfil Salvia con las muestras del nivel medio (2772, 2776 y 2779) e inferior (2789, 2790 y 2791) del perfil Concordia. A este componente aportan principalmente los morfotipos correspondientes a elementos irregulares (Ln01, Ln03 y Ln04), fitolitos en forma de sillas de montar colapsadas (Sm06) y elementos globulares (Gl04), tal como se ha expresado en los resultados de cada perfil, ambos tienen una composición fitolítica propia expresada en las asociacio-

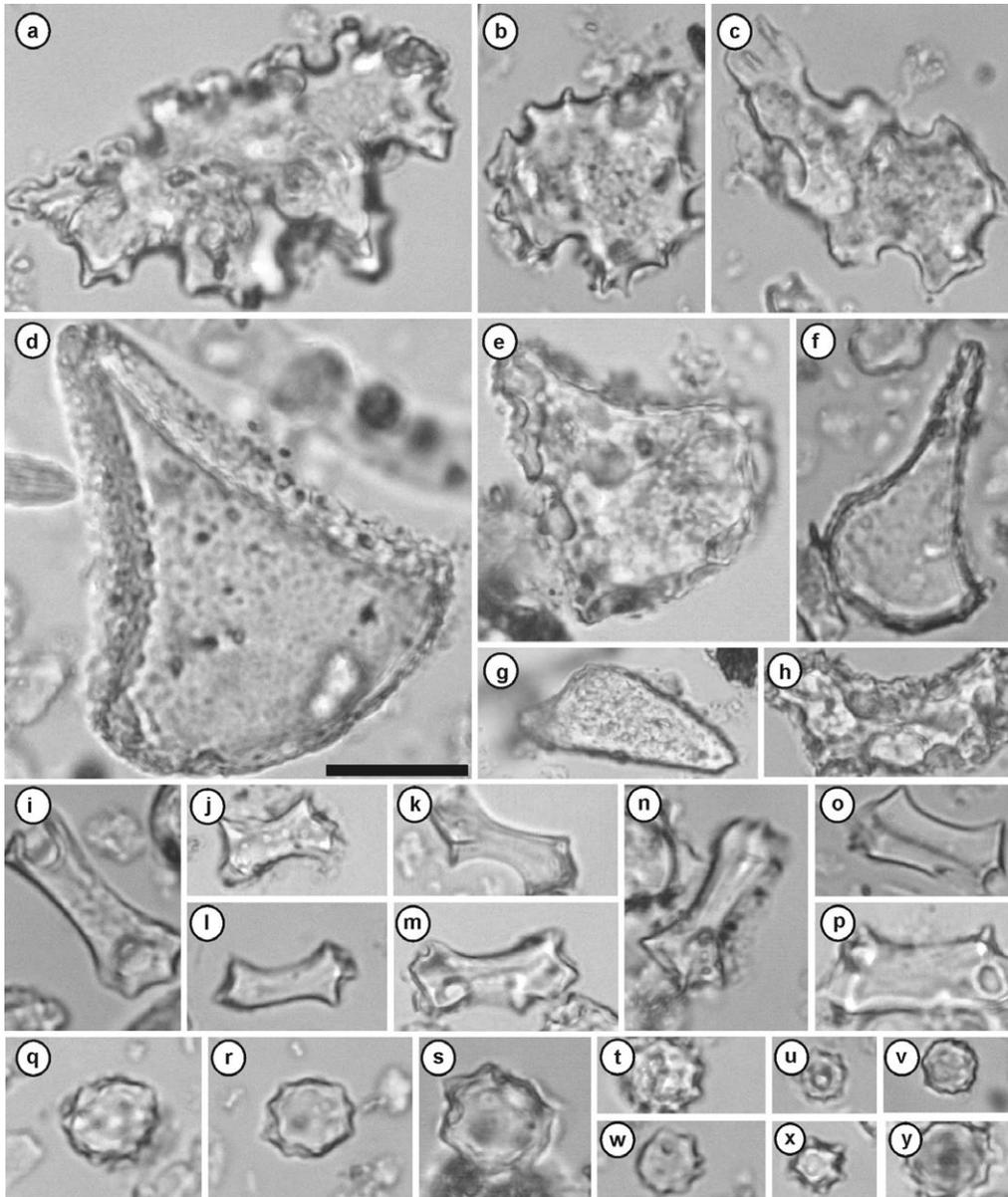
nes observadas, pero a su vez existen elementos que comparten ambos perfiles y que asocian el nivel medio e inferior del perfil Concordia con el perfil Salvia.

## DISCUSIÓN

La escasa cantidad de material observado en algunos niveles de los perfiles, responde a la composición sedimentológica propia de un sedimento fluvial. El escaso contenido relativo de material pelítico y psamítico fino a muy fino llevó a modificar la metodología de concentración de silicofitolitos (Patterer 2012).

Desde el punto de vista sedimentario, los perfiles se caracterizan por la presencia de estratos de gravas matriz soportadas, este tipo de depósitos refleja una movilidad lateral del cauce que lleva una car-

ga de fondo asociada a una alta energía, la presencia de estratos de gravas y estratos arenosos intercalados con la presencia de estructuras internas cruzadas sugieren fluctuaciones en la descarga del canal (Steel y Thompson 1983). Los estratos arenosos son depósitos de canal y los estratos de material pelítico serían el resultado del depósito de llanuras de inundación o canales abandonados (Reading 1996). Las muestras correspondientes a los niveles que contenían una composición granulométrica gruesa, no registraron silicofitolitos o bien su presencia era sumamente escasa, mientras que los estratos que presentaban una composición arenosa de grano fino y/o pelítica mostraron una presencia notable de estos elementos. Esta tendencia podría deberse a que los principales morfotipos fitolíti-



**Figura 6:** Fitólitos de la Formación San Salvador en el perfil Concordia. a-c) fitólitos irregulares, d-f) fitólitos flabeliformes, g) fitólito aguzado, h) fitólito poliédrico desgastado, i-p) fitólitos en forma de sillitas de montar colapsadas, q-y) fitólitos globulares. Escala en d=20  $\mu\text{m}$  válido para todas las figuras.

cos presentan tamaños que pueden estar entre los 5  $\mu\text{m}$  a los 250  $\mu\text{m}$  aproximadamente, por lo que sería común encontrarlos bien representados en las fracciones que van de limos muy finos a arenas muy finas y sería lógico no encontrarlos en aquellas muestras de grano grueso.

El depósito de sílice amorfo es diferente en las distintas células de las plantas; por ejemplo, en las gramíneas puede llegar a ser incompleto sobre todo si la planta muere antes de cumplir su ciclo. Si éstos elementos son depositados en sedimentos, podrían erróneamente interpretarse como un proceso tafonómico post-depositacional (Madella y Lancelotti 2012).

También es sabido que existe un transporte de fitólitos por medio de agentes como el viento y/o el agua que pueden provocar la ruptura, astillamiento y/o abrasión de los cuerpos silíceos. En general, los fitólitos no son transportados a grandes distancias ya que son relativamente “pesados” si se los compara con otros elementos (polen por ejemplo) y los agentes de transportes pueden ser un factor importante en la conformación de las asociaciones fitolíticas (Madella y Lancelotti 2012); sobre todo en ambientes con gran disponibilidad hídrica como lo son las zonas tropicales húmedas (Alexandre *et al.* 1997). Teniendo en cuenta esta úl-

tima afirmación, en la sedimentación de la Formación San Salvador, el río transportaba caudales mucho mayores que los actuales, esto pudo haber sido el resultado de un clima hiperhúmedo (Iriondo y Kröhling 2008). Entonces, los fitólitos primeramente pueden ser transportados y una vez depositados pueden verse afectados por procesos diagenéticos, en el mismo intervienen: ataques químicos y físicos; bioturbación y translocación, dando como resultado la asociación fitolítica que estudiamos (Osterrieth *et al.* 2009). Para el presente trabajo, en lo que respecta al grado de preservación de los fitólitos y su representatividad areal, los morfotipos de

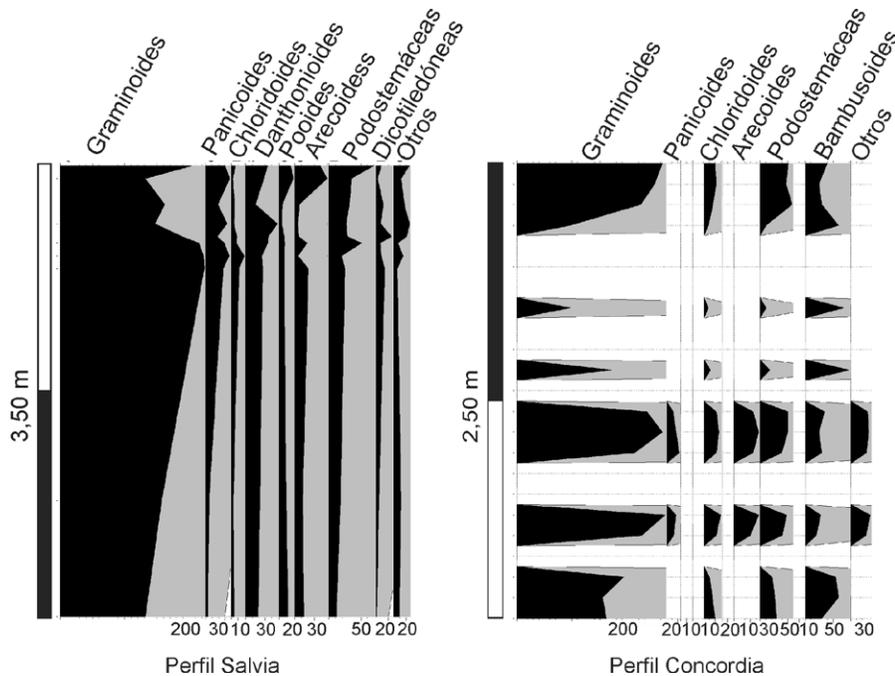


Figura 7: Diagramas fitolíticos de los perfiles Salvia y Concordia.

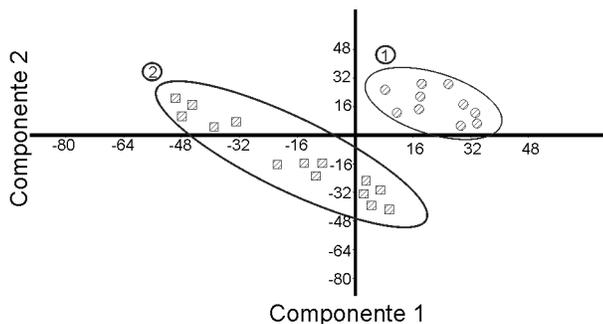


Figura 8: PCA de los perfiles Salvia (elipse 1) y Concordia (elipse 2). El componente 1 y 2 representan el 70% de la variabilidad total.

mayor tamaño fueron los que presentaron sus superficies desgastadas con mayor frecuencia, mientras que los fitolitos de menor tamaño, fueron observados sin signos claros de desgaste, es decir presentaban sus superficies sanas. En las asociaciones fitolíticas pueden encontrarse fitolitos que no presentan daños físicos (rupturas) notables y que podrían estar representando a fuentes locales, entonces estos serían originados por la vegetación existente en el momento de la depositación. Otros pueden presentar daños que provocan ruptura de los cuerpos como resultado de un estrés mecánico como consecuencia de un transporte a largas distancias (Osterrieth *et al.* 2009). En este trabajo, la tendencia se observó de forma generalizada en ambos perfiles, probablemente los elementos de mayor tamaño representen por un la-

do al material transportado cuyos cuerpos presentan un estrés mecánico y que se evidencia en una ruptura de los cuerpos o que, por procesos diagenéticos hayan sufrido ataques físicos y químicos post depositacionales que quedan evidenciados en su daño superficial. Las células largas presentan un menor grado de silificación y ofrecen una mayor superficie de ataque con respecto a las células cortas (Madella 1997; Lancelotti 2010). A su vez, los morfotipos de menor tamaño, encontrados en los sedimentos sin desgastes superficiales evidentes, representan el material aportado por la vegetación local al momento de la depositación de los mismos. Del mismo modo, para la Formación El Palmar, Zucol *et al.* (2005) describen el origen de las paleocomunidades presentes a través de los diferentes tipos de elementos observa-

dos, sobre la base del grado de desgaste de los morfotipos fitolíticos. Los autores proponen, por un lado un origen local de los elementos relacionados con paleocomunidades terrestres y por otro lado, el aporte de un área más extensa con mezcla de material local y materiales de diferentes fuentes, tanto fluviales como terrestres. Para el presente trabajo los resultados indican la presencia de elementos procedentes de fuentes locales y otros elementos que podrían haber sufrido un transporte previo y serían procedentes de fuentes extra locales por un lado y/o que estarían afectados por procesos diagenéticos post-depositacionales.

Las características litológicas observadas en los perfiles estudiados de la Formación San Salvador coinciden con lo sugerido por Iriondo y Kröhling (2007, 2008), quienes mencionan un ambiente con depósitos de cauce y de llanura de inundación del río Uruguay.

Para el periodo que abarca el Plioceno superior-Pleistoceno, los antecedentes paleontológicos comparables a nivel regional; son aquellos observados en distintas formaciones como: la Formación Ituzaingó (De Alba 1953), importante faja de acumulación fluvial asociada a la evolución geológica del actual río Paraná, para la cual se han descrito a través del estudio de impresiones foliares, palinomorfofos, leños fósiles, cutículas, etc. la existencia de diversas paleocomunidades como lagunas de agua dulce con aportes de aguas salobres (Anzótegui 1975); bosques en galería, asociaciones florísticas relacionadas a cursos de agua, en zonas de llanura o suaves pendientes (Anzótegui 1980, Anzótegui y Lutz 1987, Anzótegui y Acevedo, 1995); elementos similares a los del Cerrado de Brasil, indicando un paleoclima tropical, con régimen de lluvias estacionales (Caccavari y Anzótegui 1987) y bosques xerófilos (Lutz 1991, 1993, Anzótegui y Lutz 1987). Recientemente, Franco (2009a,b, 2011) y Franco y Brea (2009, 2010) postularon que los leños fósiles de la Formación Ituzaingó se desarrollaron bajo condiciones climáticas con estacionalidad marcada e integraron paleocomunidades vinculadas al Dominio

de los Bosques Neotropicales Estacionales (Prado y Gibbs 1993, Prado, 1995, 2000, Pennington *et al.* 2000).

Para la Formación El Palmar, los datos paleobotánicos de leños fósiles proponen la existencia de un clima templado-cálido, con una flora tropical-subtropical, vinculada a bosques húmedos, semiáridos y palmares (Zucol *et al.* 2004, Brea *et al.* 2010, Brea y Zucol 2011, Ramos 2014, Ramos y Brea 2011, Ramos *et al.* 2012, 2014, 2105), el registro fitolítico describe una vegetación arbórea, arbustiva y herbácea de clima templado-cálido, asociada a cursos de agua (Zucol *et al.* 2005, Patterer 2010, 2012, Patterer y Brea, 2011, Patterer *et al.* 2012a,b, 2014). La fauna fósil hallada en la Formación El Palmar (Toni 1987, Ferrero *et al.* 2007, Brandoni *et al.* 2010), excluyendo a *Tapirus* cf. *T. terrestris* L 1758, está asociada a pastizales, *T. terrestris* es vinculado preferentemente con bosques subtropicales húmedos o sabanas subtropicales asociado a cursos de agua permanente, en climas húmedos y cálidos (Brandoni *et al.* 2010).

Las asociaciones fitolíticas estudiadas en el presente trabajo, caracterizan fitolitos de afinidad principalmente graminoides (Twiss 1992), dentro de las cuales se pudieron observar aquellos de tipo panicoides, danthonioides, chloridoides y pooide, asociados a una importante presencia de fitolitos de afinidad arecoide. Las asociaciones descritas en las diferentes muestras de ambos perfiles comparten la mayoría de los morfotipos fitolíticos encontrados, un ejemplo de ello es la presencia de fitolitos como los lobulares y/o irregulares, los mismos son diagnósticos de la familia Podostemaceae, plantas acuáticas que viven en rápidos y cascadas de ríos y arroyos, principalmente en zonas tropicales y subtropicales; en su mayoría en el continente americano. Los fitolitos de estas plantas provienen de las células silíceas que se encuentran en los tejidos periféricos y que le permiten a las mismas soportar los choques mecánicos del agua a que están expuestas (Tur 1987). En Argentina existen 6 géneros con 14 especies y 2 endémicas, en la Mesopotamia Argentina (Misiones y Corrientes) tanto en la

cuenca del río Paraná como la cuenca del río Uruguay (Tur 1999).

En el perfil Salvia, se destacan elementos afines a angiospermas dicotiledóneas y una importante presencia de elementos graminoides del tipo panicoides, chloridoide, danthonioides y pooide representando al estrato herbáceo, mientras que los fitolitos de palmeras caracterizan el estrato arbóreo asociados a fitolitos irregulares que se corresponden a la familia Podostemaceae. Estos elementos estarían indicando un ambiente con un estrato arbóreo compuesto de bosques y palmares higrófilos y un estrato herbáceo rico en gramíneas meso y megatérmicas, probablemente ubicado a orillas de cuerpos de agua enérgicos evidenciado por la presencia de las plantas acuáticas podostemáceas.

En el perfil Concordia, es importante la presencia de fitolitos en forma de sillitas de montar colapsadas afines a gramíneas bambusoideas. Estos morfotipos descritos por Piperno y Pearsall (1998) para las subtribus Guadueinae y Chusqueinae, han sido utilizados como indicadores de bambúes en la Gran Llanura Americana (Strömberg 2004), como así también en Argentina, para la caracterización de los bosques misioneros (Parque Nacional Iguazú). Montti *et al.* (2009) observan estos fitolitos en forma de silla de montar colapsadas a las cuales denominan fitolitos bilobados trapeziformes equinados en la hoja de *Chusquea ramosissima* (Poaceae: Bambusoideae) y en los suelos sobre los cuales crece esta especie. Para esta región en estudio sobre la cuenca del río Paraná, el primer registro fósil de bambusoideas fue hallado por Brea y Zucol (2007), quienes describen una caña permineralizada que fue asignada a *Guadua zuloagae* para la Formación Ituzzaingó. Recientemente, Brea *et al.* (2013) describieron para la misma formación, el segundo registro fósil, *Guadua morronei*.

Las bambusoideas crecen en asociación con árboles o arbustos por lo general en bosques cálidos, selvas tropicales templadas o, si son herbáceas, en el sotobosque sombreado, también a lo largo de arroyos en climas cálidos de zonas tropicales y

subtropicales del mundo (Calderón y Soderstrom 1980). El registro fósil de Bambusoideae en la cuenca del río Uruguay reafirman la postura de que estos elementos fueron importantes en las paleocomunidades desarrolladas durante el Cenozoico tardío postulada por Brea y Zucol (2007) y Brea *et al.* (2013) para la cuenca del río Paraná. Si la Formación San Salvador representa un gran paleocauce meándrico, en el momento de la depositación de los sedimentos, el cauce principal trabajaba sobre una amplia faja fluvial en la que se debieron ver involucrados varios ambientes fluviales, por lo tanto, la ausencia de elementos bambusoides en el perfil Salvia estaría dada por una característica de tipo ambiental, en la que se estarían representando dos paleocomunidades diferentes en un mismo momento.

Los silicofitolitos observados en el perfil Concordia caracterizan un estrato arbóreo de bosques estratificados representado por palmeras y angiospermas dicotiledóneas y un estrato intermedio o sotobosque de cañas leñosas bambusoideas. Plantas acuáticas podostemáceas estarían acompañando la vegetación en cuerpos de aguas enérgicas, siendo escaso el estrato herbáceo. Estos elementos podrían indicar un ambiente del tipo bosque ribereño conformado por más de un estrato vertical, con características muy húmedas.

## CONCLUSIONES

Los antecedentes paleontológicos y geomorfológicos de la región, coinciden en que las condiciones ambientales para período que abarca el Plioceno superior y Pleistoceno inferior, eran de un clima cálido-húmedo con disponibilidad hídrica y una importante actividad fluvial. La evidencia está en las columnas estratigráficas de las principales formaciones fluviales de las cuencas Paraná-Uruguay y la descripción del registro fósil.

El presente análisis realizado a perfiles de la Formación San Salvador de probable edad Plioceno-Pleistoceno inferior, se presenta como el primer registro fitolítico en dicha unidad y el primer registro

fósil de las familias Arecaceae, Poaceae (Subfamilias: Bambusoideae, Panicoideae, Danthonioideae y Pooideae) y Podostemaceae para este período en el área de estudio.

En el perfil Salvia, el análisis caracteriza paleocomunidades de bosques y palmares en el estrato arbóreo y gramíneas meso y megatérmicas conformando el estrato herbáceo. Los cuales debieron desarrollarse a orillas de ríos y/o arroyos torrentosos.

En el perfil Concordia las asociaciones definieron paleocomunidades conformadas por bosques estratificados y palmares, con una presencia importante de elementos que conformaban el sotobosque de gramíneas bambusoideas. El estrato herbáceo resultó escaso y principalmente de gramíneas megatérmicas. Estas asociaciones vegetales debieron desarrollarse en las proximidades de cuerpos de aguas de rápidos o saltos de ambientes húmedos con la presencia de plantas acuáticas.

#### AGRADECIMIENTOS

La autora expresa su agradecimiento a los dueños y encargados de las canteras Scévola Hnos. Saic. y Nueva Salvia por permitir el acceso a las mismas. A D. Kröhling por su ayuda en la identificación de la Fm. San Salvador. A Alejandro Zucol y Mariana Brea por la lectura crítica del manuscrito original. A los árbitros anónimos que mejoraron el escrito con sus sugerencias. Este trabajo fue financiado por el Proyecto PICT 2008 N°0176 y forma parte de la tesis doctoral de la autora.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alexandre, A., Meunier, J.D., Colin, F. y Koud, J.M. 1997. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 677-682.
- Anzótégui, L.M. 1975. Esporomorfos del Terciario superior de la provincia de Corrientes, Argentina. 1° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas 2: 318-329, Tucumán.
- Anzótégui, L.M. 1980. Cutículas del Terciario superior de la provincia de Corrientes, República Argentina. 2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1° Congreso Latinoamericano de Paleontología, Actas 3: 141-167, Buenos Aires.
- Anzótégui, L.M. y Lutz, A.I. 1987. Paleocomunidades vegetales del Terciario superior (Formación Ituzzaingó) de la Mesopotamia argentina. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 18: 131-144.
- Anzótégui, L.M. y Acevedo, T.L. 1995. Revisión de *Ilexpollenites* Thiergart y una nueva especie del Plioceno superior (Formación Ituzzaingó) de Corrientes, Argentina. 6° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas: 15-21, Trelew.
- Bertoldi de Pomar, H. 1971. Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos. *Ameghiniana* 8: 317-328.
- Bertoldi de Pomar, H. 1972. Ópalo Organógeno en Sedimentos Superficiales de la Llanura Santafesina. *Ameghiniana* 9: 265-279.
- Bertoldi de Pomar, H. 1975. Los silicofitolitos: Sinopsis de su conocimiento. *Darwiniana* 19: 173-206.
- Bertoldi de Pomar, H. y Tur, N. M. 1970. Células silicificadas en gramíneas acuáticas. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 1:17-18.
- Blinnikov, M., Bussaca, A. y Whitlock, C. 2002. Reconstructions of the Late Pleistocene grassland of the Columbian basin, Washington, USA, based on phytolith records in loess. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 177: 77-101.
- Brandoni, D., Ferrero B.S. y Brunetto, E. 2010. *Myiodon darwini* Owen (Xenarthra, Mylodontinae) from the Late Pleistocene of Mesopotamia, Argentina. Remarks on individual variability, paleobiology, paleobiogeography, and paleoenvironment. *Journal of Vertebrate Paleontology* 30: 1547-1558.
- Brea, M. y Zucol, A.F. 2007. *Guadua zuloagae* nov. sp., The first petrified Bamboo record from Ituzzaingó Formation (Middle Pliocene), Paraná basin, Argentina. *Annals of Botany* 4: 711-723.
- Brea, M., Zucol, A.F. y Patterer, N.I. 2010. Fossil woods from late Pleistocene sediments from El Palmar Formation, Uruguay Basin, Eastern Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology* 163: 35-91.
- Brea, M., Zucol, A.F. y Franco, M.J. 2013. A new Bambusoideae (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae: Guaduainae) from the Ituzzaingó Formation (Pliocene-Pleistocene), Entre Ríos, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology* 192: 1-9.
- Caccavari, M.A. y Anzótégui, L.M. 1987. Polen de Mimosoideae (Leguminosae) de la Formación Ituzzaingó, Plioceno superior de Corrientes, Argentina. 4° Congreso Latinoamericano de Paleontología, Actas: 443-458, Santa Cruz de la Sierra.
- Candela, A.M., Noriega, J.I. y Reguero, M.A. 2007. The first Pliocene Mammals from the Northeast (Mesopotamia) of Argentina. *Biostratigraphic and Paleoenvironmental significance. Journal of Vertebrate Paleontology* 27: 476-483.
- Calderon, C.E. y Soderstrom, T.R. 1980. The genera of Bambusoideae (Poaceae) of the American continent. *Smithsonian Contribution to Botany* 44: 1-27.
- Carter, J.A. 2002. Phytolith analysis and paleoenvironmental reconstruction from Lake Poukawa Core, Hawkes bay, New Zealand. *Global and Planetary Change* 33: 257-267.
- De Alba, E. 1953. Geología del alto Paraná en relación con los trabajos de derrocamiento entre Ituzzaingó y Posadas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 8: 129-161.
- Delhon, C., Alexandre, A., Berger, J.F., Thiébaud, S., Brochier, J.L. y Meunier, J.D. 2003. Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene vegetation. *Quaternary Research* 59, 1: 48-60.
- Erra, G. 2010. Asignación sistemática y paleocomunidades inferidas a partir del estudio fitolítico de sedimentos cuaternarios de Entre Ríos, Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 45, 3-4: 309-319.
- Erra, G., Zucol, A.F. y Kröhling, D. 2011. Análisis fitolítico de la Formación Tezanos Pinto (Pleistoceno tardío- Holoceno temprano) en el sector noroeste de su área de distribución en la provincia de Entre Ríos (Argentina). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 28, 3: 398-412.
- Erra, G., Zucol, A.F., Kröhling, D.M. y González, C.A. 2013. Análisis Fitolítico de la Formación Tezanos Pinto (Pleistoceno tardío- Holoceno temprano) en el sector sudoeste de la provincia de Entre Ríos (Argentina). *Ameghiniana* 50, 4: 429-446.
- Fernández Honaine M., Osterrieth, M. y Zu-

- col, A.F. 2009. Plant communities and soil phytolith assemblages relationship in native grasslands from southeastern Buenos Aires province, Argentina. *Catena* 76, 1: 89-96.
- Ferrero, B., Brandoni, D., Noriega, J.I e Carlini, A.A. 2007. Mamíferos de la Formación El Palmar (Pleistoceno tardío) de la provincia de Entre Ríos, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 9, 2: 109-117
- Franco, M.J. 2009a. Leños fósiles de Anacardiaceae en la Formación Ituzaiñgó (Plioceno), Toma Vieja, Paraná, Entre Ríos, Argentina. *Ameghiniana* 46:587-604.
- Franco, M.J. 2009b. Primer Registro de leño fósil de Lauraceae en la Formación Ituzaiñgó (Plioceno-Pleistoceno) en Hernandarias (Entre Ríos, Argentina). *Ameghiniana, Suplemento Resúmenes* 46: 78R.
- Franco, M.J. y Brea, M. 2009. Primer registro de leños fósiles de Moraceae y Rutaceae de la Formación Ituzaiñgó (Plioceno-Pleistoceno), Toma Vieja, Paraná, Argentina. 4° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Resúmenes: 413, La Plata.
- Franco, M.J. y Brea, M. 2010. *Microlobiusxylon paranaensis* gen. nov. et sp. nov. (Fabaceae-Mimosoideae) from the Pliocene-Pleistocene of Ituzaiñgó Formation, Paraná Basin, Argentina. *Revista Brasileira de Paleontología* 13: 103-114.
- Fredlund, G.G. y Tieszen, L.T. 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. *Journal Biogeography* 21: 321-335.
- Hammer O., Harper D. y Ryan P. 2001. Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9.
- Iriondo, M.H. 1980. El cuaternario de Entre Ríos. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 11: 125-141.
- Iriondo, M.H. 1996. Estratigrafía del Cuaternario de la Cuenca del río Uruguay. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 15-25.
- Iriondo, M.H. y Kröhling, D. 2007. La Formación El Palmar (Informalmente Fm Salto Chico) y el Acuífero San Salvador, Entre Ríos. 5° Congreso Argentino de Hidrogeología. 16-19 de Octubre, 433-441, Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Iriondo, M. H. y Kröhling, D. 2008. Cambios ambientales en la cuenca del Uruguay (desde el Presente hasta dos millones de años atrás). Colección Ciencia y Técnica, Universidad Nacional del Litoral, 330 p. Santa Fe.
- Kondo, R., Child C. y Atkinson, I. 1994. Opal phytoliths of New Zealand. *Maanaki Whenua Press*, 85 p.
- Kröhling, D. 1998. Excursion Guide N.2 North pampa (Carcarañá river basin, Santa Fe province), International Joint Field Meeting "Loess in Argentina: Temperate and Tropical": INQUA, loess Commission, 33.
- Kröhling, D. 2009. La Formación El Palmar, una unidad fluvial asignable al sub-estadio cálido EIO 5<sup>a</sup> (Pleistoceno Tardío) de la cuenca del río Uruguay. *Natura Neotropicalis* 40,1 y 2: 61-86.
- Kröhling, D., Passeggi, E., Zucol, A., Erra, G., Aguirre, M., Miquel, S., González, A. y Brea, M. 2010. Multidisciplinary analysis of the last glacial loess at the NE of the Pampean aeolian system. 18th International Sedimentological Congress, Abstract Volume: 518, Mendoza.
- Lancelotti, C. 2010. Fuelling Harappan Hearths: Humane Environment Interactions as Revealed by Fuel Exploitation and Use. Unpublished PhD Dissertation, Department of Archaeology, University of Cambridge, Cambridge.
- Lu, H., Wu, N. y Nie, G. 1995. Discovery of bamboo phytolith in the loess-paleosol sequences of Guanzhong Basin, Shaanxi Province. *Chinese Science Bulletin* 40, 5: 405-409.
- Lu, H. y Liu, K. B. 2003. Phytoliths in common grasses in the coastal environments of southeastern USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 58: 587-600.
- Lutz, A.I. 1991. Descripción anatómica de *Mimosoxylon* sp. del Plioceno (Formación Ituzaiñgó) de la Provincia de Corrientes, Argentina. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 22: 3-10.
- Lutz, A.I. 1993. Dos basidiomicetes (Polyporaceae) xilófilos del Plioceno en Entre Ríos, Argentina. *Ameghiniana* 30: 419-422.
- Madella, M. 1997. Phytolith analysis from the Indus Valley site of Kot Diji, Sindh, Pakistan. En: Sinclair, A., Slater, E., Gowlett, J. (eds.), *Archaeological Sciences*, Oxbow, Oxford, 294-302.
- Madella, M. y Lancelotti, C. 2012. Taphonomy and phytoliths: A user manual. *Quaternary International* 275: 76-83.
- Madella, M., Allexandre, A. y Ball, T. 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany* 96, 2: 253-260.
- Montti, L., Fernández Honaine, M., Osterrieth, M. y Graciano Ribeiro, D. 2009. Phytolith analysis of *Chusquea ramosissima* Lindm. (Poaceae: Bambusoideae) and associated soils. *Quaternary International* 193: 80-89.
- Mulholland, S.C. 1989. Phytolith shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns. *Journal Archaeology Science* 16: 489-511.
- Nalepka, D. y Walanus, A. 2003. Data processing in pollen analysis. *Acta Paleobotánica* 43, 1: 125-134.
- Osterrieth, M., Madella, M., Zurro, D. y Alvarez, M.F. 2009. Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. *Quaternary International* 193: 70-79.
- Paoli, C. y Schreider, M. 2000. El río Paraná en su tramo medio "Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura". Centro de Publicaciones, Secretaría de Extensión, UNL (Universidad Nacional del Litoral), Santa Fé, Argentina, Tomo 1. 309 pp.
- Patterer, N.I. 2010. Resultados preliminares del análisis fitolítico en facies fluviales de la Formación El Palmar (Pleistoceno Superior), en la cuenca del río Uruguay, Argentina. 10° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 6° Congreso Latinoamericano de Paleontología, 329 p. La Plata.
- Patterer, N.I. 2012. Análisis Fitolíticos de la Formación El Palmar (Pleistoceno superior) en la cuenca del río Uruguay (este de Argentina), Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. 307p.
- Patterer, N.I. y Brea, M. 2011. Phytolith Analysis in fluvial sediments of El Palmar Formation (late Pleistocene) in eastern Argentina. 8th International Meeting on Phytolith Research, Abstracts 42-43, Colorado.
- Patterer, N.I., Passeggi, E. y Zucol, A.F. 2011. Análisis fitolíticos de suelos del sudoeste de la Provincia de Entre Ríos (Argentina) como una herramienta para comprender sus procesos pedológicos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 28,1: 132-146.
- Patterer, N.I., Kröhling, D., Passeggi, E., Zucol, A.F. y Brea, M. 2012a. Análisis Fitolíticos en Sedimentos Fluviales Cuaternarios (Formaciones San Salvador y El Palmar) del río Uruguay, este de Argentina. Trabajos extendidos,

- 3° Jornadas del Cenozoico, Montevideo.
- Patterer, N.I., Zucol, A.F. y Brea, M. 2012b. Análisis Fitolíticos del perfil sedimentario Los Loros, Formación El Palmar (Pleistoceno Superior), en el Parque Nacional El Palmar, Entre Ríos, Argentina. 1° Simposio del Mioceno-Pleistoceno del Centro y Norte de Argentina, Resúmenes: 27, Tucumán.
- Patterer, N.I., Zucol, A.F. y Brea, M. 2014. Análisis fitolíticos del perfil sedimentario Los Loros, de la Formación El Palmar (Pleistoceno superior), en el Parque Nacional El Palmar, Entre Ríos, Argentina. *Acta Geológica Lilloana* 26, 1: 53-62.
- Pennington, R.T., Prado, D.E. y Pendry, C.A. 2000. Neotropical seasonally dry forest and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography* 27: 261-273
- Prado, D.E. 1995. Selva pedemontana: contexto regional y lista florística de un ecosistema en peligro. En: A.D. Brown y H.R. Grau (eds.), *Investigación, Conservación y Desarrollo en las Selvas Subtropicales de Montaña*. Universidad Nacional de Tucumán, 19-52, Tucumán.
- Prado, D.E. 2000. Seasonally dry forest of tropical South America: from forgotten ecosystems to a new phytogeographic unit. *Edinburgh Journal of Botany* 57:437-461.
- Prado, D.E. y Gibbs, P.E. 1993. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. *Annals of Missouri Botanical Garden* 80: 902-927.
- Piperno, D.R. y Pearsall, D.M. 1998. *The origins of agriculture in the Lowland Neotropics*. San Diego, Academic Press.
- Ramos, R.S. 2014. Análisis paleoecológico preliminar de la flora de la Formación El Palmar (Pleistoceno Tardío), Entre Ríos, Argentina. *Acta geológica lilloana* 26, 1: 63-74.
- Ramos, R.S. y Brea, M. 2011. Nuevos hallazgos de la paleoflora del Pleistoceno tardío (Formación El Palmar) en el Parque Nacional El Palmar (Entre Ríos). 13° Jornadas Argentinas de Botánica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 46: 262-263.
- Ramos, R.S., Brea, M. y Kröhling, D.M. 2012. Leños fósiles de la Formación El Palmar (Pleistoceno Tardío) en el parque Nacional El Palmar, Entre Ríos, Argentina. *Ameghiniana* 49, 4: 606-622.
- Ramos, E.S., Brea, M. y Pardo, R. 2014. New fossil wood of *Peltoporaoxylon* (Leguminosae: Caesalpinioideae) from the El Palmar Formation (late Pleistocene), Entre Ríos, Argentina. *IAWA Journal* 35, 2: 199-212.
- Ramos, E.S., Brea, M. y Kröhling, D.M. 2015. Primer registro de *Cryptocaryoxylon* Leisman, una Lauraceae de la Formación El Palmar (Pleistoceno tardío), Entre Ríos, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, n.s.17, 1: 59-70.
- Reading, H.G. 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Third edition. Department of Earth Sciences, University of Oxford. 688pp.
- Steel, R.J. y Thompson, D.B. 1983. Structures and textures in Triassic braided stream conglomerates ('Bunter' Pebble Beds) in the Sherwood Sandstone Group, North Staffordshire, England. *Sedimentology* 30:341-367.
- Strömberg, C.A.E. 2004. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the Great Plains of North America during the late Eocene to early Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 207,3-4: 239-275.
- Tonni, E. 1987. "*Stegomastodon platensis* y la antigüedad de la Formación El Palmar en el Departamento Colón, Entre Ríos". *Ameghiniana* 24, 3-4: 323-324.
- Tur, N.M. 1987. Podostemaceae. En: N.S. Troncoso y N.M. Bacigalupo (eds.), *Fl. II. Entre Ríos*, Colección Científica Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 6, 3a: 43-54.
- Tur, N.M. 1999. Podostemaceae. En: R. Spichiger y L. Ramella (eds.), *Flora del Paraguay*, Conservatoire & Jardin botaniques de la ville de Genève y Missouri Botanical Garden, Genève - St-Louis. 29:1-35.
- Twiss, P.C. 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. En: Rapp, G. y Mulholland, S.C. (eds.), *Phytoliths Systematics. Emerging Issues: Advances in Archaeological and Museum Science* 1:113-128.
- Twiss, P.C., Suess, E. y Smith, R.M. 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science of America Proceeding* 33:109-115.
- Walanus, A. y Nalepka, D. 2000. *POLPAL, Counting pollen, tables storage and diagrams plotting. System manual*. Cracovia, Polonia, Polish Academy of Sciences, W. Szafer Institute of Botany, 25.
- Zucol, A.F. 1996. Microfitolitos de las Poaceae argentinas: I. Microfitolitos foliares de algunas especies del género *Stipa* (Stipeae: Arundinoideae), de la Provincia de Entre Ríos. *Darwiniana* 34: 151-172.
- Zucol, A.F. y Brea, M. 2000a. Análisis fitolítico de la Formación Paraná (Mioceno superior) en el Departamento Diamante, Entre Ríos, Argentina. 2° Congreso Sedimentológico Latinoamericano y 8° Reunión Argentina de Sedimentología, Resúmenes 190-191, Mar del Plata.
- Zucol, A.F. y Brea, M. 2000b. Análisis fitolítico de la Formación Paraná en Entre Ríos. En: F.G. Aceñolaza y R. Herbst (eds.), *El Neógeno de Argentina, Serie de Correlaciones Geológicas* 14: 67-76.
- Zucol, A.F. y Brea, M. 2000c. Una Bambusoideae petrificada de la Formación Ituzaingó (Plioceno), Paraná, Entre Ríos. *Buenos Aires. Ameghiniana* 37, 4-suplemento: 15.
- Zucol, A.F. y Brea, M., 2001. Asociación fitolítica de la Formación Alvear (Pleistoceno Inferior), Entre Ríos, Argentina. *Ameghiniana* 38, 4-suplemento: 49R.
- Zucol, A.F. y Brea, M. 2005. Fitólitos: IV. Sistemática de fitólitos, pautas para un sistema clasificatorio. Un caso en estudio en la Formación Alvear (Pleistoceno inferior), *Ameghiniana* 42, 4: 685-704.
- Zucol, A.F., Brea, M., Lutz, A.I. y Anzótegui, L.M. 2004. Aportes al conocimiento de la paleodiversidad del Cenozoico superior del litoral argentino: estudios paleoflorísticos. En: F.G. Aceñolaza (ed.), *Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino*. Miscelánea 12: 91-102.
- Zucol, A.F., Brea, M. y Scopel, A. 2005. First record of fossil Wood and phytoliths assemblages of the Upper Pleistocene in El Palmar National Park (Argentina). *Journal American Earth Sciences*, 20, 1-2: 33-43.
- Zucol, A.F., Passeggi, E., Brea, M., Patterer, N.I., Fernández Pepi, M.G. y Colobig, M.M. 2010. Phytolith analysis for the Patrok Aike lake drilling project: sample treatment protocols for the pasado microfossil manual". En H. Corbella y N. I. Maidana (Eds.). 1ª Reunión Internodal del Proyecto Interdisciplinario Patagonia Austral y 1er Workshop Argentino del Proyecto Potrok Aike Mar Lake Sediment Archive Drilling Project, Proyecto Editorial PIPA (Buenos Aires) 81-84.

Recibido: 5 de noviembre, 2014  
 Aceptado: 25 de mayo, 2015