



## Estratigrafía del Paleozoico Inferior de la Sierra de Las Crucecitas, Precordillera Central, San Juan

Ana MESTRE, María José GÓMEZ, Susana HEREDIA, Florencia MORENO

**Abstract:** LOWER PALEOZOIC STRATIGRAPHY OF THE SIERRA DE LAS CRUCECITAS, CENTRAL PRECORDILLERA, SAN JUAN. The Lower Paleozoic shows a wide distribution in the Central Precordillera, it has been extensively studied, mainly in the north area of this morphostructural unit, however, to the southward the studies are scarce. The present contribution offers the first insight into the Lower Paleozoic stratigraphy on the western flank of the Sierra de Las Crucecitas, which is located on the southern margin of the Bolson de Hualilán. In this area, the San Juan, La Chilca, Los Espejos, Talacasto and Punta Negra formations were recognized, but this study focuses on the first three units. The San Juan Formation is composed of light gray to medium gray limestone and the pulchrilamiloide *Zondarella* sp. is recognized as almost the only fossil component which represents the westernmost finding of this organism in the Precordillera. A late Dapingian-Darriwilian age is suggested for these levels based on their stratigraphic position and outcrop characteristics. Only the first few meters of the La Chilca Formation were surveyed. In the base of this unit was recognized a reddish-brown paraconglomerate with scattered angular to subangular chert clasts and cemented by silica and oxide-Fe, then follows a monotonous succession of siltstones and green shale. The Los Espejos Formation presents a coarsening-up and thickening-up arrangement, with shale and sandstones with bioclastic accumulation in the middle part, while in the upper part there are sinsedimentary deformation structures. These preliminary stratigraphic observations in this area provide valuable information about the distribution and composition of the Paleozoic units studied. However, detailed studies must be carried out to achieve a better understanding of its importance within the Paleozoic basins of the Precordillera.

**Resumen:** El Paleozoico Inferior presenta una amplia distribución en el ámbito de la Precordillera Central, el mismo ha sido extensamente estudiado principalmente en el extremo norte de esta unidad morfoestructural, sin embargo, hacia el sur los estudios son escasos. En la presente contribución se presenta la primera aproximación a la estratigrafía del Paleozoico Inferior del flanco occidental de la Sierra de Las Crucecitas, la cual se ubica en el borde austral del Bolsón de Hualilán. En este sector se reconocieron las formaciones San Juan, La Chilca, Los Espejos, Talacasto y Punta Negra, pero el presente estudio se focaliza en las tres primeras unidades. La Formación San Juan está compuesta por calizas de color gris claro a gris medio y se reconoce, como casi el único componente fósil, al pulchrilamiloideo *Zondarella* sp., representando el hallazgo más occidental de dicho organismo en la Precordillera. Se sugiere una edad dapingiana tardía-darriwiliana para estos niveles en función de su posición estratigráfica y las características del afloramiento. De la Formación La Chilca solo se relevó los primeros metros de la unidad, reconociéndose a la base un paraconglomerado pardo rojizo con clastos de chert angulosos a subangulosos dispersos, fuertemente cementado por sílice y óxido de hierro, el mismo es seguido por una sucesión monótona de limolitas y pelitas verdes. La Formación Los Espejos presenta arreglo estrato-granocreciente, con pelitas y areniscas con acumulación bioclástica en la parte media, mientras que en la parte superior se observan estructuras de deformación sinsedimentaria. Estas observaciones preliminares sobre la estratigrafía de esta área, aportan valiosa información sobre la distribución y composición de las unidades paleozoicas estudiadas. Sin embargo, estudios de detalle deben llevarse a cabo para lograr una mayor comprensión de su importancia dentro de las cuencas paleozoicas de Precordillera.

Palabras claves: Paleozoico. Precordillera. *Zondarella*. Caliza.

Keyword: Paleozoic. Precordillera. *Zondarella*. Limestone.

## Introducción

En la Precordillera de San Juan el Paleozoico Inferior está ampliamente representado tanto por sucesiones carbonáticas y mixtas del Cámbrico y Ordovícico Inferior-Medio como sucesiones silicoclásticas desde el Ordovícico Medio hasta el Devónico.

La Precordillera Central es un sistema de faja plegada y corrida con vergencia oriental siendo principalmente las unidades paleozoicas los niveles de despegue de los corrimientos principales. La Formación San Juan y las unidades que conforman el Grupo Tucumano (Formaciones La Chilca y Los Espejos) tienen su máxima exposición en el ámbito de la Precordillera Central, en especial en el sector del departamento Jáchal, donde las mismas han sido ampliamente estudiadas en diferentes secciones (Cuerda, 1969; Serpagli, 1974; Astini, 1992; Peralta 1990; Keller, 1999; entre otros). Sin embargo, aún existen áreas donde afloran estas unidades que han sido muy poco exploradas y estudiadas, especialmente hacia el sur de la Precordillera Central.

El Bolsón de Hualilán es una depresión endorreica ubicada en la parte central de la Precordillera Central, flanqueada hacia el este y sur por las Sierras de Talacasto y Las Cruce-citas, hacia el oeste se encuentran las Sierra de Hualilán y Sierra de La Invernada y hacia el norte la Sierra de Los Azulejitos (Fig. 1).

En la presente contribución se presenta un estudio preliminar sobre la estratigrafía de las unidades del Paleozoico Inferior que afloran en el flanco occidental de la Sierra de Las Cruce-citas, que hasta la fecha no presenta antecedentes publicados, así como una discusión sobre cuál sería su importancia en la reconstrucción de las cuencas paleozoicas de Precordillera.

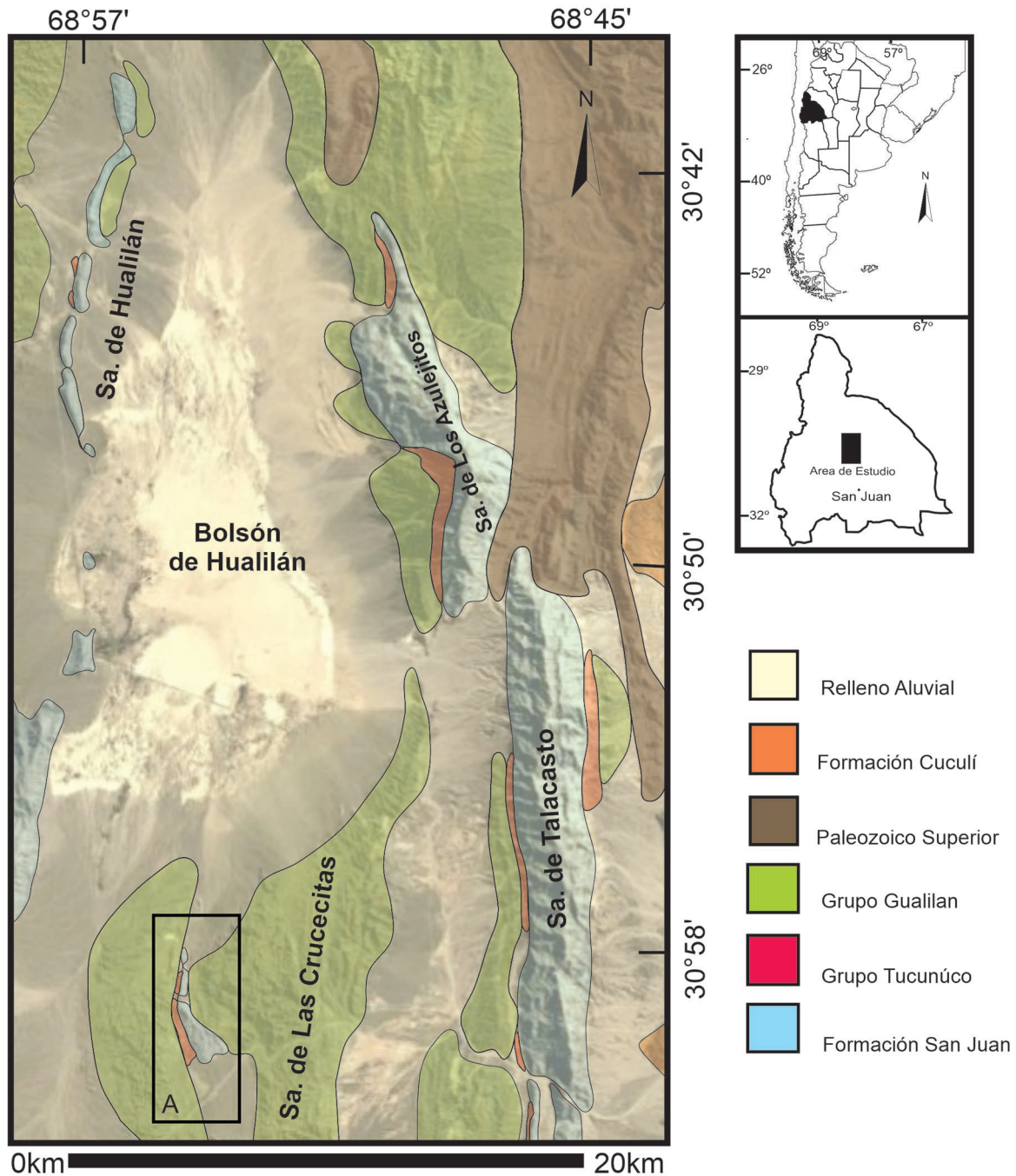
## Geología regional

La Precordillera se extiende a lo largo de

400 km en sentido norte-sur desde la Provincia de La Rioja, a lo largo de toda la Provincia de San Juan y hasta el norte de la Provincia de Mendoza. Esta provincia geológica, presenta una extensa sucesión de rocas del Paleozoico Inferior cubierta por depósitos del Paleozoico Superior, Mesozoico y Cenozoico (Furque y Cuerda, 1979). Según sus características estratigráficas y estructurales ha sido subdividida en tres unidades morfoestructurales: Precordillera Oriental (Ortiz y Zambrano, 1981), Central (Baldis y Chebli, 1969) y Occidental (Baldis *et al.*, 1982).

En la Precordillera Central se encuentra ampliamente representada la Formación San Juan conformada por una sucesión de rocas carbonáticas que fueron depositadas en una extensa plataforma somera y cálida durante el Ordovícico Inferior y Medio, desde la Zona de *Paltodus deltifer* (Tremadociano) hasta la Zona de *Lenodus pseudoplanus* (Darriwiliano) (Lehnert, 1994; Albanesi *et al.*, 1998; Heredia y Mestre, 2011, 2013; Mestre y Heredia, 2020 a,b). Una abundante y diversa fauna marina abierta caracteriza a dicha unidad (Benedetto, 2003). Distintos tipos de arrecifes fueron descriptos en la Formación San Juan; arrecifes de microbios, esponjas y receptaculoideos de edad tremadociana; arrecifes de microbios, esponjas, receptaculoideos y pulchrilaminoideos durante el Floiano alto, y arrecifes dominados por pulchrilaminoideos en el Dapingiano alto-Darriwiliano temprano (Cañas y Carreras, 1993, 2003; Keller y Bordonaro, 1993; Cañas y Keller, 1993; Keller y Flugel, 1996; Mestre *et al.*, 2020).

En el norte y sur de la Precordillera la producción carbonática se detuvo a partir del Floiano alto y comenzó la depositación de las pelitas y *mudstone* negros de la Formación Gualcamayo (Heredia *et al.*, 2011; Soria, 2017) y en cambio en secciones del centro y este como el cerro Viejo de Huaco, cerro La Chilca y sierra de Villicum, el remplazo por las facies pelíticas de la Formación Los Azules se produjo durante el Darriwiliano temprano-medio (Lehnert, 1995; Albanesi *et al.*, 1998; Mestre 2012,



**Figura 1:** Mapa geológico del área del Bolsón de Hualilán, el recuadro A muestra el sector de estudio en el borde occidental de la Sierra de Las Crucecitas. **Figure 1:** Geological map of the Bolsón de Hualilán area, the A square show the study area on the western flank of the Sierra de Las Crucecitas.

2014; Mestre y Heredia, 2013 a). Sin embargo, en otras áreas de la Precordillera el depósito de sedimentos carbonáticos continuó hasta el Darriviliano medio, como en la sierra de La Trampa y el cordón de Los Blanquitos representado por la Formación Las Aguaditas (Heredia *et al.*, 2005, 2011; Heredia, 2012; Mestre y Heredia, 2013 b).

En la Precordillera Central en el área de Jáchal a las formaciones Los Azules y Las Aguaditas las suprayace en paraconcordancia la Formación La Chilca, en cambio en las secciones de la Sierra de Talacasto y hacia el sur de esta región dicha formación se encuentra en igual relación con la Formación San Juan.

El Silúrico de la Precordillera Central está

representado por el Grupo Tucunuco (Cuerda, 1965) y por la Formación Tambolar (Heim, 1952). El Grupo Tucunuco está conformado por las formaciones La Chilca y Los Espejos, desde el área del río Jáchal hasta la sierra de La Dehesa, donde pasa lateralmente a la Formación Tambolar de amplia distribución en el área del río San Juan (Cuerda y Baldis 1971; Peralta *et al.* 1997, 1998, 2003). Para algunos autores la Formación Tambolar es equivalente al Grupo Tucunuco (Peralta, 1990; Peralta y Carter, 1990), pero para otros se correlaciona solo con la Formación Los Espejos (Benedetto *et al.*, 1992; Astini y Maretto, 1996). Estas tres unidades se inician con delgados conglomerados de base con clastos de chert y oolitas ferruginosas (Peralta *et al.*, 1986; Astini, 1992) que implicarían la presencia de hiatos erosivos dentro de la sedimentación silúrica (Astini y Maretto, 1996). En el área de Pachaco la Formación Tambolar presenta características litofaciales diferentes a las de la sección tipo, estos afloramientos fueron denominados como Facies Pachaco (Peralta y León 1993) y más recientemente como Formación Los Bretes (Peralta, 2013 a) proponiendo una equivalencia con la Formación La Chilca para dicha unidad. Sin embargo, Mestre (2009) y Salas *et al.* (2018) proponen una edad silúrica tardía para estos depósitos, en base a las asociaciones de conodontes y ostrácodos recuperadas de la misma.

La Formación La Chilca fue dividida en dos miembros por Baldis *et al.* (1984), el miembro Salto Macho (inferior) compuesto por un ortoconglomerados con clastos de chert (el cual es denominado el clásico conglomerado con clastos de chert) continúan capas de oolitas ferríferas conglomerádicas, capas de oolitas ferríferas macizas y fangolitas guijarrosas sobre las que se depositaron fangolitas con graptolitos del Hirnantiano tardío y lutitas y fangolitas con graptofauna del Llandoveryano temprano (Cuerda *et al.*, 1988; Albanesi *et al.*, 2006) incluyendo así el límite Ordovícico-Silúrico. El miembro Cuarcitas Azules (superior) presenta arreglo estrato grano creciente, y se caracteri-

za por una conspicua alternancia de capas finas a medianas de fangolitas, cuarzoarenita y sublitorenita (Peralta, 1990). Recientemente, Asurmendi *et al.* (2018) mediante el estudio de MISS (Estructuras sedimentarias inducidas por microbialitas) presentes en esta formación, interpretaron un ambiente supramareal a submareal en una rampa silicoclástica dominada por mareas para esta unidad.

La Formación Los Espejos está compuesta por rocas siliciclásticas marinas, principalmente areniscas y limolitas verdes (Cuerda 1969; Astini y Piovano 1992; Benedetto *et al.*, 1992). Los estratos fueron depositados en un ambiente de plataforma media a distal y cara de playa e incluye depósitos interestratificados de tormentas (Peralta 1990; Astini y Maretto 1996; Rodríguez *et al.*, 2010). En su fauna los representantes más comunes son los braquiópodos, trilobites, graptolitos, tentaculoideos, crinoideos, euriptéridos, nautiloideos, gastrópodos, acritarcos, conodontes y trazas fósiles (Cuerda 1969; Baldis y Aceñolaza, 1978; Baldis *et al.*, 1984; Aceñolaza y Peralta, 1985, Brussa y Toro, 1989; Sanchez *et al.*, 1991). Recientemente, como resultado del estudio de sus asociaciones de conodontes en las secciones de Talacasto, se registraron importantes avances sobre la bioestratigrafía de conodontes de esta unidad (Gómez, 2015; Gómez *et al.*, 2017, 2019; Garcías, 2016), sobre esta base Mestre *et al.* (2017) propusieron el primer cuadro bioestratigráfico para el Silúrico tardío - Devónico temprano de Precordillera.

En área del Bolsón de Hualilán los antecedentes sobre las sucesiones del Paleozoico Inferior son escasos, uno de los primeros aportes sobre la estratigrafía de esta área es la Hoja geológica 19 c “Ciénaga de Gualilán” (Furque, 1983). En el borde occidental del Bolsón de Hualilán, correspondiente al faldeo oriental de la Sierra de la Invernada existe un mayor conocimiento sobre las unidades paleozoicas (Treo y Baraldo, 1984; Furque y Caballé, 1990; Pittaluga *et al.*, 1996, 1997; Peralta, 2013 a,b), así como

en el área de la Sierra de Talacasto (Baldis *et al.*, 1984; Beresi, 1986; Soria *et al.*, 2013; García Muro *et al.*, 2014; Gómez, 2016, Mestre *et al.*, 2020).

las sierras de Talacasto y Las Crucecitas, donde presenta un esbozo del arreglo estratigráfico del Paleozoico Inferior en el área de la Sierra de las Crucecitas.

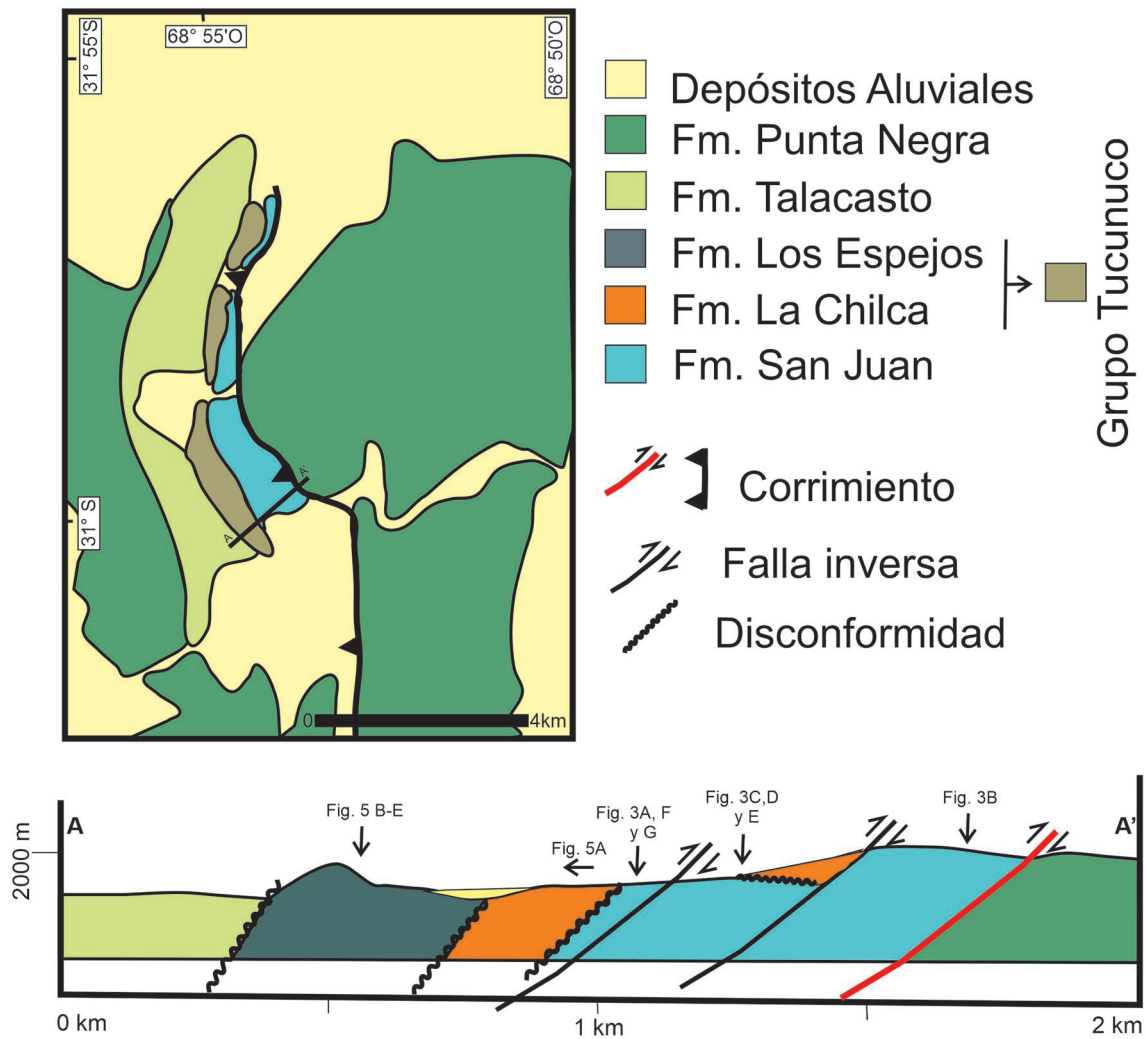
## Sierra de Las Crucecitas

Desde el punto de vista estratigráfico, el conocimiento del Paleozoico Inferior de la Sierra de Las Crucecitas es escaso o nulo. Un primer intento de ordenamiento estratigráfico es realizado por Furque (1983) en la geológica Hoja 19 c, “Ciénaga de Gualilán”. Recientemente, Fernández (2015) realizó un estudio sobre las estructuras andinas y pre-andinas en

## Estratigrafía

### Formación San Juan

La Formación San Juan en la sección estudiada de la Sierra de Las Crucecitas (extremo austral de los afloramientos) tiene un espesor de aproximadamente 600 m (Fig. 2), el mismo se debe a la importante estructuración y deformación que afecta a esta unidad, provocando re-



**Figura 2:** Mapa geológico de detalle y perfil estratigráfico del sector austral de la Sierra de Las Crucecitas. **Figure 2:** Detailed geological map and stratigraphic profile of the southern area of the Sierra de Las Crucecitas.

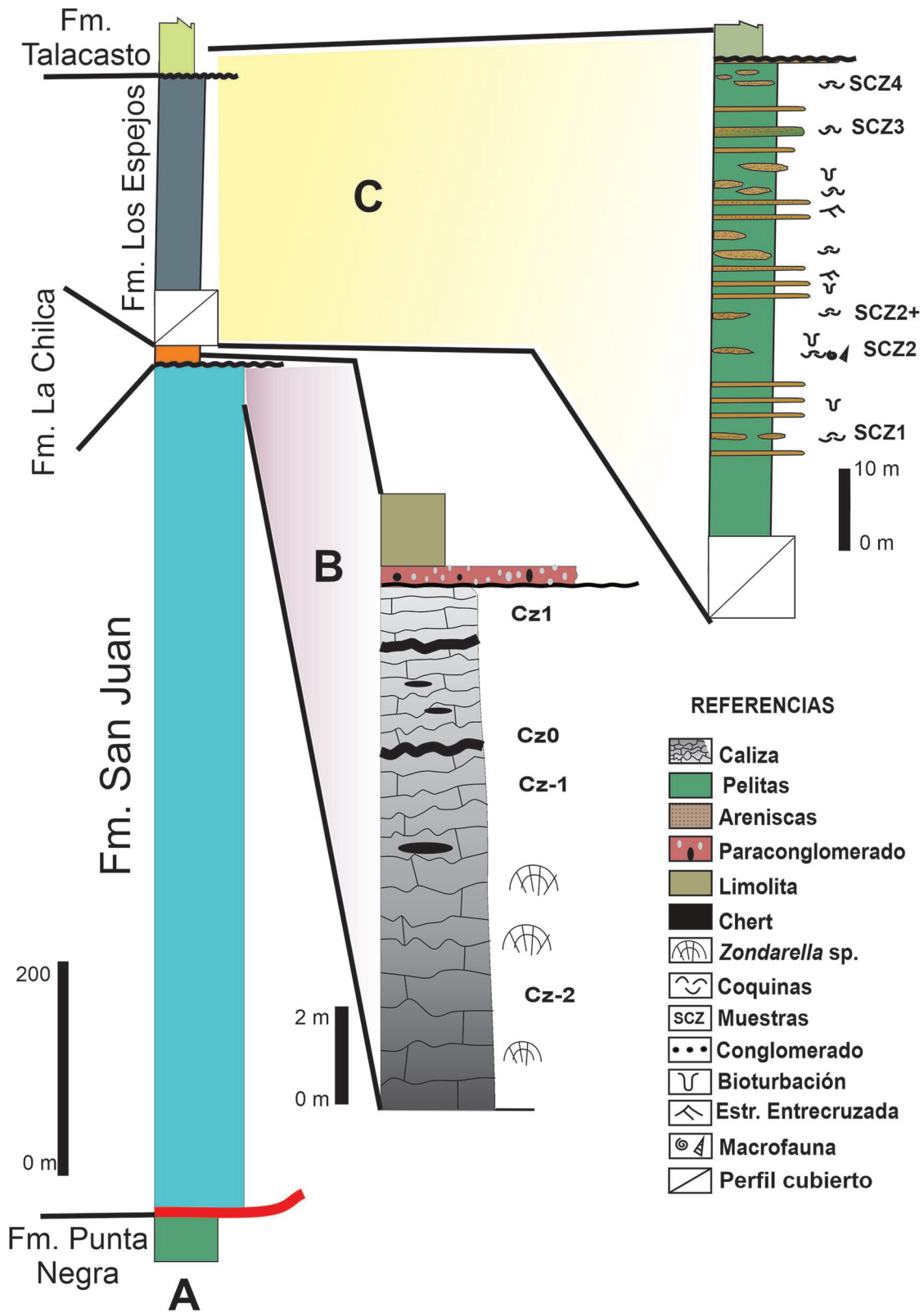
petición de la sucesión y un sobredimensionamiento de su verdadero espesor. Dicha unidad está representada mayoritariamente por *mac-keystone-packstone* de color gris claro y en menor

proporción por *packstone-grainstone* de color gris medio, que se presentan en bancos de 0,50 a 1,5 m de espesor (Fig. 3A).

Una característica sobresaliente en toda la



**Figura 3:** A- Niveles de packstone-grainstone de los tramos superiores de la Formación San Juan; B, F-G- *Zondarella* sp. de diferentes tamaños que se observan a lo largo del perfil estudiado; C- Contacto erosivo entre la Formación San Juan y la Formación La Chilca; D- Detalle de C; E- Paraconglomerado pardo rojizo con clastos de chert que se observa a la base de la Formación La Chilca, las flechas rojas señalan los clastos angulosos a subangulosos dispersos en la matrix. **Figure 3:** A- Packstone-Grainstone levels of the upper beds of the San Juan Formation; B, F-G- *Zondarella* sp. of different sizes which are observed through the study section; C- Erosive boundary between the San Juan formation and La Chilca Formation; D- Detail of C; E- Reddish-brown paraconglomerate with chert clasts which is observed to the base of the La Chilca Formation, the red arrows indicate the angular and subangular clast disperse of the matrix.



**Figura 4:** A- Columna estratigráfica de la sucesión del Paleozoico Inferior que aflora en el borde occidental de la Sierra de Las Crucecitas (referencia ver Fig. 2). B- Perfil de detalle del techo de la Formación San Juan con los niveles muestreados, y los niveles basales de la Formación La Chilca; C- Perfil de la parte media y superior de la Formación Los Espejos con los niveles muestreados. **Figure 4:** A- Stratigraphic column of the Lower Paleozoic succession in the western flank of the Sierra de Las Crucecitas (reference see Fig. 2). B- Detailed profile of the uppermost bed of the San Juan Formation with the sampled levels, and of lowermost beds of the La Chilca Formation; C- Profile of the middle and upper part of the Los Espejos Formation showing the sampled levels.

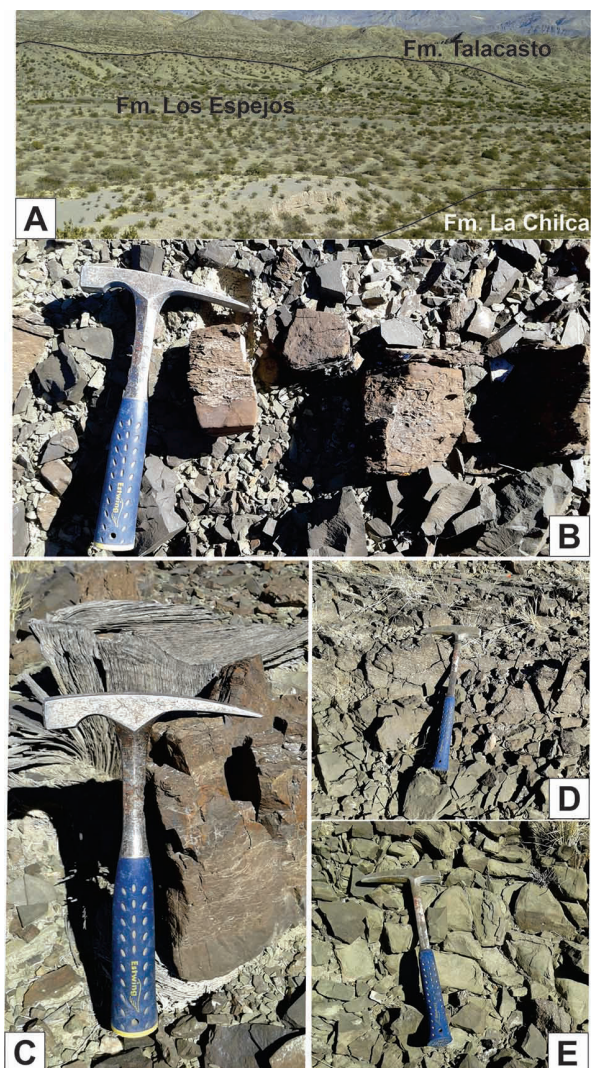
te en otras secciones de la Precordillera Central (Benedetto, 2003). A lo largo de todo el perfil solo se han observado algunos fragmentos de valvas de braquiópodos silicificados, moldes de gastrópodos, nautiloideos silicificados, escasos artejos de equinodermos y esponjas. El componente fósil más abundante a lo largo de la sucesión es el pulchrilamiloideo *Zondarella* sp., que se encuentra representado por algunos cuerpos de hasta 1 m de diámetro con estructura botroidal de láminas de chert (Fig. 3B), pero en su mayoría son de dimensiones más pequeñas de 0,20 a 0,50 m de diámetro (Fig. 3F-G), los mismos se encuentran aislados unos de otros y no es posible reconocer estructuras arrecifales asociadas a estos como las que se observan en las secciones de Niquivil, Talacasto o Villicum (Keller y Flügel, 1996; Cañas y Carreras, 2003; Mestre *et al.*, 2020).

Las calizas a lo largo del perfil relevado se encuentran intensamente silicificadas y presentan nódulos y bancos de chert dispuestos de forma concordantes con la estratificación. También, es muy importante el diaclasamiento y fracturación de la Formación San Juan las cuales se encuentran rellenas de calcita y sílice. Debido a la intensa estructuración que afecta a esta unidad, se hizo muy difícil realizar un ordenamiento estratigráfico de la sucesión, solo cuando se reconoció el contacto erosivo de la Formación San Juan con la Formación La Chilca, se pudo relevar un perfil de 10 m de espesor para llevar a cabo un muestreo siguiendo el arreglo estratigráfico (Fig. 4). Se tomaron 4 muestras de niveles potencialmente fértiles para conodontes, las cuales resultaron estériles, por lo que la edad precisa de estos niveles es aún desconocida y solo se podría inferir por su posición estratigráfica (ver discusión).

#### Formación La Chilca

En la sección de estudio la Formación La Chilca se apoya sobre la Formación San Juan de forma paraconcordante mediante una superficie erosiva (Fig. 3C, D; Fig. 4). Dicha unidad se encuentra mayormente cubierta por derrubio y solo se pudo relevar los niveles basales de la misma, los cuales están caracterizados por un

banco masivo de paraconglomerado pardo rojizo de 0,30 m de espesor en la que se reconocen algunos clastos angulosos a subangulosos de chert de color gris oscuro a negro que se encuentran dispersos en la matrix sin arreglo ni ordenamiento observable, la matrix está fuertemente cementada por sílice y óxido de hierro (Fig. 3E), lo que le confiere fractura concoidea y un aspecto de “chert” estratificado. Este nivel se correspondería con el clásico ortoconglomerado de chert característico de la base de la Formación La Chilca en otras secciones de



**Figura 5:** A- Vista panorámica hacia el sur; B- Nivel de arenisca con acumulación bioclástica correspondiente al tramo medio de la sección; C- Banco de arenisca con acumulación bioclástica del tope de la sección; D- Tope del banco de arenisca verdoso tapizado por braquiópodos; E- Banco de arenisca verdosa. **Figure 5:** A- Panoramic view to the south; B- Sandstone bed with bioclastic accumulation located in the middle part of the section; C- Sandstone bed with bioclastic accumulation on the top of the section; D- Top of the greenish sandstone bed with brachiopods; E- Greenish sandstone beds.



sucesión que aflora en la sección estudiada, es la escasa presencia de macrofauna distintiva de la Formación San Juan, que suele ser abundante en la Precordillera Central. Continúa, una sucesión monótona de limolitas y pelitas silicificadas de color verde finamente estratificadas por unos 3 m de espesor y luego es cubierta por aluvión.

#### Formación Los Espejos

En esta localidad el pase entre las formaciones Los Espejos y La Chilca se encuentra cubierto por aluvión y no se pudo reconocer en el campo. La Formación Los Espejos alcanza un espesor de 250 m aproximadamente (Figs 2, 4), la misma se encuentra intensamente deformada, se observan numerosas fallas y pliegues. El tramo basal se encuentra totalmente cubierto por sedimentos del cuaternario, lo cual hace difícil su descripción (Fig. 5A).

El tramo medio de la unidad está compuesto principalmente por pelitas y areniscas con la incorporación gradual de areniscas finas con cemento carbonático que alternan con fangolitas bioturbadas. Hacia arriba pasa a bancos de areniscas de tamaño medio a grueso, compuesto por capas de hasta 0,20 m de potencia, a la base de los mismos se observan niveles formados por acumulación bioclástica que incluyen braquiópodos, entre los cuales se reconocen *Australina jachalensis* y *Clarkeia sp.*, restos de trilobites y gastrópodos (Fig. 4 y Fig. 5B). Estos bancos se tornan más frecuentes en los términos superiores. Éste tramo culmina con un banco de arenisca de color verde claro, de no más de 0,60 m de espesor y varios metros de longitud (Fig. 5E) que hacia el tope es más oscura y se encuentra tapizado por braquiópodos de gran tamaño correspondientes al género *Clarkeia sp.* (Fig. 5D). En el tramo superior de la sección se encuentra una sucesión de areniscas y fangolitas que presentan leve deformación sinsedimentaria, intercalados con niveles pelíticos de coloración verde oscura. Los bancos de areniscas presentan acumulación bioclástica en una matrix pelítica fangosa (Fig. 5C). En esta sección los depósitos pelíticos de la base de la Formación Talacasto suprayacen a la Formación

Los Espejos mediante una paraconformidad.

Sobre el perfil relevado de la Formación Los Espejos en la sección de estudio se colectaron cinco muestras de niveles potencialmente fértiles para la obtención de conodontes las cuales fueron estériles (Fig. 4), por lo que no se ha podido precisar la edad de dicha unidad.

#### Discusión

En la presente contribución se propone una primera aproximación a la estratigrafía de los depósitos del Paleozoico Inferior aflorantes en el borde occidental de la Sierra de Las Crucecitas, la misma representaría el primer antecedente para esta región de la Precordillera Central.

Las características estratigráficas y el contenido fósil de la Formación San Juan en esta sección resultan de gran importancia ya que representarían el hallazgo más occidental del pulchramiloideo *Zondarella sp.* en el ámbito de la Precordillera Central, aportando valiosa información sobre la distribución de este organismo dentro de la cuenca carbonática Ordovícica de Precordillera. Con respecto a la edad de estos niveles de la Formación San Juan, las muestras colectadas no aportaron información que permita precisarla. Sin embargo, es posible hacer una propuesta en función de su ubicación estratigráfica y las características del afloramiento.

El techo erosivo de la Formación San Juan ha sido ajustado bioestratigráficamente en pocas secciones de la Precordillera Central. En la Sierra de Talacasto fue recientemente acotado a la Zona de *L. pseudoplanus* (Darriwiliano) en la sección de los Baños de Talacasto (Gallardo, 2018). Por otra parte, en la sección de Pachaco, Serpagli (1974) registró una asociación de conodontes floiana tardía hasta probablemente dapingiana para el techo de la Formación San Juan.

Los arrecifes de la Formación San Juan han sido ampliamente estudiados, especialmente en los sectores septentrionales de la Precor-

dillera Central y Oriental (Cañas y Keller, 1993; Keller y Bordonaro, 1993; Carrera y Cañas, 1997; Keller y Flügel, 1996; Cañas y Carrera, 2003; Mestre *et al.*, 2020). Keller y Flügel (1996) describieron un nuevo género y especie de pulchrilamiloideo para Sudamérica, denominado *Zondarella communis*, y lo propusieron como uno de los organismos constructores de arrecifes durante el Ordovícico en Precordillera. Cañas y Carrera (2003) presentan un resumen de los arrecifes de Precordillera y reconocieron diferentes tipos que se desarrollaron durante el Cámbrico y Ordovícico, estos son: Trombolitos microbianos (Cámbrico Superior-Tremadociano alto); Arrecifes de microbialitas-esponjas-*Calathium* (Tremadociano tardío); Arrecifes de microbialitas-*Zondarella-Calathium* en Precordillera Central y arrecifes dominados por *Zondarella* en Precordillera Oriental, estos dos últimos se habrían desarrollado durante el Ordovícico Medio temprano.

Recientemente, Mestre *et al.* (2020) reubicaron bioestratigráficamente los arrecifes de microbialitas-*Zondarella-Calathium* proponiendo una edad floiana tardía (Ordovícico Inferior) para los mismos. Estos arrecifes se caracterizan por ser matrix soportados, con una estructura conformada por microbios y organismos tales como, esponjas, receptaculoideos y pulchrilamiloideos. Dichos arrecifes se presentan a la base del *shoal* el cual está conformado por depósitos gruesos representado por *packstone-grainstone* biointraclásticos, los arrecifes están representados por wackestone bioclásticos de color gris claro que presentan formas globosas o dómicas con dimensiones variables de hasta 2 m de alto. Mestre *et al.* sugieren también, que los arrecifes dominados por *Zondarella* presentes en la Precordillera Oriental tendrían una edad dapingiana tardía-darriwiliana temprana, como ya había sido sugerido por Lehnert y Keller (1993).

Tomando en consideración lo expuesto en los párrafos anteriores y de la comparación de los depósitos estudiados con los de otras secciones de Precordillera Central, se podría proponer que los niveles del techo de la Formación San Juan en la sección estudiada en la Sierra de

las Crucecitas tendrían una edad dapingiana tardía-darriwiliana (Ordovícico Medio). Debido a que los pulchrilamiloideos presentes en ésta sección no se encuentran asociados a otros organismos formando arrecifes como los descritos para el Floiano tardío (Mestre *et al.*, 2020), sino que tienen mayor similitud con los arrecifes dominados por *Zondarella* presentes en la Precordillera Oriental. Por otra parte, su proximidad con la Sierra de Talacasto sugeriría que el techo de la Formación San Juan en la sección de estudio no podría tener un nivel de erosión mucho mayor que los verificados en la Sierra de Talacasto. Sin embargo, un estudio más detallado sobre la Formación San Juan en la Sierra de Las Crucecitas debe llevarse a cabo para poder precisar la edad de la misma en esta área.

Los estratos basales de la Formación La Chilca en la sección de estudio están caracterizados por un nivel de paraconglomerado pardo rojizo que presentan clastos de chert angulosos a subangulosos dispersos en una matriz fuertemente cementada por sílice y óxido de hierro. Las características litológicas del mismo difieren de las típicas descritas para el ortoconglomerado basal de chert de dicha unidad en otras localidades de Precordillera Central (Peralta *et al.*, 2003; Asurmendi *et al.*, 2018). Estas diferencias merecen un estudio más profundo y de mayor extensión en el borde occidental de la Sierra de Las Crucecitas para entender las variaciones en la composición de estos niveles de la Formación La Chilca.

De acuerdo con las observaciones realizadas en el campo, la Formación Los Espejos muestra en general grandes similitudes litológicas con las reconocidas en el resto de la Precordillera Central principalmente con los aforamientos en las localidades de Talacasto (Quebrada Ancha, Poblete) (Gómez, 2015, 2016; Garcías, 2016). Entre estas similitudes, se reconoce el arreglo estrato grano creciente y las estructuras de deformación sinsedimentaria presentes en el tramo superior de la sección. Además, al comparar el desarrollo de los espesores, este sector presenta una disminución

de espesor con respecto a los observados en las secciones cercanas al río Jáchal. Por otra parte, se observan marcadas diferencias con la Formación Tambolar ubicada hacia el sur siguiendo el mismo corrimiento que levanta a la Sierra de Las Crucecitas.

La bioestratigrafía de conodontes de la Formación Los Espejos en las secciones de Talacasto ha sido la base para la elaboración del primer cuadro bioestratigráfico de conodontes para Precordillera, la edad de la parte media y el tope de dicha unidad va desde el Ludfordiano al Lochkoviano temprano, siendo esta última la edad de los niveles con deformación sinsedimentaria. Por lo expuesto previamente, se propone una edad para la Formación Los Espejos en la Sierra de Las Crucecitas similar a la registrada en las secciones de Talacasto. Sin embargo, el conocimiento de la sucesión silúrica para este sector es incompleto, presentando aquí los primeros resultados.

## Agradecimientos

Las autoras quieren expresar su agradecimiento a CONICET, el IIM y especialmente a la UNSJ que a través de los proyectos PROJOVI 2018-2019 y PROJOVI 2020-2021 financió y continúa financiando el estudio de esta área.

## Referencias

- Aceñolaza, F. G. y Peralta, S. 1985. Análisis secuencial de caracteres icnológicos del Silúrico de la Precordillera Argentina (Sierra de Talacasto, San Juan, Argentina). *IV Congreso Geológico Chileno*, 1: 591-598.
- Albanesi, G., Hünicken, M. y Barnes, C. 1998. Bioestratigrafía de conodontes de las secuencias ordovícicas del cerro Potrerillo, Precordillera Central de San Juan, R. Argentina. *Academia Nacional de Ciencias, Córdoba*, Tomo XII: 1-72.
- Albanesi, G., Ortega, G. y Hünicken, M. 2006. Bioestratigrafía de conodontes y graptolites silúricos en la sierra de Talacasto, Precordillera de San Juan, Argentina. *Ameghiniana*, 43(1): 93-112.
- Asurmendi, E., Sánchez, M. L. and Heredia, S. 2018. Stratigraphy and facies analysis of the La Chilca Formation, Central Precordillera: Insights on the postglacial Ordovician-Silurian boundary and Early Silurian deposits from Argentina. *Geological Journal*, 55(1): 54-76.
- Astini, R.A. 1992. Tectofacies ordovícicas y evolución de la cuenca eopaleozoica de la Precordillera Argentina. *Estudios Geológicos*, 48: 315-327.
- Astini, R. A. y Piovano, E. 1992. Facies de plataforma terrígena del Silúrico de la Precordillera sanjuanina. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 47: 99-110.
- Astini, R. A. y Maretto, H. M. 1996. Análisis estratigráfico del Silúrico de la Precordillera Central de San Juan y consideraciones sobre la evolución de la cuenca. *XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Actas I: 351-368. Buenos Aires.
- Baldis, B. A. y Aceñolaza, F. G. 1978. Trazas fósiles del Silúrico de la Precordillera. *Acta Geológica Lilloana*, Suplemento 14: 101-104.
- Baldis, B.A. y Chebli, G. 1969. Estructura profunda del área central de la Precordillera sanjuanina. *4th Jornadas Geológicas Argentinas*, 1: 47-66.
- Baldis, B., Beresi, M., Bordonaro, O. y Vaca, A. 1982. Síntesis evolutiva de la Precordillera Argentina. *V Congreso Latinoamericano de Geología*, Actas IV: 399-445.
- Baldis, B. A., Peralta, S. y Uliarte, E.R. 1984. Geología de la Quebrada Ancha y sus alrededores en el área de Talacasto, Precordillera Sanjuanina. *IX Congreso Geológico Argentino*, 4: 233-245.
- Beresi, M.S. 1986. [Paleoecología y biofacies de la Formación San Juan al sur del paralelo de 30° sur, Precordillera de San Juan. Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas, Universidad Nacional de San Juan, 400 pp. Inédito].
- Benedetto, J.L. 2003. *Brachiopods*. In: Benedetto, J.L. (ed.). Ordovician fossils of Argentina. Secretaría de Ciencia y tecnología, Universidad Nacional de Córdoba: 187-272.
- Benedetto, J.L., Racheboeuf, P.R., Herrera, Z.A., Brussa, E.D. and Toro, B.A. 1992. Brachiopodes et biostratigraphie de la Formation de Los Espejos, Siluro-Dévonien de la Précordillère (NW Argentine). *Geobios*, 25: 599-637.
- Brussa, E. y Toro, B. 1989. Hallazgo del primer euryptérido silúrico de Argentina. *Ameghiniana*, 26(2): 23-26.
- Cañas, F.L. and Carrera, M.G. 1993. Early Ordovician microbial-sponge-receptaculitid bioherms of the Precordillera, Western Argentina. *Facies*, 29: 169-178.
- Cañas, F. and Carrera, M. 2003. *Precordilleran reefs*. In: Benedetto, J.L. (ed.), Ordovician Fossils of Argentina. Secretaría de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 131-142.
- Cañas, F.L. y Keller, M. 1993. Arrecifes y montículos arre-

- cifales en la Formación San Juan (Precordillera sanjuanina, Argentina): Los arrecifes más antiguos de Sudamérica. *Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural* (Sc. Geología), 88(1-4): 127-136.
- Carrera, M.G. y Cañas, F. 1997. Los biohermos de la Formación San Juan (Ordovícico Temprano, Precordillera argentina): Paleocología y comparaciones. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología*, 3: 85-104.
- Cuerda, A.J. 1965. Nota sobre la estratigrafía de la Sierra de Perico en la Provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 19(4): 207-210.
- Cuerda A, J. 1969. Sobre las graptofaunas del Silúrico de San Juan, Argentina. *Ameghiniana* 6(3): 223-235. Buenos Aires.
- Cuerda, A.J. y Baldis, B.A. 1971. Silúrico-Devónico de la Argentina. *Ameghiniana*, 8: 128-164.
- Cuerda, A. J., Rickards, R. B., and Cingolani, C. 1988. A new Ordovician–Silurian boundary section in San Juan Province, Argentina, and its definitive graptolite fauna. *Journal of the Geological Society*, 145:749-757.
- Furque, G. 1963. Descripción geológica de la Hoja 17 b Guandacol, Provincia de La Rioja y San Juan. *Dirección Nacional de Geología y Minería*, Boletín 92. Buenos Aires.
- Furque, G. 1983. Descripción geológica de la Hoja 19c, Ciénaga de Gualilán, San Juan. *Servicio Geológico Nacional*, Boletín 193, 106 p. Buenos Aires.
- Furque, G. y Caballé, M. F. 1990. Depósitos marinos del Paleozoico medio en la Precordillera Central de San Juan, Argentina. *XI Congreso Geológico Argentino*. Actas 2: 81-84. San Juan.
- Furque, G. y Cuerda, A. J. 1979. Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza. 2do Simposio de Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias*, v. 1: 455-522.
- Fernández, R. 2015. [Estructuras andinas y pre-andinas en el área de las Sierras de Talacasto y La Cruzcita, Precordillera Central. Dpto. Ullúm, provincia de San Juan. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias Geológicas. FCEFYN, UNSJ, 102pp. Inédito].
- Gallardo, M. 2018. [Bioestratigrafía de conodontes y microfácies carbonáticas del tramo superior de la Formación San Juan, Baños de Talacasto, Precordillera Central. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, 141p. Inédito].
- Garcías, Y. 2016. [Estratigrafía y Bioestratigrafía de Conodontes de la Formación Los Espejos (Silúrico) en la Quebrada Poblete, Talacasto, Precordillera Central. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias Geológicas. FCEFYN, UNSJ, 62 pp. Inédito].
- García Muro, V. J., Rubinstein, C.V. and Steemans, P. 2014. Upper Silurian miospores from the Precordillera Argentina: biostratigraphic, palaeoenvironmental, palaeogeographic implications. *Geological Magazine*, 151: 472-490.
- Gómez, M. J. 2015. [Estratigrafía y bioestratigrafía de conodontes de la Formación Los Espejos (Silúrico) en Quebrada Ancha, Talacasto, Precordillera Central. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencia Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan, 86 pp. San Juan. Inédito].
- Gómez, M. J. 2016. Observaciones estratigráficas de la Formación Los Espejos (Silúrico) en Quebrada Ancha, Precordillera Central, Argentina. *Serie Correlación Geológica*, 32: 75-84.
- Gómez, M.J., Garcías, Y., Corradini, C., Mestre, A. y Heredia, S. 2017. El horizonte de “*Ozarkodina*” *eosteinbornensis* s.s. (Pridoliano) en la Formación Los Espejos, Talacasto, Precordillera Central, San Juan, Argentina. *XX Congreso Geológico Argentino* (Tucumán), Actas Simposio 11: 32–37.
- Gómez, M.J., Mestre, A., Garcías, Y. y Corradini, C. 2019. First documentation of the *Polygnathoides siluricus* conodont Zone (Ludfordian) in South America (Argentina) and the stratigraphic significance of the younger species of *Kockelella* (Conodonta). *Geological Journal*, 54: 3455-3467.
- Heredia, S. 2012. Bioestratigrafía de conodontes del Darriviliano medio (Ordovícico) de la Formación Las Aguaditas, Precordillera Central. *Revista Mexicana de Geología*, 29 (1): 76-86.
- Heredia, S. and Mestre, A. 2011. Middle Darrivilian Conodont Biostratigraphy in the Argentine Precordillera. In: J.C. Gutiérrez Marco, I. Rábano y D. García Bellido (Eds.), Ordovician of the World. *Cuadernos del Museo Geominero*, 14: 229-234.
- Heredia, S. and Mestre, A. 2013. Advances in the middle Darrivilian conodont biostratigraphy of the Argentine Precordillera. In: Conodonts from the Andes (eds. Albanesi G. and Ortega, G.). Proceedings of the 3rd International Conodont Symposium and Regional Field Meeting of the IGCP project 591. *Publicación Especial de la Asociación Paleontológica Argentina*, 13: 45-47.
- Heredia, S., Beresi, M. and Peralta, S. 2005. Darrivilian conodont biostratigraphy of the Las Chacritas Formation, Central Precordillera, San Juan Province, Argentina. *Geologica Acta*, 3: 85-94.
- Heredia, S., Beresi, M., y Mestre, A. 2011. La estratigrafía del Ordovícico Medio del río Las Chacritas, Precordillera Central de San Juan. *Serie Correlación Geológica*, 27(1): 18-26.
- Heim, A. 1952. Estudios tectónicos en la Precordillera de San Juan. Los ríos San Juan, Jáchal y Huaco. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 7(1): 11-70.

- Keller, M. 1999. Argentine Precordillera: Sedimentary and Plate Tectonic History of a Laurentian Crustal Fragment in South America. *Geological Society of America Special Paper*, 341: 1-131.
- Keller, M. y Bordonaro, O. 1993. Arrecifes de estromatopóridos en el Ordovícico Inferior del Oeste argentino y sus implicaciones paleogeográficas. *Revista Española de Paleontología*, 8(2): 165-169.
- Keller, M. and Flügel, E. 1996. Early Ordovician reefs from Argentina: stromatoporoid vs. stromatolite origin. *Facies*, 34: 177-192.
- Lehnert, O. 1995. *Ordovizische Conodonten aus der Präcordillere Westargentiniens: Ihre Bedeutung für Stratigraphie und Paläogeografie. Erlangen geologische Abhandlungen* 125: 1-193.
- Lehnert, O. y Keller, M. 1993. Posición estratigráfica de los arrecifes arenigianos en la Precordillera Argentina. *Document Laboratoire Géologique de Lyon*, 125:263-275.
- Mestre, A. 2009. Primeros conodontes de la Formación Tambolar (Facies Pachaco), Silúrico de la Precordillera Argentina, y sus implicancias bioestratigráficas. *Ameghiniana*, 46(3): 469-479.
- Mestre, A. 2012. Bioestratigrafía de conodontes del techo de la Formación San Juan y el miembro inferior de la Formación Los Azules, Cerro La Chilca, Precordillera Central. *Ameghiniana*, 49(2): 185-197.
- Mestre, A. 2014. Bioestratigrafía de conodontes del Darriwiliense medio (Ordovícico) en el borde oriental de la Sierra de Villicum (Precordillera Oriental, Argentina). *Boletín Geológico y Minero*, 125(1): 65-76.
- Mestre, A. y Heredia, S. 2013a. La Zona de *Yangtzeplacognathus crassus* (conodonta), Darriwiliana de la Precordillera. *Ameghiniana* 50(4): 407-417
- Mestre, A. and Heredia, S. 2013b. Biostratigraphic significance of Darriwilian conodonts from Sierra de La Trampa (Central Precordillera, San Juan, Argentina) *Geosciences Journal*, 17(1): 3-53.
- Mestre, A. and Heredia, S. 2020a. The conodont *Paroistodus horridus* (Barnes and Poplawski) as new biostratigraphical tool for the middle Darriwilian (Ordovician). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 549 doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.03.015.
- Mestre, A. and Heredia, S. 2020b. Lower-middle Darriwilian index conodonts from the Precordillera: New taxonomical approaches. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironment*, 100: 737-756. doi.org/10.1007/s12549-019-00386-3.
- Mestre, A., Gómez, M.J., Garcías, Y., Corradini, C. and Heredia, S. 2017. Advances on Silurian-Devonian conodont biostratigraphy in the Central Precordillera, Argentina. In: J-C Liao and J. I. Valenzuela-Rios (Eds). *Progress on Conodonts Investigation*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie: *Cuadernos del Museo Geominero*, 22: 105-108.
- Mestre, A; Heredia, S.; Moreno, F.; Benegas, L., Morfil, A. and Soria, T. 2020. New insights on Lower Ordovician (Floian) reefs from the Argentine Precordillera: Biostratigraphic, sedimentologic and paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102801>.
- Ortiz, A. y Zambrano, J. 1981. La provincia geológica Precordillera Oriental. *VIII Congreso Geológico Argentino*, Actas, 3: 9-74. San Luis.
- Peralta, S. H. 1990. Silúrico de la Precordillera de San Juan-Argentina. *XI Congreso Geológico Argentino. Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan*. 48-64.
- Peralta, S. H. 1993. Estratigrafía y consideraciones paleoambientales de los depósitos marino-clásticos eopaleozoicos de la Precordillera Oriental de San Juan. *XI Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 128-137. Mendoza.
- Peralta, S. H. 2013a. El Silúrico de la Sierra de la Invernada, Precordillera de San Juan: implicancias estratigráficas y paleogeográficas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 70(4): 477-487.
- Peralta, S.H. 2013b. Devónico de la Sierra de La Invernada, Precordillera de San Juan, Argentina: Revisión estratigráfica implicancias paleogeográficas. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 70: 202-215.
- Peralta, S. H. y Carter, C. H. 1990. Facies de plataforma e Icnofacies de la Formación Tambolar (Silúrico) en su localidad tipo, Precordillera Central sanjuanina, Argentina. *III Reunión Argentina de Sedimentología*, Actas: 339-344. San Juan.
- Peralta, S.H. y León, L.I. 1993. Estratigrafía, sedimentología y correlación de los depósitos silúricos de Pachaco, Precordillera Central sanjuanina. *XII Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 142-147, Mendoza.
- Peralta, S.H., Uliarte, E.R. y Lanzilotta, I. 1986. Estudio de los depósitos sedimentarios ferruginosos del Silúrico de la Precordillera de San Juan. Primeras Jornadas sobre Geología de la Precordillera. *Asociación Geológica Argentina*, Serie A, Monografías y Reuniones, Actas 2: 301-306.
- Peralta, S.H., Pothe de Baldis, E.D. y Aceñolaza, F.G. 1997. Elementos de correlación estratigráfica del Silúrico de la Precordillera Central de San Juan, Argentina. *2º Jornadas Sobre Geología de Precordillera*, Actas: 48-53. San Juan.
- Peralta, S.H., Pothe de Baldis, E.D. y León, L.I. 1998. El

- Silúrico en la sección del río San Juan. Precordillera de Cuyo, Argentina: significado estratigráfico y paleoambiental. *X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso de Geología Económica*, Actas 1: 163-168, Buenos Aires.
- Peralta, S.H., Pothe de Baldis, E.D., León, L.I. and Pereira, M.E. 2003. *Silurian of the San Juan Precordillera, western Argentina: stratigraphic framework*. In Ortega, G. y Aceñolaza, G.F. (eds.) Proceedings of the 7th International Graptolite Conference & Field Meeting of the International Subcommittee on Silurian Stratigraphy. *Serie Correlación Geológica*, 18: 151-156. Tucumán.
- Pittaluga, A., Banchig, A.L. y Bordonaro, O.L. 1996. Descripción y análisis de los depósitos olistolíticos del borde oriental de la Sierra de La Invernada, Precordillera Central de San Juan. *6° Reunión Argentina de Sedimentología*, Actas: 17-22. Bahía Blanca.
- Pittaluga, A., Banchig, A.L. y Bordonaro, O.L. 1997. Depósitos olistostrómicos silúricos-devónicos en la quebrada de Vallecitos, sierra de la Invernada, Precordillera Central sanjuanina. *2° Jornadas Sobre Geología de Precordillera*, Actas: 54-59. San Juan.
- Rodríguez, C., Mestre, A., Sanchez, M.L. y Heredia, S. 2010. Los Espejos Formation: sedimentology, biostratigraphy and biofacies analysis. *XVIII International Sedimentological Congress "Sedimentology at the Foot of the Andes"*, Abstrat 266.
- Salas, M.J.; Mestre, A.; Gómez, M. J. and Garcías, Y. 2018. First Record of Ostracods from the Upper Silurian Tambolar Formation, Argentine Precordillera. *Ameghiniana*, 55(3): 253-262.
- Sánchez, T. M., Waisfeld, B. G. and Benedetto, J. L. 1991. Lithofacies, taphonomy and brachiopod assemblages in the Silurian of western Argentina. A review Malvinokafric Realm communities. *Journal of South American Earth Sciences*: 307-329.
- Serpagli, E. 1974. Lower Ordovician conodonts from Precordilleran Argentina (Province of San Juan). *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, 13(1-2): 17-95.
- Soria, T. 2017. La Zona de *Oepikodus intermedius* (Ordovícico Inferior) en la Quebrada Los Sapitos, Precordillera Central, San Juan. En: Benedetto J.L., S., Heredia, G., Aceñolaza y J., Carlorosi (eds.), Estratigrafía y Paleontología del Paleozoico Inferior de Argentina, *XX Congreso Geológico Argentino*: 32-37. Tucumán.
- Soria, T., Heredia, S., Mestre, A. y Rodríguez, C. 2013. Conodontes floianos de la Formación San Juan en la quebrada de Talacasto, Precordillera de San Juan. *Serie Correlación Geológica*, 29(1): 93-106.
- Soria, T., Mestre, A., Morfil, A., Benegas, L. y Heredia, S. 2017. Bioestratigrafía de conodontes de los biohermos de estromatoporoides de la Formación San Juan en Niquivil y Talacasto, Precordillera Central. En: Benedetto, J.L., Heredia, S., Aceñolaza, G., Carlorosi, J. (eds.), Estratigrafía y Paleontología del Paleozoico Inferior de Argentina, *XX Congreso Geológico Argentino*: 87-91. Tucumán.
- Treo, C. y Baraldo, J. 1984. Estructura del extremo norte de la Sierra de la Invernada y sur del cerro El Peñón, departamento Ullúm, provincia de San Juan. *IX Congreso Geológico Argentino*, Actas 2: 466-477. San Carlos de Bariloche.

**Recibido:** 10 de Marzo 2021

**Aceptado:** 01 de Julio de 2021