

# SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DEL GRUPO LA PROVIDENCIA (NOM. NOV.): CUBIERTA SUPERIOR NEOPROTEROZOICA, SISTEMA DE TANDILIA, ARGENTINA

*M. Julia Arrouy*<sup>1</sup>, *Daniel G. Poiré*<sup>1</sup>, *Lucía E. Gómez Peral*<sup>1</sup>, *José María Canalicchio*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Geológicas – CONICET – FCNyM (UNLP). Diag.113 N° 275 esq. 64, La Plata, Argentina. jarrouy@cig.museo.unlp.edu.ar; poire@cig.museo.unlp.edu.ar; lperal@cig.museo.unlp.edu.ar.

<sup>2</sup> Cementos Avellaneda S.A. Planta San Jacinto, Casilla de Correo 53, Paraje San Jacinto, 7400 Olavarría, Argentina. jmc@ol.cavellaneda.com.ar

## ARTICLE INFO

### Article history

Received June 2, 2015

Accepted February 12, 2016

Available online March 11, 2016

### Handling Editor

Ernesto Schwarz

### Keywords

Ediacariano

Cratón del Río de La Plata

Formación Alicia

Lutitas negras

## RESUMEN

La cobertura neoproterozoica del Cratón del Río de La Plata en el área de Sierras Bayas - Olavarría (noroeste del Sistema de Tandilia) constituye el relleno sedimentario más antiguo conocido en Argentina, e incluye al Grupo Sierras Bayas y a la Formación Cerro Negro. El objetivo de este trabajo es presentar un estudio sedimentológico y estratigráfico de detalle sobre las sedimentitas que hasta el presente trabajo eran conocidas como Formación Cerro Negro, al que se agrega aquí el análisis de un paquete sedimentario de más de 150 metros de espesor, conformado por sedimentitas finas silicoclásticas de color gris oscuro a negro. Esta sucesión, identificada sólo en subsuelo, se ubica estratigráficamente entre la sección basal margosa y la sucesión netamente heterolítica que caracteriza a la sección superior de la Formación Cerro Negro en los afloramientos típicos de la unidad. Para este trabajo se realizó un análisis de datos obtenidos de 17 secciones de subsuelo en dos yacimientos en actividad, más dos perfiles en frentes de canteras que corresponden a localidades típicas de la unidad. La descripción y caracterización de las sedimentitas de la Formación Cerro Negro permitió la definición de diez facies sedimentarias, las cuales fueron agrupadas en tres sucesiones de facies (I: margas y arcilitas rojas, II: lutitas negras, limolitas grises e intervalos heterolíticos grises y III: sucesiones heterolíticas y arenosas), que se interpretaron como depositadas en un ambiente de planicie de marea. Los análisis petrográficos y de difracción de rayos X permitieron caracterizar mineralógicamente a las unidades litológicas presentes. En las facies silicoclásticas finas se reconoce un predominio de cuarzo, acompañado de plagioclasas y arcillas, mientras que en las facies margosas se observan contenidos variables de calcita, variedades de la sílice y arcillas. Con respecto a las margas, la illita es el argilomineral que predomina, acompañada de clorita en proporciones moderadas a escasas. Por otra parte, los niveles de areniscas finas a medianas, señalan una buena selección y escasa a ausente matriz. Las mismas se componen de cuarzo monocristalino, plagioclasas, arcillas (illita y clorita), micas detríticas (muscovita y biotita) y minerales opacos (pirita y hematita). Integrando las relaciones estratigráficas de las sucesiones reconocidas en superficie con la información adicional de subsuelo se elaboró un modelo evolutivo de los diferentes estadios tecto-sedimentarios, el cual contribuye a comprender mejor la evolución de los procesos depositacionales ocurridos en el sector central y austral de las Sierras Bayas. El reconocimiento de una nueva sucesión

constituida por sedimentitas finas de coloración gris oscura a negra (sucesión de facies II) conlleva a modificar el esquema estratigráfico existente para el sector noroeste del Sistema de Tandilia. En esta propuesta, a la sucesión de facies I se le asigna el nombre de Formación Avellaneda, la cual queda restringida a las sedimentitas del sector inferior del relleno sedimentario que se encuentra sobre una discontinuidad regional. A la sucesión de facies II, que se ubica por encima de la Formación Avellaneda, se la denomina con el nombre de Formación Alicia. Finalmente, la Formación Cerro Negro *sensu stricto* queda circunscripta al tope de la sucesión sedimentaria y es equivalente a la sucesión de facies III de este trabajo. En este sentido, y a partir de los resultados obtenidos, se propone red denominar a las unidades que suprayacen al Grupo Sierras Bayas como Grupo La Providencia, el cual está integrado por las formaciones Avellaneda, Alicia y Cerro Negro.

---

## EXTENDED ABSTRACT

### *Sedimentology and stratigraphy of the La Providencia Group (nov. nom.): upper Neoproterozoic cover, Tandilia System, Argentina*

The Neoproterozoic sedimentary cover of the Río de La Plata Craton in the Sierras Bayas - Olavarría region, located in the northwestern sector of the Tandilia System, is represented by the Sierras Bayas Group (Villa Mónica, Cerro Largo, Olavarría and Loma Negra formations; Fig. 1), which is unconformably overlain by the Cerro Negro Formation (Poiré and Spalletti, 2005). The Sierras Bayas Group is composed of a variety of different marine sedimentary rocks which are characterized by the absence of strong deformation and metamorphism (Gómez Peral *et al.*, 2007).

Compared to the Sierras Bayas Group, the Cerro Negro Formation received less attention over the last years. In the Sierras Bayas region (Fig. 2), Iñiguez and Zalba (1974) and Iñiguez *et al.* (1989) described and named this unit in well-exposed quarries faces. They indicated that it was mostly composed of siliciclastics (reddish mudstones and sandstones), with subordinated marls in its basal section. In the nearby subsurface area, some authors mentioned the presence of a relatively thick succession of dark fine-grained rocks overlying the Sierras Bayas Group (Amos *et al.*, 1972; Cuomo *et al.*, 1983), but the relationship with the Cerro Negro Formation described in outcrops was unclear.

The aim of this contribution is to present the sedimentological attributes and stratigraphic relationships of the outcrop and subsurface successions

originally reported as Cerro Negro Formation, in order to integrate this upper section of the Neoproterozoic cover in a common evolutionary model. To do so, more than 200 m of cores were described (Fig. 3), and combined with sections measured in the quarries. Conventional sedimentological description (textures, physical structures, bed thickness, etc.), was combined with X-Ray diffraction and standard petrography, in order to define mineralogical composition and proportion of main components. In this context, 181 samples were analyzed by XRD using standard procedures, and 50 thin sections, mostly from siltstones and sandstones, were qualitatively and quantitatively described. This information was integrated in a facies analysis.

The facies analysis allowed to identify and interpret 10 sedimentary facies, based on texture, structures and colors, which are grouped in four categories (Figs. 4-7): marls (massive and laminated marls), siliciclastic mudstones (dark fissile mudstones, red massive mudstones, and grey massive mudstones), mudstone-sandstone with heterolithic bedding (grey heterolithics with lenticular bedding, grey heterolithics with wavy bedding, and red heterolithics with wavy bedding), and finally, sandstones (cross-laminated sandstones and massive sandstones).

Broadly speaking, marls and siliciclastic mudstones are interpreted as the result of settling from suspension, either in oxygen-rich (marls and red massive mudstones) or oxygen-depleted (dark fissile mudstones) sea floors. Heterolithic intervals with lenticular and wavy bedding represent recurrent alternation of settling and traction, the latter mostly as a result of ripple migration. Finally, the sandstones

are interpreted as the product of wave-generated ripple migration (cross-laminated sandstones) or deposition under high-concentrated flows (massive sandstones).

The ten recognized facies occur in a systematic order in the investigated succession. Therefore, three distinctive facies successions were defined (facies successions I, I, and III), and correlated when possible across subsurface or outcrop areas (Fig. 8). Facies successions I (4-25 m thick) comprises laminated and massive marls at the base, which grade vertically into red massive mudstones. Mudcracks are occasionally observed. Clay minerals are mostly illitic (illite and illite/smectite). This succession overlies the regional erosive karstic surface sculpted at the top of the Sierras Bayas Group (named Barker surface) and marks the resumption of mixed carbonate/siliciclastic sedimentation in the area. This facies succession is interpreted as deposited under supratidal conditions in a tidal-flat depositional environment, probably under well oxygenated conditions.

Facies succession II (0-150 m thick) conformably overlies the previous one in many of the investigated cored wells and is composed of dark fissile mudstones and massive grey siltstones, as well as grey heterolithics with lenticular and wavy bedding. In the fine fraction, clays are now dominated by chlorite and illite in similar proportions (Fig. 8b). This facies succession is interpreted to represent low-energy subtidal settings, likely with suboxic to anoxic bottom conditions.

Facies succession III (up to 75 m thick) unconformably rests upon the previous, and represents an abrupt change to red heterolithics with wavy and flaser bedding, together with cross-laminated and massive, fine- to medium-grained sandstones (Fig. 8b). Mudcracks, scour marks and flutes are common in this succession. In these facies quartz and plagioclases are abundant, with subordinated clay minerals, which are composed mainly of illite and less proportion of chlorite. This succession is interpreted to represent subtidal to intertidal settings, probably with well-oxygenated substrates. The top of this succession has been removed by erosion both in subsurface and outcrops.

The spatial (vertical and lateral) distribution of facies successions and their basal boundaries, together with the faults recognized by well correlation, provide the framework for the proposed

tectono-sedimentary model for the investigated Neoproterozoic succession (Fig. 9). This begins with the stage I which coincides with the deposition of the facies succession I over the karstic surface of the top of Sierras Bayas Group. Then, the facies succession II is deposited conformably onto the previous one, and is related here to a sea level drop referred as stage II, which is followed by a transgressive event. Stage I was dominated by marly to clay-rich sedimentation under oxic conditions which turns to anoxic and purely siliciclastic during the stage II. At the end of the stage II the complete succession, including the Sierras Bayas Group strata, was affected by the reactivation of vertical to subvertical faults from the basement with modified the relief by uplift, followed by intense erosion and peneplanation. This period is defined as stage III. Finally, the stage IV is constituted by the deposition of the facies succession III in which the top is not preserved.

The lithological and stratigraphic relationships defined in this contribution for the Neoproterozoic upper strata of the northwestern Tandilia System make necessary to postulate a new lithostratigraphic scheme for them. As mentioned before, the facies succession II is composed of up to 150 meters of mainly black shales and was almost unknown till the present study. This stratigraphic division is lithologically distinctive compared to facies successions I and III and is truncated at the top by an erosional unconformity. This interval is therefore proposed as a new formation here, complying the provisions of the article 28 of the Argentine Stratigraphic Code. This definition drives necessary the re-location of the facies succession I, not as the base of the Cerro Negro Formation, but as a new lithostratigraphic unit as well. In this sense, the facies succession I is here defined as Avellaneda Formation, while facies succession II is termed Alicia Formation (Fig. 10). The name Cerro Negro is here attributed solely to facies succession III, the reddish heterolithics that represent the uppermost part of the investigated strata. Moreover, these three lithostratigraphic units, conforming a discrete depositional record within a single basin, are grouped into a new lithostratigraphic unit defined as La Providencia Group (Fig. 10).

**Keywords:** Ediacaran, Río de La Plata Craton, Alicia Formation, Black shales.

## INTRODUCCION

El Grupo Sierras Bayas y la Formación Cerro Negro (Poiré, 1987) conforman los afloramientos de sedimentitas neoproterozoicas más australes del Cratón del Río de La Plata y se han correlacionado con unidades equivalentes de Uruguay (Gaucher *et al.*, 2005), de los estados brasileños de Paraná y Sao Paulo (Aceñolaza y Ciguel, 1987) y con el Grupo Nama de Sudáfrica (Dalla Salda, 1982; Gaucher *et al.*, 2005). En los últimos años se produjeron importantes avances en el conocimiento de las sedimentitas que integran al Grupo Sierras Bayas en lo que refiere a estudios sedimentológicos, petroológicos, geoquímicos, quimioestratigráficos, entre otros (Gaucher *et al.*, 2005; Gómez Peral *et al.*, 2007, 2011, 2014; Poiré y Gaucher, 2009; Rapalini *et al.*, 2013; Baganud-Velásquez *et al.*, 2013). Sin embargo, las sedimentitas que suprayacen a este grupo, conocidas hasta el presente como Formación Cerro Negro cuentan con escasos trabajos en el área (Iñiguez y Zalba, 1974; Andreis *et al.*, 1992).

Iñiguez y Zalba (1974) describieron por primera vez una unidad constituida por margas y pelitas en la cantera Cerro Negro, para la cual propusieron el nombre de la misma para llamar a la formación, describiéndola como una sucesión psamo-pelítica de composición litológica diferente al resto de las unidades del Grupo Sierras Bayas y que se ubicaba en discordancia sobre las calizas de la Formación Loma Negra. Posteriormente Iñiguez *et al.* (1989) describieron a la Formación Cerro Negro como una sucesión conformada por areniscas finas con frecuente laminación ondulítica y arcilitas de alrededor de 110 m de espesor, que poseía un color característico castaño rojizo con infrecuentes tonalidades verdosas. Más tarde esta unidad fue interpretada por Andreis *et al.* (1992) como dos sistemas depositacionales, uno basal representado por sucesiones de facies calcáreas y silicoclásticas (que cubre totalmente un relieve cárstico) y un sistema depositacional superior constituido por sucesiones de facies netamente silicoclásticas.

Por otro lado, en la misma región y en un nivel estratigráfico similar, es decir por arriba de las calizas correspondientes a la parte superior del Grupo Sierras Bayas, Amos *et al.* (1972) y Cuomo *et al.* (1983) habían mencionado la existencia de una sucesión eminentemente pelítica de color gris oscuro a negro, sobre la base de información de perforaciones. Sin

embargo hasta la fecha no se conocía la relación entre la Formación Cerro Negro definida en canteras y esta sucesión de pelitas oscuras.

El objetivo de este trabajo es el de caracterizar en detalle las diferentes sucesiones identificadas en frentes de canteras y en subsuelo de la hasta aquí denominada Formación Cerro Negro, a partir del análisis de facies sedimentarias, petrografía y difracción de rayos X. Con los resultados obtenidos, se proponer contribuir con discusiones sobre sistemas de acumulación y evolución temporal de los mismos, para finalmente discutir las implicancias estratigráficas y generar un nuevo esquema estratigráfico para las unidades que suprayacen al Grupo Sierras Bayas.

## GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFIA

Las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires (Harrington, 1956), también denominadas Tandilia (Nágera, 1940), se extienden con rumbo NO-SE por más de 300 km. En el sector noroeste de esta provincia geológica, al sudeste de Olavarría, afloran una serie de unidades litoestratigráficas precámbricas que han sido intensamente estudiadas por varios autores recibiendo múltiples denominaciones como “Grupo Tandil”, “Formación La Tinta” y “Formación Caliza Loma Negra” (Borrello, 1966), “Formación La Tinta” y “Formación Loma Negra” (Antonioli, 1969), “Formación Sierras Bayas” (Dalla Salda e Iñiguez, 1979), y más tarde, como Grupo Sierras Bayas y Formación Cerro Negro (Poiré, 1987) (Fig. 1).

La sucesión sedimentaria precámbrica se inicia sobre el basamento cristalino ígneo-metamórfico, denominado Complejo Buenos Aires (Di Paola y Marchese, 1975), posteriormente estudiado por otros autores, entre los que se encuentran Teruggi y Kilmurray (1980) y Dalla Salda *et al.* (1988). Al basamento se le asignó una edad paleoproterozoica determinada por K-Ar, Rb-Sr y U-Pb SHRIMP en circones, cuyo rango de edades para las rocas graníticas, gneises, migmatitas y anfibolitas oscilan entre los 2,26 y 2,07 Ga (Pankhurst *et al.*, 2003). Sobre el basamento cristalino se observa un nivel de alteración conformado por una arcosa residual o saprolito (Poiré, 1987; Zalba *et al.*, 1993; Martínez *et al.*, 2013) y por encima de éste y en forma discordante, se apoya la sucesión sedimentaria neoproterozoica (Fig. 1), de unos 350 metros de espesor, conformada

por el Grupo Sierras Bayas y la Formación Cerro Negro (Poiré y Spalletti, 2005).

Iñiguez *et al.* (1989) encuadran a las unidades del Grupo Sierras Bayas y a la Formación Cerro Negro, mediante una serie de evidencias, en una edad precámbrica, constituyéndose así en las unidades litoestratigráficas no deformadas más antiguas conocidas actualmente en el territorio argentino. En la actualidad, el esquema estratigráfico más aceptado es el desarrollado por Dalla Salda e Iñiguez (1979), modificado por Poiré (1987) y más tarde actualizado por Poiré y Spalletti (2005). El Grupo Sierras Bayas (Dalla Salda e Iñiguez, 1979; Poiré, 1993) está integrado de base a techo por las formaciones Villa Mónica (Poiré, 1993), Colombo (Poiré, 1993; Poiré y Gaucher, 2009), Cerro Largo (Poiré, 1993), Olavarría/ Las Águilas (Andreis *et al.*, 1992; Zalba, 1978) y por último Loma Negra (Borrello, 1966) (Fig. 1). En relación de discordancia, por encima de este grupo, se reconoce a la Formación Cerro Negro (Iñiguez y Zalba, 1974), unidad que será foco de estudio del presente trabajo. Finalmente, coronando la sucesión sedimentaria se encuentra la Formación Balcarce (Fig. 1, Dalla Salda e Iñiguez, 1979) de edad Paleozoico tardío (Zimmermann y Spalletti, 2009).

La Formación Loma Negra se encuentra en el tope del Grupo Sierras Bayas y está constituida por una asociación de facies de *mudstones* de hasta 43 m de espesor, con base discordante de bajo ángulo y techo truncado. A la misma se la ubica tentativamente alrededor de los 580-590 Ma de edad a partir de estudios quimioestratigráficos (Gómez Peral *et al.*, 2007). Barrio *et al.* (1991) indicaron la presencia de una importante superficie erosiva en el techo de esta unidad originada por disolución cárstica y atribuida a un gran descenso del nivel del mar, que precede a la sedimentación de la Formación Cerro Negro. Esta discordancia, de alcance regional, fue más tarde denominada superficie Barker (Poiré y Gaucher, 2009).

La Formación Cerro Negro, objeto de este trabajo, ha sido caracterizada como un conjunto de rocas margosas en la base, continuando con arcilitas de color castaño rojizo con tonalidades verdosas y frecuente laminación, caracterizada por la presencia de ritmos de areniscas finas y arcilitas, estas últimas de composición illítico-clorítica, con alrededor de 110 m de espesor, dispuestas discordantemente sobre la Formación Loma Negra (Iñiguez y Zalba, 1974). Más tarde Barrio *et al.* (1991), indican que

Era	Período	Unidad estratigráfica			Secuencia deposicional
		Región NO	Región Central	Región SE	
Paleozoico	Silúrico			Formación Balcarce	Secuencia Batán
	Ordovícico	Formación Balcarce	Formación Balcarce	Formación Balcarce	
Neoproterozoico		Fm. Cerro Negro	Fm. Cerro Negro	Diamictitas Sierras del Volcán / Fm. Punta Mogotes	Secuencia La Providencia
		Fm. Loma Negra	Fm. Loma Negra		Secuencia Villa Fortabat
		Fm. Olavarría	Fm. Las Águilas		Secuencia Diamante
		Fm. Cerro Largo	Fm. Cerro Largo		Secuencia Malegni
		Fm. Colombo			
	Fm. Villa Mónica	Fm. Villa Mónica		Secuencia Tofletti	
Complejo Buenos Aires (Paleoproterozoico)					

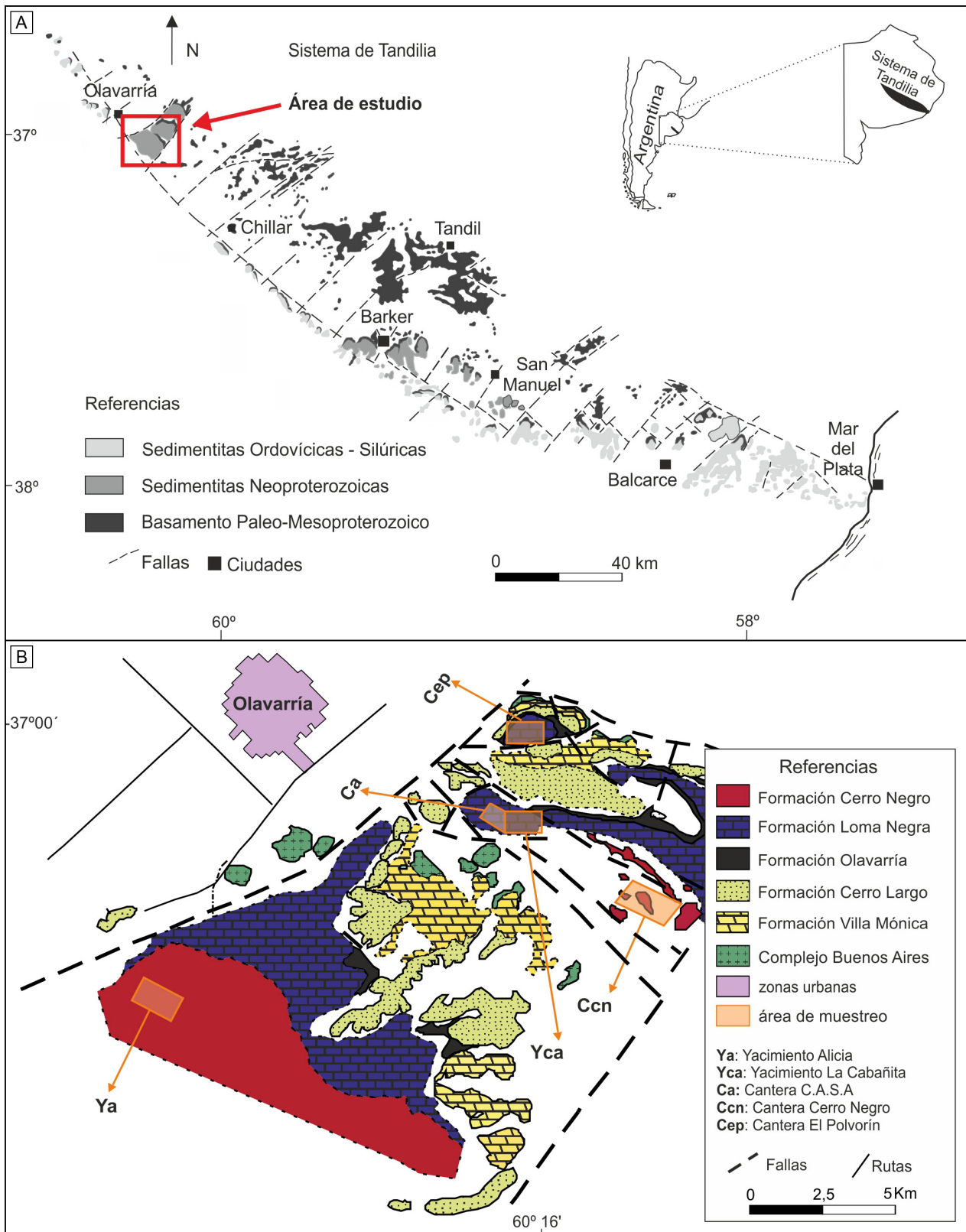
**Figura 1.** Cuadro estratigráfico de la cubierta sedimentaria Precámbrica/Eopaleozoica en el Sistema de Tandilia (Poiré y Spalletti, 2005).

**Figure 1.** Stratigraphic chart of the Precambrian to lower Paleozoic succession of the Tandilia System (Poiré and Spalletti, 2005).

las rocas pelíticas, silíceas y calcáreas rojizas de la sección basal se adaptan a las irregularidades del paisaje cárstico. Asociado a las facies margosas de la base también se registran brechas de *chert*, interpretadas como brechas de talud, que resultan de la exposición subaérea o telodiagénesis (Gómez Peral, 2008). También por encima de esta superficie se registra un nivel con fosfatos en concreciones (Leanza y Hugo, 1984), que fuera posteriormente vinculado a un evento fosfogenético global del Ediacareano (Gómez Peral *et al.*, 2014). Esto permite sugerir, que la sucesión sedimentaria suprayacente a dicha discordancia debería haberse depositado en un lapso temporal posterior a dicho evento global.

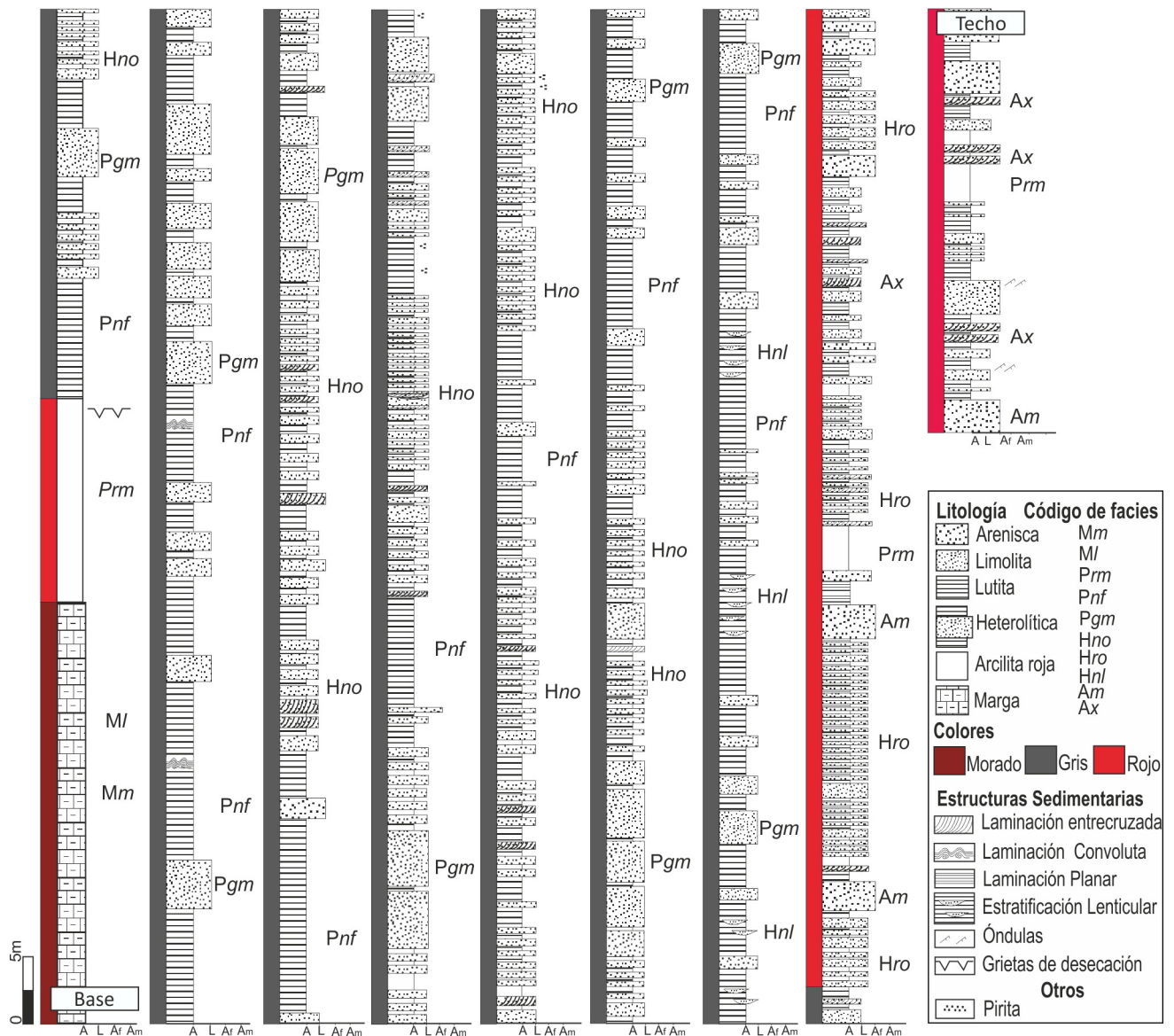
## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se ubica en el área de Olavarría, precisamente en los núcleos central y austral de las Sierras Bayas (Fig. 2). Es allí donde se concentran canteras que dejan expuestas las sedimentitas que constituyen a la Formación Cerro Negro, tal como habría sido descrita y definida en trabajos previos.



**Figura 2.** a) Ubicación y mapa geológico del Sistema de Tandilia mostrando el basamento cristalino y la cubierta sedimentaria neoproterozoica - eopaleozoica (modificado de Iñiguez *et al.*, 1989 y Gómez Peral *et al.*, 2011). b) Mapa geológico de la región de Sierras Bayas – Olavarría con la ubicación de las secciones relevadas en el área de estudio.

**Figure 2.** a) Location and geological map of the outcrops of the crystalline basement and the Neoproterozoic-lower Paleozoic sedimentary units in the Tandilia System (modified from Iñiguez *et al.*, 1989 and Gómez Peral *et al.*, 2011). b) Detailed geological map of the Sierras Bayas – Olavarría region with the locations of the studied sections.



**Figura 3.** Perfil sedimentológico de las sedimentitas suprayacentes al Grupo Sierras Bayas relevado a partir de un sondeo vertical obtenido en el Yacimiento Alicia.

**Figure 3.** Sedimentological section of the sedimentary rocks overlying the Sierras Bayas Group, obtained from core logging in the Alicia field.

El estudio sobre la Formación Cerro Negro se realizó en las canteras Cerro Negro S.A., C.A.S.A y El Polvorín (Fig. 2b). Por otro lado, los estudios de datos de subsuelo, realizados en los yacimientos pertenecientes a Cementos Avellaneda S.A. en el período 2008-2013, posibilitaron el reconocimiento de la cobertura neoproterozoica investigada, desde los términos superiores del Grupo Sierras Bayas hasta la sucesión asignable a la Formación Cerro Negro. El área de trabajo de subsuelo está representada mayormente en dos localidades tipo: el Yaci-

miento Alicia, en el núcleo austral de las Sierras Bayas al cual se accede por la ruta provincial 76, y el Yacimiento La Cabañita (Fig. 2b), en el núcleo central de las Sierras Bayas camino a la Providencia.

Durante los trabajos de campo se relevaron 19 perfiles sedimentológicos a escala de 1:50. De éstos, dos secciones fueron relevadas en frentes de cantera (cantera C.A.S.A y El Polvorín), con un espesor total medido de 90 a 150 m, mientras que los otros diecisiete perfiles provienen de descripciones de testigos de coronas (seleccionados sobre un total de 75 pozos

realizados por Cementos Avellaneda S.A.). De las 17 secciones seleccionadas, diez testigos pertenecen a sondeos realizados en el Yacimiento Alicia (1050 metros de testigos de diámetro BQ) y siete provienen del Yacimiento La Cabañita (860 metros de testigos con diámetro NQ). En los relevamientos de campo se reconoció la sucesión originalmente descripta para la Formación Cerro Negro según Iñiguez y Zalba (1974), en tanto que en subsuelo se registró además, y de forma intercalada entre ellas, una sucesión mayormente pelítica de tonalidades oscuras similar a la reportada por Cuomo *et al.* (1983).

Para el análisis de facies se tuvieron en cuenta principalmente criterios descriptivos como la textura, el color, la composición y las estructuras primarias. La denominación de las facies posee un nombre y un código. Para ello se utilizó el código de facies propuesto por Miall (1990), en el que una letra mayúscula inicial hace referencia a la litología y una letra minúscula que refiere a la estructura sedimentaria mecánica u orgánica. En este sentido, considerando que el color es un atributo importante para definir facies sedimentarias finas, se utilizaron dos letras minúsculas, la primera que hace alusión al color y la segunda a la estructura, modificando así sutilmente el código de Miall. A modo de ilustrar las características sedimentológicas de la sucesión aquí investigada se presenta en este trabajo una de las secciones más completas registradas en los testigos corona (sondeo TA 22, ubicado en el Yacimiento Alicia, Fig. 3).

Sobre cada una de las litologías reconocidas se realizó un muestreo minucioso con la finalidad de reconocer las estructuras a mesoescala, como así también para el análisis texturo-composicional mediante petrografía y difracción de rayos X. Para el análisis petrográfico se confeccionaron 50 cortes delgados convencionales de 30  $\mu\text{m}$  de espesor sobre los cuales se realizó la descripción mediante microscopía de polarización estándar. Se caracterizaron los componentes detríticos presentes, además de identificar la matriz y su abundancia, y tipos de cementos.

Por otro lado, se analizó la composición mineralógica por difracción de rayos X (DRX) sobre un total de 180 muestras de sedimentitas finas. El procesamiento de las muestras se realizó sobre roca total, y sobre muestras orientadas de la fracción fina. De éstas últimas se obtuvieron muestras naturales, glicoladas (tratadas con etilenglicol) y calcinadas

(por calentamiento a 550°C). Los difractogramas se generaron a partir de equipamiento disponible en el Centro de Investigaciones Geológicas, difractómetro PANalytical X'Pert PRO, el cual opera con radiación de Cu y filtro de ( $K\alpha$   $\frac{1}{4}$  1.5405 Å) a 40 kV de potencia y 40 mA. La cuantificación de los minerales en las muestras de roca total se basó en la determinación semicuantitativa de cada especie mineral a partir de la lectura de los picos de los difractogramas. El análisis semicuantitativo de los minerales de arcilla en la fracción fina se basó en el método del área del pico (Biscaye, 1965). Los porcentajes relativos de cada mineral de arcilla se determinan aplicando factores empíricos (Moore y Reynolds, 1989).

Posteriormente al análisis facial y composicional de las sedimentitas se procedió a un análisis de las relaciones verticales y laterales de las facies, y se definieron sucesiones verticales de facies. Finalmente, con la información disponible del Yacimiento Alicia obtenida de subsuelo (coordenadas geográficas, equidistancia entre pozos, perfiles Selley completos con sus contactos litológicos bien marcados) se elaboró un mapa estructural a partir del cual se confeccionaron perfiles estructurales, lo cual se combinó con los registros verticales de los sondeos para comprender la evolución genética de la unidad bajo estudio.

## FACIES SEDIMENTARIAS

El análisis de facies sedimentarias permitió identificar diez facies sedimentarias reunidas en los siguientes grupos principales: facies de margas (masivas y laminadas), facies de pelitas (arcilitas rojas masivas, lutitas negras y limolitas masivas), facies heterolíticas (con estratificación flaser, ondulosa y lentiforme) y facies de areniscas (masivas y con laminación entrecruzada).

### Facies de Margas

**Facies de margas masivas (Mm) y facies de margas laminadas (Ml).** Las facies de margas masivas y laminadas constituyen cuerpos que se adaptan a la geometría de un relieve anterior de origen cárstico (superficie Barker, Poiré y Gaucher, 2009), evidenciado por su estructura externa de bases cóncavas y techos planos. Como consecuencia de este sustrato irregular, el espesor de la sucesión es variable de escasos metros hasta un máximo de 10 metros registrados



en subsuelo. Para las dos facies las tonalidades varían de rojizas a moradas (Fig. 4a) y presentan una reacción moderada al ácido clorhídrico (5 molar). Las margas masivas se presentan con estratificación tabular delgada a media, e internamente masivas. La otra facies de margas se caracteriza por presentar una laminación interna planar. Petrográficamente se pudo reconocer en ambos casos abundante material micrítico acompañado de material arcilloso, eventualmente limoso. Son frecuentes las venillas de calcita con cristales de tamaño subesparítico a esparítico (5 a 30  $\mu\text{m}$ ). Por DRX se determinó en la roca total, que la calcita y el cuarzo son los minerales más abundantes, los cuales se encuentran en proporciones similares (Fig. 4b). Las arcillas se encuentran en tenores que no superan el 15% de la roca, siendo la illita el argilomineral predominante (90%), y en menor medida se encuentran los interestratificados de illita/esmectita (10%).

La facies de margas laminadas es la más abundante dentro de las facies margosas y se las interpreta como producto de la decantación por suspensión de material calcáreo y pelítico. La estructura masiva en las margas puede deberse a procesos de *sinmixis* biogénica (microorganismos) y/o a la floculación de argilominerales (Tucker y Wright, 1990).

### **Facies de Pelitas**

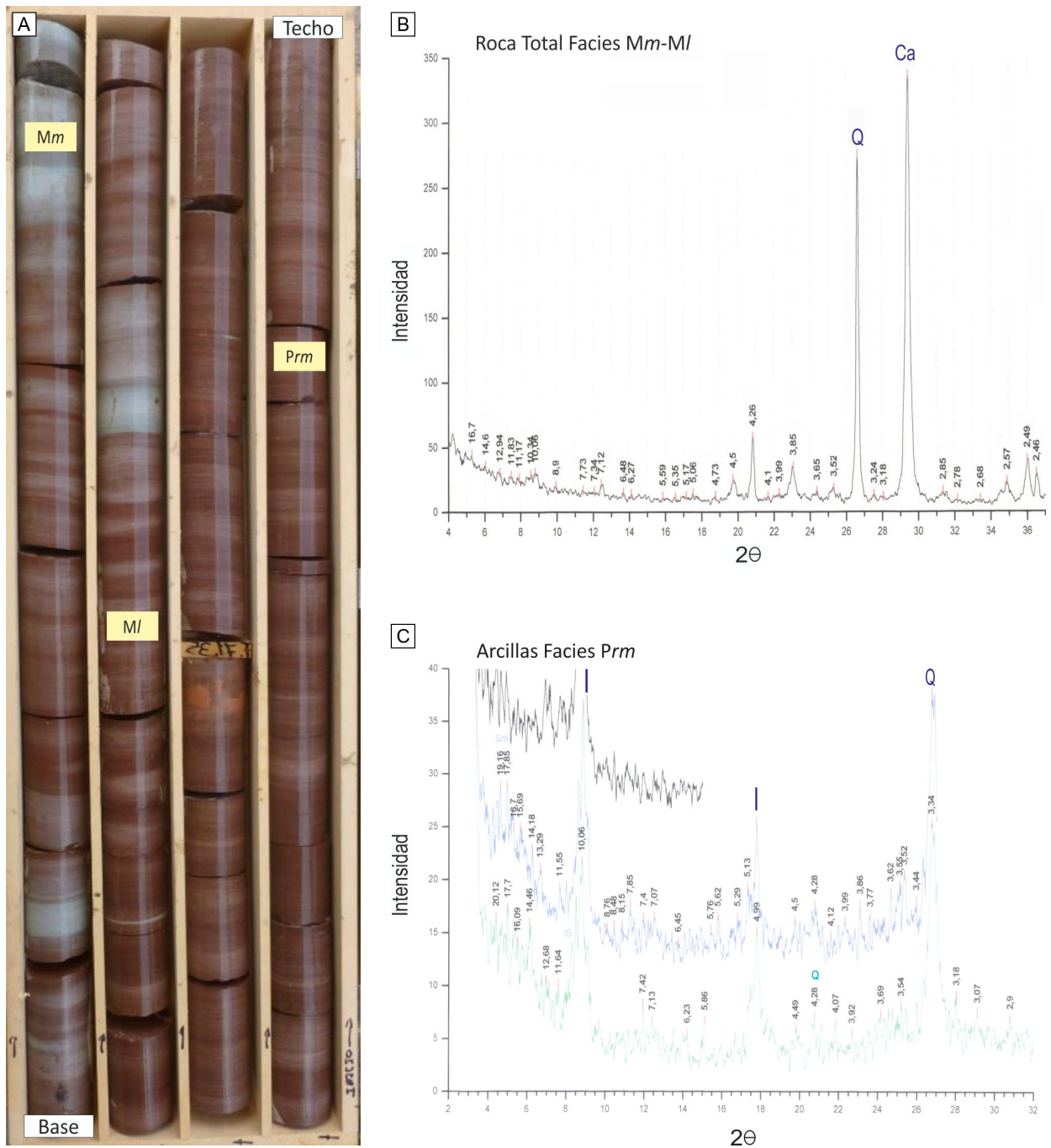
**Facies de arcilitas rojas masivas (Prm).** Esta facies está constituida por arcilitas de color rojo (Fig. 4a), masivas o con laminación horizontal difusa y tenue, con espesores relativamente constantes (7 a 9 m). Se han observado estructuras subestratales tales como calcos de surcos y eventualmente grietas de desecación. Petrográficamente, se reconocen granos de cuarzo angulosos, fragmentos de illita y micas del tipo muscovita y biotita de formas alargadas y aguzadas. Se destaca la presencia de cemento de tipo ferruginoso. Composicionalmente (DRX) se caracteriza por presentar muy abundante cuarzo y moderada proporción de arcillas, éstas últimas constituidas predominantemente por la illita (95%) y escasa proporción de otros argilominerales (Fig. 4c).

Esta facies se interpreta como producto de la decantación por suspensión de material silicoclástico acompañado por procesos que favorecen a la floculación de las arcillas generando estructuras masivas. La coloración rojiza se atribuye a que se habrían depositado bajo condiciones óxicas (Potter *et al.*, 2005).

**Facies de lutitas negras (Pnf).** Esta facies conforma niveles que van desde pocos milímetros hasta al menos 2 metros de espesor. Las lutitas se caracterizan por sus coloraciones características, que gradan de gris oscuro a negro (Fig. 5a, b). Además presentan marcada laminación muy penetrativa hasta fisilidad, y desarrollo de superficies suaves, sedosas y planas. Eventualmente, se observan estructuras deformacionales como laminación convoluta (Fig. 5c). En esta facies se destaca la presencia de cristales de pirita de escasos micrones hasta los 2 mm, con hábito cúbico o como concentraciones de cristales subhedrales. Por difracción de rayos X (roca total) se identifica la presencia abundante de cuarzo, abundante a moderado tenor de arcillas y escasas plagioclasas. En la fracción fina se observa illita y clorita con una relación entre ambas que varía entre 70:30 y 60:40 (Fig. 5d, e).

Esta facies se interpreta como el producto de la decantación por suspensión de fango silicoclástico, siendo la laminación paralela producto de la sedimentación en pulsos en condiciones de baja energía. Su color oscuro, sumado a la presencia de pirita, podría asociarse a un ambiente de tipo anóxico (Potter *et al.*, 2005). La presencia de estructuras deformacionales como laminación convoluta se asocia a la saturación de los sedimentos en agua y deformación sinsedimentaria. Es importante remarcar que esta facies sedimentaria sólo fue registrada en subsuelo a partir de testigos de corona.

**Facies de limolitas grises masivas (Pgm).** Esta facies de limolitas se presenta con espesores que varían entre 0,5 y 1,5 m, pero excepcionalmente alcanza los 3 m. Se compone de limolitas de coloración gris a gris claro, generalmente masivas, pero que en ocasiones desarrollan laminación planar. En los niveles más claros se observa una reacción leve al ácido clorhídrico. Petrográficamente se observa entre los componentes principales cristaloclastos de cuarzo monocristalino límpido y subhedral, con extinción óptica ligeramente ondulosa y de pequeño tamaño que no superan los 45 micrones, muscovita y biotita mayormente deformadas, clorita en láminas delgadas y en algunos casos flexuradas, y escasas plagioclasas con las típicas maclas polisintéticas, todas de tamaños inferiores a los 45 micrones. También se distinguen cementos silíceos y más raros de calcita de tipo esparítica. Por DRX la composición está representada por abundante cuarzo, abundantes



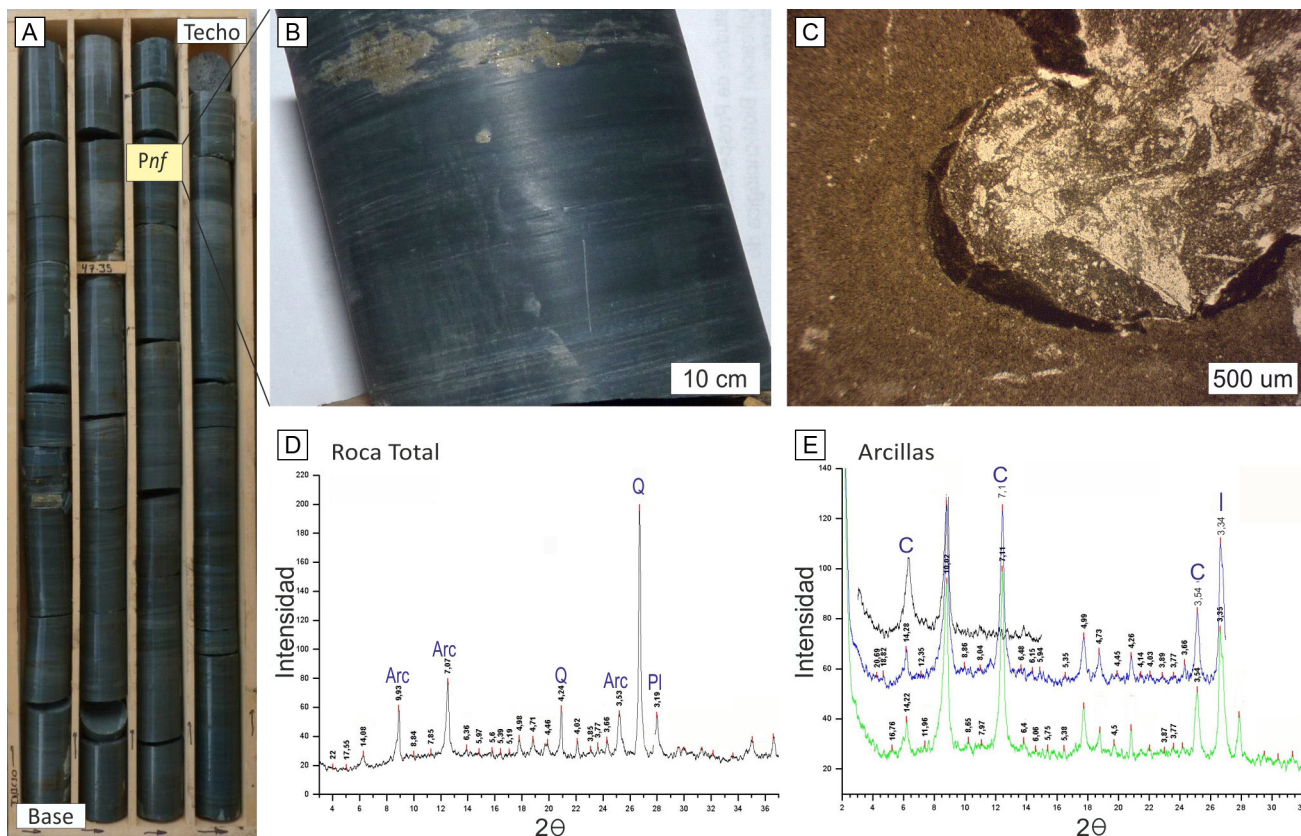
**Figura 4.** Facies de Margas y arcillitas rojas masivas. a) Testigo corona donde se muestran las facies Mm-Ml y las facies Prm. b) Difractograma de Rx de roca total en el que se observa muy abundante calcita, abundante cuarzo y escasas arcillas. Referencias: Qz: cuarzo, Ca: calcita; Arc.: arcillas, Cl: clorita, I: illita. c) Difractograma de arcilla de las facies Prm en el que se observa que la illita es el argilomineral principal.

**Figure 4.** Marly facies and red massive claystones. a) Core showing the Mm-Ml facies and Prm facies. b) Total rock diffractogram shows a predominance of calcite, abundant quartz and scarce clays. References: Qz: quartz; Ca: calcite; Arc: clays, Cl: chlorite; I: illite. c) Fine fraction diffractogram of Prm facies shows illite as the main clay mineral.

a moderadas proporciones de arcillas y escasas micas y plagioclasas. En la fracción fina, se identifican al igual que en las facies anterior (Pnf) illita y clorita

como los argilominerales más abundantes, con una relación que varía entre 80:20 y 60:40.

Se interpreta que esta facies representa la deposi-



**Figura 5.** Facies de lutitas negras. a) Testigo corona de las lutitas negras laminadas. b) Fotografía de la facies Pnf. c) Detalle de estructura deformacional con pliegues convolutos. d) Difractograma de roca total muestra predominio de cuarzo, escasas a moderadas arcillas y escasas plagioclasas. e) Difractograma de la fracción arcilla en el cual se observan abundantes clorita e illita.

**Figure 5.** Black shales facies. a) Core showing the black shales facies. b) Photograph showing pervasive lamination of the facies Pnf. c) View in detail of a deformational structure with convolute folds. d) Total rock diffractogram shows a predominance of quartz, with scarce to moderate clays and scarce plagioclase. e) Fine fraction diffractogram shows abundant chlorite and illite.

tación por decantación a partir de suspensión de limo silicoclástico. Al igual que la facies anterior, esta también fue sólo reconocida en testigos de corona.

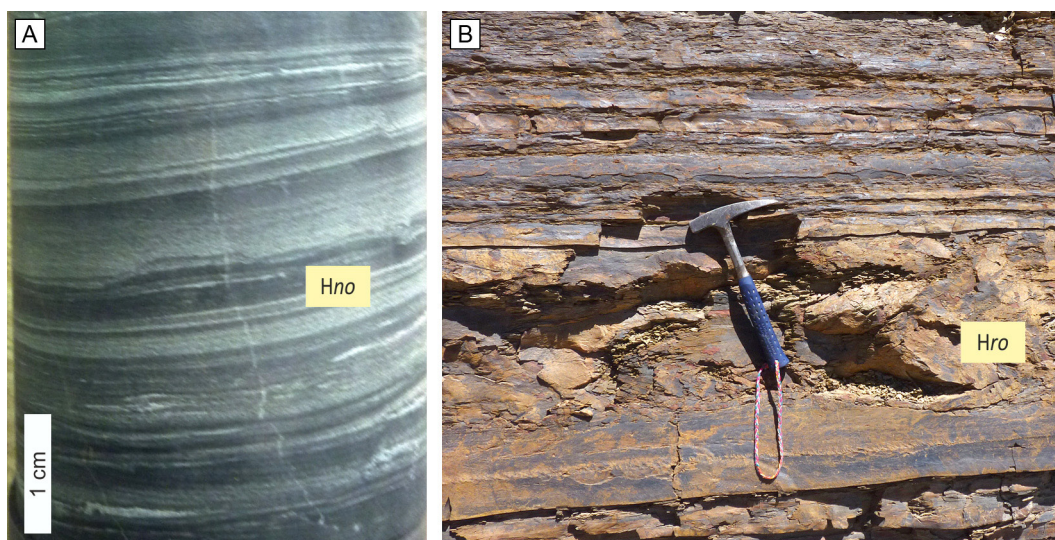
### Facies Heterolíticas

**Facies heterolítica negra a gris con estratificación ondulosa (Hno).** Esta facies se compone de la alternancia de areniscas muy finas (o limolitas) y fangolitas, en las cuales la relación arena/arcilla es cercana a 1 (Fig. 6a), y cuyos paquetes alcanzan hasta 0,30 m de potencia. La estructura interna más frecuente en las capas de arcilita es la fisilidad mientras que en las areniscas y limolitas son la laminación ondulítica y la laminación entrecruzada sigmoidal. Las capas delgadas de arcilitas se interpretan como el producto de la decantación a partir de suspensiones pelíticas, mientras que las

areniscas finas y limolitas con laminación ondulítica serían el producto de flujos tractivos (Collinson *et al.*, 2006). Al igual que para las facies Pnf y Pgm esta facies sólo fue registrada en testigos de corona.

### Facies heterolítica roja con estratificación ondulosa (Hro).

En esta facies se observa una alternancia de arcilitas rojas, con areniscas finas (Fig. 6b). Al igual que para las facies Hno, la relación arena fina/arcilla en estas intercalaciones es cercana a uno, pero se presentan en paquetes más potentes entre 0,5 m y 1 m. En la cantera Cerro Negro se reconoce un domino de una geometría externa tabular de los cuerpos o paquetes heterolíticos. La estructura interna más frecuente en las capas de arcilitas es la laminación paralela interpretada como producto de la decantación a partir de suspensiones pelíticas y en las de areniscas finas se reconocen laminación entrecruzada planar



**Figura 6.** Facies heterolítica. a) Testigo corona donde se muestra la facies de Hno. b) Vista en afloramiento de la facies de Hro.

**Figure 6.** Heterolithic facies. a) Core showing the Hno facies. b) Outcrop section showing the Hro facies.

de tipo ondulítica y eventualmente tangencial a la base, producto de flujos tractivos.

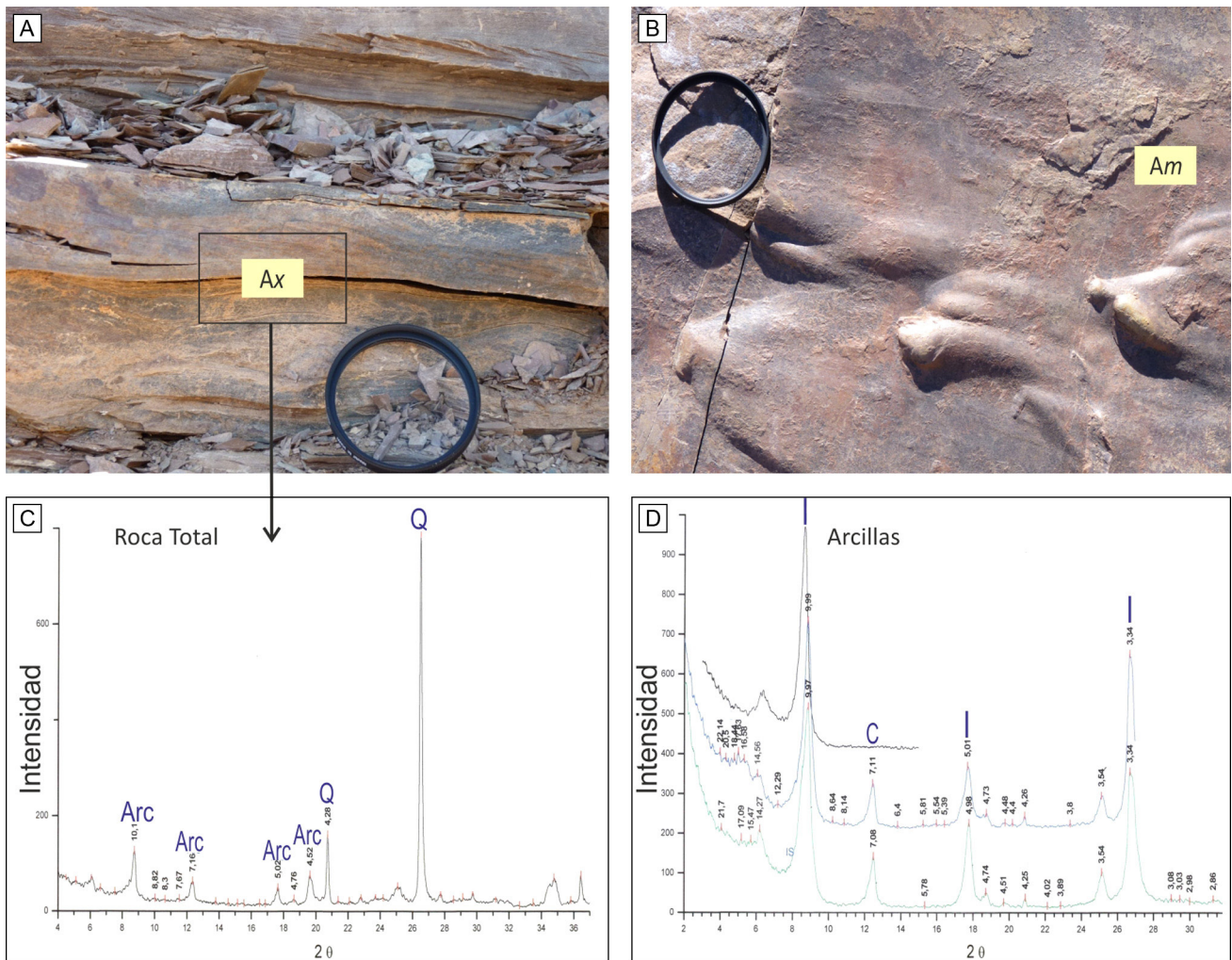
**Facies heterolítica negra a gris con estratificación lenticular (Hnl).** En esta facies, con dominio de fangolitas de colores negro a gris, se reconoce la presencia de laminación paralela en la fase fangosa, la cual intercala con delgadas capas lenticulares (0,2 – 0,7 cm) de limolitas arenosas. Los niveles limo-arenosos tiene base neta y poseen en algunos casos geometría irregular y en otros lenticular, aunque se dificulta apreciar su variabilidad lateral debido a que se describe a partir de testigos de sondeos. Esta alternancia de niveles pelíticos y limo-arenosos, con marcado dominio de los primeros, se interpretan como el producto de la decantación por suspensión la cual eventualmente es interrumpida por flujos tractivos de baja energía que suministran escaso volumen de material limoso (Collinson *et al.*, 2006).

### Facies de Areniscas

**Facies de areniscas finas a medianas con óndulas y laminación entrecruzada ondulítica (Ax).** Está compuesta por areniscas finas a medianas (0,15 a 0,5 mm) con predominio de las texturas medianas (Fig. 7a). La estructura sedimentaria más característica es la laminación entrecruzada, producto de la migración de óndulas de corriente subácuas (Fig. 7a), que se presenta en *sets* que varían de 5 a 8 cm de espesor. En el techo de las capas arenosas se observan óndulas asimétricas de crestas rectas y agudas cuyo índice de

óndula promedio es de 5,5 y el índice de asimetría promedio es de 2,1 (Collinson *et al.*, 2006). En la cantera Cerro Negro se obtuvieron 25 mediciones del rumbo de las crestas de las óndulas las cuales muestran orientaciones predominantemente hacia el NO-SE y N-S. La composición mineralógica bajo el microscopio óptico y por DRX es similar a la de la facies Am (Fig. 7c, d).

**Facies de areniscas medianas masivas (Am).** Esta facies está constituida por bancos que varían entre 1,5 y 5 m de espesor. Los bancos tienen una geometría tabular con techos y bases planas, e internamente son masivos. Las areniscas poseen coloraciones castañas, rojizas y verdosas, y su tamaño de grano varía entre 0,3 y 1 mm, con un predominio de texturas de arenas medianas. Se observan grietas de desecación, marcas de escurrimiento y calcos de hoyos de flujo (*flutes*) (Fig. 7b). Al microscopio se identificaron cristaloclastos subredondeados de cuarzo monocristalino, así como cristales subangulosos a subredondeados de plagioclasas, con maclas polisintéticas de albita y en menor medida de Carlsbad. Los fragmentos líticos son muy escasos, de colores oscuros entre grises y pardos, y con formas redondeadas a subredondeadas. Por DRX (roca total) se aprecia un predominio de cuarzo y en menor medida plagioclasas y arcillas; entre las arcillas predomina la illita y en menor proporción la clorita (relación 90:10). La ausencia de estructuras en esta facies podría estar vinculada con flujos con alta concentración de sedimento arenoso.



**Figura 7.** Facies de areniscas. a) Vista de afloramiento en cantera Cerro Negro; se muestra un detalle de las areniscas finas con laminación entrecruzada. b) Detalle de calcos de flujo en plano subestratal de una capa perteneciente a la facies Am. c) Difractograma de roca total que muestra abundante cuarzo, moderadas arcillas y escasas plagioclasas. d) Difractograma de fracción arcilla donde predomina la illita, con escasa clorita.

**Figure 7.** Sandstones facies: a) Cerro Negro quarry, outcrop showing a detail of the fine-grained sandstone with cross-lamination. b) Detail view of flutes at the base of a bed belonging to facies Am. c) Total rock diffractogram shows abundant quartz, moderate clay minerals and scarce plagioclases. d) Fine fraction diffractogram shows predominance of illite and scarce chlorite.

### SUCESIONES DE FACIES Y PALEOAMBIENTES

A partir de la descripción de las 10 facies sedimentarias presentadas anteriormente, se propone agrupar a las mismas según sus relaciones verticales y sus afinidades paleoambientales, en tres sucesiones de facies, que se detallan a continuación.

#### Sucesión de facies I

Se ubica estratigráficamente sobre el relieve cárstico (tope de la Formación Loma Negra) y está

integrada por las facies Mm, Ml y Prm. Esta asociación inicialmente de composición mixta (Mm y Ml) se enriquece gradualmente hacia el techo en material silicoclástico (Prm) (Fig. 3). La abundancia relativa de calcita y material terrígeno podría asociarse al mayor o menor aporte clástico. Las estructuras asociadas a los procesos de decantación a partir de suspensión, sumados a que eventualmente se han observado grietas de desecación y tonalidades violáceas y rojizas, permiten interpretar que esta asociación se puede haber depositado en una planicie de marea, bajo condiciones supramareales de baja energía con

buena oxigenación y eventual exposición subaérea (Tucker y Wright, 1990; Boyd *et al.*, 1992).

### Sucesión de facies II

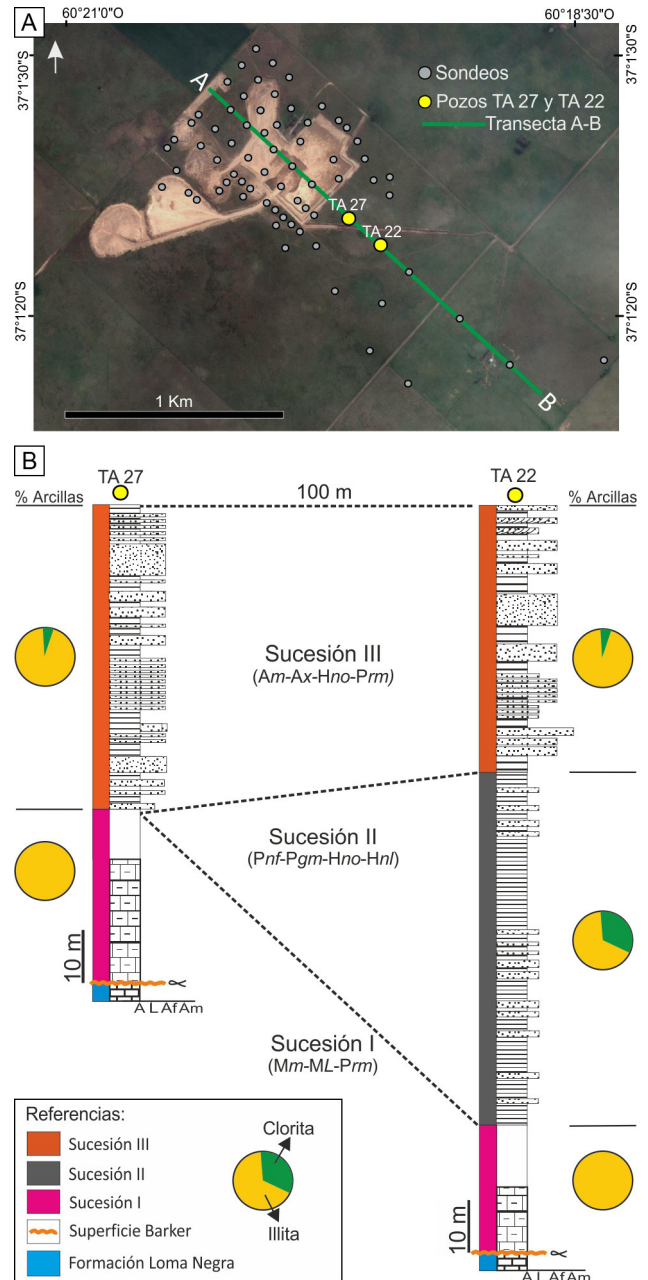
Esta sucesión se encuentra integrada por las facies *Pnf*, *Pgm*, *Hno* y *Hnl*. En esta sucesión se puede destacar que los paquetes de lutitas negras (*Pnf*) son la litofacies más potente en la sección basal de la sucesión, mientras que las facies heterolíticas (*Hno* – *Hnl*) son más comunes en la parte media a superior y las facies de limolitas grises masivas (*Pgm*) se presentan intercaladas a lo largo de toda la asociación (Fig. 3). Los procesos de decantación a partir de suspensiones de fango silicoclástico con eventuales periodos tractivos con migración de óndulas, sumado a las coloraciones oscuras y presencia de cristales de pirita permiten sugerir que esta asociación puede haber sido depositada en una planicie de marea, bajo condiciones submareales de baja energía y en condiciones de tipo anóxicas a subóxicas (Potter *et al.*, 2005; Bridge y Demicco, 2008).

### Sucesión de facies III

Esta sucesión vertical está compuesta por las facies *Am*, *Ax*, *Hno* y *Prm*, y se caracteriza por una alta participación de texturas más gruesas que las vistas en las sucesiones de facies anteriores. Se evidencia un predominio de eventos tractivos alternando con procesos subordinados de decantación por suspensión. La presencia de laminación entrecruzada y óndulas simétricas pueden ser atribuidas a flujos oscilatorios, mientras que las arenas finas a medianas masivas podrían ser el producto de flujos laminares episódicos con una alta carga sedimentaria. Esta asociación se puede interpretar como depositada bajo condiciones intermareales (Bridge y Demicco, 2008) y de buena oxigenación.

### Variaciones verticales reconocidas en subsuelo

Las sucesiones de facies I, II y III identificadas en este trabajo muestran un ordenamiento estratigráfico sistemático dentro de la cobertura sedimentaria analizada. Sin embargo, se reconocieron por descripciones de testigos corona, tanto en el yacimiento Alicia como en el yacimiento la Cabañita, que la sucesión de facies II puede faltar entre las otras dos (Fig. 8b). En algunos casos la desaparición de este



**Figura 8.** a) Imagen satelital georeferenciada en la que se observa el Yacimiento Alicia, se marca una transecta en verde A-B. b) Secciones de subsuelo seleccionadas (TA 27 y TA 22): muestran las abruptas variaciones verticales registradas en esta área.

**Figure 8.** a) Georeferenced satellite image of the Alicia field, green transect (A-B). b) Subsurface selected sections (TA 27 and TA 22) showing the abrupt vertical and lateral variations identified in the area.

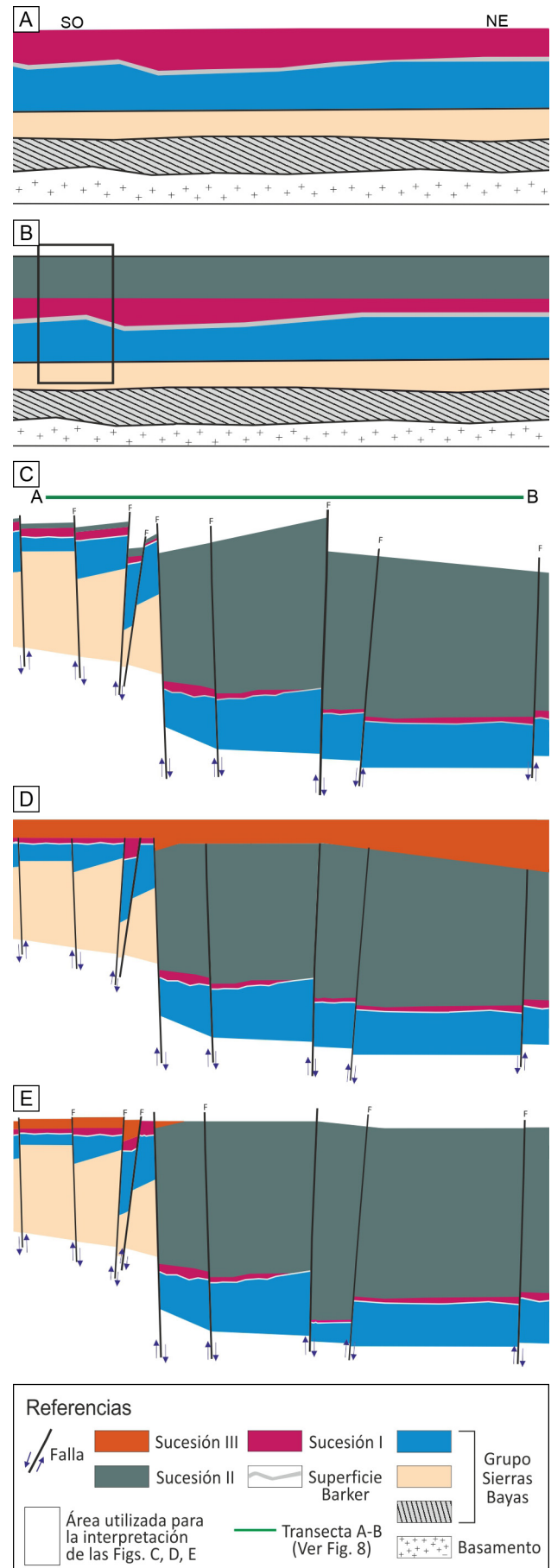
potente intervalo estratigráfico (de hasta 150 m de potencia), se produce en distancias horizontales menores a los 100 m. En los casos donde falta la sucesión de facies II, un criterio adicional para separar a

los dos intervalos rojizos (sucesiones I y II) fue la composición de los minerales de arcillas, los cuales son exclusivamente illíticos en la sucesión basal y con moderada participación de clorita en el intervalo superior (Fig. 8b).

## DISCUSIÓN

### Estadios tecto-sedimentarios

Sobre la base del estudio sedimentológico de las tres sucesiones de facies sedimentarias y teniendo en consideración el ordenamiento estratigráfico de las mismas así como sus rápidas variaciones laterales (Fig. 8b), se propone un modelo de la evolución tecto-sedimentaria para la cobertura neoproterozoica superior de la región de Sierras Bayas - Olavarría, haciendo referencia a diferentes estadios depositacionales relacionándolos entre sí por medio de discontinuidades eustáticas y tectónicas (Fig. 9a-e). La evolución propuesta se inicia con un primer estadio (Fig. 9a) que involucra a la deposición de la sucesión sedimentaria I. Esta sucesión posee un espesor variable (4 a 25 m) debido a que se ubica sobre el relieve cárstico del tope del Grupo Sierras Bayas. Este estadio (estadio I) está integrado en la base por las facies de margas que comienzan a enriquecerse paulatinamente en material silicoclástico culminando con las facies de fangolitas rojas masivas. Por contacto neto se pasa a la sucesión de facies II que corresponde al inicio del segundo estadio reconocido en este trabajo (Fig. 9b). Durante esta etapa se deposita mediante contacto paraconcordante la sucesión de facies II con un espesor máximo de 150 metros. Se considera que la deposición de ésta resulta de un descenso relativo del nivel del mar seguido por un evento transgresivo. De modo tal que se observa un cambio abrupto desde



**Figura 9.** Transecta sudoeste – noreste. a) Deposición de la sucesión de facies I. b) Deposición de la sucesión de facies II. Transecta A-B (ver Fig. 8) c) Levantamiento tectónico por fallamientos verticales a subverticales. d) Deposición de la sucesión de facies III. e) Reactivación de fallas preexistentes.

**Figure 9.** Southwest-northeast transect. a) Deposition of facies succession I. b) Deposition of facies succession II. A-B transect (Fig. 8) c) Tectonic uplift by vertical to subvertical faults. d) Deposition of facies succession III. Reactivation of previous faults.

un ambiente margoso oxigenado a uno netamente silicoclástico anóxico.

A finales del estadio II todo el paquete sedimentario acumulado (incluido el Grupo Sierras Bayas), de más de 300 metros de espesor, habría sido afectado por fallamientos verticales a subverticales, como producto de la reactivación de discontinuidades previas del basamento, que elevan y dejan expuesta a la cobertura neoproterozoica con marcadas irregularidades topográficas (Fig. 9c). Esta actividad tectónica correspondería al estadio III. Más tarde, la acción de agentes de meteorización y erosión fueron peneplanizando el relieve, llegando a “nivelar” a las calizas de la Formación Loma Negra con la sucesión sedimentaria I e inclusive con las lutitas negras de la sucesión sedimentaria II. Posteriormente a esta “nivelación” y mediante una paraconformidad se inicia la cuarta etapa de evolución (estadio IV), en la cual se deposita la sucesión sedimentaria III (Fig. 9d). Dicha sucesión se presenta con un espesor máximo de 75 metros, cuyo techo no se encuentra ni aflorando ni en subsuelo. En determinadas zonas, la sucesión de facies III queda apoyada directamente sobre la sucesión de facies I, sin registro de la sucesión de facies II (Fig. 9d). Más tarde, por medio de una reactivación de las fallas pre-existentes, se reacomodó nuevamente toda la columna sedimentaria (incluido el Grupo Sierras Bayas y sucesiones I, II y III), nivelando la sucesión III con la II y eventualmente con las calizas de la Formación Loma Negra. Finalmente los procesos erosivos habrían actuado una vez más sobre toda la cubierta sedimentaria aflorada, lo que conllevó a que la sucesión sedimentaria III no se encuentre actualmente representada a lo largo de toda la transecta (Fig. 9e).

### Propuesta estratigráfica

Como se mencionó anteriormente, el relleno sedimentario neoproterozoico del Sistema de Tandilia, tal y como se lo conocía hasta el presente, estaba integrado de base a techo por: el Grupo Sierras Bayas (conformado por cinco unidades litoestratigráficas denominadas Villa Mónica, Colombo, Cerro Largo, Olavarría y Loma Negra), y por la Formación Cerro Negro (Fig. 1).

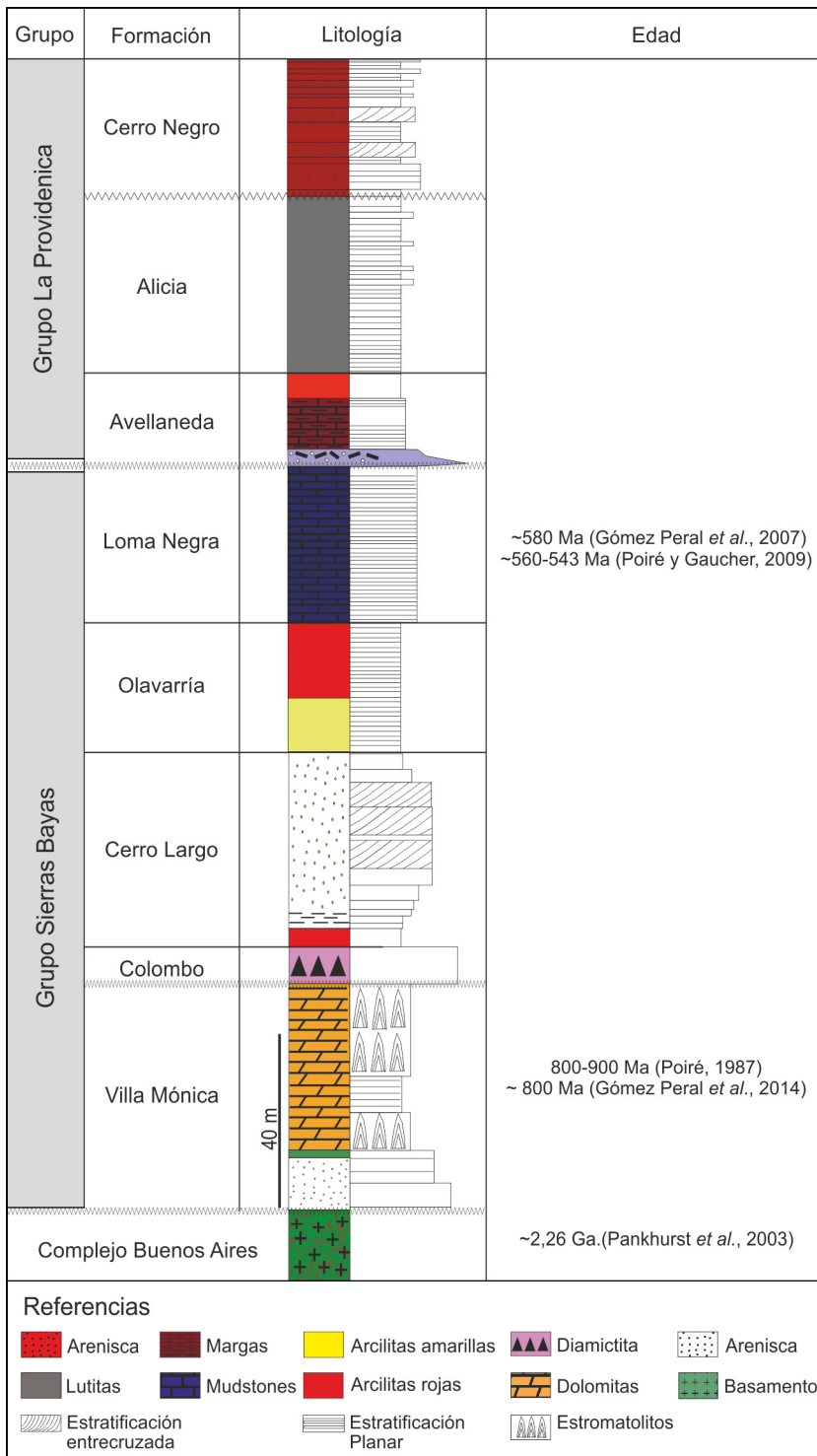
Sin embargo, a partir del presente estudio se da a conocer un conjunto litológico definido como la sucesión de facies II de más de 150 metros, el cual

prácticamente se desconocía anteriormente, debido al que el mismo no se encuentra aflorando. Esta sucesión de rocas presenta marcadas evidencias sedimentológicas, que lo diferencian de las sucesiones de facies que se ubican por debajo (sucesión de facies I) y por arriba (sucesión de facies III). Se propone para esta sucesión de facies II, y cumpliendo con las normas establecidas para la definición de unidades litoestratigráficas enmarcadas en los arts. 25, 26, 27 del Código Argentino de Estratigrafía, darle a la misma el carácter de unidad formacional, la cual se define en el art. 28 como: “unidad litoestratigráfica fundamental usada en la descripción e interpretación de la geología de una región, mapeable en superficie o en subsuelo”. Asimismo, la presencia de esta nueva unidad litoestratigráfica hace necesario redefinir a la sucesión de facies I, que deja de conformar la parte basal de la Formación Cerro Negro, para pasar a constituir una formación independiente, cumpliendo con las condiciones mencionadas.

De esta manera se propone un nuevo esquema estratigráfico que integra a los depósitos suprayacentes al Grupo Sierras Bayas en la región noroeste del Sistema de Tandilia (Fig. 10). Se propone designar a la sucesión de facies I como *Formación Avellaneda*, con la ubicación del estratotipo y localidad tipo en las excavaciones aledañas a la Villa Avellaneda (Art. 25.2 del Código Argentino de Estratigrafía), y a la sucesión de facies II como *Formación Alicia*, con la ubicación del estratotipo y localidad tipo en las perforaciones del Yacimiento Alicia (Art. 25.2 del Código Argentino de Estratigrafía). Finalmente se propone denominar a la sucesión de facies III como *Formación Cerro Negro*, es decir que se restringe al alcance vertical de esta unidad con respecto a los trabajos previos (compárese Figs. 1 y 10).

Estas tres formaciones están asociadas a una misma cuenca sedimentaria, diferenciándose de las unidades que integran al Grupo Sierras Bayas, principalmente por cambios en el ambiente sedimentario y debido a esto se las agrupa en una unidad litoestratigráfica de mayor jerarquía (Art. 31 del Código Argentino de Estratigrafía), que es denominada aquí como *Grupo La Providencia*, nombre tomado del paraje rural y posta La Providencia. Sobre esta unidad se apoyan depósitos cenozoicos en toda el área de estudio y por lo tanto la relación estratigráfica del Grupo La Providencia con unidades paleozoicas, que se registran en otros lugares del Sistema de Tandilia, se desconoce.





**Figura 10.** Nueva propuesta litoestratigráfica de la cubierta sedimentaria Precámbrica/Eopaleozoica del Sistema de Tandilia a partir de la elaborada por Poiré y Spalletti (2005). **Figure 10.** New lithostratigraphic scheme of the Precambrian to lower Paleozoic sedimentary cover of the Tandilia System modified after Poiré and Spalletti (2005).

### CONCLUSIONES

De la presente contribución se extraen las siguientes conclusiones:

A partir del reconocimiento en subsuelo de un paquete sedimentario conformado por 150 metros de lutitas y limolitas gris oscuras a negras que se ubica

estratigráficamente entre las sucesiones margosas y heterolíticas típicas de la Formación Cerro Negro, se planteó el desarrollo de un estudio sedimentológico de todas las litologías reconocidas suprayacentes al Grupo Sierras Bayas y de la relación estratigráfica existente entre ellas.

En las secciones relevadas se definieron diez

facies sedimentarias agrupadas en 3 sucesiones de facies que se han interpretado como vinculadas a un ambiente de planicie mareal. La sucesión de facies I se habría originado en una zona supramareal, con evidencias de exposición subaérea y cuyas tonalidades rojizas han sido asociadas a condiciones óxicas. La sucesión de facies II se vincula a una zona submareal distal, cuyas coloraciones grises oscuras a negras sumado a la presencia de piritita constituyen características relacionadas a condiciones anóxicas a subóxicas. Finalmente, la sucesión de facies III se la asigna a una zona submareal a intermareal caracterizada por un predominio de texturas arenosas de coloraciones rojizas y con frecuentes estructuras asociadas a procesos tractivos como laminación entrecruzada por migración de óndulas subácueas.

Sobre la base del estudio sedimentológico de las tres sucesiones de facies sedimentarias descritas, se planteó un modelo de la evolución tecto-sedimentaria, haciendo referencia a diferentes estadios evolutivos vinculados entre sí por medio de discontinuidades eustáticas y tectónicas. Los dos primeros estadios representan la depositación de las sucesiones de facies I y II, el tercer estadio resulta de la reactivación tectónica de fallas preexistentes afectando a toda la columna sedimentaria hasta este momento y finalmente se reconoce un cuarto estadio, el cual representa la depositación de la sucesión sedimentaria III.

Por último, a partir del reconocimiento y descripción de las sucesiones sedimentarias I, II y III, y sus superficies limitantes, se propone un nuevo esquema estratigráfico. De este modo, para la cobertura que suprayace al Grupo Sierras Bayas se propone el nombre nuevo de Grupo La Providencia, el cual está integrado de base a techo por las unidades denominadas Formación Avellaneda, Formación Alicia y Formación Cerro Negro, la cual a partir de esta propuesta sólo incluirá la sucesión heterolítica rojiza superior de la denominación original de la unidad.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Lic. Cecilia Genazzini por su colaboración en la preparación de muestras para difracción de rayos X y a Daniel Mártire y Pablo García por la preparación de las láminas delgadas. El presente estudio contó con el apoyo de la empresa Cementos Avellaneda S.A. durante las tareas de campo, facilitando el

acceso a canteras, perforaciones y testigos corona. Este estudio fue subvencionado en parte mediante proyectos del CONICET: (PIP-0134) y del FONCyT: (PICT 2012-2798).

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amos, A., B. Quartino y R. Zardini**, 1972. El "Grupo La Tinta" (Provincia de Buenos Aires). Paleozoico y Precámbrico. 25 *Congreso Brasileiro de Geología*, Actas:211-221, Sao Paulo.
- Andreis, R.R., P.E. Zalba y A.M. Iñiguez**, 1992. Paleosuperficies y sistemas depositacionales en el Proterozoico superior de Sierras Bayas, Sistema de Tandilia, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *IV Reunión Argentina de Sedimentología* Actas I:283-290, La Plata.
- Antonoli, J.A.**, 1969. Formación La Tinta. *Notas de la Comisión de Investigaciones Científicas*, Provincia de Buenos Aires, 6:132.
- Arrouy, M.A.**, 2015. Sedimentología y estratigrafía de los depósitos ediacareano-paleozoicos suprayacentes a las calizas del precámbrico del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 285 pp. (online SEDICI-UNLP).
- Bagnoud-Velásquez, M., J.E. Spangenberg, D.G. Poiré y L.E. Gómez Peral**, 2013. Stable isotopes (C, S) and hydrocarbon biomarkers in Neoproterozoic sediments of the upper section of Sierras Bayas Group, Argentina. *Precambrian Research* 231:388-340.
- Barrio, C.A., D.G. Poiré y A.M. Iñiguez Rodríguez**, 1991. El contacto entre la Formación Loma Negra (Grupo Sierras Bayas) y la Formación Cerro Negro: un ejemplo de paleokarst, Olavarría, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 46:69-76.
- Biscaye, P.E.**, 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geological Society of America Bulletin* 76:803-832.
- Borrello, A.V.**, 1966. Trazas, restos tubiformes y cuerpos fósiles problemáticos de la Formación La Tinta, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. *Paleontografía Bonaerense, Fasc. 5, Comisión de Investigaciones Científicas*, Provincia de Buenos Aires 1-42.
- Boyd, R., R.W. Dalrymple y B.A. Zaitlin**, 1992. Classification of coastal sedimentary environments. *Sedimentary Geology* 80:139-150.
- Bridge, J. y Demicco, R.**, 2008. *Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits*, Cambridge University Press, New York, 830 pp.
- Collinson, J., N. Mountney y D. Thompson**, 2006. *Sedimentary Structures* (3<sup>rd</sup> edition). Terra Publishing, Hertfordshire, 292 pp.
- Cuomo J.R., A.N. Mónaco y E.A. Maruca**, 1983. Nuevos yacimientos subterráneos de caliza en el área de Olavarría, provincia de Buenos Aires. *Segundo Congreso Nacional de Geología Económica*. Actas, San Juan.
- Dalla Salda, L.**, 1982. Nama-La Tinta y el inicio de Gondwana. *Acta Geológica Lilloana* 16(1):23-28.
- Dalla Salda, L. y A.M. Iñiguez Rodríguez**, 1979. La Tinta, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. *VII Congreso Geológico Argentino* Actas I:539-550, Buenos Aires.
- Dalla Salda L., J. Bossi y C.A. Cingolani**, 1988. The Río de la Plata

- cratonic region of southwestern Gondwana. *Episodes* 11:263-269.
- Di Paola, E.C. y H.G. Marchese**, 1975. Relación entre la tectosedimentación, litología y mineralogía de arcillas del Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta (provincia de Buenos Aires). *Asociación Argentina de Mineralogía Petrología Sedimentología V*: 45-58.
- Gaucher, C., D.G. Poiré, L.E. Gómez Peral y L. Chigolino**, 2005. Litoestratigrafía, bioestratigrafía y correlaciones de las sucesiones sedimentarias del Neoproterozoico-Cámbrico del Cratón del Río de La Plata (Uruguay y Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 12:145-160.
- Gómez Peral, L.E.**, 2008. *Petrología y diagénesis de las unidades sedimentarias precámbricas de Olavarría, Provincia de Buenos Aires*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 619 pp. (online SEDICI-UNLP).
- Gómez Peral, L.E., D.G. Poiré, H. Strauss y U. Zimmermann**, 2007. Chemostratigraphy and diagenetic constraints of the Neoproterozoic carbonate successions from Sierras Bayas Group, Tandilia System, Argentina. *Chemical Geology* 237: 127-146.
- Gómez Peral, L.E., M.S. Raigembor, y D.G. Poiré**, 2011. Petrología y evolución diagenética de las facies silicoclásticas del Grupo Sierras Bayas, Sistema de Tandilia, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 18:3-41.
- Gómez Peral, L.E., A.J. Kaufman y D.G. Poiré**, 2014. Paleoenvironmental implications of two phosphogenic events in Neoproterozoic sedimentary successions of the Tandilia System, Argentina. *Precambrian Research* 252:88-106.
- Harrington, H.J.**, 1956. Argentina. En: W. F. Jenks (Ed.), *Handbook of South American Geology: An Explanation of the Geologic Map of South America*. Geological Society of America Memoir 65:129-166.
- Íñiguez, A.M. y P.E. Zalba**, 1974. Nuevo nivel de arcilitas en la zona de Cerro Negro, Partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. *Anales del LEMIT Serie* 2:95-100.
- Íñiguez, A.M., A. del Valle, D.G. Poiré, L.A. Spalletti y P.E. Zalba**, 1989. Cuenca precámbrica-paleozoica inferior de Tandilia, Provincia de Buenos Aires. En G. Chebli y L.A. Spalletti (Eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas*. Serie Correlación Geológica 6:245-263.
- Leanza, C.A. y C.A. Hugo**, 1987. Descubrimiento de fosforitas sedimentarias en el Proterozoico Superior de Tandilia, Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42:417-428.
- Martínez, J.C., J.A. Dristas, A.M. Van Den Kerkhof, K. Wemmer, H.-J. Massonne, T. Theye y M.C. Frisciale**, 2013. Late-Neoproterozoic hidrotermal fluid activity in the Tandilia Belt, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70:410-426.
- Miall, A.D.**, 1990. *Principles of sedimentary basin analysis*. Springer, New York, 668 pp.
- Moore, D. Jr. y R. Reynolds**, 1989. *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford, University Press, 332 pp.
- Nágera, J.J.**, 1940. Tandilia. *Biblioteca Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata XXIV*:272 pp.
- Pankhurst, R.B., V.A. Ramos y E. Linares**, 2003. Antiquity of the Río de la Plata Craton in Tandilia, southern Buenos Aires province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 16:5-13.
- Poiré, D.G.**, 1987. *Mineralogía y sedimentología de la Formación Sierras Bayas en el Núcleo Septentrional de las sierras homónimas, partido de Olavarría, provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral 494, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 271 pp. (Inédito).
- Poiré, D.G.**, 1993. Estratigrafía del Precámbrico sedimentario de Olavarría, Sierras Bayas, provincia de Buenos Aires, Argentina. *XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas* 2:1-11.
- Poiré, D.G., y C. Gaucher**, 2009. *Lithostratigraphy. Neoproterozoic-Cambrian evolution of the Río de la Plata Palaeocontinent*. En C. Gaucher, A.N. Sial, G.P. Halverson y H.E. Frimmel (Eds.), *Neoproterozoic-Cambrian Tectonics, Global Change and Evolution: a focus on southwestern Gondwana*. *Developments in Precambrian Geology* 16, Elsevier: 87-101.
- Poiré, D.G. y L.A. Spalletti**, 2005. La cubierta sedimentaria precámbrica/paleozoica inferior del Sistema de Tandilia. En R.E. De Barrio, R.O. Etcheverry, M.F. Caballé y E.J. Llambías (Eds.), *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires*. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino:51-68.
- Potter, P.E., J.B. Maynard y P.J. Depetris**, 2005. *Mud and Mudstones*. Springer, Berlín, Heidelberg, New York, 297 pp.
- Rapalini, A., R.I. Trindade y D.G. Poiré**, 2013. The La Tinta pole revisited: Paleo-magnetism of the Neoproterozoic Sierras Bayas Group (Argentina) and its implications for Gondwana and Rodinia. *Precambrian Research* 224:51-70.
- Teruggi, M.E. y J.O. Kilmurray**, 1980. Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. En J. Turner (Ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias 2:919-965.
- Tucker, M. y V.P. Wright**, 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell, Oxford, 482 pp.
- Zalba, P.E.**, 1978. Estudio geológico-mineralógico de los yacimientos de arcillas de la zona de Barker, partido de Juárez, provincia de Buenos Aires y su importancia económica. Tesis Doctoral 362, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 75pp. (Inédito).
- Zalba, P.E., D.G. Poiré, R. Andreis y A.M. Íñiguez**, 1993. Precambrian paleoweathering records and paleosurfaces of Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina. En J. Schmit y Q. Gall. (Eds.), *Mineralogical and Geochemical Records of Paleoweathering*. ENSMP Memories des Sciences de la Terre 18:153-161.
- Zimmermann, U. y L.A. Spalletti**, 2009. Provenance of the Lower Palaeozoic Balcarce Formation (Tandilia System, Buenos Aires Prov., Argentina): Implications for palaeogeographic reconstructions of SW Gondwana. *Sedimentary Geology* 219:7-23.