

# MICROFACIES CARBONÁTICAS DE LA FORMACIÓN SAN JUAN (ORDOVÍCICO) EN LA SECCIÓN TALACASTO-QUEBRADA ANCHA, PRECORDILLERA CENTRAL (SAN JUAN, ARGENTINA)

Florencia Moreno <sup>1</sup>

<sup>1</sup> CONICET-IIM, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. Av. Libertador San Martín 1109, 5500. fbmoreno@unsj.edu.ar

## ARTICLE INFO

### Article history

Received September 11, 2022

Accepted May 29, 2023

Available online May 29, 2023

### Handling Editor

José I. Cuitiño

### Keywords

Dapingiano

Darriwiliano

Zondarella

Biostromos

Plataforma carbonática

## RESUMEN

En la presente contribución se realiza la descripción e interpretación de las microfácies carbonáticas de los niveles medios-superiores de la Formación San Juan en la sección de Talacasto-Quebrada Ancha, abarcando el intervalo temporal Dapingiano-Darriwiliano temprano. Se reconocieron ocho microfácies: M1: *packstone-grainstone* bioclástico bioturbado, M2: *floatstone* intrabioclástico, M3: *wackestone-packstone* intraclástico peloidal, M4: *wackestone* silicificado, M5: *floatstone* intraclástico, M6: *floatstone* bioclástico bioturbado, M7: *floatstone* oncoidal, y M8: *wackestone* bioclástico bioturbado. Este análisis permitió el reconocimiento de un ambiente de depositación general de plataforma carbonática interna submareal somera. En ella, se reconocen variaciones en la energía del medio, indicados por tres configuraciones paleoambientales a través del lapso temporal estudiado: plataforma abierta somera de alta energía, plataforma somera con el desarrollo de biostromos dominados por esponjas y pulcrilaminoides (*Zondarella communis*) y plataforma abierta somera de baja energía. El arreglo vertical de dichos subambientes indica un arreglo general transgresivo para la sucesión estudiada.

## EXTENDED ABSTRACT

*Carbonate microfacies of the San Juan Formation (Ordovician) in the Talacasto-Quebrada Ancha section, Central Precordillera (San Juan, Argentina)*

The Talacasto range is located in the eastern sector of the Central Precordillera, about 55 km northwest of the city of San Juan (Fig. 1). In this area, the Ordovician limestones of the San Juan Formation crop out in erosive contact below the

Hirnantian-Silurian sedimentary rocks of the La Chilca Formation (Peralta and Persia, 1999). In this work, the San Juan Formation was analyzed in two sectors, the Quebrada Talacasto and the Quebrada Ancha, integrating them into a single section which was called the Talacasto-Quebrada Ancha section (Fig. 1).

The biostratigraphic and sedimentological antecedents for the San Juan Formation in the Talacasto area include the works of Hünicken (1982), Albanesi *et al.* (2003), Soria *et al.* (2013), Moreno

*et al.* (2020) and Mestre *et al.* (2020), who studied the lower floian levels of the San Juan Formation. The Darriwilian levels were studied by Gallardo (2018) and Mestre *et al.* (2022), revealing a meager knowledge of the middle levels of the San Juan Formation in this sector, between the Floian beds and the Darriwilian strata.

This contribution aims to present, for the first time, a description and a paleoenvironmental interpretation of carbonate microfacies from the San Juan Formation at the Talacasto-Quebrada Ancha section, considering the time interval between the late Floian and early Darriwilian (late Early-Middle Ordovician).

The Precordillera of Argentina extends through the provinces of La Rioja, San Juan and Mendoza. This geological province is made up of three morphostructural units: Western Precordillera, Central Precordillera and Eastern Precordillera. The San Juan Formation represents the youngest carbonate unit within the outcropping carbonate succession in the Precordillera and has been extensively studied by various authors on different topics (Vaccari, 1993; Baldis, 1995; Lehnert, 1995; Astini 1995; Sánchez *et al.*, 1996; Carrera, 1997; Albanesi *et al.*, 1998; Cañas, 1999; Benedetto, 2003; Heredia *et al.*, 2017; Serra *et al.*, 2020; Mestre *et al.*, 2020, among others). This formation is composed of mudstone, wackestone and grainstone deposits, registering a transgressive-regressive-transgressive sequence (Cañas, 1995). Based on the conodont record, the study levels of the San Juan Formation can be delimited between the top of the *Oepikodus intermedius* Zone and the base of the *Lenodus variabilis* Zone, which include Dapingian and earliest Darriwilian, following the conodont scheme proposed for Precordillera, Baltic and South-Central China (Wang *et al.*, 2005; Löfgren, 2000; Löfgren and Zhang 2003; Heredia and Mestre, 2013; Heredia *et al.*, 2017).

A stratigraphic profile was surveyed in the study section (Fig. 2) and 10 samples were collected for the corresponding analysis of carbonate microfacies. For this, 9 thin sections and 5 polished slabs were made in the Petrology Laboratory of the Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (UNSJ).

For the microfacies analysis, the thin sections and polished slabs of the study section were analyzed, and eight microfacies were recognized. Microfacies M1 (burrowed bioclastic packstone-grainstone) is interpreted as a shallow subtidal environment within

the inner shelf affected by occasional episodes of moderate to high energy. This microfacies represents the culmination of shoal deposits described by Mestre *et al.* (2020). Microfacies M2 (intrabioclastic floatstone), M3 (intraclastic peloidal wackestone-packstone) and M4 (siliciclastic wackestone) are interpreted as a shallow subtidal environment with variable hydrodynamic energy, from high energy to low energy conditions, within an inner shelf with open circulation, below and above the fair-weather wave base. At these levels, the *Zondarella communis* and sponges biostromes develop. Microfacies M5 (intraclastic floatstone), M6 (burrowed bioclastic floatstone), M7 (oncoloidal floatstone) and M8 (burrowed bioclastic wackestone) are interpreted as a shallow subtidal environment with low energy conditions within the inner shelf below the fair-weather wave base with open circulation.

Based on the microfacies analysis, the San Juan Formation in the study section was deposited in an inner carbonate platform which can be divided into three paleoenvironmental settings: 1) for the base of the succession, during the Dapingian (*B. triangularis* and *B. navis* zones), a shallow subtidal environment with high hydrodynamic energy above the wave base level is interpreted (M1). During this stage, a gradual rise in sea level and a proliferation of cyanobacteria and algae are observed; 2) during the late Dapingian-early Darriwilian, the development of *Zondarella communis* and sponges biostromes in a shallow subtidal environment within the inner shelf is observed (M2, M3 y M4; and 3) in the early Darriwilian (*L. variabilis* Zone) (M5, M6, M7 y M8) a shallow subtidal environment, with calm water conditions, developed below the fair-weather wave base level (Flügel, 2010; Zhong *et al.*, 2018; Yun *et al.*, 2016). The presence of oncoids, *Girvanella* and calcareous algae in these beds would indicate warm waters (Yu *et al.*, 2019). The record of late Dapingian-early Darriwilian biostromes dominated by *Zondarella communis* and sponges in the Talacasto-Quebrada Ancha section constitutes the first mention of the Central Precordillera.

Overall, the general paleoenvironmental arrangement for the middle-upper levels of the San Juan Formation suggest that, after the late Floian regression, a transgressive succession developed.

**Keywords:** Dapingian, Darriwilian, *Zondarella*, Biostrome, carbonate platform.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de microfacies carbonáticas permite complementar o completar de manera más detallada el análisis litofacial para poder obtener interpretaciones paleoambientales de las sucesiones dominadas por componentes carbonáticos, teniendo en cuenta los tipos de componentes carbonáticos, sus texturas, tipos de componentes fósiles y estructuras sedimentarias (Flügel, 2010). Un estudio de este tipo se aplica en este trabajo a la Formación San Juan, la cual representa una sucesión de rocas carbonáticas que fueron depositadas en una plataforma marina somera (Cañas, 1999; Keller, 1999; Soria *et al.*, 2017; Mestre *et al.*, 2020) durante el Ordovícico Inferior y Medio, específicamente 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). Esta unidad está caracterizada por una abundante fauna marina (Benedetto, 2003) y por distintos tipos de arrecifes: arrecifes de microbios, esponjas y receptaculoideos de edad tremadociana; arrecifes de microbios, esponjas, receptaculoideos y pulchrilaminoideos (Floiano tardío); y arrecifes dominados por pulchrilaminoideos (*Zondarella communis*) en el Dapingiano tardío-Darriwiliano temprano (Cañas y Carrera, 1993, 2003; Keller y Bordonaro, 1993; Cañas y Keller, 1993; Keller y Flügel, 1996; Mestre *et al.*, 2020). El registro de arrecifes dominados por el pulchrilaminoideo *Zondarella communis* en los niveles floianos tardíos (Zona de *Oepikodus intermedius*) de la Formación San Juan en las secciones de Niquivil y Talacasto (Mestre *et al.*, 2020), proporciona información crucial para comprender las vías de dispersión de estos organismos y permite una reconstrucción paleogeográfica del margen occidental de Gondwana durante el Ordovícico Inferior. Además, entre los componentes carbonáticos de la Formación San Juan se encontraron cianobacterias como *Girvanella* y *Nuia sibirica* (Soria *et al.*, 2017; Mestre *et al.*, 2020, 2022; Moreno, 2022), las cuales son indicadoras de aguas cálidas, clima tropical, y están asociadas al desarrollo de bioconstrucciones en ambientes de plataformas marinas someras (Rong *et al.*, 2014; Vachard *et al.*, 2014; Yu *et al.*, 2019). En el área de Famtina, Astini (2001) reconoce una asociación de *Nuia sibirica* y *Girvanella* en niveles más antiguos correspondientes al miembro inferior de

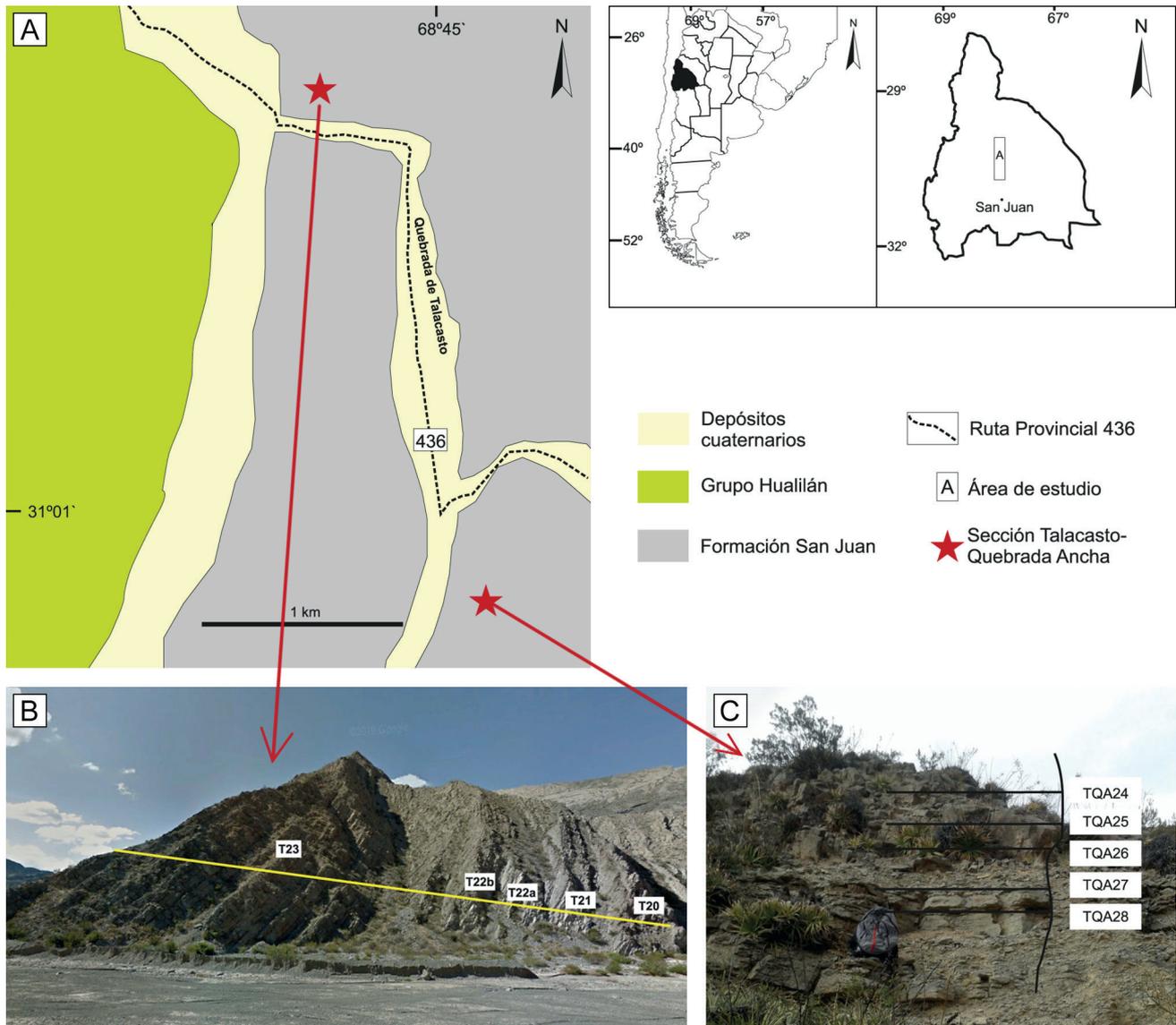
la Formación Volcancito (Cámbrico-Ordovícico Inferior), proponiendo condiciones paleoecológicas y paleoambientales que sugieren bajas latitudes, es decir, dentro de la faja periecuatorial.

En este trabajo se analizó la Formación San Juan en dos sectores: Quebrada de Talacasto y Quebrada Ancha, los cuales fueron integrados en una única sección, denominada sección Talacasto-Quebrada Ancha. La Sierra de Talacasto se ubica en el sector oriental de la Precordillera Central a unos 55 km al noroeste de la ciudad de San Juan (Fig. 1). En este sector afloran las calizas ordovícicas de la Formación San Juan en contacto erosivo debajo de las sedimentitas hirnantianas-silúricas de la Formación La Chilca (Peralta y Persia, 1999). Mestre *et al.* (2020) estudiaron los niveles floianos de la Formación San Juan en la sección de Talacasto y registraron arrecifes dominados por *Zondarella communis*, *Calathium* sp. y esponjas. El registro de *Zondarella communis* en estas facies fue asignado por primera vez a la Zona de *Oepikodus intermedius*, indicando una edad floiana tardía para los estratos portadores de este organismo

Sobre la base de estos antecedentes, queda en evidencia un pobre conocimiento de los niveles medios superiores de la Formación San Juan en el área de Talacasto. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es documentar por primera vez las microfacies carbonáticas que se reconocen en los niveles medios a superiores de dicha unidad en el área de Talacasto-Quebrada Ancha, acotados temporalmente al Dapingiano-Darriwiliano temprano. Esto tiene como objetivo final aportar información que permita profundizar las interpretaciones paleoambientales para continuar reconstruyendo la plataforma carbonática de la Precordillera desarrollada durante el Ordovícico Medio.

## MARCO GEOLÓGICO

La Precordillera es una provincia geológica localizada en el sector occidental de Argentina, abarca las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza, está limitada al oeste por la Cordillera Frontal y al este por las Sierras Pampeanas (Furque y Cuerda, 1979). Está constituida por una sucesión espesa de rocas de edad paleozoica y en menor medida, depósitos mesozoicos y cenozoicos. De acuerdo a sus características estratigráficas y estructurales, la Precordillera se divide de este a oeste en tres unidades morfoestructurales: Precordillera Oriental



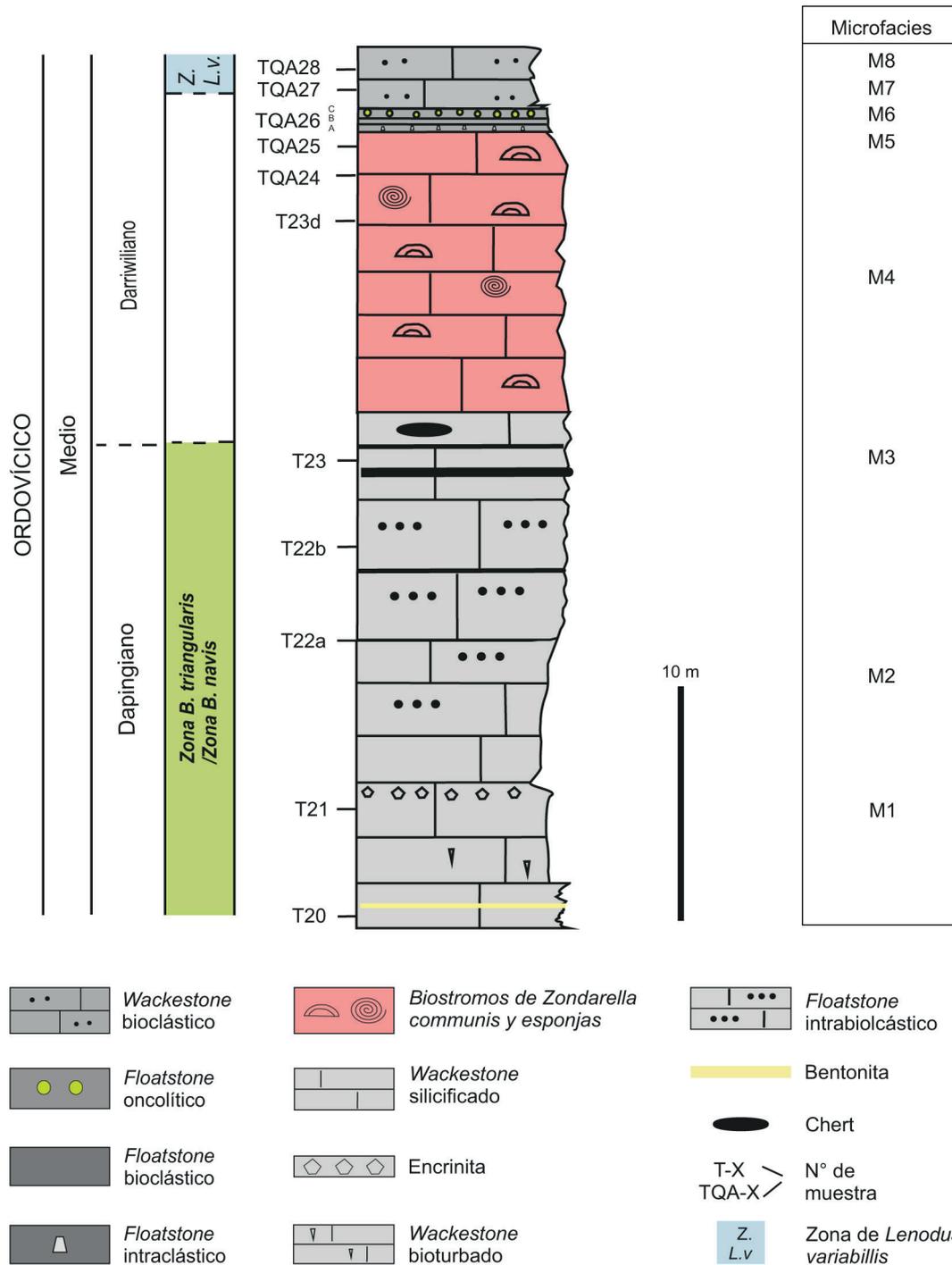
**Figura 1. a)** Localización de la sección Talacasto-Quebrada Ancha. **b)** Imagen tomada de Google Street View del sector de Talacasto donde se observan los niveles muestreados de la Formación San Juan. **c)** Niveles de la Formación San Juan muestreados en el sector de Quebrada Ancha.

**Figure 1. a)** Location map of the Talacasto-Quebrada Ancha section. **b)** Image taken from Google Street View of the Talacasto sector where the sampled levels of the San Juan Formation are observed. **c)** Levels of the San Juan Formation sampled in the Quebrada Ancha sector.

(Ortiz y Zambrano 1981), Precordillera Central (Baldis y Chebli 1969) y Precordillera Occidental (Baldis *et al.*, 1982).

La Formación San Juan representa la unidad carbonática más joven dentro del espeso paquete carbonático Cambro-Ordovícico aflorante en Precordillera. Ha sido ampliamente estudiada en una gama de temáticas, tanto paleontológicas, como estratigráficas y bioestratigráficas (Vaccari, 1993; Baldis, 1995; Lehnert, 1995; Astini 1995; Sánchez

*et al.*, 1996; Carrera 1997; Albanesi *et al.*, 1998; Cañas, 1999; Benedetto, 2003; Heredia *et al.*, 2017; Serra *et al.*, 2020; Mestre *et al.*, 2020, entre otros). Esta formación presenta una amplia variedad de asociaciones de facies que van desde facies de *mudstone* a facies de *grainstone*. Cañas (1995) reconoció cinco tipos de facies que evidencian un aumento de la profundidad, junto con un cambio de la configuración de la plataforma, desde la base al techo de la unidad, registrando una secuencia



**Figura 2.** Distribución vertical de las microfacies a lo largo del perfil estratigráfico de la Formación San Juan en la sección de Talacasto-Quebrada Ancha.

**Figure 2.** Vertical distribution of the microfacies along the stratigraphic section of the Talacasto-Quebrada Ancha section.

transgresiva-regresiva-transgresiva. Además, Cañas y Keller (1993), Cañas y Carrera (1993) y Keller y Bordonaro (1993) describieron por primera vez arrecifes de estromatoporoides, construcciones de esponjas y receptaculoideos, y montículos de arrecifes para la Formación San Juan, siendo

el primer registro de arrecifes Ordovícicos de Gondwana. Luego, estas facies fueron estudiadas por varios autores como Keller y Flügel, (1996), Carrera y Cañas (1997), Cañas y Carrera (2003) y Mestre *et al.* (2020), entre otros.

Cañas y Carrera (2003) proponen tres tipos de

Microfacies	Composición	Características en el afloramiento	Energía hidrodinámica	Ambiente depositacional
M1: <i>wackestone</i> bioclástico bioturbado	Restos de crinoideos, gastrópodos, ostrácodos	<i>Wackestone-packstone</i> compuesto principalmente por crinoideos (encrinita). Estratos tabulares continuos de 30-50 cm de espesor	Alta energía	Plataforma interna submaeral somera por encima del nivel de base de olas de buen tiempo.
M2: <i>floatstone</i> intrabioclástico	Intraclastos compuestos por restos esquelatales inmersos en una matriz <i>packstone-grainstone</i> intraclástico.	Estratos tabulares de 50 cm a 1 m de espesor. Niveles de 20 cm de laminación cruzada.	Alta a moderada	Plataforma interna abierta con desarrollo de biostromos de <i>Zondarella communis</i> y esponja, próximo al nivel de olas de buen tiempo.
M3: <i>wackestone-packstone</i> intraclástico peloidal	Intraclastos micríticos Intraclastos de <i>Girvanella</i> Peloides Menor proporción de bioclastos	Ocurrencia de organismos de <i>Zondarella communis</i> de 10 a 15 cm y esponjas		
M4: <i>wackestone</i> bioclástico silicificado	Matriz microesparítica Bioclastos Crinoideos <i>H.moniliformis</i>			
M5: <i>floatstone</i> intraclástico	Intraclastos angulosos subangulosos, matriz <i>packstone-grainstone</i> intraclástico	Nivel de <i>floatstone-rudstone</i> intraclástico tabular de 7 a 10 cm de espesor seguido por nivel de caliza tipo <i>wackestone</i> , con base erosiva.	Bajo con un eventual aumento por un episodio	Plataforma interna submaeral somera con condiciones de aguas tranquilas y circulación marina abierta
M6: <i>floatstone</i> bioclástico bioturbado	Bioclastos micritizados Valvas Trilobites Gastrópodos Matriz <i>wackestone</i> bioclástico	Estratos tabulares con oncolitos Caliza nodular con macrofuana como gastrópodos, braquiópodos		
M7: <i>floatstone</i> oncoidal	Oncoides de más de 2mm con corteza formada por filamentos de <i>Girvanella</i>			
M8: <i>wackestone</i> bioclástico bioturbado	Abundante <i>Nuia sibirica</i> . Restos esquelatales indeterminados. <i>Girvanella</i>			

**Tabla 1.** Resumen de las principales características, componentes, descripción y energía del ambiente depositacional de las microfacies estudiadas.

**Table 1.** Summary of the main features, components, description and depositional environmental energy for the studied microfacies.

arrecifes que se reconocen desde el Cámbrico al Ordovícico Medio en la Precordillera: arrecifes dominados por trombolitos (Cámbrico Superior-Tremadociano); arrecifes dominados por metazoos y microbialitas (Tremadociano tardío); arrecifes de microbialitas-*Zondarella-Calathium* y arrecifes dominados por *Zondarella* (Ordovícico Medio;

Dapingiano). Recientemente, mediante un estudio bioestratigráfico de conodontes, Mestre *et al.* (2020) reasignan los arrecifes de microbialitas-*Zondarella communis-Calathium* a la Zona de *Oepikodus intermedius*, y los arrecifes dominados por *Zondarella communis* al Dapingiano tardío-Darriwiliano temprano.

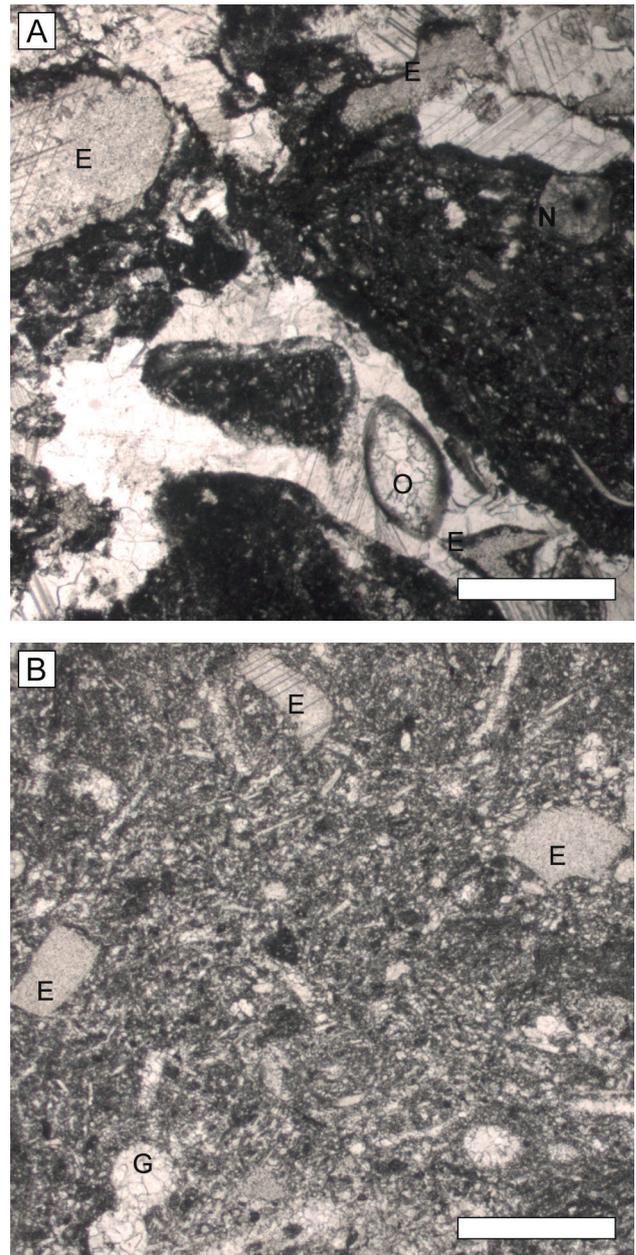
En cuanto a la bioestratigrafía de conodontes, diversos autores estudiaron los niveles inferiores (Albanesi *et al.*, 2003; Soria *et al.*, 2013) y superiores (Lozano y Hünicken, 1990; Albanesi *et al.*, 2006) de la Formación San Juan en el área de la sierra de Talacasto donde aflora la sección de estudio. En base a estos registros es posible acotar los niveles muestrados de la Formación San Juan en la presente contribución a la parte baja del Dapingiano (Zona de *Baltoniodus triangularis* y Zona de *B. navis*) y a la parte baja de la Zona de *Lenodus variabilis* (Darriwiliano temprano), siguiendo el esquema de conodontes propuesto para Precordillera (Heredia y Mestre, 2013; Heredia *et al.*, 2017; Moreno, 2023) y para Báltica y Centro-Sur de China (Wang *et al.*, 2005; Löfgren, 2000; Löfgren y Zhang 2003).

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó el levantamiento de un perfil estratigráfico de 40 metros de espesor de los niveles medios y superiores de la Formación San Juan en la sección Talacasto-Quebrada Ancha (Fig. 2). El estudio de la unidad incluyó una descripción litológica macroscópica de afloramiento, teniendo en cuenta características texturales, composición, estructuras sedimentarias, contenido fósil, geometría y contactos de los estratos. Sobre dicho perfil se realizó un muestreo selectivo recolectando 10 muestras para la posterior descripción petrográfica de las microfacies carbonáticas (Fig. 2). Para ello se realizaron 9 cortes delgados y 5 pulidos en el Laboratorio de Petrotomía de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNSJ), los que se estudiaron mediante lupa binocular y microscopio petrográfico Leica Microsystem, con la consecuente toma de fotos de los elementos característicos de cada microfacies. Estas tareas se llevaron a cabo en las dependencias del Instituto de Investigaciones Mineras, Facultad de Ingeniería (UNSJ). Las microfacies identificadas se definieron siguiendo la clasificación de Dunham (1962), teniendo en cuenta las aclaraciones de Lokier y Al Junaibi (2016).

### DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE MICROFACIES CARBONÁTICAS

En base a las características observadas en los pulidos y cortes delgados, como así también teniendo en cuenta las características macroscópicas de los

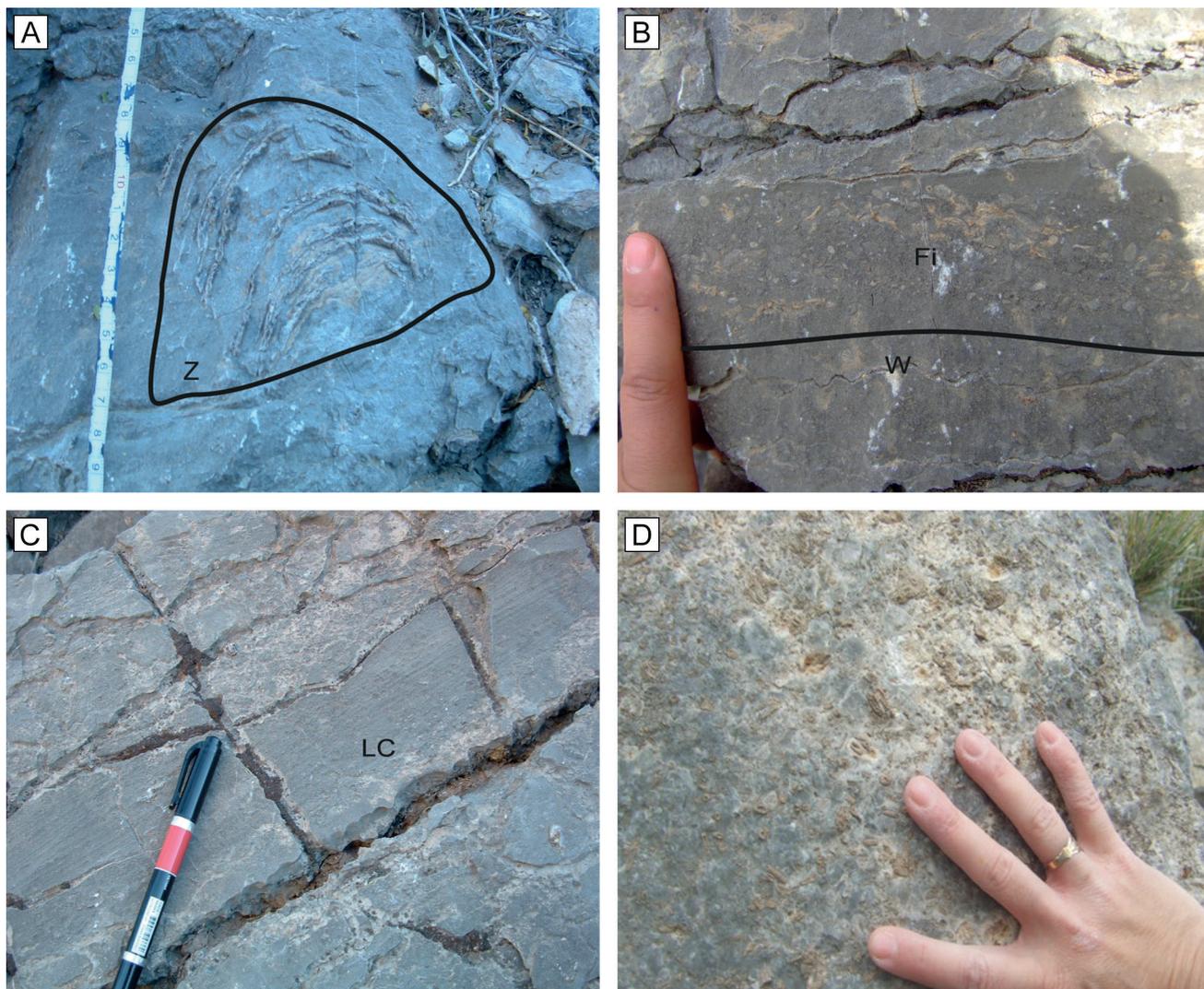


**Figura 3.** Microfotografías de corte delgado de la microfacies M1, escala 1mm. **a)** detalle de los componentes de packstone-grainstone E: crinoideos, O: ostrácodos, N: *Nuia sibirica*. **b)** Detalle de la matriz con algunos restos esqueletales de crinoideos (E) y gastrópodos (G).

**Figure 3.** Photomicrograph of the microfacies M1. Scale: 1mm. **a)** detail of the packstone-grainstone components E: crinoids, O: ostracods, N: *Nuia sibirica*. **b)** Detail of the matrix with some crinoid skeletal remains of crinoids (E) and gastropods (G).

niveles muestrados, se reconocieron 8 microfacies para la parte media y superior de la Formación San Juan en la sección de estudio (Tabla 1, Figs. 1, 2).

Sobre la base del reconocimiento de rocas

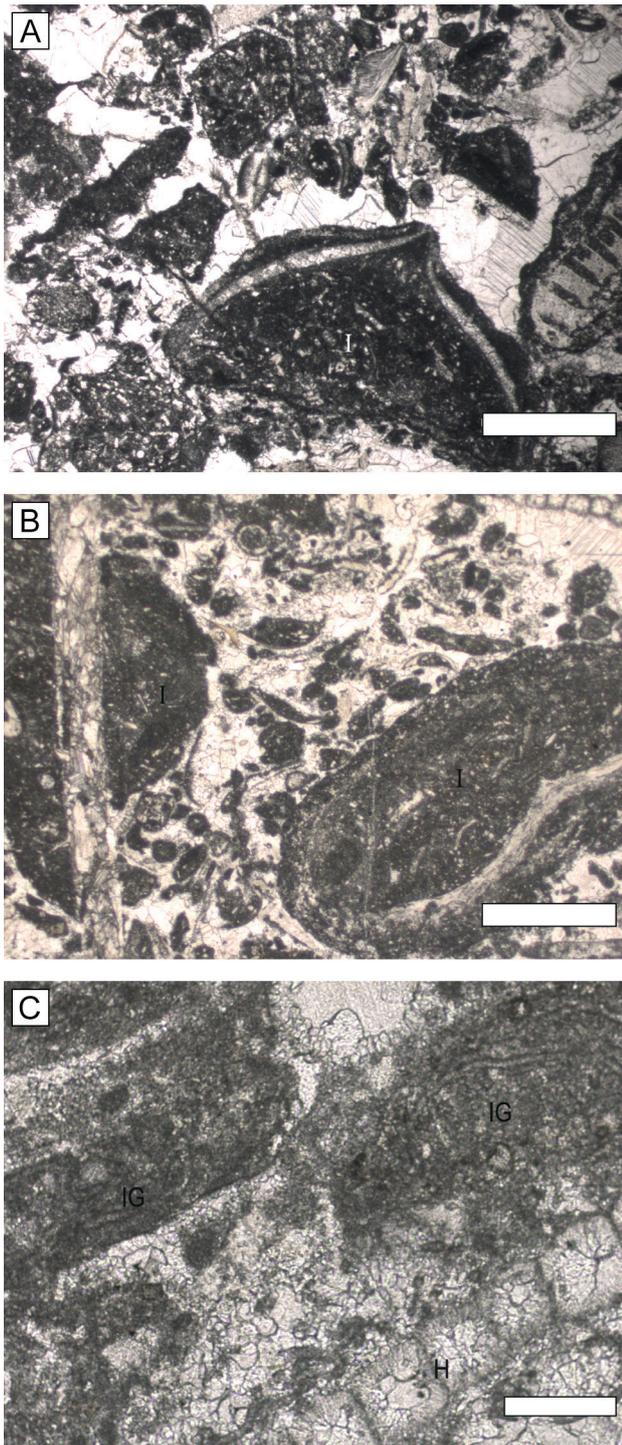


**Figura 4. a)** Detalle de un biostromo formado por el organismo *Zondarella communis* (Z). **b)** Nivel de caliza tipo wackestone (W) en contacto con floatstone intraclástico (Fi) correspondientes a la microfacies M1 y M2. **c)** Detalle de laminación cruzada de bajo ángulo (LC) en caliza correspondiente a la microfacies M4. **d)** Detalle del nivel con abundante contenido de artejos de crinoideos (encrinita) correspondientes a la microfacies M1.

**Figure 4. a)** Detail of a *Zondarella communis* biostrome (Z). **b)** Wackestone limestone level (W) in contact with an intraclastic floatstone (Fi) corresponding to microfacies M1 and M2. **c)** Detail of low-angle cross lamination (LC) in limestone of microfacies M4. **d)** Detail of a level with abundant crinoid ossicles (encrinite) corresponding to microfacies M1.

carbonáticas similares de diferentes edades en ambientes análogos, se han erigido microfacies estandarizadas. El primero en definirlas fue Flügel (1982) para categorizar rocas de plataformas del Triásico. Luego, Wilson (1975) amplió esta clasificación y definió 24 tipos de microfacies estandarizadas para una plataforma carbonática idealizada independientemente de la edad. Y finalmente, Flügel (2004) definió nuevamente microfacies estandarizadas, pero para rampas carbonáticas. La utilización de las microfacies

estandarizadas conlleva el inconveniente de no cubrir todo el espectro de microfacies que se pueden definir, y particularmente en análisis de microfacies carbonáticas del Ordovícico (Liu *et al.*, 2017, Zhang *et al.*, 2017, Jacquet *et al.*, 2019; entre otros) raramente se han utilizado las microfacies estandarizadas, probablemente debido a que son muy generales. Por tal motivo, si bien fueron consultadas por algunas similitudes, no se realiza en este trabajo una comparación entre las microfacies definidas y las microfacies estandarizadas.



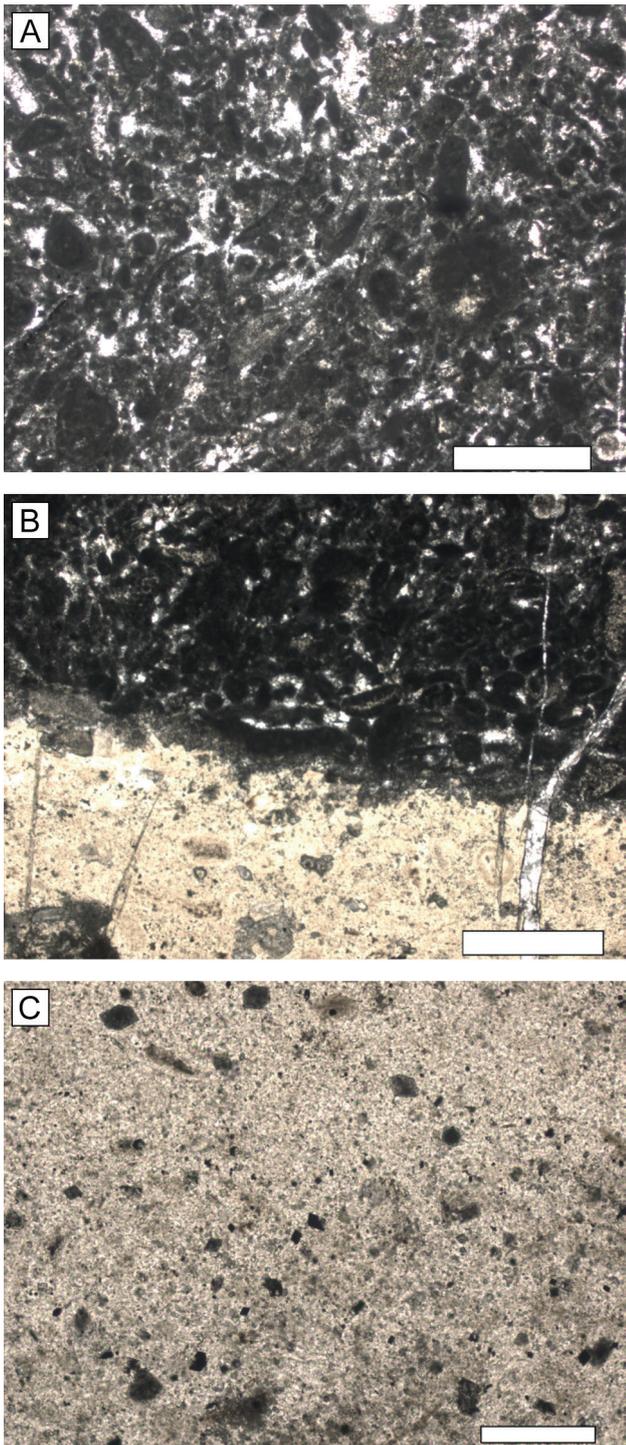
**Figura 5.** Microfotografías de corte delgado de la microfacies M2. En las fotografías **a)** y **b)** se observan los intraclastos compuestos principalmente por bioclastos con tamaños mayores a 2 mm (I) inmersos en una matriz de *packstone-grainstone* intraclástica. Escala 1 mm. **c)** Detalle de intraclastos de *Girvanella* (IG) y *Halysis moniliformis* (H) que componen la matriz del *floatstone*. Escala: 200 $\mu$ m.

**Figure 5.** Photomicrographs of the microfacies M2. In **a)** and **b)** the intraclasts larger than 2 mm, composed of bioclasts and micritized *Girvanella* tubes are observed within an intraclastic packstone-grainstone matrix. Scale 1mm. **c)** Details of *Girvanella* intraclast (IG) and *Halysis moniliformis* (H) forming the floatstone matrix. Scale: 200 $\mu$ m.

por restos esqueléticos indeterminados. Según las observaciones de campo, corresponde a calizas de color gris medio de 20 a 30 cm de espesor, tabulares, macizas o con gradación inversa, con un alto porcentaje de artejos de crinoideos (encrinita) con fragmentación leve y dispuestos de forma aleatoria. Las bases son onduladas, erosivas e irregulares, y los techos planos. Además, se observan eventuales intercalaciones de niveles de bentonita de 5 cm de espesor (Figs., 2, 4d).

**Interpretación:** esta microfacies podría estar evidenciando un ambiente de alta energía, con procesos de transporte y depositación por acción del oleaje en un ambiente submareal somero, dentro de una plataforma abierta. Se observa la presencia de niveles de crinoideos (Figs. 2, 4) que representarían la culminación de una barra bioclástica (Mestre *et al.*, 2020) dentro de un entorno somero en condiciones energéticas altas, que además podría estar indicando el máximo de una somerización. Este tipo de barras carbonáticas de alta energía dominadas por restos de crinoideos también fue evidenciado por Vachard *et al.* (2017) en niveles carbonáticos de plataforma somera del Cerro San Pedro en México. La poca diversificación de las comunidades bentónicas asociadas se interpreta debido a un entorno agitado y de fondo inestable, resultando en que la mayor parte de los componentes bioclásticos corresponden a restos fósiles fragmentados indeterminados (Arche, 2010; Flügel, 2010; Mestre *et al.*, 2020). La matriz bioclástica podría estar indicando una naturaleza alomicrocítica posiblemente originada por procesos de transporte y decantación del material durante algún episodio eventual de tormenta (Flügel, 2010; Kietzmann y Palma, 2012).

**Microfacies M1** - *packstone-grainstone* bioclástico bioturbado (Fig. 3): se compone principalmente por restos de crinoideos y en menor proporción se encuentran fragmentos de gastrópodos, ostrácodos, trilobites y valvas desarticuladas de braquiópodos. El grado de bioturbación es moderado y las estructuras están rellenas de esparita. La matriz está compuesta



**Figura 6.** Microfotografías de corte delgado correspondiente a la microfacies M3. **a)** *Wackestone-packstone* intraclástico peloidal. Escala 1 mm. **b)** Dolomitización afectando parte de la microfacies M3. Escala 1 mm. **c)** Detalle de los cristales de dolomita euhedrales, cristal-soportados, con espacios vacíos aislados. Escala: 200  $\mu\text{m}$ .

**Figure 6.** Photomicrographs of the microfacies M3. **a)** Peloidal intraclastic wackestone-packstone affected by dolomitization. Scale: 1mm. **b)** Dolomitization affecting part of microfacies M3. Scale 1mm. **c)** Detail of euhedral dolomite crystals, crystal-supported with isolated and well-defined spots. Scale: 200  $\mu\text{m}$ .

y cianobacterias como *Girvanella* sp. y en menor proporción *N. sibirica*. La matriz corresponde a un *packstone-grainstone* intrabioclástico compuesto por intraclastos de filamentos de la cianobacteria *Girvanella* (Rong *et al.*, 2014) con formas elongadas, y bioclastos de restos de equinodermos y fragmentos indeterminados.

**Interpretación:** Los intraclastos son comúnmente formados en ambientes marinos poco profundos bajo regímenes dominados por olas (Flügel, 2010). La presencia del alga *Halysis moniliformis* indica condiciones submareales poco profundas dentro de la zona fótica (Munnecke *et al.*, 2001). Por su parte, la presencia de *Nuia sibirica* y *Girvanella* evidencia un ambiente submareal somero alrededor del nivel de base de olas de buen tiempo dentro de una plataforma interna abierta (Han *et al.*, 2014, Rong *et al.*, 2014, Pander y Parcha, 2018).

**Microfacies M3 - wackestone-packstone** intraclástico peloidal (Fig. 6). Sus componentes principales son intraclastos de composición micrítica e intraclastos de colonias de *Girvanella* que consisten en tubos entrelazados de esta cianobacteria con tamaños menores a 1 mm y formas subredondeadas a redondeadas. Otro componente corresponde a peloides con formas elongadas y tamaños menores a 1 mm. En menor proporción se encuentran fragmentos de componentes bioclásticos como restos de trilobites, valvas indeterminadas y equinodermos. Algunos de estos restos esquelatales presentan una delgada lámina que los envuelve. También se observa la presencia de la cianobacteria *N. sibirica* y el alga *H. moniliformis*. En el techo de esta microfacies se observan cristales euhedrales a subhedrales de dolomita (Fig. 6c) de grano fino a

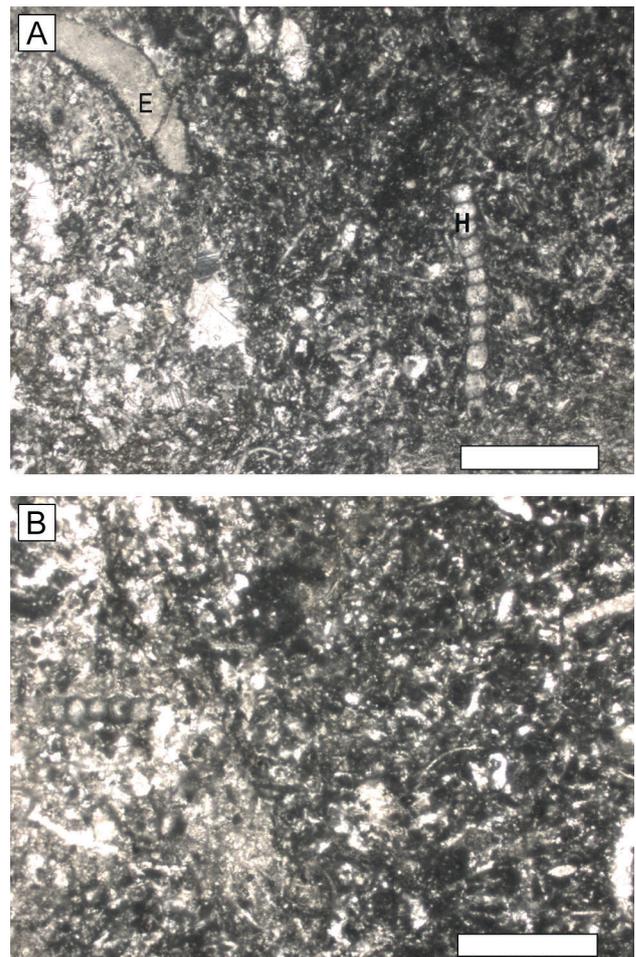
**Microfacies M2 - floatstone** intrabioclástico (Figs. 4b, 5). Los intraclastos tienen formas subredondeadas con tamaños mayores a 2 mm, compuestos por restos esquelatales de braquiópodos, ostrácodos, equinodermos y la cianobacteria *Nuia sibirica* Maslov 1954 (Vachard *et al.*, 2017). Además, se observan algas como *Halysis moniliformis* Høeg 1932

medio inequigranular, con fábrica tipo mosaico con espacios vacíos aislados y bien definidos.

**Interpretación:** Los intraclastos indican retrabajo producido por la acción del oleaje en un ambiente marino poco profundo. A su vez los peloides son indicadores de ambientes poco profundos y condiciones de baja energía (Flügel, 2010). Los intraclastos de la cianobacteria *Girvanella* también son indicadores de ambientes poco profundos y se los ha encontrado en abundancia en complejos arrecifales depositados en ambientes de baja energía hidrodinámica (Rong *et al.*, 2014). Por otro lado, un posible aumento en la salinidad del agua podría haber provocado la dolomitización en condiciones cálidas (Flügel, 2010). La presencia de *H. moniliformis* y *N. sibirica* indican condiciones submareales someras (Munnecke *et al.*, 2001; Han *et al.*, 2014, Vachard *et al.*, 2017). Sobre esta base, esta microfacies se interpreta como un depósito de plataforma interna abierta con energía variable, próximo al nivel de olas de buen tiempo.

**Microfacies M4 - wackestone** bioclástico silicificado (Fig. 7). Los componentes bioclásticos son muy escasos, reconociéndose solo algunos restos de equinodermos y cadenas lineales de anillos del alga *Halysis moniliformis*. La matriz de esta microfacies corresponde a una microesparita. Esta microfacies está asociada a litofacies de calizas macizas dispuestas en estratos tabulares de 0,5 a 1 m de espesor con contactos basales netos erosivos, localmente con laminación entrecruzada de bajo ángulo (Fig. 4c), que se intercalan con bancos de chert, en algunos casos continuos lateralmente y en otros como nódulos de diferentes dimensiones. En estos niveles se observa el desarrollo del pulchrilaminoideo *Zondarella communis* (Fig. 4a) (Webby, 2012), con tamaños que varían entre 10 y 20 cm. También se reconocen esponjas silicificadas pertenecientes al género *Archaeoscyphia*. Estos organismos se encuentran dispersos varios centímetros de distancia entre sí a lo largo de todos los estratos. Estos bancos de calizas forman capas horizontales de geometría tabular con continuidad lateral y podrían clasificarse como biostromos (Figs. 1, 2) (Kershaw, 1994; Riding, 2002).

**Interpretación:** esta microfacies se habría depositado en un ambiente submareal somero dentro de la plataforma interna abierta con condiciones de energía

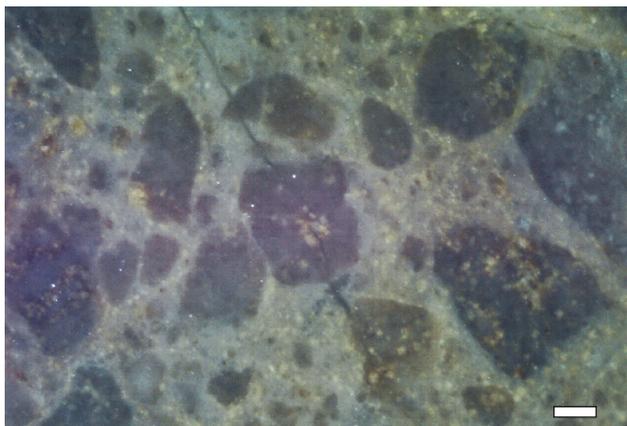


**Figura 7.** Microfotografías de corte delgado de la microfacies M4. **a)** Se observan algunos restos del alga *Halysis moniliformis* (H) y crinoideos (E). **b)** Matriz microesparítica. Escala 1 mm.

**Figure 7.** Photomicrographs of the microfacies M4. **a)** *Halysis moniliformis* (H) remains and crinoids (E) are observed. Scale: 1mm. **b)** Microsparitic matrix. Scale: 1mm.

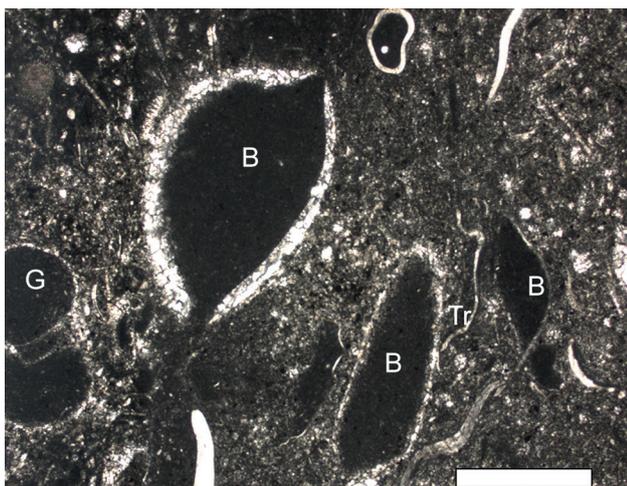
hidrodinámica moderadas a bajas, posiblemente por debajo del nivel de olas de buen tiempo (Flügel, 2010; Yun *et al.*, 2016), en donde se desarrollaron los biostromos de *Zondarella communis* y otras esponjas. La presencia de *H. moniliformis* representa condiciones submareales someras (Flügel, 2010; Vachard *et al.*, 2017, Shen y Neweller, 2016, Pandey y Parcha, 2018). La silicificación podría ser producto de la disolución de espículas de esponjas y posterior precipitación, y es común que se produzca luego de una dolomitización ya que suele ocurrir dentro de los espacios vacíos dejados por dicho proceso (Yun *et al.*, 2016; Flügel, 2010, Zhao *et al.*, 2018).

**Microfacies M5 - floatstone** intraclástico (Fig. 8). Esta



**Figura 8.** Fotografías de pulido de la microfacies M5. Se observan los intraclastos angulosos subredondeados inmersos en una matriz *packstone-grainstone* intraclástica. Escala: 0,5 mm.

**Figure 8.** Photograph of a polished slab of microfacies M5. Subrounded angular intraclasts are observed within an intraclastic *packstone-grainstone* matrix. Scale: 0,5 mm.



**Figura 9.** Microfotografía de corte delgado de de la microfacies M6. Se observan los restos esqueléticos como braquiopodos (B) y gastrópodos (G) rellenos de micrita, algunas valvas y restos de trilobites recristalizados (Tr). Escala: 1mm

**Figure 9.** Photomicrograph of the microfacies M6. Bioclastic components like brachiopods (B) and gastropods (G) filled with micrite and recrystallized shells and trilobites. Scale: 1mm.

microfacies se compone de intraclastos angulosos, de composición micrítica, con tamaños mayores a los 2 cm. La selección de los componentes es moderada y tienen una orientación aleatoria. La matriz puede clasificarse como un *packstone-grainstone* intraclástico.

**Interpretación:** los intraclastos evidencian un ambiente somero submareal en condiciones hidrodinámicas moderadas a altas. La matriz también está conformada principalmente por intraclastos junto con la textura tipo *packstone-grainstone* también estaría indicando condiciones energéticas moderadas a altas, por lo que constituyen un depósito de plataforma abierta con buena circulación (Flügel, 2010).

**Microfacies M6 - floatstone** bioclástico bioturbado (Fig. 9). Entre los componentes bioclásticos se encuentran fragmentos de equinodermos, gastrópodos, trilobites y valvas recristalizadas rellenas de micrita. La matriz corresponde a un *wackestone* bioclástico. También se observa el alga *Halysis moniliformis*, agregados de la cianobacteria *Girvanella* y algas calcáreas. Los agregados de *Girvanella* consisten en tubos subparalelos entre sí o levemente entrelazados. Se observa un grado de bioturbación moderado y está representado por estructuras circulares rellenas de esparita.

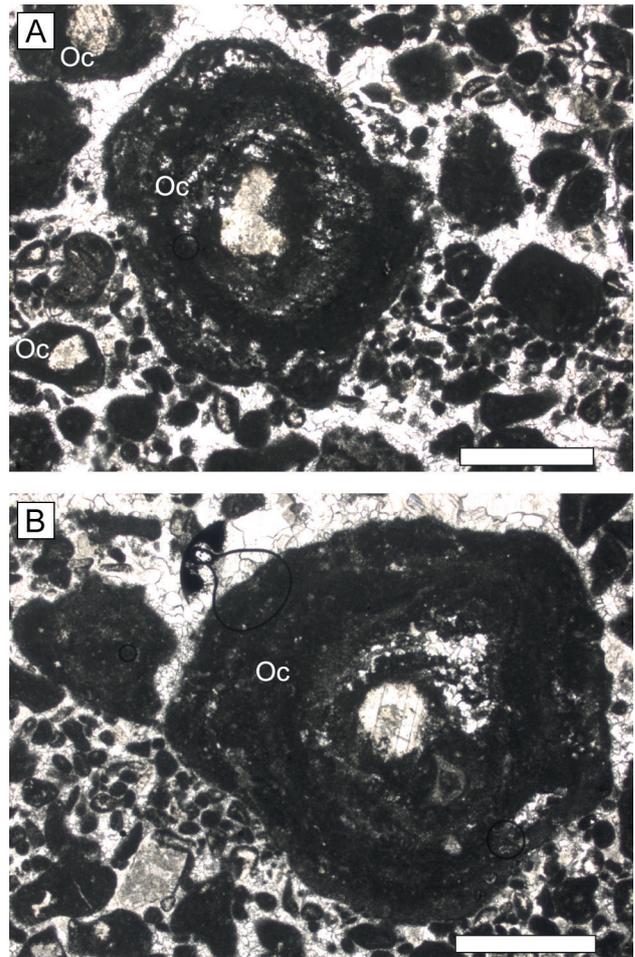
**Interpretación:** este tipo de microfacies evidencia condiciones submareales someras con condiciones energéticas moderadas a bajas, dentro de una plataforma interna abierta. Los componentes esqueléticos como gastrópodos y equinodermos sugieren una circulación abierta con buenas condiciones de salinidad y oxigenación. Además, si bien no es posible determinar el o los organismos que generaron la bioturbación, esto indica condiciones someras por debajo del nivel de base de olas de buen tiempo (Flügel, 2010). La presencia de *Halysis moniliformis* y *Girvanella* indican condiciones someras (Flügel, 2010; Shen y Neweller, 2016; Pandey y Parcha, 2018,). Además, la presencia de *Girvanella* en forma de agregados indican condiciones de energía hidrodinámica medias a bajas (Rong *et al.*, 2014).

**Microfacies M7 - floatstone** oncoidal (Fig. 10). Los oncoides son concéntricos, subredondeados y elongados, con tamaños mayores a 1 mm. Su corteza está mayormente compuesta por tubos de colonias de la cianobacteria *Girvanella* que se ubican paralelos al borde del núcleo. Los núcleos se componen de bioclastos e intraclastos y, según la clasificación de Han *et al.* (2014), se corresponden con el tipo de oncoides *clotted cortex*. Algunos

oncoides solo están conformados por un aglomerado de tubos de *Girvanella* sin núcleo visible y tienen forma esferoidal con bordes irregulares, clasificados como oncoides *full cortex* (Han *et al.*, 2014). La mayoría de los componentes bioclásticos presentan una fina envoltura de micrita o una fina corteza formada por filamentos de *Girvanella*. Entre los componentes minoritarios se encuentran intraclastos de *Girvanella*. La matriz está compuesta por un *grainstone* con bioclastos, intraclastos y peloides micritizados. El cemento es de esparita tipo granular o en bloque. En el afloramiento, esta microfacies se corresponde con un nivel de unos 60 cm de espesor, base irregular y discontinuidad lateral (Fig. 2), compuesto principalmente por oncolitos que presentan gradación inversa, pobre selección y orientación aleatoria.

**Interpretación:** esta microfacies representa un depósito de ambiente submareal somero dentro de una plataforma interna abierta. La presencia de oncoides de gran tamaño, con formas irregulares, rodeados por una corteza asimétrica de crecimiento discontinuo y ascendente de *Girvanella* en sus bordes, indicaría condiciones de energía relativamente bajas. Los oncoides de *Girvanella* también son indicadores de una baja tasa de sedimentación dentro de un ambiente submareal (Rong *et al.*, 2014). Este tipo de oncoides también pueden ser comparados con los oncoides Tipo 3 descritos por Védrine *et al.* (2007), los cuales tienen una corteza formada por láminas de tubos de cianobacterias que dan indicios de periodos tranquilos en cuanto a condiciones energéticas del agua. Los intraclastos de *Girvanella* también indican condiciones hidrodinámicas moderadas a bajas (Rong *et al.*, 2014). La matriz tipo *grainstone* podría indicar un aumento de energía dentro de estas condiciones tranquilas posiblemente por la acción de olas de tormenta, las que podrían haber transportado y depositado estos componentes posteriormente a la formación de los oncoides dentro del mismo ambiente.

**Microfacies M8 - wackestone** bioclástico bioturbado (Fig. 11). Entre los componentes bioclásticos se encuentran restos de gastrópodos, valvas desarticuladas y equinodermos. Además, se observa la presencia principalmente de *Nuia sibirica* y en menor proporción de *Halysis moniliformis* y restos de algas calcáreas. La bioturbación está marcada



**Figura 10.** Microfotografía corte delgado de la microfacies M7. Se observan los oncoides (Oc) de tamaños mayores a 2 mm, con bordes irregulares inmersos en una matriz de *grainstone* intraclástico peloidal. Escala 1 mm.

**Figure 10.** Photomicrograph of the microfacies M7. Oncoids (Oc) larger than 2 mm, with irregular borders, are observed within an intraclastic peloidal grainstone matrix. Scale: 1mm

por halos alargados estrechos con intraclastos ordenados alrededor. La matriz es micrítica, de color gris oscuro. Los componentes están moderadamente seleccionados y con una orientación aleatoria. En el afloramiento (Figs. 1, 2), esta microfacies se corresponde con un banco de 40 cm de caliza nodular de color gris claro con base irregular, geometría tabular, y lateralmente continuo. La macrofauna está representada mayormente por braquiópodos y gastrópodos, y está levemente fragmentada.

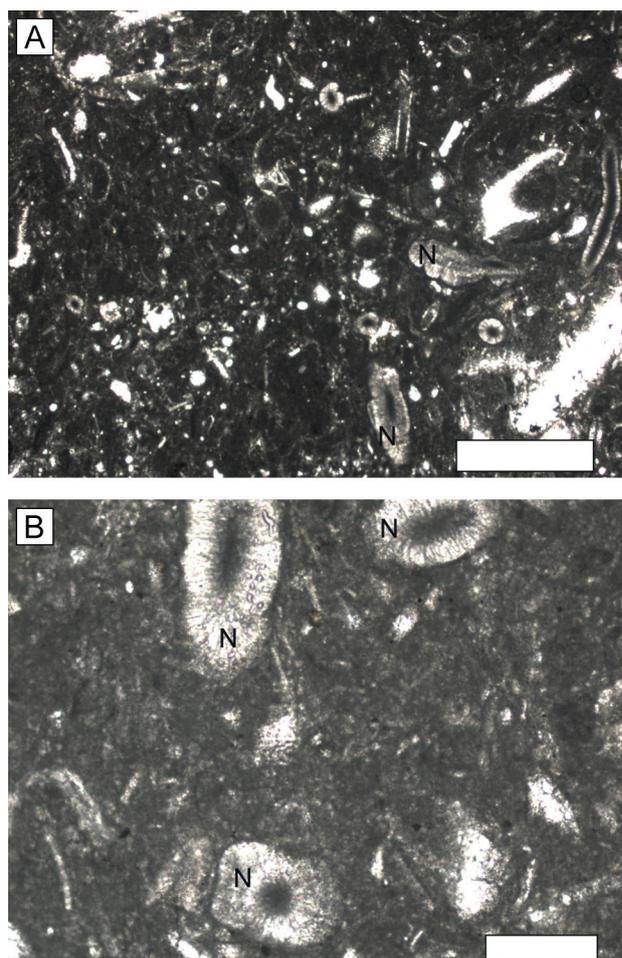
**Interpretación:** esta microfacies se interpreta como depósitos de un ambiente submareal somero de baja energía hidrodinámica, dentro de una plataforma

interna, por debajo del nivel de base de olas de buen tiempo. La bioturbación indica condiciones submareales someras de aguas tranquilas por debajo del nivel de olas de tormenta (Flügel, 2010). La presencia de *Nuia sibirica* indica condiciones someras con buena penetración lumínica y baja turbidez (Vachard *et al.*, 2017). Los componentes esqueléticos tales como gastrópodos y equinodermos sugieren una circulación abierta con buenas condiciones de salinidad y oxigenación.

### INTERPRETACIÓN Y EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL

El análisis de microfácies de los niveles medios superiores de la Formación San Juan en la sección Talacasto-Quebrada Ancha, permitió diferenciar procesos sedimentarios e identificar tres subambientes de sedimentación que representan fluctuaciones de la energía del medio en un contexto de plataforma carbonática interna, somera y abierta (Fig. 12): 1) ambiente submareal por encima del nivel de base de olas de buen tiempo con condiciones de alta energía (M1, Fig. 2); 2) ambiente submareal con desarrollo de biostromos de *Zondarella communis* y esponjas, próximo al nivel de base de olas de buen tiempo y por encima del nivel de olas de tormenta con una moderada a alta energía hidrodinámica (M2, M3 y M4, Fig. 2); 3) ambiente submareal entre el nivel de olas de buen tiempo y el nivel de olas de tormenta en condiciones calmas con una disminución de la energía del medio (M5, M6, M7 y M8, Fig. 2).

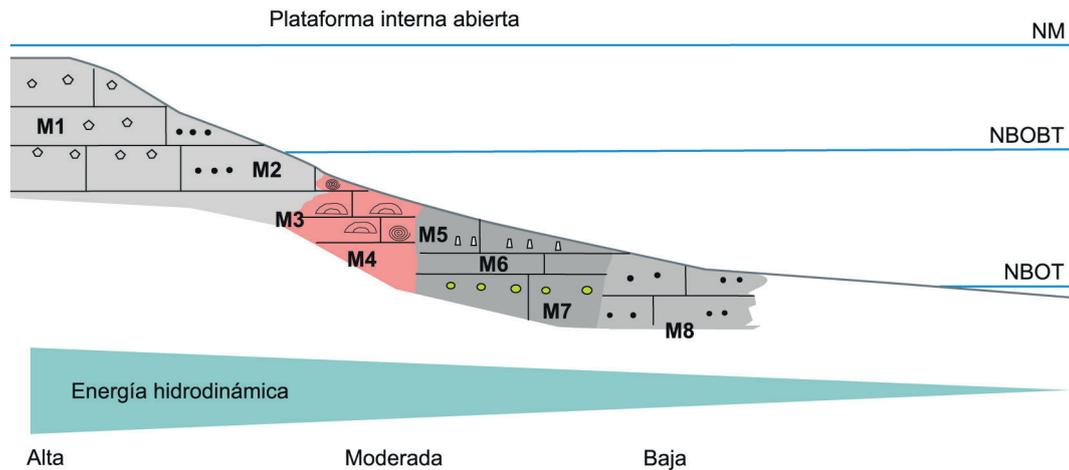
La microfácies M1 se encuentra en la base de la sección estudiada, comprendiendo el lapso temporal representado por las zonas de *B. triangularis* y *B. navis* (Dapingiano), representando la culminación del desarrollo de una barra carbonática conformada por niveles intrabioclasticos y de restos de crinoideos (Figs. 1, 2). Estos depósitos de barras fueron previamente estudiados por Mestre *et al.* (2020), quienes interpretaron que los niveles floianos (Zona de *Oepikodus intermedius*) de la Formación San Juan en la sección de Talacasto evolucionan de facies submaerales someras a facies de arrecifes y facies de barra de alta energía. Luego, en la parte media de la sucesión carbonática estudiada (Fig. 2) durante este mismo intervalo temporal, se encuentran las microfácies M2, M3 y M4, en las que se observa una mayor predominancia de cianobacterias, tales como *Girvanella* sp. y *H. moniliformis*, con



**Figura 11.** Microfotografías de corte delgado correspondiente a la microfácies M8. **a)** Wackestone bioclastico con abundante *Nuia sibirica* (N). Escala 1 mm. **b)** Detalle de *Nuia sibirica* (N) rodeada de *Girvanella* sp. Escala 200  $\mu$ m.

**Figure 11.** Photomicrographs of the microfacies M8. **a)** Bioclastic wackestone with abundant *Nuia sibirica* (N). Scale: 1mm. **b)** Detail of *Nuia sibirica* (N) surrounded by *Girvanella* sp. Scale: 200  $\mu$ m.

respecto a la fauna bentónica. Esto podría deberse a la somerización registrada para la parte media de la Formación San Juan en diversas secciones de la Precordillera (Mestre *et al.*, 2020), y a nivel global (Haq y Shutter, 2008) durante el Floiano tardío, que habría producido la destrucción de los nichos ecológicos que eran ocupados por la fauna bentónica, y posteriormente, durante la subida del nivel del mar esas áreas fueron ocupadas por algas y cianobacterias (Sheehan y Harris, 2004; Mata y Bottjer, 2012). Por otro lado, un clima seco con alta temperatura del agua y elevada evaporación podría haber favorecido notoriamente el desarrollo y conservación de los microbios (Draganits y Noffke, 2004). Estas



**Figura 12.** Modelo de la plataforma carbonática interna para la Formación San Juan en el área de estudio. La plataforma muestra un gradiente en la energía hidrodinámica dentro del ambiente submaeral somero, por encima y por debajo del nivel de base de olas de buen tiempo (NBOBT). Las subdivisiones están basadas en Pomar (2001). NM: Nivel medio del mar; NBOT: nivel de base de olas de tormenta. Ver referencias en Figura 2.

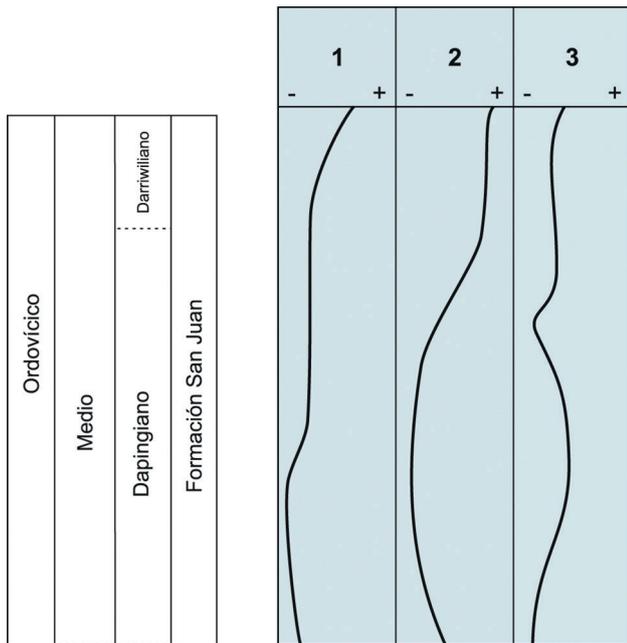
**Figure 12.** Carbonate platform depositional model for the San Juan Formation in the study area. The platform shows a hydrodynamic energy gradient within shallow subtidal deposits, both above and below the fair-weather wave base level (NBOBT). The subdivisions of the carbonate platform are based on Pomar (2001). NM: mean sea level; NBOT: storm wave base level. References as in Figure 2.

condiciones también fueron las responsables de la dolomitización y la posterior silicificación observada en estos niveles (Aurell y Meléndez 1987; Pomar, 2001; Védrine *et al.*, 2007; Arche, 2010; Flügel, 2010; Han *et al.*, 2014; Rong *et al.*, 2014; Yun *et al.*, 2016). En estos niveles también (Fig. 2) se observa el desarrollo de biostromos de *Zondarella communis* y en menor proporción, esponjas pertenecientes al género *Archaeoscyphia* en facies de *packstone-wackestone* que continúan su desarrollo hasta la Zona de *Lenodus variabilis*. Los complejos arrecifales ordovícicos de la Formación San Juan de diferentes sectores de la Precordillera Oriental y Central fueron estudiados por diversos autores (Cañas y Keller, 1993; Cañas y Carrera, 1993; Keller y Flügel, 1996; Cañas y Carrera, 2003), incluyendo la primera mención de biostromos dominados por *Zondarella communis* en niveles superiores de la Formación San Juan en la sección Los Potrerillos, Las Lajas y Villicum (Keller y Flügel, 1996). Por lo tanto, el registro realizado en este trabajo de los biostromos con *Zondarella communis* en la sección Talacasto-Quebrada Ancha constituye la primera mención para Precordillera Central. Además, los componentes bioclásticos que los rodean incluyen *Girvanella sp.*, *N. sibirica*, algas calcáreas, crinoideos, gastrópodos, los cuales son típicos componentes de mar cálido y clima tropical

(Wang *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2016, Yu *et al.*, 2019).

Finalmente, en los niveles cuspidales de la sucesión estudiada se encuentran las microfacies M5, M6, M7 y M8 (Fig. 2) (Zona de *Lenodus variabilis*), interpretadas como depósitos de un ambiente de plataforma interna somera por debajo del nivel de base de olas de buen tiempo y disminución en la energía del medio en relación a las microfacies anteriormente descritas. Las texturas de las microfacies estarían indicando condiciones de aguas tranquilas y someras (Flügel, 2010; Vachard *et al.*, 2017; Kröger *et al.*, 2019; Tonarová *et al.*, 2019).

El análisis paleoambiental aquí realizado indicaría que los niveles estudiados de la Formación San Juan entre el Dapingiano (Zona de *B. triangularis* y *B. navis*) y el Darriwiliano (Zona de *L. variabilis*) representan un arreglo transgresivo posterior a la regresión del Floiano tardío (Haq y Shutter, 2008; Nielsen, 2011; Mestre *et al.*, 2020). Este arreglo transgresivo está bajo estudio en otras secciones donde aflora la Formación San Juan como el Cerro La Silla, Niquivil y Quebrada Don Braulio (Villicum). Incluso, sobre la base de comparaciones con curvas de variación del nivel del mar propuestas para el mismo período en otras partes del mundo (Haq y Shutter, 2008; Nielsen, 2011) (Fig. 13), es posible



**Figura 13.** Curva del nivel relativo del mar que se interpreta para la sección Talacasto-Quebrada Ancha (1) comparada con curvas del nivel mar a nivel global (2 y 3) tomadas de Nielsen (2011) y Haq y Shutter (2008), respectivamente.

**Figure 13.** Relative sea level curve interpreted for the Talacasto-Quebrada Ancha section (1) compared with global sea level curves (2 and 3) taken from Nielsen (2011) and Haq and Shutter (2008), respectively.

interpretar que el arreglo transgresivo observado se ajustaría con las variaciones globales del nivel del mar.

### CONCLUSIONES

Sobre la base del análisis de observaciones de campo y cortes delgados para los niveles medios y superiores de la Formación San Juan en la sección Talacasto-Quebrada Ancha (Dapingiano-Darriwiliano) se definieron 8 microfácies: microfácies M1 (*wackestone* bioclástico bioturbado), microfácies M2 (*floatstone* intrabioclástico), microfácies M3 (*wackestone-packstone* intraclástico peloidal), microfácies M4 (*wackestone* bioclástico silicificado), microfácies M5 (*floatstone* intraclástico), M6 (*floatstone* bioclástico bioturbado), M7 (*floatstone* oncoidal), y M8 (*wackestone* bioclástico bioturbado).

Se interpreta que los niveles medios-superiores de la Formación San Juan en la sección Talacasto-Quebrada Ancha se habrían depositado en una plataforma carbonática interna submareal somera,

con variaciones en la energía hidrodinámica que pueden ser agrupadas en tres subambientes: plataforma abierta somera de alta energía, plataforma somera con el desarrollo de biostromos y plataforma abierta somera de baja energía. La sucesión vertical de las microfácies estudiadas indica un arreglo general transgresivo posterior a la regresión registrada durante el Floiano tardío, de posible connotación global.

El registro de biostromos de probable edad dapingiana tardía-darriwiliana temprana, dominados por *Zondarella communis* y esponjas en las secciones de Talacasto-Quebrada Ancha constituye la primera mención de los mismos para Precordillera Central.

### Agradecimientos

A CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones de Argentina) por el apoyo a través de la subvención PIP-2014-0058CO y PIP 11220170100852CO. Deseo expresar mi agradecimiento a dos revisores anónimos, como así también al editor, por sus invaluable sugerencias y aportes que contribuyeron a mejorar sustancialmente el manuscrito. Esta publicación es una contribución al proyecto UNESCO-IUGS-IGCP 735 “*Rocks and the Rise of Ordovician Life: Filling Knowledge gaps in the Early Paleozoic Biodiversification*”.

### REFERENCIAS

- 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.L., Carrera, M.G., Cañas, F.L., y Saltzman, M.R. (2003). The Niquivil Section, Precordillera of San Juan, Argentina, proposed GSSP for the Lower/Middle Ordovician boundary. En: G.L Albanesi, M.S. Beresi y S.H. Peralta (Eds.), *Ordovician from the Andes*. Proceedings of the 9th International Symposium on the Ordovician System. INSUGEO, Serie Correlación Geológica, Tucumán 17: 30-44.
- Albanesi, G.L., Ortega, G., y Hünicken, M.A. (2006). Bioestratigrafía de conodontes y graptolitos silúricos en la sierra de Talacasto, Precordillera de San Juan, Argentina. *Ameghiniana*, 43: 93-112.
- Arche, A. (2010). *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. CSI-UCM, 1288 pp. Facultad de Geología. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Astini, R.A. (1995). Sedimentología de la Formación Las Aguaditas (talud carbonático) y evolución de la cuenca precordillerana durante el Ordovícico Medio. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50(1-4): 143-164.
- Astini, R.A. (2001). Las algas calcáreas *Nuia* y *Girvanella* a través

- de la transición cambro-ordovícica (Formación Volcancito) en el Famatina: significado paleoambiental y paleogeográfico. *Ameghiniana*, 38: 243-255
- Aurell, M., y Méndez, A. (1987). Las bioconstrucciones de corales y sus facies asociadas durante el Malm en la Cordillera Ibérica Central (provincia de Zaragoza). *Estudios geológicos*, 43: 261-269.
- Baldis, B.A. (1995). Ordovician trilobites zonation in Western Argentina. En: J.D. Cooper, M.L. Droser y S.C. Finney (Eds.), *Ordovician Odyssey: Short Paper for the Seventh international Symposium on the Ordovician System, Las Vegas*. SEPM, Fullerton 77: 27-30.
- Baldis, B.A., y Chebli, G. (1969). *Estructura profunda del área central de la Precordillera sanjuanina*. 4° Jornadas Geológicas Argentina, 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.
- Benedetto, J.L. (2003). Brachiopods. En: J.L. Benedetto (Ed.), *Ordovician fossils of Argentina*. Secretaría de Ciencia y tecnología, Universidad Nacional de Córdoba: 187-272.
- Cañas, F.L. (1995). Early Ordovician carbonate platform facies of the Argentine Precordillera: restricted shelf to open platform evolution. En: J.D. Cooper, M.L. Droser, y S.C. Finney (Eds.), *Ordovician Odyssey: Short Paper for the Seventh international Symposium on the Ordovician System, Las Vegas*. SEPM, Fullerton 77: 221-224.
- Cañas, F.L. (1999). Facies and sequences of late Cambrian- early Ordovician carbonates of the Argentina Precordillera: A stratigraphic comparison with Laurentia platforms. En: D. Keppie y V. Ramos (Eds.), *Laurentia- Gondwana connections before Pangea*. Geological Society of America, Special paper 336: 43-62.
- Cañas, F.L., y Carrera, M.G. (1993). Early Ordovician microbial-sponge-receptaculitid bioherms of the Precordillera, Western Argentina. *Facies*, 29: 169-178.
- Cañas, F.L., y Keller, M. (1993). Arrecifes y montículos arrecifales en la Formación San Juan (Precordillera sanjuanina, Argentina): Los arrecifes más antiguos de Sudamérica. *Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural* (Sc. Geología), 88: 127-136.
- Cañas, F., y 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.
- Carrera, M.G. (1997). Análisis paleoecológico de la fauna de poríferos del Llanvirniano tardío de la Precordillera Argentina. *Ameghiniana*, 34 (3): 309-316.
- Carrera, M.G., y Cañas, F. (1997). Los biohermos de la Formación San Juan (Ordovícico temprano, Precordillera Argentina): paleoecología y comparaciones. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología*, 3: 85-104.
- Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: W.E. Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108-121.
- Draganits, E., y Nofke, N. (2004). Siliciclastic Stromatolites and Other Microbially Induced Sedimentary Structures in an Early Devonian Barrier-Island Environment (Muth Formation, NW Himalayas). *Journal of Sedimentary Research*, 74 (2): 191-202.
- Flügel, E. (1982). *Microfacies analysis of limestones*. Berlin (Springer), 633 pp.
- Flügel, E. (2004). Microfacies of carbonate rocks. *Microfacies of carbonate rocks*. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg, 271-295.
- Flügel, E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application*. 2nd Edition. Springer-Verlag. Berlín-Heidelberg, pp 984.
- Furque, G., y Cuerda, A.J. (1979). Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza. En J.C. Turner (Ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias Córdoba, p. 455-522.
- Gallardo, M. (2018). *Bioestratigrafía de conodontes y microfacies carbonáticas del tramo superior de la Formación San Juan, Baños de Talacasto, Precordillera Central*. Tesis de Licenciatura (Inédita). Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, 141p.
- Gao, P., He, Z., Lash, G., Li, S., Xiao, X., Han, Y., y Zhang, R. (2020). Mixed seawater and hydrothermal sources of nodular chert in Middle Permian limestone on the eastern Paleo-Tethys margin (South China). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 551, 109740.
- Haq, B.U., y Schutter, S.R. (2008). A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes. *Science*, 322 (5898): 64-68.
- Han, Z., Zhang, X., Chi, N., Han, M., Woo, J., Lee, H.S., y Chen, J. (2014). Cambrian oncoids and other microbial-related grains on the North China Platform. *Carbonates and Evaporites*, 30(4): 373-386.
- Heredia, S., y Mestre, A. (2011). Middle Darriwilian Conodont Biostratigraphy in the Argentine Precordillera. En: J.C. Gutiérrez Marco, I. Rábano y D. García Bellido (Eds.), *Ordovician of the World*. Cuadernos del Museo Geominero 14: 229-234.
- Heredia, S., y Mestre, A. (2013). Advances in the middle Darriwilian conodont biostratigraphy of the Argentine Precordillera. *Publicación Especial Asociación Paleontológica Argentina*, 13: 45-48.
- Heredia, S., Mestre, A., y Kaufmann, C. (2017). The Darriwilian conodont biostratigraphy from the Argentine Precordillera. En: J-C Liao y J.I. Valenzuela-Rios (Eds), *Progress on Conodonts Investigation*. 4° International Conodont Symposium. Cuaderno de Museo Geominero n° 22: 65-69.
- Hünicken, M. (1982). *La Zona de Oepikodus evae (Arenigiano inferior) en la Formación San Juan, Quebrada de Talacasto, Dpto. Ullum, San Juan, Argentina*. V Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 1:797-802. Buenos Aires.
- Jacquet, S.M., Betts, M.J., Huntley, J.W., y Brock, G.A. (2019). Facies, phosphate, and fossil preservation potential across a Lower Cambrian carbonate shelf, Arrowie Basin, South Australia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 533, 109200.
- 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: 165-169.
- Keller, M., y Flügel, E. (1996). Early Ordovician reefs from Argentina: stromatoporoid vs. stromatolite origin. *Facies*, 34: 177-192.
- Kershaw, S. (1994). Classification and geological significance of biostromes. *Facies*, 31(1): 81-91. Doi: 10.1007/bf02536934.

- Kietzman, D., y Palma, R. (2012). Las tempestitas peloidales de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano-Valanginiano) en el sector surmendocino de la Cuenca Neuquina, Argentina. *Latin American Journal of sedimentology and basin analysis*, 18(2): 121-149.
- Kröger, B., Penny, A., Shen, Y., y Munnecke, A. (2019). Algae, calcitarchs and the Late Ordovician Baltic limestone facies of the Baltic Basin. *Facies*, 66, 1.
- Lehnert, O. (1995). Ordovizische Conodonten aus der Präkordillera Westargentinien: Ihre Bedeutung für Stratigraphie und Paläogeographie. *Erlangen geologische Abhandlungen, Erlangen*, 125: 193 pp.
- Li, Q.J., Li, Y., y Kiessling, W. (2014). Early Ordovician sponge-Calathium-microbial reefs on the Yangtze Platform margin of the South China Block. *GFF* 136: 157-161.
- Lozano, B., y Hünicken, M.A. (1990). Conodonts and biostratigraphy of the San Juan Formation (Arenigian-Llanvirnian) in the Quebrada de Talacasto, Ullum Department, San Juan Province, Argentina. En: M.A. Hünicken (Ed.), *1st Latin American Conodont Symposium*, Academia Nacional de Ciencias (Córdoba), abstracts, pp. 101-102.
- Löfgren, A. (2000). Early to early Middle Ordovician conodont biostratigraphy of the Gillberga quarry, northern Oland, Sweden. *GFF* 122: 321-38.
- Löfgren, A., y Zhang, J. (2003). Element association and morphology in some middle Ordovician platform-equipped conodonts. *Journal of Paleontology*, 77(4): 721-737.
- Lokier, S.W., y Al Junaibi, M. (2016). The petrographic description of carbonate facies: are we all speaking the same language? *Sedimentology*, 63(7): 1843-1885.
- Mata, S.A., y Bottjer, D.J. (2012). Microbes and mass extinctions: paleoenvironmental distribution of microbialites during times of biotic crisis. Issue 1, *Special Issue: Microbes and Paleoenvironments*, 10: 3-24.
- Mestre, A., y 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., y Heredia, S. (2020b). Lower-middle Darriwilian index conodonts from the Precordillera: New taxonomical approaches. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironment*. doi.org/10.1007/s12549-019-00386-3.
- Mestre, A., Heredia, S., Moreno, F., Benegas, L., Morfil, A., y 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, doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102801.
- Mestre, A., Gallardo, M., Salas M.J., y Heredia, S. (2022). Biostratigraphic and paleobiogeographic significance of the Darriwilian microfossils from the top of San Juan Formation in the Los Baños de Talacasto section, Central Precordillera (Argentina). *Andean Geology*, (49) 3: 426-444.
- Moreno, F. (2022). *Bioestratigrafía de conodontes, sedimentología y correlación de la Formación San Juan durante el Floiano tardío - Darriwiliano temprano en la Precordillera central, San Juan*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, 213 p. Inédita.
- Moreno, F. (2023). Bioestratigrafía de conodontes del Dapingiano - Darriwiliano en la sección Talacasto - Quebrada Ancha, Precordillera Central. *Serie de Correlación Geológica*. 39 (1): 36-42. DOI 10.5281/zenodo.7926886.
- Moreno, F., Mestre, A., y Heredia, S. (2020). New Early Ordovician conodont data from the San Juan Formation, Central Precordillera (Argentina): Biostratigraphic and paleogeographic significance. *Journal of South American Earth Sciences*, 103: art. 100798. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102798.
- Munnecke, A., Servais, T., y Vachard, D. (2001). *Halysis Høeg, 1932 — a problematic Cyanophyceae: new evidence from the Silurian of Gotland (Sweden)*. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte, 2001: 21-42. 10.1127/njgpn/2001/2001/21
- Nielsen, A.T. (2011). A re-calibrated revised sea-level curve for the Ordovician of Baltoscandia. En: J.C. Gutiérrez-Marco, I. Rábano y D. García-Bellido (Eds.), *Ordovician of the World*. Serie Cuadernos del Museo Geominero, 14. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 399-402.
- Ortiz, A., y Zambrano, J. (1981). La provincia geológica Precordillera Oriental. VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis, Actas, 3: 9-74.
- Pandey, S., y Parcha, S.K. (2018). Calcareous algae from the Ordovician succession (Thango Formation) of the Spiti Basin, Tethys Himalaya India. *Acta Palaeobotanica*, 58(2): 97-106.
- Peralta, S., y Persia, E. (1999). *Significado de las discontinuidades estratigráficas del Grupo Tucunuco (Ashilliano Tardío-Silúrico), área de Talacasto, Precordillera Central de San Juan, Argentina*. XIV Congreso Geológico Argentino, Salta 1: 405-408.
- Pomar, L. (2001). Types of carbonate platforms: a genetic approach. *Basin Research*, 13: 313-334.
- Riding, R. (2002). Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth-Science Reviews* 58: 163-231.
- Rong, H., Jiao, Y., Wang, Y., Wu, L., y Wang, R. (2014). Distribution and geologic significance of Girvanella within the Yijianfang Ordovician reef complexes in the Bachu area, West Tarim Basin, China. *Facies*, 60(2): 685-702.
- Sánchez, T.M., Carrera, M.G., y Benedetto, J.L. (1996). Variaciones faunísticas en el techo de la Formación San Juan (Ordovícico temprano, Precordillera Argentina): significado paleoambiental. *Ameghiniana*, 33: 185-200.
- Serra, F., Feltus, N.A., Mango, M., Henderson, M., Albanesi, G., y Ortega, G. (2020). Darriwilian (Middle Ordovician) conoserradonts and graptolites from the Cerro La Chilca Section, Central Precordillera, Argentina. *Andean Geology* 47(1): 125-143.
- Sheehan, P.M., y Harris, T.M. (2004). Microbialite resurgence after the Late Ordovician extinction. *Nature*, 430: 75-78.
- Shen, Y., y Neuweiler, F. (2016). Taphocoenoses and diversification patterns of calcimicrobes and calcareous algae, Ordovician, Tarim Basin, China. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53(7): 702-711. DOI: 10.1139/cjes-2015-0173.
- 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 de 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: J.L. Benedetto, S. Heredia, G. Aceñolaza, y J. Carlorosi (Eds.), *Estratigrafía y Paleontología del Paleozoico Inferior de Argentina*. XX Congreso Geológico

- Argentino, San Miguel de Tucumán, 87-91.
- Tonarová, P., Vodrážková, S., Hints, O., Männik, P., Kubajko, M., y Frýda, J. (2019). Llandovery microfossils and microfacies of the Hýskov section, Prague Basin. *Fossil Imprint* 75(1): 25–43.
- Vaccari, N.E. (1993). El Género *Annamitella* Mansuy, 1920 (Trilobita, Leiostegiidae) en el Ordovícico de la Precordillera Argentina. *Ameghiniana*, 30(4): 395-406.
- Vachard, D., Clausen, S., Palafox, J.J., Buitrón, B.E., Devaere, L., Hayart, V., y Régnier, S. (2017). Lower Ordovician microfacies and microfossils from Cerro San Pedro (San Pedro de la Cueva, Sonora, Mexico), as a westernmost outcrop of the newly defined Nuia Province. *Facies*, 63: 18.
- Védrine, S., Strasser, A., y Hug, H. (2007). Oncoid growth and distribution controlled by sea-level fluctuations and climate (Late Oxfordian, Swiss Jura Mountains). *Facies*, 53: 535-552.
- Wang, X., Stouge, S., Erdtmann, B-D., Chen X., Li, Z., Wang Ch., Zeng, Q., Zhou, Z., y Chen, H. (2005). A proposed GSSP for the base of the Middle Ordovician Series: the section, Yichang, China. *Episodes*, 28: 105-17.
- Wang, J.P., Deng, X.J., Wang, G., y Li, Y. (2012). Types and biotic successions of Ordovician reefs in China. *Chinese Science Bulletin*, 57: 1160-1168.
- Wang, J., Li, Y., Zhang, Y., y Kershaw, S. (2016). A Middle Ordovician (Darriwilian) Calathium reef complex on the carbonate ramp of the northwestern Tarim Block, northwest China: A sedimentological approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 443: 156-166.
- Webby, B.D. (2012). Part E, Revised, Volume 4, Chapter 17: Class Uncertain, Order 946 Pulchrilaminida, new order. *Treatise Online* 30: 1-9.
- Wilson, J.L. (1975). *Carbonate facies in geologic history*. Berlin (Springer), 471 pp.
- Yu, S., Fang, X., y Munnecke, A. (2019). First documentation of Middle Ordovician warm-water carbonates in the Mount Jolmo Lungma (Mount Everest) area, southern Xizang (Tibet), China, and its paleogeographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 530: 136-151.
- Yun, H., Zhang, X., Li, L., Zhang, M., y Liu, W. (2016). Skeletal fossils and microfacies analysis of the lowermost Cambrian in the southwestern margin of the North China Platform. *Journal of Asian Earth Sciences*, 129: 54-66.
- Zhao, Y.Y., Zhao, M-Y., y Li, S-Z. (2018). Evidences of hydrothermal fluids recorded in microfacies of the Ediacaran cap dolostone: geochemical implications in South China *Precambrian Research*, 306: 1-21.
- Zhang, Y., Li, Y., Wang, G., y Munnecke, A. (2017). Windward and leeward margins of an Upper Ordovician carbonate platform in the Central Tarim Uplift, Xinjiang, northwestern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 474: 79-88
- Zhong, Y., Zhou, L., Tan, X., Guo, R., Zhao, L., Li, F., Jin, Z., y Chen, Y. (2018). Characteristics of depositional environment and evolution of Upper Cretaceous Mishrif Formation, Halfaya Oil field, Iraq based on sedimentary microfacies analysis. *Journal of African Earth Sciences*, 140:151-168.