

EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA FORMACIÓN RÍO MAYER, CRETÁCICO INFERIOR, CUENCA AUSTRAL, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA

Sebastián RICHIANO, Augusto N. VARELA, Abril CERECEDA y Daniel G. POIRÉ

Cátedras de Sedimentología y Rocas sedimentarias, Universidad Nacional de La Plata.
Calle 60 y 122 s/n, La Plata, Argentina.
Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata-CONICET.
Calle 1 N° 644, La Plata, Argentina. richiano@cig.museo.unlp.edu.ar

Resumen: La Formación Río Mayer es parte del relleno inicial de la Cuenca Austral, la cual se ubica en el sector más austral de la Patagonia. El área de estudio se encuentra entre los lagos San Martín y Argentino (Provincia de Santa Cruz), donde se relevaron diez perfiles sedimentológicos de detalle en los que se describieron 18 facies sedimentarias. Estas facies responden a diferentes procesos sedimentarios, principalmente autigénicos, hemipelágicos y episódicos. A partir de la distribución de las facies y del origen del material fósil se reconocieron tres asociaciones de facies que representan paleoambientes sedimentarios: marino de plataforma externa, marino de plataforma externa con influencia deltaica y prodelta. El análisis de la distribución espacial y temporal de las facies condujo a la elaboración de un esquema de evolución paleoambiental para el Cretácico Inferior de la Cuenca Austral en la zona estudiada. La depositación de la Formación Río Mayer, por encima de la Formación Springhill, en el área de la Seccional Río Guanaco, comenzó durante el Berriasiano. En el Valanginiano la transgresión generó los depósitos incluidos en la Formación Springhill en la región de Lago San Martín, mientras que en el intervalo Hauteriviano-Barremiano toda el área de estudio presentaba características de plataforma externa distal. Durante el lapso temporal Aptiano-Albiano, se produjo la instalación de un sistema deltaico (Formación Piedra Clavada / Kachaike) en el norte del área de estudio entre los lagos San Martín y Viedma. Para este intervalo temporal la Formación Río Mayer en las regiones de Lago San Martín y Estancia La Vega, representa un ambiente de prodelta. Paralelamente, en la región sur del área de estudio se produjo la sedimentación de los niveles incluidos en un ambiente de plataforma externa influenciada por flujos turbidíticos distales de frente deltaico. Finalmente durante el Albiano superior-Cenomaniano inferior se desarrolló una transgresión marina, que marca el comienzo de la etapa de antepaís de la Cuenca Austral. En la región de los lagos San Martín y Viedma, la transgresión está evidenciada por los depósitos litorales de la Formación Mata Amarilla, mientras que en la región de Río Guanaco es representada por los depósitos de la Formación Cerro Toro.

Palabras clave: pelitas negras, análisis de facies, plataforma externa, trazas fósiles, Patagonia.

EXTENDED ABSTRACT

The marine deposits of the Río Mayer Formation are part of the initial filling of the Austral Basin, which is developed in the southernmost part of South America, including the south of Chile and Argentina (southwestern Patagonia, Santa Cruz and Tierra del Fuego Provinces, Figs. 1, 2). The study area is located between the San Martín and Argentino lakes in the Santa Cruz Province (Fig. 3).

The Río Mayer Formation (Fig. 2) was studied in three main localities, where detailed sedimentary logging was undertaken (Figs. 4, 5), taking into account the lithology, the primary sedimentary structures, the palaeontological content, rock bodies geometry, their orientation and the hierarchy as well as the contacts with underlying and overlying units.

Eighteen sedimentary facies were defined (Figs. 6, 7; Table 1), which were grouped into three facies association representing different sedimentary palaeoenvironments, like marine outer platform (AF 1), marine outer platform influenced by a deltaic system (AF 2) and prodelta (AF 3) (Fig. 8, Tables 1, 2). The facies of the outer platform palaeoenvironment corresponds to the rocks traditionally assigned to the Río Mayer Formation, according to the available bibliography, and deposited by hemipelagic and authigenic processes interrupted by episodic sedimentation. The deposits of the outer platform influenced by a deltaic system palaeoenvironment are similar to the above mentioned but presents continental fossils that indicate a deltaic source. Finally, AF 3 of a prodelta palaeoenvironment is dominated by sandy/heterolithic levels associated with turbidity currents and hyperpycnal flows originated in a delta front.

The best and most complete exposures of the unit were observed in the Río Guanaco locality, where palaeoenvironmental interpretations were performed, allowing the division of the 350 m-thick unit in three sections (Fig. 9). The lower section is composed mainly by black shales with both tabular and concretionary marls levels (AF 1). Trace fossils are not recorded in this section, but ammonites, belemnites and bivalves are frequent. It has been interpreted as accumulated in a distal platform, under anoxic conditions. The middle section is characterized by bioturbated black marls and shales, with well-preserved *Zoophycos* ichnofacies (Richiano *et al.*, in press), occurring in a distal platform depositional

environment. Body fossils are frequent, especially belemnites. The upper section is composed of massive black mudstones with intercalations of very fine- to fine-grained sandstones and less frequent conglomerates. In this section both debris flows and distal low-density turbidity current deposits were identified. *Zoophycos* ichnofacies and *Ophiomorpha rudis* ichnosubfacies were recognized in association with molds of petrified wood containing *Teredolites* isp. (Richiano *et al.*, in press). The presence of turbulent currents and large trace fossils suggest a more oxygenated conditions.

At Lago San Martín and Estancia La Vega localities the most significant characteristic is the presence of prodeltaic deposits in the transition between Río Mayer Formation and Piedra Clavada formations (Fig. 9).

To sum up, after the Upper Jurassic rifting stage of the Austral Basin, the Springhill Formation represents the initial infill of the extensional structures. After that, during the Berrasian (Fig. 10a), the levels of the lower section of the Río Mayer Formation started to accumulate in the Río Guanaco area. During the Valanginian (Fig. 10b), an acceleration in the transgression generated the accumulation of the Springhill Formation in the Lago San Martín area while in the Río Guanaco region the middle section of the Río Mayer Formation developed. Between the Hauterivian and the Barremian all the study area was under distal platform conditions (Fig. 10c). A major change in the sedimentary systems of the Austral Basin during the Lower Cretaceous is the development of the deltaic Piedra Clavada Formation (Fig. 10d). This event generated two different palaeoenvironments in the Río Mayer Formation. Prodeltaic deposits are present to the north, while sediments of distal platform conditions with highly frequent sandy levels prevail southwards. Finally a new transgression indicates the beginning of the Cerro Toro and Mata Amarilla formations in the middle Albian- lower Cenomanian (Fig. 10e).

Keywords: black shales, facies analysis, outer shelf, trace fossils, Patagonia.

INTRODUCCIÓN

Las rocas pelíticas representan el grupo más abundante y distribuido dentro de las rocas sedimentarias (Scasso y Limarino, 1997; Potter *et al.*, 2005).

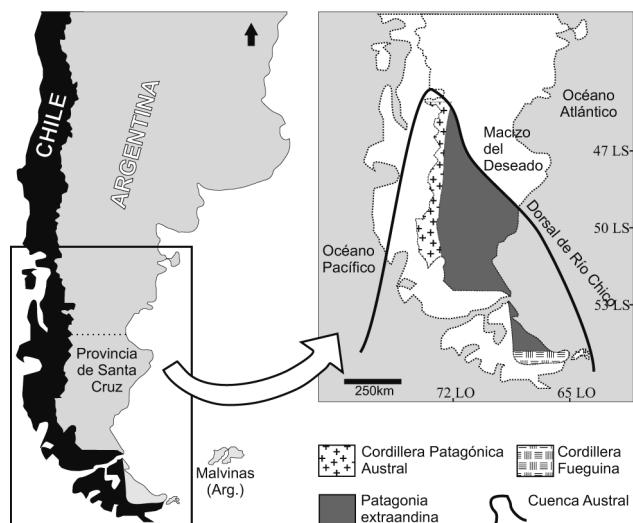


Figura 1. Ubicación geográfica de la Cuenca Austral y provincias geológicas en las que ésta se desarrolla.

Figure 1. Geographic location and geological provinces in which the Austral Basin is developed.

Estas rocas aportan valiosa información acerca de las condiciones del medio en el cuál fueron depositadas (oxigenación y pH, entre otros) y ayudan a identificar movimientos relativos del nivel del mar, característica que, acompañada por el contenido de faunas, posibilitan correlaciones tanto locales como regionales. Pero la importancia de las pelitas no sólo radica en el aspecto netamente científico, ya que estas son un muy importante componente dentro de los sistemas petroleros, participando de los mismos como roca madre y roca sello de trampas; y más recientemente también como roca reservorio de yacimientos no convencionales. Por tales razones el estudio de las rocas pelíticas es fundamental para el entendimiento del desarrollo histórico temporal de una cuenca sedimentaria (Potter *et al.*, 2005).

De manera similar a sucesiones de grano fino registradas en otras cuencas sedimentarias, la Cuenca Austral carece de estudios sedimentológicos de detalle de los depósitos de pelitas negras, particularmente a las incluidas en la Formación Río Mayer. Esta unidad se depositó durante el Cretácico Inferior y se compone mayoritariamente por pelitas oscuras que contienen una diversa fauna de invertebrados y vertebrados (en menor proporción) marinos, restos de plantas y trazas fósiles (Riccardi, 1971; Aguirre Urreta 1987; Arbe, 2002; Richiano *et al.*, en prensa).

Desde el punto de vista aplicado, la Formación Río Mayer provee importantes volúmenes de hidrocarburos a las rocas reservorio de la Cuenca

Austral tanto *onshore* como *offshore* (Rodríguez y Miller, 2005).

La finalidad del presente trabajo es caracterizar, desde el punto de vista sedimentológico y paleoambiental, a la Formación Río Mayer en la región comprendida entre el lago San Martín y la Seccional Río Guanaco dentro del Parque Nacional Los Glaciares en la provincia de Santa Cruz, Argentina. Este trabajo es un aporte al entendimiento de la génesis y evolución de los depósitos pelíticos depositados durante el Cretácico Inferior, en las etapas iniciales del relleno de la Cuenca Austral. A su vez, se provee información para su posible correlación con los depósitos descritos en el subsuelo de la cuenca (Rodríguez y Miller, 2005; Rodríguez y Cagnolati, 2008) y hacia el sur en la República de Chile (Katz, 1963; Fildani y Hessler, 2005).

MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca Austral - Generalidades

Los afloramientos de la Cuenca Austral están presentes en las provincias geológicas de la Cordillera Patagónica Austral, la Patagonia Austral Extraandina y la Cordillera Fueguina (Russo y Flores, 1972; Caminos, 1980; Riccardi y Rolleri, 1980; Russo *et al.*, 1980). La cuenca de subsuelo posee una superficie aproximada de 230.000 km² y está limitada por la Cordillera Patagónica al oeste y por el Macizo del Deseado - Dorsal de Río Chico al noreste y este (Rodríguez y Miller, 2005) (Fig. 1). La evolución tectónica de la cuenca es dividida en 3 etapas (Biddle *et al.*, 1986; Kraemer *et al.*, 2002; Rodríguez y Miller, 2005).

Etapas de Rift. Se desarrolla durante el Jurásico Superior como producto de la extensión generada por el impacto de una pluma mantélica sobre la litósfera patagónica (Pankhurst *et al.*, 2000). Los depósitos de esta etapa corresponden a las rocas volcánicas y volcanoclásticas del Complejo El Quemado. Dicho complejo presenta edades de 187 a 144 Ma (Féraud *et al.*, 1999). En la continuidad de la cuenca hacia el sur, en la República de Chile, durante esta etapa se generó la cuenca marginal de Rocas Verdes (Dalziel *et al.*, 1974), que se asocia a la apertura del Mar de Wedell.

Etapas de Sag. la etapa de subsidencia térmica se desarrolló durante el Cretácico Inferior y en ella se

registra la mayor transgresión marina en la cuenca. Los depósitos son muy variados, desde continentales a marinos profundos (Arbe, 1986; 2002). En esta etapa se produce la depositación de las formaciones Springhill, Río Mayer y Piedra Clavada (Kachaike).

Etapa de Antepaís. Se desarrolla en el Cretácico Superior, relacionándose con el cierre de la cuenca marginal y el levantamiento de la Cordillera de Los Andes (Arbe, 1986; 2002; Rodríguez y Miller, 2005). En los inicios de esta etapa se depositan de norte a sur las formaciones Mata Amarilla (Varela *et al.*, 2012) y Cerro Toro (Richiano, 2012).

La Formación Río Mayer

La Formación Río Mayer apoya en paraconcordancia sobre El Complejo El Quemado y en concordancia o paraconcordancia sobre la Formación Springhill (Kraemer y Riccardi, 1997) (Fig. 2). Con respecto al límite superior cabe aclarar que en el área de estudio esta unidad se encuentra cubierta por cuatro formaciones, y con todas ellas, el paso desde la Formación Río Mayer es transicional. De norte a sur estas formaciones son: Kachaike, Piedra Clavada, Lago Viedma y Cerro Toro (Riccardi, 1968, 1971; Riccardi y Rolleri, 1980; Arbe y Hechem, 1984; Kraemer y Riccardi, 1997; Marinelli, 1998; Canessa *et al.*, 2006). Información complementaria sobre la estratigrafía de la región estudiada y su comparación con los depósitos equivalentes de subsuelo y de la República de Chile se detalla en la figura 2.

La caracterización más frecuente de la Formación Río Mayer en la bibliografía es la de “pelitas negras laminadas con abundante fauna de invertebrados” (Hatcher, 1897; Arbe, 1986, 2002; Kraemer y Riccardi, 1997; entre otros). La mayor parte de los trabajos realizados en esta unidad son de neto carácter paleontológico, en especial con respecto a los moluscos y casi sin hacer mención al resto del material fósil contenido (Leanza, 1970; Riccardi, 1971; Aguirre Urreta, 2002). Algunos autores citan como frecuente la presencia de niveles de margas, en general de poco espesor (hasta 1 m máximo), y en menor proporción areniscas finas en estratos poco potentes (Riccardi, 1971; Arbe, 1986; Canessa *et al.*, 2005; entre otros). A su vez, en la localidad de Lago San Martín la Formación Río Mayer se encuentra en ocasiones atravesada por diques y filones capa de edad Eoceno correspondientes a la Essexita Río

Carbón (Riccardi, 1971).

Arbe (1986) divide los depósitos cretácicos de la Cuenca Austral en tres ciclos transgresivo-regresivos de segundo orden, los cuales denomina Ciclo Río Mayer, Ciclo Lago San Martín y Ciclo Lago Viedma. La Formación Río Mayer representa, dentro del Ciclo Río Mayer, parte del subciclo transgresivo Springhill (ST1) y la parte más austral del subciclo regresivo Río Tarde (SR1). Dentro del Ciclo Lago San Martín la unidad forma parte del subciclo transgresivo Arroyo Potrancas (ST2). La acumulación de las rocas de las formaciones Springhill y Río Mayer fue coetánea durante gran parte del Cretácico Inferior constituyendo unidades de límites diacrónicos (Arbe, 1986, 2002).

METODOLOGÍA

Durante los trabajos de campo se seleccionaron tres lugares de estudio principales, que *prima facie* eran aquéllos que poseían mejores y más completos afloramientos con escasa deformación tectónica sobreimpuesta (Fig. 3a). Las tres localidades en que se concentraron los trabajos son: Alrededores de Bahía de La Lancha - Lago San Martín (Fig. 3a-c), Estancia La Vega (Fig. 3a) y Seccional Río Guanaco - en el ámbito del Parque Nacional Los Glaciares (Fig. 3a, d).

En todas las áreas seleccionadas se realizaron tareas de mapeo y confección de perfiles sedimentológicos de detalle a escala 1:100 (Figs. 4, 5). En cada sección se tomaron datos de paleocorrientes y muestras de todos los tipos litológicos presentes para realizar diversos análisis (petrografía, difracción de rayos X, geoquímica, etc.). Asimismo, se documentó por medio de fotografía digital todas las estructuras sedimentarias, y en particular las orgánicas para su posterior identificación taxonómica en gabinete.

A partir de las características observadas en afloramiento en cada cuerpo de roca (principalmente litología y estructura primaria, y en menor medida otras características como color, espesor y grado de bioturbación) se definieron 18 litofacies sedimentarias, las cuales fueron descritas e interpretadas (Tabla 1). Siguiendo los modelos clásicos de facies sedimentarias (*cf.* Miall, 1996), se procedió a la confección de un código de facies para las rocas de la Formación Río Mayer, el cual se compone de una letra mayúscula correspondiente a la litología y una letra minúscula que indica la característica saliente de la

		LAGO SAN MARTIN	LAGO VIEDMA	RÍO GUANACO	LAGO ARGENTINO	CHILE	SUBSUELO					
Cretácico	Superior	65,5±0,3 Maastrichtiano					Magallanes (inferior)					
		70,6±0,6 Campaniano						Formación Tres pasos				
		83,5±0,7 Santoniano					Formación Alta Vista	Formación Alta Vista Conglom. Lago Sofía	Formación Cerro Toro	Palermo Aike (superior)		
	85,8±0,7 Coniaciano	?				Formación Cerro Toro	Formación Cerro Toro	Formación Punta Barrosa				
	89,3±1,0 Turoniano	Formación Mata Amarilla							Formación Puesto el Alamo			
	93,5±0,8 Cenomaniano	Formación Mata Amarilla							Formación Lago Viedma			
	99,6±0,9 Albiano	Formación Piedra Clavada (= Kachaike)							Palermo Aike (medio)			
	112,0±1,0 Aptiano											
	Inferior	125,0±1,0 Barremiano				Formación Río Mayer	Formación Río Mayer	Formación Río Mayer	Formación Río Mayer	Formación Zapata	Palermo Aike (inferior)	
		130,0±1,5 Hauteriviense										
		136,4±2,0 Valanginiense										
		140,2±3,0 Berriasiense				Formación Springhill						Formación Springhill
		145,5±4,0					Formación Springhill					Formación Springhill
							Formación Springhill		Formación Tobífera	Formación Tobífera		

Figura 2. Esquema estratigráfico del Cretácico Inferior de la Cuenca Austral en el área de estudio y su comparación con los depósitos de subsuelo y Chile. Modificado de Richiano (2012).

Figure 2. Stratigraphic scheme of the Lower Cretaceous of the Austral Basin in the study area, and the comparison with the subsurface deposits and the units described in Chile. Modified from Richiano (2012).

roca (en general estructura sedimentaria primaria). Posteriormente se realizó un análisis paleoambiental en el cual se consideró las asociaciones de facies sedimentarias (distribución y procesos que las originaron) además del contenido fósil (marino y/o continental).

ANÁLISIS DE FACIES SEDIMENTARIAS

Facies de Pelitas laminadas (F1)

Son fangolitas y arcilitas laminadas, en general de colores que varían desde negro a gris oscuro (Fig. 6a). La laminación es de escala variable, desde muy fina a media (1 a 3 mm, Potter *et al.*, 2005). No presentan reacción al ácido clorhídrico. Presentan pirita diseminada en forma de “chips”, tanto en muestra de mano como en secciones delgadas no se encontraron formas de este mineral bien cristalizadas. El espesor de esta facies es uno de los más variables en la unidad estudiada, se encuentra en los perfiles entre algunos decímetros hasta decenas de metros (Figs. 4, 5).

El contenido fósil es variable, en general portan belemnites, moldes de amonites y en menor proporción bivalvos, sin evidencias de trazas fósiles.

Esta facies es dominante en los perfiles 5 (IG: 95%) y 7 (ECP: 52%) de la Seccional Río Guanaco (Figs. 3d, 5) y el perfil 2 (PEF: 71%) del Lago San Martín (Figs. 3b-c, 4). Se encuentra en menor proporción en

el resto de los perfiles.

Interpretación. Se interpreta como depósitos de decantación subácua de material silicoclástico en ausencia de bioturbación, lo que permite inferir bajas condiciones de oxigenación.

Facies de Pelitas masivas (Fm)

En general son fangolitas negras a verde oliva oscuro, que afloran en bancos de poco espesor, entre 0,20 y 0,40 m, con pirita diseminada (Fig. 6b).

El contenido fósil es variable, poseen belemnites, impresiones de amonites y en menor proporción bivalvos, como así también impresiones y restos de madera petrificada. En ocasiones presentan trazas fósiles, generalmente no son del todo claras dada la mala preservación de estas estructuras en los niveles pelíticos, aunque en niveles superiores del perfil 11 (CP; Fig. 3d), se reconoció *Ophiomorpha rudis* en asociación con restos vegetales que presentan *Teredolites* isp.

Esta facies es dominante en los perfiles 8 (WVP: 68%); 9 (EVP2: 97,5%); 10 (EVP1: 97,45%) y 11 (CE: 98%) en la Seccional Río Guanaco (Figs. 3d, 5). Se encuentra en el resto de los perfiles en forma subordinada, con porcentajes menores al 30%.

Interpretación. Se interpreta como depósitos de

decantación subácua de material silicoclástico. La estructura masiva puede deberse a floculación de partículas y/o bioturbación. El escaso desarrollo de icnofósiles sugiere bajos niveles de oxigenación en esta facies. Los restos de madera indican un aporte desde zonas continentales.

Facies de Pelitas con nódulos (Fn)

Esta facies se compone tanto de pelitas masivas como laminadas, en general negras aunque también pueden ser verdes oliva oscuras. La característica principal es la presencia de nódulos margosos de forma ovalada y tamaño variable, entre 1 y 50 cm de longitud en su eje mayor (Fig. 6c) que se encuentran siempre paralelos a la estratificación.

El material fósil es similar a las otras facies pelíticas e incluye belemnites, amonites y bivalvos, además de trazas fósiles que son eventuales.

Esta facies es importante en el perfil 2 (PEF: 19%) de Lago San Martín (Figs. 3b, c, 4), tiene poca presencia en el perfil 5 (IG) de Seccional Río Guanaco (Figs. 3d, 5), y está ausente en los perfiles restantes.

Interpretación. Se interpreta como depósitos generados por decantación subácua de material silicoclástico fangoso. No se han realizado estudios diagenéticos que permitan inferir si la formación de nódulos es sin o postdeposicional. Por tal razón se la ha considerado como una facies separada de las pelitas masivas y laminadas.

Facies de Margas masivas (Mm)

Margas de color negro a gris oscuro que suelen, por meteorización, tomar un tono castaño exteriormente. Aparecen en bancos masivos de entre 0,15 y 0,50 m (Fig. 6d).

En esta facies sólo se encontraron belemnites y no se registraron trazas fósiles. Está presente con poca participación (menos de 2%) en los perfiles 5 (IG) y 6 (PG) en la Seccional Río Guanaco (Figs. 3d, 5), y en los perfiles 2 (PEF: 3,2%) y 4 (PELV: 0,7%) de la región comprendida entre los lagos Viedma y San Martín (Figs. 3a-c, 4).

Interpretación. Se interpreta como depósitos de sedimentación mixta generada por encima la línea de compensación de los carbonatos. De esta manera el porcentaje de CaCO₃ en las margas depende de

la relación entre la productividad carbonática y el aporte clástico desde el continente.

Facies de Margas bioturbadas (Mb)

Margas de color negro a gris oscuro que suelen, por meteorización, tomar un tono castaño exteriormente. Aparecen como bancos tabulares de espesores entre 0,40 y 0,80 m (Fig. 6e).

En esta facies se encuentran amonites, belemnites y bivalvos como material fósil. A su vez están asociadas a un gran desarrollo de trazas fósiles muy abundantes en todos sus niveles. Los icnogéneros reconocidos son *Bergaueria*, *Chondrites* y *Zoophycos*, aunque en ocasiones el alto grado de bioturbación hace que sea imposible la identificación taxonómica de las trazas.

Es exclusiva de los perfiles 6 (PG: 43%) y 8 (WVP: 29%) en la Seccional Río Guanaco (Figs. 3d, 5), donde posee un espesor de 20 a 35 m.

Interpretación. De manera similar a la facies Mm, se interpreta como depósitos de sedimentación mixta generada por un aumento en la productividad carbonática y/o una disminución en el aporte clástico en la que se reconoce un importante retrabajo de los sedimentos por parte de los organismos. El nivel de oxígeno disuelto sería mayor que en las facies pelíticas (anóxicas) ya que hay presencia de trazas fósiles abundantes, pero representadas en una icnofacies de *Zoophycos* que evidencia deficiencias en la oxigenación.

Facies Heterolítica lenticular (Htl)

Esta facies se compone de depósitos heterolíticos ricos en pelitas masivas de tonalidades oscuras (negro a gris) con muy subordinados niveles de areniscas finas en forma de pequeñas lentes milimétricas (Fig. 6f). Los espesores oscilan entre 0,3 y 5 m. En cuanto al contenido fósil sólo se recuperaron briznas vegetales de esta facies. Se encuentra en el perfil 3 (PEKA) con un 15% y está ausente en el resto de las regiones (Figs. 3c, 4).

Interpretación. Se interpreta como depósitos dominados por decantación con breves períodos de eventos tractivos en ambiente subácua. Las briznas vegetales indican un aporte desde zonas continentales.

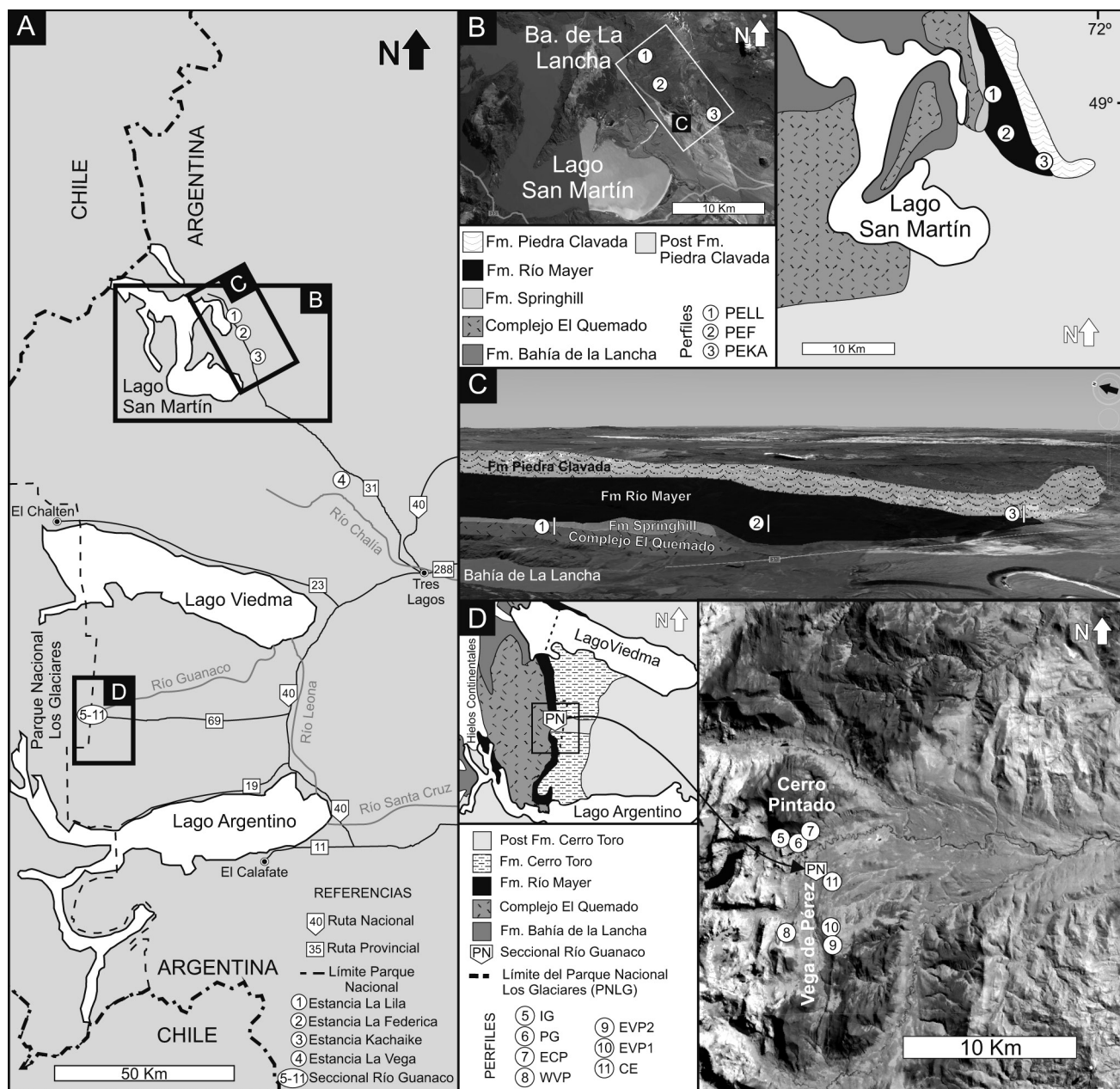


Figura 3. a) Mapa de la zona de estudio con la ubicación de las localidades analizadas. b) Imagen satelital y mapa geológico de la región de Lago San Martín. c) Vista panorámica de los afloramientos del Lago San Martín y la ubicación de los perfiles sedimentológicos 1, 2 y 3. Sin escala vertical. d) Mapa geológico e imagen satelital de la región de la Seccional Río Guanaco con la ubicación de los perfiles sedimentológicos 5 a 11.

Figure 3. a) Map of the study area with the location of the analyzed localities. b) Satellite image and geological map of the Lago San Martín area. c) Panoramic view of the Lago San Martín outcrops and the location of the sedimentological logs 1, 2 y 3. Not vertical scale is implied. d) Geological map and satellite image of the Seccional Río Guanaco area; sedimentological logs 5 to 11.

Facies Heterolítica ondulosa (Htw)

Intercalaciones de pelitas de tonalidades oscuras y areniscas finas blanquecinas, en aproximadamente la misma proporción. Las pelitas son masivas mientras que las areniscas suelen presentar laminación ondulítica (Fig. 6g). Al igual

que en la anterior facies sólo se recuperaron briznas vegetales. Esta facies está presente en el perfil 3 del Lago San Martín (PEKA: 6,83%) con espesores siempre menores a un metro, y ausente en el resto de los perfiles (Figs. 3c, 4).

Interpretación. Depósitos de intercalaciones de pelita

y arenisca en igual proporción que se interpretan como producto de la alternancia de eventos de decantación y tracción en ambiente subácueo. Las briznas vegetales indican un aporte desde zonas continentales.

Facies Heterolítica flaser (Htf)

En esta facies mixta predominan las areniscas finas blanquecinas por sobre las pelitas oscuras (Fig. 6h). Presenta laminación entrecruzada en la cual con frecuencia intercala una lámina de arenisca y una de pelita. Sólo se recuperaron briznas vegetales de esta facies. Se encuentra presente en el perfil 3 del Lago San Martín (PEKA: 5,79%) con espesores entre 0,3 y 0,5 m, y ausente en el resto de los perfiles (Figs. 3c, 4).

Interpretación. Depósitos dominados por arenisca que se interpretan como producto de eventos tractivos con breves pausas de decantación de material pelítico en ambiente subácueo. Las briznas vegetales indican un aporte desde zonas continentales.

Facies de Areniscas masivas (Sm)

Arenisca de tamaño de grano fino a grueso con moderada selección, en general con matriz pelítica en proporciones variables y estructura masiva. Se encuentra formando estratos tabulares de 0,05 a 0,8 m con coloraciones variables, las más frecuentes son las blanquecinas y grises. A escala mesoscópica el componente que domina es el cuarzo con cantidades menores de feldspatos y micas (Fig. 6i). Los análisis de secciones delgadas corroboran las observaciones mesoscópicas desde el punto de vista composicional, mientras que se estiman porcentajes de matriz entre 10 y 60%.

El contenido fósil se compone de bivalvos, gasterópodos, briznas vegetales y madera petrificada en los perfiles 3 (PEKA) y 4 (PELV) de la región del Lago San Martín (Figs. 3a, b, 4). También belemnites y bivalvos en el perfil 1 (PELL) de la misma región (Figs. 3a, b, 4). Asociadas a esta facies suelen registrarse trazas fósiles, en general tubos y túneles con relleno pasivo, en porcentajes muy bajos, no constituyendo una característica diagnóstica. Sin embargo, en el perfil 4 (PELV) se reconoció *Gyrolithes* isp.

Esta facies se encuentra en todos los perfiles del área de estudio a excepción del perfil 5 (IG) de la

Seccional Río Guanaco (Fig. 3d). La abundancia va desde 23% en el perfil 4 (PELV) con espesores máximos de 0,8 m (en ocasiones se amalgaman varios niveles y generan espesores mayores hasta menos de 1% en los perfiles 6 (PG) y 7 (ECP) con espesores menores a 0,2 m.

Interpretación. Estas areniscas masivas se interpretan como producto de una rápida depositación que no permite el desarrollo de estructuras sedimentarias primarias o pérdida de la misma por bioturbación. En la región de la Seccional Río Guanaco, donde los niveles poseen entre 0,03 y 0,2 m, serían originados por flujos turbulentos. Por otro lado, en la región norte del área de estudio estos niveles poseen mayor espesor y se relacionarían con flujos hiperconcentrados. Las briznas vegetales y los restos de madera petrificada indican un aporte desde zonas continentales.

Facies de Areniscas con laminación horizontal (Sh)

Areniscas finas a medianas en estratos tabulares, con base plana, que van desde 0,1 a 0,3 m, con laminación horizontal gruesa (1 a 3 cm, Potter *et al.*, 2005), la cual en ocasiones es difusa. Los colores son variados e incluyen tonos de grises, verdes, marrones y blanquecinos (Fig. 7a).

Asociados a esta facies se encontraron restos de amonites, belemnites, bivalvos y briznas vegetales. No se registraron trazas fósiles. Se presenta en los perfiles 3 (PEKA: 3,3%) y 4 (PELV: 2,28%) de la región del Lago San Martín (Figs. 3a, b, 4) los perfiles 6 (PG: 1,74%) y muy subordinada (menos del 1%) en el perfil 10 (EVP1) de la Seccional Río Guanaco (Figs. 3d, 5).

Interpretación. Esta facies se interpreta como depósito de lecho plano de alto régimen de flujo producto de flujos diluidos y turbulentos (Collinson y Thompson, 1989; Collinson *et al.*, 2006).

Facies de Areniscas con estratificación entrecruzada planar (Sp)

Areniscas medianas bien seleccionadas, de composición predominantemente cuarzosa y estratificación entrecruzada planar de ángulos de entre 15 y 25 grados (Fig. 7b). Se presenta en estratos

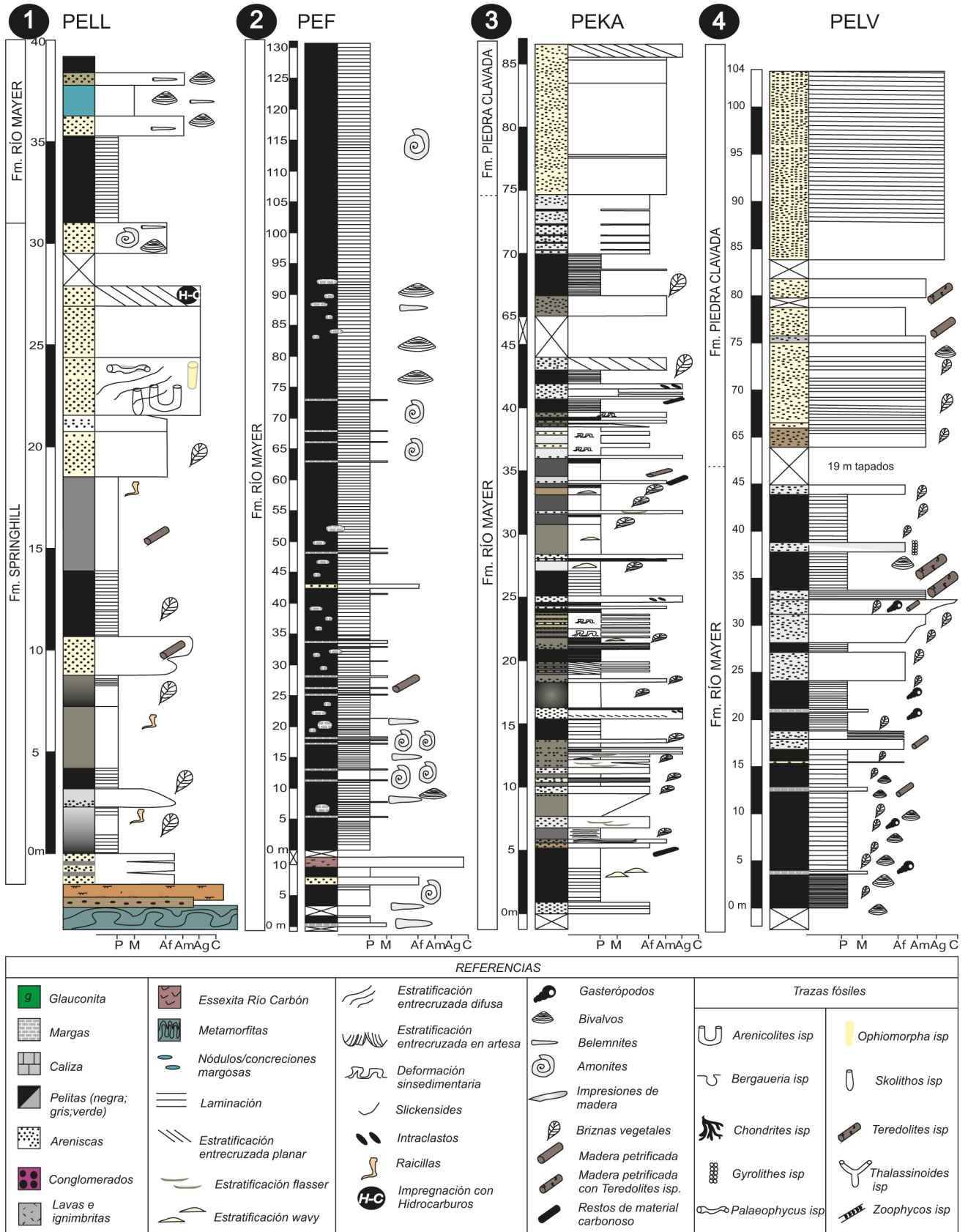


Figura 4. Perfiles sedimentológicos de detalle de las áreas de Lago San Martín y Estancia La Vega. P: pelitas; M: margas; Af: arenisca fina; Am: arenisca mediana; Ag: arenisca gruesa; C: caliza.

Figure 4. Detailed sedimentological logs of the Lago San Martín and Estancia La Vega areas. P: mudstones; M: marls; Af: fine-grained sandstones; Am: medium-grained sandstones; Ag: coarse-grained sandstones; C: limestone.

de 0,5 a 1 m de espesor con base erosiva. La poca continuidad lateral de los afloramientos hace imposible establecer con seguridad su geometría.

No se encontró material fósil asociado a esta facies. Está presente en baja proporción (4%) en el perfil 3 (PEKA) del Lago San Martín (Figs. 3 a-c, 4) y en el perfil 6 (PG: 1,5%) de la Seccional Río Guanaco (Figs. 4d, 5). Ambos niveles indican direcciones de paleocorrientes aproximadamente hacia el sur.

Interpretación. Se interpreta como producto de la migración de dunas 2D en un ambiente subácueo en condiciones de un flujo diluido de régimen subcrítico.

Facies de Areniscas con estratificación entrecruzada en artesa (St)

Areniscas con tamaño de grano desde finas hasta gruesas con selección de moderada a buena, colores blanquecinos o grises y estratificación entrecruzada en artesa de pequeña escala. Dicha estructura suele a veces presentar cosets amalgamados lo que torna difusa la estratificación (Fig. 7c). Presenta un espesor de 0,5 m. A igual que el resto de las areniscas, a escala mesoscópica, predomina la composición cuarzosa.

En esta facies no se encontró material fósil y solo está presente en el perfil 3 (PEKA: 0,6%) del Lago San Martín (Figs. 3a-c, 4). Las mediciones de paleocorrientes indican direcciones hacia el sur.

Interpretación. Se interpreta como producto de la migración de dunas 3D en ambiente subácueo en condiciones de un flujo diluido de régimen subcrítico.

Facies de Areniscas con deformación sin-sedimentaria (Sd)

Areniscas finas a medianas de colores variables en donde dominan las grises y verdes, mal seleccionadas con abundante matriz pelítica (hasta 60% por microscopía) e intercalaciones milimétricas de pelitas. Se evidencia deformación sin-sedimentaria como estructura dominante, en areniscas masivas se observan calcos de carga y en areniscas laminadas hay presencia de laminación convoluta (Fig. 7d).

Sólo se registraron briznas vegetales acompañando a esta facies, la cual, además se encuentra poco representada (7,8%) y únicamente en el perfil 3 (PEKA) del Lago San Martín (Figs. 3a-c, 4).

Interpretación. Depósito psamítico afectado por deformación sin-sedimentaria producto de un súbito aumento de presión poral generado por alta saturación con agua y/o carga de los sedimentos.

Facies de Areniscas con intraclastos (Si)

Areniscas gruesas mal seleccionadas de colores grises, las cuales presentan una matriz pelítica que por estudios de microscopía se encuentra entre 15 y 35 %. Poseen intraclastos pelíticos de colores negros subangulosos a subredondeados de tamaños entre 1 y 5 cm (Fig. 7e). La base de los estratos es erosiva, presentando en ocasiones geometría canalizada. Los intraclastos pelíticos se disponen en la base de los estratos y disminuyen su abundancia hacia el techo del mismo, pasando finalmente a areniscas masivas.

No se registró material fósil acompañando a esta facies. Es una facies muy aislada (2%) y se encuentra sólo en el perfil 3 (PEKA) del Lago San Martín (Figs. 3a-c, 4).

Interpretación. Esta facies se interpreta como un depósito de alta energía producto de flujos hiperconcentrados, con erosión del sustrato y arranque de clastos pelíticos.

Facies de Areniscas sabulítica gradada (SG)

Arenisca mediana a gruesa de color verde-amarillento, mal seleccionada, que aflora en un estrato de 0,3 m de espesor con gradación inversa. Presenta abundantes clastos de tamaño sábulo subangulosos, los cuales están diseminados en el tercio superior del estrato. Estos clastos sabulíticos son de composición lítica de origen volcánico y aparecen con coloraciones verdes por alteración. En sección delgada se reconoció que estos clastos son de origen volcánico y están en parte serpentinizados (Fig.7f). La base del estrato es difusa y se apoya directamente sobre un nivel de areniscas medianas masivas de igual composición y características litológicas. Estos dos niveles se encuentran amalgamados junto a otros paquetes arenosos.

Se reconocieron restos de troncos petrificados, gasterópodos y briznas vegetales. Esta facies sólo se encuentra en baja proporción (2%) en el perfil 4 (PELV) de la región entre los lagos San Martín y Viedma (Figs. 3a, 4)

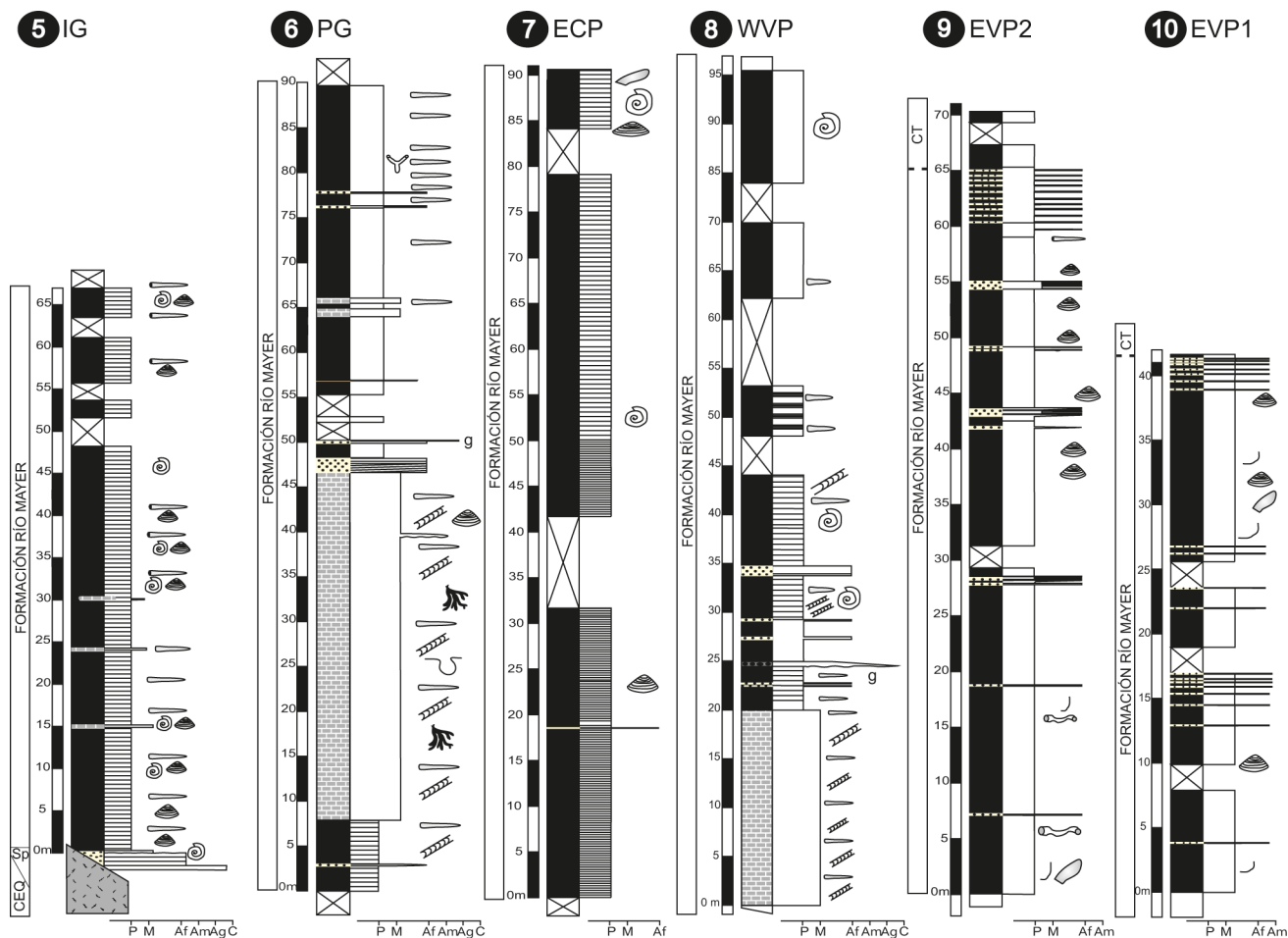


Figura 5. Perfiles sedimentológicos de detalle del área de la Seccional Río Guanaco. Referencias en figura 4. P: pelitas; M: margas; Af: arenisca fina; Am: arenisca mediana; Ag: arenisca gruesa; C: caliza; CEP: Complejo El Quemado; Sp: Formación Springhill; CT: Formación Cerro Toro.

Figure 5. Detailed sedimentological logs of Seccional Río Guanaco area. References following figure 4. P: mudstones; M: marls; Af: fine-grained sandstones; Am: medium-grained sandstones; Ag: coarse-grained sandstones; C: siltstone. CEP: El Quemado Complex; SP: Springhill Formation; CT: Cerro Toro Formation.

Interpretación. Estos depósitos se interpretan como productos de flujos densos de alta energía. Los depósitos con gradación inversa suelen interpretarse como carpetas de tracción (Lowe, 1982), donde el soporte de granos estaría dado por presión dispersiva (Bagnold, 1956). Las briznas vegetales y los restos de madera petrificada indican un aporte desde zonas continentales.

Facies de Arenisca glauconítica (Sgl)

Esta facies se presenta en dos regiones de manera diferente. Primero, en los perfiles 6 (PG) y 8 (WVP) de la Seccional Río Guanaco (Figs. 3d, 5), constituye niveles de entre 3 y 5 cm de espesor compuestos por granos redondeados a subredondeados de glauconita de color verde y tamaño entre 0,5 y 2 mm, con matriz de arenisca fina (Fig. 7g). Los granos de

glauconita al microscopio se encuentran totalmente evolucionados, sin que se observe un remanente del sustrato original, y totalmente cementados por calcita. Se encuentra en un nivel de geometría tabular y límites netos. Por otra parte, se encuentra en el perfil 1 (PELL) de la región del Lago San Martín (Fig. 3a-c), donde se presenta como un estrato arenoso masivo de 1 m de espesor en el cual los clastos de glauconita son de tamaños considerablemente menores (aproximadamente 0,2 a 0,5 mm) y se encuentran homogéneamente distribuidos. En sección delgada estos granos poseen diferentes formas, desde clastos enteramente glauconitizados hasta fragmentos de feldspatos con desarrollo parcial de glauconita.

Interpretación. Esta facies constituye un depósito con importante participación de material autigénico

Litología	Código	Color	Estructura	Espesor	Interpretación elemental
Pelitas	F1	Negro a gris oscuro	Laminación muy fina a media	láminas de 1 a 3 mm	Decantación subácua en condiciones de baja oxigenación
	Fm	Negro a verde oliva oscuro	Masiva	Entre 0,20 y 0,40 m	Floculación de partículas y/o bioturbación
	Fn	Negro a verde oliva oscuro	Masivas y/o laminadas, con nódulos margosos	nódulos entre 1 y 50 cm en su eje mayor	Depósitos de decantación subácua
Margas	Mm	Negro a gris oscuro	Masiva	Entre 0,15 y 0,50 m	Sedimentación mixta generada por un aumento en la productividad carbonática y/o una disminución en el aporte clástico
	Mb	Negro a gris oscuro	Masiva	Entre 0,40 y 0,80 m	Idem facies Mm, con importante retrabajo por parte de organismos
Heterolíticas	Htl	Negro a grisáceo	Estratificación mixta lentiforme	lentes milimétricas	Depósitos dominados por decantación, con breves períodos tractivos en ambiente subácua
	Htw	Gris oscuro y blanquecinas	Estratificación mixta ondulosa, laminación entrecruzada	variable	Alternancia de eventos de decantación y tracción en ambiente subácua
	Htf	Oscuras y blanquecinas	Estratificación mixta flaser, laminación entrecruzada	variable	Eventos tractivos con breves pausas pelíticas en ambiente subácua
Areniscas	Sm	Blanquecinas a grises	Masiva	Estratos de 0,05 a 0,8 m	Depósitos producidos por rápida acumulación o pérdida por bioturbación. Corrientes de turbidez o flujos hiperconcentrados
	Sh	Grises, verdes, marrones y blanquecinas	Laminación horizontal gruesa	Estratos de 0,1 a 0,3 m	Depósito de lecho plano de alto régimen de flujo
	Sp	Blanquecinas	Estratificación entrecruzada planar de 15 y 25°	Estratos de 0,4 a 0,6 m	Migración de dunas 2D en ambiente subácua
	St	Blanquecinas a grises	Estratificación entrecruzada en artesa difusa de pequeña escala	Estratos de 0,2 a 0,5 m	Migración de dunas 3D en ambiente subácua
	Sd	Grises y verde	Deformación sin-sedimentaria (calcos de carga y laminación convoluta)	Estratos de 0,2 a 0,4 m	Deformación por aumento de presión poral generado por alta saturación con agua y/o carga de los sedimentos.
	Si	Grises	Masivas	Estratos de 0,2 a 1 m	Flujos hiperconcentrados de alta energía
	SG	Verde-amarillento	Estructura grano creciente	Hasta 0,3 m	Flujos densos de alta energía. Carpetas de tracción
	Sgl	Verdes	Masivas	3 a 5 cm, y hasta 1 m	Bajo aporte clástico a la cuenca
Psefitas	Cmi	Castaño	Masivo con intraclastos	0,3 m de espesor	Flujos densos de alta energía (flujos de detritos)
Wackestone	Wm	Gris oscuro a negro	Masivos	0,5 a 1 m	Evento de máxima productividad carbonática

en la Seccional Río Guanaco, donde se la interpreta como producto de un muy bajo aporte clástico a la cuenca que posibilitó la formación de glauconita (Odin y Lamboy, 1988). En cambio, en la región del Lago San Martín constituye un depósito retrabajado siguiendo los criterios de Amorosi (1995; 1997).

Facies de Paraconglomerado masivo con intraclastos (Cmi)

Conglomerado masivo matriz-sostén con tamaño de grano entre grava fina y mediana, dispuesto en un banco de 0,3 m de espesor (Fig.7h). Los clastos son de dos tipos, intraclastos pelíticos de color negro con formas subredondeadas y clastos de arenisca cuarzosa glauconítica de color verde y formas angulosas a subangulosas. Estos últimos provienen de la facies anteriormente descrita ya que el nivel de paraconglomerado se apoya en contacto erosivo sobre la facies Sgl. Petrográficamente la matriz se compone por una mezcla de arenisca cuarzosa mediana a gruesa y pelita negra. No es posible observar con claridad la geometría externa del cuerpo por la poca continuidad lateral del afloramiento, aunque pareciera acuñarse hacia los lados.

No hay material fósil asociado a esta facies. Representa un nivel aislado dentro de la sucesión de la Formación Río Mayer, estando sólo presente en el perfil 8 (WVP) de la Seccional Río Guanaco (Figs. 3d, 5) donde constituye el 0,43% de los depósitos que allí aparecen.

Interpretación. Esta facies es producto de flujos densos de alta energía (flujos de detritos) que provocan erosión del sustrato con arranque de clastos pelíticos y psamíticos. Se diferencia de la facies Si en que posee un mayor porcentaje de intraclastos.

Facies de Wackestone masivo (Wm)

Caliza masiva de color gris oscuro a negro, se presenta formando estratos entre 0,5 y 1 m de espesor. Estas calizas son fosilíferas y contienen amonites, bivalvos, belemnites y troncos fósiles. Corresponden a *wackestones* bioclásticos (según la clasificación de Dunham, 1962; Embry y Klovan, 1972) (Fig. 7i).

Asociado a esta facies se registraron trazas fósiles con mala preservación. Se encuentra en el perfil 1 (PELL) y 4 (PELV) de la región entre los lagos San Martín y Viedma (Figs.3a, b, 4).

Interpretación. Esta facies se interpreta como originada a partir de un evento de máxima productividad carbonática.

ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL

Se realizó un análisis paleoambiental de la Formación Río Mayer, para lo cual se tuvo en cuenta además de la relación genética de las litofacies previamente definidas el tipo y origen del contenido fósil. Esta última propiedad fue útil para separar aquellos paleoambientes de neto carácter marino de los marinos con influencia continental. De modo tal, se determinaron tres asociaciones de facies que por su agrupamiento y contenido fósil representan tres paleoambientes de la Formación Río Mayer (Fig. 8).

Asociación de facies 1 (AF1): Paleoambiente marino de plataforma externa

Se compone de las facies Fm, Fl, Fn, Mm, Mb, Wm y Sgl las cuales representan procesos sedimentarios de depositación autigénica y hemipelágica (Fig. 8), en los que predominan los procesos hemipelágicos

Tabla 1. Facies sedimentarias identificadas en la Formación Río Mayer. Código de facies: la primera letra mayúscula corresponden a la textura, donde: F = pelitas, M = margas, Ht = heterolítica, S = areniscas, C = conglomerado, AG= arenisca sabulítica, W = wackestone. La segunda y tercer letra en minúscula corresponden en general a la estructura y/o característica saliente, donde: m = masiva, l = laminación, n = nódulos y concreciones, b= bioturbación intensa, l= estratificación mixta lentiforme, w= estratificación mixta ondulosa, f= estratificación mixta flaser, h=laminación horizontal gruesa, p= estratificación entrecruzada planar, t = estratificación entrecruzada en artesa, d = deformación sinsedimentaria, i = intraclastos, gl = glauconítica.

Table 1. Sedimentary facies identified in the Río Mayer Formation. Facies code: the first capitalized letters correspond to the texture, where: F = mudstones, M = marls, Ht = heterolitics, S = sandstone, C = conglomerate, AG= pebbly sandstone, W = wackestone. The second and third letters in lowercase correspond to the texture and/or an important feature, where: m = massive, l = lamination, n = nodules and concretions, b= intense bioturbation, l= lenticular stratification, w= wavy stratification, f= flaser stratification, h=thick horizontal lamination, p= planar cross bedding stratification, t = trough bedding stratification, d = sinsedimentary deformation, i = intraclasts, gl = glauconitic composition.

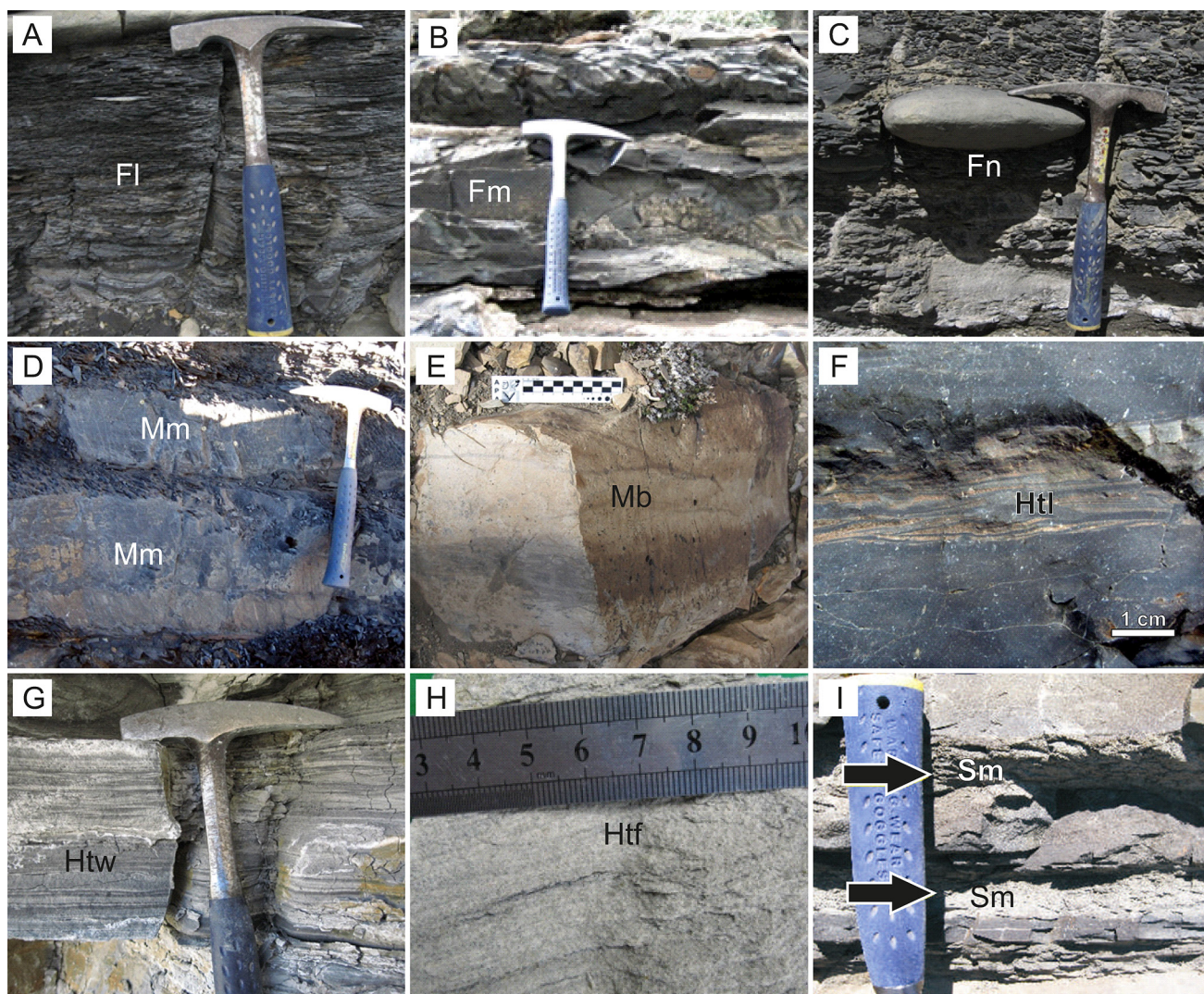


Figura 6. Facies sedimentarias de la Formación Río Mayer. a) Pelitas laminadas (Fl). b) Pelitas masivas (Fm). c) Pelitas con nódulos (Fn). d) Margas masivas (Mm). e) Margas bioturbadas (Mb). f) Heterolítica pelítica con estratificación mixta lenticular (Htl). g) Heterolítica pelítica con estratificación mixta ondulosa (Htw). h) Heterolítica arenosa con estratificación mixta flaser (Htf). i) Arenisca masiva (Sm).

Figure 6. Sedimentary facies of the Río Mayer Formation. a) Laminated mudstone (Fl). b) Massive mudstone (Fm). c) Mudstone with nodules (Fn). d) Massive marls (Mm). e) Biotubated marls (Mb). f) Heterolithic with lenticular bedding (Htl). g) Heterolithic with wavy bedding (Htw). h) Heterolithic whit flaser bedding (Htf). i) Massive sandstone (Sm).

(97,4% de los depósitos) y la presencia de pelitas o margas se ve principalmente afectada por el mayor o menor aporte clástico (Tabla 2). Entre los depósitos autigénicos se destaca la formación de glauconita, la cual indica muy bajas tasas de sedimentación (Odin y Lamboy, 1988). La depositación hemipelágica es un proceso complejo que se produce por la decantación de material en suspensión a través de la columna de agua. Dicho material no sólo se ve afectado por movimientos verticales, sino que puede ser movilizado por derivas laterales (Stow *et al.*, 2001). Se compone en más de 75% de material

terrágeno, con tasas de sedimentación típicas que rondan entre 5 y 15 cmka^{-1} (Stow *et al.*, 1996). La AF 1 también incluye las facies Sm, Sl y Cmi, que representan procesos sedimentarios episódicos producto de la acción de corrientes de turbidez y flujos de detritos (Fig. 8). Estos procesos son los principales responsables del transporte de grandes volúmenes de material sedimentario desde los ambientes marinos someros hacia los profundos (Einsele, 1991). Por diferentes combinaciones de los parámetros de estabilidad y uniformidad de los flujos existen 13 tipos de corrientes de turbidez

(Kneller y Branney, 1995). Sin embargo, los modelos clásicos de turbiditas se concentran en un solo tipo, un flujo muy inestable (*waxing*) y fuertemente uniforme (*depletive*). Si se parte de un flujo de detrito originado por una inestabilidad en la pendiente del fondo marino, durante su trayectoria hacia zonas más profundas pierde velocidad, mientras deposita la carga más gruesa puede, paulatinamente, incorporar agua hasta volverse turbulento (Mutti *et al.*, 2009). Esta evolución es la que posibilita la coexistencia de depósitos producidos por flujos de alta densidad (Lowe, 1982) y flujos diluidos turbulentos (Bouma, 1962).

La fauna de la AF 1 se compone de amonites, belemnites y bivalvos de ambientes de plataforma externa (Kraemer y Riccardi, 1997; Arbe, 2002) en la cual se desarrolla una Icnofacies de *Zoophycos* (Richiano *et al.*, 2012). Este tipo de sedimentación se vio interrumpida eventualmente por flujos turbidíticos y/o de detritos (2,6% de los depósitos). Este paleoambiente representa las típicas descripciones litológicas de esta unidad manifestadas en la bibliografía (Hatcher, 1897; Feruglio, 1950; Leanza 1970; Riccardi, 1971; Arbe, 1986, 2002; entre otros).

Asociación de facies 2 (AF2): Paleoambiente marino de plataforma externa con influencia deltaica distal

Esta asociación de facies es similar a la descrita previamente, ya que se compone de la facies Fm que representa la depositación hemipelágica y las facies Sm y Sl que reflejan la depositación por corrientes de turbidez (Fig. 8). La diferencia principal radica en la presencia de material fósil de origen continental producto de la acción distal del sistema deltaico Piedra Clavada (=Kachaike) y un leve incremento en el aporte de psamitas (3,1% de los depósitos, Tabla 2). Los depósitos incluidos en este paleoambiente presentan impresiones de material vegetal (ramas, no briznas) y trazas fósiles que denotan una conexión con ambientes litorales (Richiano *et al.*, 2012).

Asociación de facies 3 (AF3): Paleoambiente de prodelta

Se compone de las facies Fm, Fl y Wm que constituyen los depósitos relacionados a sedimentación hemipelágica (Fig. 8). Además incluye las facies Sm, Sl, Ss, Si, SG, Htw, Hto y Htf las cuales

son producto de corrientes de turbidez y/o flujos hiperpícnicos relacionados a un frente deltaico (Fig. 8). Por último, las facies Sp y St están relacionadas a la migración de pequeñas formas de lecho en el prodelta (Fig. 8). En contraste con las dos asociaciones de facies anteriormente descritas, en ésta hay una alta participación de depósitos que representan eventos tractivos (51,72% de los depósitos) que suelen alternar con facies de decantación (Tabla 2). El material fósil está dominado por briznas vegetales restos de madera petrificada, con proporciones menores de bivalvos y gasterópodos. Sólo se registra un icnogénero el cual está vinculado a ambientes de mezcla salobres (Richiano, 2012).

En la zona de desembocadura los ríos pierden capacidad de carga y depositan la mayor parte del material que transportan. La distribución y morfología de las facies dependerá en gran medida de la relación de densidades entre la corriente fluvial entrante y el agua de mar (Bhattacharya, 2006). Cuando la pluma fluvial es más densa que el agua de mar se generan los flujos hiperpícnicos (Mulder y Syviski, 1995). Éstos actúan como *bypass* para los sedimentos desde las zonas someras a las profundas en forma de corrientes densas. Pueden constituir un aporte significativo a los depósitos turbidíticos profundos (Bhattacharya, 2006).

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES

Lago San Martín

En la región más septentrional del área de estudio (Fig. 3; perfiles 1-3), la estratigrafía de la región se inicia con rocas metamórficas correspondientes a la Formación Bahía de la Lancha, sigue con el Conglomerado Arroyo de la Mina y posteriormente el Complejo El Quemado (Riccardi, 1971). Sobre las rocas volcánicas y volcanoclásticas del Complejo El Quemado se deposita la Formación Springhill (Valanginiano; *sensu* Riccardi, 1971). Los últimos 10 m de esta unidad están conformados por areniscas medianas a gruesas que en la base poseen una rica icnofauna compuesta por los icnogéneros *Arenicolites*, *Cylindrichnus*, *Ophiomorpha*, *Planolites*, *Rosselia* y *Skolithos* (Poiré y Franzese, 2008; Richiano, 2012; Richiano *et al.*, 2012). La Formación Río Mayer se inicia con facies de ambiente marino de plataforma externa, en el cual dominan las pelitas

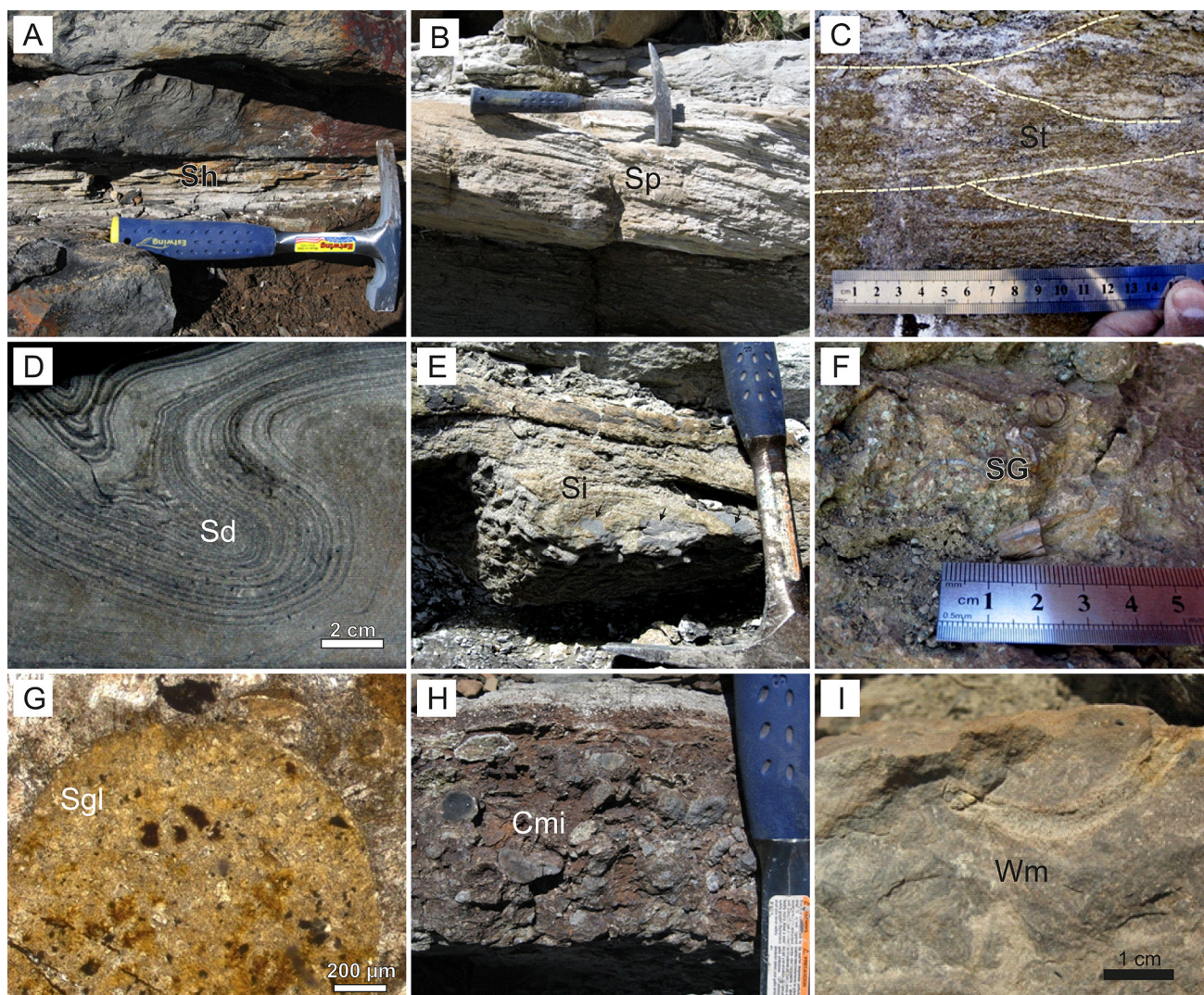


Figura 7. Facies sedimentarias de la Formación Río Mayer. a) Arenisca con laminación horizontal (Sh). b) Arenisca con estratificación entrecruzada planar (Sp). c) Arenisca con estratificación entrecruzada en artesa (St). d) Arenisca con deformación sinsedimentaria (Sd). e) Arenisca con intraclastos (Si). f) Arenisca sabulítica con gradación inversa (SG). g) Arenisca glauconítica (Sgl). h) Paraconglomerado masivo con intraclastos (Cmi). i) Wackestone masivo (Wm).

Figure 7. Sedimentary facies of the Río Mayer Formation. a) Parallel-laminated sandstone (Sh). b) Cross-bedding sandstone (Sp). c) Trough cross-bedding sandstone (St). d) Sandstone with sinsedimentary deformation (Sd). e) Sandstone with intraclast (Si). f) Pebbly sandstone with inverse gradation (SG). g) Glauconitic sandstone (Sgl). h) Massive paraconglomerate with intraclast (Cmi). i) Massive wackestone (Wm).

negras laminadas que alternan en baja proporción con areniscas, calizas y margas. En la región del Lago San Martín estas rocas son portadoras de belemnites, bivalvos y amonites que sugieren una edad Hauteriviano-Barremiano (Riccardi, 1971). En la Estancia Kachaike (perfil 3; Figs. 3a-c, 4), la Formación Río Mayer está representada por la AF3 interpretada como un paleoambiente de prodelta, y se compone de pelitas negras, grises y verdes, que alternan con heterolíticas y areniscas de finas a gruesas de espesores siempre menores al metro

de potencia. El contenido fósil es exclusivamente vegetal, compuesto por briznas, madera petrificada y material carbonoso. Hacia arriba se evidencia un cambio muy claro pasando de areniscas finas con tonalidades grises a areniscas medianas a gruesas amarillentas con estratificación entrecruzada de gran escala (perfil 3: PEKA). Esta última litología indica el inicio de la Formación Piedra Clavada, que posee una edad albiana en esta localidad (Riccardi, 1971; Archangelsky, 2009).

Facies	Procesos	Fósiles	Asociaciones de Facies	
Fm - Fl - Fn - Mm- Mb	Deposición Hemipelágica	Marinos	AF 1: MARINO PLATAFORMA EXTERNA	
Wm	Precipitación carbonática			
Sgl	Deposición Autigénica			
Sm - Sl	Corrientes de turbidez			Deposición Episódica
Cmi	Flujos de detritos			
Fm	Deposición Hemipelágica	Marinos y Continen- tales	AF 2: MARINO PLATAFORMA EXTERNA CON INFLUENCIA DELTAICA DISTAL	
Sm - Sl	Corrientes de turbidez			Deposición Episódica
Fm - Fl	Deposición Hemipelágica	Marinos y Continen- tales	AF 3: PRODELTA	
Wm	Precipitación carbonática			
Sm - Sl - Ss Htw - Hto - Htf	Corrientes de turbidez/ Flujos Hiperpínicos			Deposición Episódica
Si - SG				
St - Sp	Migración de pequeñas formas de lecho			

Figura 8. Paleoambientes sedimentarios de la Formación Río Mayer.
Figure 8. Sedimentary palaeoenvironments of the Río Mayer Formation.

Estancia La Vega

En esta localidad se registran facies relacionadas a un paleoambiente de prodelta, el cual marca la transición entre la Formación Río Mayer y la suprayacente Formación Piedra Clavada (perfil 4, PELV; Figs.3a, 4). El perfil de esta localidad se compone principalmente de pelitas negras laminadas que intercalan niveles de pelitas y areniscas margosas, calizas y areniscas. El contenido fósil está conformado por gasterópodos y bivalvos principalmente, además hay abundantes briznas vegetales y madera petrificada. Se reconocieron trazas fósiles, habiendo *Teredolites* isp. (Aguirre Urreta, 1987) en los troncos y *Gyrolithes* isp. (Richiano, 2012). La edad que poseen los depósitos analizados en esta localidad es Albiano superior (Aguirre Urreta, 1987).

Seccional Río Guanaco

En esta localidad, las estructuras extensionales originadas durante el Jurásico en el Complejo El Quemado tienen un relleno inicial constituido

por areniscas y areniscas sabulíticas atribuidas a la Formación Springhill (Titoniano; Kraemer y Riccardi, 1997). Los hemigrábenes no son totalmente rellenados por la Formación Springhill, y el espacio disponible fue ocupado por la Formación Río Mayer, para luego exceder estas cubetas locales y abarcar toda el área de estudio. En el caso de la Seccional Río Guanaco fue posible, en virtud de la mejor calidad de los afloramientos, la correlación de las secciones con la información brindada por cada perfil desde el punto de vista sedimentológico e icnológico para formar un perfil integrado de carácter ideal. Esto fue posible dada la presencia de unos 30 a 40 m continuos de margas que posibilitaron la correlación de los perfiles ubicados en el Cerro Pintado (5: IG; 6: PG; 7: ECP; Figs.3d, 5) y los pertenecientes a la Vega de Pérez (8: WVP; 9: EVP2; 10: EVP1; Figs.3d, 5). La Formación Río Mayer fue dividida en tres secciones en base a las características litológicas observadas en el campo (Fig. 9).

Sección Inferior. Se apoya sobre la Formación Springhill y está caracterizada por pelitas negras, las

Participación (%) de las facies sedimentarias en cada asociación de facies																		
	Fl	Fm	Fn	Mm	Mb	Htw	Hto	Htf	Sm	Sh	Sp	St	Ss	Si	SG	Sgl	Cmi	Wm
Asociación I	7,59	58,12	10,43	3,03	17,58				1,44	0,69						0,35	0,09	0,66
Asociación II		96,9							2,5	0,6								
Asociación III	39,18	8,29		0,36		8,94	4,07	3,45	21,9	3,16	2,64	0,36	4,67	1,33	1,2			0,48

Tabla 2. Porcentaje de las facies en cada asociación de facies definida para la Formación Río Mayer. Código de facies según tabla 1.
Table 2. Facies percentage in each facies association of the Río Mayer Formation. Facies code following table 1.

cuales alternan con margas. El espesor mínimo de esta sección es de 80 m, y son incluidos en la AF 1 que sugieren un paleoambiente marino de plataforma externa. Desde el punto de vista del contenido fósil es abundante la presencia de belemnites, acompañados por impresiones de amonoideos y bivalvos y no presenta desarrollo de estructuras sedimentarias orgánicas. Posee una edad Berriasiano-Valanginiano temprano (Kraemer y Riccardi, 1997; Richiano, 2012).

Sección Media. De esta sección se destaca en los afloramientos su relieve positivo, dado por la dureza de sus bancos. Los depósitos se componen de margas negras que alcanzan un máximo de 40 m de espesor, sedimentadas en un paleoambiente marino de plataforma externa. Desde el punto de vista del contenido fósil es abundante la presencia trazas fósiles, reconociéndose los icnogéneros *Bergaueria*, *Chondrites* y *Zoophycos*. Además posee belemnites, acompañados por impresiones de amonoideos y bivalvos. Posee una edad Valanginiano temprano-Hauteriviano temprano (Richiano, 2012).

Sección Superior. Esta sección está compuesta por pelitas negras a verde oliva oscuras que intercalan con abundantes bancos de areniscas, las cuales aumentan en proporción hacia el techo. Al inicio de esta sección hay un nivel de arenisca glauconítica sobre la cual se encuentra un conglomerado de 0,4 m en el perfil 8 (Figs. 3d, 5, 7g-h). El tramo inicial de esta sección corresponde a depósitos de un paleoambiente marino de plataforma externa (aproximadamente 150 m de AF1) y en los últimos 60 m esta plataforma estuvo influenciada por el aporte del delta de la Formación Piedra Clavada (AF2; Figs. 9, 10). El contenido fósil es similar a las dos secciones anteriores, posee poco desarrollo de trazas fósiles, siendo estas eventuales. También en esta sección se hallaron restos de madera

petrificada. El tope de esta sección posee una edad Albiano medio-Cenomaniano temprano (Kraemer y Riccardi, 1997; Richiano, 2012). Se incluyen en esta sección las observaciones realizadas en cercanías del establecimiento de Parques Nacionales donde se destaca el contenido icnológico (perfil 11; Fig. 3d). Los aspectos sedimentológicos son iguales a los perfiles 9 y 10 (EVP 1 y EVP2) pero se observó una icnofauna en la que se destaca la presencia del icnogénero *Ophiomorpha*, este hallazgo es importante debido a que se encuentran por encima de niveles con *Zoophycos* isp. y *Chondrites* isp. (Richiano *et al.*, 2012). Otros componentes encontrados en este perfil son bivalvos e impresiones de madera, las cuales en ocasiones presentan trazas de *Teredolites* isp.

EVOLUCIÓN PALEOGEOGRÁFICA Y PALEOAMBIENTAL DE LA FORMACIÓN RÍO MAYER

Los depósitos de la Formación Río Mayer se desarrollan enteramente en ambientes marinos de plataforma. Los cambios reconocidos en la sedimentación, reflejados en las sucesiones relevadas (Figs. 4, 5, 9 y 10), permiten inferir que la plataforma silicoclástica se vio afectada por variaciones eustáticas y de aporte terrígeno desde el continente durante el Cretácico Inferior.

La depositación de la Formación Río Mayer se inició en el Berriasiano en la localidad Seccional Río Guanaco (Fig.3a, d). En esta localidad, la unidad comienza rellenando el espacio de acomodación que aún quedaba de los hemigrabenos titonianos; una vez relleno dicho espacio, la unidad cubrió toda la región aledaña (Fig.10a). En una primera etapa (Berriasiano-Valanginiano inferior), que fue definida como *postrift* por Arbe (2002), los depósitos se componen de pelitas negras bien laminadas que alternan con margas, indicando variaciones de aporte terrígeno hacia la plataforma externa. La ausencia

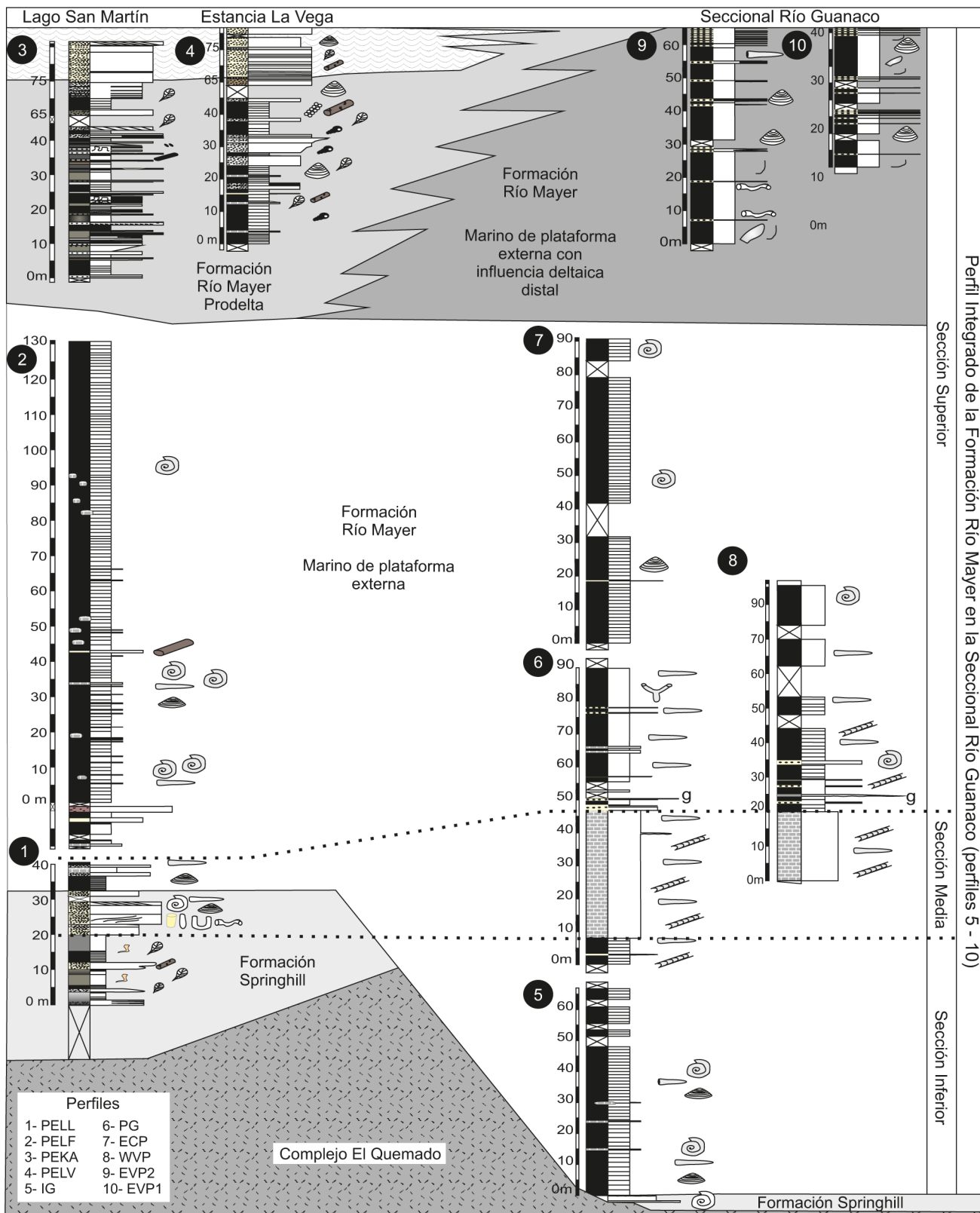


Figura 9. Integración de los diez perfiles sedimentológicos de la Formación Río Mayer en el área de estudio mostrando la distribución de los tres paleoambientes reconocidos. División de los afloramientos de la Formación Río Mayer en el Río Guanaco en tres secciones (inferior, media y superior). Referencias en figura 4.

Figure 9. Integration of the ten sedimentological logs of Río Mayer Formation in the study area showing the distribution of the three sedimentary palaeoenvironments. Division into three sections (lower, middle and upper) of Río Mayer Formation deposits from the Río Guanaco area. For references see figure 4.



Figura 10. Esquemas de la evolución de la Formación Río Mayer y su relación con otras unidades de la Cuenca Austral durante el Cretácico Inferior. a) Berriasiano. b) Valanginiano. c) Valanginiano superior-Barremiano. d) Aptiano-Albiano. e) Albiano superior-Cenomaniano inferior.

Figure 10. Evolution schemes of Río Mayer Formation and its relation with others units from Austral Basin during Lower Cretaceous. a) Berriasian. b) Valanginian. c) upper Valanginian-Barremian. d) Aptian-Albian. e) upper Albian-lower Cenomanian.

de bioturbación y las mayores concentraciones de carbono orgánico total (COT) en los depósitos originados durante este periodo, indica un bajo contenido de oxígeno disuelto en las aguas de la plataforma (Richiano, 2012).

Durante el Valanginiano se habría producido un aumento en el nivel relativo del mar lo que genera la sedimentación de los depósitos marinos de la Formación Springhill en la región del Lago San

Martín (Riccardi, 1971; Arbe, 2002) (Fig.10b). Es en este momento de expansión de la cuenca cuando en la localidad de Río Guanaco comenzó a depositarse niveles margosos (Fig. 10b). La razón principal de la sedimentación margosa sería la disminución del aporte clástico desde el continente, producto de un prolongado proceso de transgresión que enterraría los sedimentos en los bordes de cuenca (Spalletti *et al.*, 2001a, b). En este lapso de tiempo, se registró una

gran participación de trazas fósiles de la icnofacies de *Zoophycos* en la localidad de Río Guanaco. Simultáneamente hacia el norte, en la localidad de Lago San Martín, se registra la icnofacies de *Cruziana* en la Formación Springhill evidenciando un ambiente marino somero (Richiano, 2012; Richiano *et al.*, 2012). Ambas icnofacies se relacionan según el modelo icnológico de Seilacher (1964, 1967) sugiriendo la coexistencia de icnocomunidades en ambientes litorales y de plataforma externa durante el Valanginiano en la Cuenca Austral.

Entre el final del Valanginiano y el inicio del Hauteriviano, sobre sedimentos pelíticos y margosos de la sección media de la Formación Río Mayer, se generó un nivel de glauconita (facies Sgl) en la región de la Seccional Río Guanaco (Fig. 10c), considerado como la superficie de máxima inundación de la cuenca (Richiano, 2012). Paralelamente, en el Lago San Martín se comenzaron a depositar las pelitas negras, calizas y areniscas glauconíticas de la Formación Río Mayer (Fig. 10c). Durante el Hauteriviano inferior y el Barremiano las condiciones se mantuvieron en mayor o menor medida estables. En toda la región predominó la decantación de fangos, en general de color negro, con desarrollo de laminación e intercalaciones de niveles margosos. Eventuales niveles de areniscas se registraron en la localidad de Río Guanaco, no así la región del Lago San Martín (Fig. 10c). Esto indica que el ambiente de plataforma externa en el cual se desarrolló la Formación Río Mayer, previo a la instalación del sistema deltaico de la Formación Piedra Clavada (Aptiano-Albiano), estuvo afectada por flujos turbidíticos que transportaron sedimentos arenosos (menos frecuente psefíticos) hacia la plataforma externa. El origen de estos flujos es incierto, ya que se poseen pocos datos diagnósticos para caracterizarlos, en especial la ausencia de elementos para determinar paleocorrientes en los niveles de areniscas. Por otro lado, para el lapso Hauteriviano-Barremiano las únicas unidades definidas para la cuenca, además de la Formación Río Mayer, son las formaciones Springhill y Río Belgrano, ambas se encuentran entre 200-250 km de la Seccional Río Guanaco hacia el norte. Considerando las razones antes mencionadas, el origen más probable sería el relacionado a tormentas producidas en la plataforma interna (Gabaldón, 1991; Duke *et al.*, 1981; Li y Amos, 1999; Dumas *et al.*, 2005; Dumas y Arnott, 2006; Kietzmann y Palma, 2011), la cual

podría haberse desarrollado tanto hacia el norte como hacia el este. La distribución espaciada de las capas de arenisca de edad pre-Aptiano hace pensar que tormentas de magnitud necesaria para generar depósitos turbidíticos que lleguen hasta la localidad de Río Guanaco, no fueron muy frecuentes.

Durante el Aptiano-Albiano, la instalación del sistema deltaico de Piedra Clavada/Kachaike, generó dos paleoambientes diferentes en la Formación Río Mayer de acuerdo a su posición paleogeográfica dentro de la Cuenca Austral (Fig. 10d). En la región comprendida entre los lagos Viedma y San Martín la Formación Río Mayer corresponde a un paleoambiente de prodelta. Los depósitos, en estas localidades, se caracterizan por la abundancia de facies heterolíticas, contenido de materia orgánica vegetal diseminada y la ausencia de trazas fósiles. Por su parte en la localidad de Río Guanaco, la Formación Río Mayer continuó con una sedimentación de plataforma externa. A diferencia de la desarrollada desde el Berriasiano, la participación de areniscas es cada vez más frecuente hacia el tope (Fig. 10d). Estas areniscas provienen de flujos turbidíticos que se habrían generado en el frente deltaico. La presencia de la icnofacies de *Zoophycos*, en la localidad de Río Guanaco, se ve interrumpida por estos flujos turbulentos, los cuales transportan arena, restos de madera con *Teredolites* isp. y crustáceos que forman galerías de *Ophiomorpha* isp. en las pelitas de la sección superior de la Formación Río Mayer (Richiano y Poiré, 2010; Richiano *et al.*, 2012). Los contenidos de COT durante este intervalo son mínimos, producto de la mayor oxigenación del paleoambiente (Stein, 2007; Mutterlose *et al.*, 2009; Negri *et al.*, 2009). Asimismo, durante este lapso temporal, la procedencia de las rocas posee un claro incremento en la participación de componentes de origen volcánico, dejando de manifiesto la presencia de un arco volcánico activo hacia el oeste (Richiano, 2012).

Finalmente durante el Albiano superior-Cenomaniano inferior se produce una transgresión marina, que marca el comienzo de la etapa de antepaís de la Cuenca Austral (Fosdick *et al.*, 2011; Varela *et al.*, 2012). Hacia el norte, entre los lagos San Martín y Viedma, está evidenciada por los depósitos litorales de la sección inferior de la Formación Mata Amarilla (Varela *et al.*, 2011). Mientras que en la región de Río Guanaco y Lago Argentino es evidenciada por los comienzos de la depositación de

la Formación Cerro Toro (Fig. 10e).

CONCLUSIONES

Se reconocieron 18 facies sedimentarias en la Formación Río Mayer en la región comprendida entre los lagos San Martín y Argentino, Provincia de Santa Cruz. La facies de pelita laminada (Fl) es la preponderante; le siguen las facies de pelita masiva (Fm) y pelitas con nódulos y/o concreciones (Fn), luego margas masiva (Mm) y margas bioturbadas (Mb), mientras que el resto de las facies solo ocupan el 6% del total de la formación.

Estas facies fueron agrupadas en tres asociaciones de facies. La asociación de facies 1 corresponde a facies de plataforma distal dominada por procesos hemipelágicos. La asociación de facies 2 también se desarrolla en un ambiente de plataforma distal, pero influenciada por un sistema deltaico, el cual aporta niveles de arena hacia la plataforma externa. Finalmente, la asociación de facies 3 corresponde a un ambiente de prodelta, y se encuentra restringida a la zona norte del área de estudio.

La distribución espacial y temporal de las asociaciones de facies permitió desarrollar una evolución paleogeográfica y paleoambiental del Cretácico Inferior de la Cuenca Austral en el área de estudio. Durante el Berriasiano, en el área de la Seccional Río Guanaco, comenzó la depositación de la Formación Río Mayer en el espacio que aún quedaba disponible en los hemigrabenes iniciales, por encima de la Formación Springhill. Por su parte, durante el intervalo Hauteriviano-Barremiano, la región estudiada presenta características de plataforma externa distal.

La instalación del sistema deltaico de la Formación Piedra Clavada en el norte del área de estudio durante el Aptiano-Albiano produjo cambios en la Formación Río Mayer. En la región de Lago San Martín y Estancia La Vega la Formación Río Mayer corresponde a un ambiente de prodelta. Mientras que hacia el sur, en la Seccional Río Guanaco se desarrolló una plataforma externa influenciada por flujos turbidíticos distales originados en el frente deltaico.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por subsidios provenientes de CONICET (PIP 6237/05 y PIP 1016/10) y la Universidad Nacional de la Plata

(Proyecto N/511). Los autores agradecen muy especialmente a la Administración del Parque Nacional Los Glaciares por su apoyo en los trabajos de campo, a la Dra. Beatriz Aguirre Urreta por su colaboración en la determinación del material fósil, a la Dra. Alfonsina Tripaldi (Ed.), a la Dra. Julieta Suriano y al Dr. Nicolás Foix por sus sugerencias al manuscrito original que han mejorado notablemente esta versión final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Urreta, M.B.**, 1987. La icnofacies Teredolites en el Cretácico de la Cuenca Austral Argentina. *10º Congreso Geológico Argentino*, San Miguel de Tucumán, actas.
- Aguirre Urreta, M.B.**, 2002. Invertebrados del cretácico inferior. En M.J. Haller (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino, 925 pp.
- Amorosi, A.**, 1995. Glaucony and sequence stratigraphy: a conceptual framework of distribution in siliciclastic sequences. *Journal of Sedimentary Research* 65:419-425.
- Amorosi, A.**, 1997. Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sedimentary Geology* 109:135-153.
- Arbe, H.A.**, 1986. *El Cretácico de la Cuenca Austral: sus ciclos de Sedimentación*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Buenos Aires Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires.
- Arbe, H.A.**, 2002. Análisis estratigráfico del Cretácico de la Cuenca Austral. En M.J. Haller (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino:103-128.
- Arbe, H.A. y J. Hechem**, 1984. Estratigrafía y facies de depósitos continentales, litorales y marinos del Cretácico superior, lago Argentino. *IX Congreso Geológico Argentino Actas* 7:124-158.
- Archangelsky, S.**, 2009. Biogeographic implications of Albian Mohria-like spores (Family Anemiaceae) in SW Gondwana (Patagonia). *Review of Palaeobotany and Palynology* 157:301-308.
- Bagold, R.**, 1956. The flow of cohesionless grains in fluids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Serie A* 225:49-63.
- Bhattacharya, J.P.**, 2006. Deltas. En H.W. Posamentier y R.G. Walker (Eds.), *Facies Models Revisited*. SEPM Special Publication 84:237-292.
- Biddle, K., M. Uliana, R. Mitchum Jr., M. Fitzgerald y R. Wright**, 1986. The stratigraphic and structural evolution of central and eastern Magallanes Basin, Southern America. En P. Allen y P. Homewood (Eds.), *Foreland basins*. International Association of Sedimentology Special Publication 8:41-61.
- Bouma, A.H.**, 1962. *Sedimentology of some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation*. Elsevier, Amsterdam, 168 pp.
- Caminos, R.**, 1980. Cordillera Fueguina. *Simposio de Geología Regional Argentina*, No. 2:1463-1501. Córdoba.
- Canessa, N.D., D.G. Poiré y P. Doyle**, 2005. Estratigrafía de las unidades cretácicas de la margen norte del Lago Viedma, entre el Cerro Pirámides y la Estancia Santa Margarita, Provincia de Santa Cruz, República Argentina. *Actas del XVI Congreso*

Geológico Argentino. La Plata.

- Canessa, N.D., J.R. Franzese, D.G. Poiré y P. Doyle**, 2006. Control tectónico en la sedimentación cretácica de la Cuenca Austral, margen noroeste del Lago Viedma, Provincia de Santa Cruz, República Argentina. *Actas del IV Congreso Latinoamericano de Sedimentología - XI Reunión Argentina de Sedimentología*, Bariloche, Argentina.
- Collinson, J.D. y D.B. Thompson**, 1989. *Sedimentary structures*. Segunda edición. Unwin Hyman LTD, London, UK, 207 pp.
- Collinson, J.D., N. Mountney y D.B. Thompson**, 2006. *Sedimentary structures*. Tercera edición. Terra Publishing, Harpenden, England, 292 pp.
- Dalziel, I.W.D., M.J. de Wit y K.F. Palmer**, 1974. Fossil marginal basin in the southern Andes. *Nature* 250:291-294.
- Duke, W.L., R.W.C. Arnott y R.J. Cheel**, 1991. Shelf sandstones and hummocky cross-stratification: New insights on a stormy debate. *Geology* 19:625-628.
- Dumas, S., R.W.C. Arnott y J.B. Southard**, 2005. Experiments on oscillatory-flow and combined-flow bed forms: implications for interpreting parts of the shallow-marine sedimentary record. *Journal of Sedimentary Research* 75:501-513.
- Dumas, S. y R.W.C. Arnott**, 2006. Origin of hummocky and swaley cross-stratification - The controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. *Geology* 34:1073-1076.
- Dunham, R.J.**, 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists*, Memoir 1:108-121.
- Einsele, G.**, 1991. Submarine mass flow deposits and turbidites. En G.Einsele, W. Ricken y A. Seilacher (Eds.), *Cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin:79-93.
- Embry, A.F. y J.E. Klován**, 1972. Absolute water depth limits of late Devonian paleoecological zones. *Geologische Rundschau* 61:672-686.
- Féraud, G., V. Alric, M. Fornari, H. Bertrand y M. Haller**, 1999. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letters* 172:83-98.
- Feruglio, E.**, 1950. *Descripción Geológica de la Patagonia*. Y.P.F. Buenos Aires, Tomos I, II, III.
- Fildani, A. y A. Hessler**, 2005. Stratigraphic record across a retroarc basin inversion: Rocas Verdes-Magallanes Basin, Patagonian Andes, Chile. *Geological Society of America Bulletin* 117:1596-1614.
- Fosdick, J.C., B.W. Romans, A., Fildani, A., Bernhardt, M. Calderón y S.A. Graham**, 2011. Kinematic evolution of the Patagonian retroarc fold-and-thrust belt and Magallanes foreland basin, Chile and Argentina, 51°30'S. *Geological Society of America Bulletin* 123:679-1698.
- Gabaldon, V.**, 1991. *Plataformas siliciclásticas externas: Facies y su distribución areal. (Plataformas dominadas por tormentas)*. Publicación Especial del Boletín Geológico y Minero, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 93 pp.
- Hatcher, J.B.**, 1897. On the geology of Southern Patagonia. *American Journal of Science* 4:327-354.
- Katz, H.R.**, 1963. Revision of Cretaceous stratigraphy in Patagonian Cordillera of Ultima Esperanza, Magallanes Province, Chile. *American Association of Petroleum Geology Bulletin* 47:506-524.
- Kietzmann, D.A. y R.M. Palma**, 2011. Las tempestitas peloidales de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano-Valanginiano) en el sector surmendocino de la Cuenca Neuquina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 18:121-149.
- Kneller, B.C. y M.J. Branney**, 1995. Sustained high-density turbidity currents and the deposition of thick massive sands. *Sedimentology* 42:607-616.
- Kraemer, P.E. y A.C. Riccardi**, 1997. Estratigrafía de la región comprendida entre los lagos Argentino y Viedma (49° 40'-50° 10' LS), Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Argentina de Geología* 52:333-360.
- Kraemer, P.E., J.V. Ploszkiewicz y V.A. Ramos**, 2002. Estructura de la cordillera patagónica austral entre los 46° y 52° S. En M.J. Haller (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino:353-364.
- Leanza, A.F.**, 1970. Amonites nuevos o poco conocidos del Aptiano, Albiano y Cenomaniano de los Andes Australes con notas acerca de su posición estratigráfica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25:197-261.
- Li, M.Z. y C.L. Amos**, 1999. Sheet flow and large wave ripples under combined waves and currents: field observations, model predictions and effects on boundary layer dynamics. *Continental Shelf Research* 19:637-663.
- Lowe, D.R.**, 1982. Sediment gravity flows II: depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology* 52:279-297.
- Marinelli, R.V.**, 1998. Reservorios deltáicos de la Formación Piedra Clavada. *Boletín de Informaciones Petroleras* XV (54): 28-37.
- Miall, A.D.**, 1996. *The Geology of Fluvial Deposit: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer-Verlag. Berlin, 582 pp.
- Mulder T. y J.P.M. Syvitski**, 1995. Turbidity currents generated at river mouths during exceptional discharges to the world oceans. *Journal of Geology* 103:285-299.
- Mutterlose, J., S. Pauly y T. Steuber**, 2009. Temperature controlled deposition of early Cretaceous (Barremian-early Aptian) black shales in an epicontinental sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 273:330-345.
- Mutti, E., D. Bernoulli, F. RicciLucchi y R. Tinterri**, 2009. Turbidites and turbidity currents from Alpine 'flysch' to the exploration of continental margin. *Sedimentology* 56:267-318.
- Negri, A., A. Ferretti, T. Wagner y P.A. Meyers**, 2009. Phanerozoic organic-carbon- rich marine sediments: Overview and future research challenges. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 273:218-227.
- Odin, G.S. y M. Lamboy**, 1988. Glaucony from the margin off northwestern Spain. En G.S. Odin (Ed.), *Green Marine Clays*. Developments in Sedimentology 45:249-276.
- Pankhurst, R.J., T.R. Riley, C.M. Fanning y S.P. Kelley**, 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia and Antarctic Peninsula.: Chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journal of Petrology* 41:605-625.
- Poiré, D.G. y J.R. Franzese**, 2008. Trazas fósiles de ambientes litorales marino-parállicos de la Formación Springhill (Cretácico Inferior), Andes Patagónicos Australes, provincia de Santa Cruz, Argentina. *XII Reunión Argentina de Sedimentología*, Buenos Aires, Actas:143.
- Potter, P.E., J.B. Maynard y P.J. Depetris**, 2005. *Mud and Mudstones*. Springer, New York, 297 pp.
- Riccardi, A.C.**, 1968. *Estratigrafía de la región oriental de la Bahía de la Lancha, Lago San Martín, Santa Cruz*. Museo de la Plata, Tesis Doctoral n° 274, 347 pp.
- Riccardi, A.C.**, 1971. Estratigrafía en el oriente de la Bahía de la Lancha, Lago San Martín, Santa Cruz, Argentina. *Extracto*

- de la Revista del Museo de la Plata, Sección Geológica, Tomo VII:245-318.
- Riccardi, A.C. y E.O. Roller**, 1980. Cordillera Patagónica Austral. En J.C.M. Turner (Ed.), *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba II:1173-1304.
- Richiano, S.**, 2012. *Sedimentología e icnología de la Formación Río Mayer, Cuenca Austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- Richiano, S. y D.G. Poiré**, 2010. Ichnology from the Río Mayer Formation, Austral Basin, Patagonia Argentina. *XVIII International Sedimentological Congress*, Mendoza, Argentina. Abstracts:750.
- Richiano S., D.G., Poiré y A.N. Varela**, 2012. Icnología de las formaciones Springhill y Río Mayer durante el Valanginiano de la Cuenca Austral. *XIII Reunión Argentina de Sedimentología*, Salta, Actas:187-188.
- Richiano S., D.G., Poiré y A.N. Varela**, en prensa. Icnología de la Formación Río Mayer, Cretácico Inferior, So Gondwana, Patagonia, Argentina. *Ameghiniana*.
- Rodríguez, J. y M. Miller**, 2005. Cuenca Austral. En *Frontera Exploratoria de la Argentina*. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos:307-324.
- Rodríguez, J.F. y M.J. Cagnolatti**, 2008. Source Rocks and Paleogeography, Austral Basin, Argentina. *AAPG Convention*, San Antonio, EEUU.
- Russo, A. y M.A. Flores**, 1972. Patagonia Austral Extraandina. En A.F. Leanza (Ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba:707-725.
- Russo, A., M.A. Flores y H. Di Benedetto**, 1980. Patagonia Austral Extraandina. En J.C.M. Turner (Ed.), *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba II:1431-1462.
- Scasso, R.A. y C.O. Limarino**, 1997. *Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas*. Asociación Argentina de Sedimentología, Buenos Aires, 259 pp.
- Seilacher, A.** 1964. Sedimentological classification and nomenclature of trace fossils. *Sedimentology* 3:256-263.
- Seilacher, A.** 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology* 5:413-428.
- Spalletti, L.A., D.G. Poiré, E. Schwarz y G.D. Veiga**, 2001a. Sedimentologic and sequence stratigraphic model of a Neocomian marine carbonate-siliciclastic ramp: Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 14:609-624.
- Spalletti, L.A., D.G. Poiré, D. Pirrie, S. Matheos y P. Doyle**, 2001b. Respuesta sedimentológica a cambios en el nivel de base en una secuencia mixta clástica-carbonática del Cretácico de la Cuenca Neuquina, Argentina. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 14:57-74.
- Stein, R.** 2007. Upper Cretaceous/lower Tertiary black shales near the North Pole: Organic-carbon origin and source-rock potential. *Marine and Petroleum Geology* 24:67-73.
- Stow, D.A.V., H.G. Reading y J.D. Collison**, 1996. Deep seas. En H.J. Reading (Ed.), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Tercera edición: 395-453.
- Stow, D.A. V., A.Y. Huc y P. Bertrand**, 2001. Depositional process of black shales in deep water. *Marine and Petroleum Geology* 18:491-498.
- Varela, A.N., S. Richiano y D.G. Poiré**, 2011. Tsunami vs storm origin for Shell bed deposits in a lagoon environment: an example from the Upper Cretaceous of southern Patagonia, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 18:87-88.
- Varela, A.N., D.G., Poiré, T., Martin, A., Gerdes, F.J., Goin, J.N. Gelfo y S. Hoffmann**, 2012. U-Pb zircon constraints on the age of the Cretaceous Mata Amarilla Formation, Southern Patagonia, Argentina: its relationship with the evolution of the Austral Basin. *Andean Geology* 39:359-379.