

## Análisis fitolíticos de suelos del sudoeste de la Provincia de Entre Ríos (Argentina) como una herramienta para comprender sus procesos pedológicos

Noelia Isabel Patterer<sup>1,2,\*</sup>, Esteban Passeggi<sup>1,2</sup> y Alejandro Fabián Zucol<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Paleobotánica, Centro de Investigaciones Científicas (CICYTTP-CONICET), Dr. Materi y España, E3105BWA, Diamante, Entre Ríos, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencia y Técnica, Universidad Autónoma de Entre Ríos, Argentina.

\* noepatt1@hotmail.com; noeliapatterer@cicytpp.org.com.ar

### RESUMEN

*En la presente contribución se dan a conocer los resultados del análisis de microrestos silíceos de suelos característicos del sudoeste de la Provincia Entre Ríos, Argentina (serie de suelo La Curtiembre). La obtención del material fitolítico fue realizada siguiendo una metodología que comprende el procesamiento físico y químico de las muestras. Los resultados permitieron observar la presencia de asociaciones fitolíticas dominadas por elementos graminoideos en asociación con arecoideos. Entre los morfotipos graminoideos, la presencia de fitolitos prismáticos elongados, en forma de abanico y poliédricos resultaron característicos entre los de mayor tamaño. Mientras que entre los más pequeños, los bilobados halteriformes y los de forma de silla de montar fueron los más abundantes en las muestras superiores e inferiores, y los de forma de conos truncados dominaron los niveles medios. Los fitolitos globulares equinados se presentaron a lo largo de toda la sección de los perfiles con algunas variaciones cuantitativas a lo largo de las mismas. El análisis de abundancia permitió interpretar la presencia de tres fuentes de fitolitos en estos perfiles de suelo. La primera a partir del material parental de los suelos, la Formación Tezanos Pinto, principalmente abundante en los niveles inferiores de los perfiles. La segunda provino de una comunidad pasada que se presentó en etapas tempranas del desarrollo edáfico, representada en las muestras de los niveles medios de los perfiles que evidencian la movilidad del material a lo largo de su sección. La tercera está representada en las asociaciones fitolíticas de los niveles superiores, con una composición principalmente vinculada con la vegetación que actualmente se desarrolla sobre estos suelos. Es mediante estos análisis que puede concluirse que estos suelos se desarrollaron en asociación con comunidades vegetales predominantemente herbáceas formadas por elementos panicoides y danthonioides, conjuntamente con palmeras.*

*Palabras clave:* fitolitos, suelos, Provincia de Entre Ríos, Argentina.

### ABSTRACT

*In the present contribution, the presence and distribution of siliceous microremains in characteristic soil types of the southwestern Entre Ríos Province (La Curtiembre soil series) are analyzed. The phytolith extraction was made following a methodology that comprises the physical and chemical processing of the samples. The results show that the phytolith assemblages are dominated by graminoid phytoliths, associated with arecoid ones. The graminoid types are characterized by the presence of prismatic elongated, fan-shaped and polyhedral phytoliths among the largest components. Among the smallest phytoliths, bilobate and saddle types are abundant, especially in the samples from the upper and lower levels, whereas in the middle levels, roundel or truncated cones are more abundant. Echinate globular*

*phytoliths are present with scarce variations across the profiles. The abundance analysis allows interpreting the presence of three phytolith sources in soil profiles. The first one is the parental material, the Tezanos Pinto Formation, principally abundant in the lower levels of the profiles. The second one originated in a past community that was present in early stages of the soils development, represented in the middle level samples of the profiles that clearly show evidence of material mobility along each profile. The third one is the phytolith assemblage of the upper levels, with a composition mainly linked to the current vegetation. The analyses demonstrated that these soils developed in a mixed community in association to a grassland dominated by panicoid and danthoniod affinities components, jointly with palms.*

*Key words: phytoliths, soils, Entre Ríos Province, Argentina.*

## INTRODUCCIÓN

Los fitolitos son partículas microscópicas de sílice hidratado que se depositan en espacios intracelulares y/o intercelulares de tejidos vegetales, los cuales pueden tener una variedad considerable de formas (Piperno, 1988), a consecuencia de sus características intrínsecas como la producción relacionada con condiciones ambientales y fisiológicas, resistencia a la desecación, etc., pueden resultar buenos indicadores de cobertura vegetal antigua, condiciones ambientales y pedogénesis (Blinnikov *et al.*, 2002; Delhon *et al.*, 2003; Stromberg, 2004; Iriarte, 2006). Son varias las investigaciones que se han focalizado sobre el significado paleoambiental de secuencias pedoestratigráficas y el rol del material parental sobre el desarrollo de suelos (Teruggi, 1957; Teruggi y Andreis, 1971; Vargas Gil y Scoppa, 1973; Scoppa, 1976; Andreis, 1981; Zarate y Blasi, 1991; Osterrieth y Martínez, 1993; Morrás, 1997; Osterrieth *et al.*, 2004). Mientras que los estudios fitolíticos han sido aplicados a secuencias pedológicas como parte del análisis del reemplazo de vegetación a consecuencia de prácticas de pastoreo; para la interpretación de la relación entre las comunidades vegetales actuales y nativas y las asociaciones fitolíticas en el sustrato inmediato; para conocer la interrelación de los silicofitolitos con cobertura vegetal conocida y la pedogénesis de suelos, así como la reconstrucción paleoambiental de sitios arqueológicos (Gallego *et al.*, 2004; Fernández Honaine *et al.*, 2009; Borrelli *et al.*, 2008; Iriarte y Alonso Paz, 2009).

Gran parte de estos estudios aplican estos análisis, para comparar las asociaciones fitolíticas del sustrato con las asociaciones encontradas en especies vegetales nativas. Pero existen regiones en donde su flora se encuentra muy modificada; en la región pampeana en general, son escasas las comunidades vegetales relictuales que se pueden tomar para su comparación como consecuencia de la elevada explotación agrícola-ganadera, como así también, por ser una de las regiones del país más densamente pobladas. Por otra parte, en general estas comunidades que resultan las menos afectadas antrópicamente, son comunidades locales de relativamente escasa representación areal, que no pueden considerarse como representativas de las comunidades predominantes de la región en tiempos pasados recientes.

El presente trabajo busca establecer la importancia de los análisis fitolíticos en suelos que no conservan cobertura vegetal prístina, sino que han sido modificados por el hombre en regiones de intensas prácticas agrícolas o ganaderas. Razón por la cual se analizó un perfil pedológico, representativo de la zona agrícola del SO de la Provincia de Entre Ríos, con la finalidad de establecer el modo en que pueden contribuir estos análisis al conocimiento de la vegetación que acompañó el desarrollo de estos suelos, como así también a la interpretación de la dinámica de los procesos edáficos, considerando a su vez el aporte del material parental, las condiciones ambientales y la evolución de los mismos. Con la finalidad de evaluar estos resultados, este perfil representativo se comparó con un perfil ubicado en otro sector del área de distribución de la misma serie de suelos.

## SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En la Provincia de Entre Ríos (Argentina) se encuentra la pampa mesopotámica (mesopotamic pampa *sensu* Soriano (1992), prairie *sensu* Burkart (1969) o pseudoestepa gramínea *sensu* Cabrera (1976)), en donde se presenta una coexistencia de elementos micro, meso y megatérmicos que muestran un predominio alternado de acuerdo con el momento del año.

La pampa mesopotámica se encuentra dentro de la Provincia Pampeana (Cabrera, 1976; Cabrera y Willink, 1973; Morrone, 2001), Distrito Uruguayense, con excepción del sector Oeste en donde en las costas de ríos y arroyos se observan comunidades serales de selvas marginales pertenecientes a la Provincia Paranaense, Distrito de las Selvas Mixtas; y el sector Norte en donde se mezcla con vegetación xerófila de la Provincia del Espinal. En el área de estudio, la vegetación se caracteriza por la dominancia absoluta de gramíneas, entre las especies dominantes se presentan los géneros *Aristida*, *Bothriochloa*, *Briza*, *Bromus*, *Eragrostis*, *Melica*, *Panicum*, *Paspalum*, *Piptochaetium*, *Schizachirium* y *Stipa* (Cabrera, 1976; Cabrera y Willink, 1973). En este marco vegetacional y dadas las variaciones E-O de esta región, tanto por tipos de suelo, clima y tipo de aprovechamiento agrícola y/o ganadero que se ha desarrollado en el pasado, es que se seleccionó

el sector Oeste de esta región (Figura 1) que se encuentra representado principalmente en el Departamento Diamante de la Provincia de Entre Ríos, ya que más hacia el sur comienza a generarse un ambiente entremezclado con elementos isleños a partir de la región del Pre-Delta del río Paraná.

En lo que respecta al paisaje dominante, el área, se corresponde con una peniplanicie, que en su mayor parte se presenta ondulada a suavemente ondulada e interrumpida por relleno de materiales coluvio-aluviales sobre los principales fallamientos que constituyen los arroyos más importantes de la región. La distribución de los suelos de esta región está condicionada por la acción de la erosión geológica, que ha sido el agente morfogenético determinante de la presencia de suelos con una variabilidad de rasgos bastante amplia, junto al aporte de las formaciones más recientes que han sido redepositadas y mezcladas con otras subyacentes (loess coluvial, materiales aluviales, etc.). Posee un clima templado húmedo de llanura, que se caracteriza por su condición de peniplanicie abierta sin restricciones a la influencia de los vientos húmedos del noreste, al accionar de los vientos secos y refrigerantes del suroeste (causantes de los cambios repentinos de las condiciones climáticas) y a los vientos del sureste (aire frío saturado de humedad, que da lugar a semanas enteras de cielo cubier-

to, lluvias y temperaturas muy estables). La temperatura es templada, la media anual es de 18.2 °C y varía entre 24.7 °C en enero y 12 °C en julio, representando una amplitud térmica de 12.7 °C; las precipitaciones constituyen uno de los factores más importantes en la climatología general, la media anual es de 985.4 – 1069.1 mm, con una media mensual de 89.1 mm.

Para este estudio se restringió esta área con la selección de suelos perteneciente a la Serie “La Curtiembre” (Figura 1) de la familia “limosa fina, mixta, térmica” de los Argiudoles ácuicos de la región (Plan Mapa de Suelos, INTA, 1991). Éstos se desarrollan a partir de depósitos eólicos cuaternarios, correspondientes a la Formación Tezanos Pinto, característica del sustrato en el área (Iriondo, 1980). Los depósitos eólicos cuaternarios en la Provincia de Entre Ríos se disponen principalmente en el noroeste de la Provincia en la unidad geomorfológica Colinas de Crespo (Iriondo, 1998), entre la llanura aluvial del Paraná y el Arroyo Nogoyá, cubriendo el relieve en forma de manto de 2 a 3 m de espesor. Hacia el este resulta parcialmente erodada, presentándose sólo en los sectores más altos del relieve, hasta cerca del río Gualeguay. Desde Paraná hacia el norte aparece como una capa de 1 a 1.5 m de espesor cubriendo un faja de 5 a 10 km de ancho hasta cerca de La Paz, en donde hacia el este se presenta el mismo fenómeno de erosión parcial y aparecen remanentes en las lomas. En cuanto a su composición, es una unidad loésica constituida granulométricamente por limo arcilloso y muy escasa arena fina (menos del 5%); la grava basal aparece solo en el fondo de los valles. Es friable, contiene abundante carbonato en concreciones de hasta un centímetro de largo. Mineralógicamente está constituida por cuarzo con escasas plagioclasas y fragmentos de vidrio volcánico; la asociación de minerales pesados comprende turmalina, circón, rutilo, estauroilita, etc. típico de materiales provenientes del escudo brasileño. Esta formación fue originada por sedimentación de partículas finas transportadas en suspensión por el viento en una época de clima árido o semiárido. Cubre en forma de manto las irregularidades preexistentes del paisaje. Considerando su composición mineralógica y distribución, se deduce que la mayor parte de sus materiales originarios proviene de fuentes locales (Iriondo, 1980).

A nivel taxonómico de orden, los suelos que se desarrollan sobre esta unidad geomorfológica están representados en un 85 % de su superficie por Molisoles (*sensu* Plan Mapa de Suelos, INTA, 1991), frente a un 15 % de otros órdenes de suelos entre los cuales el 6% corresponden a Vertisoles. Entre lo Molisoles, se observa una dominancia superior al 50 % de suelos con presencia de un horizonte subsuperficial rico en arcilla (argílico) y con un régimen de humedad correspondiente a údico (Argiudoles).

En este marco, a nivel taxonómico de subgrupo, los Argiudoles ácuicos acusan la mayor preponderancia en la región (41.47% del área total *sensu* Plan Mapa de Suelos, INTA, 1991) manifestándose con diferentes rasgos que permiten clasificarlos en ocho series diferentes de suelos.

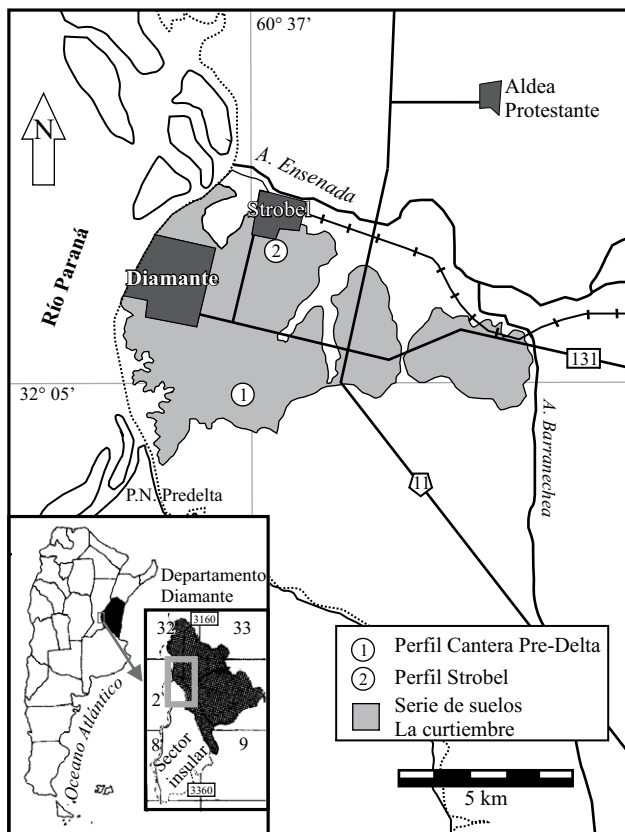


Figura 1. Mapa del área de estudio y localización de los perfiles estudiados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo con estas premisas se seleccionaron dos perfiles que por sus características se consideraron representativos de la Serie “La Curtiembre”; los mismos se describieron en campo siguiendo las normas establecidas por USDA *Soil Survey Manual* (Etchevehere, 1976) y fueron denominados: Cantera Pre-delta ( $32^{\circ}06'29.4''S$  y  $60^{\circ}37'54.6''W$ ) y Curva Strobel ( $32^{\circ}03'32''S$  y  $60^{\circ}36'50.1''W$ ) (Figura 1 y 2). El muestreo del perfil Cantera Pre-delta se realizó en forma continua de piso a techo y fue considerado, por sus características constitutivas, como perfil representativo de la serie de suelos estudiada. Por su parte, en el perfil Curva Strobel, las muestras fueron tomadas cada 10 cm (Figura 2), con el objetivo de comparar sus resultados con los obtenidos en el perfil Cantera Pre-delta y corroborar si las variaciones del perfil representativo se podrían extrapolar a otras áreas de la Serie. La denominación de cada perfil se debe principalmente al nombre de los lugares donde fueron muestreados y el espesor de cada muestra en ambos perfiles fue de 10 cm.

En laboratorio, las muestras obtenidas se secaron al aire, se cuartearon y fraccionaron a manera de destinar parte de ellas a la realización de análisis químicos estándar para suelos. Las determinaciones incluyeron materia orgánica por el método propuesto por Walkley y Black (1934), conductividad eléctrica a través de conductímetro analógico y pH en agua –dilución 1:2.5– (Peech, 1965) mediante peachímetro analógico.

Asimismo, las muestras se sometieron a análisis texturales con el fin de determinar su composición granulométrica elemental (arcilla, limos y arenas totales) mediante tamizado en húmedo para las arenas ( $>53 \mu m$ )

y por el método de pipeteado para limos ( $4 - 53 \mu m$ ) y arcillas ( $< 4 \mu m$ ).

Sincrónicamente se comenzaron las tareas de procesamiento de las mismas con la finalidad de concentrar sus microrestos para lo que primero fueron secadas en estufa, luego de lo cual se obtuvieron dos submuestras, una para archivo y otra que se trituró para ser sometida al tratamiento preliminar de acuerdo con lo descrito por Zucol y Osterrieth (2002).

Los tratamientos preliminares tienen por finalidad la eliminación de toda sustancia que provoque la aglomeración de los elementos micropaleontológicos de manera de liberarlos para facilitar su extracción. Estos tratamientos consistieron en la eliminación de sales solubles mediante lavado con agua destilada, carbonatos con ácido clorhídrico 1 N, materia orgánica con agua oxigenada al 30 % en volumen y barnices y/o cementos con ácido clorhídrico 1 N en caliente. Después de una neutralización final del material remanente o “muestra limpia” se procedió a la desagregación química con hexametáfosfato de sodio y posteriormente mecánica mediante agitador.

Sobre la muestra limpia se realizó una separación granulométrica en tres fracciones de tamaño de partículas sobre las que se centraron los estudios fitolíticos. Las fracciones gruesa (mayor a  $250 \mu m$  de diámetro) y media (entre  $53$  y  $250 \mu m$  de diámetro) se separaron por tamizado en húmedo, mientras que la fracción fina (entre  $5$  y  $53 \mu m$  de diámetro) se separó por sifonado a partir de la suspensión de la muestra dispersada en agua destilada.

Las fracciones media y fina se sometieron a una separación densimétrica con solución de politungstato de sodio (densidad de  $2.345 \text{ g/cm}^3$ ) por la técnica de centrifugación (Bertoldi de Pomar, 1976), extrayendo de esta manera el

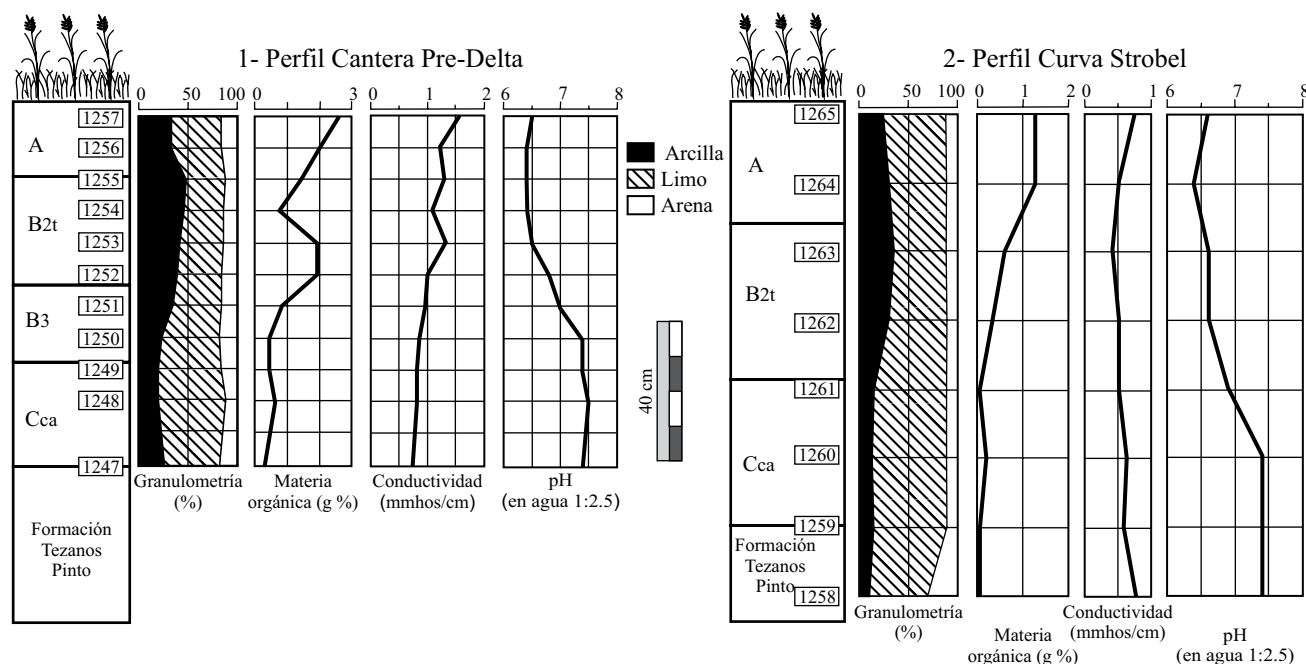


Figura 2. Esquema detallado de los perfiles y sus horizontes pedológicos (A, B2t, B3 y Cca), ubicación e identificación de cada muestra (p. ej., 1257) y representación gráfica de los resultados obtenidos en los análisis químicos.

material liviano (incluyendo los fitolitos) presente en cada fracción.

Este material concentrado se montó para su observación microscópica, tanto en medio líquido para observación tridimensional de los cuerpos como en preparados permanentes con Bálsamo de Canadá.

Para la identificación de los diferentes morfotipos se utilizó una clasificación *ad hoc* (detallada en la Figura 3) 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 (1996a) y siguiendo las normativas y descriptores propuestos por el ICPNWG (2005) (Tabla 1).

En el caso de las observaciones de fitolitos articulados, fueron descriptos de acuerdo con los tipos celulares que se reconocieron, como así también a su asignación tisular. De este modo se pudieron identificar: elementos subepidérmicos, elementos buliformes, células largas, células cortas, aguijones, ganchos, pelos enteros o fragmentados, aparatos estomáticos y fitolitos no identificados (*sensu* Zucol 1995, 1996b). Las observaciones y fotografías microscópicas fueron realizadas en un microscopio Nikon Eclipse E200 con montaje de cámara digital Nikon Coolpix S4.

En lo referente a la cuantificación de las asociaciones de microrestos, se contabilizaron 400 elementos / muestra, y se obtuvieron valores de abundancia relativa, con los que se creó una matriz básica de datos (MBD) sobre la que se efectuaron los análisis numéricos. El procesamiento de la información y su graficación en diagramas fitolíticos se realizaron con el programa POLPAL, *Numerical Análisis* (Walanus y Nalepka 1999a, 1999b, 2000; Nalepka y Walanus 2003) mientras que para los análisis multivariados se utilizó el programa PAST, *Paleontological Statistics* (Hammer *et al.*, 2001).

## RESULTADOS

### Caracterización pedológica

En ambos perfiles estudiados, el solum se presenta con una profundidad aproximada de 150 cm conformado morfológicamente por un horizonte A de un espesor de alrededor de 35 cm con un moderado tenor de humus el cual le imparte un color gris muy oscuro, textura franco limosa a franco arcillo limosa y estructura granular.

Por debajo se desarrolla un horizonte B textural de aproximadamente 50 cm de espesor con contenidos de arcilla superiores al 30 %, de coloración pardo grisáceo, con textura franco arcillo limosa hasta arcillo limosa y estructura en prismas compuestos irregulares, finos y débiles con rotura en bloques angulares irregulares y cuneiformes.

A partir de los 80 cm de profundidad, el perfil muestra la aparición de un horizonte C cálcico, de color pardo claro, de textura franco limosa y estructura masiva, suelta en seco y con abundante cantidad de carbonatos de calcio en forma de

concreciones y en la masa del suelo con moderada reacción al agregado de HCl (ácido clorhídrico) 10%. Este horizonte está estrechamente vinculado al material parental de estos suelos conformado por depósitos loésicos pertenecientes a la Formación Tezanos Pinto.

Los análisis químicos de ambos perfiles (Figura 2) muestran valores que se encuentran dentro de los parámetros normales establecidos para estos suelos pertenecientes a la Serie La Curtiembre (Plan Mapa de Suelos, INTA, 1991).

La reacción del suelo es ligeramente ácida en los horizontes superficiales con pH cercanos a 6.5 aumentando progresivamente hacia los horizontes más profundos donde los valores de pH se aproximan a 8. Estas variaciones son consistentes con las observadas en los suelos de la Serie y que deben ser atribuidas a la influencia que ejerce la presencia de CaCO<sub>3</sub> en el material loésico que constituye el material parental de estos suelos y cuya acción queda circunscripta siempre por debajo de los 80 cm, a merced de las variaciones freáticas.

Cabe mencionar que, si bien la conductividad eléctrica revela valores que están dentro del rango esperable para suelos en los cuales la incidencia del agua freática con altos tenores salinos es indudable, la tendencia a que los valores sean levemente superiores en los horizontes superficiales y decrezcan en profundidad debe ser atribuida al probable efecto del riego.

Respecto de la materia orgánica, ambos perfiles muestran valores que se corresponden con los suelos modales de la Serie. Sin embargo, la normal disminución en profundidad asociada a la influencia cada vez menos acentuada de los aportes superficiales, se ve reflejada sólo en el perfil Curva Strobel mientras que en el perfil Cantera Pre-delta se observa un llamativo incremento en los tenores de materia orgánica a nivel del techo del horizonte B, lo cual constituye una particularidad probablemente asociada a algún factor de alcance local.

### Caracterización fitolítica

En la Tabla A1 del suplemento electrónico y en las Figuras 4 y 7, se pueden observar las frecuencias relativas con las cuales se presentaron los diferentes morfotipos fitolíticos en cada muestra, tanto en el perfil Cantera Pre-delta como en el perfil Curva Strobel, así mismo es importante mencionar la presencia de biolitos como abundantes espiculas de espongiarios, las cuales presentaron diversas formas y tamaños, también, pero poco frecuentes, se encontraron frústulos de diatomeas y quistes de Crisostomatáceas.

#### *Análisis de las asociaciones fitolíticas del perfil Cantera Pre-delta*

En términos generales, el perfil Cantera Pre-delta presenta una composición fitolítica en donde predominan los macromorfos, en especial las formas de flabelos, poliédricos y prismáticos elongados. No obstante, un análisis

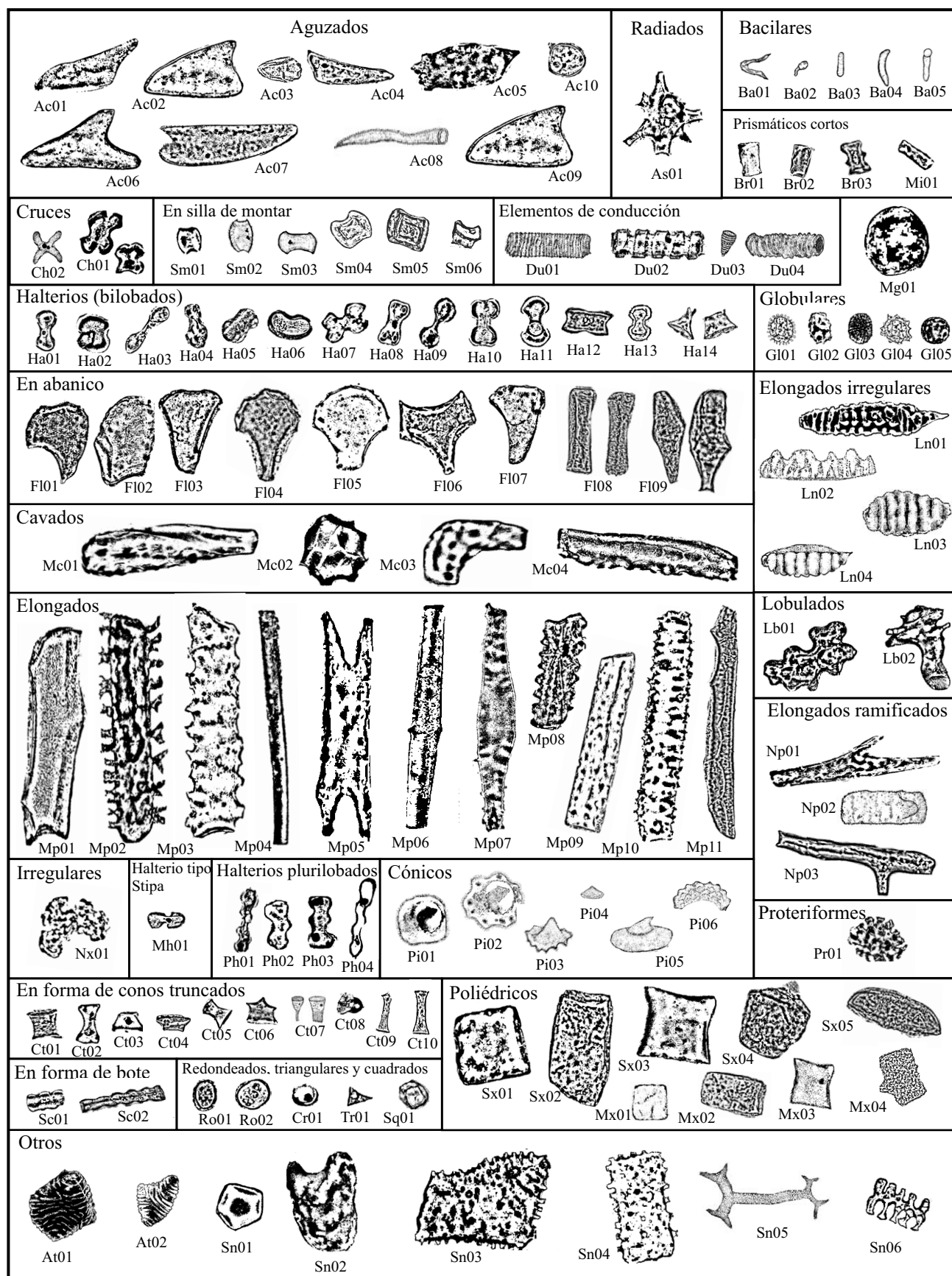


Figura 3. Clasificación de los morfotipos fitolíticos hallados y acrónimos utilizados para su identificación e ilustración en las distintas figuras.

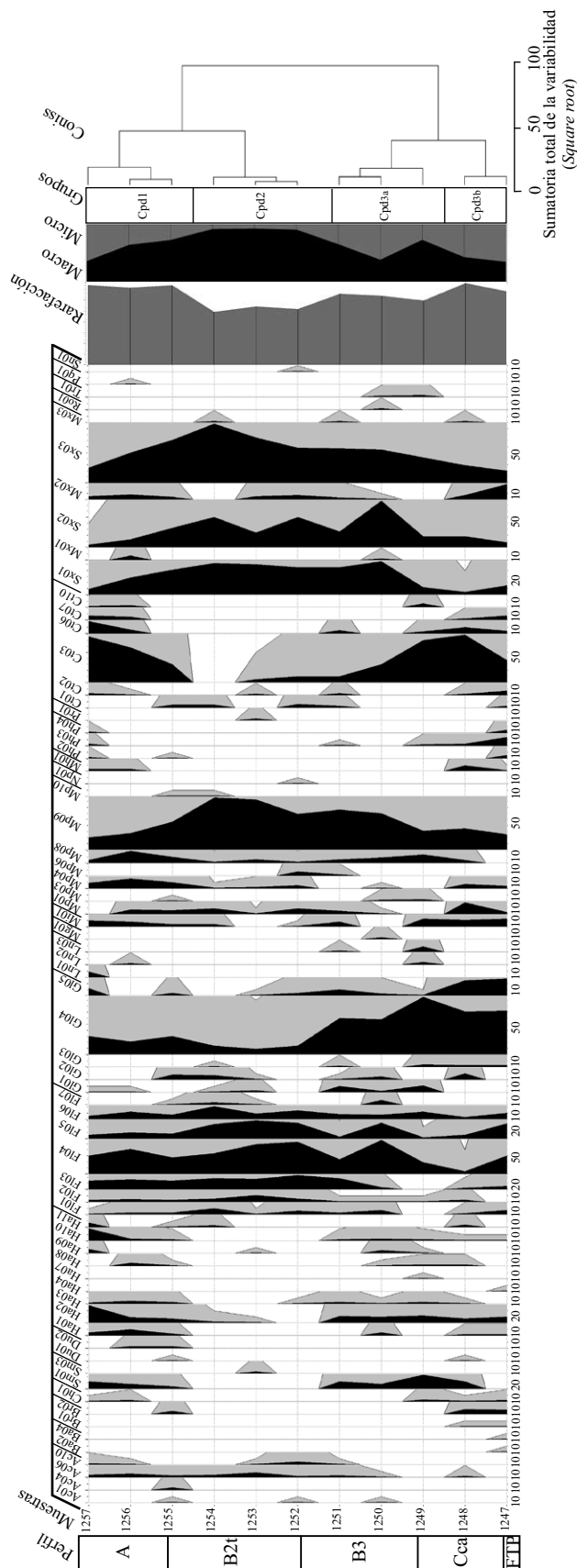
Tabla 1. Morfotipos fitolíticos usados en este estudio con una breve caracterización morfológica y la denominación propuesta por el ICPNWG (2005). a: acrónimos de morfotipos como en la Figura 3; b: grupos según Bertoldi de Pomar (1971).

Morfotipo fitolítico <sup>a</sup>	Breve descripción	Grupo <sup>b</sup>	Denominación propuesta por el ICPN
Ac	Elementos aguzados con base, a veces en forma de gancho y barbas aciculares, antrosas, retrosas y/o cortas.	Aguzados	<i>Point shaped</i>
Ba	Elementos bacilariformes menores a 40 µm de largo, con cuerpo en forma de clava.	Bacilares	<i>Bacillar</i>
Ch	Elementos originados a partir de células cortas, formados por cuatro lóbulos.	Halterios (bilobados)	<i>Cross shaped</i>
Ha	Elementos originados a partir de células cortas en forma de halterios.		<i>Bilobate</i>
Pl	Elemento halteriforme polilobulado.		<i>Polylobate</i>
Mh	Elementos con una de sus caras halteriforme, cuerpo aquillado que termina en su cara opuesta con contorno largo y delgado.		<i>Stipa type dumbbell</i>
Fl	Elementos en forma de abanico.	En abanico	<i>Cuneiform bulliform cell</i>
Gl	Elementos globulares esféricos o elipsoidales de superficie lisa o espinosa.	Globulares	<i>Globular</i>
Mg	Elementos globulares de superficie más o menos lisa y contorno esférico.		<i>Macroglobular</i>
Ln	Elementos de cuerpo claviforme.	Elongados irregulares	<i>Fusiform</i>
Mi	Elementos prismáticos, elongados, de bordes lisos, cuyo largo nunca supera los 30 µm.	Elongados	<i>Elongate</i>
Mp	Elementos prismáticos, elongados, de contorno levemente ensanchado, liso y/o festoneados.		
Ns	Elementos elongados con ramificaciones.		
Ct	Elementos originados a partir de células cortas en forma de cono truncado.	En forma de cono truncado	<i>Trapeziform short cell</i>
Sx	Elementos poliédricos.	Poliédricos	<i>Parallepipedal bulliform cell</i>
Rn	Elementos en forma de cilindros cortos o levemente cónicos.	Redondeados	<i>Rondel</i>
Sm	Elemento en forma de silla de montar.	En forma de silla de montar	<i>Saddle</i>
Du	Elemento cilíndrico originado a partir de componentes del tejido de conducción.	Elementos de conducción	<i>Cylindric sulcate tracheid</i>

detallado teniendo en cuenta los horizontes constituyentes del perfil permite detectar diferencias importantes tanto en composición como en distribución. En efecto, la diversidad de las asociaciones fitolíticas como lo muestra el diagrama de rarefacción del perfil Cantera Pre-delta (Figura 4), se presenta con un máximo de abundancias, es decir, mayor diversidad de morfotipos, en lo referente a las muestras pertenecientes al horizonte A (Cpd1) y en particular a su muestra más superficial. Esto se explicaría por la acumulación fitolítica más reciente de la vegetación suprayacente. En estas muestras también se observa una disminución de los fitolitos mayores a 60 µm desde el nivel superficial hacia los inferiores. Las muestras de la sección siguiente (Cpd2) presentan una pérdida de diversidad y se encuentran principalmente compuestas por elementos menores a 60 µm, tendencia que se revierte en la sección inferior (Cpd3) con un paulatino incremento tanto de la diversidad como de la proporción de fitolitos mayores a 60 µm. Por último la sección basal (Cpd4) posee una diversidad similar a la sección suprayacente y la proporción de fitolitos mayores y

menores a 60 µm se mantienen relativamente igual.

El análisis de agrupamiento de estas asociaciones permite establecer la separación de un conjunto de muestras de la sección superior en donde se diferencian las muestras superficiales (Cpd1: 1257, 1256 y 1255) y las del grupo de la sección media (Cpd2: 1252, 1253 y 1254) y, por otra parte, la sección inferior subdividida por un grupo superior (Cpd3: 1249, 1250 y 1252) y el grupo basal (Cpd4: 1247 y 1248). Este patrón de agrupamiento se puede interpretar en función de la morfología del perfil y, particularmente, considerando la composición textural de sus horizontes. A partir de una textura franca para el horizonte A (Cpd1), el perfil manifiesta un marcado incremento de las arcillas desde y a lo largo de todo el B<sub>2t</sub> (Cpd2) en concordancia con la escasa presencia de los fitolitos menores a 60 µm. Esta tendencia se revierte en el B<sub>3</sub> (Cpd3) con nuevo incremento de la fracción limosa que se mantiene hasta los niveles inferiores de la sección estudiada. Por último, el nivel basal representa un horizonte C<sub>ca</sub> (Cpd4) en donde la fracción mediana (53 – 250 µm) posee elevada abundancia



relativa, siendo la muestra intermedia (1249) la única que presenta variaciones a esta tendencia, ya que contrariamente a las demás, en los recuentos presentó una marcada baja en la proporción de elementos mayores a 60  $\mu\text{m}$ .

La sección Cpd 1 se caracteriza por la presencia de elementos aguzados como Ac06, que presenta una barba prominente de desarrollo central, fitolitos en forma de cruz, dentro de los cuales se presenta Ch01, originado a partir de células cortas con la presencia de cuatro lóbulos de igual forma y tamaño. Otro elemento originado en células cortas de la epidermis de gramíneas es el tipo silla de montar (Sm01) (Figura 5w), dentro del grupo de los bilobados se pudieron observar fitolitos con lóbulos convexos (Ha01) (Figuras 5f y 5g), de cuerpo botuliforme y cintura demarcada (Ha02), elongado en comparación con el ancho de los lóbulos (Ha03) y con lóbulos hendidos en sus extremos (Ha10) (Figura 5j). Se destaca la presencia de halterios tipo-stipa (Mh01) (Mulholland, 1989; Fredlund y Tieszen, 1994) de cuerpo aquillado que termina en su cara opuesta con contorno largo y delgado, y los elementos polilobados como Ph02, Ph03 y Ph04, que pueden o no presentar cintura demarcada y más de dos lóbulos. Los fitolitos en forma de cono truncado en este nivel, se encuentran principalmente representados por elementos de cuerpo achatado (Ct03) (Figuras 5u y 5v) y en menor frecuencia los de cuerpo verticalmente alargado y deprimido en su sector medio (Ct02); los que presentan lados rectos o levemente curvados (Ct05) (Figura 5t) y los que poseen uno de sus extremos achatado (Ct07).

La muestra 1255, se encuentra en el límite entre el horizonte A y el horizonte B2t, en ella se puede ver un máximo de abundancia fitolítica, condición dada por la acumulación de materiales que provienen de las muestras superiores. Las muestras correspondientes al horizonte B2t, denotan una disminución en la variedad fitolítica, atribuible al efecto de barrera que ocasiona la alta concentración de arcillas sobre la eluviación de materiales. Los elementos que caracterizan el horizonte son los de mayor tamaño y los más diversos, como los flabelos, dentro de los cuales se encontraron fitolitos de cuerpo anfimorfo, cara lateral convexa y cóncava la opuesta, el pie termina en forma casi cónica (F101) cuerpo o flabelo en forma de campana (F102) (Figura 6j); de contorno cuneiforme, caras planas y pie ancho (F103) (Figura 6h); flabelo convexo, semicircular y pie adelgazado (F104) (Figura 6i). Entre los prismáticos elongados encontramos elementos de bordes lisos, muy largo en relación a su ancho (Mp04); con sus bordes ondulados o festoneados (Mp08), y de bordes lisos (Mp09) (Figura 6c), cuyo largo supera los 30

Figura 4. Diagrama fitolítico del perfil Cantera Pre-delta, con el análisis de variabilidad de cada muestra mediante su rarefacción y el análisis de la distribución de los fitolitos mayores (negro) y menores a 60  $\mu\text{m}$  (gris) y el agrupamiento de las muestras realizado mediante CONISS (*Constrained Incremental Sum of Squares*) cluster analysis, mediante el método de transformación SQRT (*square root transformation*). Diagrama en negro: recuentos, gris: exageración mediante un factor 5 realizada para una clara observación de las bajas abundancias. FTP: Formación Tezanos Pinto.



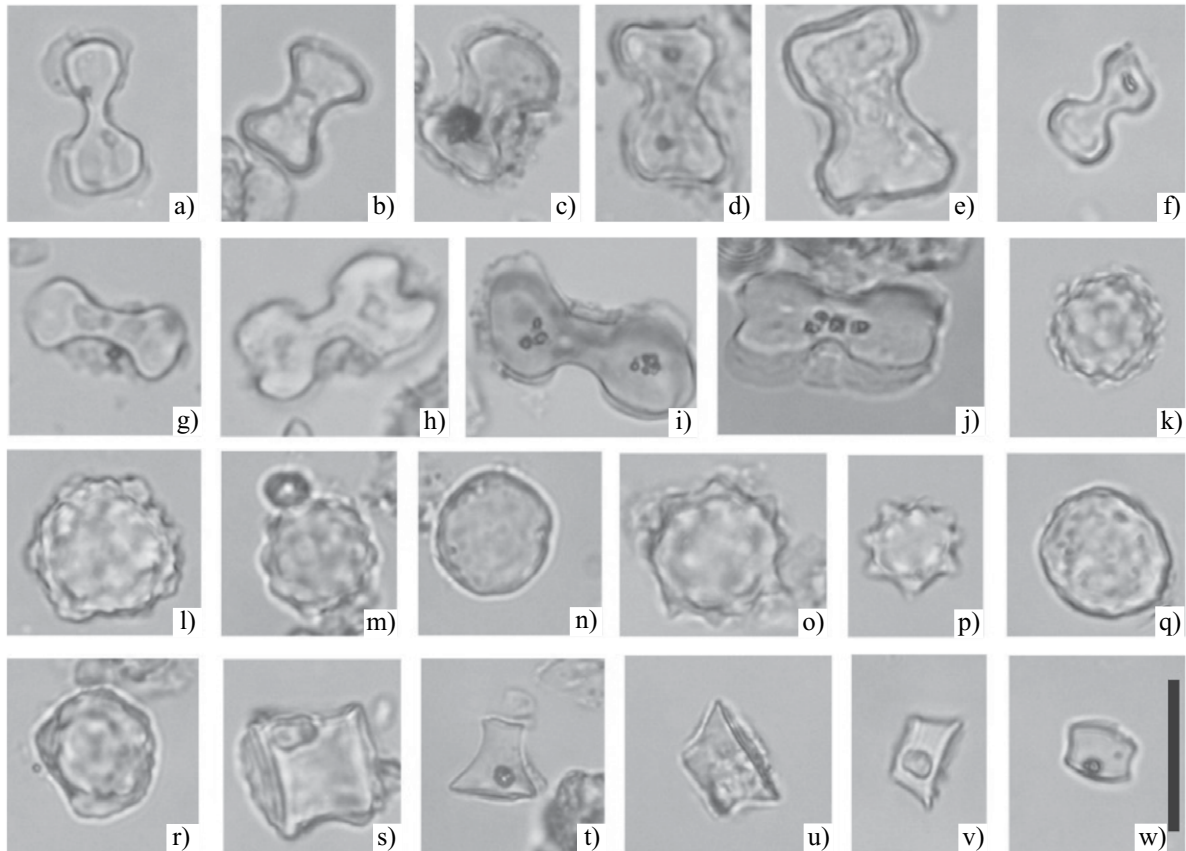


Figura 5. Fitolitos de menor tamaño. a-j: Fitolitos bilobados, halteriformes (a: Ha09; b, c y g: Ha01; d, e y f: Ha08; h: Ha07 e i: Ha03) y aquillados o halterio tipo stipa (j: Mh01). k-r: Fitolitos globulares de superficie espinosa (k, l, m, o y p: G104) y de superficie lisa (n, q y r: G103). s-v: Fitolitos en forma de cono truncado (s: Ct01; t: Ct05 y u y v: Ct03). w: Fitolito en forma de silla de montar (Sm02). Escala gráfica en w: 20  $\mu\text{m}$ .

$\mu\text{m}$ . Los poliédricos se caracterizan por estar presentes con elementos como Sx01, de lados rectos y cuerpo cuadrado (Figura 6f y 6g); de lados rectos y cuerpo tabular (Sx02) y Sx03, de lados laterales curvos (Figura 6e), en todos los casos éstos presentan un tamaño mayor a los 30  $\mu\text{m}$ . Los fitolitos de menor tamaño se presentaron de manera poco frecuente a escasa, cuanto a su observación solo se destaca la presencia de elementos aguzados como Ac06 y Ac10 formados a partir de ganchos silicificados en tejidos de gramíneas y bilobados (Ha02) de manera escasa.

El horizonte transicional B3 muestra un incremento de la variabilidad fitolítica, lo que podría ser atribuido a un aporte del material parental de estos suelos o de la vegetación que acompañó la formación del mismo. La composición fitolítica presenta un incremento de elementos de menor tamaño, dentro de los cuales cabe destacar la presencia de fitolitos de tipo de silla de montar Sm01, halteriformes de cuerpo botuliforme (Ha02), un incremento en la abundancia de elementos globulares en su mayoría de superficie espinosa (G104) (Figura 5k, 5l, 5m, 5o y 5p), de afinidad arcoide, elementos fusiformes como Ln02 y Ln03 (Figura 6d), de cuerpo claviforme y costillas muy próximas entre sí, éste tipo de elementos es característico de la familia de las Podostemáceas.

Por debajo del anterior horizonte se puede observar una disminución de la variabilidad fitolítica, correspondiéndose al horizonte Cca, donde la muestra que se encuentra en el límite de este horizonte y el horizonte B3, presentó abundancia de elementos de mayor tamaño y solo de forma escasa bilobados (Ha02). Para terminar, la variabilidad se incrementa nuevamente hacia la muestra que se encuentra en la zona central del horizonte Cca, lo que podría estar vinculado a una menor influencia de la vegetación actual y una mayor incidencia de la vegetación que acompañó los procesos pedogenéticos, como así también de la vegetación relacionada con el origen del material parental. Ya en este nivel se puede ver nuevamente una disminución de la abundancia de fitolitos de mayor tamaño y una mayor presencia de elementos de menor tamaño como fitolitos en forma de cruz, globulares de superficie espinosa o lisa, esférica o elipsoidal (G103 (Figura 5n y 5q), G104 y G105); polilobados (Ph02 y Ph03); halterios tipo-stipa (Mh01) y la presencia de conos truncados (Ct02, Ct03, Ct05 y Ct07).

Mediante el análisis de agrupamiento de las abundancias de morfotipos se puede zonificar este perfil (Figura 4), en donde se observa una separación de las muestras de cada horizonte. De piso a techo, se observa en el perfil, un grupo claramente demarcado compuesto por las muestras 1247 y

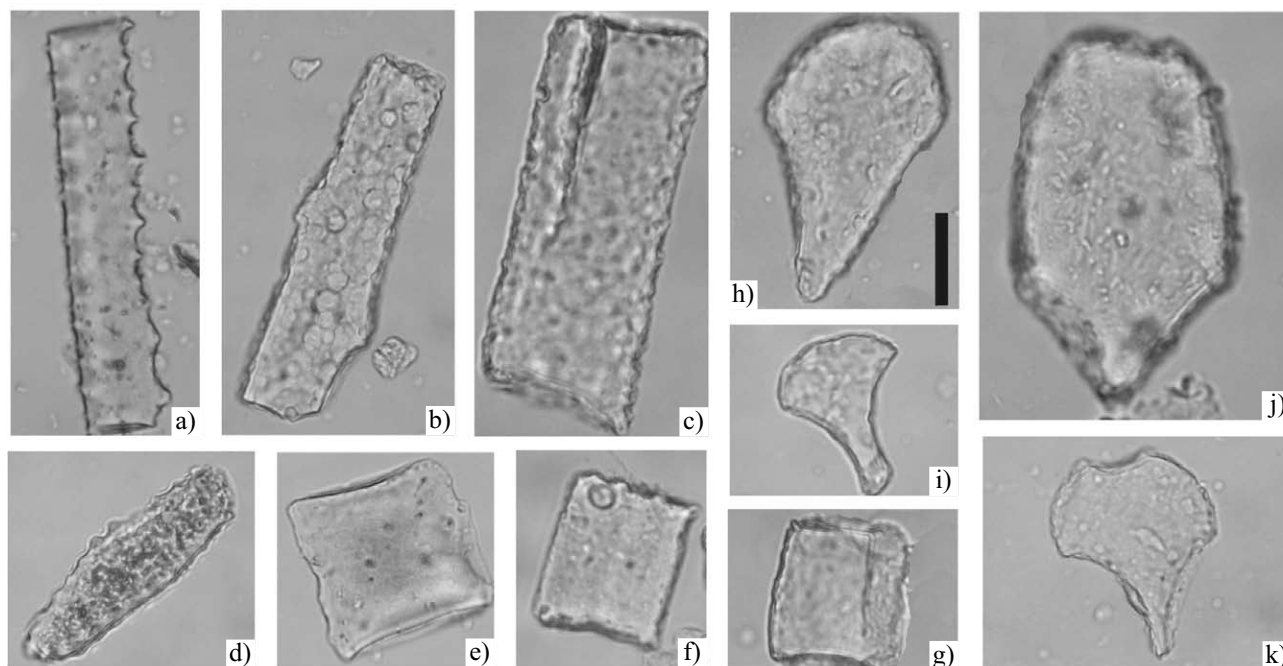


Figura 6. Fitolitos de mayor tamaño. a: Prismático elongado de bordes denticulados (Mp03); b: Prismático elongado ensanchado en su sección media de modo asimétrico (Mp01). c: Prismático elongado de bordes lisos (Mp09). d: Fitolito fusiforme (Ln03). e: Fitolito poliédrico de lados curvos (Sx03). f); y c: Fitolitos poliédricos de lados rectos (Sx01). h-k: Distintos tipos de fitolitos en forma de flabelo (h: FI03; i: FI04; j: FI02 y k: FI06). Escala gráfica en h=20  $\mu$ m.

1248 (zona Cpd 4), el cual estaría vinculado directamente al aporte de la Formación Tezanos Pinto. A continuación se presenta la muestra 1249 junto a la asociación de las muestras 1250 y 1251 (zona Cpd 3a), cuya composición manifiesta no solo la influencia de las paleocomunidades que acompañaron el desarrollo pedogenético sino que también, evidencia la influencia del material parental. El conjunto hasta aquí descrito puede ser considerado como el perteneciente al horizonte Cca, junto al horizonte de transición B3. Las muestras suprayacentes, conforman dos zonas. Por un lado, la zona Cpd 1 formada por la muestra 1257, vinculada a la porción superior del horizonte A con influencia directa de la vegetación actual y las muestras 1255 y 1256, relacionadas con los niveles inferiores del horizonte A; por el otro, la zona Cpd 2, formada por las muestras 1252, 1253 y 1254, que se corresponden con el horizonte B2t.

#### **Análisis de las asociaciones fitolíticas del perfil Curva Strobel**

En lo referente a la diversidad de las muestras analizadas (Figura 7), la muestra superficial (1265), al igual que lo observado en el perfil Cantera Pre-delta, presentó una marcada variabilidad, la cual disminuye levemente en las muestras inferiores y se incrementa recién en la muestra 1261. El sector inferior, por su parte, presenta una variabilidad sostenida que se incrementa en la muestra basal (1258). El análisis de la composición fitolítica de las muestras permitió agruparlas en una sección superior (St1), en donde se diferencia la muestra superficial (1265) y la muestra inferior de esta sección (1262), mientras que

las muestras medias (1263 y 1264) se vinculan más estrechamente entre sí y en conjunto con la muestra superficial. Esta sección, representada por muestras de los horizontes A y B2t, presenta una variación granulométrica similar a la descrita para el perfil Cantera Pre-delta en estos niveles, pero a diferencia de éste, no se observa el marcado incremento de la abundancia relativa de los fitolitos menores a 60  $\mu$ m. En forma general a la distribución por tamaño fitolítico, se observaron pequeñas variaciones a lo largo del perfil con una menor proporción de fitolitos mayores de 60  $\mu$ m en la muestra 1265, 1262 y a partir de la 1260.

El segundo grupo demarcado por el análisis de agrupamiento (St2) lo conforman las muestras 1260 y 1261, que representan el horizonte Cca del perfil, en donde se incrementa nuevamente la variabilidad fitolítica hasta las muestras basales. Estas muestras (1258 y 1259) demarcan el tercer grupo (St3) las cuales en el perfil se han interpretado como asignables a la Formación Tezanos Pinto subyacente. En estas muestras se evidenció un marcado incremento de la fracción arena que en forma comparativa ya se observó, con menor magnitud, en las muestras basales del perfil Cantera Pre-delta.

Desde la sección superficial del perfil (St1) en el horizonte A (muestras 1265 y 1264) la asociación fitolítica presente en las muestras, si bien con claras diferencias composicionales entre ambas, se encuentra dominada por fitolitos en forma de abanico o flabeliformes, con el flabelo convexo, semicircular y pie adelgazado (FI04) (Figura 6i) y flabelo con pie de lados convexos (FI05), éstos se caracterizan por ser células buliformes de la epidermis de

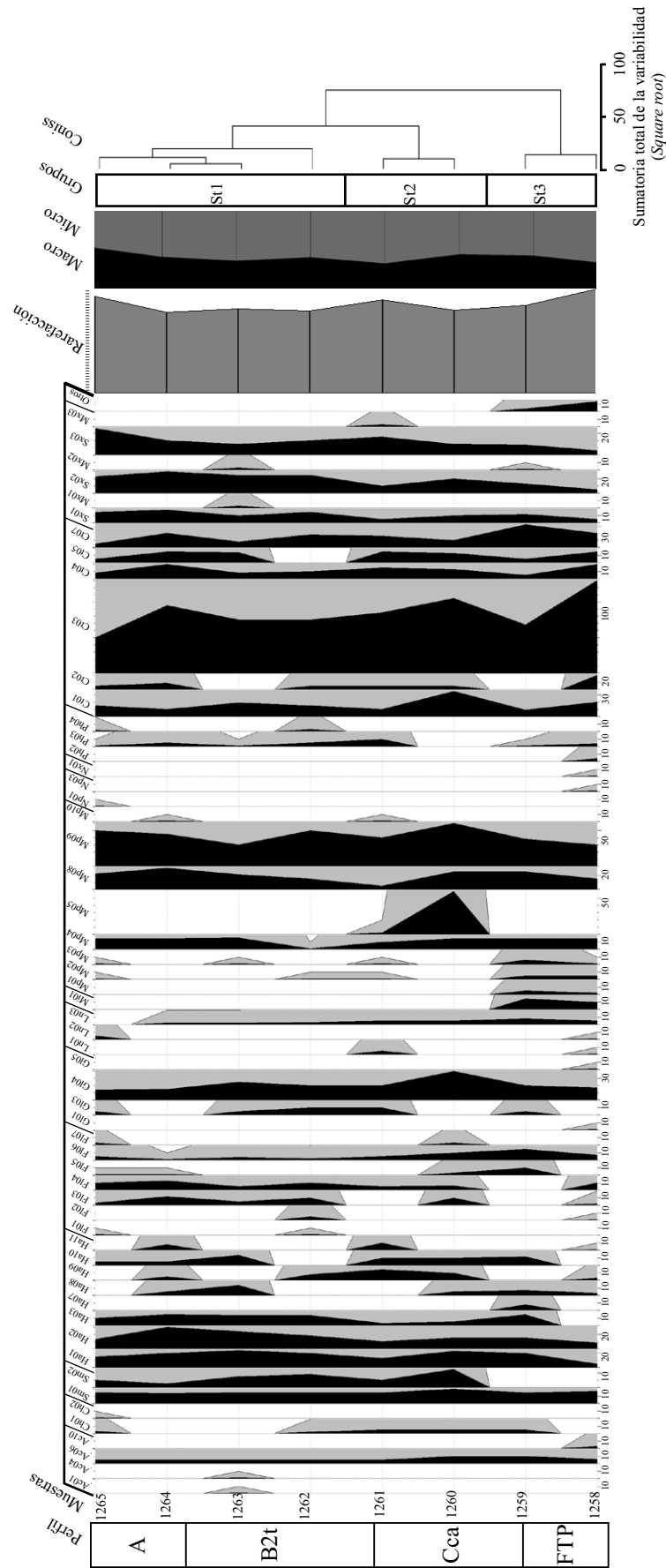


Figura 7. Diagrama fitofítico del perfil Curva Strobel, con el análisis de variabilidad de cada muestra mediante su rarefacción y el análisis de la distribución de los fitolitos mayores (negro) y menores a 60 µm (gris) y el agrupamiento de las muestras realizado mediante CONISS (*Constrained Incremental Sum of Squares cluster analysis*, mediante el método de transformación SQRT (*square root transformation*)). Diagrama en negro: recuentos, gris: exageración mediante un factor 5 realizada para una clara observación de las bajas abundancias. FTP: Formación Tezanos Pinto.

gramíneas. Acompañan a éstas, fitolitos de mayor tamaño como los prismáticos elongados, que se caracterizan por su morfología aplanada la cual coincide con la cara epidérmica externa foliar, y que en este horizonte se encuentran con mayor frecuencia representados por elongados (Mp08 y Mp09) en los cuales la diferencia se encuentra en sus aristas laterales o contorno, la que puede ser ondulada o lisa respectivamente, y son células epidérmicas largas de gramíneas, y en algunos casos de ciperáceas. Para terminar encontramos, definiendo a esta asociación los cuerpos poliédricos, los cuales se presentan de forma frecuente en el horizonte con sus morfotipos de sección cuadrada (Sx01) (Figuras 6f y 6g), tabular (Sx02) y de laterales curvos en su sección media (Sx03) (Figura 6e).

Dentro de los fitolitos de menor tamaño, la asociación se encuentra representada por fitolitos esféricos de superficie espinosa (Gl04) (Figuras 5k, 5l, 5m, 5p y 5r), de afinidad arecoide. Elementos en forma de conos truncados (Ct01, Ct03, Ct04 y Ct07) con mayor diversidad de morfotipos; por último, la presencia en este perfil de las formas halteriformes o bilobados, con lóbulos convexos (Ha01) (Figuras 5f y 5g), de cuerpo botuliforme y forma rolliza (Ha02) y con su centro alargado y sus lóbulos convexos (Ha03) (Figura 5i), siendo estos originados a partir de células cortas de gramíneas. El horizonte B2t, representado en este análisis por las muestras 1261 y 1262, se encuentra dominada por, elementos prismáticos elongados de contorno liso (Mp09) (Figura 6c), poliédricos (Sx02), acompañando a estos se pueden encontrar fitolitos de menor tamaño como globulares espinosos (Gl04), conos truncados (Ct03) (Figuras 5v y 5w), elementos en forma de silla de montar (Sm01 y Sm02), estas con sus caras laterales convexas, que pertenecen a células cortas de gramíneas. Acompañan elementos halteriformes como (Ha01; Ha02 y Ha03), a los cuales se suman bilobados, con lóbulos terminales globosos, subesféricos e istmos rectos (Ha09) (Figura 5a), los que se caracterizan por presentar lóbulos hendidos (Ha10) (Figura 5j) y los que presentan istmo marcado por una depresión y extremos convexos (Ha11) (Figuras 5b y 5c), los cuales son asignables a células cortas epidérmicas de gramíneas.

El horizonte Cca, representado por las muestras 1260 y 1261 (St2), cuya asociación se caracteriza por la presencia de fitolitos esféricos de afinidad arecoide, que se presentan de manera frecuente con el morfotipo Gl04, acompañada por fitolitos en forma de cono truncado (Ct03 y Ct07) y elementos bilobados (Ha01) que también caracteriza la asociación. Entre los fitolitos de mayor tamaño solamente se observaron de manera abundante prismáticos elongados de contornos ondulados (Mp08) y contornos lisos (Mp09).

El horizonte caracterizado como la Formación Tezanos Pinto (St3), se encuentra representado principalmente por la muestra 1258 y en parte por la muestra 1259 que se ubica en el límite del horizonte Cca y el material parental, la asociación fitolítica se caracteriza por la presencia en abundancia de prismáticos elongados de contornos lisos (Mp09) y conos truncados (Ct03).

### Análisis comparativo de los perfiles

Del análisis multivariado de las asociaciones fitolíticas de ambos perfiles puede observarse (Figura 8) que los tres primeros componentes principales (81.9828% de la variabilidad total) obtenidos mediante el análisis de componentes principales permite establecer mayores diferencias entre los grupos de asociaciones fitolíticas que conforman el perfil Cantera Pre-delta, mientras que las asociaciones del perfil Curva Strobel muestran una mayor homogeneidad. En particular el componente principal I (39.441% de la variabilidad total) vincula al grupo de muestras superficiales (Cpd1) del perfil Cantera Pre-delta con las asociaciones del perfil Curva Strobel, separando claramente este conjunto de las muestras medias e inferiores del perfil Cantera Pre-delta (Cpd2 y Cpd4) y éstas entre sí. Cabe aclarar que los integrantes del grupo medio inferior de este perfil (Cpd3) se han comportado en forma disímil y que es este componente, conjuntamente con el III, el que separa estas muestras vinculando a la muestra 1251 con el grupo Cpd2, y las muestras 1249 y 1250 con el Cpd4. A este componente contribuyen (en un total parcial de 3.1773% de su variabilidad) ordenados de mayor a menor aporte los siguientes morfotipos: Gl02, Mp09, Ph02, Sx01, Ct05, Mp04, Sx03, Fl04, Gl04, Fl03, Ct01 y Fl05. Por otra parte el componente principal II (36.366% de la variabilidad total) vincula las asociaciones fitolíticas superficiales de ambos perfiles (1255, 1256, 1257 y 1265), y en forma diferencial separa este grupo de las muestras medias e inferiores del perfil Curva Strobel (St p.p.) y de las del grupo de muestras medias e inferiores del perfil Cantera Pre-delta (Cpd2 y Cpd4). Por el contrario a los otros dos componentes, es la variabilidad que conforma este componente la que vincula a las muestras que integran el grupo Cpd3. A este componente contribuyen (en un total parcial de 2.2104% de su variabilidad) ordenados de mayor a menor aporte los siguientes morfotipos: Ct03, Sx03, Gl03, Ph02, Sx01, Fl04, Ct07, Ha01, Ha02, Mp08 y Sm01. Por último, el componente principal III (6.1758% de la variabilidad total) diferencia también a las muestras del grupo Cpd3 (en particular a la 1250 de las restantes) y a las muestras superficiales del perfil Cantera Pre-delta (Cpd1 y Cpd2) de las inferiores, vinculando este grupo con las asociaciones del perfil Curva Strobel. A este componente contribuyen (en un total parcial de 3.4168% de su variabilidad) ordenados de mayor a menor aporte los siguientes morfotipos: Fl03, Ct01, Ct03, Sx03, Mp04, Ct04, Ph02, Fl03, Fl04, Fl06, Gl05, Mx02, Mp08, Hah01, Ct07 y Gl04. En forma general entonces puede concluirse que el perfil Cantera Pre-delta se mostró más heterogéneo en sus componentes mediante estos análisis, con una clara diferenciación de las asociaciones medias del perfil; en contraparte el perfil Curva Strobel se comportó en forma más homogénea en lo referente a su composición y abundancias, siendo la salvedad la muestra más superficial del mismo que presentó una clara vinculación con el grupo superficial Cpd1. Considerando que el perfil Curva Strobel se presentaba en una media loma y Cantera Pre-delta en una loma, como así también el mayor

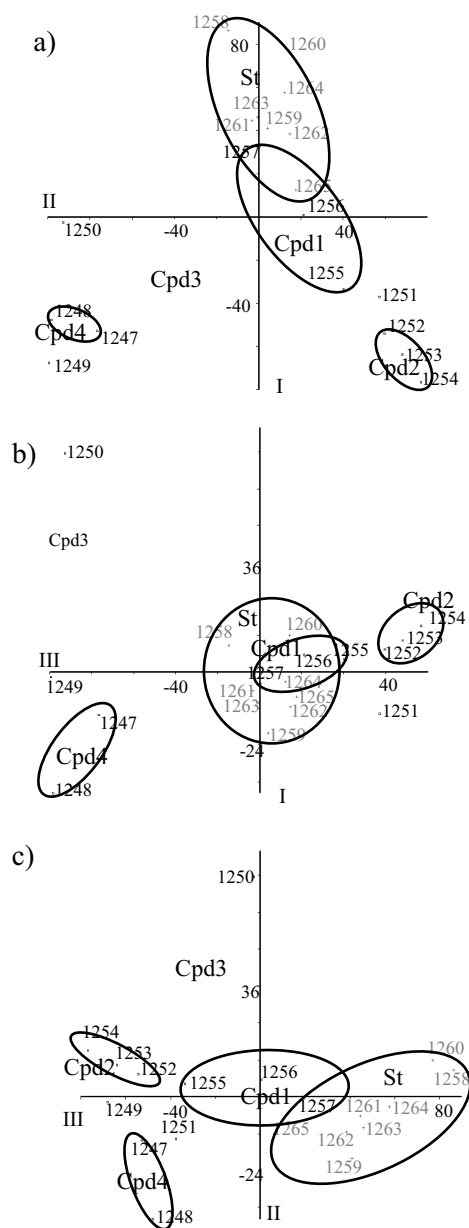


Figura 8. Análisis multivariados comparativos de ambos perfiles en donde se detallan la distribución de las asociaciones fitolíticas de acuerdo con los tres primeros componentes principales (81.9828% de la variabilidad total). Las muestras se denominan mediante su código de extracción y los agrupamientos como: Cpd1, Cpd2, Cpd3 y Cpd4 representan los grupos obtenidos (a: componentes I y II; b: componentes I y III y c: componentes II y III) mediante el análisis de las asociaciones fitolíticas del Perfil Cantera Pre-delta, mientras que St, es el conjunto de los grupos del Perfil Curva Strobel.

desarrollo del perfil Cantera Pre-delta, puede estimarse que esta diferencia podría estar dada por su desarrollo y posición en el paisaje; ya que texturalmente ambos responden a las mismas características de la serie de suelo, es decir, resultan similares. Mientras que en forma comparativa si bien como se puede observar en los mayores aportes de cada componente los morfotipos prismáticos o elongados, poliédricos y en forma de abanico, en conos truncados, polilobados

y globulares fueron los que dieron los mayores aportes a los tres componentes, las variaciones fueron otorgadas principalmente por sus distintas abundancias. Elementos como por ejemplo los fitolitos globulares marcaron en mayor medida la separación entre el grupo del perfil Cantera Pre-delta; mientras que morfotipos como algunas variantes de los conos truncados permitieron vincular estrechamente las muestras superficiales y diferenciarlas de las muestras medias e inferiores de ambos perfiles. Fitolitos como los elongados, poliédricos y en forma de abanico en sus distintos morfotipos han contribuido a los distintos componentes en forma variable de acuerdo con sus abundancias.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

En lo que respecta a la comparación de ambos perfiles tanto por sus características composicionales (Figura 2) como en la distribución de los fitolitos de acuerdo con su tamaño (Figuras 4 y 7) el perfil Cantera Pre-delta presentó un mejor desarrollo en las características de evolución pedológica, con una mejor selección de fitolitos acorde con su tamaño a lo largo del perfil, lo cual también se refleja en la variabilidad composicional de cada muestra; mientras que como fuera mencionado en párrafos previos, el perfil Curva Strobel manifestó una leve diferenciación de sus horizontes de acuerdo con estas características. Si bien ambos perfiles mostraron una elevada variabilidad en los niveles superiores, en las muestras basales de los niveles medios y en las inferiores, el proceso eluvial/iluvial queda más demarcado en el perfil Cantera Pre-delta.

La composición botánica de las asociaciones descritas se caracterizaron por la presencia de abundantes elementos gramíneos, principalmente los fitolitos en forma de conos truncados de afinidad danthonioide, que de acuerdo con los distintos sectores de los perfiles comparten su elevada abundancia con fitolitos en forma de silla de montar de afinidad chloridoide, en forma de pesas de gimnasia de afinidad panicoide y en forma de halterios aquillados y redondeados de afinidad stipode y pooide respectivamente. Por otra parte, la presencia de fitolitos globulares espinosos de afinidad arecoide permite inferir la presencia de palmeras en el desarrollo de estos perfiles. Si bien en la actualidad ambos perfiles se encuentran vinculados en forma natural a la presencia de vegetación herbácea, es posible considerar bajo estos resultados que originalmente se desarrollaron en una comunidad de tipo sabana más específicamente palmares, que en forma reciente perdió sus componentes de arbustos y estípites por acción humana. Es para este momento en donde se observan mayores porcentajes de elementos de climas templados cálidos como los panicoides coexistiendo con elementos templados fríos como actualmente ocurre en la pradera entrerriana. La composición de las asociaciones fitolíticas de la sección media permite estimar, que además de la mayor cantidad de palmeras en el pasado, el componente herbáceo se encontraba con mayores abundancias de

elementos templados cálidos de características áridas como es el caso de las chloridoideas que generalmente se encuentran con elevados porcentajes en los niveles intermedios. Por último los niveles basales, que en algunos casos pueden considerarse directamente el material parental, presentaron una composición característica que en muchos casos se observa en la/s muestra/s basal/es exclusivamente y que hacia las muestras medias varían su composición.

Estas tres principales tendencias observadas, es decir, la acumulación superficial y la migración de elementos, junto a la selección granulométrica del material en los niveles medios y la ausencia en el resto del perfil de elementos presentes en los niveles inferiores, permiten interpretar las asociaciones descritas y vincularlas a distintas etapas pedológicas de estos suelos. Los que comenzaron su desarrollo bajo una comunidad de palmares de condiciones templado-cálidas sin buena disponibilidad hídrica, para pasar a condiciones de mejor disponibilidad de agua, la cual puede estimarse sobre la base del mayor incremento de elementos como los fitolitos en forma de abanico y poliédricos que ocurrían en forma estacional; este cambio se corresponde con la menor abundancia también de indicadores de presencia de palmeras, pauperización esta que puede atribuirse a la acción antrópica.

Las diferencias observadas entre ambos perfiles, permiten concluir que estos cambios se correlacionan con variaciones regionales de la composición florística que acompañaron el desarrollo de ambos. Ya que a diferencia de lo descrito para el perfil Cantera Pre-delta, el perfil Curva Strobel mostró variaciones composicionales y de abundancia que los vinculó a los distintos grupos hallados en el perfil Cantera Pre-delta con la particularidad de que no permiten estimar una diferencia significativa de los componentes vegetales que acompañaron su desarrollo salvo por la distribución de los fitolitos arecoide y algunos tipos de herbáceas como los danthonioides.

En forma coincidente con análisis de suelos con escasos ciclos en su formación en otras áreas de la región pampeana (Fernández Honaine *et al.*, 2009), las secuencias pedosedimentarias analizadas muestra también la presencia de tres principales fuentes fitolíticas: el material parental y flora que acompañó la depositación del mismo, una flora de las etapas intermedias de desarrollo de estos suelos y la flora reciente; fuentes concatenadas por los procesos de desarrollo pedológicos.

Erra (2010), describe una asociación fitolítica para la Formación Tezanos Pinto con la presencia de elementos panicoides y chloridoideas mezclados con pooides y stipoides conformando una comunidad mesotérmica (*sensu* Burkart, 1975), con clara presencia de elementos arecoides y elementos ciperoides y otros indicadores de condiciones húmedas, lo que se ha interpretado como zonas locales de entrapamiento de este tipo de depósitos, en forma coincidente con la interpretación realizada desde las características geológicas de esta Formación (Iriondo, 1980, 1994; Iriondo y Kröhling, 2007, Kemp *et al.*, 2006). Puede decirse

que durante el período de depositación predominaron las condiciones árida a semi-áridas, condiciones estas que no son tan demarcadas durante el lapso posterior en que se desarrollaron estos suelos, en donde se observa una mayor disponibilidad hídrica y una variación de la composición florística que en gran parte puede ser vinculada al manejo antrópico de los recursos vegetales existentes, como así también, a la modificación intencional de los mismos.

A modo de conclusión, entonces, se puede decir que la implementación de los estudios fitolíticos en secuencias pedosedimentarias modificadas, o en donde no se cuenta con el referente florístico actual, estos análisis resultan una valiosa herramienta para comprender no sólo a la flora que acompañó su desarrollo, sino también a los procesos pedológicos, que experimentó la secuencia durante su evolución.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco de los proyectos PICT 13864. ANPCYT y PIPD-UADER 2003. Res. 553/05.

## APENCICE A. DATOS SUPLEMENTARIOS

La Tabla A1 puede consultarse en la página web de la Revista <<http://rmcg.unam.mx/>>, dentro de la tabla de contenido de este número (suplemento electrónico 28-1-02).

## REFERENCIAS

- Andreis, R., 1981, Identificación e importancia geológica de los paleosuelos: Libro-texto/2, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Editora da Universidade, 67 pp.
- Bertoldi de Pomar, H., 1971, Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos: Ameghiniana, 8(3-4), 317-328.
- Bertoldi de Pomar, H., 1976, Métodos de preparación se sedimentos clásticos para su estudio microscópico, I, Tratamientos previos: Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Revista, 7, 1-55.
- Blinnikov, M., Busacca, A., Whitlock, C., 2002, Reconstruction of the Late Pleistocene Columbia basin grassland, Washington, USA, based on the phytolith record in Loess: Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 177, 77-101.
- Borrelli, N., Osterrieth, M., Marcovecchio, J., 2008, Interrelations of vegetal cover, silicophytolith content and pedogenesis of Typical Argiudolls of the Pampean Plain, Argentina: Catena, 75, 146-153.
- Burkart, A., 1969, Flora Ilustrada de la Provincia de Entre Ríos. Parte II, Gramíneas: Colección Científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Tomo VI, 552 pp.
- Burkart, A., 1975, Evolution of grasses and grasslands in South America: Taxon, 24, 53-66.
- Cabrera, A. L., 1976, Regiones Fitogeográficas Argentinas: Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Segunda Edición, Tomo II, 85 pp.
- Cabrera, A. L., Willink, A., 1973, Biogeografía de América Latina: Monografía 13, Serie de Biología. 123 pp.
- Delhon, C., Alexandre, A., Berger, J., Thiebault, S., Brochier, J., Meunier, J., 2003, Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene Vegetation: Quaternary Research, 59

- 1), 48-60.
- Erra, G., 2010, Estudio fitolítico de la Formación Tezanos Pinto (Pleistoceno tardío-Holoceno temprano) en la provincia de Entre Ríos, Argentina: La Plata, Universidad Nacional de La Plata, tesis doctoral, 277 pp.
- Etchevehere, P., 1976, Normas de reconocimiento de suelos: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Suelos, Publicación N° 152, 211 pp.
- Fernández Honaine M., Osterrieth, M., Zucol, A. F., 2009, Plant communities and soil phytolith assemblages relationship in native grasslands from southeastern Buenos Aires province, Argentina: *Catena*, 76(1), 89-96.
- Fredlund, G.G., Tieszen, L.T., 1994, Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains: *Journal Biogeography*, 21, 321-335.
- Gallego, L., Distel, A. R., Camina R., Rodríguez Iglesias, R. M., 2004, Soil phytoliths as evidence for species replacement in grazed rangelands of central Argentina: *Ecography*, 27, 1-8.
- Hammer, Ø, Harper, D.A.T., Ryan, P. D., 2001, PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis: *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9 pp.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 1991, Carta de Suelos de la República Argentina, Departamento Diamante, Provincia de Entre Ríos: Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Serie Relevamiento de Recursos Naturales, núm. 9.
- IPCNWG, 2005, ICPN Work Group, Madella, M., Allexandre, A., Ball, T., International Code for Phytolith Nomenclature 1.0.: *Annals of Botany*, 96(2), 253-260.
- Iriarte, J., 2006, Vegetation and climate changes since 14,810 14C yr B.P. in southeastern Uruguay and implications for the rise of early Formative societies: *Quaternary Research*, 65(1), 20-32.
- Iriarte, J., Paz, E. A., 2009, Phytolith analysis of selected native plants and modern soils from southeastern Uruguay and its implications for paleoenvironmental and archeological reconstruction: *Quaternary International*, 193 (1), 33-123.
- Iriondo, M., 1980, El cuaternario de Entre Ríos: *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*, 11, 125-141.
- Iriondo, M., 1994, Los climas cuaternarios de la región pampeana: *Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales "Florentino Ameghino"*, 4(2), p. 1-46.
- Iriondo, M., 1998, Loess in Argentina: Temperate and Tropica, Excursión Guide N°3, Province of Entre Ríos: Internacional Union for Quaternary Reserch, Internacional Join Field Meeting, 1-12 pp.
- Iriondo, M., Kröhling, D., 2007, Geomorfología y sedimentología de la Cuenca superior del río Salado (sur de Santa Fe y Noroeste de Buenos Aires, Argentina): *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 14 (1), 1-23.
- Kemp, R.A., Zárate, M., Toms P., King M., Sanabria, J., Arguello, G., 2006, Late quaternary paleosols, stratigraphy and landscape evolution in Northern Pampa, Argentina: *Quaternary Research*, 66(1), 119-132.
- Kondo, R., Child, C., Atkinson, I., 1994, *Opal phytoliths of New Zealand: Maanaki Whenua Press*, 85 pp.
- Morrás, H., 1997, Origen y mineralogía del material parental de los suelos de la región pampeana. "Homogeneidad o Heterogeneidad" (resumen) en Primer taller de Sedimentología y Medio Ambiente, Asociación Argentina de Sedimentología, Buenos Aires, 19-20.
- Morrone, J. J., 2001, Biogeografía de América Latina y el Caribe: Zaragoza, M&T- Manuales y Tesis SEA, 3, 148 pp.
- Mulholland, S.C., 1989, Phytolith shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns: *Journal Archaeology Science*, 16, 489-511.
- Nalepka, D., Walanus, A., 2003, Data processing in pollen analysis: *Acta Paleobotánica*, 43 (1), 125-134.
- Osterrieth, M., Martínez, G., 1993, Palaeosols on Late Cenozoic loessic sequences in the northeastern side of Tandilia range, Buenos Aires, Argentina: *Quaternary International*, 17, 57-65.
- Osterrieth, M., Álvarez, M. F., Madella, M., 2004, Paleosuelos loessicos en secuencias sedimentarias del Cuaternario Tardío de la planicie fluvioeólica bonaerense (resumen), en *Actas, X Reunión Argentina de Sedimentología*, 123-124 p.
- Peech, M., 1965., Hydrogen-ion Activity, en Black, C. A. (ed), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties 9: Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy*, 914-926.
- Piperno, D. R., 1988, *Phytolith analysis: an archaeological and geological perspective: San Diego, Academic Press*, 280 pp.
- Scoppa, C., 1976, La mineralogía de los suelos de a llanura pampeana en la interpretación de su génesis y distribución (resumen), en *Actas VII Reunión Argentina de Ciencias del Suelo, Bahía Blanca, Argentina: Revista IDIA*, 33, 659-673.
- Soriano, A., 1992, Río de la Plata Grasslands, en Coupland R.T. (ed.), *Natural Grasslands: Introduction and Western Hemisphere: Amsterdam, Elsevier, Ecosystem of the World 8A*, 367-407.
- Stromberg, C., 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: *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 207 (3-4), 239-275pp.
- Teruggi, M.E., 1957, The nature and origin the Argentine loess: *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 (3), 322-332.
- Teruggi, M., 1984, *Diccionario Sedimentológico Vol. II. Rocas clásticas y suelos: Buenos Aires, Argentina, Ediciones Científicas Argentinas LIBRART (ECAL)*, 236 pp.
- Teruggi, M., Andreis, R., 1971, Microestructuras pedológicas. Características, distribución en sedimentos argentinos y posible aplicación en sedimentología: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 26(4), 91-502.
- Twiss, P.C., 1992, Predicted world distribution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grass phytoliths, en Rapp, G. Jr, Mulholland, S.C. (eds.), *Phytoliths Systematics. Emerging Issues: Advances in Archaeological and Museum Science*, 1, 113-128.
- Twiss, P.C., Suess, E., Smith, R. M., 1969, Morphological classification of grass phytoliths: *Soil Science of America Proceeding*, 33, 109-115.
- Vargas-Gil, J., Scoppa, C., 1973, Suelos de las Sierras de la provincial de Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, *Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3*, 10(2), 57-79.
- Walanus, A., Nalepka, D., 1999a, Program for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis, (POLPAL): *Acta Palaeobotánica, Supplement 2: 659-661*.
- Walanus, A., Nalepka, D., 1999b, POLPAL. Numerical analysis: Cracovia, Polonia, Polish Academy of Sciences, W. Szafer Institute of Botany, 10 pp.
- Walanus, A., 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 pp.
- Walkley, A., Black, I.A., 1934, An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method: *Soil Science*, 37, 29-37.
- Zarate, M., Blasi, A., 1991, Late Pleistocene and Holocene loess deposits of the southeastern Buenos Aires Province, Argentina: *GeoJournal*, 24(2), 211-220.
- Zucol, A.F., 1995, Microfitolitos; II. Análisis de las clasificaciones: Ameghiniana, 32(3), 243-248.
- Zucol, A.F., 1996a, Estudios morfológicos comparativos de especies de los géneros Stipa, Panicum y Paspalum (Poaceae), de la Provincia de Entre Ríos: Universidad Nacional de La Plata, tesis doctoral, 558 pp.
- Zucol, A.F., 1996b, 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., Osterrieth, M., 2002, Técnicas de preparación de muestras sedimentarias para la extracción de fitolitos: *Ameghiniana*, 39(3), 379-382.

Manuscrito recibido: Julio 2, 2010

Manuscrito corregido recibido: Diciembre 1, 2010

Manuscrito aceptado: Diciembre 13, 2010