

NOTA PALEONTOLOGICA

DIATOMEAS DE LA FORMACIÓN RÍO TURBIO (EOCENO MEDIO), SUDOESTE DE SANTA CRUZ, ARGENTINA



M. SOL GONZÁLEZ ESTEBENET^{1,2}, MARCELA A. ESPINOSA^{2,3}, G. RAQUEL GUERSTEIN^{1,2} y MARTÍN RODRÍGUEZ RAISING¹

¹Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (INGEOSUR) San Juan 670, B8000ICN Bahía Blanca, Argentina. *sol.gonzalezestebenet@uns.edu.ar, raquel.guerstein@uns.edu.ar, martin_rodriguezraising@yahoo.com.ar*

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, CC 722, 7600 Mar del Plata, Argentina. *maespin@mdp.edu.ar*

Palabras clave. Diatomeas. Eoceno medio. Paleoambientes. Patagonia. Argentina.

Key words. Diatoms. Middle Eocene. Paleoenvironments. Patagonia. Argentina.

Las diatomeas constituyen actualmente uno de los principales productores primarios marinos. Se conocen desde el Jurásico (Benton y Harper, 2009) y poseen una pared celular silíceica, denominada frústulo, que puede preservarse en el registro fósil. Las diatomeas tienen un alto potencial como indicadores bioestratigráficos y son muy utilizadas como indicadores indirectos (*proxy-data*) en estudios paleoecológicos del Cuaternario. Si bien, en Argentina, esta rama de la micropaleontología ha avanzado significativamente en las últimas dos décadas (Espinosa, 2008 y trabajos allí citados), los resultados publicados para diatomeas precuaternarias son escasos y de carácter preliminar, limitándose al Neógeno tardío (Martínez Macchiavello, 1984) y Paleógeno (Frenguelli, 1936).

La Formación Río Turbio aflora en el sudoeste de Santa Cruz y fue asignada al Eoceno medio tardío a Eoceno tardío temprano (Malumián *et al.*, 2000). En este trabajo se presentan los primeros resultados de las asociaciones de diatomeas de la Formación Río Turbio en relación con los quistes de dinoflagelados recuperados en los mismos niveles estratigráficos. La información complementa los resultados de los estudios sedimentológicos (Rodríguez Raising, 2010) y palinológicos que se están llevando a cabo en esta unidad.

MARCO GEOLÓGICO Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Hacia fines del Cretácico y durante el Cenozoico, la Patagonia extraandina sufrió una serie de transgresiones marinas atlánticas como respuesta a cambios tectónicos, eustáticos y climáticos (Malumián, 1999). Desde el punto de vista tectónico, el Eoceno fue un período de importante reorganiza-

ción de las placas tectónicas del sudeste del Océano Pacífico (Somoza y Ghidella, 2005). Los cambios en la dirección y velocidad de convergencia entre las placas Pacífica y Sud-

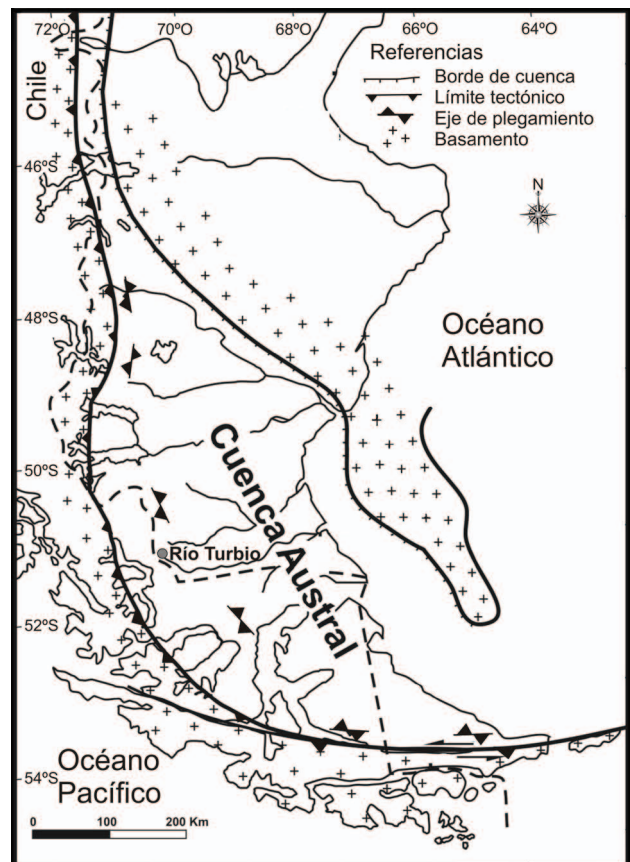
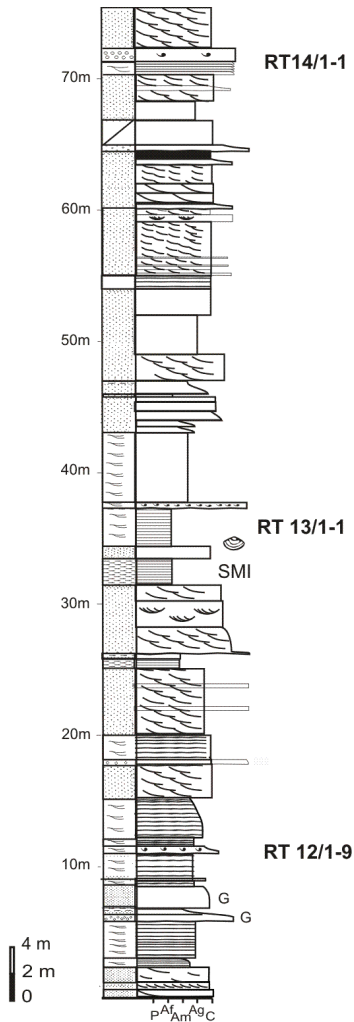


Figura 1. Mapa de la cuenca Austral con la ubicación del sitio de estudio. Modificado de Nullo *et al.* (1999)/ *Austral basin map with location of study site.* Modified from Nullo *et al.* (1999).



Referencias

Litología

- Conglomerados
- Areniscas
- Intercalación de arena y pelitas
- Capas con abundante glauconita
- Coquina

Estructuras sedimentarias

- Estratificación entrecruzada en artesas
- Estratificación entrecruzada planar tabular y tangencial
- Laminación lenticular ondulosa y flaser

Fósiles

- Panopea* sp.

SMI: Superficie de máxima inundación

Figura 2. Perfil estratigráfico de la Formación Río Turbio en la localidad estudiada, y ubicación de las muestras analizadas/ *Stratigraphic section of the Río Turbio Formation at the study site, and location of analyzed samples.*

americana, junto con eventos extensionales vinculados a la apertura del pasaje de Drake fueron variables que condicionaron la deformación de la Cordillera Patagónico-Fueguina y el relleno de las cuencas asociadas (Ramos, 2002).

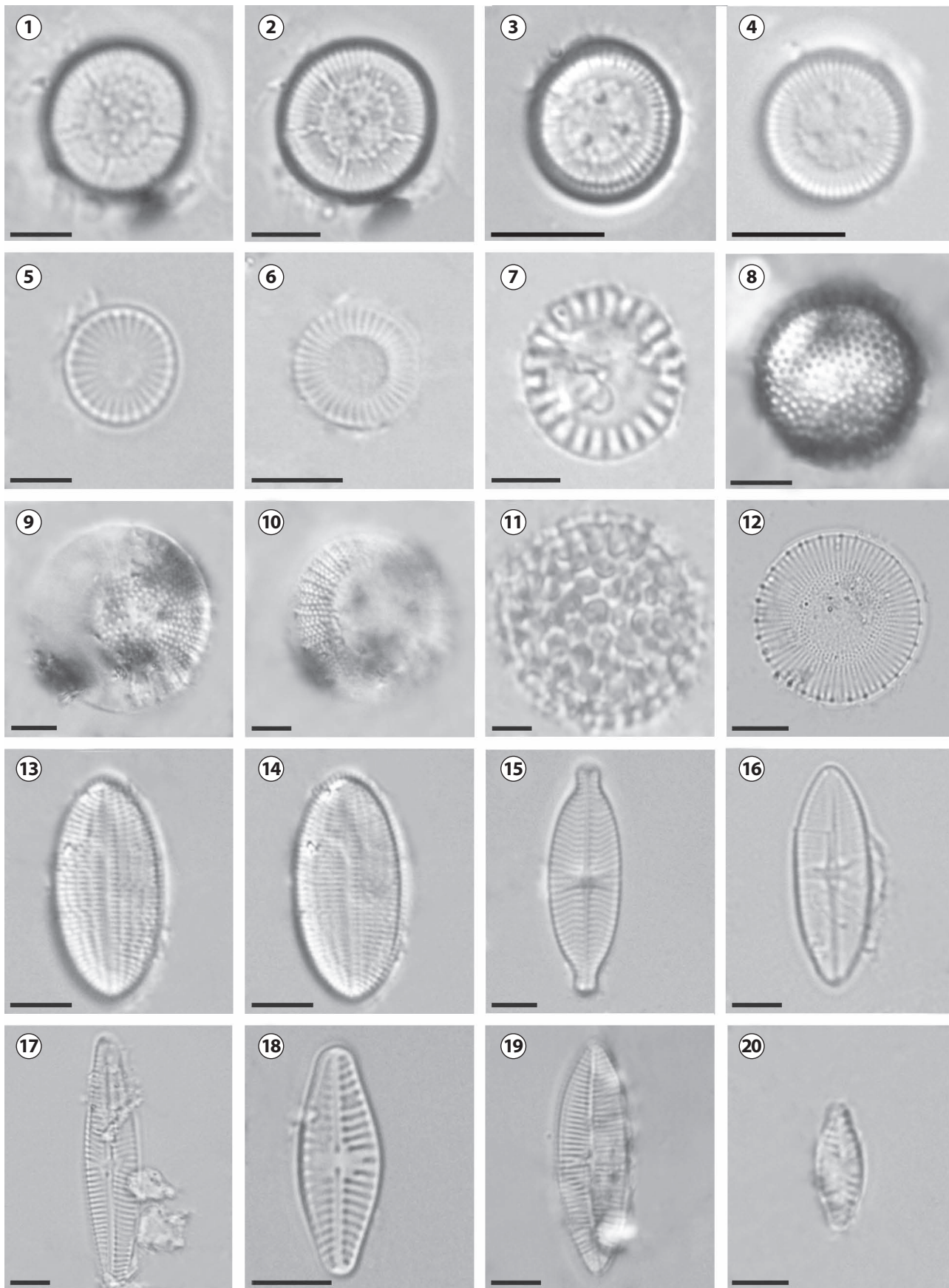
En particular, en el Eoceno medio tuvo lugar una transgresión atlántica que afectó fundamentalmente a toda la Cuenca Austral (Fig.1). Durante esta transgresión se depositó el miembro superior de la Formación Río Turbio que aflora en el margen occidental de la cuenca en la provincia de Santa Cruz. El sitio de muestreo se encuentra al noreste de la localidad de Río Turbio (51°31'13"S–72°15'11"O).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procesaron ocho muestras, a partir de 15 gramos de roca cada una, en el Laboratorio de Palinología, INGEOSUR. La ubicación estratigráfica se muestra en la Figura 2. Con el objetivo de obtener la máxima preservación de los frústulos se realizaron distintos protocolos de procesamiento siguiendo la metodología propuesta por Hinchey y Green (1994) y Espinosa (1998). Las muestras que presentaron frústulos mejor preservados fueron desagregadas en nafta blanca, para evitar daños mecánicos en la pared silíceo. El material se filtró a través de una malla de 150 µm. La materia orgánica se removió con peróxido de hidrógeno, los carbonatos con ácido clorhídrico y los coloides con hexametáfosfato de sodio. Se hicieron preparados definitivos montando alícuotas de 0.1 ml en Naphrax® o Bálsamo de Canadá.

El estudio taxonómico se realizó utilizando un microscopio óptico Nikon Eclipse 600 (n° 772751), con contraste de interferencia (DIC Nomarski). Las fotos fueron tomadas con una cámara digital Micrometrics. Los ejemplares ilustrados se identifican con el número de muestra y las referencias England Finder (EF). Los taxones fueron asignados en base a las floras provistas por Hustedt (1930, 1959, 1962, 1966), Germain (1981), Krammer y Lange-Bertalot (1991, 1997), Lange-Bertalot (2001) y Rumrich *et al.* (2000).

Figura 3. 1–4, *Cyclotella ocellata* Pantocsek, 1-2, 3561a K46/4; 3-4, 3561b P47/3; 5, *Cyclotella atomus* Hustedt, 3561b J34/4; 6–7, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, 6, 3561b G45; 7, 3561a T42; 8, *Coccolodiscus* sp, 3484a D32; 9–10, *Cyclodiscus dubius* (Hustedt) Round, 3560b M35; 11, *Coccolodiscus* sp., 3484a L 38; 12, *Stephanodiscus alpinus* Hustedt, 3895b E48; 13–14, *Cocconeis placentula* var. *euglypya* (Ehrenberg) Cleve, 3560b R45/4-S45/2; 15, *Geissleria decussis* (Ostrup) Lange-Bertalot, 3561b L39; 16, diatomea pennada indeterminada/ *indeterminate pennate diatom*, 3560a F38; 17, *Navicula cincta* (Ehrenberg) Kützing, 3560a U45/1; 18, *Planothidium delicatulum* (Kütz.) Round y Bukhtiyarova, 3560a T35; 19, diatomea pennada indeterminada/ *indeterminate pennate diatom*, 3560a V39/4; 20, *Hippodonta hungarica* (Grun.) Lange-Bertalot, 3560a F39/1. Escala/ *Scale bar*= 5 µm.



RESULTADOS

De las ocho muestras procesadas, sólo en dos se pudieron realizar recuentos estadísticamente representativos y en una se registró una gran cantidad de fragmentos. En las asociaciones de diatomeas encontradas se reconocieron catorce especies pertenecientes a once géneros (Fig. 3). En la Figura 4 se muestran las frecuencias disociadas de las asociaciones analizadas.

Muestra RT12/1-9

Proviene de la parte inferior del perfil (10 m medidos desde la base) donde dominan areniscas de grano medio con estratificación entrecruzada. Para este nivel estratigráfico la palinología muestra una asociación de quistes dominada por *Enneadocysta dictyostila* (Menéndez) Fensome, Guerstein y Williams, acompañada por *Deflandrea antarctica* Wilson. También se encontraron *Spiniferites scalenus* Guerstein, Guler, Williams, Fensome y Chiesa, *Operculodinium* spp., *Thalasshiphora pelagica* (Eisenack) Benedek y Gocht y especies pertenecientes a la familia Protoperidiniaceae.

Esta muestra fue la más abundante en diatomeas (930/ml) aunque poco diversa. Dominan las diatomeas centrales de muy pequeño tamaño y un único taxón del orden Pennales. Entre las diatomeas centrales abundan las especies *Cyclotella ocellata* Pantocsek, *Cyclotella atomus* Hustedt y *Cyclotella meneghiniana* Kützing. Muchas diatomeas centrales no se pudieron determinar por encontrarse cubiertas por material fino o porque estaban débilmente silicificadas, permitiendo distinguir solamente el borde de la valva. La única diatomea pennada encontrada fue *Geissleria decussis* (Ostrup) Lange-Bertalot.

Muestra RT13/1-1

Esta muestra, ubicada en la parte media del perfil (35

m medidos desde la base), proviene de una sucesión de areniscas finas intercaladas con pelitas donde se encuentra el bivalvo *Panopea* sp. en posición de vida. La asociación de dinoflagelados está dominada por especies de *Enneadocysta* e *Hystrichosphaeridium*, acompañadas por *Deflandrea antarctica*, *Spiniferites scalenus*, *Operculodinium* spp. y el complejo *Vozzhennikovia-Spinidinium*.

Se observa un leve aumento en la diversidad de diatomeas aunque una menor abundancia (300/ml) con respecto a la muestra RT12/1-9. Todas las diatomeas encontradas son de pequeño tamaño. Las diatomeas centrales que predominan son *Cyclotella ocellata* y *Cyclotella atomus* y entre las pennadas, se registró *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Cleve, *Planothidium delicatulum* (Kützing) Round y Bukhtiyarova, *Navicula cincta* (Ehrenberg) Kützing, *Hippodonta hungarica* (Grun.) Lange-Bertalot y *Navicula* sp. Al igual que en la muestra anterior, algunos ejemplares no han podido determinarse taxonómicamente debido a su pobre preservación.

Muestra RT14/1-1

Esta muestra representa a la parte superior del perfil (71 m medidos desde la base), caracterizada por areniscas medias con intercalaciones de areniscas finas y pelitas. La asociación de dinoflagelados se encuentra ampliamente dominada por *Vozzhennikovia* spp. y *Spinidinium* spp.

En este nivel sólo se hallaron fragmentos de diatomeas mal preservadas.

DISCUSIÓN

La información del contenido de diatomeas permite caracterizar de manera preliminar a la parte inferior y media del miembro superior de la Formación Río Turbio y comple-

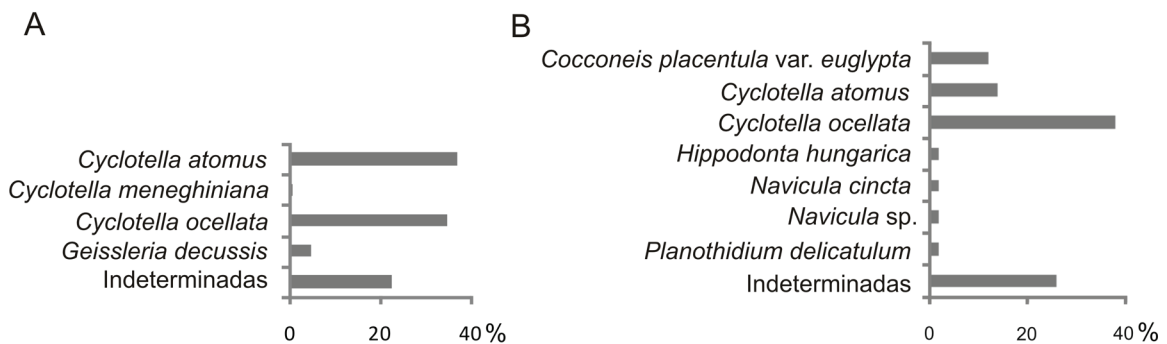


Figura 4. Frecuencias de diatomeas. A, muestra RT12/1-9. B, muestra RT13/1-1/ Diatom frequencies. A, sample RT12/1-9. B, sample RT13/1-1.

menta los resultados del análisis sedimentológico y palinológico que se llevan a cabo en forma conjunta.

El análisis sedimentológico sugiere que el miembro superior de la Formación Río Turbio se habría depositado en un ambiente marino somero a litoral (Rodríguez Raising, 2010). En la base de la sección el análisis de facies indica un ambiente estuárico, lo que concuerda con la presencia de quistes de dinoflagelados típicos de condiciones marinas restringidas. La asociación de diatomeas se encuentra dominada por *Cyclotella* spp. características de aguas dulces a salobres. Actualmente, *Cyclotella ocellata* es una especie que vive en agua dulce (Denys, 1991/1992), en tanto que *C. meneghiniana* y *C. atomus* son taxones de aguas salobres. *C. meneghiniana* ha sido hallada en ambientes estuáricos con salinidades hasta 13‰ (Hassan *et al.*, 2009) y *C. atomus* hasta 8 ‰ (Jackson *et al.*, 1987).

Asumiendo que las preferencias ecológicas de estas especies han sido las mismas desde el Eoceno, a través de una aproximación sustantiva del principio del uniformitarismo, esta asociación pudo haberse desarrollado en un ambiente estuárico interno con un importante aporte de aguas fluviales. Los ambientes estuáricos presentan en general una gran diversidad de diatomeas (Resende *et al.*, 2005; Espinosa *et al.*, 2006). La baja diversidad encontrada podría vincularse con condiciones de alto estrés ambiental como consecuencia de aguas superficiales poco iluminadas, debido a la alta turbidez en un ambiente de alta energía. Actualmente, *C. meneghiniana* se adapta bien a ambientes con poca disponibilidad de luz (Rosen y Lowe, 1984). Además, no se puede descartar una subestimación de la diversidad de diatomeas, ya que muchos frústulos se encuentran débilmente silicificados o cubiertos por sedimentos, lo que impidió su determinación taxonómica.

Hacia la parte media de la sección la sedimentología y los quistes de dinoflagelados sugieren condiciones marinas, mientras que la asociación de diatomeas se encuentra dominada por especies de aguas salobres/dulceacuícolas como *Cyclotella* spp. y *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, entre otras. Las temperaturas inferidas para el Eoceno, a partir de datos isotópicos, habrían sido considerablemente más elevadas que las actuales (Zachos *et al.*, 2008) y las lluvias más abundantes. Estas condiciones habrían favorecido el aporte de agua dulce al área de depositación. En consecuencia, las especies de diatomeas de agua salobre/dulce en un ambiente marino podría deberse al transporte producido por flujos de densidad, los que se evidencian en las estructuras sedimentarias analizadas (Rodríguez Raising, 2010). Cabe mencionar que

para el Mioceno tardío de Chile Encinas *et al.* (2010) explicaron la presencia de diatomeas típicas de aguas dulces a salobres en ambientes marinos como consecuencia del transporte de los ríos o del viento. Esta interpretación refuerza el modelo paleoambiental aquí propuesto.

Las diatomeas halladas son de pequeño tamaño, lo que puede responder a condiciones ambientales de carácter local que habrían favorecido la selección debido al transporte y a la disponibilidad de luz y nutrientes, factores limitantes para el crecimiento de las diatomeas.

Es probable que durante períodos de importante descarga fluvial hacia ambientes marinos haya habido una selección de los frústulos más pequeños. Además, es posible que las especies preservadas hayan sido las más resistentes como es el caso de *C. atomus*, especie que según Belcher y Swale (1978) presenta frústulos pequeños y robustos. Por otro lado, la flotabilidad en las especies más pequeñas se ve favorecida frente a las diatomeas de mayor tamaño (Round *et al.*, 1990) permitiendo la estabilidad en la zona fótica dentro de un ambiente con alta turbidez.

En cuanto a los nutrientes, la disponibilidad de sílice es el principal limitante del crecimiento de las diatomeas (Round *et al.*, 1990). Si bien durante el Eoceno se registra a nivel global un aumento en la concentración de sílice (McGowran, 1989), este aumento no condice con el pequeño tamaño de las diatomeas halladas. Probablemente esto se deba a que durante el Eoceno medio-superior en la cuenca Austral el mar era poco profundo, con una restringida comunicación con el océano abierto (Malumíán, 1999).

En la parte superior de la sección el análisis de facies sugiere un ambiente de alta energía (asignado a canales de marea), mientras que la dominancia de *Vozzhennikovia* spp. indica condiciones cercanas a la costa. Las diatomeas se encuentran altamente fragmentadas, consistentes con el ambiente costero de alta energía.

Estos resultados preliminares muestran que en los ambientes de plataforma interna a estuáricos de la Formación Río Turbio analizados hasta el momento, las diatomeas estuvieron sujetas a condiciones de carácter local como las corrientes de marea y el aporte fluvial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a S. Serra y a G. Chaves la colaboración en el procesamiento de muestras de diatomeas; a O. Cárdenas por la extracción físico-química de las muestras palinológicas y a los revisores L. Buatois y A. Parras por los constructivos comentarios que ayudaron a mejorar la versión final del manuscrito. Este trabajo fue financiado con proyectos CONICET (PIP-112-200801-00166) y SGCyT-UNS.

BIBLIOGRAFÍA

- Belcher, J.H. y Swale, E.M.F. 1978. *Skeletonema potamos* (Weber) Hasle and *Cyclotella atomus* Hustedt (Bacillariophyceae) in the plankton of rivers in England and France. *British Phycological Journal* 13: 177–182.
- Benton, M.J. y Harper, D.A.T. 2009. *Introduction to paleobiology and the fossil record*. Blackwell Publishing, Oxford, 592 p.
- Denys, L. 1991/1992. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian coastal plain with the survey of their apparent ecological requirements. I. Introduction, ecological code and complete list. *Geological Service of Belgium, Professional Paper* 246: 1–41.
- Encinas, A., Fourtanier, E., Finger, K.L., Buatois, L.A. y Le Roux J.P. 2010. Stratigraphic implications of latest middle Miocene to earliest late Miocene diatoms in the Navidad Formation at Lo Abarca, central Chile (33° 30'S). *Ameghiniana* 47: 527–533.
- Espinosa, M.A. 1998. [*Paleoecología de diatomeas en sedimentos cuaternarios del sudeste bonaerense*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, 102 p. Inédita.]
- Espinosa, M.A. 2008. Diatoms from Patagonia and Tierra del Fuego. En: J. Rabassa, (Ed.), *Developments in Quaternary Sciences* 11: 383–392.
- Espinosa, M.A., Hassan, G.S. e Isla, F.I. 2006. Diatom distribution across a temperate microtidal marsh, Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences* 22: 9–16.
- Frenguelli, J. 1936. El Banco Verde de Paso Niemann del Río Chico en el Chubut y sus Diatomeas. *Extracto de la Revista del Museo de La Plata* 1: 3–65.
- Germain, H. 1981. *Flore des Diatomées. Eaux douces et saumâtres du massif Armoricain et des contrées voisines d'Europe Occidentale*. Société nouvelle des Editions Boubée, Paris, 441 p.
- Hassan, G. S., Espinosa, M. A. e Isla, F. I. 2009. Diatom-based inference model for paleosalinity reconstructions in estuaries along the northeastern coast of Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 275:77–91.
- Hinchey, J.V. y Green, O. R. 1994. A guide to the extraction of fossil diatoms from lithified or partially consolidated sediments. *Micropaleontology* 40: 368–372.
- Hustedt, F. 1930. Bacillariophyta (Diatomae). En: A. Pascher (Ed.), *Die Süßwasserflora Mitteleuropas*. G. Fischer, Jena, 466 p.
- Hustedt, F. 1959–1966. Die Kieselalgen Deutschlands. En: L. Rabenhorst (Ed.), *Kryptogamen flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz* 7(2)6, 737–845 (1959); 7(3)2, 161–348 (1962); 7(3)4, 557–816 (1966). Akademische Verlagsgesellschaft, Greest & Porting K.G., Leipzig.
- Jackson, R.H., Williams, P.J. le B. y Joint, I.R. 1987. Freshwater phytoplankton in the low salinity region of the River Tamar estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 25: 299–311.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. 1991. Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. En: Ettl, H. J. Gerloff, H. Heynig D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/3*. VEB Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 p.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. 1997. Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. G. Fischer, Jena, 610 p.
- Lange-Bertalot, H. 2001. *Navicula* sensu stricto, 10 genera separated from *Navicula* sensu lato, *Frustulia*. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), *Diatoms of Europe, volume 2*. Koeltz Scientific Books, Königstein, 626 p.
- Malumián, N. 1999. La sedimentación y el volcanismo terciario en la Patagonia extraandina. En: R. Caminos (Ed.), *Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales* 29: 557–578.
- Malumián, N., Panza, J. L., Parisi, C., Nañez, C., Caramés, A. y Torre, E. 2000. Hoja Geológica 5172-III-Yacimiento Río Turbio, provincia Santa Cruz, 1:250.000. *Boletín del Servicio Geológico Minero Argentino* 247, 108 p.
- Martinez Macchiavello, J.C. 1984. Diatomeas. 9º Congreso Geológico Argentino, (Bariloche), *Relatorio*, p. 518–525.
- McGowran, B. 1989. Silica burp in the Eocene ocean. *Geology* 17:857–860.
- Nullo, F.E., Panza, J.L. y Blasco, G. 1999. Jurásico y Cretácico de la cuenca Austral. En: Caminos, R (Ed.): *Geología Argentina, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales* 17: 528–535
- Ramos, V. A. 2002. Evolución tectónica. En: M. J. Haller (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz, Relatorio 15º Congreso Geológico Argentino*, p. 365–387.
- Resende, P., Azeiteiro, U. y Pereira, M.J. 2005. Diatom ecological preferences in a shallow temperate estuary (Ria de Aveiro, Western Portugal). *Hydrobiologia* 544: 77–88.
- Rodríguez Raising, M.E. 2010. [*Estratigrafía secuencial de los depósitos marinos y continentales del Eoceno – Oligoceno temprano de la cuenca Austral, suroeste de la provincia de Santa Cruz*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur, 203 p. Inédita.]
- Rosen, B.H. y Lowe, R.L. 1984. Physiological and ultrastructural responses of *Cyclotella meneghiniana* (Bacillariophyta) to light intensity and nutrient limitation. *Journal of Phycology* 20: 173–183.
- Round, F.E., Crawford, R.M. y Mann, D.G. 1990. *The diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 747 p.
- Rumrich, U., Lange-Bertalot, H. y Rumrich, M. 2000. Diatoms of the Andes. From Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego. En: H. Lange Bertalot (Ed.), *Iconographia Diatomologica, volume 9*. A.R.G. Gantner-Verlag, Königstein, 673 p.
- Somoza, R. y Ghidella, M.E. 2005. Convergencia en el margen occidental de América del Sur durante el Cenozoico: subducción de las placas de Nazca, Farallón y Aluk. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 797–809.
- Zachos, J.C., Dickens, G.R. y Zeebe, R.E. 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature* 451: 279–283.

doi: 10.5710/AMGH.v49i3(548)

Recibido: 26 de octubre de 2011**Aceptado:** 28 de febrero de 2012