

PRESERVACIÓN DE PALINOMORFOS Y EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA ESTANDAR: CASO DE ESTUDIO DE LA TRANSICIÓN ORDOVÍCICO-SILÚRICO, PRECORDILLERA ARGENTINA

Jessica Gómez, Mercedes di Pasquo, Leonardo Silvestri & José Vilá

Laboratorio de Palinoestratigrafía y Paleobotánica, CICYTTP (CONICET- ENTRE RÍOS-UADER), Dr. Materi 149, E3105BRA
Diamante, Entre Ríos, Argentina.
E-mail: jcgomez@conicet.gov.ar

INTRODUCCIÓN

La preservación de los palinomorfos depende de varios factores tafonómicos, entre ellos, el tipo de ambiente y clima donde habitan las especies, su forma de vida, características morfológicas y modo de dispersión, tipo de transporte, distancia, características físico-químicas y tiempo de permanencia en dicho depocentro hasta su soterramiento final. Debemos esperar diferentes tipos de preservación en una misma muestra, debido a las características específicas de cada palinomorfo que determinan su historia tafonómica. Asimismo, la erosión de rocas puede aportar palinomorfos y otros componentes de la materia orgánica que van a incorporarse en un nuevo sitio de depositación dentro de un nuevo ciclo de sedimentación, y por ello debería poder ser identificado como material re TRABAJADO en el análisis palinológico (Tyson, 1995; Batten, 1996; di Pasquo & StreeL, 2022; di Pasquo et al., 2022). Por todo ello, las condiciones ideales para obtener una excelente preservación de palinomorfos no son tan frecuentes como deseamos. Se presenta aquí un caso de estudio particular sobre la preservación de palinomorfos en la transición Ordovícico-Silúrico de la Precordillera Argentina, comprendidos en las formaciones La Pola (Sandbiano-Katiano?, Astini, 2001), Don Braulio (Hirnantiano-LlandoVeriano, Baldis et al., 1982) y La Chilca (Hirnantiano-Wenlockiano medio, Cuerda, 1969). El estado de preservación que presentan en especial los quitinozoarios ha requerido de modificaciones significativas en el procesamiento para evitar destruirlos y poder realizar un análisis morfo-taxonómico y las interpretaciones sobre las condiciones ambientales donde habitaban, y determinar los efectos tafonómicos y post-depositacionales que los afectaron.

METODOLOGÍA

Se procesaron 16 muestras palinológicas (CICYTTP-PI 2776-27888/ 2861) provenientes de la Formación La Pola, Miembro Inferior de Diamictitas de la Formación Don Braulio y niveles pelíticos de la base del Miembro Salto Macho de la Formación La Chilca. Se aplicaron técnicas Estándar (Traverse, 2008) en el Laboratorio de Palinoestratigrafía y Paleobotánica (LPP) del Centro de Investigaciones CICYTTP (CONICET-ENTRE RÍOS-UADER). Se realizó la molienda de 15 a 20 gramos de muestra, en trozos no menores de 5 mm, y se colocaron en ácido clorhídrico HCl (20%) y posteriormente en HF (45%). En todos los casos se trataron las muestras nuevamente con HF (45%) debido al contenido mineralógico que aún presentaban. Se utilizó agua destilada para neutralizar los ácidos por decantación. Se realizaron filtrados con mallas de 25 μm y 10 μm y se retiró el excedente de agua del residuo en cada tubo Falcon pasando por centrífuga durante 5 min a 1000 rpm. Se agregó alcohol (70%) al residuo para volver a centrifugar y realizar el montaje palinológico utilizando Trabisil. Se revisaron al microscopio óptico (Leica DM500) los preparados palinológicos para determinar la presencia de restos de materia orgánica, considerando fértiles aquéllas muestras que brindaron palinomorfos identificables. Después, se realizó una observación de cada residuo en caja de Petri bajo lupa, y manualmente con aguja fina se seleccionaron palinomorfos y otras partículas orgánicas, se fotografiaron (Leica EC3 con video cámara Leica 3Mp), se extrajeron microgotas con pipeta fina de vidrio colocadas en preparados temporarios con agua y se tomaron fotografías en el microscopio óptico (video cámara Amscope 14 Mp). Luego, de manera selectiva se transfirieron

algunos palinomorfos a tacos para ser fotografiados en microscopio electrónico de barrido Jenck Phenom ProX, los cuales no requieren metalización pues se

utiliza bajo vacío (di Pasquo & Vilá, 2019). Hasta aquí, se siguió la metodología estándar, y realizó el análisis cualitativo, taxonómico y cuantitativo obtenido.

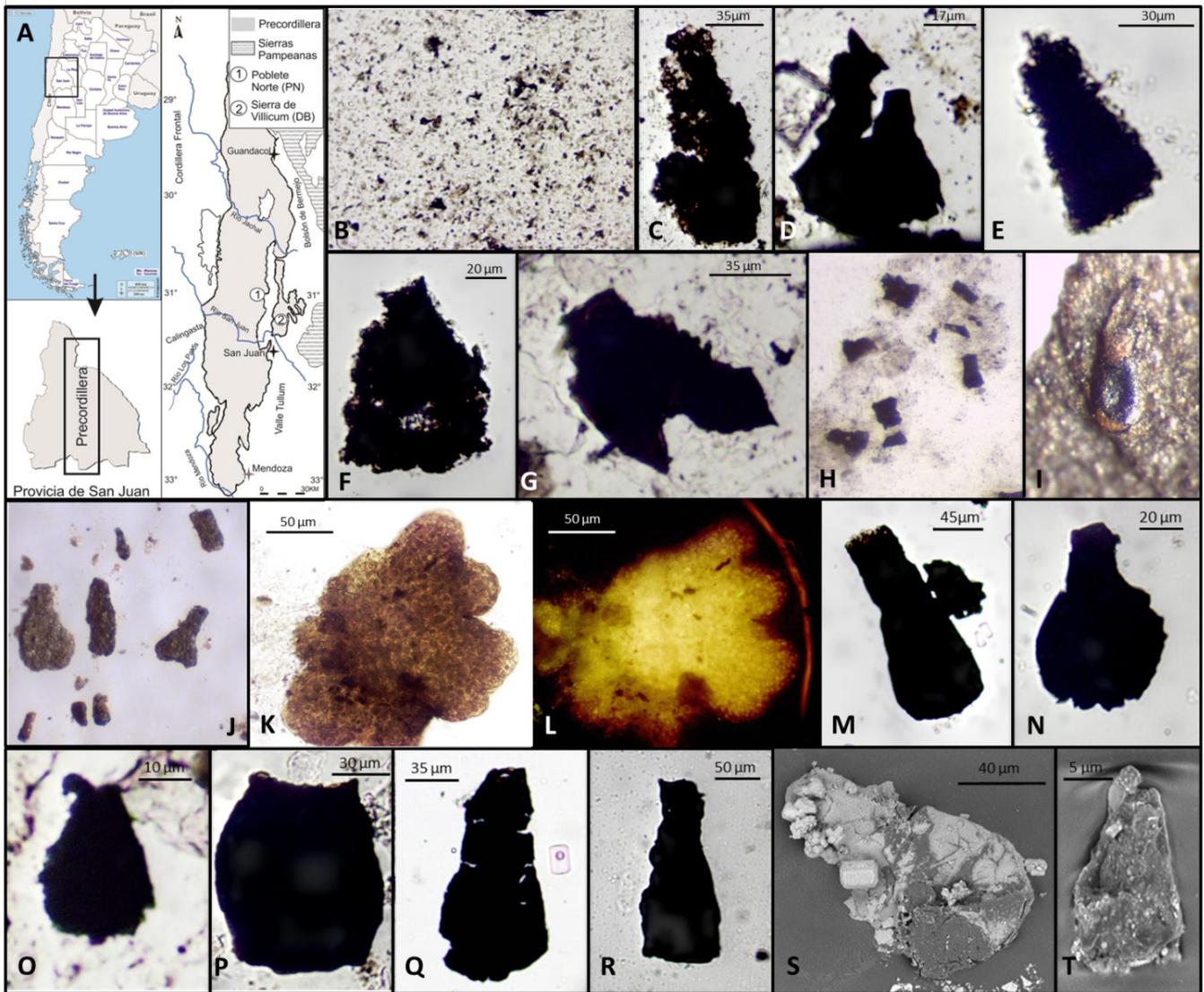


Figura 1. A) Mapa de ubicación del área de estudio en la Precordillera Argentina (Modificado de Baldis et al., 1982). B) Montado palinológico con fragmentos de quitinozoarios procesado por técnicas estándar (montado palinológico con Trabisil CICYTTP-PI-2777-HF2-x40). C-G) Ejemplos de quitinozoarios con degradación biológica y fragmentación posterior al método estándar (residuos temporales montados con glicerina y/o agua, sin coordenadas). C, CICYTTP-PI-2781-x40; D, CICYTTP-PI 2781; E, CICYTTP-PI-2779-x40; F, CICYTTP-PI-2781-x40; G, CICYTTP-2776-x40). H) Conjunto de quitinozoarios agrupados manualmente bajo lupa en residuo colocado en caja de Petri (procesado con HF sin uso de centrifugadora). I-J) Quitinozoarios con relieve 3D rellenos del mismo sedimento que conforma la roca, recuperados luego de aplicar Hexametáfosfato de sodio (CICYTTP-PI-2782). K-L) Colonia de *Gloeocapsomorpha* con fluorescencia, montado palinológico temporal con agua (CICYTTP-PI-2782-x40-HF2). M-R) Quitinozoarios con buen grado de preservación, recuperados utilizando técnicas mecánicas no invasivas (montados palinológicos temporales con agua). M, CICYTTP-PI-2777-HF2-x10; N, CICYTTP-PI-2781-HF-x4; O, CICYTTP-PI-2776-HF2-x40; P, CICYTTP-PI-2776-HF2-x40; Q, CICYTTP-PI-2777-HF2-x10; R, CICYTTP-PI-2778-HF2-x40). S-T) Quitinozoarios fotografiados en MEB, recuperados de residuos con Hexametáfosfato de sodio (CICYTTP-PI-2777).

CONTEXTO GEOLÓGICO

En la Precordillera Oriental, La Formación La Pola (47 m de espesor) inicia con paraconglomerados, fangolitas guijarrosas, conglomerados arenosos bioclásticos, areniscas lenticulares gradadas o macizas, ritmitas delgadas, tabulares y fangolitas limo-arenosas. Su contenido fosilífero presenta buen estado de preservación (graptolitos, conodontes, braquiópodos y otros invertebrados) tanto en facies alóctonas como autóctonas (Astini, 2001; Benedetto, 2003; Heredia & Milana, 2010). Se interpreta la sucesión como regresiva, iniciando con depósitos resedimentados en un ambiente marino profundo (garganta marina profunda) (Astini, 2001) mientras que las areniscas y fangolitas se depositaron en un ambiente de plataforma relativamente somera y de alta energía (Heredia & Milana, 2010).

La Formación Don Braulio está dividida en 4 miembros: Miembro Inferior Diamictítico, constituido por depósitos de fangolitas guijarrosas de coloración gris verdosa que incluyen conglomerados y areniscas de relleno de canal y detritos bioclásticos, de origen glacial (Peralta & Carter, 1999). Miembro de Fangolitas y Areniscas Fosilíferas, compuesto principalmente por lutitas gris verdosas, areniscas de grano fino-medio y lentes calcáreos fosilíferos, interpretado como una plataforma extra-glacial con abundante fauna marina en buen estado de preservación (Sánchez et al., 1991; Peralta & Carter, 1999 y citas allí). Miembro de Fangolitas Ocre, compuesto por depósitos de lutitas bioturbadas monótonas y masivas portadoras de una asociación de palinomorfos, resultado de un proceso de upwelling local (Gómez et al., 2024 y citas allí). Miembro Ferrífero Superior, constituido por bancos de areniscas y oolitas ferríferas de coloración pardo-rojizo, con intercalación de pelitas y limolitas portadoras de graptolitos y palinomorfos, interpretado como una secuencia de plataforma dominada por oleaje y tormentas (Peralta & Carter, 1999 y citas allí).

La Formación La Chilca, Precordillera Central, está dividida en dos miembros: Miembro Salto Macho cuya base es un ortoconglomerado con clastos de chert, seguido de una secuencia de pelitas de

coloración gris oscura a amarillenta, que gradan hacia el techo a capas limolíticas, bancos de oolitas y pelitas ricas en graptolitos y palinomorfos (Gómez et al., 2024 y citas allí). Transicionalmente pasa al Miembro Cuarcitas Azules constituido por arenitas cuarzosas, de coloración verde amarillenta (Baldis et al., 1984). El tope de esta unidad está representado por niveles de areniscas cuarzosas Fe-fosfáticas. La Formación La Chilca representa una secuencia regresiva estrato-granocreciente, dominada por tormentas y oleaje (Peralta, 2006 y citas allí) (Fig. 1A).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis palinológico de los preparados bajo microscopio óptico permitió identificar numerosos restos de materia orgánica negra, interpretados principalmente como fragmentos de posibles quitinozoarios y/o graptolitos y abundante mineral de la roca (Fig. 1B). Se observó en algunos casos, degradación química por piritita framboidal y en menor grado euhedral, degradación biológica y daños mecánicos (fragmentación) (Fig. 1C-G). Por ello, en la inspección inicial a partir del procesamiento estándar, los preparados resultaron infértiles/estériles o en su defecto fértiles con el 95% de fragmentos indeterminables y 5% de formas con pobre preservación, entre las que se distinguen algunos quitinozoarios y colonias de *Gloeocapsomorpha* (Fig. 1K-L). La ausencia de palinomorfos completos motivó realizar una minuciosa revisión de las muestras de roca bajo lupa, e identificar el estado de preservación de los palinomorfos, y su comparación con los macrofósiles asociados (e.g. graptolitos). En esta evaluación se observaron quitinozoarios de gran tamaño con relieve 3D (CICYTTP-PI 2782 y 2861), rellenos del mismo sedimento que conforma la roca, y una visible fragilidad en las paredes de coloración negra, con fracturas que confirman el resultado obtenido luego del procesamiento estándar (Fig. 1I-J). La presencia de escasos quitinozoarios permite considerar dichas muestras como fértiles, pero su pobre preservación nos motivó para aplicar una técnica menos invasiva y destructiva. Para las muestras con quitinozoarios tridimensionales se consideró la técnica de Hexametáfosfato de sodio (Riding 2021),

sin moler y durante varias semanas. Luego, se tomaron ciertos recaudos a saber: a) a pesar del alto contenido mineralógico de la muestra, se desestimó la aplicación de un segundo HF, para evitar debilitar aún más las paredes de los quitinozoarios; b) se evitó el uso de la centrifugadora para retirar el excedente de agua en tubos Falcon, utilizando el proceso de decantación y extracción manual del sobrenadante; c) se optó por revisar los residuos en cajas de Petri bajo lupa para realizar una selección manual de palinomorfos; d) los palinomorfos seleccionados fueron extraídos con pipeta fina de vidrio o pincel muy fino, descartando el uso de agujas y/o materiales rígidos (Fig. 1H); e) para evitar la fractura por tensión superficial durante el picking se realizaron micro lavados bajo lupa con agua destilada; f) los quitinozoarios montados en preparados temporarios con agua se fotografiaron primero bajo microscopio óptico (Fig. 1M-R); g) luego, se transfirieron de manera selectiva a tacos para ser fotografiados en microscopio electrónico de barrido MEB (Fig. 1S-T). Asimismo, se efectuaron análisis químicos elementales (EDS) en este mismo microscopio. Al modificar la técnica de procesamiento, especialmente la concentración manual de palinomorfos, se pudieron recuperar palinomorfos completos o levemente fracturados. En una etapa inicial se obtuvieron aproximadamente 119 quitinozoarios con moderada a buena preservación, 4 escolecodontes, 1 criptoespora, cutículas de graptolitos, y colonias de *Gloeocapsomorpha*. Finalmente, se realizaron preparados con Trabisil, con sumo cuidado, para efectuar el análisis cualitativo y cuantitativo correspondiente aumentando las posibilidades de determinación taxonómica en 14 muestras.

CONCLUSIONES

El estudio palinológico realizado en muestras de la Transición Ordovícico-Silúrico de la Precordillera Argentina requirió una modificación de la técnica estándar, dada la pobre preservación de escasos quitinozoarios observada en los preparados palinológicos. Algunas muestras inclusive, fueron consideradas estériles debido a la falta de palinomorfos completos. Por ello, a partir de la inspección de los residuos y de sus rocas se decidió el método a aplicar a

cada muestra considerando el estado de preservación de los palinomorfos y la materia orgánica en general. Se aplicó la técnica de Hexametafosfato (no estándar) evitando procedimientos mecánicos invasivos, lo cual favoreció la recuperación de palinomorfos más completos descartando la posibilidad de alteraciones como consecuencia de procesamiento, conservando los rasgos producidos por degradaciones biológicas, mecánicas y químicas. Fueron observados mediante lupa, microscopio óptico y MEB obteniendo resultados satisfactorios en su identificación taxonómica. Estos procesos que afectaron la buena preservación de la pared de quitinozoarios están asociados a factores propios del ambiente sedimentario y de efectos tafonómicos biológicos y geológicos (e.g. composición química de las aguas, procedencia de los sedimentos, dinámica de sedimentación, condiciones de energía y PH), ocurridos en distintas regiones en sierras de Villicum y Talacasto, sumado a la importante actividad tectosedimentaria asociada. Esto trasciende la relación preservación-técnica de procesamiento a utilizar. Por lo tanto, los resultados obtenidos a partir del procesamiento no estándar permiten contribuir en la interpretación del paleoambiente en las muestras de la Fm. La Pola, ampliamente discutida, así como en la determinación de su edad de depositación y posible retrabajo. En la Formación La Chilca, se completa el registro fósil de palinomorfos en la base de la unidad, actualmente inexistente, y proponer una correlación bioestratigráfica con las zonas de graptolitos de la Transición Ordovícico-Silúrico. En la Formación Don Braulio, se posiciona estratigráficamente el límite Ordovícico-Silúrico, con la finalidad de mejorar las correlaciones lito-bioestratigráficas en las cuencas de Precordillera Central y Oriental.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Leonardo Silvestri (Laboratorio de Palinoestratigrafía y Paleobotánica, CICYTTP) por el procesamiento y montados palinológicos; a José Vilá Laboratorio (Microscopía Electrónica “Dr. Domingo S. Liotta”) por su ayuda en la toma de fotografías SEM incluidas en esta contribución, en el CICYTTP (CONICET-ER-UADER) en Diamante, Provincia de Entre Ríos,

Argentina. Esta investigación fue financiada en parte por el proyecto CICITCA 2023-2025 (21/E1124), dirigido por Dr. Silvio Peralta y el Laboratorio de Palinoestratigrafía y Paleobotánica, CICYTTP (CONICET- ENTRE RÍOS-UADER. Agradecemos al Dr. P. A. Souza por sus observaciones para mejorar el presente artículo.

REFERENCIAS

- Astini, R.A. (2001). La Formación La Pola (Ordovícico Superior): relicto erosivo de la glaciación hirnantiana en la Precordillera. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, v. 56 (4), p. 425-442.
- Baldis, B.A., Beresi, M.S., Bordonaro, O.L., Vaca, A. (1982). Primeros trilobites asghillianos del Ordovícico sudamericano. 5to Congreso Latinoamericano de Geología, v. 1, p. 399-445.
- Baldis, B.A., Peralta, S.H., Uliarte, E.R. (1984). Geología de la Quebrada Ancha y sus alrededores en el área de Talacasto, Precordillera Sanjuanina. 9° Congreso Geológico Argentino, v. 4, p. 233-245.
- Batten, D.J. (1996). Palynofacies and Palaeoenvironmental Interpretation. En: Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds). *American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*, v. 3, p. 1011-1084.
- Benedetto, J.L. (2003). Braquiópodos del Caradociano temprano de la Formación La Pola, sierra de Villicum, Precordillera de San Juan (Argentina). *Ameghiniana*, v. 40, p. 33-52.
- Cuerda, A.J. (1969). Sobre las graptofaunas del Silúrico de San Juan. *Ameghiniana*, v. 6, p. 223-225.
- di Pasquo, M., Vilá, J. (2019). SEM Observation of Non-Metallized Samples in Paleopalynology. *M&M-Microscopy & MicroAnalysis Journal*, v. 26, p. 149-150.
- di Pasquo, M.M., Streel, M. (2022). When is *Retispora lepidophyta* a reliable proxy to define the Devonian-Carboniferous Boundary (DCB)? a revision of this boundary in South America (SAM). *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología*, v. 22, p. 137-180.
- di Pasquo, M.M., Di Nardo, J., Kavali, P., Martínez, M., Navarrete, R., Parra, F., Quetglas, M., Rice, B., Silvestri, L. (2022). Can fluorescence be helpful to discriminate between indigenous taxa of the Carboniferous age from those reworked of Mid-Upper Devonian rocks? *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología*, v. 22, p. 181-251.
- Gómez, J.C, di Pasquo, M.M, Peralta, S.H, Silvestri, L. (2024). Preliminary Palynological Study of the Ordovician-Silurian Transition in the San Juan Precordillera, Argentina. *Serie Correlación Geológica*, v. 39 (2), p. 35-52.
- Heredia, S., Milana, J. (2010). Conodontes Sandbianos (Ordovícico Superior) en la Quebrada La Pola, Sierra de Villicum, Precordillera de San Juan (Argentina). *Ameghiniana*, v. 47(4), p. 515-525.
- Peralta, S.H., Carter, C.H. (1999). Don Braulio Formation (late Ashgillian-early Llandoveryan, San Juan Precordillera, Argentina): stratigraphic remarks and paleoenvironmental significance. *Short papers of the 8th International Symposium on the Ordovician System, Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, v. 43 (1/2), p. 225-228.
- Peralta, S.H. (2006). Sea level fluctuations and forced regressions in the Silurian basin in the Precordillera of Western Argentina. *GFF*, v. 128 (2), p. 181-184.
- Riding, J.B. (2021). A guide to preparation protocols in palynology. *Palynology*, v. 45(sup1), p. 1-110.
- Sanchez, M.T., Benedetto, J.L., Brussa, E. (1991). Late Ordovician stratigraphy. Palaeoecology and sea level changes in the Argentine Precordillera. En: Barnes, C. R., Williams S. H. (Eds). *Advances in Ordovician Geology. Geological Survey of Canada*, v. 90-9, p. 245-258.
- Traverse, A. (2008). *Paleopalynology*. Springer-Verlag, Berlin, 813p.
- Tyson, R.V. (1995). *Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies*. Chapman and Hall, London, 615p.