



La icnofacies de *Glossifungites* en el contacto entre las formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva, Plioceno de la Cordillera de la Costa, Chile: su significado estratigráfico-secuencial

Luis A. BUATOIS¹ y Alfonso ENCINAS²

Abstract. THE *GLOSSIFUNGITES* ICHNOFACIES AT THE BOUNDARY BETWEEN THE NAVIDAD (RAPEL MEMBER) AND LA CUEVA FORMATIONS, PLIOCENE OF THE COASTAL CORDILLERA, CHILE: ITS SEQUENCE STRATIGRAPHIC SIGNIFICANCE. The *Glossifungites* ichnofacies is recognized at the boundary between the Navidad (Rapel Member) and La Cueva formations, Pliocene of the Coastal Cordillera, Chile. The *Glossifungites* suite is characterized by a high density of ?*Gastrochaenolites* isp. The surface is mantled by a transgressive lag. Burrows are passively infilled with sand and gravel coming from the overlying bed. The surface represents a sequence boundary (a co-planar surface of lowstand erosion and transgressive ravinement).

Resumen. La icnofacies de *Glossifungites* es reconocida en el contacto entre las formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva, Plioceno de la Cordillera de la Costa, Chile. La suite de *Glossifungites* está caracterizada por una alta densidad de ?*Gastrochaenolites* isp. La superficie está cubierta por un lag transgresivo. Las excavaciones están rellenas en forma pasiva por arena y grava proveniente de la capa suprayacente. La superficie es interpretada como un límite de secuencia (superficie co-planar de erosión de nivel del mar bajo y de ravinamiento transgresivo).

Key words. Ichnology. Trace fossils. *Glossifungites* ichnofacies. Sequence stratigraphy. Chile

Palabras clave. Icnología. Trazas fósiles. Icnofacies de *Glossifungites*. Estratigrafía secuencial. Chile.

Introducción

A pesar de que se han efectuado numerosos estudios, principalmente paleontológicos, sobre las sucesiones neógenas de la zona costera de Chile Central, tradicionalmente conocidas como formaciones Navidad y La Cueva (e.g. Brüggén, 1950; Martínez-Pardo y Valenzuela, 1979; Tavera, 1979; Covacevich y Frassinetti, 1980), estos trabajos no hacen referencia al contacto entre ambas formaciones. Esto se debe fundamentalmente a que la Formación La Cueva fue tradicionalmente estudiada en su localidad tipo, cerca de Las Damas (figura 1), donde apoya directamente sobre el basamento granítico. Cecioni (1978) fue el primer autor que observó el contacto entre ambas formaciones en la localidad de Rapel (figura 1), pero en su estudio no hace una descripción detallada del mismo.

Durante los últimos años la icnología ha demostrado ser de enorme utilidad para el reconocimiento de discontinuidades estratigráficas, principalmente

en sucesiones siliciclásticas (MacEachern *et al.*, 1992; Pemberton *et al.*, 2001, 2004; de Gibert y Robles, 2005). Las aplicaciones de la icnología en esta área de trabajo se han desarrollado mayormente en el campo de la industria petrolera. Sin embargo, el reconocimiento de discontinuidades estratigráficas es clave también en geología regional, por lo que la icnología posee un potencial importante en estudios de esta índole. En el reconocimiento de discontinuidades estratigráficas resulta de vital importancia la identificación de icnofacies sustrato-controladas. Entre éstas, la icnofacies de *Glossifungites*, la cual se desarrolla en sustratos firmes, no litificados, mayormente fangos deshidratados, es la que más se ha empleado al respecto. En este trabajo se documenta la icnofacies de *Glossifungites* en el contacto entre las formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva, interpretándose dicha superficie como una discontinuidad estratigráfica.

Marco geológico

El área de estudio (33°57'S, 71°44'W) se encuentra situada en un corte de la carretera que va de Rapel a Litueche, a unos tres kilómetros al sur de Rapel y unos 100 km al suroeste de Santiago de Chile (figura

¹Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan, 114 Science Place, Saskatoon, SK S7N 5E2, Canada.

luis.buatois@usask.ca

²Departamento de Geología, Universidad de Chile, Casilla 13518, Correo 21, Santiago, Chile. aencinas@cec.uchile.cl

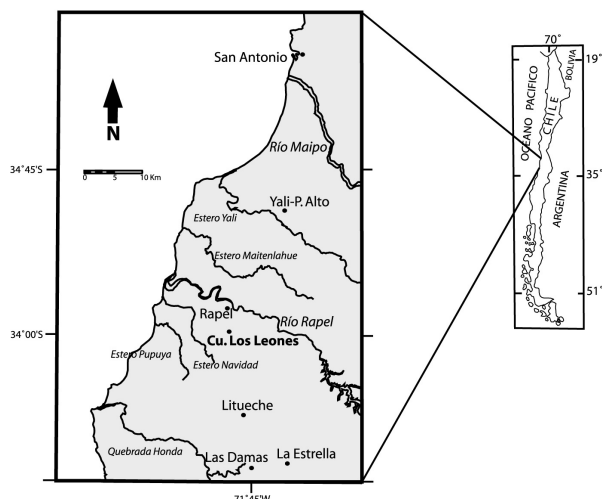


Figura 1. Mapa de ubicación del área estudiada. La discontinuidad analizada en este trabajo aflora en los puntos nombrados como "Cu. Los Leones y Yali-P.Alto" / location map of the study area. The discontinuity analyzed in this paper crops out in the localities referred to as "Cu. Los Leones and Yali-P.Alto".

1). Desde el punto de vista geológico esta zona está situada en el margen oeste de la Cordillera de la Costa de Chile Central. Dicha cordillera constituye una cadena montañosa de dirección norte-sur, que se encuentra limitada al este por una depresión tectónica conocida como el Valle Central. La Cordillera de la Costa a esta latitud está constituida por un basamento formado por rocas plutónicas y metamórficas del Paleozoico, Triásico y Jurásico, que afloran en la mayor parte de la zona costera, y por rocas sedimentarias marinas del Cretácico, Eoceno y Neógeno (Gana *et al.*, 1996; Wall *et al.*, 1996).

La discontinuidad objeto de nuestro estudio se encuentra situada entre las formaciones neógenas Navidad y La Cueva. La Formación Navidad fue descrita por primera vez por Darwin (1846) y consiste en una serie de areniscas, limolitas, conglomerados y coquinas que afloran en la zona costera de Chile Central. Varias propuestas para dividir la Formación Navidad en diferentes miembros han sido publicadas (*e.g.* Cecioni, 1978; Tavera, 1979; Wall *et al.*, 1996), siendo la más utilizada la de Tavera (1979) que divide dicha unidad en los miembros Navidad, Lincancho y Rapel. La Formación La Cueva fue descrita por primera vez por Brüggén (1950), en su localidad tipo cerca de Las Damas (figura 1), como una sucesión de areniscas fosilíferas con abundante material volcánico que presenta en el tope un conglomerado que dicho autor interpretó como de origen glacial.

Las formaciones que constituyen la sucesión neógena en Chile Central se acumularon durante un período de subsidencia que tuvo lugar en el Mioceno Tardío y Plioceno. La zona costera permaneció emer-

gida con posterioridad a una transgresión marina eocena (Gana *et al.*, 1996), siendo posteriormente afectada por una importante subsidencia en el Tortoniano (aproximadamente 11 Ma) (Encinas *et al.*, 2003a, 2003b; Lavenn y Encinas, 2005). Dicha subsidencia dio lugar a la sedimentación representada por el Miembro Navidad, el cual se acumuló en un sistema turbidítico entre el Tortoniano y el Plioceno Temprano. Posteriormente, durante el Plioceno, la cuenca fue elevada hasta la zona de la plataforma marina produciéndose la depositación de los miembros Lincancho y Rapel y por la Formación La Cueva que se formaron en ambientes marinos someros. Finalmente, la cuenca fue emergida, probablemente durante el Pleistoceno, dando término a la sedimentación marina en el área.

El contacto entre las formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva: facies sedimentarias y contenido icnológico

El Miembro Rapel sobreyace al Miembro Lincancho en algunas zonas mientras que en otras se apoya directamente sobre el basamento granítico. En el contacto con el Miembro Lincancho presenta un conglomerado fosilífero, de unos 50 cm de espesor, interpretado como un conglomerado transgresivo. La presencia de este conglomerado y el hecho de que en algunas zonas se apoye directamente sobre el granito sugieren un aumento relativo del nivel del mar, probablemente causado por una etapa de subsidencia de la cuenca. Por encima del contacto con el basamento, unos 3 kilómetros al este de Rapel (figura 1), se disponen capas de conglomerados matriz soportados y capas de areniscas con grandes clastos angulosos del basamento. Estas capas se interpretan como flujos de detritos asociados con la subsidencia de la cuenca. Por encima se sitúan capas de areniscas con estratificación cruzada *hummocky* donde a veces es posible observar grandes clastos flotantes del basamento (Encinas *et al.*, 2003, 2003a). El resto de la sucesión está dominado por areniscas masivas de grano fino con moldes de moluscos y abundantes restos vegetales. La presencia de facies de conglomerados matriz soportados y de areniscas con estratificación cruzada *hummocky*, junto con la gran cantidad de restos vegetales en la base de la sucesión sugiere que esta formación fue probablemente depositada por un *flood dominated delta*, es decir un delta controlado por grandes avenidas. No existen datos que nos permitan conocer con certeza la edad de esta formación, pero las relaciones estratigráficas indicarían una edad pliocena.

La Formación La Cueva sobreyace al Miembro Rapel de la Formación Navidad en algunas zonas y

en otras se apoya directamente sobre el basamento granítico. El contacto entre ambas unidades está delimitado por un conglomerado fino a mediano que apoya sobre una delgada costra ferruginosa. En la cuesta de los Leones, unos 3 km al sur de Rapel (figuras 1 y 2), la superficie se encuentra caracterizada por abundantes *?Gastrochaenolites* isp. (figura 3.A-E). En los depósitos cuspidales del Miembro Rapel se encuentran también escasos ejemplares de *Thalassinoides* isp., pero su vinculación genética con dicha superficie es incierta (figura 3.A).

Los ejemplares atribuidos a *?Gastrochaenolites* isp. son verticales y descienden desde la superficie de discontinuidad penetrando dentro de las areniscas del Miembro Rapel. Estas excavaciones son alargadas y presentan una morfología cilíndrica a, más raramente, en forma de gota. El diámetro de las mismas varía de 1,3 a 2,8 cm y la longitud, de 1,6 a 7,5 cm. La pared de estas excavaciones carece de revestimiento y es marcadamente neta. El relleno de estas estructuras es claramente pasivo y consiste de arena y grava proveniente de la unidad suprayacente. La abundancia de estas estructuras es muy alta, si bien en general no se detecta superposición de estructuras. Aunque el afloramiento no permite analizar superficies en planta, una extrapolación de nuestras observaciones en sección indica densidades hasta 300 excavaciones por m² en algunos sectores. En algunos casos, en el interior de la excavación se preserva la ornamentación de conchillas de bivalvos. Estas estructuras son muy similares en morfología a las perforaciones comúnmente referidas al icnogénero *Gastrochaenolites* (véase discusión en Carmona *et al.*, en prensa). Sin embargo, el típico estrechamiento superior que caracteriza a este icnogénero sólo ha podido observarse en escasos ejemplares, si bien esto muy probablemente refleje erosión durante la transgresión. De todos modos, se ha decidido efectuar la asignación con dudas.

Por su parte, *Thalassinoides* isp. comprende sistemas de excavaciones bifurcados, formando galerías tridimensionales, con bifurcaciones comúnmente en "T". Los ensanchamientos en los puntos de ramificación no son muy acentuados. El relleno de las galerías es similar a la roca hospedante. El diámetro de las excavaciones oscila entre 1.1 y 2.9 cm. Si bien, los ejemplares guardan similitud con *Thalassinoides paradoxicus* (Woodward), se ha decidido mantener la asignación a nivel icnogénico debido a la pobre preservación de los mismos. En la localidad de cuesta de Los Leones no se han podido observar ejemplares descendiendo directamente desde la superficie, por lo que no puede descartarse que los mismos correspondan a la suite de sustratos blandos emplazada con anterioridad al desarrollo de la discontinuidad. A su vez, del estudio de los escasos ejemplares no resulta claro que el relleno de las galerías provenga de la capa suprayacente.

Una asociación similar ha sido documentada recientemente por Mikuláš *et al.* (2002) para una superficie de edad cretácica portadora de estructuras asignadas a *?Gastrochaenolites* isp. y *Thalassinoides* isp. En el caso de la icnofauna cretácica las estructuras referidas a *?Gastrochaenolites* isp. presentan una morfología irregular y los autores sugieren que pueden haber sido generadas por crustáceos. A su vez, si bien *Thalassinoides* isp. es interpretado como una estructura generada en sustrato firme, *?Gastrochaenolites* isp. es vinculado a bioerosión.

En otro afloramiento situado al norte del estero Yali (Punto Yali-P.Alto; figura 1), donde también se puede observar el contacto, esta superficie se caracteriza por una topografía sumamente irregular, observándose *scours* de entre 40 y 100 cm de profundidad y 20-40 cm de ancho. Estos *scours* están rellenos por arena gruesa a muy gruesa y grava. A diferencia del afloramiento de la cuesta de Los Leones, en el ubicado al norte del estero Yali *?Gastrochaenolites* isp. está ausente. La icnofauna está aquí dominada por *Thalassinoides* isp., que presenta una abundancia moderada. En esta localidad, las excavaciones atribuidas a *Thalassinoides* isp. bajan aparentemente del contacto entre el Miembro Rapel y la Formación La Cueva. Se observan a su vez excavaciones verticales simples atribuibles a *Skolithos linearis* Haldeman, pero los mismos no están asociados a la discontinuidad, sino que se disponen en las areniscas de la Formación La Cueva, comúnmente en el relleno de los *scours*.

La icnofauna presente en el contacto entre el Miembro Rapel y la Formación La Cueva es interpretada aquí como un ejemplo de la icnofacies de *Glossifungites*. La morfología de las estructuras, principalmente *?Gastrochaenolites* isp., la existencia de paredes netas y carentes de revestimiento y el relleno pasivo de las estructuras son todas características que sugieren el desarrollo de un sustrato firme sobre el cual se desarrolló la suite de *Glossifungites*.

Por encima del conglomerado transgresivo que marca la base de la Formación La Cueva se disponen areniscas muy finas que alternan con escasas limolitas, donde localmente existen abundantes moldes de gasterópodos y bivalvos, que generalmente presentan las dos valvas articuladas, y en algunas capas se encuentran restos vegetales. Estos depósitos son reemplazados verticalmente por areniscas finas a medianas con estratificación cruzada planar y en artesa. Estas areniscas muestran abundante bioturbación, caracterizada por sistemas de galerías de *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*. Localmente, se intercalan conglomerados finos a medianos, de bases erosivas y geometría lenticular. La Formación La Cueva se interpreta como el depósito de un sistema deltaico (Encinas *et al.*, en prensa).

Con respecto a la edad de la Formación La Cueva, la fauna de moluscos y dientes de tiburón indica una

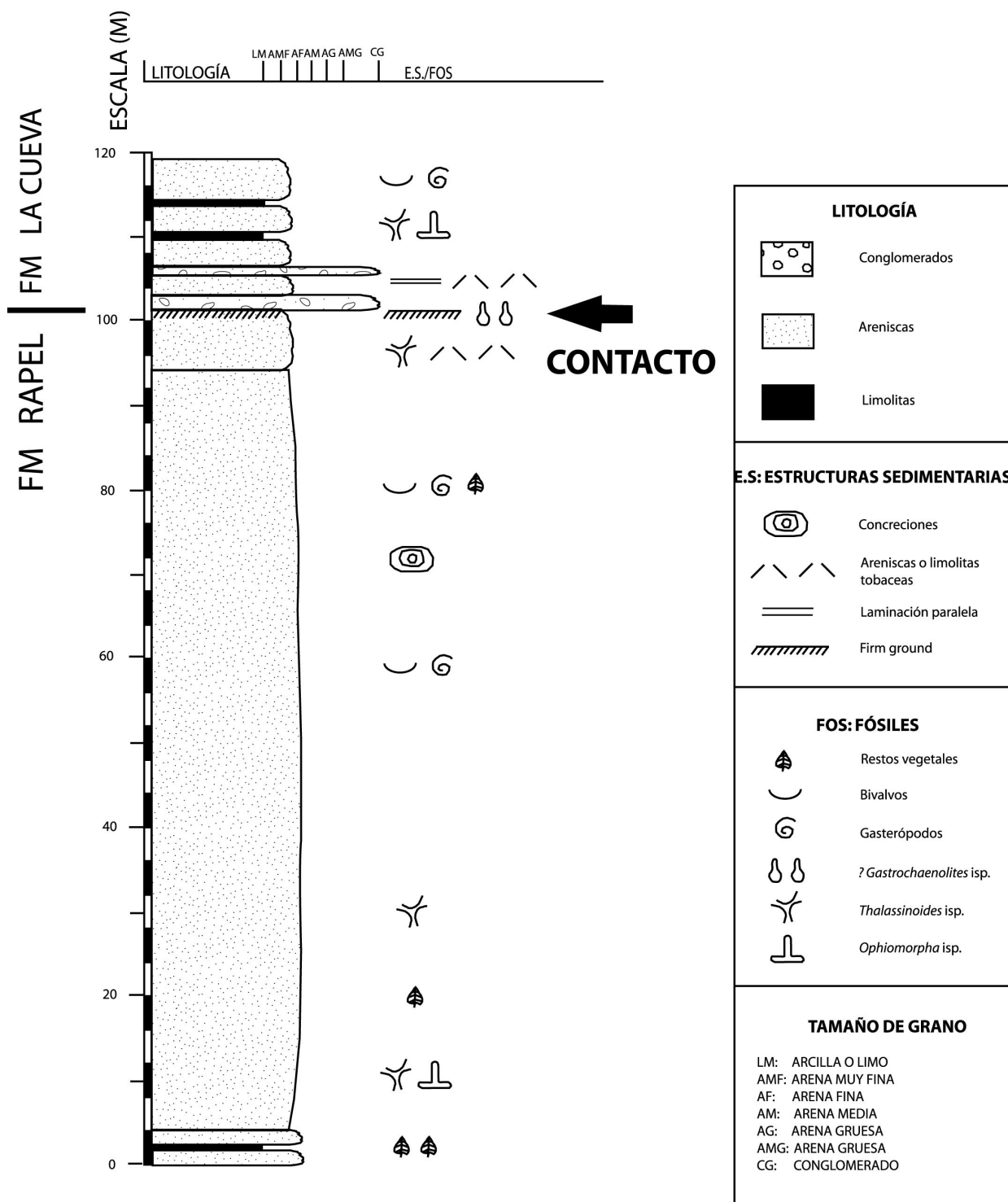


Figura 2. Sección estratigráfica de Cuesta de Los Leones (véase ubicación en figura 1). La discontinuidad entre las Formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva está indicada por una flecha / stratigraphic section of Cuesta de Los Leones (see location in figure 1). Discontinuity between the Navidad (Rapel Member) and La Cueva Formations indicated by an arrow.

edad pliocena (Brüggen, 1950; Herm, 1969; Encinas *et al.*, en prensa). Dataciones K/Ar y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Laboratorio de Geocronología, Seanageomí) efectua-

das en clastos de pómez y escoria volcánica confirmarían la edad pliocena señalada por los fósiles (Encinas *et al.*, en prensa).

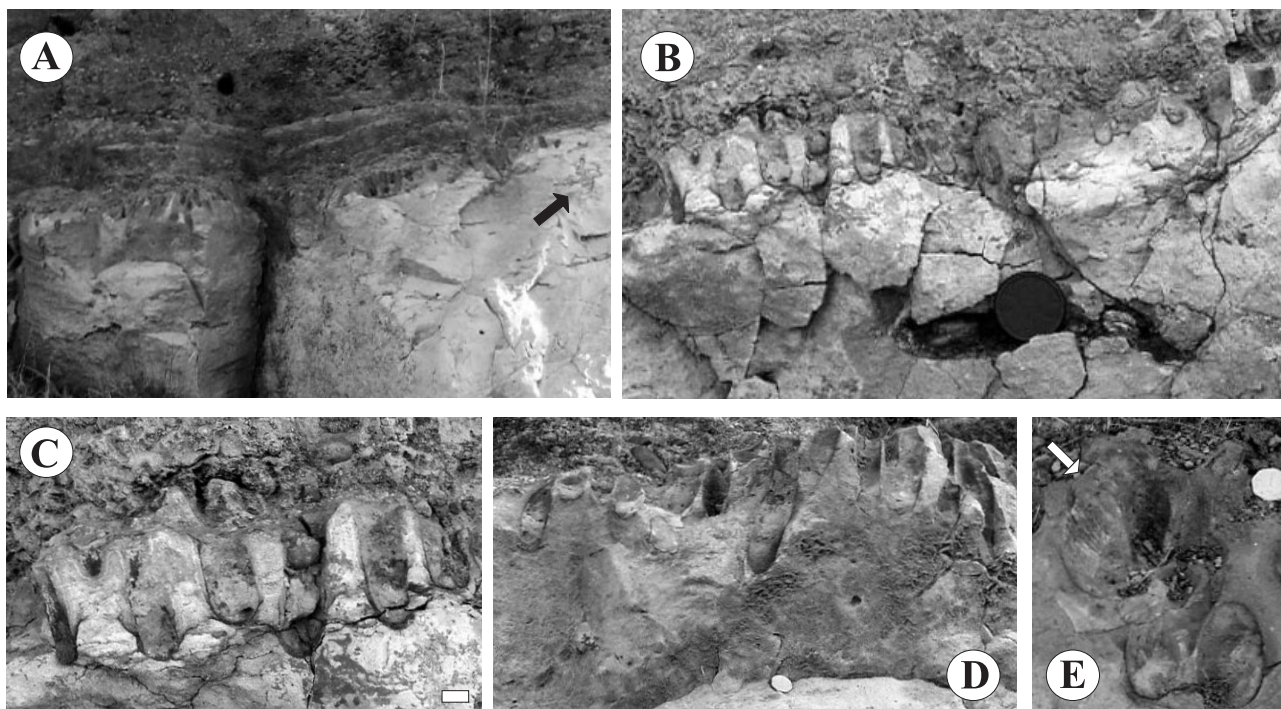


Figura 3. Icnofauna en el contacto entre las formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva / *Ichnofauna at the contact between the Navidad (Rapel Member) and La Cueva formations.* **A,** Vista general del contacto entre ambas unidades caracterizado por abundantes ejemplares de *?Gastrochaenolites* isp. y escasos *Thalassinoides* isp. (flecha) / *general view of the contact between both units characterized by abundant ?Gastrochaenolites isp. and scarce Thalassinoides isp.* **B,** Detalle de la superficie mostrando alta densidad de *?Gastrochaenolites* isp. / *close up of the surface showing high density of ?Gastrochaenolites isp.* **C,** *?Gastrochaenolites* isp. mostrando morfologías cilíndricas y, más raramente, en forma de gota / *?Gastrochaenolites isp. displaying cylindrical to, more rarely, drop-shaped morphology.* **D,** Ejemplos de *?Gastrochaenolites* isp. elongados y relativamente profundos / *examples of elongate, relatively deep ?Gastrochaenolites isp.* **E,** Detalle mostrando un molde interno de bivalvo preservado (flecha) / *close-up showing bivalve internal mold preserved (arrow).* Cubre del lente, 5.5 cm; Barra de escala, 1 cm; Moneda, 1,6 cm / *lens cap is 5.5 cm; Scale bar is 1 cm; Coin is 1.6 cm.*

Significado estratigráfico-secuencial

La icnofacies de *Glossifungites* fue propuesta por Seilacher (1967) en su clásico trabajo donde delineó el modelo icnofacial de ambientes marinos, siendo posteriormente reanalizada por Frey y Seilacher (1980). Trabajos posteriores han enfatizado su importancia en estratigrafía secuencial (e.g. Pemberton y Frey, 1985; MacEachern *et al.*, 1992; Pemberton *et al.*, 1992, 2001, 2004; Buatois *et al.*, 2002; de Gibert y Robles, 2005). Esta icnofacies está comúnmente conformada por estructuras verticales cilíndricas, en forma de "U" o gota, y excavaciones ramificadas (Frey y Pemberton, 1984; Pemberton y Frey, 1985; Pemberton *et al.*, 1992; MacEachern *et al.*, 1992; Uchman *et al.*, 2000; MacEachern y Burton, 2000; Carmona *et al.*, en prensa). Algunas excavaciones en "U" presentan *spreite* protrusivo, desarrollado mayormente a través del crecimiento de animales (*Rhizocorallium*, *Diplocraterion*). Otros componentes de esta icnofacies son *Skolithos*, *Psilonichnus*, *Arenicolites*, *Glyphichnus*, *Thalassinoides*, *Spongeliomorpha* y *Fuersichnus*. La gran mayoría de las estructuras corresponden a domicilios

permanentes de organismos suspensívoros, siendo la icnodiversidad baja, si bien ciertos tipos de estructuras pueden ser abundantes.

La baja icnodiversidad y alta abundancia de estructuras biogénicas son rasgos notables del contacto entre el Miembro Rapel y la Formación La Cueva. El análisis de la icnofauna presente en esta superficie de discontinuidad no revela ningún elemento que permita asumir el desarrollo de fenómenos de litificación previos al emplazamiento de las excavaciones, por lo que la superficie es considerada como un ejemplo de sustratos firmes, afectados por fenómenos de compactación y deshidratación. A diferencia de muchos de los ejemplos típicos de esta icnofacies (véase MacEachern *et al.*, 1992, para una revisión), el presente ejemplo no corresponde a un sustrato fangoso, sino a un sustrato arenoso exhumado. A su vez, las variaciones laterales en la composición de la icnofacies, observadas entre la cuesta de Los Leones y el Estero Yali, pueden estar reflejando distintos grados de firmeza del sustrato (Gingras *et al.*, 2001; Carmona *et al.*, en prensa).

La icnofacies de *Glossifungites* se presenta en su-

perfiles de omisión marinas firmes pero no litificadas. En sucesiones siliciclásticas, habitualmente se dispone en sustratos fangosos estables, cohesivos y parcialmente deshidratados (Pemberton y Frey, 1985). La icnofacies de *Glossifungites* caracteriza tanto áreas protegidas, de energía moderada, como áreas de energía algo más alta donde los sustratos semi-consolidados ofrecen resistencia a la erosión. En sedimentos silicoclásticos, la pérdida de agua resulta del soterramiento y, si son exhumados por erosión posterior, los sustratos se vuelven disponibles para la colonización por parte de los organismos (Pemberton y Frey 1985; MacEachern *et al.*, 1992). La suite de *Glossifungites* se desarrolla de este modo durante un hiato entre el evento erosivo (que exhumó el sustrato) y la depositación de la unidad suprayacente. Durante este lapso, el sustrato deshidratado y/o cementado es colonizado por los organismos. La exhumación erosiva puede ocurrir como resultado de mecanismos autocíclicos o alocíclicos. En sistemas siliciclásticos, las variaciones relativas del nivel del mar son el mecanismo alocíclico más común por el cual se generan superficies portadoras de la icnofacies de *Glossifungites*, lo cual pone de relieve la importancia de la misma en estratigrafía secuencial. El desarrollo de suites de *Glossifungites* asociadas a sustratos firmes ha sido observado en costas actuales a partir de la actividad de crustáceos (*e.g.* *Upogebia*), poliquetos (*e.g.*, *Nereis*, *Polydora*) y bivalvos (*e.g.* *Petricola*) (Pemberton y Frey, 1985; Asgaard *et al.*, 1997; Gingras *et al.*, 2001).

La superficie de discontinuidad entre el Miembro Rapel y la Formación La Cueva representa una historia compleja, producto de sucesivos eventos de erosión y depositación, y es aquí interpretada como un límite de secuencia. La erosión inicial sobre el Miembro Rapel tuvo lugar durante un descenso relativo del nivel del mar. Muy probablemente la topografía irregular observada al norte del estero Yali, refleje la incisión generada durante el descenso relativo del nivel del mar. La presencia de asociaciones monoespecíficas de *Skolithos* caracterizando el relleno de los *scours* indica condiciones de alta energía durante la depositación subsiguiente. En principio, el relleno de los *scours* pudo haber tenido lugar durante un estadio tardío de nivel del mar bajo o temprano de la transgresión posterior. Sin embargo, la presencia de sistemas de *Thalassinoides* asociados a la superficie firme en esta localidad indica al menos condiciones de aguas salobres, por lo que puede descartarse depositación vinculada a sistemas fluviales. Este hecho sugeriría que los *scours* fueron rellenados durante el evento transgresivo que afectó a la región. En el afloramiento de cuesta de Los Leones tampoco se observan evidencias de sedimentación vinculada al cortejo depositacional de nivel bajo. La superficie de con-

tacto entre ambas unidades representa una superficie co-planar, labrada durante el descenso relativo del nivel del mar y modificada durante la transgresión subsiguiente. El conglomerado que apoya sobre la discontinuidad en cuesta de Los Leones representa un conglomerado transgresivo generado por fenómenos erosivos de ravinamiento. Esta fase transgresiva dio rápidamente lugar a un evento regresivo caracterizado por la progradación de cuñas clásticas vinculadas al avance de sistemas deltaicos, tal cual queda evidenciado por las facies de la Formación La Cueva.

Conclusiones

Los estudios realizados han permitido reconocer a la icnofacies de *Glossifungites* en el contacto entre las formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva, Plioceno de la Cordillera de la Costa, Chile. Esta superficie está caracterizada por una alta densidad de *Gastrochaenolites* isp. La superficie es interpretada como un límite de secuencia (superficie co-planar de erosión de nivel del mar bajo y de ravinamiento transgresivo). La integración de evidencias icnológicas en un marco estratigráfico y sedimentológico proporciona información de utilidad en geología regional y aporta datos que permiten refinar el esquema estratigráfico para el Neógeno de la Cordillera de la Costa.

Agradecimientos

Fondos para la realización de este trabajo han sido proporcionados por el Proyecto Fondecyt 1010691, Programa MECE Educación Superior UCH0010 y por la Beca PG/50/02 del Departamento de Postgrado y Postítulo de la Universidad de Chile. Agradecemos a J. Le Roux, G. Mángano y N. Carmona por la lectura del manuscrito y a Jordi M. de Gibert y R. Netto por los comentarios aportados durante el arbitraje del mismo.

Bibliografía

- Asgaard, U., Bromley, R. G. y Hanken, N.M. 1997. Recent firm-ground burrows produced by a upogebiid crustacean: palaeontological implications. *Courier Forschungsinstitut Institut Senckenberg* 201: 23-28.
- Brüggen, J. 1950. *Fundamentos de la Geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile, 374 pp.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G., Alissa, A. y Carr, T.R. 2002. Sequence stratigraphic and sedimentologic significance of biogenic structures from a late Paleozoic reservoir, Morrow Sandstone, subsurface of Southwest Kansas, USA. *Sedimentary Geology* 152: 99-132.
- Carmona, N.B., Ponce, J.J. Mángano, M.G. y Buatois, L.A. (en prensa). Variabilidad de la icnofacies de *Glossifungites* en el contacto entre las Formaciones Sarmiento (Eoceno-Oligoceno) y Chenque (Mioceno temprano) en el Golfo San Jorge, Chubut, Argentina. *Ameghiniana*

- Cecioni, G. 1978. Petroleum possibilities of the Darwin's Navidad Formation near Santiago, Chile. *Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 25: 3-18.
- Covacevich, V. y Frassinetti, C. 1980. El género *Ficus* en el Mioceno de Chile Central con descripción de *F. gayana* sp. nov. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 37: 281-294.
- Darwin, Ch. 1846. Geological observations in South America. Smith, Elder and Co. London. 279 pp.
- Encinas, A., Finger, K., Nielsen, S., Suárez, M., Peterson, D. y Le Roux, J. 2003a. Evolución Tectono - Sedimentaria de la cuenca neógena de Navidad (33°40'S - 34°15'S), Chile central. *10º Congreso Geológico Chileno* (Concepción), Actas en CD rom.
- Encinas, A., Le Roux, J., Finger, K., Peterson, D., Suárez, M., Nielsen, S. 2003b. Age and Deposition of the Lower Navidad Formation in Central Chile. *3º Congreso Latinoamericano de Sedimentología* (Bélem-Pará, Brasil), pp. 160-161.
- Encinas, A., Maksae, V., Pinto, L., Le Roux, J., Munizaga, F. y Zentilli, M. (En prensa). Pliocene lahar sediments deposited in a marine delta system, Coastal Cordillera of Central Chile: their relation with avalanche deposits, uplift and porphyry copper systems in the Main Andean Cordillera. *Journal of South American Earth Science*.
- Frey, R.W. y Seilacher, A. 1980. Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia* 13: 183-207.
- Frey, R.W. y Pemberton, S.G. 1984. Trace fossils Facies Models. En: R.G. Walker (ed.), *Facies Models*. Geoscience Canada Reprints Series. pp. 189-207.
- Gana, P., Wall, R. y Gutiérrez, A. 1996. *Mapa geológico del área de Valparaíso-Curacaví. Región de Valparaíso y Metropolitana*. Mapa n° 1, escala 1: 100.000. Sernageomin. Santiago, Chile, 20 pp.
- Gibert, J.M. de y Robles, J.M. 2005. Firmground ichnofacies recording high-frequency marine flooding events (Langhian transgression, Vallès-Penedès Basin, Spain). *Geologica Acta* 3: 295-305.
- Gingras, M.K., Pemberton, S.G. y Saunders, T. 2001. Bathymetry, sediment texture, and substrate cohesiveness; their impact on modern *Glossifungites* trace assemblages at Willapa Bay, Washington. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 169: 1-21.
- Herm, D. 1969. Marines Pliozän und Pleistozän in Nord- und Mittel-Chile unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung der Mollusken-Faunen. *Zitteliana* 2: 1-159.
- Lavenue, A. y Encinas, A. 2005. Deformación frágil de los depósitos neógenos de la Cuenca de Navidad (34° S-Chile central). *Revista Geológica de Chile* 32: 229-248.
- MacEachern, J.A. y Burton, J.A. 2000. Firmground *Zoophycos* in the Lower Cretaceous Viking Formation, Alberta: a distal expression of the *Glossifungites* ichnofacies. *Palaos* 15: 387-389.
- MacEachern, J.A., Raychaudhuri, I. y Pemberton, S.G. 1992. Stratigraphic applications of the *Glossifungites* ichnofacies; delineating discontinuities in the rock record. En: S.G. Pemberton (ed.), *Applications of ichnology to petroleum exploration; a core workshop*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshop, 16: pp. 169-198.
- Martínez-Pardo, R. y Valenzuela, M. 1979. Discoasteridos de la Formación Navidad (emend. Etchard, 1973), en Punta Perro, Prov. de San Antonio, Chile. *2º Congreso Geológico Chileno* (Arica), Actas: H77-H100.
- Miluláš, R., Nemeckova, M. y Adamovic, J. 2002. Bioerosion and bioturbation of a weathered metavolcanic rock (Cretaceous, Czech Republic). *Acta Geologica Hispanica* 37: 21-27.
- Pemberton, S.G. y Frey, R.W. 1985. The *Glossifungites* ichnofacies: modern examples from the Georgia Coast, USA. En: H.A. Curran (ed.), *Biogenic structures: their use in interpreting depositional environments*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication 35: 237-259.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. y Frey, R.W. 1992. Trace fossils facies models: environmental and allostratigraphic significance. En: R.G. Walker y N.P. James (eds.), *Facies models and sea level changes*. Geological Society of Canada, pp 47-72.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. y Saunders, T. 2004. Stratigraphic applications of substrate-specific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. En: D. McIlroy (ed.), *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*. Geological Society, London, Special Publication 228: 157-178.
- Pemberton, S.G., Spila, M., Pulham, A.J., Saunders, T., MacEachern, J.A., Robbins, D. y Sinclair, I.K. 2001. *Ichnology and Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems. Ben Nevis and Avalon Reservoirs, Jeanne d'Arc Basin*. Geological Association of Canada, Short Course Notes 15: 343 pp.
- Seilacher, A. 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology* 5: 413-428.
- Tavera, J. 1979. Estratigrafía y paleontología de la Formación Navidad, provincia de Colchagua, Chile (Lat. 30°50'-34°S). *Boletín Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 36: 5-176.
- Uchman, A., Bubniak, I., y Bubniak, A. 2000. The *Glossifungites* ichnofacies in the area of its nomenclatural archetype, Aviv, Ukraine. *Ichnos* 7: 183-189.
- Wall, R., Gana, P. y Gutiérrez, A. 1996. *Mapa geológico del área de San Antonio-Melipilla*. Sernageomin. Santiago, Chile, 19 pp.

Recibido: 5 de octubre de 2004.

Aceptado: 25 de enero de 2005.

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas su
colaboración para la publicación del presente volumen