

## Paleoambientes de la Formación Puncoviscana (Neoproterozoico - Cámbrico inferior), en el sector oriental de la Quebrada de León, provincia de Jujuy

José CHILIGUAY<sup>1</sup>; Vanina LÓPEZ de AZAREVICH<sup>2</sup>; Mauricio ZAMPONI<sup>3</sup>; Miguel AZAREVICH<sup>4</sup> y Alba MUÑOZ<sup>5</sup>

**Abstract:** *PALAEOENVIRONMENTS OF THE PUNCOVISCANA FORMATION (NEOPROTEROZOIC-EARLY CAMBRIAN) EN THE EASTERN SECTOR OF THE LEON CREEK, JUJUY PROVINCE.* The Puncoviscana Formation (Neoproterozoic-Early Cambrian), cropping out in Leon creek, Jujuy province, was recognized in four sedimentological profiles with lithofacies of calcareous conglomerates, quartzites, meta-sandstones and meta-pelites. The sequence registers fossil material of medusoids (*Beltanelloides* sp.), Cnidaria (*Corymorpha*) and trace fossils of *Helminthoidichnites*, *Planolites* isp., *Archaeonassa* isp., *Palaeophycustubularis*, *Nereites* isp., which allow to assign a marine domain and a minimum Early Cambrian (Fortunian) age. The associated sedimentary structures that define asymmetric and linguoid ripples, through and *hummocky*, as well as palaeochannel architectures with imbricated clasts and flute casts, are diagnostic of shallow palaeoenvironments dominated by waves, tides and ebb tidal currents with a source of calcareous clasts from the east. The heterolithic structures (flaser, ondulitic and lenticular) and the presence of tidal rhythmites are indication of estuaries dominated by tides, whereas the interference ripples indicate palaeoenvironments affected by interaction of tidal and litoral current's process. The integration of facies associations suggest a shallow basin in which tidal flats and estuaries were developed, with abundant nutrients and sun light that support the proliferation of the biological activity of diverse type (bentonic and planktonic). The evolution of the Puncoviscana basin represents a change from a carbonate domain (Volcán Formation to the east) towards a clastic domain (Puncoviscana Formation) from the beginning of Cambrian.

**Resumen:** La Formación Puncoviscana (Neoproterozoico-Cámbrico inferior), aflorante en Río León, provincia de Jujuy, fue reconocida en cuatro perfiles sedimentológicos con litofacies de conglomerados calcáreos, cuarcitas, meta-areniscas y metapelitas. La secuencia registra restos fósiles de medusoides (*Beltanelloides* sp.), Cnidarios (*Corymorpha*) y trazas fósiles de *Helminthoidichnites*, *Planolites* isp., *Archaeonassa* isp., *Palaeophycustubularis*, *Nereites* isp., que permiten asignar un dominio marino y una edad mínima Cámbrico inferior (Fortuniano). Las estructuras sedimentarias asociadas que definen ondulitas asimétricas y linguoides, artesas y estructuras *hummocky*, así como también las arquitecturas de paleocanales con clastos imbricados y calcos de flujo, son diagnósticas de paleoambientes someros dominados por olas, mareas y corrientes mareales de reflujó con aporte de clastos calcáreos desde el este. Las estructuras heterolíticas (flaser, ondulítica y lenticular) y la presencia de ritmitas mareales son indicativas de estuarios dominados por mareas, mientras que las ondulitas de interferencia indican paleoambientes afectados por interacción de procesos mareales y corrientes litorales.

<sup>1</sup> Instituto Geología, Universidad Nacional de Jujuy y Facultad Ingeniería, UNJU. jchili2000@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> CONICET-CEGA. Fac. Ciencias Naturales, UNSA. e-mail: villopez@yahoo.com.ar

<sup>3</sup> CONICET Laboratorio de Biología de Coelenterados, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata. e-mail: mozamponi@gmail.com

<sup>4</sup> CEGA. Fac. Ciencias Naturales CONICET-CEGA. e-mail: miguel\_azarevich@yahoo.com.ar

<sup>5</sup> Facultad Ingeniería-UNJU. e-mail: alba.munoz1303@gmail.com

La integración de la asociación facial sugiere una cuenca somera en la cual se desarrollaron planicies mareales y estuarios con abundantes nutrientes y luz solar que avalaron la proliferación de la actividad biológica de diverso tipo (bentónicos y plantónicos). La evolución de la cuenca Puncoviscana representa un cambio de dominio carbonático (Formación Volcán hacia el este) hacia dominio clástico (Formación Puncoviscana) a partir del inicio del Cámbrico.

**Key words:** Puncoviscana Formation. Palaeoenvironment. Tidal flat. Estuary. Fortunian.

**Palabras clave:** Formación Puncoviscana. Paleoambiente. Planicie mareal. Estuario. Fortuniano.

## Introducción

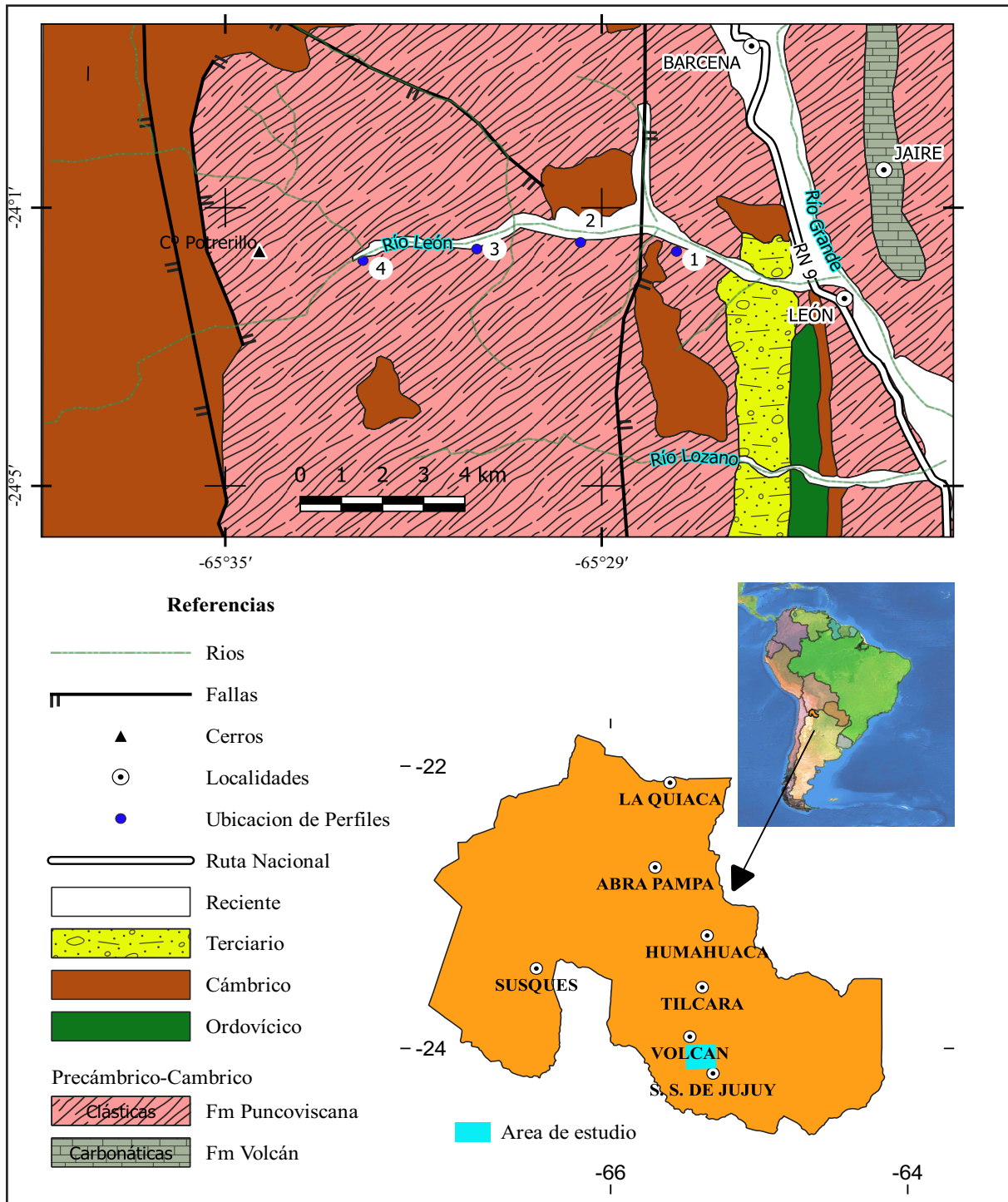
El basamento del noroeste argentino (NOA) está integrado por metasedimentitas clástico-carbonáticas de edad Neoproterozoico-Cámbrico inferior, que constituyen el relleno de la cuenca Puncoviscana. La sucesión estratigráfica fue definida en el Valle de Lerma por Salfity *et al.* (1976) como Grupo Lerma, conformado por cuatro unidades formacionales, que de base a techo se denominan: i) Formación Sancha (Ortiz, 1962), integrada por turbiditas y diamictitas; ii) Formaciones Volcán, Las Tienditas y Tumbaya (Loss y Giordana, 1952; Ortiz, 1962; Porto *et al.*, 1990), con calizas y dolomitas; iii) Formación Puncoviscana (Turner, 1960), que incluye una secuencia clástica, predominantemente pelítica, marino somera (López de Azarevich *et al.*, 2010a, 2012b); iv) Formación Corralito (Salfity *et al.*, 1976), que comprende conglomerados polimícticos.

La Formación Puncoviscana (Turner 1960) es portadora de trazas fósiles, improntas de cuerpos blandos y restos fósiles. A partir de la asociación paleontológica se define un lapso deposicional que se habría iniciado en el Ediacarano, definido por la presencia de cuerpos blandos asignados a *Nemiana* y *Belltanelloides* (Aceñolaza y Aceñolaza, 2007, y literatura), extendiéndose hasta el Terreneuviano \ Serie 2, identificado por la presencia de trazas fósiles de *Oldhamia* sp. (Mirrè y Aceñolaza, 1972).

La presencia de abundantes registros fosilíferos ha permitido ajustar no solamente la edad deposicional sino también condiciones paleoambientales específicas dentro de la cuenca Puncoviscana. Aceñolaza y Toselli (1981) analizan la distribución de trazas fósiles dentro

de la cuenca Puncoviscana asimilables al Proterozoico y otras al Cámbrico, identificando una zonación paleogeográfica para *Oldhamia* y otra para *Nereites saltensis*. La primera mención de improntas en la Formación Puncoviscana corresponde a *Selkirkia* sp. (semejante a gusano marino alargado de cuerpo blando) y *Belltanelloides* sp. (medusoides) (Aceñolaza y Aceñolaza, 2005). La primera mención de restos fósiles en la Formación Puncoviscana corresponde a Chiliguay y Alonso (2014), quienes presentan el hallazgo de organismos fósiles en el río León, provincia de Jujuy (Figura 1). Los mismos fueron descritos como Conulariformes y *Corymorpha* sp. (Chiliguay *et al.*, 2014), cnidarios de las clases Scyphozoa e Hydrozoa, respectivamente. El hidrozoo fósil presenta una estructura articulada que evidencia un ambiente litoral con acción de oleaje, por lo que constituye un importante indicador paleoambiental.

Aceñolaza y Alonso (2001) reconocen tres icnoasociaciones fósiles: *Belltanelliformis* de facies proximales, *Nereites* de facies intermedias a distales y *Oldhamia* de facies distales. Mángano y Buatois (2004) sitúan a la asociación de *Oldhamia* como de aguas profundas y la de *Nereites* de ambiente somero y reconocen estratificación tipo *hummocky* proponiendo que el concepto de ambiente profundo para la Formación Puncoviscana debe ser abandonado. Omarini *et al.* (2008); López de Azarevich *et al.* (2010a, 2012b), identifican ambientes intermareales y submareales, y de cara de playa en base a estructuras sedimentarias diagnósticas, las cuales se asocian registros de matas microbiales y algales. El estudio de ritmitas mareales en la Formación Puncoviscana permitió a López de Azarevich y Azarevich (2017) analizar la influencia de los procesos



**Figura 1.** Ubicación regional y mapa geológico de la zona de estudio en río León, provincia de Jujuy, donde se ubican los perfiles relevados. / **Figure 1.** Regional location and geological map of the study area in Río León, province of Jujuy, where the profiles are located.

terrestres internos y externos en la dinámica de los ciclos lunares y mareales, integrando datos de otras secuencias mundiales de diferentes edades.

Considerando que la localidad de río León presenta una asociación biofaunística única dentro de la cuenca Puncoviscana, la presente contribu-

ción tiene por objetivo presentar la caracterización litofacial y paleoambiental de la Formación Puncoviscana en esta localidad, y la identificación de los controles sobre los nichos ecológicos del Neoproterozoico-Cámbrico inferior en este sector de la cuenca.

## Ubicación del área de estudio

El área de estudio se localiza en las márgenes del río León, 25 km al norte de la ciudad de San Salvador de Jujuy, en la provincia homónima. Los afloramientos de la Formación Puncoviscana son leptosedimentitas organizadas en sucesiones areno-pelíticas, que se encuentran estratigráficamente por encima de los carbonatos de la Formación Volcán (Porto *et al.*, 1990). Estos últimos afloran hacia el Este, cruzando la Ruta Nacional N° 9.

Desde el poblado de León hacia el oeste, por el río homónimo, se reconoce una estructuración en bloques en los que la Formación Puncoviscana presenta un ascenso diferencial por efecto de la tectónica andina. Esta configuración permite dividir los afloramientos de la Formación Puncoviscana en dos sectores: oriental y occidental. El primero se localiza desde la ruta pavimentada hasta Encrucijada (Figura 1), se caracteriza por la menor elevación de sus afloramientos, pliegues de segundo y tercer orden reconocidos principalmente sobre las márgenes del río. En este bloque se encuentran los perfiles litoestratigráficos relevados.

El bloque oeste comprende desde Encrucijada hasta el límite occidental, expresado por una falla de carácter regional donde los estratos de la Formación Puncoviscana, a lo largo del río León, convergen contra el Grupo Mesón, generándose un bloque antiformal fallado. En esta estructura se reconoce, en el núcleo, una secuencia metapelítica de la Formación Puncoviscana, donde se calculó un espesor total de 1.400 m (Chiliguay y Zamponi, 2012).

En el bloque oriental la altura mayor promedio de los bloques llega a 2.800 m.s.n.m., mientras que en Encrucijada la elevación promedio aproximada es 3.700 m.s.n.m.

## Materiales y metodología de trabajo

Durante la investigación planteada se confeccionó el mapa geológico-estructural sobre la base de imagen satelital a escala 1:25.000

y el correspondiente control de campo. Se realizaron cuatro perfiles bioestratigráficos en el sector oriental de quebrada de León sobre afloramientos de la Formación Puncoviscana. Los puntos de relevamiento y de control fueron registrados mediante un equipo de GPS Garmin e-trex con precisión de 10 m en coordenadas X-Y y 20 m en Z. Las estructuras fueron medidas mediante una brújula Brunton con clinómetro.

Los perfiles fueron relevados con cinta métrica, representados a escala vertical 1:100 y con escala granulométrica horizontal. Se identificaron estructuras sedimentarias primarias y el material fosilífero presente, las relaciones de contacto entre distintos estratos, y espesores de las secuencias y las litofacies incluidas. En las sucesiones pelíticas se extrajeron muestras para medición de espesor de láminas con calibre digital de precisión 0,1 mm y bajo lupa binocular OLIMPUS S2-PT. También se procedió a un registro de las secuencias con cámara digital equipada con zoom óptico x7.

El estudio del contenido fosilífero en campo se realizó con ayuda de cepillo, balde de agua, lupas de mano con aumento x5, x10 y x14. El material dudoso fue recolectado para su estudio en gabinete utilizando lupa binocular y cámara digital. En la extracción de muestras se tuvo especial cuidado de no afectar el medio ambiente en el sitio de trabajo.

Se registraron los cambios de energía del ambiente mareal, cambios faciales y asociación de facies, datos que permitirán caracterizar los diferentes ambientes deposicionales. También se llevó a cabo el registro fotográfico correspondiente.

## Marco geológico regional

La columna estratigráfica de la zona de estudio se inicia con el Grupo Lerma (Salfty *et al.*, 1976), del cual solamente están representadas las Formaciones Volcán (Loss y Giordana, 1952) y Puncoviscana (Turner, 1960). Sobre esta última se depositan en discordancia angu-

lar las secuencias de edad Cámbrico medio-superior del Grupo Mesón (Turner, 1960), y por medio de contacto tectónico, las ordovícicas del Grupo Santa Victoria (Turner 1960). Mediante una discordancia y un hiatus deposicional se apoyan los sedimentos terciarios del Subgrupo Metán (Gebhard *et al.*, 1974) y sedimentos fluviales y aluviales recientes (Figura 2).

Grupo Lerma (Salfity *et al.*, 1976)

La Formación Volcán es la unidad más antigua, aflora hacia el este en la cantera Jaire (Figura 1), donde se explotan calizas cristalinas de color gris azulado a negro, cortadas por venillas blancas de calcita y sílice. La estratificación es en bancos de espesor variable, entre 1 y 50 cm. La signatura isotópica de <sup>13</sup>C y Sr obtenida por Tose-

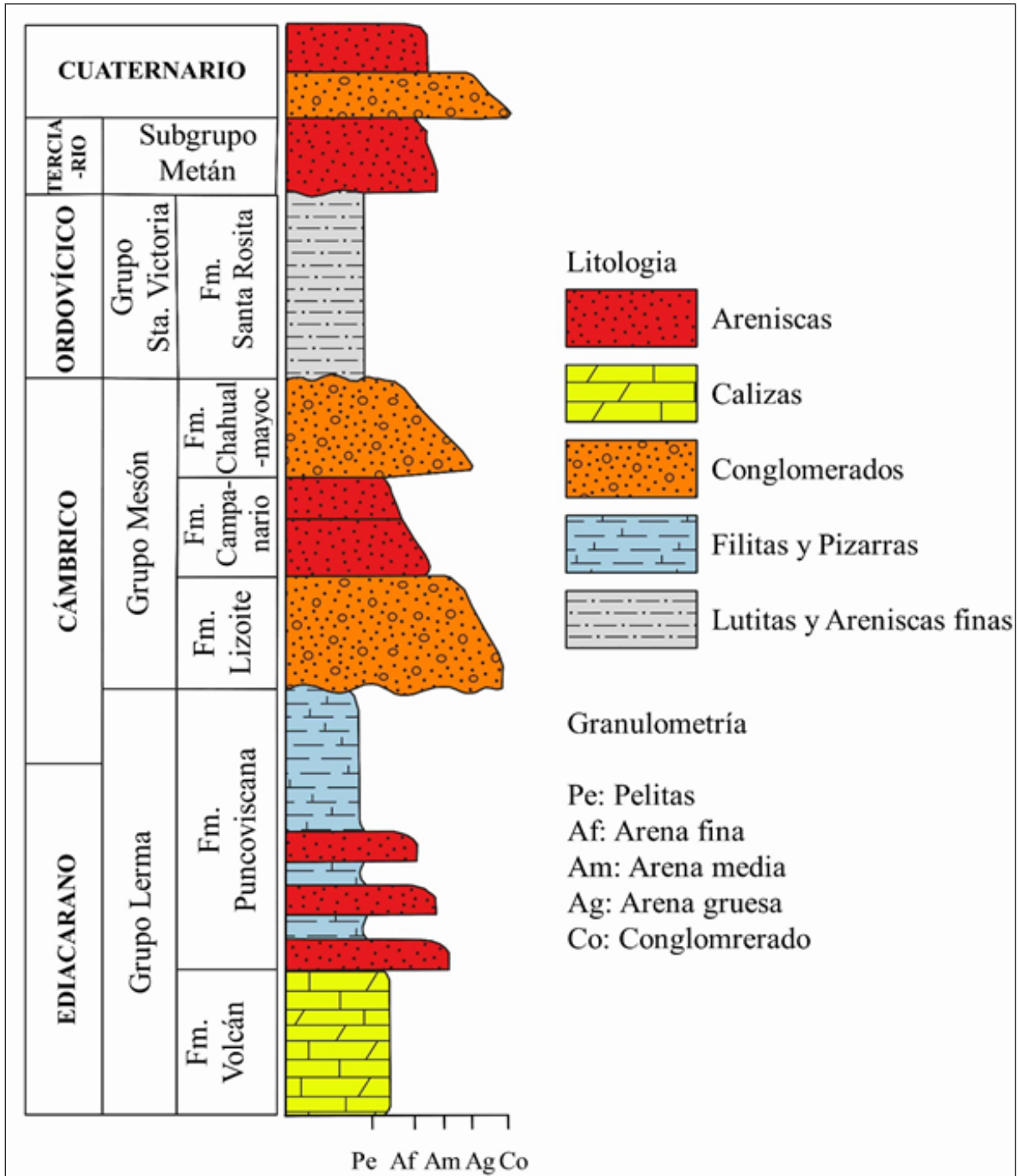


Figura 2. Estratigrafía del área de estudio./Figure 2. Stratigraphy of the study area.

lli *et al.* (2005) para esta unidad sugiere una edad aproximada de 700 Ma, mientras que los carbonatos de las Formaciones Tumbaya y Las Tienditas fueron considerados más jóvenes y asignadas a la transición Vendiano/Fortuniano, ~570-540 Ma (Sial *et al.*, 2001, Toselli *et al.*, 2005).

Sin contacto visible con la Formación Volcán y de edad más joven, aflora hacia el oeste la Formación Puncoviscana, integrada por sedimentitas de bajo a muy bajo grado metamórfico de colores grises, violáceos, rojizos y verdes. Comprende una sucesión de filitas, pizarras, cuarcitas, grauvacas y escasos conglomerados. Esta unidad presenta un rango deposicional entre el Ediacarano, definido por la presencia de cuerpos blandos asignados a *Nemiana* y *Belltanelloides* (Aceñolaza y Aceñolaza, 2007, y literatura) y el Terreneuviano Serie 2 (~521 Ma), identificado por la presencia de trazas fósiles de *Oldhamia* sp. (Mirrè y Aceñolaza, 1972).

El rango temporal de desarrollo de la cuenca Puncoviscana está acotado asimismo, por la intrusión del granito Tipayoc (550±26 Ma, Omarini *et al.* 1996) y la presencia de niveles piroclásticos intercalados en la Formación Puncoviscana al norte y sur la localidad en estudio (545-512 Ma, Escayola *et al.*, 2011; Aparicio González, 2014; Aparicio González *et al.*, 2014 y literatura incluida).

Las trazas fósiles no son numerosas pero una de ellas, Cruzianiforme, es de importancia cronoestratigráfica (Chiliguay y Zamponi, 2012).

### Grupo Mesón (Turner, 1960)

En la zona de estudio los estratos de Grupo Mesón (Cámbrico medio-superior) se presentan discordantes sobre la Formación Puncoviscana o en contacto tectónico. En el área se identificaron las tres formaciones que integran el Grupo Mesón: Lizoite, Campanario y Chalhualmayoc. La Formación Lizoite presenta un espesor de 22 m, son areniscas cuarzosas finas en estratos tabulares, masivos y de color rosado.

Transicionalmente, aflora la Formación Campanario, con 75 m de espesor del Miembro Verde (Sanchez y Salfity, 1999, y este trabajo), con

coloraciones rosadas/rojizas y presencia de la icnofacies *Skolithus*. Se trata de una secuencia granocreciente y estratocreciente, compuesta por areniscas medias con pequeñas variaciones a tamaño fino y grueso de color verde que alternan con pelitas. En la mitad inferior se reconoce estratificación cruzada, barras lenticulares, pasando a estratificación laminar con algunas lentes de areniscas finas hacia el techo. La Formación Chalhualmayoc aflora por encima de la Formación Campanario y recrea una topografía abrupta de difícil acceso. Las facies observadas indican un ambiente de plataforma marina somera dominada por corrientes de marea (Sanchez y Salfity, 1999).

### Formación Santa Rosita (Turner, 1960)

Esta unidad, de edad ordovícica, aflora en el río León, 3 km al oeste de Ruta Nacional N° 9 y dentro de una megafalla con dirección N-S, que se extiende hasta 30 km al sur. El afloramiento representa una faja remanente de ~60 m de ancho de la Formación Santa Rosita, acotada temporalmente en el intervalo Furongiano tardío-Tremadociano (Esteban *et al.*, 2015). Tiene como base 12 m de areniscas cuarzosas de aspecto masivo, seguidas por 3 m de una alternancia de arenisca media a pelita de color verde con estratos lenticulares de arenisca. El resto de la secuencia corresponde a lutitas negras con estratificación fina a media, que incluye un nivel de concreciones. El contenido fosilífero predominante son trilobites, la mayoría mal conservados, entre los que se determina *Jujuyaspis keideli*.

Sobre la margen izquierda de esta faja mencionada, se midieron 67 m de esta unidad. Se destaca la presencia de ondulitas de crestas rectas, conformando un ángulo de 70° en bancos sucesivos y estructuras “piel de elefante” (*elephant skin*) producidas por matas microbiales en un ambiente somero intermareal.

### Subgrupo Metán (Gebhard *et al.*, 1974)

El Neógeno en la zona de trabajo se atribuye fundamentalmente al Subgrupo Metán (Galli y Hernández, 1999). Esta unidad se dispone en una faja submeridiana, de ~1,5 km de

ancho (figura 1). A lo largo del río León, esta unidad se asienta discordante y mediando un hiatus deposicional, sobre el Grupo Mesón con una base conglomerádica de 5-7 m de espesor. La litología es monótona, consiste en areniscas color pardo a rojizas con escasas intercalaciones de conglomerados finos y menos frecuente lentes delgadas de material calcáreo. En río Lozano, al sur, se observan estratos compuestos por areniscas medias con escasas intercalaciones de areniscas calcáreas, menores a 0,2 m en forma de lentes, desconociéndose una continuidad mayor por la abundante vegetación. Aproximadamente 15 km al sur, la secuencia incluye calcita como relleno de fisura que fueron correlacionadas por Espelta *et al.* (1978) como equivalentes al Subgrupo Metán.

## Estratigrafía de la Formación Puncoviscana

La faja de leptosedimentitas de la Formación Puncoviscana en el río León aflora desde Ruta Nacional N° 9 extendiéndose por un ancho de 18 km hacia el oeste. En el sector oriental se localizan los perfiles litoestratigráficos relevados, denominados 1 a 4 de E a O (Figura 1).

### Perfil Sedimentológico 1 – PS1

Esta secuencia se ubica en el sector oriental del río León (Figura 1), totaliza 53 m de espesor, y se orienta con rumbo N25°O y buzamiento 80°SO (Figura 3). Se caracteriza por presentar tres asociaciones litológicas bien definidas: una inferior con predominio de pelitas sobre areniscas en relación 2:1 y estratificación media predominante; una intermedia netamente pelítica con escasa arenisca fina, y una superior con una relación arenisca/pelita de 4:1.

La secuencia sedimentaria se inicia con 5 m de pelitas con ondulitas, que presentan longitud de onda de 25 cm y amplitud de 8 cm, parcialmente bioturbadas. En esta sucesión intercala una arenisca fangosa conglomerádica con

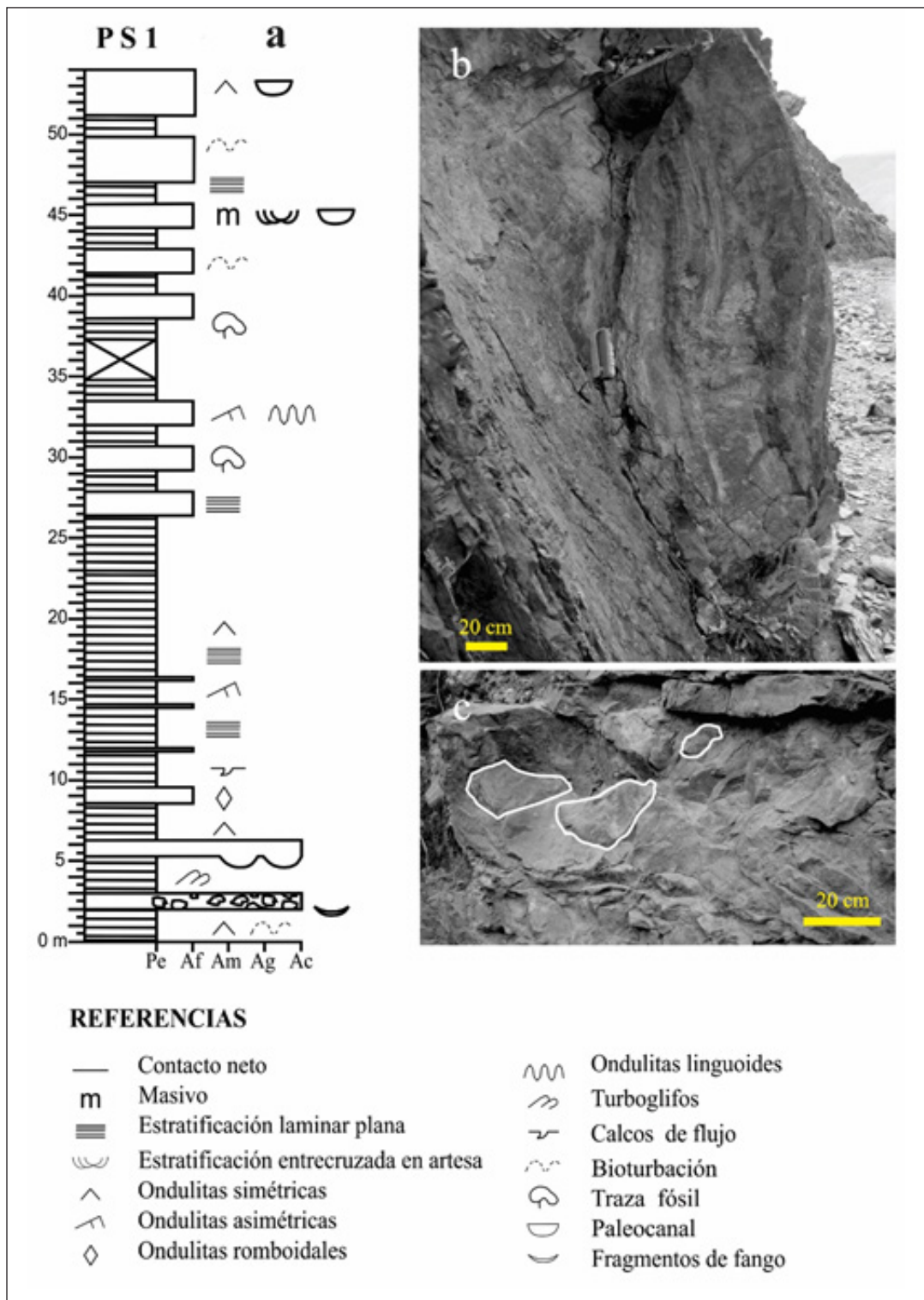
arquitectura de paleocanal de escasa extensión lateral, de 20 cm de espesor, que incluye clastos tabulares y angulosos de areniscas calcáreas color gris, de 3 a 5 cm de longitud por 2 a 3 cm de ancho, inmersos en matriz de arenisca fina. Hacia arriba y sobre el mismo nivel estratigráfico, se disponen dos cuerpos canalizados con forma cóncavo-planar, de 50 y 30 cm de profundidad, respectivamente. En el primero se registraron clastos de areniscas calcáreas, de color gris, de 15x12x10 cm de largo, ancho y espesor respectivamente. También se observaron otros clastos de sedimentitas clásticas de tamaños similares. Se reconocen escasas estructuras entre ellas: ondulitas romboidales a linguoides, calcos de flujo, y ondulitas simétricas.

La sección intermedia registra 16 m de pelitas con marcada laminación paralela recta, de extensión lateral en cuña. Se observa una suave laminación cruzada (*ripples* asimétricos) y tenue laminación sinuosa con bioturbación moderada.

En la sección superior, se reconocen 20 m de areniscas finas en estratos, algunos de forma ondulada y de tamaño medio a grueso con varios cuerpos acanalados de 2 a 5 m de longitud y 0,5 a 1 m de profundidad. Estas formas se encuentran interestratificadas con material pelítico que en la fracción limosa presenta ondulitas simétricas y estratificación entrecruzada en artesa. En algunos niveles pelíticos se reconoce bioturbación y trazas fósiles. Se han identificado *Helminthoidichnites*, *Planolites* isp., *Archaeonassa* isp. y fragmentos rotos de restos fósiles

### Arenisca calcárea del PS1

Los clastos calcáreos encontrados en los paleocanales de PS1, analizados a escala microscópica, presentan estratificación fina, compuesta por granos de calcita en un porcentaje de 30-35%, tamaño promedio de 0,20 mm de largo por 0,05 mm de ancho, distribuidos entre granos de cuarzo mayoritarios (>50%) con tamaños de 0,3 a 0,05 mm. Como minerales accesorios se reconocen feldespatos alcalinos, clorita y minerales oxida-



**Figura 3.** Perfil Sedimentológico 1 de la Formación Puncoviscana (PS1). **a.** Columna estratigráfica. **b.** Arquitectura de paleo-canal con clastos elongados de arenisca calcárea en matriz de arenisca fina. **c.** Conglomerado con megaclastos subangulares de areniscas moradas. / **Figure 3.** Sedimentological Profile 1 of the Puncoviscana Formation (PS1). **a.** Stratigraphic column. **b.** Paleo-channel architecture with elongated clasts of calcareous sandstone in fine sandstone matrix. **c.** Conglomerate with subangular megaclasts of purple sandstones.

dos en proporción ~5%. Esta composición y la asociación con clastos de material clástico, indican erosión de las rocas calcáreas y clás-

icas más antiguas dentro de la cuenca Puncoviscana, Formación Volcán y posiblemente Formación Sancha.



## Paleoambiente

La presencia en la base de pelitas con ondulitas y sucesivos cuerpos de areniscas conglomerádicas con clastos angulares y otros cuerpos canalizados también con clastos de forma tabular angulosa, sumado a ondulitas romboidales y linguoides permiten interpretar un ambiente cercano a la costa y de profundidad somera, afectado por corrientes litorales y con desarrollo de canales de marea. Por lo tanto, la sección basal corresponde a zonas intermareales, con áreas de proveniencia del este, donde afloran los carbonatos de la Formación Volcán.

En la sección media predomina material pelítico y suaves ondulitas asimétricas, que sugieren un período de mayor tranquilidad, posiblemente de naturaleza estacional. En la sección superior, registra un paleoambiente similar al de la base, más arenoso, con sistemas canalizados con buena extensión lateral.

Esta asociación litológica con abundantes trazas fósiles evidencia sistemas costeros someros con condiciones favorables para la supervivencia de organismos.

## Perfil Sedimentológico 2– PS2

Este perfil se realiza en una quebrada estrecha de dirección norte/sur de 2-6 m de ancho, donde la secuencia de la Formación Puncoviscana se dispone con rumbo general E-O. Hacia las nacientes de la quebrada se apoyan discordantemente las Formaciones Lizoite, Campanario y Chalhuamayoc, integradas en el Grupo Mesón (Cámbrico medio-superior).

El PS2 (Figura 4) representa dos secciones, una inferior de 32 m y una superior de 111 m cuyo techo está en contacto con la base del Grupo Mesón, separadas por una zona de falla orientada en sentido NE-SO.

## Sección Inferior

Esta columna es una apretada secuencia

de 32 m de espesor donde predominan areniscas finas sobre pelitas en una relación 7:1. En la base, sobre 3 m de areniscas masivas bioturbadas descansa una pelita conglomerádica matriz-portante con clastos 1-3 cm de diámetro de areniscas finas con formas subredondeadas. Estos detritos sugieren depositación en un ambiente de mayor energía, posiblemente asociados a corrientes de turbidez dentro de los canales mareales. En toda la sección se registran calcos de flujos, en menor medida ondulitas de interferencia, ondulitas linguoides, marcas de escurrimiento, estratificación entrecruzada tangencial, turboglifos y bioturbación.

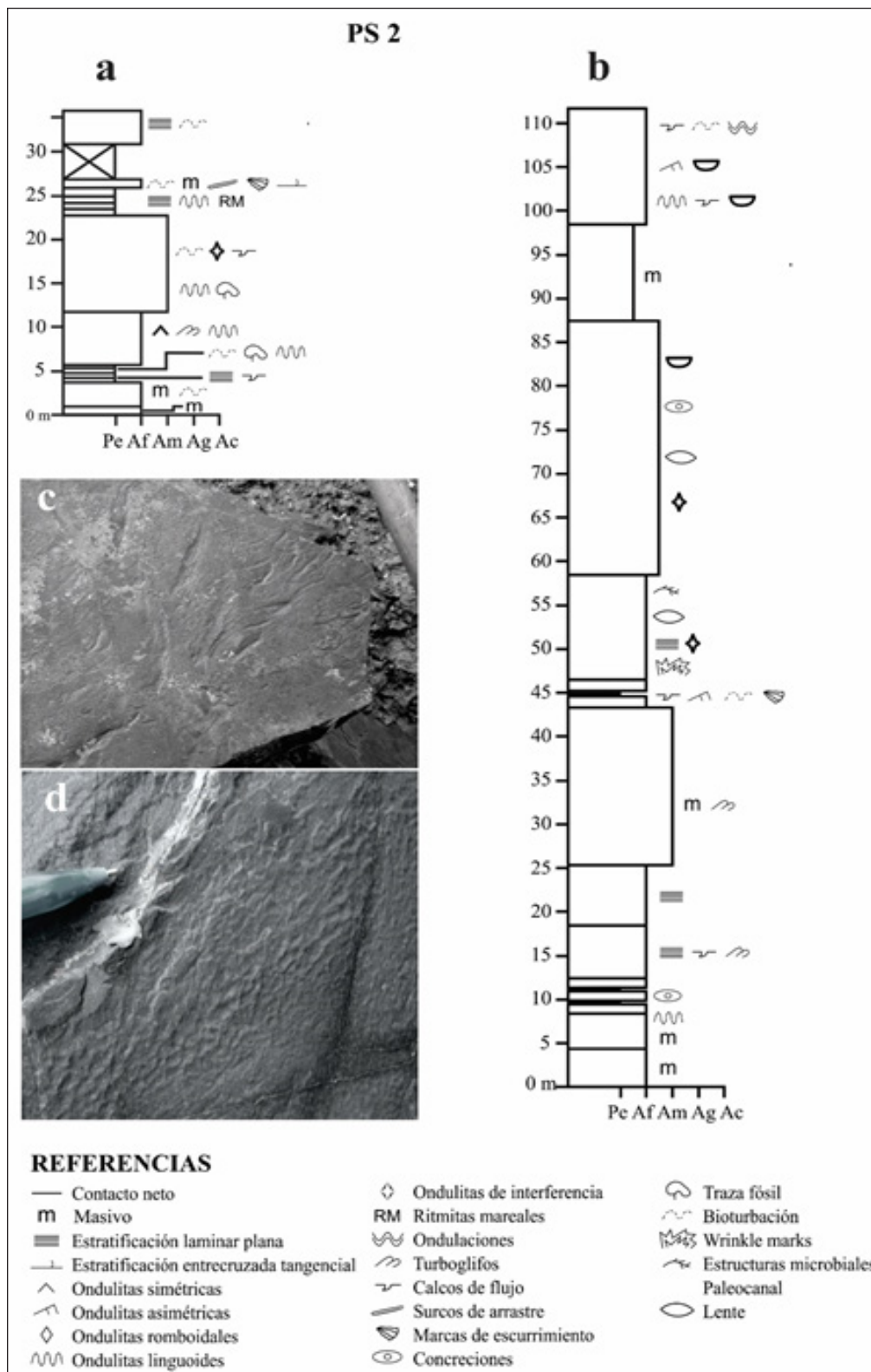
La única traza fósil observada es *Palaeophycus tubularis*, registrada en otras localidades de la cuenca por Buatois y Mángano (2003).

## Sección Superior

Este segmento estratigráfico de la Formación Puncoviscana se encuentra debajo de la discordancia Tilcárca que separa el Grupo Mesón de los sedimentos plegados de la cuenca Puncoviscana. Comprende areniscas finas predominantes sobre material pelítico en una relación 8:1. Desde la base hasta los 47 m se presentan areniscas granocrecientes con aspecto masivo, marcas de escurrimiento, ondulitas asimétricas, turboglifos, calcos de flujo menores y concreciones; considerándose este intervalo estratigráfico equivalente a la sección inferior. Hacia el tope continúan cuerpos lentiformes de arena media de 0,3 a 0,7 m de espesor, marcas de escurrimiento, ondulitas de interferencia y en el tope ondulitas linguoides, ondulitas asimétricas, bioturbación, *wrinkle marks* y cuerpos canalizados que indicarían flujos de alto régimen en una planicie mareal somera.

## Paleoambiente

Tanto en la sección inferior como superior, la asociación litofacial permite deducir un ambiente de planicie de marea influenciada por



**Figura 4.** Perfil Sedimentológico 2 de la Formación Puncoviscana (PS2). **a.** Columna estratigráfica de la sección inferior. **b.** Columna estratigráfica de la sección superior. **c.** Marcas de escurrimiento (*rill marks*). Dirección del flujo: hacia arriba-derecha. **d.** *Wrinkle marks*. / **Figure 4.** *Sedimentological Profile 2 of the Puncoviscana Formation (PS2).* **a.** *Stratigraphic column of the lower section.* **b.** *Stratigraphic column of the upper section.* **c.** *Runoff marks (rill marks).* Flow direction: up-right. **d.** *Wrinkle marks.*

corrientes litorales que favorecieron el desarrollo de ondulitas de interferencia, y por mareas

que se evidencia por la presencia de marcas de escurrimiento y canales mareales que registran

turboglifos y calcos de flujos.

Las marcas de bioturbación y *wrinklemarks* sugieren condiciones benignas sobre esta planicie de mareas con buena iluminación.

### Perfil Sedimentológico 3 – PS3

Es el sitio donde se registran altas tasas de bioturbación, identificadas previamente por Chiliguay y Zamponi (2012). En este sector se realizan los Perfiles PS3A y PS3B, separados 80 m en la margen derecha del río, están vinculados a través de un pliegue de tercer orden, localizándose PS3B por debajo de PS3A. El PS3C se encuentra sobre la margen izquierda del río León, en similar latitud geográfica del PS3B, registrando ambos un nivel guía de arenisca gravosa que permite la correlación estratigráfica (Figuras 1 y 5).

### Perfil Sedimentológico 3A – PS3A

En el PS3A, la secuencia metasedimentaria analizada tiene un espesor de 44 m, y se orienta N65°O buzando 68°SO. La relación areniscas finas sobre pelitas es 5:1 y predomina la estratificación media (Figura 5).

Hasta los primeros 10 m predomina una intercalación de pelitas y areniscas medias. En las pelitas se reconocen ondulaciones que representan estratificación de tipo convoluta, ritmitas de origen mareal y lentes arenosos de 7 a 10 m de longitud y hasta 0,5 m de espesor. En menor grado se desarrollan en esta facies ondulitas linguoides y asimétricas de pequeña escala. Las intercalaciones arenosas registran ondulitas simétricas, turboglifos y marcas de arrastre asociadas a mayor régimen de flujo, y algunos lentes arenosos gruesos.

Continúan 14 m de areniscas dominantes caracterizadas por registrar ondulitas asimétricas y linguoides, con muy escasas intercalaciones pelíticas que contienen lentes arenosos.

De los 24 a 44 m, el número de estructuras sedimentarias disminuye, caracterizándose por la presencia de areniscas masivas, escasas ondulitas simétricas y calcos de surco, estratificación ondu-

lítica y estratificación entrecruzada planar.

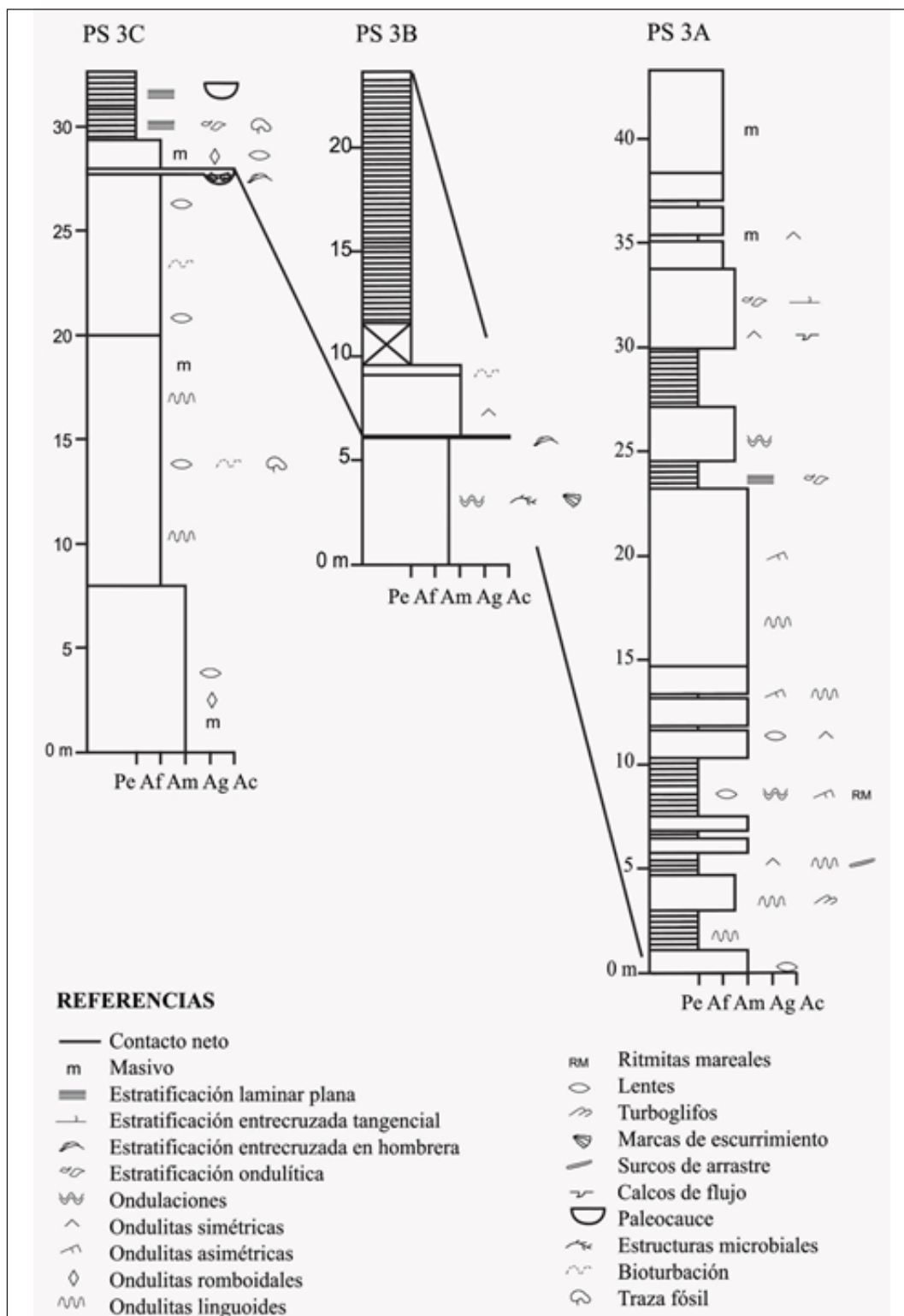
En la sección inferior de la columna se han determinado medusoides parcialmente conservadas, que fueron determinadas como *Kirklandia* sp. En este espécimen no se conservaron canales radiales, quedando expuestos 16 sacos o bolsillos radiales (Chiliguay y Zamponi, 2012). Como traza fósil se registró un Cruzianiforme de 5 mm de ancho con *scratchmarks* en vínculo con estructuras producidas por matas microbiales (Figura 6).

Se identificó asimismo *Corymorpha* sp., un hidrozoo en forma de pólipo solitario, descrito inicialmente por Chiliguay *et al.* (2014), el cual reviste importancia por ser un indicador paleoambiental de ambiente litoral con fuerte oleaje. En esta secuencia también se encontraron los dos primeros conulariformes (Chiliguay y Alonso 2014), que poseen orificios circulares o poros de pequeño diámetro en las caras, expresión externa de los conductos internos por donde circula el agua que acarrea alimento y agua para la oxigenación a través de cilios.

### Perfil Sedimentológico 3B – PS3B

El PS3B, al igual que el PS3A, se encuentra en la margen derecha del río León, y se halla separado 80 m de PS3A, a través de un sector tectonizado. Esta corta secuencia de 22 m se orienta N5°E con buzamiento 50°E.

Los primeros 6 m están constituidos fundamentalmente por areniscas finas a medias con marcas de escurrimiento (*rillmarks*), y estructuras microbiales en las granulometrías más finas (Figura 5). A los 6 m de altura estratigráfica se registra un nivel de arenisca conglomerádica de 10 cm de espesor con pequeños clastos de arenisca calcárea tamaño grava y color pardo amarillento, asociado con estratificación tipo *hummocky*. Continúan 3,5 m de areniscas medias con ondulitas simétricas, que se encuentran bioturbadas hacia el techo. Mediando un sector de 1,5 m cubierto, continúan 11 m de pelitas laminadas, muy homogéneas, bioturbadas y que contienen material fósil fragmentado.



**Figura 5.** Perfiles sedimentológicos de la Formación Puncoviscana, de derecha a izquierda: PS3A, PS3B, PS3C./ **Figure 5.** Sedimentological profiles of the Puncoviscana Formation, from right to left: PS3A, PS3B, PS3C.

### Perfil Sedimentológico 3C – PS3C

Esta secuencia, localizada en la margen izquierda del río León, presenta continuidad late-

ral a través de 200 m sobre la playa del río, y está asociada con PS3B a través del nivel guía descrito anteriormente. En la sección predominan las areniscas sobre las pelitas en una relación 7:1,

tienen rumbo N5°E y posición vertical.

Los primeros 25,5 m registra una secuencia arenosa media a fina, granodecreciente, con niveles masivos en la base y en la sección media, y lentes arenosos gruesos de 1,2 m de espesor por 4 m de largo, los cuales son más abundantes hacia arriba (Figura 5). Entre los 8 y 28,5 m se desarrollan ondulitas linguoides y romboidales, mientras que los niveles más finos presentan trazas fósiles. En esta sección media se reconocen tres paleocanales alineados verticalmente de forma discontinua (Figura 6 b-c). El canal inferior se rellena con un conglomerado matriz-portante de 30 cm de profundidad, donde se reconocen fundamentalmente clastos pelíticos de color morado de forma subangulosa y muy escasos fragmentos carbonáticos. El canal del medio es clasto-portante de 30 cm de profundidad; y el paleocauce superior es cortado (en contacto neto erosivo) por un episodio de alta energía que transporta una arenisca conglomerádica de 30 cm de potencia, con la importancia de contener clastos de areniscas calcáreas. Estos clastos alcanzan los 20 cm de largo por 6-7 cm de ancho y 3-4 cm de espesor, son de color amarillento. El estrato se encuentra vinculado a un episodio de mayor energía evidenciado no solo por la litología sino también por estratificación entrecruzada en hombrera.

En el tope del perfil se disponen pelitas a areniscas muy finas, micáceas, registrándose una alineación de muscovita por efecto de la corriente. Casi en el tope de la sección, en depósitos muy finos se han registrado trazas fósiles (*Nereites* sp.) y abundante bioturbación.

### Arenisca calcárea del PS3C

A escala mesoscópica, los clastos de arenisca calcárea poseen un tono beige amarillento, y se hallan inmersos en una matriz fina. A escala microscópica, el 25-35 % de la roca se compone de clastos de carbonatos que presentan extinción paralela a simétrica, granos prismáticos o rómboides y amplia variación en el relieve, su tamaño es similar al de los granos de cuarzo. So-

bresalen por su tamaño cristales de calcita de 0,2 a 0,3 mm con un porcentaje 3 a 4 %, y minerales opacos (3-5 %). La matriz es fundamentalmente silíceas, compuesta por granos de cuarzo de 0,05 mm conformando ~65 % de la roca.

La composición, relaciones texturales y color de esta muestra permite correlacionarla con la arenisca calcárea del PS1.

### Paleoambiente

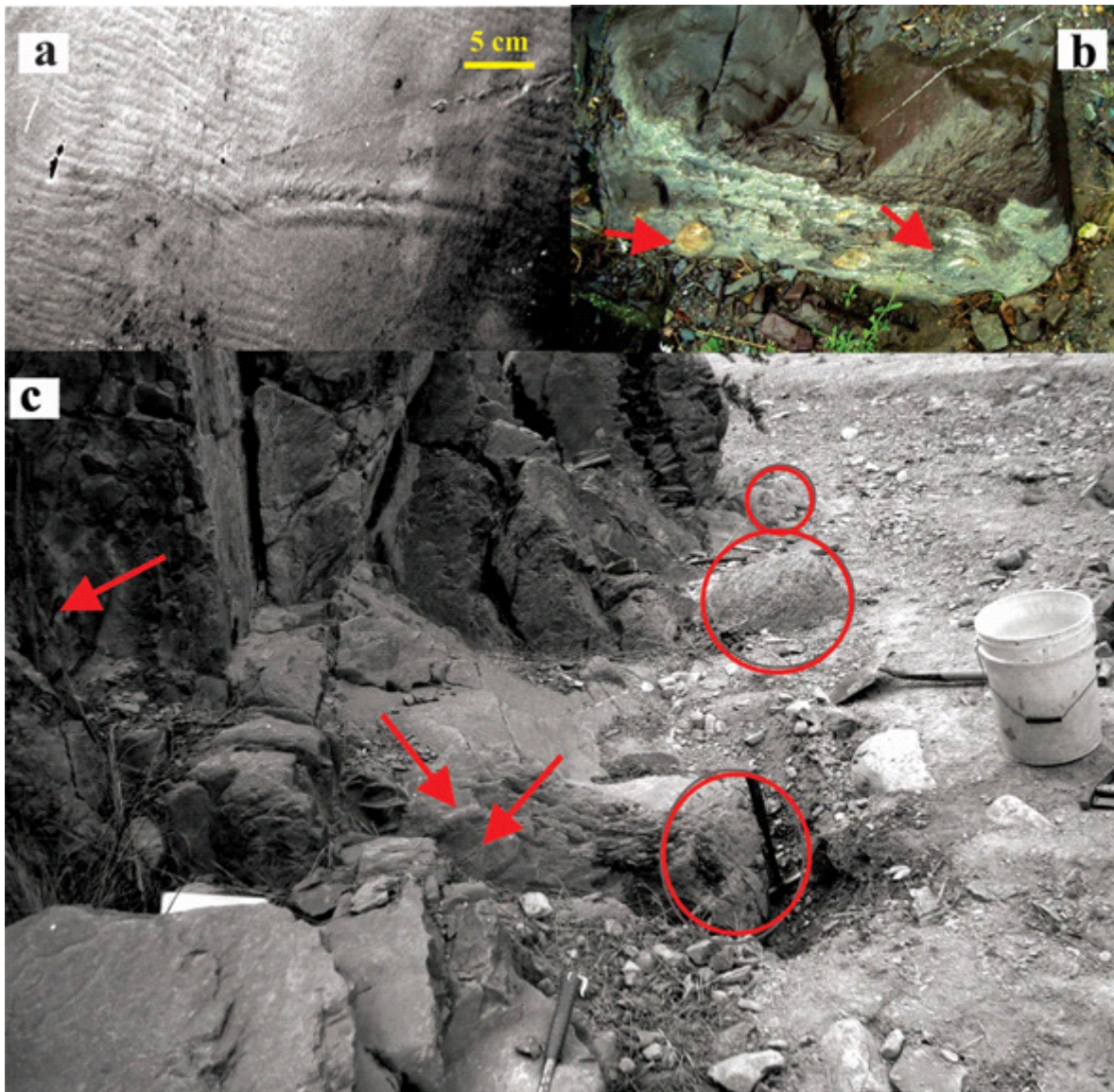
La presencia de ondulitas romboidales y linguoides en la mayor parte del perfil son evidencia de acción de corrientes litorales oblicuas a la costa, y flujos de alta velocidad en una planicie somera. A su vez, la asociación facial con cuerpos lentiformes de hasta 4 m de espesor y la presencia de arquitecturas de paleocanales, junto con la presencia de clastos aislados de areniscas calcáreas de 1 a 4 cm de diámetro distribuidos sin orientación preferencial, sugieren la acción de corrientes de mayor energía posiblemente de reflujos de marea, que permitió la movilización de fases clásticas de tamaño grava, el desarrollo de fases canalizadas de espesor notable y la progresión de barras en una planicie con una pendiente propensa a episodios de alta energía.

Finalmente, el registro sedimentario de estratificación entrecruzada *hummocky* muestra episodios de tormenta ocurridos de manera esporádica. La abundancia de *Nereites* sp. y bioturbación hacia el techo sugieren condiciones favorables para la supervivencia de organismos, lo que indica que los episodios de tormenta no influyeron mayormente en los nichos ecológicos.

El análisis de proveniencia de los tres paleocanales descriptos, permite identificar los siguientes aspectos:

1. Rebatiendo los canales su posición original, éstos mantienen una orientación este/oeste, sugiriendo un área de procedencia para el material de relleno de areniscas calcáreas en las calizas de la Formación Volcán, distantes 9 km al este del perfil.

2. Si bien estas calizas son reconocidas por su color negro, en los afloramientos de la zona de León se han registrado niveles de color blan-



**Figura 6.** a. Vista de cruzaniforme en medio de matas microbiales correspondientes al Perfil 3A. b. Canal con clastos de areniscas calcáreas. c. Sector donde se visualizan tres paleocanales alineados en posición vertical. Se observan megaclastos de arenisca calcárea (flechas)./ **Figure 6.** a. Cross-shaped view in the middle of microbial bushes corresponding to Profile 3A. b. Channel with calcareous sandstone clasts. c. Sector where three paleochannels aligned in vertical position are displayed. Megaclasts of calcareous sandstone (arrows) are observed.

co a pardo claro, que habrían aportado el material de relleno de los paleocanales.

3. La asociación con rodados sedimentarios clásticos que revisten forma subangular se interpreta como de escaso recorrido y al igual que las areniscas calcáreas podrían provenir de sectores cercanos a las calizas de Formación Volcán, pudiendo pertenecer a la secuencia clásica inferior (Formación Sancha).

4. Los paleocanales presentes en diferentes niveles estratigráficos dentro de la cuenca, cuya composición es equivalente, representan el

registro de diferentes episodios de erosión de la plataforma carbonática previamente depositada. Estos episodios podrían sugerir oscilaciones de tipo eustático o una progresiva subsidencia de la cuenca, con cambios en los niveles de base.

#### Perfil Sedimentológico 4 – PS4

Esta secuencia se sitúa sobre la margen izquierda del río León, a la altura de Encrucijada (Figura 1). El espesor total es de 70,5 m y la

relación pelita:arenisca es 2:1 (Figura 7).

La secuencia se inicia con 8 m de areniscas finas masivas en la base, que pasan a areniscas con estratificación paralela que incluyen lentes de areniscas medias hacia el techo. Continúan 8,5 m de pelitas laminadas con niveles de estratificación heterolítica tipo flaser.

Hacia arriba se registran 15 m de areniscas finas, estratificadas en bancos gruesos, con laminación paralela, bioturbación y registro de trazas fósiles hacia el techo.

La sección superior registra 40 m de pelitas, en donde se intercalan escasos estratos de arenisca fina con estratificación paralela dominante y lentes arenosos finos. En la base de esta sección se encuentran abundantes estructuras sedimentarias como ondulitas linguoides, estratificación heterolítica ondulítica y laminación paralela, conteniendo abundantes trazas fósiles. El techo de esta sección está dominado por pelitas laminadas y ocasionalmente ondulitas simétricas.

## Paleoambiente

La presencia de estratificación heterolítica (flaser y ondulítica, figura 7b) son indicio de ambientes estuarinos con abundante aporte de material fino y acción de mareas dominante. Las ondulitas linguoides asociadas en la sección superior del perfil indican la acción de corrientes de alta velocidad en la planicie del estuario, posiblemente vinculadas al régimen de las corrientes de reflujos mareal.

La presencia de bancos de areniscas finas y lentes arenosos en la base y la sección media son evidencia del ingreso de material más grueso en el ambiente del estuario, que podría representar la migración de barras de arena, como ocurre en muchos de los estuarios actuales del litoral atlántico.

## Discusiones

### Implicancias en la configuración de la cuenca Puncoviscana

De acuerdo con la configuración paleo-

tectónica para los ~590-560 Ma, lapso en el que acontece la apertura de la cuenca Puncoviscana, el Supercontinente Rodinia se localizaba en cercanías del Ecuador (Young, 2013), y la fragmentación de las masas continentales ocurrió luego del tercer pulso de la Orogenia Brasileña (Brito Neves *et al.*, 2014). Esta cuenca muestra similitudes con otras desarrolladas en los mares pericontinentales alrededor de Rodinia, de acuerdo a las evidencias presentadas en Rapela *et al.* (2016).

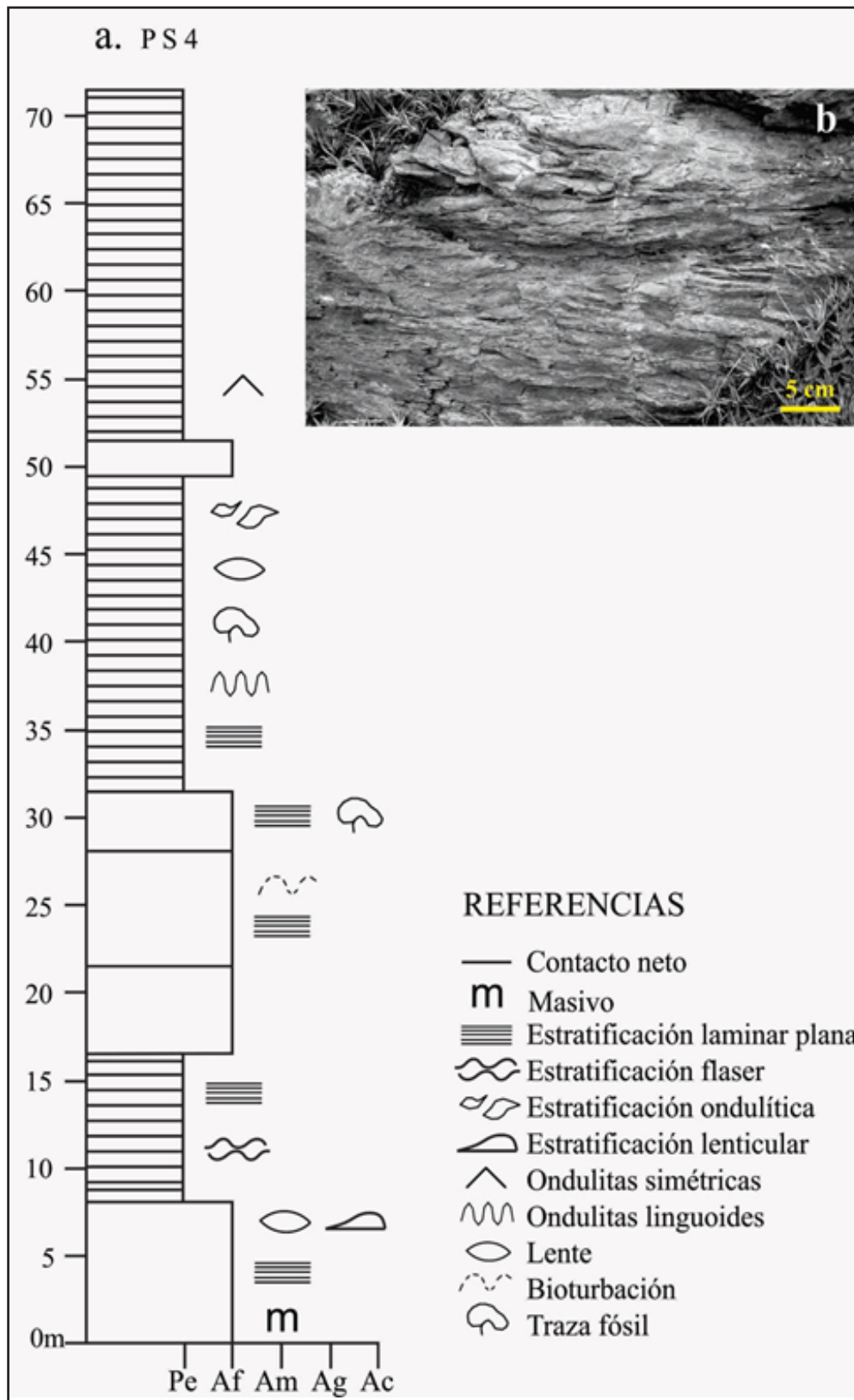
Las condiciones paleogeográficas rápidamente cambiantes durante la fragmentación y los nuevos patrones de circulación oceánica fueron capaces de contribuir a las oscilaciones bio-geoquímicas y climáticas que rigieron la reorganización de la biósfera, los aportes sedimentarios que influyeron en la química de los mares y los estadios redox (Halverson *et al.*, 2009).

En función de la distribución de la Formación Puncoviscana y las paleocorrientes multidireccionales que se reconocen en ellos, los registros sedimentarios representan (todos ellos) los bordes de la cuenca (López de Azarevich *et al.*, 2010c). Por lo tanto, el agua de mar penetraba en la cuenca Puncoviscana desde el N, inundando los márgenes oriental y occidental de la cuenca. Los cambios en las facies sedimentarias acaecidos a partir de la apertura de la cuenca y hacia fines del Ediacarano posibilitaron la depositación carbonática post-glacial en esta plataforma somera influenciadas por procesos de upwelling (López de Azarevich *et al.*, 2010b), y transicionalmente sucesiones clásticas areno-pelíticas con abundante registro fósil.

Dentro del esquema paleogeográfico de la cuenca Puncoviscana, donde se reconoce asimetría en las facies depositadas (Figura 8), las secuencias relevadas representan el registro litológico del margen oriental, que involucra las facies tanto clásticas como carbonáticas.

## Paleoambiente y paleodinámica mareal

El análisis de los perfiles realizados a lo largo del río León, permiten interpretar

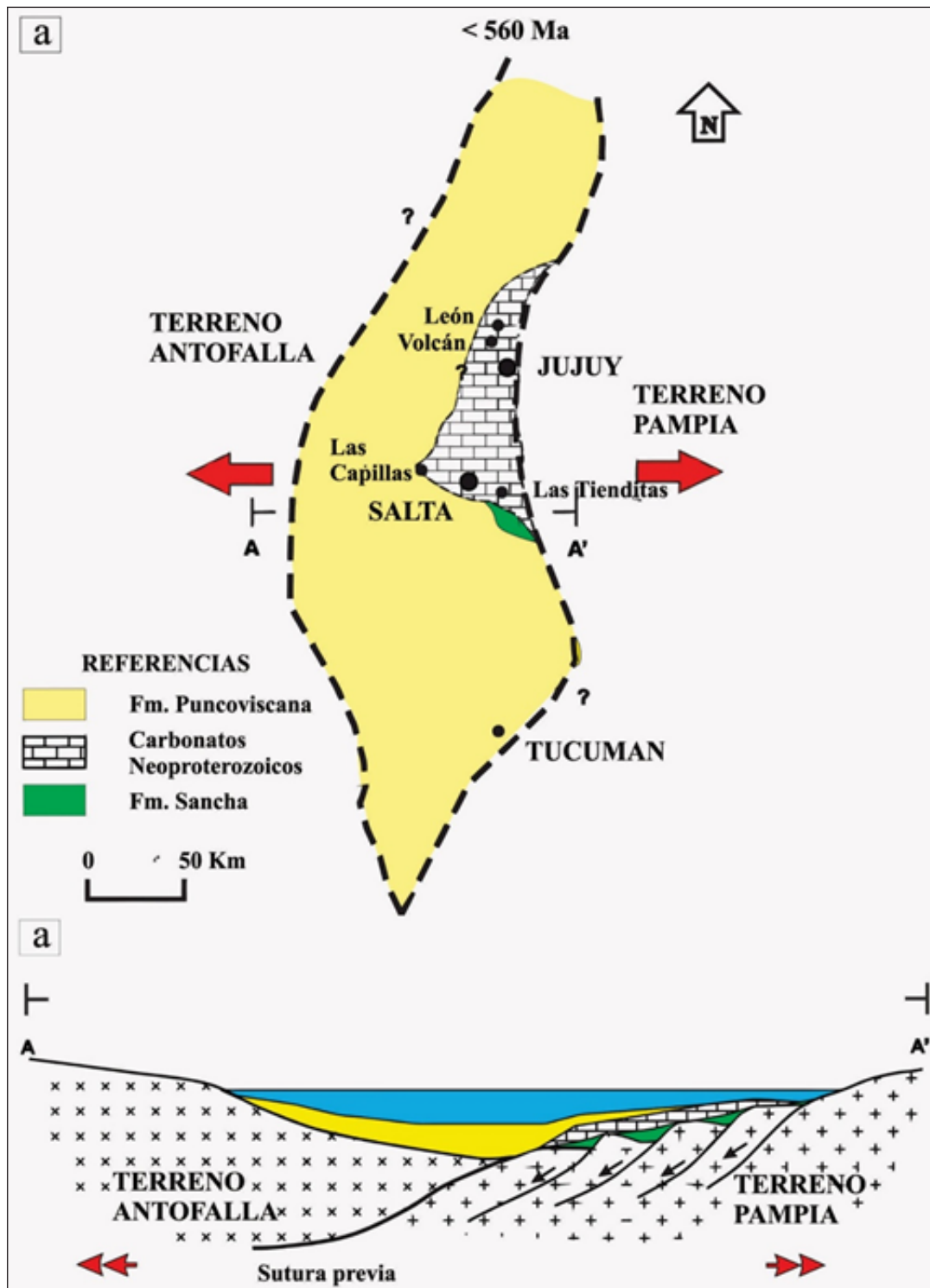


**Figura 7. a.** Perfil Sedimentológico 4 (PS4). **b.** Estratificación flaser. / **Figure 7. a.** *Sedimentological Profile 4 (PS4).* **b.** *Stratification flaser.*

que la zona de trabajo corresponde a una planicie de marea de poca profundidad, influenciada por mareas y corrientes litorales, y

con buena iluminación, con facies estuarinas laterales. Los escasos episodios de tormenta y de alta energía registrados indican una pla-





**Figura 8. a.** Configuración paleogeográfica de la Cuenca Puncoviscana, interpretada de acuerdo con la distribución de facies en el corte A-A' y en las localidades de León, Volcán, Las Tienditas y Las Capillas. **b.** Perfil A-A' a la latitud de la localidad de Las Tienditas, mostrando la asimetría del rift y de la distribución litológica. El rifting asimétrico es interpretado como consecuencia de una flexura termal desarrollada sobre una zona de sutura previa entre los terrenos Antofalla y Pampia. / **Figure 8. a.** Paleogeographic configuration of the Puncoviscana Basin, interpreted according to the distribution of facies in the A-A' section and in the towns of León, Volcán, Las Tienditas and Las Capillas. **b.** Profile A-A' at the latitude of the town of Las Tienditas, showing the asymmetry of the rift and the lithological distribution. Asymmetric rifting is interpreted as a consequence of a thermal flexure developed over an area of previous suture between the Antofalla and Pampia terrain

taforma de escasa pendiente desarrollada en una cuenca donde la acción del oleaje queda

reflejada en la presencia de *Corymorpha* y las tormentas fueron escasas.

Desde el punto de vista paleodinámico, la naturaleza de los flujos es claramente multidireccional, evidenciada por la presencia de estructuras sedimentarias diagnósticas de ambientes litorales con acción de mareas y corrientes litorales (ondulitas romboidales o de interferencia). Las zonas de proveniencia del material clástico sobre este margen de la cuenca Puncoviscana se puede evaluar analizando la naturaleza del componente detrítico en los canales mareales, cuyas dimensiones son del orden de la decena de metros de ancho y escasa profundidad. Los conglomerados que rellenan los paleocanales presentan fragmentos tanto clásticos como carbonáticos, así como también grado de redondez y tamaño. El análisis de los clastos carbonáticos brinda evidencias para la interpretación de un área de proveniencia desde el Este, y permiten establecer la posición estratigráfica de las calizas de la Formación Volcán por debajo de la Formación Puncoviscana.

Los otros depósitos psefíticos poseen clastos metasedimentarios de hasta 30 cm de diámetro, forma angular y color morado, interpretando que el aporte vendría del Este y de un área no muy distante por la morfología y tamaño de los clastos. Si bien no hay afloramientos de las unidades estratigráficas más antiguas que la Formación Volcán (Formación Sancha) en cercanías de la zona de estudio, hacia el Norte en la localidad de Tumbaya se encuentra una sucesión clástico-carbonática de 20 m de espesor con intercalación regular de pelitas y carbonatos, por encima de la cual se depositaron las dolomías de la Formación Tumbaya (López de Azarevich *et al.*, 2010b). Esta relación estratigráfica evidencia una depositación de material clástico previo a la formación de la plataforma calcárea, que pudo ser aportado a los canales mareales de la Formación Puncoviscana durante el Cámbrico inferior.

La asociación paleontológica de la Formación Puncoviscana comparte diversos taxones con los registrados en el Grupo Nama-Namibia (Aceñolaza *et al.*, 2010), de edad 550-530 Ma. (Grotzinger *et al.*, 1995), como *Treptichnus pedum* y otras formas de tipo *Skolithos*. También

existen registros fósiles similares con *Helminthopsis* en el Grupo Vanrhynsdorp (~550-535 Ma., Gresse 1992). Los registros fósiles en la Formación Puncoviscana permiten correlacionarla así mismo con otras secuencias en Paraguay con escasos especímenes en común (Warren *et al.*, 2011). Esto permite inferir que, si bien las cuencas pericratónicas formadas durante la dispersión de Rodinia compartieron una evolución común desde el punto de vista sedimentológico, constituyeron nichos ecológicos únicos que derivaron en una diversificación particular para cada una de ellas. En este sentido algunas asociaciones faunísticas revisten el carácter de endémicas, como sucede actualmente con ciertos corales en el Mar del Caribe (Ocaña *et al.*, 2007).

En particular para la Formación Puncoviscana en río León, la presencia de *Corymorpha* sp. implica adaptación a condiciones de oleaje persistente. *Corymorpha* desarrolla actualmente 11 especies distribuidas principalmente en zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo, que representarían los centros de origen para esta familia y sus géneros (Stepanjants *et al.*, 2006). Esto sugiere que la posición cercana al Ecuador también pudo constituir un factor condicionante para su desarrollo.

## Edad y sedimentación

El hallazgo de un icnogénero de *Cruziana* permite encuadrar estos sedimentos en el Fortuniano según Mángano y Buatois (2016). A su vez, las icnoasociaciones registradas por López de Azarevich *et al.* (2010b y literatura incluida) para las sucesiones clásticas de la Formación Puncoviscana, indican una edad deposicional para la unidad desde el Ediacarano y posiblemente hasta el límite Terreneuviano-Serie 2.

Si consideramos la nueva escala temporal para el Cámbrico, éste comienza con el Piso Fortuniano de la Serie Terreneuviano a los  $541 \pm 1.0$  Ma (Cohen *et al.*, 2018) cuya base se define con la primera aparición de *Treptichnus pedum* en la localidad de Fortune Head en New-

foundland-Canada (Landing *et al.*, 2007). Registros de esta traza fósil se encuentran en diversas localidades de la cuenca Puncoviscana (Aceñolaza *et al.*, 2010). El pasaje hacia la Serie 2-Piso 3 (~521 Ma) está representada a nivel mundial por la primera aparición de trilobites (Babcock y Peng, 2007), de los cuales no se encuentran registros en la cuenca en estudio.

La presencia de artrópodos, inferida a partir de *cruzianiforme*, en las sucesiones estudiadas del río León, corroborarían una edad mínima Fortuniano, corroborada por dataciones isotópicas en niveles piroclásticos delgados intercalados en la Formación Puncoviscana en la localidad de Purmamarca, distante 36 km al norte de León (545 Ma, Aceñolaza *et al.*, 2010), hacia el norte en la Sierra de Santa Victoria (536 Ma, Escayola *et al.*, 2011), y hacia el oeste en la localidad de Rancagua (523 Ma, Adams *et al.*, 2008). Las dos primeras dataciones corresponden a la secuencia clástica sobre el borde oriental de la cuenca, mientras que la última se encuentra sobre el margen occidental. Estas evidencias soportan que la evolución de la sedimentación dentro de la cuenca hubieron distintos pulsos de depositación piroclástica, con registros en ambos márgenes, que permiten identificar un volcanismo episódico, no continuo durante el lapso deposicional de al menos 22 Ma que define la Formación Puncoviscana. Considerando el espesor de estos niveles, su carácter esporádico y episódico, se sugiere que los aparatos volcánicos que originaron estos depósitos se encontraban relativamente alejados de la cuenca.

## Conclusiones

Las estructuras sedimentarias diagnósticas como ondulitas romboidales, marcas de escurrimiento, estratificación heterolítica (ondulítica, flaser y lenticular), y las estructuras entrecruzadas tipo *hummocky*, registradas en las secciones analizadas, corresponden a una planicie de marea de poca profundidad y lateralmente estuarios, con pobres registros de energía por

su escasa pendiente, influenciada por mareas y corrientes litorales con buena iluminación. Estructuras biogénicas como matas microbiales y *wrinklemarks* corroboran escasa profundidad, mientras que *Corymorpha* sp. evidencia una adaptación sistemática a zonas de oleaje.

Megaclastos de arenisca calcárea en paleocanales y otros de menor tamaño en forma aislada son vinculados a Formación Volcán, hoy distantes ~9km, y los de naturaleza pelítica por su forma y tamaño, no habrían sufrido mucho transporte y su área fuente también se ubicaría a escasos kilómetros.

Luego de la apertura de la cuenca Puncoviscana, se reconoce asimetría en las facies depositadas (Figura 8), donde las secuencias relevadas representan el registro litológico del margen oriental, que involucra las facies tanto clásticas como carbonáticas.

La presencia de artrópodos, inferida a partir del icnogénero *Cruziana* y *Corymorpha* en las sucesiones del río León, corroborarían una edad fortuniana, intervalo de tiempo corroborado por dataciones isotópicas en niveles piroclásticos intercalados en la Formación Puncoviscana en las márgenes oriental y occidental de la cuenca.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la SECTER, Instituto de Geología y Facultad de Ingeniería de la UNJu, por el apoyo logístico brindado. A CIUNSA, Proyecto 2343 por el aporte económico, y al INSUGEO-CONICET y Facultad Ciencias Naturales-UNSA, por el apoyo académico.

## Referencias

- Aceñolaza, F.G. y Aceñolaza, G.F. 2005. La Formación Puncoviscana y unidades estratigráficas vinculadas en el Neoproterozoico - Cámbrico Temprano del Noroeste Argentino. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 12: 65-87.
- Aceñolaza, G.F. y Aceñolaza, F. 2007. Insights in the Neoproterozoic/Early Cambrian transition of

- NW Argentina: facies, environments and fossils in the Proto Margin of Western Gondwana. En: *The Rise and the Fall of the Ediacara Biota, The Geological Society of London, Special Publication*, 286: 1-13.
- Aceñolaza, F.G. y Alonso, R.N. 2001. Icno-asociaciones de la transición Precámbrico /Cámbrico en el noroeste de Argentina. *Journal of Iberian Geology*, 27: 11-22.
- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A. 1981. Geología del Noroeste Argentino. *Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán*, 212 pp.
- Aceñolaza, G.F., Germs, G.J.B. y Aceñolaza, F.G. 2010. Trace fossils and the agronomic revolution at the Neoproterozoic-Cambrian transition in Southwest Gondwana. *Developments in Precambrian Geology*, 16: 339-347. Elsevier.
- Adams, C.J., Miller, H., Toselli, A. y Griffin, W. 2008. The Puncoviscana Formation of Northwest Argentina: U-Pb geochronology of detrital zircons and Rb-Sr metamorphic ages and their bearing on its stratigraphic age, sediment provenance and tectonic setting. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 247(3) 341-352.
- Aparicio González, P.A. 2014. El basamento estratigráfico (Proterozoico superior-Cámbrico inferior) en la Sierra de Mojotoro, tramo austral de la Cordillera Oriental. *Universidad Nacional de Salta, Tesis Doctoral* (inédita), 230 pp.
- Aparicio González, P.A., Pimentel, M.M., Hauser, N. y Moya, M.C. 2014. U-Pb LA-ICP-MS geochronology of detrital zircon grains from low-grade metasedimentary rocks (Neoproterozoic – Cambrian) of the Mojotoro Range, northwest Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 49: 39-59.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., Rees, M.N., Peng, S.C. y Saltzman, M.R., 2007. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Drumian Stage (Cambrian) in the Drum Mountains, Utah, USA. *Episodes*, 30(2): 84- 94.
- Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. y Pimentel, M.M. 2014. The Brasiliano collage in South America: a review. *Brazilian Journal of Geology*, 44(3): 493-518.
- Buatois, L. y Mangano M. 2003. La icnofauna de la Formación Puncoviscana en el noroeste argentino: la colonización de los fondos oceánicos y reconstrucción de paleoambientes y paleosistemas de la transición precámbrica-cámbrica. *Ameghiniana* 40(1): 103-117.
- Chiliguay J. y Alonso, R. 2014. Primeros Metazoos Conulariformes en la Formación Puncoviscana, Jujuy. *XIX Congreso Geológico Argentino*, Actas, pp 666. Córdoba.
- Chiliguay, J. y Zamponi, M. 2012. Cnidarios en Formación Puncoviscana, Jujuy, Argentina. *Congreso Geológico Boliviano*, Actas 1: 123-124. La Paz.
- Chiliguay, W.J., López de Azarevich, V.L., Zamponi, M. y Azarevich, M.B. Primer Cnidaria Hydrozoa en ambiente de plataforma en la Formación Puncoviscana (Neoproterozoico-Cámbrico inferior), Jujuy. *XIV RAS*. Actas en CD, pp. 81-82.
- Cohen, K.M., Harper, D.A.T., and Gibbard, P.L., 2018, ICS International Chronostratigraphic Chart version 2018/08: International Commission on Stratigraphy, International Union of Geological Sciences, www.stratigraphy.org (last accessed September 2018).
- Escayola, M.P., van Staal, C.R. y Davis, W.J. 2011. The age and tectonic setting of the Puncoviscana Formation in northwestern Argentina: An accretionary complex related to Early Cambrian closure of the Puncoviscana Ocean and accretion of the Arequipa-Antofalla block. *Journal of South American Earth Sciences*, 32: 438-459.
- Espelta, C., Arias, J. y Chavez, A. 1978. Geología del Área Termal de Reyes, Provincia de Jujuy, República Argentina. *Revista del Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy*, 3: 161-173.
- Esteban, S.B., Benitez, M.H. y Tortello, M.F. 2015. Geología sedimentaria y paleoambientes de la Formación Santa Rosita (Furongiano tardío - Tremadociano) en la región de Nazareno, Cordillera Oriental, provincia de Salta, Argentina. *Serie Correlación Geológica*, 31(1): 5-20.
- Galli, C. y Hernandez, R. 1999. Evolución de la Cuenca de Antepais desde la zona de la Cumbre Calchaqui hasta la Sierra de Santa Barbara, Eoceno inferior-Mioceno medio, provincia de Salta, Argentina. *Acta Geológica Hispánica*, 34: 167-184.
- Gebhard, J., Giudici, A.R. y Oliver Gascon, J. 1974. Geología de la comarca entre el río Juramento y arroyo Las Tortugas, provincias de Salta y Jujuy, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 29 (3): 359-375.
- Gresse, P.G. 1992. The tectono-sedimentary history of the Vanrhynsdorp Group. *Geological Survey of South Africa Memoir*, 79: 1-163. Geological Survey: Pretoria.
- Grotzinger, J.P., Bowring, S.A., Saylor, B.Z. and Kaufman, A.J. 1995. Biostratigraphic and geochronologic constraints on early animal evolution. *Science*, 270: 598-604.
- Halverson, G.P., Hurtgen, M.T., Porter, S.M. y Collins, A.S. 2009. Neoproterozoic-Cambrian Biogeochemical Evolution. In: Gaucher, C., Sial, A.N., Halverson, G.P., Frimmel, H.E. (Eds.): Neoproterozoic-Cambrian Tectonics, Global Change and Evolution: a focus on southwestern Gondwana. *Developments in Precambrian Geology*, 16: 351-365.
- Landing, E., Peng, S., Babcock, L., Geyer, G., Moczyłowska-Vidal, M. 2007. Global standard names

- for the Lowermost Cambrian Series and Stage. *Episodes*, 30 (4): 287-289.
- López de Azarevich, V.L. y Azarevich, M.B. 2017. Analysis of the lunar recession from data encoded in tidal rhythmites: a review. *Geomarine Letters*. DOI: 10.1007/s00367-017-0500-z.
- López de Azarevich VL, Omarini RH, Sureda RJ, Azarevich MB (2010a). Ritmitas mareales en la Formación Puncoviscana (s.l.), en la localidad de Rancagua, noroeste argentino: dinámica mareal y consideraciones paleoastronómicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66 (1): 104-118.
- López de Azarevich VL, Omarini RH, Santos R, Azarevich MB, Sureda RJ (2010b). Nuevos aportes isotópicos para secuencias carbonáticas del Precámbrico superior (Formación Las Tienditas) del NO de Argentina: su implicancia en la evolución de la Cuenca Puncoviscana. In: Aceñolaza F (Ed.), Ediacarano-Cámbrico Inferior Gondwana I. *Serie Correlación Geológica*, 26: 27-48.
- López de Azarevich, V.L., Archer, A.W., Omarini, R.H. y Azarevich, M.B., 2010c. Sedimentary structures in the Puncoviscana Formation (Proterozoic - Early Cambrian), NW-Argentina: a comparison with modern shallow water analogs. *18th International Sedimentological Congress*, Abstract 652. Mendoza.
- López de Azarevich, V., Aceñolaza, F.G., Aceñolaza, G.F., Omarini, R.H. y Azarevich, M. 2012. La cuenca Neoproterozoica-Eocámbrica en el NOA: sedimentología y ambientes de depósito de secuencias con icnofósiles, nuevas perspectivas. *XIII Reunión Argentina de Sedimentología, Relatorio*: 119-132. Salta.
- Loss, R y Giordana, A. 1952. Observazioni sul Proterozoico di Jujuy (Argentina). *Atti. Soc. Ital. e Mus. Civico di Storia Nat. Milano XCL*: 141-189. Milán. Italia
- Mángano, M.G. y Buatois, L. 2004. Integración de estratigrafía secuencial, sedimentología e icnología para un análisis cronoestratigráfico del Paleozoico inferior del noroeste argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 273-280.
- Mangano, G. y Buatois L. (eds.). 2016. *The Trace Fossil, Record of Major Evolutionary Events. Vol 1, Precambrian and Paleozoic*. 358 pp. Elsevier.
- Mirré, J.C. y Aceñolaza, F. 1972. El Hallazgo de *Oldhamasp*. (traza fósil) y su valor como evidencia de edad cámbrica para el supuesto Precámbrico del borde occidental del Aconquija, Provincia de Catamarca. *Ameghiniana*, 9 (1): 72-78.
- Ocaña, O., Moro, L., Ortea, J., Espinosa, J. y Caballer, M. 2007. Guía visual de la biodiversidad marina en Guanahacabibes. I- Anemonas (Anthozoa: Actiniaria, Corallimorpharia, Ceriantharia & Zoanthidea). *Avicennia*, 19: 129-138.
- Omarini, R., Torres G. y Moya, L. 1996. El stock Tipayoc: génesis magmática en un arco de islas del Cámbrico Inferior en el noroeste de Argentina. *13º Congreso Geológico Argentino*, Actas 5: 546-561, Buenos Aires.
- Omarini, R.H., Sureda, R.J., López de Azarevich, V.L. y Hauser, N. 2008. El basamento Neoproterozoico-Cámbrico inferior en la provincia de Jujuy. En: Coira, B. y Zappettini, E. (Eds.): *Geología y Recursos Naturales de la provincia de Jujuy. Relatorio XVII Congreso Geológico Argentino*, Capítulo IIa: Ciclo Pampeano y Famatiniano: 17-28.
- Ortíz, A. 1962. Estudio geológico de las Sierras de Castillejo y Sancha. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales de Salta, Doctoral Tesis (inérita). 110 pp.
- Porto, J.C., Fernández, R. y Carrión, M.H., 1990. Dolomías de la Formación Puncoviscana s.l. En: Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. (Eds.), El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino. *Serie Correlación Geológica*, 4: 37-52.
- Rapela, C.W., Verdecchia, S.O., Casquet, C., Pankhurst, R.J., Baldo, E.G., Galindo, C., Murra, J.A., Dahlquist, J.A. y Fanning, C.M. 2016. Identifying Laurentian and SW Gondwana sources in the Neoproterozoic to Early Paleozoic metasedimentary rocks of the Sierras Pampeanas: Paleogeographic and tectonic implications. *Gondwana Research*, 32: 193-212.
- Salfity, J., Omarini, R., Baldi, B. y Gutierrez, W. 1976. Consideraciones sobre la evolución geológica del Precámbrico y Paleozoico del norte argentino. *2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica*, Actas 4: 341-361. Buenos Aires.
- Sánchez, M.C. y Salfity, J.A. 1999. La Cuenca Cámbrica del Grupo Mesón en el Noroeste Argentino: Desarrollo Estratigráfico y Paleogeográfico. *Acta Geológica Hispánica*, 34(2-3): 123-139.
- Sial, A., Ferreira, V., Toselli, A., Aceñolaza, F., Pimentel, M., Parada, M. y Alonso, R. 2001. C and Sr isotopic composition of probable Vendian-Tommotian carbonate sequences in NW Argentina. *III Simposio Sudamericano de Geología Isotópica*, Actas, 433-436.
- Stepanjants, S.D., Cortese, G., Kruclikova, S. y Bjorklund, K. 2006. A review of bipolarity concepts: History and examples from Radiolaria and Medusozoa (Cnidaria). *Marine Biology Research*, 2: 200-241.
- Toselli, A., Aceñolaza, F., Sial, A., Rossi, J., Ferreira, V. y Alonso, R. 2005. Los carbonatos de la Formación Puncoviscana. I.: Correlación quimioestratigráfica e interpretación geológica. *XVI Congreso Geológico Argentino*, Actas 2: 327-333.
- Turner, J.C. 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria (Argentina). *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba*, 41: 163-196.

- Warren, L., Fairchild, T., Gaucher, C., Boggiani, P., Poir, D., Anelli, L., Inchausti, J. 2011. *Corumbella* and in situ *Cloudina* in association with thrombolites in the Ediacaran Itapucumi Group, Paraguay. *Terra Nova*, 23: 382-387
- Young, G.M. 2013. Precambrian supercontinents, glaciations, atmospheric oxygenation, metazoan evolution and an impact that may have changed the second half of Earth history. *Geoscience Frontiers*, 4: 247-261.

**Recibido:** 20 de Junio del 2019

**Aceptado:** 02 de Agosto del 2019