

Interpretación paleoambiental del Grupo Mandiyutí (Carbonífero Superior), provincia de Salta, Argentina. Evidencias palinológicas, sedimentológicas y tafonómicas

Mercedes di PASQUO¹ y Carlos L. AZCUY¹

Abstract. PALEOENVIRONMENTAL INTERPRETATION OF THE MANDIYUTÍ GROUP (UPPER CARBONIFEROUS), SALTA PROVINCE, ARGENTINA. PALYNOLOGIC, SEDIMENTOLOGIC AND TAPHONOMIC EVIDENCES. In the Argentine region of Tarija Basin, the Mandiyutí Group includes two units: Escarpment and San Telmo Formations. The stratigraphic section, around 700 meters thick, is located at the surroundings of Caraparí River, Salta province. The paleomicrofloral study was made with samples from a section of 100 m thick at the boundary between these units. The recognition of more than one hundred of miospore species with their botanical affinities has allowed to reconstruct five paleofloral communities, each one with particular hydrophytic requirements. They have been defined as Paleocommunity A (lycophytes-sphenophytes), Paleocommunity B (filicophytes), Paleocommunity C (mainly monosaccate pollen grains), Paleocommunity D (polipli-cate pollen grains), Paleocommunity E (*Botryococcus* and other probable algae). Based on palynological, taphonomic and sedimentologic analyses from the studied section continental conditions are inferred. A trend of evolution for the depocentre, starting with a lacustrine system under humid conditions that ends with a drier alluvial plain, has been established. This paleoclimatic change is suggested by the appearance of the Paleocommunity D with *Equisetosporites* in the sample M445 of the middle section. It is also observed a change in the sediment color from grey in the lower and middle sections to red in the upper palynologically barren section. Finally, the observed transitional paleoclimatic evolution in this area of the Tarija Basin for the Carboniferous / Permian boundary is correlated with the same transitional change in other Argentine basins from this period.

Key words. Palynofloral paleocommunities. Taphonomy. Paleoenvironmental interpretation. Mandiyutí Group. Salta. Argentina.

Palabras clave. Paleocomunidades palinoflorísticas. Tafonomía. Interpretación paleoambiental. Grupo Mandiyutí. Salta. Argentina.

Introducción

Una de las mejores exposiciones del Grupo Mandiyutí se encuentra ubicada en la sierra de Aguara-güe, en el NE de la provincia de Salta, departamento de San Martín, a sólo 8 km del límite con Bolivia. Los afloramientos se hallan entre los 22° y 22°4' de latitud Sur y los 64° y 63° 45' de longitud Oeste, en las márgenes del río Caraparí y a lo largo del camino que lo bordea, donde la sucesión neopaleozoica alcanza alrededor de 700 m de potencia (Figura 1). El Grupo Mandiyutí está compuesto por las Formaciones Escarpment y San Telmo y en esta localidad la base de la primera unidad se halla oculta en el núcleo del anticlinal que conforma la sierra de Aguara-güe, y cuyo flanco oriental está truncado por la falla inversa que afecta toda la serranía. La Formación San Telmo infrayace en relación discordante a la sucesión

permotriásica del Grupo Cuevo. Información litoestratigráfica detallada de las Formaciones Escarpment y San Telmo puede consultarse en Azcuy y di Pasquo (1999).

Las muestras palinológicas que aportaron las evidencias discutidas en este trabajo provienen de una sección de aproximadamente 100 m de espesor correspondiente al límite entre las Formaciones Escarpment y San Telmo (figura 3). Las mismas brindaron más de un centenar de especies de miosporas cuyo análisis sistemático ha permitido atribuir a los estratos portadores una edad Carbonífero Tardío tardío, sin descartar que la muestra superior (M445), probablemente alcance el Pérmico Temprano (di Pasquo y Azcuy, 1997a y b). La escala de tiempo usada corresponde a la presentada recientemente por Menning (1993), que ubica el tope del Carbonífero en 296 Ma.

El objetivo de esta contribución es aportar a la interpretación paleoambiental de las condiciones en que se formaron los depósitos que componen el sector estudiado del Grupo Mandiyutí a partir de evidencias palinológicas, sedimentológicas y tafonómicas. Las primeras se sustentan en el reconocimiento

¹CONICET y UBA, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina.
E-mail: medipa@gl.fcen.uba.ar, azcuy@ciudad.com.ar. Fax: 5411-4637-3769.

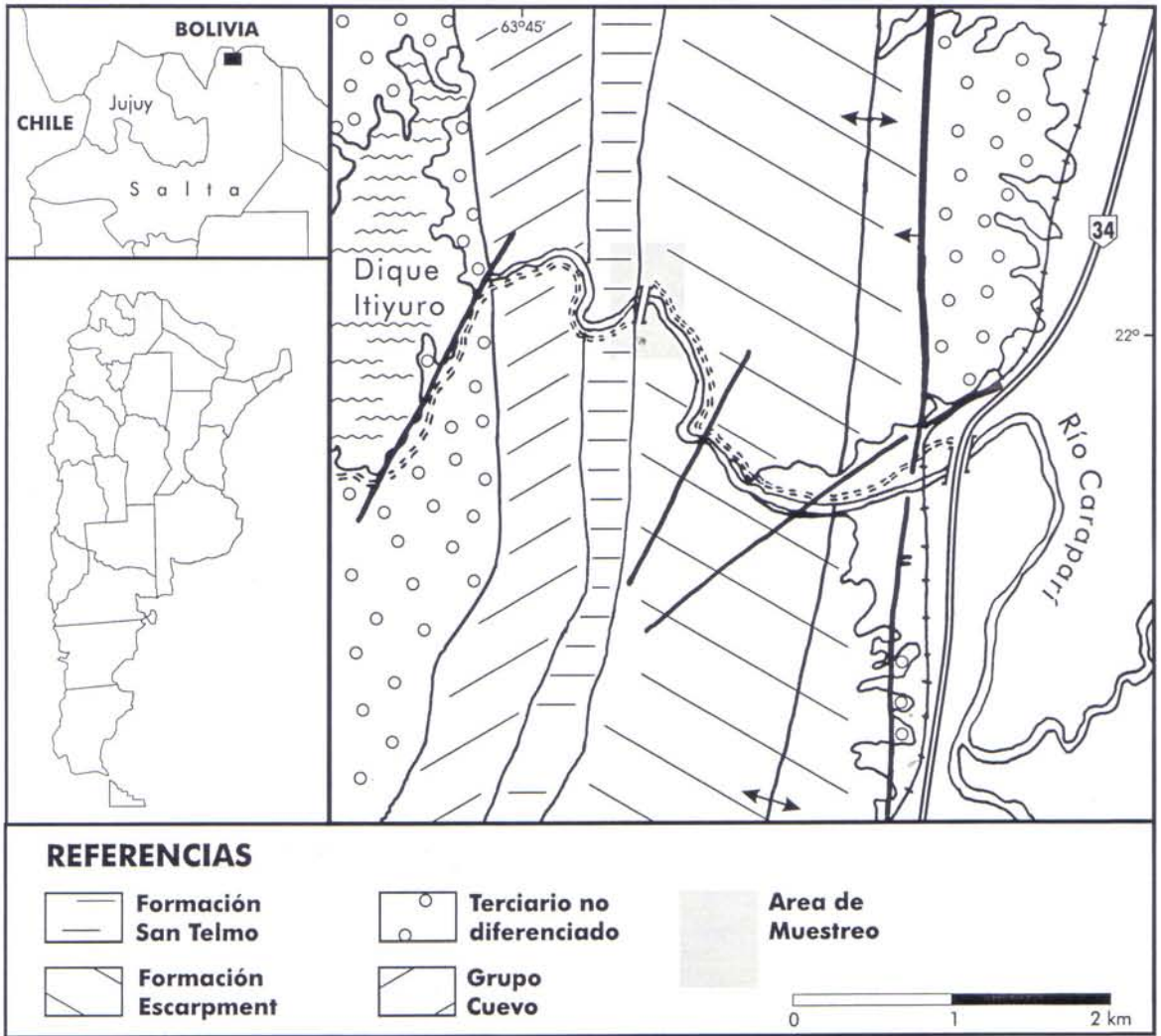


Figura 1. Bosquejo geológico de los alrededores del río Caraparí y ubicación del área de muestreo. / Geologic outline of the surroundings of Caraparí river and location of the studied area.

taxonómico de los palinomorfos autóctonos contenidos en los niveles fértiles (una lista sistemática completa de las especies reconocidas puede consultarse en di Pasquo y Azcuy, 1997a). La obtención de datos cuantitativos porcentuales se realizó a partir del conteo de aproximadamente 300 a 500 ejemplares por muestra. Las restantes evidencias surgen principalmente de observaciones de campo y del modo de dispersión y grado de preservación de los palinomorfos analizados.

El modelo propuesto corresponde a datos obtenidos de la transición entre las Formaciones Escarpment y San Telmo y puede considerarse válido para otras localidades del sur de la Cuenca Tarija donde aflora esa transición, especialmente en el sector argentino. A la hora de las conclusiones, ha recibido especial atención el abundante conjunto de palinomorfos redepositados, principalmente de origen devónico, previamente estudiado por di Pasquo y Azcuy (1997b), cuyo significado paleoecológico ha sido descartado en este estudio.

Evidencias sedimentológicas

Según Starck *et al.* (1993) el Grupo Mandiyutí se separa del Grupo Machareti por una discontinuidad que labró paleovalles en la Formación Tarija como consecuencia de un fuerte descenso relativo del nivel del mar. Las capas iniciales de la Formación Escarpment se componen principalmente de estratos arenosos que representan la depositación en sistemas fluviales a los que siguen otros pelíticos laminados tipo varves que registran un primer episodio lacustre. Más arriba depósitos arenosos sugieren nuevas condiciones fluviales que de manera transicional son sobrepuestos por los depósitos finos grisáceos de la base de la Formación San Telmo los cuales también representan ambientes lacustres. Estos depósitos gradan a otros rojizos (sección superior del Miembro Yaguacá y Miembro Chimeo), litofacialmente más variables, que sugieren un ambiente fluvial meandriforme desarrollado bajo un clima algo más árido para culminar con un nuevo episodio lacustre dominado

por procesos de decantación y flujos de detritos (Miembro Caiguami; Azcuy y di Pasquo, 1999).

A los fines descriptivos, los estratos involucrados en este estudio han sido divididos en tres secciones: inferior, media y superior (figura 3). De las siete muestras palinológicamente fértiles, las cuales se ubican entre el tope de la Formación Escarpment y la base de la Formación San Telmo, seis (M1138, M5, M6, M7, M8 y M446) se hallan en la transición aquí descrita como sección inferior, la cual consiste esencialmente de una alternancia de capas de pelitas laminadas de color gris oscuro con escasos y poco potentes niveles arenosos y fangolítico-diamictíticos de colores grisáceos; la restante (M445) ubicada unos 50 m más arriba (figura 3), fue coleccionada en pelitas laminadas de color gris oscuro con ondulitas y nódulos calcáreos. Esta muestra se ubica en la sección media del tramo estudiado, el cual remata con un paquete de pelitas laminadas rojizas estériles, que corresponde a la sección superior. El análisis de facies de las secciones arriba citadas, indica un predominio de sedimentos finos (90 % de pelitas) sobre otros algo más gruesos (10 % de areniscas finas).

La sección inferior (25 m) se compone de una asociación de facies representada por tres litofacies, las cuales alternan entre sí:

Heterolítica. Caracterizada por limolitas y areniscas finas con estructuras de corriente como laminación paralela y ondulitas simétricas, con contactos netos o transicionales. Conforman bancos tabulares bien estratificados que alcanzan espesores desde 1 a 6 m.

Areniscas. Representan una mínima proporción dentro de esta sección. Se compone de areniscas medianas a gruesas, bien seleccionadas, con estratificación entrecruzada de pequeña escala, bases principalmente erosivas, en bancos tabulares a lenticulares desde centimétricos hasta 1 metro de potencia.

Fangolitas diamictíticas. Se trata de fangolitas guijarrosas con clastos cuarcíticos y lentes de areniscas en una baja proporción respecto de la matriz arcillosa. Los bancos son tabulares, masivos internamente y presentan bases netas, alcanzando potencias de 40 cm a 4 m.

Esta asociación de facies indica procesos de sedimentación de baja energía, principalmente de decantación en un ambiente lacustre poco profundo pero permanente que impide la exposición subaérea de los depósitos finos. La combinación de estas facies se interpreta como originada a partir de flujos hiperpícnicos, los cuales al penetrar al lago, producen una estratificación de las aguas y se transforman en corrientes de fondo que generan canales con albardones subacuáticos y depósitos de decantación correspondientes a la facies heterolítica (Talbot y Allen, 1996).

La sección media del tramo considerado (17 m)

está compuesta por sedimentos pelíticos aún de coloración grisácea y con estructuras de baja energía. Se trata de una alternancia de arcilitas con fina laminación paralela y limolitas macizas u ondulíticas principalmente simétricas con lentes y nódulos calcáreos. Estos últimos habrían constituido delgadas capas calcáreas, más o menos continuas, que luego, por procesos de compactación fueron transformadas en lentes discontinuos.

Esta asociación se interpreta de manera semejante a la asociación anterior, y comprende la depositación de sedimentos finos principalmente por decantación en un ambiente lacustre de escasa profundidad aunque permanente. La alternancia de sedimentos clásticos con otros de naturaleza química se interpreta como una variación en la tasa de sedimentación, indicando períodos de escaso a nulo aporte con otros de aporte moderado.

La sección superior (por arriba de M445), consiste de un paquete de pelitas castaño moradas de alrededor de 40 m de potencia, internamente laminadas y con un cierto bandeamiento de color, poco aptas para la preservación de materia orgánica.

Estas sedimentitas se interpretan como parte de la planicie de inundación del sistema fluvial que recorría la planicie aluvial aportando sedimentos al sistema lacustre previamente descrito (Collinson, 1996).
Evidencias palinológicas

Los diferentes conjuntos de palinomorfos hallados en el depocentro, han sido separados sobre la base de los siguientes elementos de juicio: a) probable relación entre los palinomorfos y sus plantas parentales, b) abundancia relativa de los géneros o grupos mayores de palinomorfos, c) reconocimiento de las diferentes paleocomunidades vegetales, su composición y requerimientos hidrófilos.

Afinidades botánicas. Las relaciones entre palinomorfos y plantas parentales fósiles, son dificultosas de establecer en el Neopaleozoico pues surgen del estudio de esporas y granos de polen *in situ*, obtenidos de fructificaciones en muchos casos halladas en conexión orgánica con partes vegetativas. Estos estudios, por diversas razones han sido más frecuentes en el Hemisferio Norte que en las regiones del Gondwana, especialmente en el sur de América del Sur, y su función es permitir la comparación de miosporas fósiles halladas *in situ* con aquéllas dispersas provenientes de grupos de plantas fósiles habitualmente con representantes actuales. Un dato a señalar es que aún no han sido reportados de capas neopaleozoicas del noroeste argentino de la Cuenca Tarija, restos identificables de plantas fósiles que ayuden a establecer una mejor vinculación con el contenido microfloreístico aquí analizado. Sin embargo, un valioso número de géneros pudo ser referido de manera indirecta con sus plantas parentales (cuadro 2).

Cuadro 1. Muestra la afinidad botánica y los posibles requerimientos de humedad y/o salinidad de los géneros seleccionados. La abundancia relativa se expresa en rangos de porcentajes de individuos reconocidos en la asociación del Grupo Mandiyuti, de acuerdo con el siguiente código: Raro (R) > 1%, Común (C) 1-5 %, Frecuente (F) 5-10 %, Abundante (A) > 10 %. / Botanical affinities and probable request of humidity and/or salinity of the selected genera. The relative abundance is represented as ranges of percentage of specimens recognized in the Mandiyuti Group assemblage, according to: Rare (R) > 1%, Common (C) 1-5 %, Frequent (F) 5-10 %, Abundant (A) > 10 %.

Paleoecología	Hid-Hig	Hid-Hig	Hig-Me	Hig-Me	Hig-Me	Hig-Me	Me	Me-Xe	A.Dul/Mix
Afinidad botánica	Licof.	Esfen.	Filicof.	Pteridosp.	Cyc-Gink	Cordait.	Conif.	Gnetal.?	Chloroc-Zygn
Géneros									
<i>Apiculatisporis</i>			R						A
<i>Botryococcus</i>									C
<i>Brazilea</i>					*		C		
<i>Caleniasaccites</i>									
<i>Calamospora</i>		A	A				F	F	
<i>Camuanoropollis</i>							C	C	
<i>Circumplicatipollis</i>									
<i>Convolutispora</i>				R					
<i>Cristatisporites</i>	C								
<i>Cycadopites</i>				C	C				
<i>Cyclogranisporites</i>			F	F					
<i>Dictyotriletes</i>			R						
<i>Endosporites</i>	R							R	
<i>Equisetosporites</i>									
<i>Granulatisporites</i>			C						R
<i>Kagulubeites</i>									
<i>Kraeuselisporites</i>	R								
<i>Laevigatosporites</i>		C	C						
<i>Leiotriletes</i>			C						
<i>Limitisporites</i>							R		
<i>Lundbladispora</i>	R								
<i>Maculatasporites</i>									R
<i>Marsupipollenites</i>				R					
<i>Microreticulatisporites</i>			R						
<i>Platysaccus</i>							R		
<i>Plicatipollenites</i>						A	A		
<i>Portalites</i>							A		R
<i>Potoniisporites</i>				A					
<i>Pteruchipollenites</i>				R					
<i>Punctatisporites</i>			F						
<i>Punctatosporites</i>			C						C
<i>Quadrisporites</i>									
<i>Raistrickia</i>				R					
<i>Reticulatisporites</i>		C							
<i>Retusotriletes</i>		R	R						
<i>Schopfipollenites</i>				R					
<i>Tetraporina</i>									F
<i>Thymospora</i>			R						
<i>Vallatisporites</i>	F								
<i>Verrucosisporites</i>			R						

Relaciones porcentuales. Consisten en la cuantificación porcentual de ciertos grupos de palinomorfos, seleccionados a partir de su identificación sistemática y requerimientos de humedad y/o salinidad, los cuales surgen del análisis del punto anterior. Esta información mostrada en el cuadro 1 representa también las probables necesidades hidrófilas de los géneros seleccionados, deducidas por comparación con las de representantes fósiles y actuales. Este carácter es consecuencia del conocimiento de las afinidades botánicas de los géneros considerados, las cuales fueron tomadas, entre otros, de los siguientes autores: Potonié y Kremp (1956), Potonié (1962, 1967), Staplin *et al.* (1967), Balme (1970), Azcuy (1975a, b, 1978), Remy (1975), Gould y Delevoryas (1977), Peppers AMEGHINIANA 36 (4), 1999

(1979), Clement-Westerhof (1984), Vergel (1986), Traverse (1988), Ottone (1989), Colbath y Grenfell (1995), Grenfell (1995), Lindström (1995), Coquel y Broumiche Delcambre (1996), Poort y Veld (1997). Algunos de estos trabajos contienen consideraciones paleoecológicas sobre los palinomorfos aquí tratados en relación con sus plantas parentales, las cuales fueron utilizadas en la reconstrucción de los habitats de las paleocomunidades reconocidas.

La asociación está compuesta por 103 especies que evidencian una interesante diversidad de formas y origen (di Pasquo y Azcuy, 1997a). De ellas el 42% corresponden a esporas de pteridofitas, el 40% a granos de polen de gimnospermas y el 18% a diversos grupos de algas (figura 2.A). La figura 2.B repre-

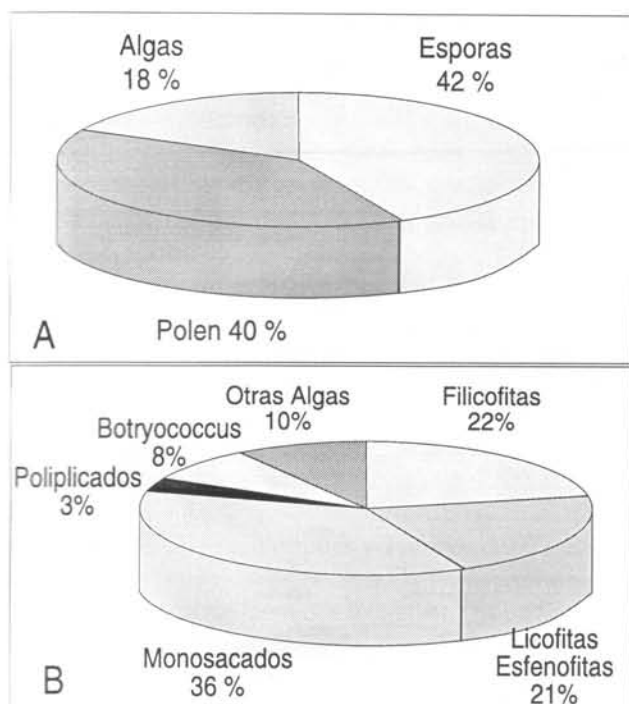


Figura 2. A, Representación porcentual de los grupos polínicos mayores en la asociación estudiada del río Caraparí. / Percentage of major pollinical groups present in the Caraparí river assemblage. B, Representación porcentual de las paleocomunidades reconocidas en la asociación estudiada. En el texto se denominan de la siguiente manera: Paleocomunidad A (Licofitas-Esfenofitas), B (Filicofitas), C (granos de polen monosacado), D (granos poliplicados), E (Botryococcus y otras probables algas). / Percentage of paleocommunities recognized in the studied assemblage. In the text they are cited as following: Paleocommunity A (lycophytes-sphenophytes), B (filicophytes), C (mainly monosaccate pollen grains), D (poliplicate pollen grains), E (Botryococcus and other probable algae).

senta las abundancias relativas de los principales conjuntos palinológicos reconocidos en el Grupo Mandiyutí, seleccionados por sus requerimientos paleoecológicos. Entre las esporas predominan aquéllas de afinidad filicofita (22%), a las que siguen el grupo de las esfenofitas/licofitas (21%). Dentro de los granos de polen dominan los monosacados (36%) entre los que se incluye un pequeño lote de granos monosulcados y muy escasos bisacados; granos poliplicados están presentes sólo en la muestra más joven y representan un 3%. El grupo de las algas y esporas de Zygnemataceae está dominado por *Botryococcus* (8%), en relación a géneros como *Tetraporina*, *Portalites*, *Quadriflorites*, *Deusilites* y otros, que en conjunto alcanzan el 10%.

Composición de las paleocomunidades. En la figura 3 se representa la distribución y composición porcentual de las cinco paleocomunidades identificadas en las muestras palinológicas. Tanto en la sección inferior (M1138-446) como en la media (M445) del tramo estudiado, se reconocieron las paleocomunidades A, B, C y E, mientras que la D sólo fue identificada en la M445.

El análisis de la asociación comienza con un conjunto de esporas las cuales tuvieron su origen, mayoritariamente, en una vegetación pteridofítica en la que pueden distinguirse varios grupos de plantas con requerimientos hidrófilos parcialmente diferentes (cuadro 1). El primero corresponde a licofitas y está representado por esporas trilete cavadas, cingulizadas o pseudosacadas como *Vallatisporites*, *Cristatisporites*, *Densosporites*, *Lundbladispota*, *Endosporites*, entre otras. Otro grupo estrechamente vinculado al anterior por sus similares requerimientos hidrófilos es el de las esfenofitas, constituido por esporas trilete acavadas lisas como *Calamospora*, *Retusotriletes*, y esporas monoete como *Laevigatosporites*. Las esfenofitas y licofitas indican un contacto directo o muy próximo con cuerpos de agua (vegetación hidrohigrófila), comparten el mismo habitat y sus esporas son aquí reunidas en la Paleocomunidad A (figuras 2.B y 3).

Un grupo con características hidrófilas en parte diferentes está compuesto principalmente por filicofitas herbáceas representadas por esporas trilete acavadas, lisas, apiculadas y murornadas como *Punctatisporites*, *Leiotriletes*, *Cyclogranisporites*, *Granulatisporites*, *Verrucosisporites*, *Dictyotriletes* y otras esporas monoete como *Thymospora*. Estos helechos corresponderían a asociaciones higró-hasta mesófilas ubicadas en ambientes umbríos típicos de sotobosque o en la proximidad de cuerpos de agua, aunque no necesariamente vinculados con estos, sino con la presencia de un nivel freático subsuperficial mantenido en parte por el aporte de lluvias periódicas. Las esporas que integran esta asociación constituyen otro conjunto bien diferenciado, la Paleocomunidad B (véanse las figuras 2.B y 3).

Las gimnospermas son en orden de abundancia, el segundo conjunto de plantas en el depocentro estudiado del Grupo Mandiyutí. Allí, los muy numerosos granos de polen monosacado presentes como *Potoniaesporites*, *Cannanoropollis*, *Circumplectipollis*, *Plicatipollenites*, y otros granos monosulcados como *Cycadopites*, representan una vegetación arbustiva/arbórea. Estas plantas eran de características principalmente mesófilas a higromesófilas (cuadro 1), y sus miosporas se hallan mayoritariamente vinculadas con coniferales y cordaitales, típicas formadoras de los bosques carbonífero/pérmicos. Los granos de polen monosacados y monosulcados representan una paleocomunidad vegetal de habitat característico aquí denominada Paleocomunidad C (figuras 2.B y 3).

Un conjunto pequeño pero de valor muy significativo, está representado por la aparición de probables gimnospermas con requerimientos de humedad desde meso-hasta parcialmente xerófilos (cuadro 1). Se trata de granos poliplicados como *Equisetosporites*

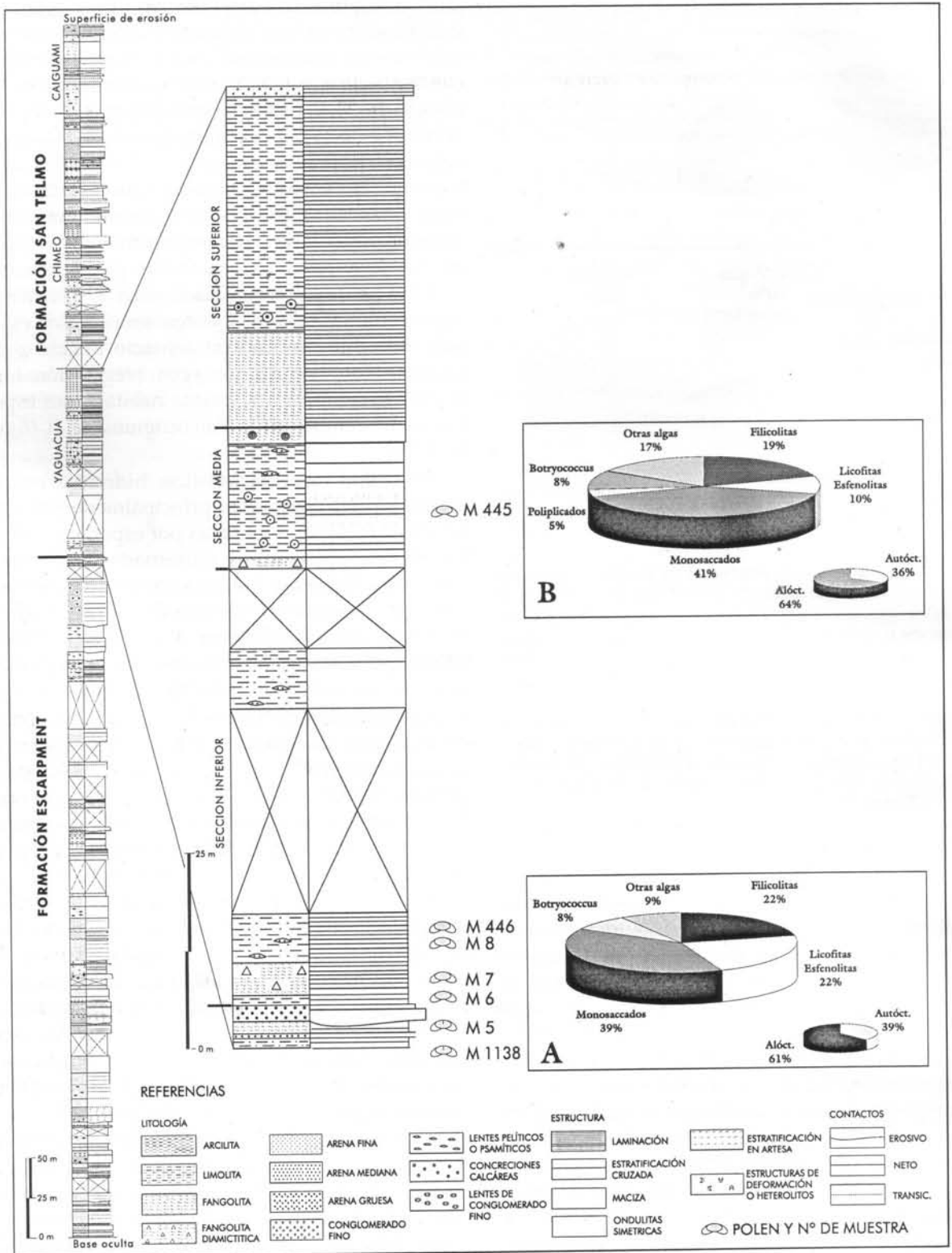


Figura 3. Detalle de la sección estudiada con la ubicación de las muestras productivas. Los diagramas mayores de las figuras A y B representan los diferentes porcentajes de las paleocomunidades reconocidas en las secciones inferior y media. Los diagramas menores representan, de acuerdo con la ubicación espacial de los habitats respecto del depocentro *sensu* Farley (1988), los porcentajes de los conjuntos de palinomorfos autóctonos/alóctonos identificados. / Detail of the studied section with the productive samples location. The major diagrams of the figures A and B represent the percentages of the paleocommunities recognized in the lower and middle sections. The minor diagrams represent, according to the habitats spatial location with respect to the depocentre after Farley (1988), the percentages of the identified indigenous/allochthonous groups of palynomorphs.

cuya aparición parece marcar el advenimiento de condiciones algo más secas. Sin embargo, la ausencia de granos estriados podría indicar todavía condiciones de relativa humedad para el ambiente, ya que éstos son frecuentes en condiciones más bien xerófilas (Doubinger, 1974). El conjunto de granos poliplicados son reconocidos como la Paleocomunidad D (figuras 2.B y 3.B).

Finalmente, un importante conjunto de organismos formadores del paleomicroplancton, incluye algas y esporas de Zygnemataceae atribuidas a los géneros *Botryococcus*, *Portalites*, *Quadrisporites* y *Tetraporina*, entre los más representados (cuadros 1 y 2.B). En este conjunto, se destaca *Botryococcus* por su abundancia e importancia como indicador de habitats dulceacuícolas hasta salobres aunque no marinos (Batten y Grenfell, 1996; Peppers y Harvey, 1997). Estas algas que son consideradas como la Paleocomunidad E, habitaron espejos de agua lacustres, probablemente someros y de baja energía.

Evidencias tafonómicas

Se procura reconocer para las paleocomunidades que alcanzaron el depocentro, cuales fueron sus habitats de origen y su grado de aloctonía. Principalmente dos conjuntos de datos constituyen las evidencias tafonómicas sobre las que se basa la interpretación de la evolución del escenario físico que los contuvo. Los primarios o intrínsecos de cada paleocomunidad como son su grado de hidrofilia y el modo de dispersión de sus miosporas y los secundarios o externos como son el deterioro sufrido por los palinomorfos hasta su soterramiento y otras evidencias diagenéticas.

Los criterios palinológicos discutidos más arriba permiten considerar que durante el lapso que representan las siete muestras analizadas, el depocentro recepcionó cinco paleocomunidades de distinto origen botánico y requerimientos ecológicos. Desde un punto de vista tafonómico cabe señalar aquí la utilidad de reconocer, dentro de una asociación de palinomorfos, el habitat original de las distintas paleocomunidades, o sea su autoctonía-aloctonía espacial (Farley, 1988). Un conjunto de palinomorfos autóctono es aquél que se deposita dentro de su propio habitat, mientras que un conjunto de palinomorfos alóctono es el que originado en áreas relativamente cercanas o más alejadas, alcanza finalmente un depocentro. Ambos conjuntos constituyen una asociación contemporánea.

En términos generales, estudios palinológicos realizados en diferentes ambientes continentales modernos, particularmente lagos y pantanos (Traverse, 1988; MacDonald, 1996), permiten aseverar que en los ambientes de pantano el registro polínico refleja

esencialmente la vegetación local (dominio de elementos autóctonos), mientras que en ambientes lacustres, el registro polínico es variado (dominan en general los elementos alóctonos) y representa diferentes comunidades en un contexto regional. Este último registro permite reconstruir la vegetación, los habitats y el clima de una región más extensa. Cabe señalar además que, excepto en los ambientes de pantano, la relación entre grupos polínicos se halla influenciada principalmente por los factores de sedimentación y de la facies ambiental en la que se depositen (Foster, 1979).

En la asociación del río Caraparí, salvo la Paleocomunidad E (*Botryococcus*) y muy probablemente la B (esfenofitas / licofitas) que son consideradas autóctonas, las restantes esporas de pteridofitas (Paleocomunidad A) y los granos de polen (Paleocomunidades C y D), constituyen conjuntos alóctonos (véanse en las figuras 3.A y B los diagramas menores). La gran proporción de elementos alóctonos avala la interpretación de un ambiente lacustre como depocentro y permite reconstruir los posibles habitats de las paleocomunidades identificadas. El reconocimiento de las mismas paleocomunidades en todas las muestras estudiadas y la ausencia de capas de carbón, apoyan la estabilidad del depocentro y de los diversos habitats que en conjunto conformaron las condiciones paleoambientales durante ese lapso en la región.

Por otra parte, se observa que el grado de preservación puede variar dentro de una asociación en función del modo de dispersión de sus componentes y de la lejanía de la fuente de origen en relación con el depocentro. Un dato de interés a señalar es que el grado de preservación de las asociaciones presentes en las seis primeras muestras, es similar y relativamente bueno, en tanto que el de la restante (M445) es más pobre. Los palinomorfos de esta última se observan más corroídos, característica posiblemente asociada con procesos diagenéticos. La compactación de las calizas asociadas a los niveles pelíticos de los cuales proviene la M445, habrían producido la liberación de fluidos cuya composición relativamente oxidante pudo favorecer la alteración química de los palinomorfos (Traverse, 1988; Talbot y Allen, 1996).

Por la abundancia de material reciclado en la asociación (figura 4), cobra especial interés el concepto de aloctonía temporal (Farley, 1988), es decir la separación de asociaciones o conjuntos de palinomorfos coetáneos con la depositación de los sedimentos que los contienen, de otros conjuntos de palinomorfos provenientes del retrabajo de capas depositadas en tiempos geológicos anteriores. En el caso aquí analizado, la presencia en todas las muestras fértiles de un importante conjunto de palinomorfos redepositados del Devónico *s.l.*, permite reconocer al depocentro como una cuenca abierta que recibió el aporte de sedi-

mentos a través de corrientes fluviales (Eshet *et al.*, 1988). En la figura 4 se representa el porcentaje de palinomorfos autóctonos *vs.* redepositados basado en el total de palinomorfos contados por muestra. La relativamente buena preservación de este conjunto de palinomorfos reciclados, sugiere un transporte hacia la cuenca de depositación corto en el tiempo, y posiblemente una relativa cercanía de la fuente con ésta (Azcuy y Laffitte, 1981).

Habitats y dispersión de las microfloras

Las Paleocomunidades A y B, constituyen el grupo más numeroso dentro de la asociación y corresponden a dos conjuntos de esporas porcentualmente semejantes, los cuales se atribuyen a habitats diferentes (cuadro 1 y figura 2.B). La Paleocomunidad A se compone de esporas de esfenofitas y licofitas que en su mayoría vivieron en los márgenes (o quizás dentro) del espejo de agua o en sus proximidades ocupando un habitat hidro-higrófilo. Esto es también sugerido por la presencia de tetradas de estas plantas en los depósitos del depocentro (Foster, 1979). Las plantas que les dieron origen son aquí consideradas autóctonas (figura 3) y el medio de dispersión de estas esporas debió haber sido el agua de su habitat natural, sin descartar el aporte realizado por las corrientes fluviales que ingresaban al lago. La Paleocomunidad B es el conjunto más abundante de la asociación pteridofítica (22%) y representa una vegetación herbácea de filicofitas. Su habitat se halla repartido entre las cercanías del depocentro o al amparo de bosques de gimnospermas y representa condiciones higrófilas. En ambos casos su dispersión estuvo a cargo de ríos o corrientes que discurrieron por una planicie aluvial madura hasta alcanzar el depocentro, por lo cual se le atribuye un carácter alóctono (figura 3).

Las Paleocomunidades C y D, compuestas por granos de polen, constituyen algo menos de la mitad de la asociación estudiada. La Paleocomunidad C es la más abundante, está presente en todas las muestras y se compone casi exclusivamente por granos monosacados (figuras 2.B y 3), cuyo habitat de origen estaría relacionado con la existencia de bosques en áreas de planicies aluviales no anegadas u otras zonas más elevadas, posiblemente en las cercanías del depocentro, los cuales debieron desarrollarse en ambientes higró-mesófilos.

La forma eólica de dispersión de este tipo de polen hace muy lenta su incorporación a los depósitos y su gran abundancia relativa en el depocentro, relativamente alejado de su fuente de origen, parece sugerir condiciones de entrampamiento de baja energía y poca profundidad. Estas condiciones habrían facilitado a estos granos monosacados superar en cantidades significativas la profundidad del tren de olas del

cuerpo de agua e ingresar en un lapso corto al sedimento. Sin embargo, es muy probable que una parte importante de estos granos fuera incorporada al depocentro a través de ríos, junto con el resto de los componentes alóctonos (Richelot y Streel, 1985). Con respecto al grado de preservación de estos granos monosacados es interesante señalar que en su mayoría conservan su cuerpo central, lo cual sugiere que su fuente de origen se encontraba en áreas alejadas al depocentro. Además, la dispersión por agua habría contribuido a minimizar los posibles daños ocurridos por sucesivos ciclos de exposición subaérea (Campbell, 1991). Lo expuesto, corrobora el carácter alóctono de la Paleocomunidad C.

La Paleocomunidad D (*Equisetosporites*), se compone de un pequeño conjunto de granos de polen poliplicados que están solamente presentes en la muestra más joven (M445, figura 3.B). Estudios previos indican para estos granos de polen un habitat con requerimientos meso/xerófilos y un tipo de dispersión probablemente hidrológico (Foster, 1979). Estas condiciones sugieren que esta paleocomunidad se desarrolló en pequeños y dispersos manchones de vegetación, probablemente arbusfiva, en una planicie aluvial y avalan su carácter alóctono. Su dispersión habría estado a cargo de ríos efímeros, los cuales permitieron su ingreso al depocentro.

La Paleocomunidad E (*Botryococcus*), está caracterizada por colonias de algas de forma subcircular a oval con bordes ondulados (simples no ramificadas) y otras botroidales compuestas por varias colonias simples (colonias compuestas ramificadas) cuyo tamaño es variable (> a 30 μm). Cada colonia está constituida por tecas piriformes unidas a un talo común que formaría el centro de la colonia. Diferentes tipos de colonias (simples no ramificadas y ramificadas o simples por fragmentación), en buen estado de preservación y en su mayoría en vista polar, son frecuentes aunque en cantidades variables en todas las muestras estudiadas del río Caraparí. Esta variabilidad en las colonias expresa distintos estadios de evolución y sería el resultado de condiciones paleoambientales favorables para su desarrollo, las cuales corresponden a un ambiente continental de aguas dulces con condiciones climáticas variables que perduraron por un período prolongado. Su buen estado de preservación sugiere además, un ambiente de aguas bien oxigenadas en vida y condiciones favorables de anoxia durante el soterramiento (Guy-Ohlson, 1992; Guy-Ohlson y Lindström, 1994).

En resumen, su habitat planctónico superficial, su significativa abundancia relativa en todas las muestras (figura 3), y su moderadamente buena preservación, definen el carácter continental del depocentro y sugieren condiciones de baja energía. Estas condiciones, indican ambientes lacustres someros y confir-

diciones oxidantes bajo un clima semi-árido estacional. Este cambio climático comienza a registrarse ya en M445, con la aparición de la nueva Paleocomunidad D dominada por *Equisetosporites* (figura 3.B).

En cuanto al papel que las variaciones de la temperatura pudieron haber jugado en la desaparición del ambiente lacustre hacia el comienzo de la sección superior, resultan de interés las observaciones efectuadas por Hastenrath y Kutzbach (1985). Estos autores indican que la causa principal en el decrecimiento del nivel de los lagos es función directa de la disminución en las precipitaciones y del retroceso de los glaciares, considerando secundario un aumento en la temperatura.

Otra conclusión que surge de la figura 3 se relaciona con las variaciones en la abundancia relativa de las diferentes paleocomunidades registradas en los niveles estudiados, las cuales mantienen una similar composición cuali-cuantitativa. Esta característica confirma el pasaje gradual entre ambas unidades formacionales sobre la base de la persistencia de una microflora con pocas variaciones durante ese lapso. De manera complementaria, esta característica privilegia un disparador paleoclimático antes que tectónico para la separación de estas unidades.

Finalmente, la interpretación paleoambiental desarrollada principalmente sobre la base de los datos palinológicos expuestos más arriba, permite el reconocimiento de similitudes entre el pasaje paleoclimático transicional Carbonífero Tardío-Pérmico Temprano observado en el sector estudiado de la Cuenca Tarija y condiciones equivalentes reconocidas en otras cuencas argentinas. Un comportamiento similar basado en datos palinológicos ha sido el registrado en la Cuenca Paganzo (Azcuy, 1975a, 1978). Asimismo, considerando la evolución paleoclimática de otras cuencas argentinas durante el Neopaleozoico, basada principalmente en evidencias sedimentológicas y de megaflores, López Gamundí *et al.* (1992) y Limarino *et al.* (1996) han propuesto cinco fases climáticas para el lapso señalado. Los datos aportados en esta contribución permiten confirmar la presencia de la fase paleoclimática IV en la Cuenca Tarija, no registrada hasta el momento. Por otra parte, las características paleoambientales y paleoclimáticas discutidas, son también consistentes con las paleolatitudes obtenidas de reconstrucciones paleogeográficas gondwánicas para el límite Carbonífero - Pérmico, ya que en ellas, las cuencas neopaleozoicas de América del Sur antes citadas, se ubican en paleolatitudes cercanas a los 35°-40° S (Conti y Rapalini, en Azcuy y di Pasquo, 1999).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Eduardo Ottone sus AMEGHINIANA 36 (4), 1999

valiosas sugerencias y la lectura crítica del manuscrito, al Lic. Gustavo Holfeltz la preparación de las muestras palinológicas y al Dis. Gráf. Germán Azcuy la confección de algunas de las figuras. Esta contribución fue realizada en el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) con fondos aportados por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PID 4024/97) y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 1864/98).

Bibliografía

- Azcuy, C.L. 1975 a. Las asociaciones palinológicas del Paleozoico superior de Argentina y sus relaciones. 1° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía (Tucumán), *Actas* 1: 455-477.
- Azcuy, C.L. 1975 b. Miosporas del Namuriano y Westfaliano de la comarca Malanzán-Loma Larga, Provincia de la Rioja, Argentina. II. Descripciones sistemáticas y significado estratigráfico de las microfloras. *Ameghiniana* 12: 113-163.
- Azcuy, C.L. 1978. Posible significado paleoecológico de microfloras gondwánicas del Paleozoico superior, especialmente argentinas. *Ameghiniana* 15: 85-95.
- Azcuy, C.L. y Laffitte, G. 1981. Palinología de la Cuenca Noroeste Argentina. I. Características de las asociaciones carbónicas: problemas e interpretación. 8° Congreso Geológico Argentino (San Luis), *Actas* 4: 823-838.
- Azcuy, C.L. y di Pasquo, M.M. 1999. Carbonífero y Pérmico de las Sierras Subandinas, Cordillera Oriental y Puna. En: Caminos, R. (Coord.-Editor), *Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales* 26: 227-248.
- Balme, B.E. 1970. Palynology of Permian and Triassic Strata in the Salt Range and Surghar Range, west Pakistan. *The University of Kansas Press, Special Publication* 4: 306-453.
- Batten, D.J. y Grenfell, H.R. 1996. 7D. *Botryococcus*. En: J. Jansonius y D.C. McGregor (eds.), *Palynology: principles and applications, American Association Stratigraphic and Palynologists Foundation* 1: 205-214. Utah.
- Campbell, I.D. 1991. Experimental mechanical destruction of pollen grains. *Palynology* 15: 29-33.
- Clement-Westerhof, J.A. 1984. Aspects of Permian paleobotany and palynology. IV The conifer *Ortiseia* Florin from the Val Gardena Formation of the Dolomites and the Vicentinian Alps (Italy) with special references to a revised concept. *Review of Palaeobotany and Palynology* 41: 51-166.
- Colbath, G.K. y Grenfell, H.R. 1995. Review of biological affinities of Paleozoic acid-resistant, organic-walled eukaryotic algal microfossils (including "acritarchs"). *Review of Palaeobotany and Palynology* 86: 287-314.
- Collinson, J.D. 1996. Alluvial sediments. En: H.G. Reading (ed.), *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy* (3rd. ed.). Blackwell Scientific Publication, 3: 37-82. Oxford.
- Coquel, R. y Brousmiche Delcambre, C. 1996. Comparaisons spores in situ spores dispersées chez quelques Equisétales, Maratiales et Lépidodendrales du Carbonifère Supérieur: considérations sur l'utilisation de morphospecies en paléopalynologie. *Revue de Paléobiologie* 15: 121-154.
- di Pasquo, M.M. y Azcuy, C.L. 1997a. Palinología del Grupo Mandiyuti, Carbonífero Superior, Cuenca Tarija, Argentina. 10° Congreso Geológico Chileno (Antofagasta), *Actas* 1: 475-479.
- di Pasquo, M.M. y Azcuy, C.L. 1997b. Palinomorfos retrabajados en el Carbonífero Tardío de la Cuenca Tarija (Argentina) y su aplicación a la datación de eventos diastróficos. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, 2 (N° Especial): 28-42.
- Doubinger, J. 1974. Etudes palynologiques dans l'Autunien. *Review of Palaeobotany and Palynology* 17: 21-38.
- Eshet, Y., Druckman, Y., Cousminer, H.L., Habib, D. y Drugg, W.S.

1988. Reworked palynomorphs and their use in the determination of sedimentary cycles. *Geology* 16: 662-665.
- Farley, M.B. 1988. Environmental variation, palynofloras and paleoecological interpretation. En: W.A. DiMichele y S.L. Wing (eds.), *Methods and applications of plant paleoecology. The Paleontological Society, Special Publication* 3: 126-146.
- Foster, C.B. 1979. Permian Plant microfossils of the Blair Athol Coal Measures, Baraleba Coal Measures and Basal Rewan Formation of Queensland. *Geological Survey of Queensland, Publication* 372, *Paleontological Paper* 45: 1-244.
- Gould, R.E. y Delevoryas, T. 1977. The biology of *Glossopteris*: Evidence from petrified seed-bearing and pollen-bearing organs. *Archeringa* 1: 387-399.
- Gregory, W.A. y Hart, G.F. 1992. Towards a predictive model for the palynologic response to sea-level changes. *Palaia* 7: 3-33.
- Grenfell, H.R., 1995. Probable fossil zygnematacean algal spore genera. *Review of Palaeobotany and Palynology* 84: 201-220.
- Guy-Ohlson, D. 1992. *Botryococcus* as an aid in the interpretation of palaeoenvironment and depositional processes. *Review of Palaeobotany and Palynology* 71: 1-15.
- Guy-Ohlson, D. y Lindström, S. 1994. Palaeoecology of the Early Permian strata at Heimefrontfjella, Dronning Maud Land, Antarctica. *Antarctic Science* 6: 507-515.
- Hastenrath, S. y Kutzbach, J. 1985. Late Pleistocene climate and water budget of the south American Altiplano. *Quaternary Research* 24: 249-256.
- Limarino, C.O., Césari, S.N. y López Gamundí, O.R. 1996. Las fases paleoclimáticas del Paleozoico Superior del oeste argentino: su expresión estratigráfica y valor como herramienta de correlación. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Buenos Aires), *Actas* 1: 495-509.
- Lindström, S. 1995. Early Permian palynostratigraphy of the northern Heimefrontfjella mountain-range, Dronning Maud Land, Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology* 89: 359-415.
- López Gamundí, O.R., Limarino, C.O. y Césari, S.N. 1992. Late Paleozoic paleoclimatology of central west Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 91: 305-329.
- MacDonald, G.M. 1996. Non-aquatic Quaternary. En: J. Jansonius y D.C. McGregor (eds.), *Palynology: principles and applications. American Association Stratigraphic and Palynologists Foundation* 2: 879-910. Utah.
- Menning, M. 1993. A Numerical Time Scale for the Permian and Triassic Periods: An Integrated Time Analysis. En: P.A. Scholle, T.M. Peryt y D.S. Ulmer-Scholle (eds.), *The Permian of Northern Pangea*, Springer-Verlag, New York, pp. 77-97.
- Ottone, E.G. 1989. Palynoflores de la Formación Santa Máxima, Paleozoico Superior, República Argentina. *Palaeontographica, Abt B* 213: 89-187.
- Peppers, R.A. 1979. Development of coal-forming floras during the early part of the Pennsylvanian in Illinois Basin. En: J.E. Palmer y R. Dutcher (eds.), *Depositional and structural history of the Pennsylvanian System of the Illinois Basin. Part 2: Invited papers. Illinois State Geological Survey, Guidebook Series*, 15A: 8-14. Urbana.
- Peppers, R.A. y Harvey, R.D. 1997. Distribution of Boghead Algae in Illinois Basin Coal Beds. *Illinois State Geological Survey, Circular* 558, pp. 1-21.
- Poort, R.J. y Veld, H. 1997. Aspects of Permian palaeobotany and palynology. XVIII. On the morphology and ultrastructure of *Potonieisporites novicus* (prepollen of Late Carboniferous / Early Permian Walchiaceae). *Acta Botanica Netherlands* 46: 161-173.
- Potonié, R. 1962. Synopsis der Sporae in situ. Die Sporen der fossilen Fruktifikationen (Thallophyta bis Gymnospermophyta) im natürlichen System und im Vergleich mit den Sporae dispersae. *Geologischen Jahrbuch, Beih* 52: 1-204.
- Potonié, R. 1967. New phylogenetic facts on fossil spores. *Review of Palaeobotany and Palynology* 1: 75-82.
- Potonié, R. y Kremp, G. 1956. Die Sporae dispersae des Ruhrkarbons, ihre Morphographie und Stratigraphie mit Ausblicken auf Arten anderer Gebiete und Zeitabschnitte, 3. *Palaeontographica, Abt. B* 100: 65-121.
- Remy, W. 1975. The floral changes at the Carboniferous-Permian boundary in Europe and North America. 1° International Congress White Memorial Symposium "The Age of the Dunkard" (Norgantown 1972), pp. 305-343.
- Richelot, C. y Streele, M. 1985. Transport et sédimentation du pollen par les courants aériens, fluviaux et marins a Calvi (Corse). *Pollen et Spores* 27: 349-364.
- Staplin, F.L., Pocock, S.J. y Jansonius, J. 1967. Relationships among gymnospermous pollen. *Review of Palaeobotany and Palynology* 1: 297-310.
- Starck, D., Gallardo, E. y Schulz, A. 1993. Neopaleozoic stratigraphy of the Sierras Subandinas Occidentales and Cordillera Oriental, Argentina. 12° Congreso Internacional de Estratigrafía y Geología del Carbonífero-Pérmico (Buenos Aires, 1991), *Comptes Rendus* 2: 353-372.
- Talbot, M.R. y Allen, P.A. 1996. Lakes. En: H.G. Reading (ed.), *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy* (3rd ed.). Blackwell Scientific Publication 4: 83-124. Oxford.
- Traverse, A. 1988. *Paleopalynology*. Unwin Hyman, 600 p., Boston.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.G., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Loutit, T.S. y Hardenbol, J. 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. En: C.K. Wilgus et al. (eds.), *Sea-Level Changes: an integrated approach. Society Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication* 42: 39-45. Tulsa.
- Vergel, M.M. 1986. Consideraciones paleoecológicas sobre palinofloras neopaleozoicas de la Cuenca Chacoparanense, República Argentina. 4° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía (Mendoza), *Actas* 1: 221-225.
- Wood, G.D., Miller, M.A., Sofer, Z., Krebs, W.N. y Hedlund, R.W. 1997. Palynology, palynofacies, paleoenvironments and geochemistry of the Lower Cretaceous (pre-salt) Cocobeach Group, North Gabon Subbasin, Gabon. *Africa Geoscience Review* 4: 481-497.

Recibido: 16 de octubre de 1998.

Aceptado: 14 de mayo de 1999.