

REVISION ESTRATIGRAFICA Y LITOFACIAL DE LA FORMACION LA SILLA (ORDOVICICO INFERIOR) EN LA PRECORDILLERA ORIENTAL DE SAN JUAN, ARGENTINA

Mariana M. RAVIOLO¹, Osvaldo L. BORDONARO^{1,2} y Brian R. PRATT³

¹CRICYT - IANIGLA, CONICET, Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, CC 330, 5500 - Mendoza, Argentina Tel: 261-5244249, Fax: 261-5244001, mraviolo@lab.cricyt.edu.ar

²Dto. de Geología, Universidad Nacional de San Juan, Av. Ignacio de la Rosa y Meglioli, San Juan, Argentina

³Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan S7N 5E2, Canadá

Resumen: La Formación La Silla (Cámbrico Superior - Ordovícico Inferior) fue definida en 1994 por Keller *et al.* a partir de los niveles inferiores de la Formación San Juan. Esta Formación consiste en una sucesión distintiva de calizas claras, con escasos fósiles y muy explotadas por su alta pureza. Basados en estudios detallados en la sección tipo cercana a Jáchal y siete secciones en el área sur cercana a la ciudad de San Juan, proponemos una subdivisión formal para la Formación La Silla en tres miembros. La división de la unidad está basada en la ubicación preferencial de bancos dolomíticos en el sector central de la Formación mientras que el sector superior e inferior son calizas monótonas. Los miembros se denominan, de base a techo: Miembro Río del Agua, Miembro Río Blanco y Miembro Río Salado (85, 140 y 81 m, respectivamente). Las dolomías en el Miembro Río Blanco son de dos tipos: macizas, potentes y generalmente asociadas a chert; y dolomías con laminación planar y/o entrecruzada, ambas fácilmente distinguibles a simple vista, otorgándole a este Miembro un aspecto bandeado debido a la alternancia entre calizas y dolomías. Esto contrasta con el aspecto macizo y monótono de los Miembros restantes con estratificación tabular y a veces suavemente ondulante. Se reconocen las facies de grainstone peloidal, grainstone oolítico, rudstone intraclástico, packstone peloidal, mudstone, microbiales laminadas y trombolíticas. Además se describen las nuevas facies de dolomías laminadas y dolomías macizas. De la misma manera que lo observado por Keller *et al.* (1994), la Formación La Silla representa una fase distinta en la sucesión cambro-ordovícica, con las dolomías perimareales de la Formación La Flecha por debajo y las calizas fosilíferas de plataforma abierta de la Formación San Juan por encima.

EXTENDED ABSTRACT

Stratigraphic revision and lithofacies of La Silla Formation (Lower Ordovician) in the eastern Precordillera of San Juan, Argentina

The Cambro-Ordovician carbonate platform succession of the Precordillera Oriental of western Argentina is some 2000 m thick and consists of five formations, from base to top, La Laja, Zonda, La Flecha, La Silla and San Juan (Keller, 1999; Bordonaro, 2003). La Silla

Formation (latest Cambrian–Early Ordovician) was defined by Keller *et al.* (1994) from the lower part of the San Juan Formation. It reaches some 350 m in thickness and consists of a distinctive succession of dominantly light-coloured, poorly fossiliferous limestones. The upper part of La Silla Formation is extensively quarried because of the remarkable purity of the limestones.

Based on a detailed study of the type section in the northern outcrop area near Jáchal and seven sections in the southern area near San Juan (Fig. 1a), we propose a formal stratigraphic subdivision of La Silla For-

mation into three members. These are, from base to top, the Río del Agua Member, Río Blanco Member and Río Salado Member (Fig. 1b), which are 85, 140 and 81 m in their respective type sections. This subdivision is based in the preferential occurrence of cream-coloured dolostones interbedded in the middle part of the formation, whereas the lower and upper members are essentially monotonous limestones. Keller (1999) erected an informal tripartite subdivision conforming to three putative, shallowing-upward sequences, with the boundaries recording abrupt changes in relative sea-level. We do not detect this pattern and our proposed members do not coincide with this subdivision.

We recognize nine individual lithofacies types (Fig. 2a-f). These are for the most part similar to those determined by Keller (1999) and Cañas (1999), but we consider that they over-estimated the abundance of muddy facies in the form of lime mudstone, wackestone and packstone. Limestones in all three members are dominantly thick- and massively bedded peloidal grainstones exhibiting tabular and gently undulating bedding. In the lower and upper members there are subordinate ooidal grainstones, along with rare peloidal packstone, intraclastic rudstone, mudstone, microbial laminites and thrombolite patch reefs. Dolostones are of two types: thick- and massively bedded and commonly cherty, and medium beds that are plane- and cross-laminated. The former is the dolomitized equivalent of the peloidal grainstone. The latter often occurs with thin intraclastic rudstones and represents relatively coarse grainstones that were preferentially dolomitized. These dolomites preserve evidence of unidirectional and oscillating currents.

Our eight measured sections indicate that there was varying amounts of subsidence across the carbonate platform (Fig. 3), although precise correlation is impossible owing to the lack of biostratigraphic data. La Silla Formation represents a distinct phase in the Cambro-Ordovician evolution of the eastern Precordillera, with mainly lower energy peritidal limestones of La Flecha Formation below and open-shelf, fossiliferous muddy limestones of the (emended) San Juan Formation above. The dominance of peloidal grainstone suggests an open-shelf setting as well but one characterized by virtually continuous low-level turbulence yet absence of extreme events like major storms that would have formed deep scours and high-relief bedforms. While scoured surfaces do occur sporadically in the Río Blanco Member, large bedforms are not present in La Silla Formation (Fig. 4a-e).

Palabras clave: Nomenclatura estratigráfica, carbonatos, Ordovícico Inferior, Formación La Silla, Precordillera Oriental.

Keywords: Stratigraphic nomenclature, carbonates, Lower Ordovician, La Silla Formation, eastern Precordillera.

INTRODUCCION

La Precordillera Argentina es un 'terrane' paleozoico alóctono. Su núcleo es un conjunto de rocas carbonáticas que constituyen el registro de una extensa plataforma somera y cálida durante los períodos Cámbrico y Ordovícico, con una potencia promedio de 2000 metros. Sus componentes faunísticos son exclusivamente laurénticos en cuanto a su taxonomía, y brindan un modelo paleogeográfico del origen de este 'terrane' al sur-este de dicho bloque cratónico (p.e. Thomas y Astini, 2003). También hay una similitud litológica, en general, a la plataforma carbonática de los Apalaches del sur. A pesar de los datos paleontológicos, la edad de las K-bentonitas ordovícicas es muy parecida a la de las riolitas famatinianas, sugiriendo una proximidad importante (Fanning *et al.*, 2004). Además, la distribución de las edades de zircones tomados de las areniscas cámbricas muestran una procedencia gondwánica (Finney *et al.*, 2005; Finney, 2007).

En la Precordillera Oriental de San Juan (Fig. 1a) la sucesión carbonática completa de plataforma consta de cinco Formaciones cuyas edades van desde el Cámbrico Temprano hasta el Ordovícico Medio y son denominadas (de base a techo): Formaciones La Laja, Zonda, La Flecha, La Silla y San Juan (Bordonaro, 2003; Fig. 1b). Estas unidades contrastan fuertemente entre ellas en las facies y ambientes de depositación regional: a veces dominadas por mudstones y wackestones de energía baja, y otras con grainstones de energía más alta. Sin duda la plataforma del Paleozoico Inferior muestra aun problemas fundamentales en cuanto a su origen y evolución.

El objeto de nuestro estudio es la Formación La Silla que abarca el intervalo desde el Cámbrico Superior al Ordovícico Inferior. Esta Formación fue creada por Keller *et al.* (1994) quienes la separaron de la Formación San Juan (Kobayashi, 1937) como una unidad distinta. Su espesor es de 350 m aproximadamente, con la sección tipo en el Cerro La Silla cerca de Jáchal en el norte de la provincia de San Juan. Además, la parte superior de la Formación La Silla tiene una gran importancia económica, a causa de su pureza excepcional se la

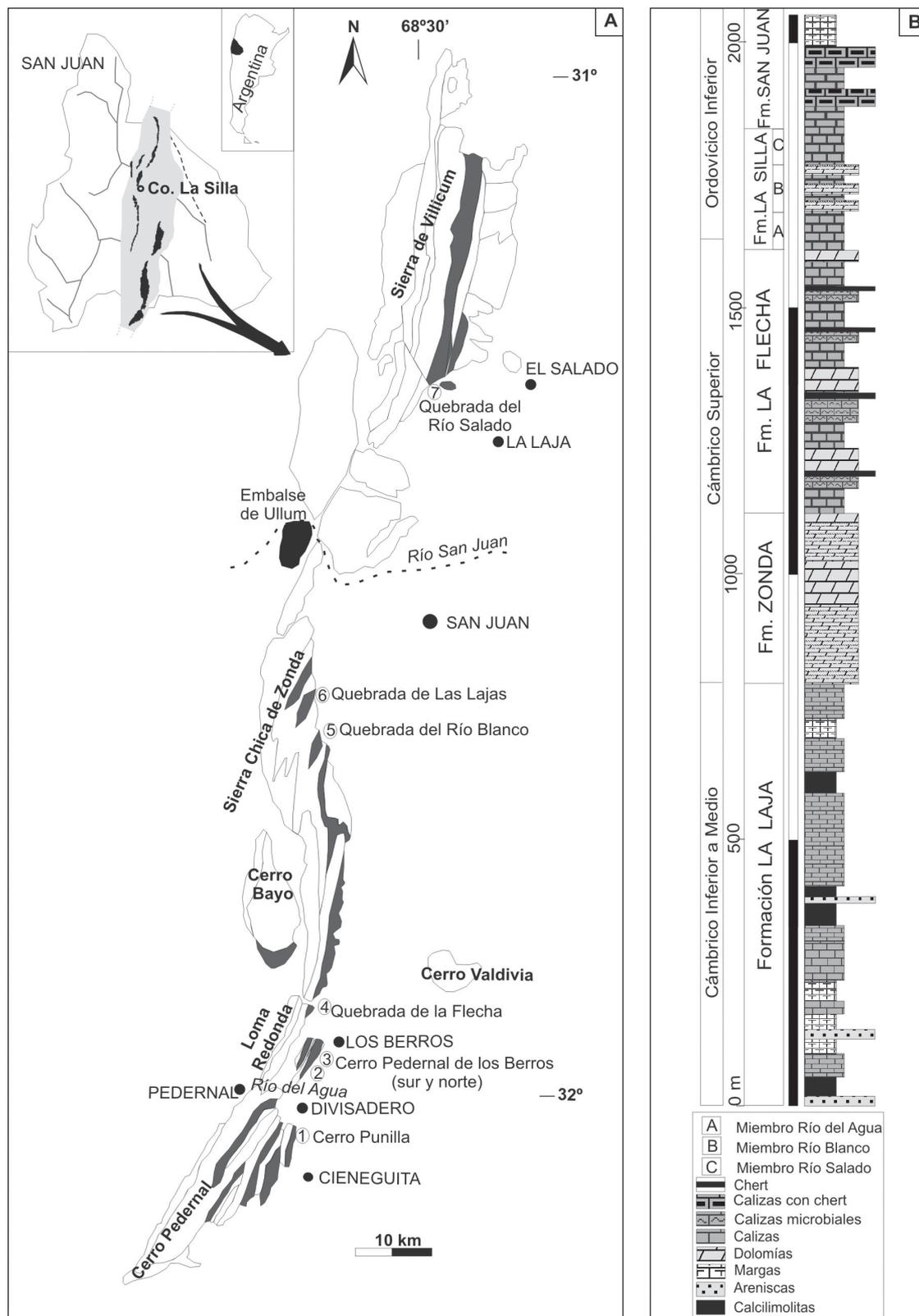


Figura 1. a) Mapa geológico simplificado de la Precordillera Oriental en las cercanías a la ciudad de San Juan mostrando los principales fragmentos estructurales, los afloramientos australes de la Formación La Silla (sombreados) y la ubicación de los siete perfiles estratigráficos. b) Columna estratigráfica carbonática completa desde el Cámbrico Inferior al Ordovícico Inferior.

Figure 1. a) Simplified geological map of the eastern Precordillera in the vicinity of San Juan showing main structural slices, outcrops of La Silla Formation (shaded), and locations of the seven measured sections in the southern sector. b) Stratigraphy of the Early Cambrian to Early Ordovician in this part of the eastern Precordillera.

explota para la industria de la cal. El área de estudio de este trabajo abarca el Cerro Pedernal, Cerro Pedernal de los Berros, Loma Redonda, y las Sierras Chica de Zonda y Villicum, del sur de la provincia. El estudio realizado se basa en siete perfiles estratigráficos relevados al sur del estratotipo de dicha unidad, y uno en el estratotipo.

El objetivo de este trabajo es el de proponer la subdivisión formal, según el Código Argentino de Estratigrafía (CAE, 1992), de la Formación La Silla anteriormente considerada como una unidad monótona. La división se hace en tres partes debido al contraste litológico producido por la presencia de dolomitización asociada a determinadas facies en el sector medio. Los tres miembros no coinciden, en general, con las tres secuencias somerizantes reconocidas por Keller (1999). Este trabajo es un prelude necesario para nuestra nueva interpretación del paleoambiente en esta fase única de plataforma.

AREA DE TRABAJO

La Precordillera de Cuyo es una provincia geológica ubicada en la zona centro-oeste de Argentina, limitada al oeste por la Cordillera Frontal y al este por las Sierras Pampeanas Occidentales. Ha sido subdividida según sus sucesiones sedimentarias distintivas y sus diferentes estilos estructurales, en tres fajas meridiana: la Precordillera Oriental (Ortiz y Zambrano, 1981), la Precordillera Central y la Precordillera Occidental (Baldis y Chebli, 1969).

La Precordillera Oriental se desarrolla en la provincia de San Juan con una estructura compuesta por láminas imbricadas, con vergencia al oeste, elevadas por sobrecorrimientos que buzan al este. El área de estudio de este trabajo se sitúa dentro de esta sub-provincia entre los paralelos 31° y 32° sur y los meridianos 69° y 68°30' oeste y abarca el Cerro Pedernal, Cerro Pedernal de los Berros, Loma Redonda, y las Sierras Chica de Zonda y Villicum, con una extensión de afloramientos del orden de los 140 km de norte a sur y 10 km de este a oeste (Fig. 1a). Los perfiles elegidos están distribuidos en tres zonas: en la zona sur, se eligieron perfiles ubicados en los cerros Punilla (flanco este del cerro Pedernal) y Pedernal de Los Berros (flanco este, perfil sur y perfil norte), por poseer excelentes afloramientos y accesibilidad. En forma adicional se relevó un perfil en la quebrada de La Flecha donde la sucesión está completa. Estas tres localidades se ubican en tres diferentes escamas tectónicas que representan varia-

ciones laterales de facies (este-oeste) por el tipo de estructura de retrocorrimiento que poseen estas sierras. En la zona centro se realizaron perfiles que completan la sucesión estratigráfica de esta unidad en el cuerpo central de la sierra Chica de Zonda, como son la Quebrada del Río Blanco y la Quebrada de Las Lajas, ambas zonas con buenos accesos y afloramientos. En la zona norte se relevó un perfil en el flanco sudeste de la Sierra de Villicum, Quebrada del Río Salado. Para comparar e integrar las observaciones se realizó un perfil de control en la zona del Cerro La Silla, al sudeste de la localidad de Jáchal, sector donde fue definido su perfil tipo (Keller *et al.*, 1994).

ESTRATIGRAFIA

Antecedentes de la Formación La Silla

La primera mención acerca de las calizas del Paleozoico Inferior de la Precordillera argentina es de Kayser (1876) quien las denominó “calizas infrasilurianas fosilíferas”, al describir los fósiles encontrados allí por Stelzner (1873). Kobayashi (1937) reestudió las colecciones de Kayser asignándolas al Ordovícico y denominando a las calizas con dicha fauna: “San Juan limestones”. Amos (1954) describió al espeso grupo de calizas, conocido hasta entonces como “Calizas cambro-ordovícicas” o “Calizas ordovícicas”, y las designó como “Calizas San Juan”, término que, según él, había sido propuesto poco antes por Harrington (inédito). Agregó además que fue Stappenbeck (1910) el primero en señalar las calizas que forman la Sierra Chica de Zonda como calizas “silúricas” (=ordovícicas). Harrington en Harrington y Leanza (1957) asignó edad llanvirniana a estas “Calizas San Juan”, cuyo nombre proviene de la provincia de San Juan donde tienen el máximo desarrollo y distribución y están restringidas al sector oriental de la Precordillera. Las describieron y subdividieron en dos unidades: inferior maciza y superior lajosa. Espisúa (1968) en su estudio en el río Las Chacritas, Precordillera Occidental observó estas dos unidades denominándolas Miembro Inferior o de Calizas Macizas y Miembro Superior o de Calizas Lajosas, homologándolas por sus caracteres litológicos y faunísticos con la Formación San Juan (Formación Calizas San Juan Harrington en Harrington y Leanza, 1957). Borrello (1962) separó por primera vez las rocas cámbricas fosilíferas de las calizas ordovícicas, introduciendo el nombre de “Formación Caliza La Laja”. Posteriormente Bordonaro (1980, 1986) realizó una detallada estrati-

grafía del Cámbrico Inferior a Medio de la Formación La Laja. Distinguió las dolomías no fosilíferas sobreya-centes y las denominó Formación Zonda, asignándoles una edad cámbrica tardía por la posición estratigráfica. Baldis *et al.* (1981a, b) hicieron una descripción de la sucesión calcáreo-dolomítica ubicada entre el Ordovícico Inferior y el Cámbrico Superior (entre la Formación San Juan y la Formación La Laja), y propusieron la denominación de Formación La Flecha (para la sierra Chica de Zonda) y Formación San Roque en Jáchal, para el conjunto de carbonatos que se caracterizan por la repetición cíclica de las facies y el alto contenido de estromatolitos y trombolitos. Beresi y Bordonaro (1984) en la quebrada de Las Lajas, describieron las sedimentitas calcáreas de la Formación San Juan, caracterizando las litofacies de las dos secciones clásicas: lajosa superior y maciza inferior.

Keller *et al.* (1994) a partir de nuevos estudios estratigráficos y el hallazgo de nuevos datos paleontológicos propusieron modificaciones en los límites y las edades de algunas de las Formaciones antes definidas, agregando en ciertos casos una corta descripción de las características litológicas más importantes. Estos cambios en la definición de los límites implican, según el Código Argentino de Estratigrafía (artículo 23.1; 1992), una redefinición de las unidades estratigráficas. De esta manera quedaría redefinida la Formación San Juan (Kobayashi, 1937; *emend.* Keller, *et al.*, 1994). Al mismo tiempo, estos autores observaron la existencia de notables diferencias dentro de la potente sucesión carbonática que permitieron definir una nueva unidad: la Formación La Silla, que es mapeable desde Guandacol, La Rioja, hasta la sierra Chica de Zonda en San Juan. Esta nueva Formación está integrada por los niveles inferiores de la Formación San Juan y por la parte superior de las Formaciones San Roque y La Flecha (Baldis *et al.*, 1981a, b). El nombre deriva del cerro La Silla, ubicado al sudeste de San José de Jáchal y noreste de Niquivil, en el norte de la Precordillera de San Juan, con el estratotipo ubicado en el flanco norte del cerro homónimo. Dichos autores encontraron trilobites y conodontes que permitieron una datación aproximada y la posibilidad de correlacionarlos con las zonaciones de América del Norte y Baltoescandinavia. Con el material fosilífero obtenido, le asignaron a esta nueva Formación una edad que abarca desde el Cámbrico Tardío al Tremadociano Tardío. Posteriormente esta unidad fue descrita por Cañas (1999) y Keller (1999) quienes analizaron e interpretaron sus facies y paleoambientes depositacionales.

Descripción litológica

Las facies de la Formación La Silla que hemos reconocido coinciden en parte con lo interpretado por Cañas (1999) y Keller (1999). Sin embargo lo que Keller (1999) identifica como mudstones serían, según nuestras observaciones, grainstones compuestos por pequeños peloides. La abundancia y características de niveles de dolomías tanto macizas como laminadas nos hacen considerar a estas litologías como nuevas facies. A partir de esta revisión se trabaja en la elaboración de un nuevo modelo paleoambiental (Raviolo *et al.*, en preparación). Las facies serán descritas en orden decreciente según su abundancia relativa en todas las secciones medidas.

Facies

1. Facies de grainstone peloidal

Está compuesta por peloides generalmente elipsoidales, bien seleccionados (200 mm, promedio), con una cantidad variable de lumps, fragmentos escasos de bioclastos y excepcionalmente ooides (Fig. 2a,b). La estratificación es maciza y potente (Ingram, 1954), generalmente tabular, aunque en algunos casos es lenticular. Localmente se observa bioturbación y laminación cruzada de óndulas. Esta facies representa deposición en ambientes submareales someros, bajo condiciones uniformes de turbulencia.

2. Facies de grainstone oolítico

Esta facies está compuesta por ooides bien seleccionados (con un diámetro promedio de 450 mm) y variable cantidad de grapestones. Los peloides son comunes y los bioclastos escasos (Fig. 2c). La estratificación es generalmente maciza, en bancos de decenas de centímetros a pocos metros, localmente con laminación cruzada. Esta facies se origina en ambientes de moderada a alta energía e indica pequeños bancos carbonáticos según lo expresado por Cañas (1999), o capas producto de eventos de tormenta, según Keller (1999).

3. Facies de rudstone intraclástico

Esta facies consiste en intraclastos subangulares a redondeados (1-10 cm) compuestos por mudstone y/o grainstone, con una matriz peloidal u oolítica, y localmente con intercalaciones de láminas de mudstone (Fig. 2d). Algunos de estos intraclastos están dolomitizados. Forman delgadas láminas de 10-50 cm. Suelen rellenar bases erosivas cóncavas cuyo relleno grada desde los rudstone intraclásticos a la base, hacia las facies de

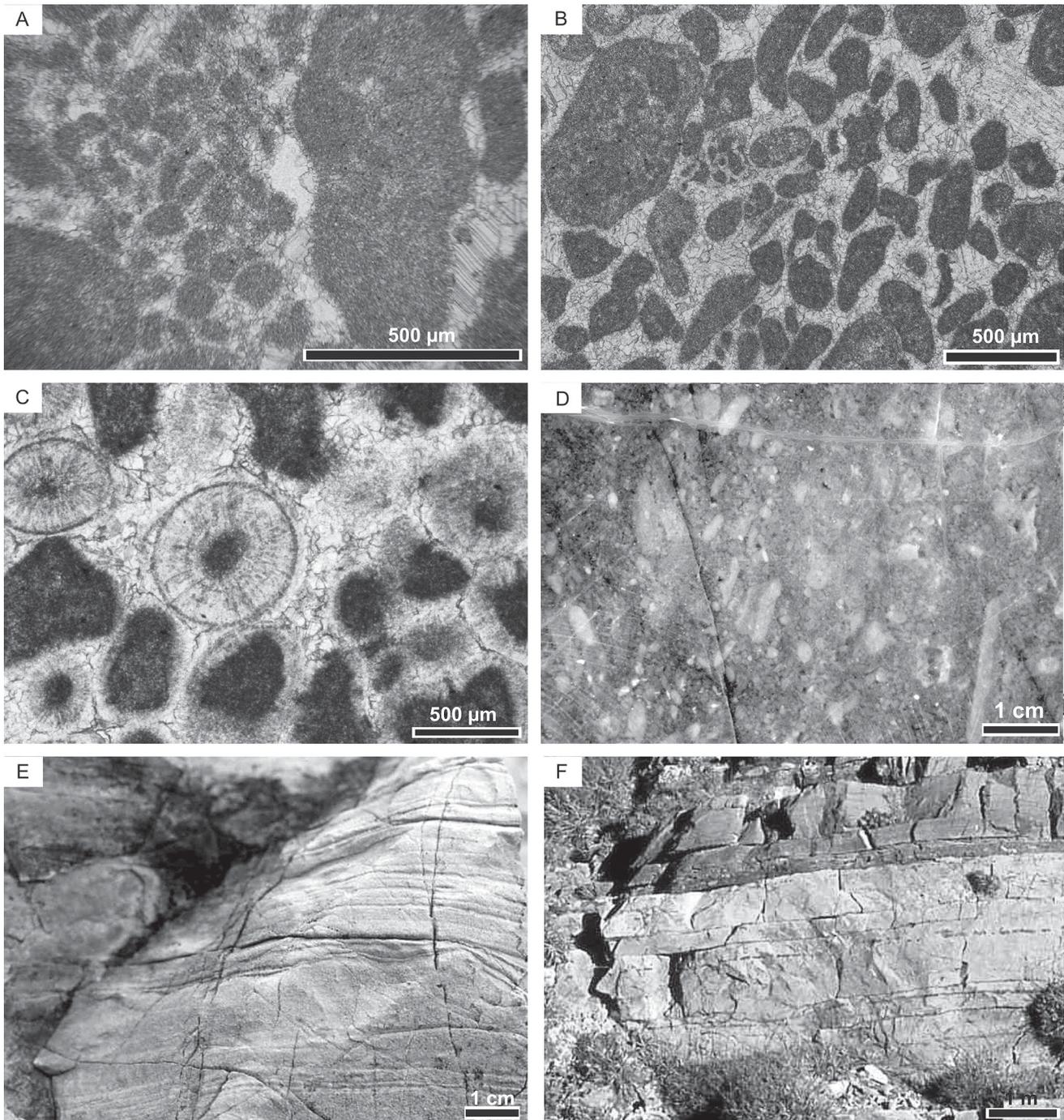


Figura 2. Ejemplos de algunas de las facies reconocidas en la Formación La Silla. a, b) Microfotografías de la facies de grainstone peloidal, con la presencia de lumps. a) Miembro Río del Agua, Quebrada del Río Blanco. b) Miembro Río Salado, Quebrada de la Flecha. c) Microfotografía de la facies de grainstone oolítico, compuesta de ooides radiales y algunos peloides y lumps. Miembro Río del Agua, Quebrada del Río Blanco. d) Fotografía de una superficie pulida de la facies de rudstone intraclástico, pueden distinguirse peloides en la matriz. Miembro Río Blanco, Quebrada de Las Lajas. e) Facies de dolomías laminadas en afloramiento. Miembro Río Blanco, Quebrada de La Flecha. f) Facies de dolomías macizas en afloramiento, con estratificación tabular a levemente ondulada, las dolomías están acompañadas por chert en nódulos y en bancos. Miembro Río Blanco, Quebrada del Río Salado.

Figure 2. Some examples of facies recognized in La Silla Formation. a, b) Thin sections of peloidal grainstone facies composed of peloids and admixed lumps. a) Río del Agua Member, Quebrada del Río Blanco. b) Río Salado Member, Quebrada de la Flecha. c) Thin section of ooidal grainstone facies composed of radial ooids and admixed peloids and lumps. Río del Agua Member, Quebrada del Río Blanco. d) Polished surface of intraclastic rudstone facies with peloidal matrix. Río Blanco Member, Quebrada de Las Lajas. e) Outcrop of laminated dolostone facies. Río Blanco Member, Quebrada de La Flecha. f) Outcrop of massive dolostone facies, showing tabular and gently undulating bedding and interbedded chert nodules and thin beds (dark-grey). Río Blanco Member, Quebrada del Río Salado.

grainstone peloidales y las facies de dolomías laminadas al techo. Además, al techo de esta sucesión puede haber un banco de la facies de dolomías macizas. No presenta indicios de exposición subaérea. Esta facies está formada por importantes eventos erosivos, en ambientes submareales someros, luego de períodos de relativa calma que permiten la cementación del sedimento infrayacente. La alternancia de láminas de mudstone representa las condiciones de calma.

4. Facies de dolomías laminadas

Consiste en láminas dolomitizadas que a nivel microscópico están dadas por la alternancia de láminas de mosaicos dolomíticos planar-s (cf. Sibley and Gregg, 1987) de cristales pequeños y otras de cristales de mayor tamaño. Cada lámina tiene un espesor de pocos milímetros y en conjunto forman niveles de variados espesores, generalmente en el orden de decenas de centímetros. Es común que el techo de algunos de estos bancos presente perfiles de óndulas simétricas (flujo oscilatorio). Se observa laminación plana-paralela y/o laminación cruzada de ondulitas (Fig. 2e). La laminación es inducida por olas, no de origen microbial, e indica eventos de mayor energía de olas en un ambiente general de energía moderada. Esto sugiere que la textura original puede haber sido un grainstone compuesto principalmente de lumps y/o pequeños intraclastos que fueron erosionados del grainstone cementado subyacente. El estudio sobre la dolomitización es objetivo de otro trabajo.

5. Facies de dolomías macizas

La dolomita es finamente gradada (aproximadamente 80 mm en promedio), son cristales equigranulares, sub a anhedrales, planar-s (Sibley y Gregg, 1987). Consiste en niveles de dolomías con espesores que varían desde decenas de centímetros hasta bancos potentes (máximo de 5 metros), donde el reemplazo por dolomita ha sido total, sin conservar textura o estructuras depositacionales. Estos bancos tienen continuidad lateral o son lenticulares (Fig. 2f). Los contactos hacia la base y al techo pueden ser netos o graduales. En la facies 4 se conservan las estructuras sedimentarias originales a pesar de la dolomitización, la ausencia de éstas en la facies 5 puede sugerir que las calizas originales carecían de estructuras bien definidas.

6. Facies de packstone peloidal

En esta facies la micrita forma una matriz alrededor de peloides y/o bioclastos. La estratificación suele ser

maciza aunque localmente puede ser laminada o nodular. Es común un aspecto moteado debido a la bioturbación (*Thalassinoides*) que es preferentemente dolomitizada y silicificada. La naturaleza peloidal apunta al hecho de que el sedimento fue originalmente depositado bajo condiciones de moderada turbulencia en ambientes submareales, pero fue modificada por bioturbación bajo condiciones de menor energía.

7. Facies de mudstone

Mudstone y wackestone peloidales o bioclásticos son muy escasos. Forman láminas intercaladas con grainstone peloidales de facies 1 y con rudstone intraclásticos de facies 3. La escasez de mudstone en esta porción de plataforma estudiada indica que la cantidad de fango carbonático generado es muy poca. Las láminas de mudstone dentro de facies de grano grueso señalan episodios tranquilos.

8. Láminas microbiales

Esta facies muestra una laminación uniforme, planar a ondulada, a veces en domos formando estromatolitos LLH (“laterally-linked hemispheroidal”). Compuesta por la alternancia a escala milimétrica de láminas dolomitizadas con láminas de calizas sin dolomitizar, láminas de distintos colores en calizas de grano fino, o intercalación de láminas de grainstone peloidales y fango carbonático. Forman bancos delgados con espesores en el orden de pocas decenas de centímetros. Algunas de estas estructuras son resaltadas por la presencia de chert o dolomitización. La ausencia de estructuras sedimentarias de alta energía, la uniformidad y extensión lateral de las láminas, la presencia de algunas fenestras y la ausencia de evidencias de exposición subaérea prolongada son indicio de que esta facies posee un origen microbial en un ambiente submareal somero durante épocas donde la acción de las olas era reducida en zonas protegidas de un “shoal” o banco carbonático (ambiente de “lagoon”), o en planicies intermareales de baja energía (p.e. Pratt y James, 1982).

9. Arrecifes trombolíticos

Los trombolitos son de aspecto moteado dado por la dolomitización o por una textura diferente que produce cambios de color en las motas. Suelen tener un aspecto áspero y corresponden a aquellos con la fábrica radial y a veces vertical (Armella, 1994). Poseen algunos bioclastos de trilobites asociados. Estos con una macroestructura columnar (Cañas y Carrera, 2003) están aso-

ciados a grainstones peloidales y oolíticos con estratificación entrecruzada. Esta facies constituye pequeños arrecifes formados por calcificación microbial (p.e. Riding, 2000) en ambientes submareales con energía alta (Cañas y Carrera, 2003).

Miembros

Keller (1999) realizó una subdivisión tripartita informal de la Formación La Silla en la que cada unidad representa una sucesión somerizante. En este trabajo se propone dar una nomenclatura formal a tres miembros diferentes de la Formación La Silla pero el criterio para la subdivisión varía del usado anteriormente. Los espesores totales de la Formación y los de cada miembro son similares en ambas subdivisiones, la diferencia fundamental es que no hay coincidencia en la determinación e interpretación de algunas facies. Tal es el caso de “wackestone association” y “microbial boundstone association”, que componen prácticamente la ‘unidad 2’ de Keller, ya que en nuestro trabajo no ha sido observada la facies de mudstone con la abundancia e importancia mencionada. No hemos encontrado indicios de sucesiones somerizantes en las secciones medidas. Las facies descritas en este trabajo como ‘dolomías macizas’ y ‘dolomías laminadas’ reflejan una característica notable que está acotada al sector central de la Formación y que también es mencionada por Keller (1999) en su ‘secuencia 10’ pero con diferentes interpretaciones. Las denominadas ‘unidad 3’ y la ‘unidad 1’ que están compuestas principalmente por “peloidal-grainstone association” serían, en general, similares al miembro superior y miembro inferior de este trabajo, pero en nuestro caso los límites entre miembros no representan cambios abruptos del nivel relativo del mar y por ende no coinciden con los límites de unidades establecidos por Keller (1999).

En este trabajo la subdivisión que se propone está basada en un criterio estratigráfico basado en la presencia de ciertas facies que están resaltadas por dolomitización y que están acotadas al tramo central de la unidad. El comportamiento diferencial en el sector medio de la Formación, fácilmente reconocible en el terreno en todos los perfiles analizados, permitió proponer la subdivisión de la unidad en tres miembros, informalmente reconocidos por Raviolo y Bordonaro (2005). Características como el color y aspecto macizo permiten identificar a los niveles de dolomías rápidamente a simple vista. Esta intercalación le otorga al sector medio un aspecto bandeado, que contrasta

con los miembros superior e inferior con estratificación maciza.

La distribución de facies en la Formación La Silla es uniforme, las únicas facies que se ubican exclusivamente en el miembro medio son las dolomías macizas y las laminadas que evidencian ambientes con una energía algo mayor al ambiente general. El hecho de que solo en el Miembro Río Blanco se encuentren óndulas, estratificación entrecruzada y bases erosivas, puede significar un determinado período de la evolución de la plataforma en el que eventos mayores de tormenta afectaron el sustrato, o puede representar un determinado lugar de la plataforma donde el efecto de las tormentas se preserva mejor.

La nomenclatura de los tres Miembros propuestos está tomada de tres localidades de la Precordillera Oriental donde cada sub-unidad está mejor representada y sirven como estratotipos. No obstante, esta división y nomenclatura se aplica claramente en el estratotipo que aflora en el cerro La Silla (Fig. 3).

De base a techo los miembros se denominan:

Miembro Río del Agua: Esta unidad tiene un espesor promedio de 85 m. Se caracteriza principalmente por tener calizas macizas (Fig. 4a) de color gris medio y que pertenecen principalmente a las facies de grainstone peloidal, rudstone intraclástico y grainstone oolítico. Es común en varios niveles de este Miembro la presencia de bioturbación moderada a intensa en general con aspecto moteado, irregular, dolomitizada o silicificada, en algunos casos es posible identificar trazas de tipo *Thalassinoides*. En varios perfiles, hacia la base del Miembro, se observan estructuras microbiales trombolíticas; en el perfil del cerro La Silla son estromatolitos de tipo LLH. Hay varios casos de laminación paralela en calizas o alternancia de láminas de espesor milimétrico de caliza alternando con láminas de dolomía (facies 8). Este Miembro no posee bancos de dolomías, excepto en el perfil de la quebrada de Las Lajas, que presenta escasos niveles de dolomías hacia la base, cercanos al contacto con Formación La Flecha. En algunos de los perfiles analizados hay bancos de chert con base y techo planos, concordantes con la estratificación, intercalados entre las calizas. Este Miembro se halla muy bien representado en los afloramientos más australes: cerro Punilla y Loma Redonda, cercanos al río del Agua, localidad de donde toma su nombre. Se propone como estratotipo la sección del cerro Pedernal de los Berros Norte.

El contacto entre este miembro y la Formación La

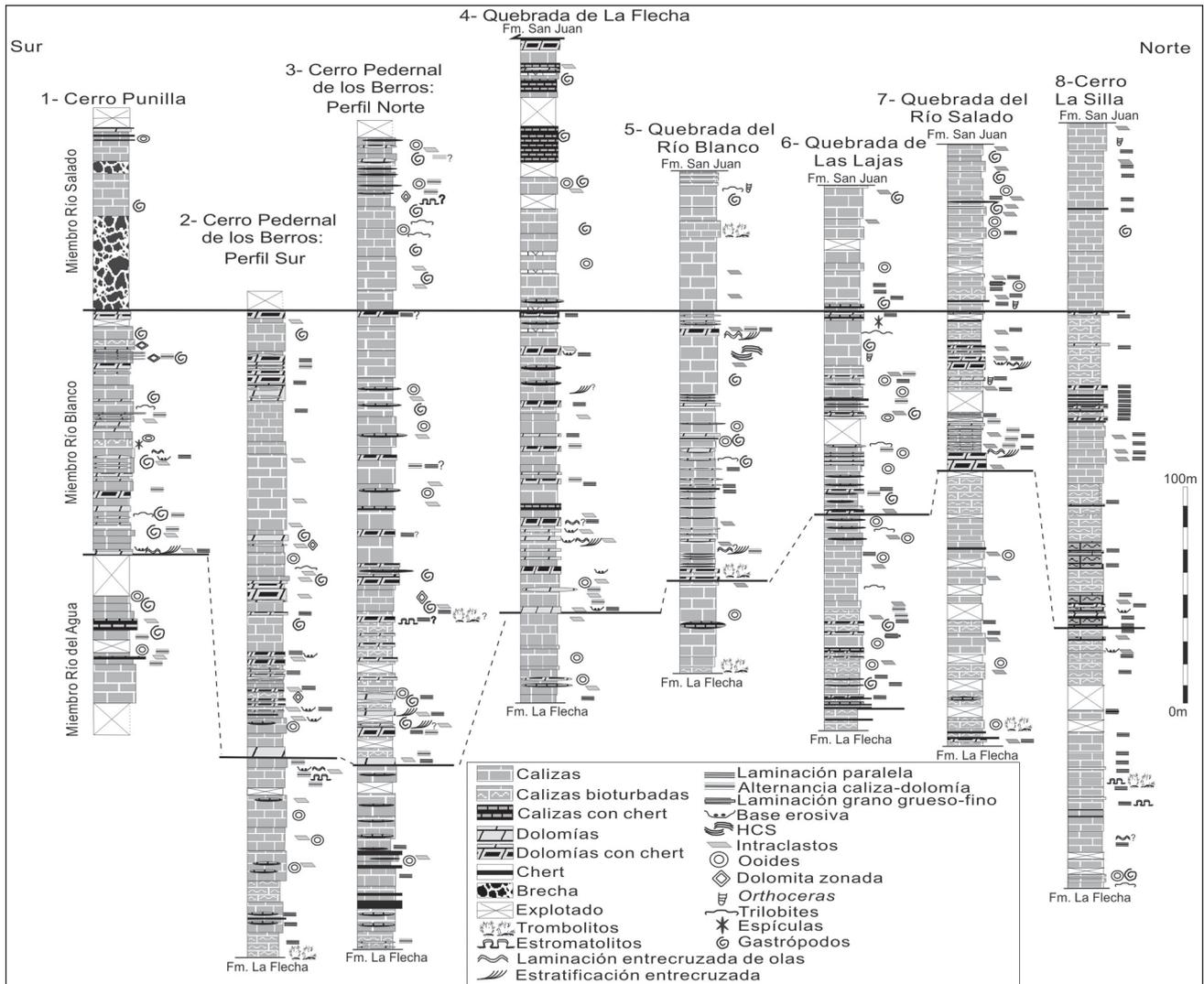


Figura 3. Correlación de las columnas estratigráficas de la Formación La Silla, niveladas a la base del Miembro Río Salado, con el detalle de las texturas, componentes observados en microscopio y las estructuras deposicionales.

Figure 3. Stratigraphic sections of the La Silla Formation with depositional textures and structures. Datum is base of Río Salado Member.

Flecha es gradual, con una disminución de las estructuras microbiales características de la Formación La Flecha hacia la base de la Formación La Silla. En algunos casos se coloca el límite Formacional al techo del último nivel dolomítico de la Formación La Flecha que tiene evidencias de erosión y retrabajo. En los casos donde no se observa ese nivel, el límite se ubica al techo del último paquete con los típicos trombolitos.

Miembro Río Blanco: El espesor promedio del miembro es de 140 m. Está definido por una importante alternancia de calizas macizas grises con dolomías amarillentas laminadas y/o macizas (Fig. 4b). El espesor de

los bancos de dolomías varía entre un máximo de 5 m (perfil Río Salado) hasta un mínimo de decenas de centímetros. Se observa un promedio de 14 bancos de dolomías aunque en el perfil del río Blanco se registran 26 bancos en total. La intercalación litológica entre calizas y dolomías, y por lo tanto la variación de colores de afloramiento, le da a este Miembro un aspecto bandeado. El contacto entre calizas y dolomías puede ser gradual o neto. Los bancos de dolomías, en su mayoría con chert de variadas morfologías (lentes, nódulos, capas con base y techo planos), pueden ser lenticulares o poseer continuidad lateral por grandes distancias. Las evidencias de mayor energía (bases ero-

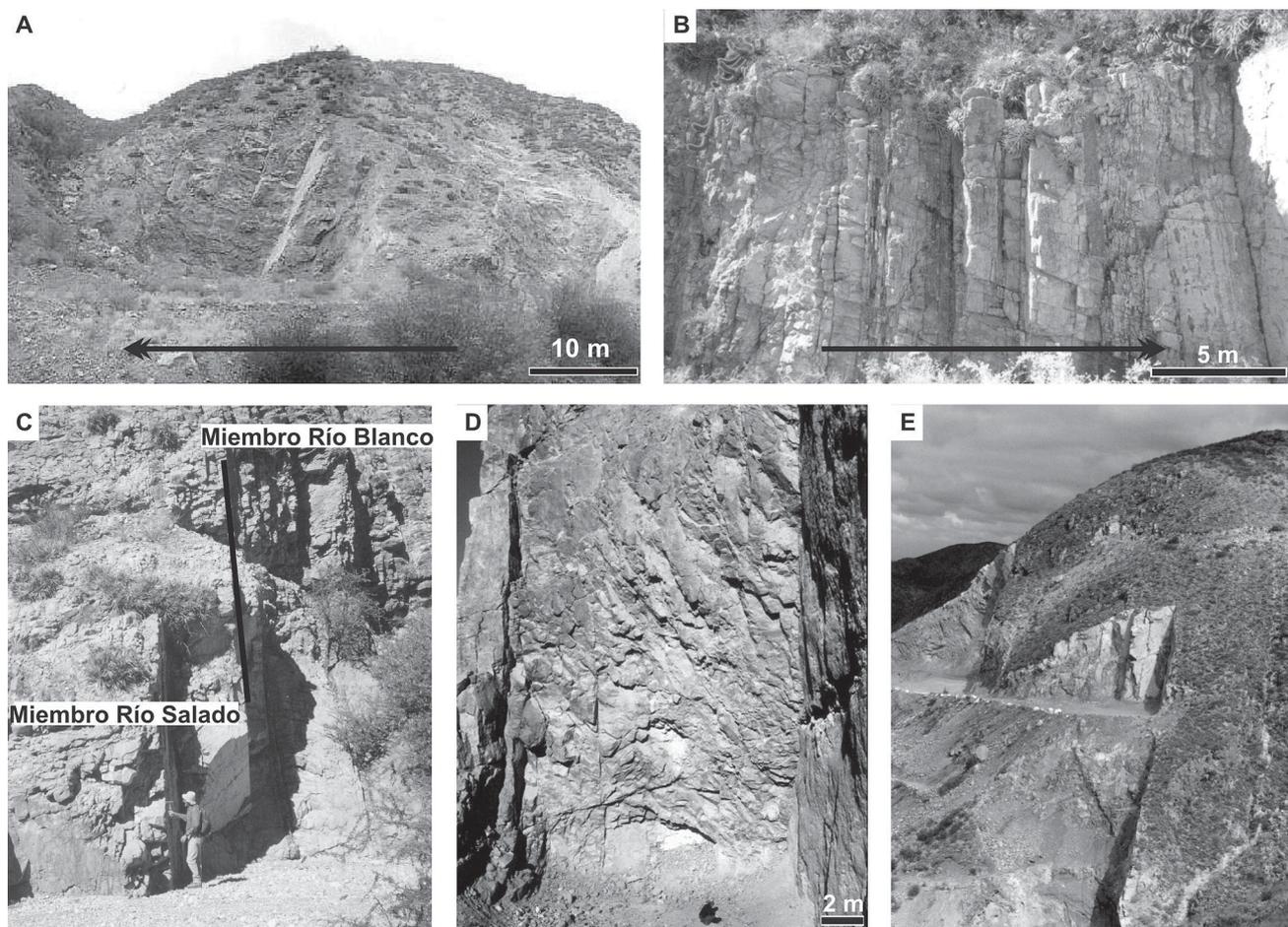


Figura 4. Aspecto general de los Miembros en afloramiento. a) Sector del Miembro Río del Agua, en la Quebrada de Las Lajas, caracterizado por poseer espesores potentes, de aspecto macizo (el sentido de la flecha indica el techo). En algunos sectores ha sido explotado, como en este ejemplo. b) Miembro Río Blanco en su sección tipo (el sentido de la flecha indica el techo). Nótese la gran alternancia entre bancos de caliza y bancos de dolomía asociados generalmente a chert (en nódulos o en bancos). c) Contacto entre el Miembro Río Blanco, en el sector superior de la foto se puede observar su estratificación característica, y el Miembro Río Salado, macizo. Fotografía tomada en el perfil de la Quebrada del Río Blanco. d) Detalle de una zona de explotación en el Miembro Río Blanco, en este caso es posible explotar, excepcionalmente, la caliza entre 2 bancos de dolomías macizas, con techo y base netos. Perfil del Cerro Pedernal de los Berros Sur. e) Detalle de una zona de explotación en el Miembro Río Salado, Cerro Punilla.

Figure 4. Outcrops of La Silla Formation at selected measured sections. a) Thick-bedded to massive Río del Agua Member, Quebrada de Las Lajas (arrow points towards stratigraphic top). b) Limestone-dolostone alternation in Río Blanco Member, type section in Quebrada del Río Blanco (arrow points towards stratigraphic top). c) Contact between thin- and medium-bedded Río Blanco Member and thick-bedded to massive Río Salado Member, Quebrada del Río Blanco. d) Quarried limestone interval sandwiched between massive dolostones in Río Blanco Member, Cerro Pedernal de los Berros Sur section. e) Quarried interval in Río Salado Member, Cerro Punilla.

sivas, laminación entrecruzada de óndulas) son resaltadas por la dolomitización. Son comunes también los rudstones intraclásticos, bancos de grainstones oolíticos y la alternancia entre láminas de caliza con láminas de dolomías de origen microbial. También hay estructuras trombolíticas. En algunos casos (Cerro Pedernal de los Berros Sur), las calizas de este miembro ha sido selectivamente explotadas por las canteras de la zona

(Fig. 4d). Este Miembro tiene un buen desarrollo en la quebrada homónima, sobre la sierra Chica de Zonda donde se localiza la sección tipo.

La base y el techo de este miembro son superficies netas, se eligen siempre a la base y al techo de bancos de dolomías macizas, por encima o por debajo de los cuales, se desarrolla un paquete de calizas peloidales entre 40-80 m sin intercalaciones dolomíticas.

Miembro Río Salado: Esta unidad tiene un aspecto macizo (Fig. 4c, e), con un espesor de 81 m en promedio. Está compuesto principalmente por calizas grises de la facies grainstone peloidal, sin intercalaciones de dolomías. Se han observado niveles con facies de rudstones intraclásticos; grainstones oolíticos; laminación microbial y también facies trombolíticas en el perfil del Río Blanco. No han sido identificadas estructuras que indiquen alta energía como las descritas en el Miembro anterior. La dolomitización es parcial y escasa y suele estar relacionada a esporádicas bioturbaciones. Hacia el techo del Miembro, cerca del contacto superior, la estratificación se hace lajosa o nodular y las calizas cambian de color a gris muy oscuro. En el perfil del cerro Punilla se observa, excepcionalmente, un depósito de aproximadamente 45 m de brecha tectónica, con clastos de calizas, dolomías y chert. Este Miembro es el más explotado por las canteras de la zona desde hace más de 50 años, debido a su favorable ubicación en la mayoría de los casos (próximos a los caminos) y por poseer potentes espesores de calizas de muy buena calidad (Fig. 4e). En uno de los afloramientos más australes de la Formación (sur-este del cerro Pedernal de los Berros) este Miembro no aflora, en otros perfiles australes (cerro Punilla y cerro Pedernal de los Berros) el mismo ha sido intensamente explotado y no se ha podido medir un perfil representativo. En cambio, en los perfiles del centro y norte se encuentran buenos afloramientos. La sección tipo de este Miembro se ubica en la quebrada del Río Salado, en el flanco sur-este de la sierra de Villicum.

El límite entre la Formación La Silla y la Formación San Juan es un tramo de transición marcado por superficies netas de calizas nodulares fosilíferas oscuras que están en contacto con las calizas peloidales grises características de la Formación La Silla. El contacto entre el Miembro Río Salado y la Formación San Juan se coloca arbitrariamente a la base del primer banco de calizas nodulares, eligiendo este criterio ya que el contacto entre ambas unidades es gradual y concordante, con la alternancia de bancos de las dos Formaciones dos o tres veces por unos seis metros en promedio antes del completo desarrollo de la Formación San Juan.

La definición de Miembros en la Formación La Silla es importante no sólo para la estratigrafía regional, sino también para la principal industria de la zona que es la explotación de calizas. Esta subdivisión será útil en la prospección y explotación de calizas de las canteras actuales y de otras en el futuro, ya que permite realizar una explotación selectiva de niveles óptimos.

CONCLUSIONES

El estudio detallado de siete perfiles de la Formación La Silla ubicados en la Precordillera Oriental de San Juan y su correlación con el estratotipo en el cerro La Silla, cerca de Jáchal, ha permitido mejorar el conocimiento estratigráfico y litofacial de esta unidad.

Se observó una marcada subdivisión de la unidad en tres partes, en las que es notable la diferencia entre el tramo central respecto al superior e inferior. Se propone la subdivisión formal en tres miembros denominados: Miembro Río del Agua, Miembro Río Blanco y Miembro Río Salado, nombres tomados de las ubicaciones de sus estratotipos en el sector del sur.

Esta subdivisión se basa en la presencia de bancos dolomíticos exclusivamente en el Miembro Río Blanco y de calizas macizas en los Miembros Río del Agua y Río Salado. Las nueve facies, incluyendo las dos nuevas facies de dolomías laminadas y dolomías macizas, caracterizan una plataforma de energía moderada y una falta general de fango carbonático. La dolomitización está acotada a determinadas facies con evidencias de mayor energía en la plataforma durante la depositación del Miembro Río Blanco.

A partir de esta revisión se trabaja en la elaboración de un nuevo modelo paleoambiental y un conocimiento del origen de la dolomitización.

Agradecimientos

Este trabajo se deriva de la tesis doctoral de Mariana M. Raviolo, dirigida por Osvaldo L. Bordonaro, realizada en la Universidad Nacional de San Juan. La misma se financió a través de una Beca Doctoral Interna de CONICET. La participación de Brian R. Pratt fue financiada por el Natural Sciences and Engineering Research Council de Canadá. Damos gracias al personal de las canteras que permitieron nuestro ingreso a algunos perfiles ubicados en sus propiedades: Canteras Albors, El Triunfo, Caleras San Juan y Minera TEA. Agradecemos a M. Keller y un árbitro anónimo por sus comentarios y sugerencias de la versión preliminar del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amos, A., 1954. Estructuras de las formaciones Paleozoicas de la Rinconada, pie oriental de la sierra Chica de Zonda, San Juan. *Revista Asociación Geológica Argentina* 9:5-18.
- Armella, C., 1994. Thrombolitic-stromatolitic cycles of the Cambro-Ordovician boundary sequence, Precordillera Oriental basin, western Argentina. En J. Bertrand-Sarfati y C. Monty (Eds.),

- Phanerozoic Stromatolites* 2:421-441. Kluwer Academic, Dordrecht.
- CAE [Comité Argentino de Estratigrafía], 1992. *Código Argentino de Estratigrafía*. Asociación Geológica Argentina, Serie B, no. 20, Buenos Aires, 64 pp.
- Baldis, B. y G.A. Chebli, 1969. Estructura profunda del área central de la Precordillera Sanjuanina. *IV Jornadas Geológicas Argentinas*, Actas 1:45-65, Mendoza.
- Baldis, B.A., M. Beresi, O.L. Bordonaro y E. Uliarte, 1981a. Estromatolitos, trombolitos y formas afines en el límite Cámbrico-Ordovícico del oeste argentino. *II Congreso Latinoamericano Paleontológico*, Actas I:19-30, Porto Alegre.
- Baldis, B.A., O.L. Bordonaro, M.S. Beresi y E. Uliarte, 1981b. Zona de dispersión estromatolítica en la secuencia calcáreo dolomítica del Paleozoico Inferior de San Juan. *VIII Congreso Geológico Argentino*, Actas II:419-434, San Luis.
- Beresi, M.S. y O.L. Bordonaro, 1984. La Formación San Juan en la quebrada de Las Lajas, sierra Chica de Zonda, provincia de San Juan. *IX Congreso Geológico Argentino*: 95-107, San Carlos de Bariloche.
- Bordonaro, O.L., 1980. El Cámbrico en la quebrada de Zonda, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35:6-40.
- Bordonaro, O.L., 1986. Bioestratigrafía del Cámbrico inferior de San Juan. *IV Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, Actas 1:19-27, Mendoza.
- Bordonaro, O.L., 2003. Review of the Cambrian stratigraphy of the Argentine Precordillera: *Geologica Acta* 1:11-21.
- Borrello, A., 1962. Caliza La Laja (Cámbrico medio de San Juan). *Notas y Comunicaciones de Investigaciones Científicas* 2:3-8, Buenos Aires.
- Cañas, F.L., 1999. Facies and sequences of the Late Cambrian Early Ordovician carbonates of the Argentine Precordillera: A stratigraphic comparison with Laurentian platforms. En V.A. Ramos y J.D. Keppie (Eds.), *Laurentia-Gondwana Connections Before Pangea*. Geological Society of America, Special Paper 336:43-62.
- Cañas, F.L. y M.G. Carrera, 2003. Precordilleran reefs. En J.L. Benedetto (Ed.), *Ordovician Fossils of Argentina*, 131-153. SeCyt, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- Espisúa, E., 1968. El Paleozoico inferior del Río de las Chacritas (Jáchal, San Juan). *Revista Asociación Geológica Argentina* 23:297-311.
- Fanning, C.M., R.J. Pankhurst, C.W. Rapela, E.G. Baldo, C. Casquet y C. Galindo, 2004. K-bentonites in the Argentine Precordillera contemporaneous with rhyolite volcanism in the Famatinian Arc. *Journal of the Geological Society*, London, 161:747-756.
- Finney, S.C., 2007. The parautochthonous Gondwanan origin of the Cuyania (greater Precordillera) terrane of Argentina: a re-evaluation of evidence used to support an allochthonous Laurentian origin. *Geologica Acta* 5:127-158.
- Finney, S.C., S. Peralta, G. Gehrels y K. Marsaglia, 2005. Early Paleozoic history of the Cuyania (greater Precordillera) terrane of western Argentina: evidence from geochronology of detrital zircons from Middle Cambrian sandstones. *Geologica Acta* 3:339-354.
- Harrington, H. y A. Leanza, 1957. *Ordovician Trilobites of Argentina*. Department of Geology, Special Publication 1. University of Kansas Press, Lawrence, 276 pp.
- Ingram, R. L., 1954. Terminology for the thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks. *Geological Society of America Bulletin* 65:937-938.
- Kayser, E., 1876. Contribuciones a la paleontología de la República Argentina. Sobre fósiles primordiales e infrasilurianos. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 8:297-332.
- Keller, M., F.L. Cañas, O. Lehnert y N.E. Vaccari, 1994. The Upper Cambrian and Lower Ordovician of the Precordillera (western Argentina): some stratigraphic reconsiderations. *Newsletters on Stratigraphy* 31:115-132.
- Keller, M., 1999. *Argentine Precordillera. Sedimentary and Plate Tectonic History of a Laurentian Crustal Fragment in South America*. Geological Society of America, Special Paper 341, 131 pp.
- Kobayashi, T., 1937. The Cambro-Ordovician shelly faunas of South America. *Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo*, section 2, 4:369-522.
- Ortiz, A. y J. Zambrano, 1981. La provincia geológica Precordillera Oriental. *VIII Congreso Geológico Argentino*, Actas III:59-74.
- Pratt, B.R. y N.P. James, 1982. Cryptalgal metazoan bioherms of early Ordovician age in the St George Group, western Newfoundland. *Sedimentology* 29:543-569.
- Raviolo, M.M. y O.L. Bordonaro, 2005. Revisión estratigráfica de la Formación La Silla, Precordillera Oriental, San Juan. *XVI Congreso Geológico Argentino*, Acta de resúmenes: 140, La Plata.
- Riding, R., 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial algal mats and biofilms. *Sedimentology* 47 (S1):179-214.
- Sibley, D.F. y J.M. Gregg, 1987. Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Petrology* 57:967-975.
- Stappenbeck, R., 1910. La Precordillera de San Juan y Mendoza. *Ministerio de Agricultura, Sección Geología y Mineralogía, Anales* 4:3-179.
- Stelzner, A., 1873. Mitteilungen an Professor H.B. Gleinitz über seine Reise durch die argentinischen Provinzen San Juan und Mendoza und die Kordillere zwischen dem 35° und 32°S. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 5:726-744.
- Thomas, W.A., y R.A. Astini, 2003. Ordovician accretion of the Argentine Precordillera terrane to Gondwana: a review. *Journal of South American Earth Sciences* 16:67-79.