

# La Zona de *Baltoniodus triangularis* (Conodonta) en el Paleozoico de la Cuenca Central Andina Sudamericana: Formación Alto del Cóndor del Norte argentino

J. M. T. Carlosi

Instituto Superior de Correlación Geológica (CONICET-UNT), Miguel Lillo 205, 4000 San Miguel de Tucumán, Argentina  
josefinacarlorosi77@gmail.com

## RESUMEN

La presente contribución menciona el registro de la Zona de *Baltoniodus triangularis* (Conodonta) en la Cuenca Paleozoica de los Andes Centrales Sudamericanos, en el ámbito geológico de la Cordillera Oriental del norte Argentino, y está representada por la asociación de las especies *Baltoniodus triangularis* (Lindström), *Drepanoistodus basiovalis* Sergeeva, *Erraticodon patu* Cooper, *Gothodus costulatus* Lindström, *Trapezognathus diprion* (Lindström), *T. quadrangulum* Lindström, *Baltoniodus* cf. *B. triangularis* (Lindström), *Oistodus* sp., *Triangulodus* sp., entre otras. Este hallazgo permite identificar el Dapingiense bajo (Ordovícico Medio) en la Formación Alto del Cóndor aflorante en la región de Los Colorados, flanco occidental de la Cordillera Oriental, Provincia de Jujuy, Argentina. A su vez, la asociación de conodontos recuperada permite proponer una mayor afinidad con la Provincia Faunística Noratlántica y sur de China.

Palabras clave: Conodonto, Ordovícico Medio, Sudamérica, Zona de *Baltoniodus triangularis*

## ***The Baltoniodus triangularis Conodont Zone in the South American Lower-Paleozoic Central Andean Basin: the Alto del Cóndor Formation of northern Argentina***

### ABSTRACT

*The Baltoniodus triangularis Conodont Zone is recorded in the Lower-Paleozoic Central Andean Basin. This biozone is recorded in the Cordillera Oriental of northwest Argentina and includes a conodont association composed of Baltoniodus triangularis (Lindström), Drepanoistodus basiovalis Sergeeva, Erraticodon patu Cooper, Gothodus costulatus Lindström, Trapezognathus diprion (Lindström), T. quadrangulum Lindström, Baltoniodus cf. B. triangularis (Lindström), Oistodus sp., Triangulodus sp., amongst others. This finding records the lowest Dapingian (Middle Ordovician) stage within the Alto del Cóndor Formation, cropping out at the Los Colorados area of Jujuy province, Argentina. The recovered conodont association allows us to identify a greater affinity with the North Atlantic and southern China Faunal Provinces.*

*Key words: Baltoniodus triangularis Zone, conodont, Middle Ordovician, South America*

### ABRIDGED ENGLISH VERSION

#### **Introduction**

*The northwest of Argentina is divided into four geological provinces based on their geological features. The study area described in this paper is focused on the Eastern Cordillera province, especially its western flank in the Chamarra Creek (Los Colorados region). The Alto del Cóndor Formation can be recognized in this zone and is composed of Lower and Upper members (Fig. 1).*

The entire succession consists of the Acoite and Alto del Cóndor formations, and above the Zapla, Lipeón and Arroyo Colorado formations are observed, at the top the Salta Group ends the succession crowning as a crest (Fig. 1). The total thickness of the succession is estimated at 2,500 m but only the top 300 m was surveyed from the upper part of the Acoite Formation and especially, 120 m from the Alto del Cóndor Formation, making a total of 420 m (Fig. 1).

The aim of this contribution is to record the *Baltoniodus triangularis* (Lindström) conodont apparatus which was recovered from siliciclastic deposits of the Alto del Cóndor Formation. This species is of a great biostratigraphic importance since it is the key conodont that indicates the beginning of the Dapingian stage of the Middle Ordovician Series (Wang et al., 2003a, b, 2005, 2009). We also describe the conodont association of the Alto del Cóndor Formation, evaluating and comparing their affinities to those from different faunal provinces recognized for the Middle Ordovician.

This is not the first record of conodonts from the Alto del Cóndor Formation, but is the first detailed description of the multi-elemental species *Baltoniodus triangularis* (Lindström) in the Andean Basin in South America.

### Stratigraphy

The Alto del Cóndor Formation was defined by Astini et al. (2004) in a region approximately 30 km northeast of Purmamarca (Jujuy province). This formation corresponds to an Ordovician unit with restricted distribution in the western flank of the Cordillera Oriental (Fig. 1). This overlies in a net contact to the Acoite Formation and in this contribution we propose the recognition of two members for this unit (Carlorosi, 2012): a Lower one made up of a heterolithic succession of yellowish sandstone (10–40 cm thick) and green shale (1–5 cm thick). Sedimentary structures such as parallel lamination and cross-bedding are common in the succession, with some surfaces bearing desiccation cracks, erosive truncations, and an increase in the amount of bioturbation (dominated by *Skolithos* sp.). Mudstone beds locally host intense bioturbation with the consequent loss of most of the original lamination (Fig. 2). The Upper member of the unit consists of green shale, red sandstone with minor heterolithic intercalations of whitish sandstone and greenish shale. The green shale is finely laminated and displays sparse remains of trilobites. Brachiopods and trilobites are present in the fine red sandstone with interbedded green shale. Erosive contacts characterize this part of the succession, where the sandstone beds are 40 cm thick (Fig. 2).

### Method

A total of 1,514 conodonts were obtained from the type area of the Alto del Cóndor Formation at Los Colorados (Jujuy province). The faunal diversity is relatively poor. Eight samples were collected from the Alto del Cóndor Formation, four from the Lower member and four from the Upper member. These are indicated as MI1–4 and MS1–4 (Fig. 2). Sample rocks were processed in the laboratory by the use of dilute formic acid (Stone, 1987) complemented with the standard separation procedures.

### Paleontology

The fossil content of the Lower member shows a decrease in species number and diversity compared with the Acoite Formation, only estuarine bivalves such as *Konduria Sánchez & Benedetto*, *Pseudoredonia Sánchez & Benedetto* and *Pucamua Sánchez & Benedetto* and the new species *Redonia condorensis Sánchez & Benedetto* being recovered. In the Upper member, especially in the red sandstone beds, the fossil content is more abundant including the trilobite *Hoekaspis schlaginweiti Harrington & Leanza*, among the brachiopods the species *Monorthis coloradoensis Benedetto*; *Incorthis* aff. *l. maroccana Mergl* and *Salopia? lipanensis Benedetto* are mentioned, suggesting a middle Arenigian age for these outcrops. Bivalves and conodonts have also been recorded for this section.

### Conodonts

The conodonts recovered from the Lower member of the Alto del Cóndor Formation are (Fig. 2): *Baltoniodus triangularis* (Lindström), *Erraticodon patu Cooper*, *Gothodus costulatus Lindström*, *Trapezognathus diprion Lindström*, *Baltoniodus* cf. *B. triangularis* (Lindström), and *Triangulodus* sp.

In the Upper member the species are (Fig. 2): *Baltoniodus triangularis*, *Erraticodon patu*, *Gothodus costulatus*, *Trapezognathus diprion*, *Trapezognathus quadrangulum Lindström*, *Baltoniodus* cf. *B. triangularis*, *Drepanodus* sp., *Drepanoistodus* sp., *Oistodus* sp., *Triangulodus* sp. and *Triangulodus?* sp.

With regard to the genus *Baltoniodus* (Lindström), *Bagnoli and Stouge (1997)* redefined the apparatus, describing the P, S and M elements. Subsequently, *Bergström and Löfgren (2009)* and *Li et al. (2010)* revised and expanded the description of *Baltoniodus triangularis* based on specimens from Baltica and southern

China. In this contribution a detailed description of each element of the apparatus of this species is given (Figs. 3, 4).

### **Biostratigraphical considerations**

Lindström (1955, 1971) proposed the Lower and Middle Ordovician biostratigraphy of Baltica based on the vertical distribution of different key conodonts, in this scheme the *Baltoniodus triangularis* zone was first defined. Subsequently, Löfgren (1978, 1985, 1993, 1994, 1995, 2000) also recognized the *Baltoniodus triangularis* zone for Sweden. Stouge and Bagnoli (1990, 1999), and Bagnoli and Stouge (1997) recorded the same biozone in the base of the Volkhovian stage in Öland (Sweden) which would correspond with the Lower part of the *B. triangularis* zone of Löfgren (1993) and Lindström (1971).

Bultynck and Sarmiento (2003) recognized reworked specimens of *Baltoniodus triangularis*, *B. navis*, and *Trapezognathus quadrangulum* amongst others from Devonian deposits from the Moroccan platform. These authors identified the homonymous biozones coinciding with those proposed by Löfgren (2000). Later, *B. triangularis* was found in the Huanghuachang section (China) and it was proposed as a guide species of the base of the Middle Ordovician series (Dapingian stage) due to being extensively recorded in the Yangtze Platform (South China) and Baltica (Bergström and Löfgren 2009; Wang et al., 2003a, b, 2005, 2009).

The finding of this guide species in the Chamarra Creek, permit us the recording of *B. triangularis* Zone in northwestern Argentina and also in South America. In addition the record of *Baltoniodus cf. B. triangularis*, which is the direct ancestor of *B. triangularis*, is recorded in the same bed rock agreeing with the evolutionary scheme proposed by Wang et al. (2009).

The conodont association registered in the Alto del Cóndor Formation allows us to suggest paleobiogeographic affinities of the Andean Basin for the Lower Middle Ordovician, showing greater affinity with the North Atlantic Faunal Province (Baltica) and South China, and to a lesser degree with the Australian Faunal Province.

### **Conclusions**

The key conodont *B. triangularis* is described from the Alto del Cóndor Formation. It was recovered from both the Lower to the Upper members, suggesting continuity in the deposit.

The discovery of the species *Baltoniodus triangularis* (Lindström), in strata of the Alto del Cóndor Formation is of great importance as it represents the first record of the *B. triangularis* zone for northwestern Argentina and for this sector of Gondwana indicating the basal Middle Ordovician (lowermost Dapingian). The analysis of the conodont association obtained in this region of NW Argentina allows us to suggest the close correlation of this sector of the Andean Basin with the Baltica and South China regions integrating with the Shallow Sea Realm of Temperate-Cold Domain.

### **Introducción**

Desde el punto de vista geológico en el Noroeste argentino se pueden diferenciar cuatro provincias geológicas en base a sus características tectonoestratigráficas, sedimentarias e ígneas, las cuales son limitantes entre sí. De oeste a este se reconocen: Puna, Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y al sur de esta última el Sistema de Santa Bárbara. El área de estudio del presente trabajo se encuentra ubicada en la provincia geológica de Cordillera Oriental, en el flanco occidental de la misma, y corresponde a la región de Los Colorados, Quebrada de Chamarra.

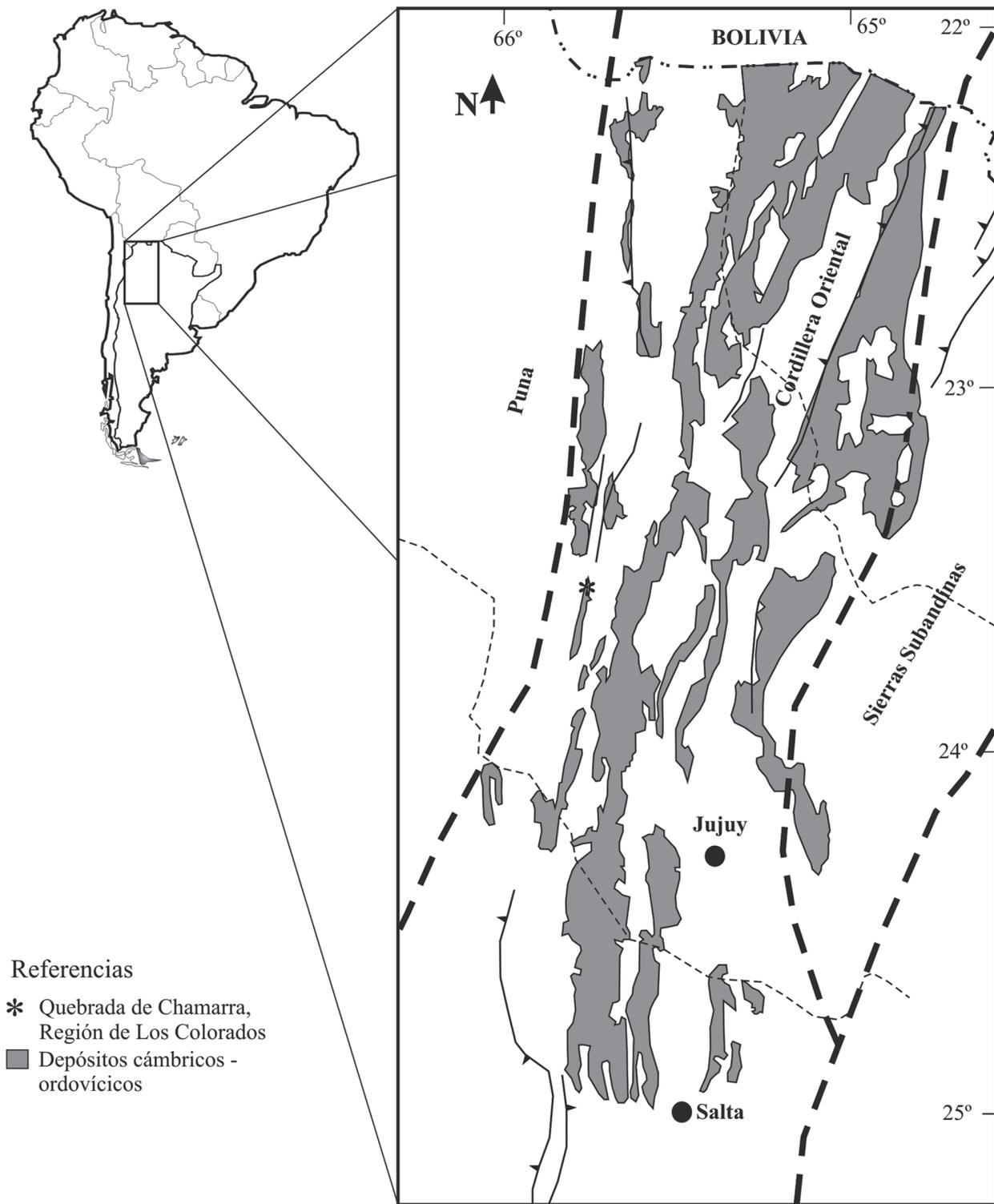
En esta área se reconoce la Formación Alto del Cóndor definida por Astini *et al.* (2004) aproximadamente a 30 kilómetros al noroeste de Purmamarca. Esta formación corresponde a una unidad ordovícica de restringida distribución geográfica en el flanco occidental de la Cordillera Oriental (Fig. 1).

Originalmente estos afloramientos fueron definidos como parte de la Formación Acoite por Benedetto

y Malanca (1975), posteriormente Astini y Waisfeld (1993) determinan por encima de la Formación Acoite, en contacto neto, la presencia de la Formación Sepulturas. Posteriormente, Astini (1994) diferencia dentro de la Formación Sepulturas facies arenosas, fangosas y heterolíticas. El mencionado autor señala que el tramo inferior de la unidad está constituido por areniscas rosadas y blancas y fangolitas rojas y moradas; y que el tramo cuspidal, en contacto neto sobre el anterior, está constituido por pelitas verdes con intercalaciones de areniscas y calizas con abundantes fósiles.

Años más tarde, Astini *et al.* (2004) introducen cambios estratigráficos para esta sección, definiendo las formaciones Alto del Cóndor y Sepulturas. A partir de observaciones realizadas en el campo y del análisis de la conodontofauna recuperada, Carlorosi (2012) interpreta que la Formación Alto del Cóndor se encuentra constituida por dos miembros.

La sección de estudio se sitúa en la Quebrada de Chamarra (Fig. 1) lugar en el cual las unidades del Or-



**Figura 1.** Mapa geológico de la región de Los Colorados (modificado de Astini *et al.*, 2004).  
**Figure 1.** Geological map of Los Colorados region (modified from Astini *et al.*, 2004).

dovícico aparecen mejor expuestas. Las coordenadas de la base del perfil son 23° 31' 56,4" sur y 65° 40' 04,3" oeste con una altura promedio de 3693 msnm. La sucesión estratigráfica completa está integrada

por las formaciones Acoite y Alto del Cóndor, y hacia arriba se observan las formaciones Zapla, Lipeón y Arroyo Colorado, y finalizando el Grupo Salta que corona la sucesión a modo de crestón (Fig. 1). El es-

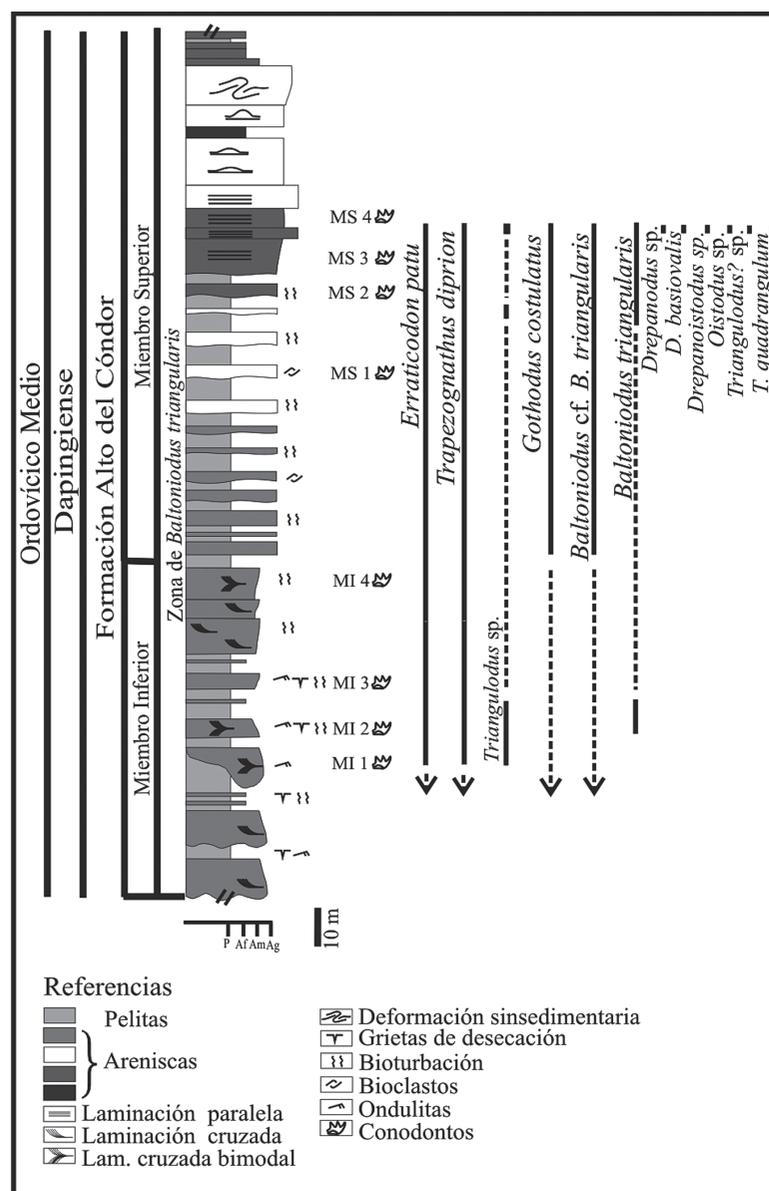
pesor total de la sucesión se calcula en 2500 m pero solo se relevaron y muestrearon los últimos 300 m correspondientes al tramo superior de la Formación Acoite y especialmente, los 120 m de la Formación Alto del Cóndor, es decir un total de 420 m.

El objetivo de esta contribución es dar a conocer la asociación de conodontos de la Formación Alto del Cóndor, reconociendo para esta unidad un Miembro Inferior y otro Superior, y además registrar en ambos la distribución vertical de la especie *Baltoniodus triangularis* (Lindström), de gran importancia bioestratigráfica a nivel global. Se evalúan también las afinidades de la conodontofauna recuperada con las de otras provincias faunísticas reconocidas para el Ordovícico Medio. En esta contribución se describen

e ilustran en detalle las características principales de la especie multielemental *Baltoniodus triangularis* (Lindström), de gran significado bioestratigráfico en Sudamérica, ya que permite caracterizar el Dapingiense basal (Wang *et al.* 2003a, b, 2005, 2009) a escala global.

### Estratigrafía

La Formación Alto del Cóndor (Astini *et al.*, 2004) suprayace de forma neta a la Formación Acoite, en una sucesión de aproximadamente 120 m. En esta contribución se propone el reconocimiento de dos miembros en la mencionada unidad formacional (Figs. 1, 2).



**Figura 2.** Perfil esquemático de la Formación Alto del Cóndor aflorante en la Oda. de Chamarra, mostrando la distribución vertical de las especies identificadas (perfil modificado de Astini *et al.*, 2004).

**Figure 2.** Schematic section of the Alto del Cóndor Formation cropping out at Chamarra Creek, showing the vertical distribution of the recorded species (modified from Astini *et al.*, 2004).

El Miembro Inferior (55 m) está caracterizado por una sucesión heterolítica compuesta por una alternancia de areniscas amarillentas y pelitas verdes, en donde las primeras tienen espesores de entre 10 y 40 cm, y las segundas espesores variables entre 1 y 5 cm resultando las areniscas sustancialmente más espesas que los niveles de pelitas. En la sucesión puede reconocerse laminación paralela, y estructuras entrecruzadas; algunas superficies de los estratos exhiben grietas de desecación, truncamientos erosivos, ondulitas arrasadas y un aumento en la cantidad de trazas fósiles (*Skolithus* isp.). Ocasionalmente las pelitas presentan una intensa bioturbación con la consecuente pérdida de la laminación (Fig. 2). Las muestras tomadas en varios niveles de areniscas en este miembro proveyeron una escasa colección de conodontos.

El Miembro Superior (70 m) está caracterizado, de base a techo, por pelitas verdes, areniscas rojas con intercalaciones de pelitas verdes y por bancos de areniscas blanquecinas de espesores variables con intercalaciones pelíticas verdes. Las pelitas verdes están finamente laminadas y entre sus planos frecuentemente aparecen trilobites. Las areniscas finas rojizas y pelitas verdes intercaladas exhiben en las superficies de sus planos de estratificación abundante macrofauna compuesta principalmente por valvas de braquiópodos enteros, articulados y sin signos de transporte, y en menor proporción se observaron fragmentos de trilobites. La fauna de conodontos recuperada en estos niveles fue abundante. En contacto neto erosivo e irregular aparecen por encima de los niveles anteriormente descritos, areniscas blanquecinas medianas a gruesas con motas de color morado, de gran espesor (aproximadamente 30 m). Estas aparecen dispuestas en bancos de 40 cm de espesor promedio y evidencian laminación paralela preferentemente, mientras que otras son masivas (Fig. 2). En general, a lo largo de esta unidad, se observa un incremento en el contenido fosilífero con respecto al Miembro Inferior, pero este vuelve a reducirse en las areniscas blanquecinas del tope.

La Formación Zapla (Ordovícico Superior-Silúrico Inferior) apoya en discordancia erosiva sobre los depósitos de la Formación Alto del Cóndor descritos anteriormente.

Astini *et al.* (2004) proponen para la Formación Alto del Cóndor, considerada aquí Miembro Inferior de la Formación Alto del Cóndor, como depositada en un ambiente estuarino, con una marcada restricción ambiental que se diferencia sustancialmente de la Formación Acoite por un cambio de coloración y arreglo litológico. Además, estos autores interpretan la presencia de canales con desarrollo de rellenos

sedimentarios influenciados por mareas. El conjunto representa una caída del nivel del mar que produjo una mayor influencia de los afluentes fluviales a la cuenca con el consecuente aumento en la granulometría y baja selección que se observa en este miembro. El Miembro Superior se diferencia por un brusco cambio en el color y litología representando una plataforma somera fangosa que pasa gradualmente a un ambiente más somero de mayor energía con abundancia de macrofauna. Astini *et al.* (2004) interpretan esta sucesión como depósitos de canales distributarios e interdistributarios correspondientes a una llanura deltaica con influencia de marea, con la evidencia de una suave progradación del sistema costero hacia los niveles superiores acompañados de somerización. La propuesta paleoambiental de Astini *et al.* (2004) se considera apropiada a excepción de su definición estratigráfica.

## Materiales y métodos

Se colectaron 8 muestras de los afloramientos de la Formación Alto del Cóndor en la Quebrada de Chamarra. Cada muestra, de aproximadamente 1 – 1.5 kg, se encuentra señalada en el perfil como MI 1-4 y MS 1-4 (Fig. 2). Estas muestras fueron procesadas en laboratorio mediante el uso de ácidos débiles (Sto- ne, 1987). Los conodontos obtenidos presentan, en el caso del Miembro Inferior, una pobre preservación por alteraciones texturales y blanqueado superficial debido al ambiente original de depósito (Mestre y Carlorosi, 2011), mientras que los recuperados del Miembro Superior tienen un excelente estado de preservación y un CAI (Epstein *et al.*, 1977) de 1,5 a 2. Todos los ejemplares están depositados en la Colección de Microvertebrados Lillo-Conodontes bajo las siglas CML-C.

## Paleontología

De los estudios realizados sobre el contenido macrofósil de la Formación Alto del Cóndor se desprende que su Miembro Inferior presenta una disminución en número y diversidad de especies en comparación con la Formación Acoite, habiéndose recuperado solo bivalvos. Sánchez y Benedetto (2007) registran la más antigua fauna de bivalvos estuarinos, de edad Arenigiana tardía- Llanvirniana (en el sentido de las Series Británicas), y describen los nuevos géneros *Konduria* Sánchez y Benedetto, *Pseudoredonia* Sánchez y Benedetto y *Pucamua* Sánchez y Benedetto y la nueva especie *Redonia condorensis* Sánchez y Be-

nedetto. La edad de la Formación Alto del Cóndor ha sido atribuida por la presencia del trilobite *Ogyginus* sp. al Ordovícico Medio (Waisfeld y Vaccari, 2003). En esta contribución se describen los elementos de la especie *Baltoniodus triangularis* (Lindström) que proceden de este miembro.

En el Miembro Superior, especialmente en los niveles de areniscas rojizas, el contenido fósil es más abundante y está representado por trilobites, braquiópodos, bivalvos y conodontos. En cuanto a los primeros, Harrington (1957) menciona la especie *Hoekaspis Schlagintweit* Harrington y Leanza, en tanto que los braquiópodos fueron estudiados por Benedetto (1998) quien determinó la presencia de *Monorthis coloradoensis* Benedetto; *Incorthis* aff. *I. maroccana* Mergl y *Salopia? lipanensis* Benedetto, sugiriendo una edad Arenigiana media (Series Británicas). Además se describen e ilustran los elementos de la especie *Baltoniodus triangularis* recuperados del Miembro Superior.

### Conodontos

Un total de 1514 conodontos fueron recuperados de la Formación Alto del Cóndor en la región de Los Colorados, flanco occidental de la Cordillera Oriental jujeña. La diversidad de especies es relativamente baja, pero la mayoría de ellas tienen importancia bioestratigráfica.

Las especies identificadas en el Miembro Inferior de la Fm. Alto del Cóndor son (Fig. 2): *Baltoniodus triangularis* (Lindström), *Erraticodon patu* Cooper, *Gothodus costulatus* Lindström, *Trapezognathus diprion* Lindström, *Baltoniodus* cf. *B. triangularis* (Lindström) y *Triangulodus* sp.

En el Miembro Superior se han recuperado numerosos elementos de conodontos procedentes de 4 muestras (Fig. 2), reconociéndose las siguientes especies: *Baltoniodus triangularis*, *Erraticodon patu*, *Gothodus costulatus*, *Trapezognathus diprion*, *Trapezognathus quadrangulum* Lindström, *Baltoniodus* cf. *B. triangularis*, *Drepanodus* sp., *Drepanoistodus* sp., *Oistodus* sp., *Triangulodus* sp. y *Triangulodus?* sp.

Con relación al género *Baltoniodus* (Lindström), Bagnoli y Stouge (1997), redefinieron su aparato oral, describiendo los elementos P, S y M. Posteriormente, Bergström y Löfgren (2009) y Li *et al.* (2010) revisaron y ampliaron la descripción de *Baltoniodus triangularis* basándose en ejemplares provenientes de Báltica y sur de China.

En esta contribución se presenta una lista sinónima condensada en la que se recogen especialmente las descripciones y las citas de estudios realizados

en la Cuenca Andina y que aluden a los elementos reconsiderados como la especie en cuestión. En las descripciones se han utilizado los términos convencionales de orientación (anterior, posterior y lateral) dando por sentado que estos no guardan relación con la orientación anatómica de los elementos en el animal conodonto (Purnell *et al.*, 2000).

### Paleontología sistemática

Clase Conodonta Pander, 1856  
 Orden Prioniodontida Dzik, 1976  
 Superfamilia Prioniodontacea Bassler, 1925  
 Familia Balognatidae Lindström, 1971  
 Género *Baltoniodus* Lindström, 1971

*Especie tipo*: *Prioniodus navis* Lindström, 1955 designación original

*Baltoniodus triangularis* (Lindström)  
 (Figs. 3-4)

- \*1955 *Prioniodus triangularis* Lindström, p. 591, pl. 5, figs. 45-46.
- 1971 *Baltoniodus triangularis* (Lindström); Lindström, p. 55, pl. 1, fig. 12.
- 1974 *Prioniodus navis* Lindström; van Wamel, p. 89-90, pl. 12, figs. 2, 3?
- 1994 *Baltoniodus triangularis* (Lindström); Löfgren, fig. 8: 28-29.
- 1994 *Trapezognathus argentinensis* Rao, Hünicken y Ortega, p. 73, lám. III, figs. 2, 8, 10, 12, lám. VII, fig. 7.
- 1994 *Baltoniodus navis* (Lindström), Albanesi y Vaccari, p. 144, lám. 2, figs. 8, 10-13.
- 1997 *Baltoniodus? triangularis* (Lindström); Bagnoli y Stouge, p. 137, pl. 3, fig. 1-12.
- 2005 *Baltoniodus triangularis* (Lindström); Wang *et al.*, fig. 4.
- 2009 *Baltoniodus triangularis* (Lindström); Wang *et al.*, p. 104, fig. 9: 1-5, 7-11.
- 2009 *Baltoniodus triangularis* (Lindström); Bergström y Löfgren, p. 7, lám. 4, figs. a-ac.
- 2010 *Baltoniodus triangularis* (Lindström); Li *et al.*, p. 117, pl. II, figs. 1-6A, 7-15.

*Materiales*.- 14 elementos Pa, 128 Pb, 49 M, 134 S; CML-C 5070(1-5), 5078(1-319), 5093(1).

*Procedencia*.- Niveles MI 2 y MS 1 al 4 de la Formación Alto del Cóndor en la Quebrada de Chamarra, Los Colorados. Dapingiense basal, Ordovícico Medio. Zona de *Baltoniodus triangularis*.

*Descripción*.- Elemento Pa. Cúspide corta, en forma de botella con una pequeña inclinación hacia posterior, reclina. Desde la cúspide se originan tres procesos: anterior, lateral y posterior llevando todos

ellos denticulos. El proceso posterior es el más largo de los tres presentando pequeños denticulos romos fusionados. Este último proceso desarrolla un lóbulo que puede tener pequeños denticulos. Las cuatro estructuras se encuentran unidas por la lámina basal, la cual es ondulada. La cavidad basal es amplia y profunda y se dirige a cada uno de los procesos presentes (Fig. 3, 1-3). En vista superior este elemento presenta una forma piramidal elevada similar a los elementos Pa figurados por Li *et al.* (2010, pl. II, figs 5A elemento izquierdo? y 6B, elemento derecho?).

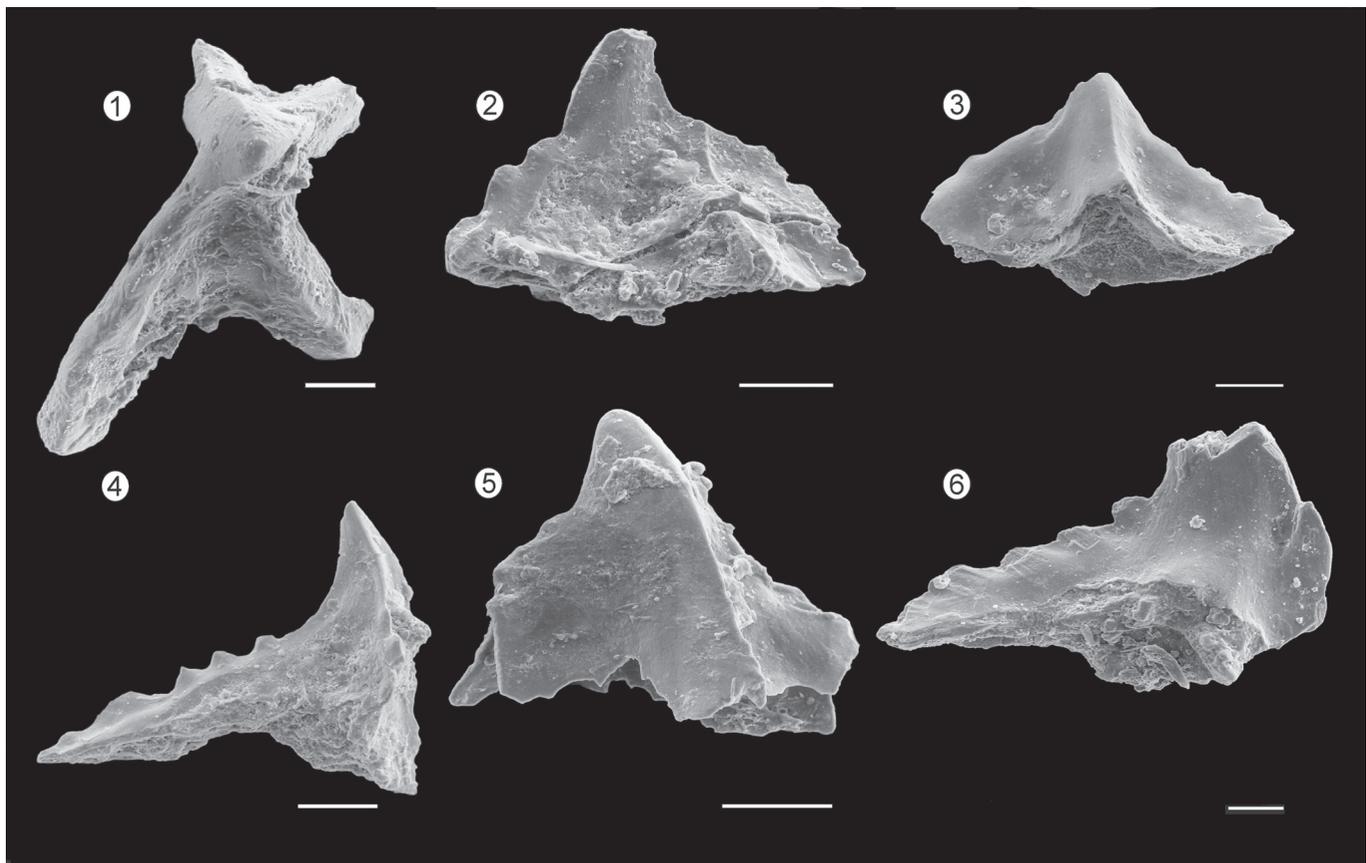
Elemento Pb. presenta cúspide corta, en vista anterior tiene una curvatura en su punto medio y dos carenas bien marcadas se desprenden desde el ápice, estas se extienden más allá del nivel de base en dos procesos delgados, en vista posterior se observa que desde la cúspide surge otra carena fuertemente marcada que se extiende, al igual que las otras dos, en un proceso posterior largo que porta denticulos romos y fusionados; la cavidad basal es amplia y profunda y

en un corte transversal esta tiene forma de triángulo alargado. La lámina basal es amplia y se encuentra uniendo los procesos (Fig. 3, 4-6).

Elemento M. Elemento geniculado. Cúspide de erecta a suberecta, corta, también en forma de botella con una curvatura entre el margen interno de la cúspide y el margen superior de la base. Desde el ápice de la cúspide en su borde anterior y posterior, se generan dos costillas que se proyectan como extensiones cortas, ambas llevan pequeños denticulos romos y fusionados (Fig. 4,1).

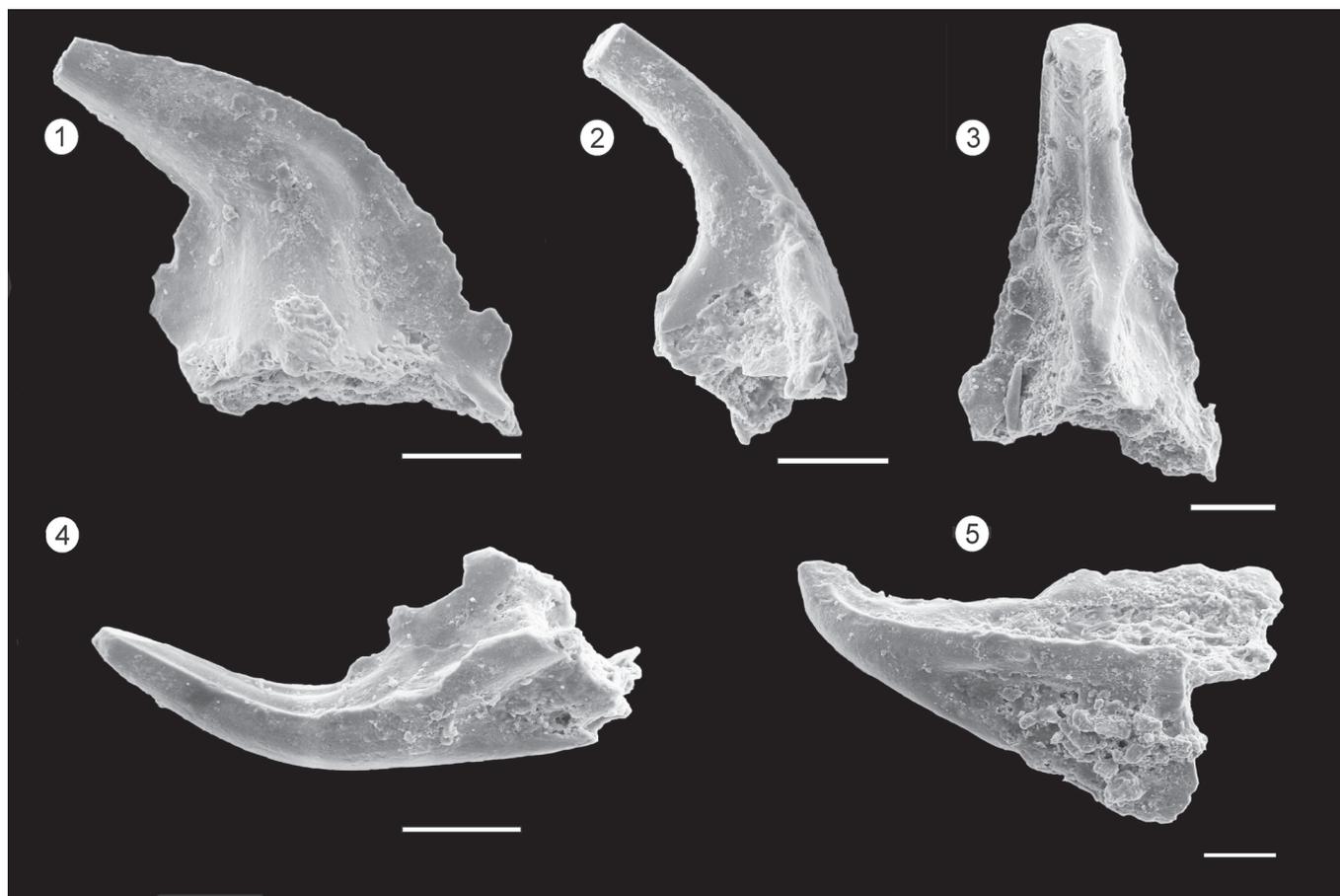
Elemento S. Son más estilizados que el resto de los otros elementos que integran el aparato conodontal, con cúspides delgadas y procesos denticulados.

Elemento Sa. Cúspide recta, delgada y de sección circular cercana al ápice, desde ella se desprenden dos costillas laterales que se extienden por debajo de la base formando dos procesos laterales los cuales portan numerosos pequeños denticulos; la vista anterior es aplanada y en la posterior se observa un



**Figura 3.** *Baltoniodus triangularis* (Lindström), microfotografías obtenidas mediante MEB y procedentes del nivel MS4 de la Formación Alto del Cóndor. 1-3, elementos Pa; 1, CML-C 5078(1), vista superior; 2, CML-C 5078(2), vista anterior; 3, CML-C 5078(3), vista posterior; 4-6 elementos Pb. 4, CML-C 5078(15), vista postero-lateral; 5, CML-C 5078(18), vista latero-anterior; 6, CML-C 5078(16), vista posterior. Escala gráfica: 0,01 mm.

**Figure 3.** *Baltoniodus triangularis* (Lindström) microphotographs obtained by SEM from the level MS4 of the Alto del Cóndor Formation. 1-3, Pa elements; 1, CML-C 5078(1), upper view; 2, CML-C 5078(2), anterior view; 3, CML-C 5078(3), posterior view; 4-6 Pb elements. 4, CML-C 5078(15), postero-lateral view; 5, CML-C 5078(18), latero-anterior view; 6, CML-C 5078(16), posterior view. Scale bar: 0,01 mm.



**Figura 4.** *Baltoniodus triangularis* (Lindström) microfotografías obtenidas mediante MEB y procedentes del nivel MS4 de la Fm Alto del Cóndor. 1, CMLC 5078(138), elemento M, vista lateral; 2-5, elementos S; 2,3, CMLC 5078(187-188), elementos Sa, vista anterior y lateral; 4, CMLC 5078(220), elemento Sb, vista lateral; 5, CMLC 5078(288), elemento Sd, vista lateral. Escala gráfica: 0,01 mm.

**Figure 4.** *Baltoniodus triangularis* (Lindström) microphotographs obtained by SEM from the level MS4 of the Alto del Cóndor Formation. 1, CMLC 5078(138), M element, lateral view; 2-5, S elements; 2, 3, CMLC 5078(187-188), Sa elements, lateral and anterior views; 4, CMLC 5078(220), Sb element, lateral view; 5, CMLC 5078(288), Sd element, lateral view. Scale bar: 0,01 mm.

proceso que se extiende desde el nacimiento de la base hasta debajo de ella; este proceso también porta pequeños denticulos (Fig. 4, 2-3).

Elemento Sb. Cúspide corta, proclina, delgada con cuatro finas costillas que se transforman en procesos al atravesar la base; los procesos son asimétricos, dos son vistos desde la cara anterior la cual es plana, y otros dos se ven desde el lado postero-lateral, en ángulo entre el proceso posterior y el lateral es de aproximadamente 45°, cada uno de estos procesos lleva muy pequeños denticulos romos, a excepción del posterior en el cual los denticulos son más evidentes. La lámina basal une los procesos pero es corta y excavada (Fig. 4,4).

Elemento Sc. Cúspide proclina, larga y delgada con bordes afilados los cuales se extienden más allá de la base formando tres procesos que llevan múltiples denticulos; el proceso posterior presenta una leve asimetría y los denticulos que porta están bien desarrollados, son largos, dirigidos hacia arriba y na-

cen muy cercanos al punto de origen de la base. La cavidad basal es excavada y de sección circular.

Elemento Sd. Cúspide corta, dirigida hacia posterior, desde la cual se desprenden cuatro costillas bien marcadas que sobrepasan la base y forman cuatro procesos los cuales son denticulados (Fig. 4, 5).

**Discusión.-** El aparato de esta especie es septimembrado constituido por dos elementos P (Pa y Pb), un M y cuatro elementos representativos de la serie de transición S (Sa, Sb, Sc y Sd). En un principio esta especie fue definida por Lindström (1955, 1971) pero la definición original ha experimentado modificaciones en varias ocasiones (Bagnoli y Stouge, 1997; Wang *et al.*, 2005, 2009; Bergström y Löfgren, 2009; Li *et al.*, 2010).

**Observaciones.-** Un carácter distintivo de *Baltoniodus triangularis* es la presencia de finas estrías cubriendo toda la superficie de los elementos. Se propone considerar a este carácter como diagnóstico para las especies más ancestrales de *Baltoniodus*.

La inclusión en la sinonimia de los elementos figurados por Rao *et al.* (1994) como *Trapezognathus argentinensis* Rao *et al.* se hace en base a una comparación fotográfica y no descriptiva. Considerándose aquí a esta especie como *nomen nudum*.

**Bioestratigrafía de conodontos y consideraciones paleobiogeográficas**

Lindström (1955, 1971) propone un esquema bioestratigráfico basado en conodontos del Ordovícico Inferior y Medio para toda la región de Báltica, en este esquema se reconoce por primera vez la Zona de *Baltoniodus triangularis*. Posteriormente, Löfgren (1978, 1985, 1993, 1994, 1995, 2000) realiza algunas modificaciones al esquema propuesto con anterioridad pero manteniendo para Suecia la Zona de *Baltoniodus triangularis*. Stouge y Bagnoli (1990, 1999), Bagnoli y Stouge (1997) determinan la misma biozona en la base del Volkhovense lo que se correspondería con la parte inferior de la Zona *B. triangularis* de Löfgren (1993) y Lindström (1971).

Bultynck y Sarmiento (2003) realizan un estudio de conodontos reelaborados de la región de Khemiss'n'Ga en la Meseta marroquí, reconociendo ejemplares de *Baltoniodus triangularis*, *B. navis* (Lindström), *T. quadrangulum*, entre otros; identificando de esta manera las biozonas homónimas coincidentes con las propuestas por Löfgren (2000).

Posteriormente, la Zona de *B. triangularis* es reconocida en la sección de Huanghuachang, Yichang,

China y propuesta como indicadora de la base del Ordovícico Medio, o el inicio del Dapingiense, debido a su extenso registro en la Plataforma de Yangtze, sur de China y en Báltica (Wang *et al.* 2003a, b, 2005, 2009). Esta especie fue además seleccionada como especie guía para indicar el inicio del Ordovícico Medio por presentar un linaje evolutivo muy claro en los materiales expuestos en la región de Huanghuachang, China. Wang *et al.* (2003a, b) presentan el esquema evolutivo del género *Baltoniodus* a partir de la presencia de la especie ancestral *Baltoniodus crassulus* (Lindström, 1955) hallado en la Zona de *Oepikodus evae* y que se extiende hasta la base de la Zona de *B. triangularis*, esta especie fue previamente considerada como ancestro de *B. triangularis* por Klapper *et al.* (1977, p. 81). Wang *et al.* (2003b) proponen considerar a *B. tetrastichus* Li sp. nov. como la especie intermedia que dio origen a *B. triangularis*; esta especie intermedia aparece por encima del FAD de *B. crassulus* mientras que su extensión en la Zona de *B. triangularis* no fue mencionada por estos autores. Posteriormente, Wang *et al.* (2005, 2009) mencionan el hallazgo de *B. cf. B. triangularis* y proponen a este taxón como el ancestro directo de *B. triangularis*. La diferencia entre antecesor y descendiente es la ausencia de dentículos en el proceso anterior del primero de ellos.

El hallazgo de esta especie en la sección de Chamarra en Los Colorados, permite ampliar el registro de *B. triangularis* al Noroeste argentino y Sudamérica. Cabe destacar que además de *Baltoniodus triangu-*

**Figura 5.** Cuadro bioestratigráfico comparativo del Ordovícico Medio y las secciones de Báltica, China y la Cuenca Andina de Argentina (Los Colorados).

**Figure 5.** Comparative biostratigraphic Middle Ordovician chart showing composite sections from Baltica, China and Eastern Basin of Argentina (Los Colorados area).

Series Globales	Pisos Globales	Series Británicas	Series N Americanas	Pisos Bálticos	Sur de China	NE de Europa		Norteamérica	Sud América	
					Huanghuachang	Baltoscandia	NW. Rusia	W. Newfoundland	Cuenca Andina	
					Wang <i>et al.</i> 2009	Lindström 1971, Löfgren 1995, Bagnoli y Stouge 1997	Viira <i>et al.</i> 1997	Stouge and Bagnoli 1988	Este trabajo	
Ordovícico Medio	Dapingiense	Arenigiense	Whitheroquiano	Volkhoviano	Baltoniodus navis	Baltoniodus navis	Baltoniodus navis	Sin Zonación	Sin Zonación	
					Baltoniodus triangularis	Baltoniodus triangularis	Baltoniodus triangularis	Tripodus laevis	Baltoniodus triangularis	
Ordovícico Inferior	Floicense		Ibexian	Billingen	Oepikodus evae	Upper	Oepikodus evae	Oepikodus evae	Oepikodus evae	Trapezognathus diprion
						Lower				
					Oepikodus communis	Prioniodus elegans	Prioniodus elegans	Prioniodus elegans	Oepikodus evae	Oepikodus evae
										proteus/deltatus

laris aparecen las formas intermedias de este género tal como *Baltoniodus* cf. *B. triangularis*, avalando así la propuesta del esquema evolutivo planteado por Wang *et al.* (2009) y poniendo de manifiesto que existe una estrecha similitud entre las formas aquí descritas con el material figurado por estos autores. Así mismo, este hallazgo es indicativo del inicio del Ordovícico Medio, el paso del Floiense al Dapingiense, en este sector de Gondwana (Fig. 5).

Bagnoli y Stouge (1996) mencionan una serie de especies como endémicas de la Provincia Faunística de Báltica, entre estas especies se encuentran: *Baltoniodus triangularis*, *T. diprion* y *T. quadrangulum*, del análisis de la distribución de estas especies se puede observar que estas también se hayan presentes en Precordillera, Meseta Marroquí, sur de China y a partir del presente trabajo en el Noroeste argentino. Asimismo, la asociación de conodontos registrada en la Formación Alto del Cóndor (*Baltoniodus triangularis*, *Baltoniodus* cf. *B. triangularis*, *Trapezognathus diprion*, *T. quadrangulum* y *Triangulodus* sp.) permite sugerir las afinidades paleobiogeográficas de la Cuenca Andina para el Ordovícico Medio bajo, con las Provincias Faunísticas Noratlántica (Báltica) y el Sur de China, constituyendo parte del Reino de Mar Somero de Dominio Frío - Templado (Zhen y Percival, 2003).

Por otro lado, la presencia de la especie *Erraticodon patu* en la colección estudiada en este trabajo sugiere afinidades diferentes a las arriba mencionadas resultando afín a la Provincia Australiana (Cooper, 1981; Zhen *et al.*, 2003). El resto de las especies registradas en la sección de Los Colorados poseen una distribución pandémica/cosmopolita (*Gothodus costulatus*, *Drepanoistodus basiovalis*, *Oistodus* sp. y *Triangulodus* sp.).

## Conclusiones

Se mencionan por primera vez conodontos en la Formación Alto del Cóndor. Los mismos están presentes desde el Miembro Inferior al Superior, lo que permite inferir que existe continuidad en el depósito de estos materiales.

El hallazgo de la especie *Baltoniodus triangularis* (Lindström) en los estratos de la Formación Alto del Cóndor, resulta de gran importancia ya que representa el primer registro de la Zona de *B. triangularis* para el Noroeste Argentino y para este sector de Gondwana, indicando el Ordovícico Medio bajo (Dapingiense basal). El análisis de la asociación de conodontos obtenidos en esta región del NO argentino permite sugerir la estrecha correlación de este sector de la Cuenca Andina con las regiones Báltica y Sur de Chi-

na, que integraron el Reino de Mar Somero del Dominio Templado- Frío.

## Agradecimientos

Al CONICET e INSUGEO. A los Dres. Florencio G. Aceñolaza y Guillermo Aceñolaza, por la lectura crítica y las sugerencias sobre este manuscrito. La presente contribución fue financiada a través del el proyecto PIP- CONICET 0125 (2010- 2012).

## Referencias

- Astini, R.A. 1994. Interpretación estratigráfica de la Formación Sepulturas (Ordovícico Inferior) y unidades análogas del noroeste argentino: La Aloformación Sepulturas. *5º Reunión Argentina de Sedimentológica*, Tucumán, Actas 1, 9-14.
- Astini, R.A. y Waisfeld, B.G. 1993. Análisis estratigráfico y paleoambiental del Ordovícico Inferior (Formación Acoite y Sepulturas) al oeste de Purmamarca, Cordillera Oriental Argentina. *XII Congreso Geológico Argentino*, Mendoza, Actas 1, 96-106.
- Astini, R.A., Waisfeld, B., Toro, B.A. y Benedetto, J.L. 2004. El Paleozoico inferior y medio de la región de Los Colorados, borde occidental de la Cordillera Oriental (Provincia de Jujuy). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59, 243-260.
- Bagnoli, G. and Stouge, S. 1997. Lower Ordovician (Billingenian- Kunda) conodont zonation and provinces based on sections from Horns Udde, Noth Öland, Sweden. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 35 (2), 109-163.
- Bassler, R.S. 1925. Classification and stratigraphic use of the conodonts. *Geological Society of America Bulletin*, 36, 218- 220.
- Benedetto, J.L. 1998. Early Ordovician (Arenig) brachiopods from the Acoite and Sepulturas formations, Cordillera Oriental, northwestern Argentina. *Geologica et Palaeontologica*, 32, 7-27.
- Benedetto, J.L. y Malanca, S.M. 1975. Los trilobites Ordovícicos de Los Colorados (Departamento Tumbaya, Provincia de Jujuy). *1º Congreso de Paleontología y Bioestratigrafía*, Tucumán, Actas 1, 145-173.
- Bergström, S.M. and Löfgren, A. 2009. The base of the global Dapingian Stage (Ordovician) in Baltoscandia: Conodonts, graptolites, and unconformities. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 99, 1-24.
- Bagnoli, G. and Stouge, S. 1996. Changes in conodont provincialism and biofacies during the Lower Ordovician in Öland, Sweden. *Palaeopelagos*, 6, 19-27.
- Bultynck, P. and Sarmiento, G.N. 2003. Reworked Ordovician and autochthonous Silurian- Devonian conodonts from Khemish-n'Ga (Morrocan Meseta)- Depositional, environmental, and palaeogeographic implications. *Courier Forschungs Institut Senckenberg*, 242, 257-283.

- Carlorosi, J.M.T. 2012. Bioestratigrafía y taxonomía de conodontes de la "Formación Sepulturas" (Ordovícico), Cordillera Oriental de Jujuy. Trabajo Inédito. Tesis Doctoral de la Universidad Nacional de Tucumán, 310 p.
- Cooper, B.J. 1981. Early Ordovician conodonts from the Horn Valley Silstone, Central Australia. *Palaeontology*, 24, 147-183.
- Dzik, J. 1976. Remarks on the evolution of Ordovician conodonts. *Acta Palaeontologica Polonica*, 21, 395-455.
- Epstein, A.G., Epstein, J.P. and Harris, L. 1977. Conodont Alteration - An Index to Organic Metamorphism: *United State Geological Survey Professional Paper*, 995, 1-27.
- Harrington, H.J. 1957. Ordovician formations of Argentina. In: Harrington, H.J. and Leanza, A.F. (Eds.), *Ordovician trilobites of Argentina. Department of Geology, University of Kansas, Special Publication*, 1, 1-39.
- Klapper, G., Lindström, M., Sweet, W.C. and Ziegler, W. 1977. Catalogue of conodonts. 3. In: Ziegler, W. (Eds.), *Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart*, 81.
- Li, Zhi-hong, Stouge, S., Chen Xiao-hong, Wang, Chuan-shang, Wang, Xiao-feng and Zen G Qing-luan. 2010. Precisely compartmentalized and correlated Lower Ordovician *Oepikodus evae* Zone of the Fuluoian in the Huanghuachang section, Yichang, Hubei Province. *Acta Palaeontologica Sinica*, 49, 108-124.
- Lindström, M. 1955. Conodonts from the lowermost Ordovician strata of south-central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 76, 517-604.
- Lindström, M. 1971. Lower Ordovician conodonts of Europe. *Memoir Geological Society of America*, 127, 21-61.
- Löfgren, A. 1978. Arenigian and Llanvirnian conodonts from Jämtland, northern Sweden. *Fossils and Strata*, 13, 1-129.
- Löfgren A. 1985. Early Ordovician conodont biozonation at Finngrundet, south Bothnian Bay, Sweden. *Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, New Series*, 10, 115-28.
- Löfgren, A. 1993. Arenig conodont successions from central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 115, 193-207.
- Löfgren, A. 1994. Arenig (Lower Ordovician) conodonts and biozonation in the eastern Siljan District, central Sweden. *Journal of Paleontology*, 68, 1350-1368.
- Löfgren, A. 1995. The middle Lanna/Volkhov Stage (middle Arenig) of Sweden and its conodont fauna. *Geological Magazine*, 132, 693-711.
- Löfgren, A. 2000. Conodont biozonation in the upper Arenig of Sweden. *Geological Magazine*, 137, 53-65.
- Mestre, A.I. y Carolosi, J.M.T. 2011. Los conodontes como indicadores de eventos de somerización. *XVIII Congreso Geológico Argentino*, Neuquén, Resumen, 1488-1489.
- Pander, C.H. 1856. Monographic der fossilen Fische des silurischen Systems der Russisch-Baltischen Gouvernements. *Akademie der Wissenschaften*, 1-91.
- Purnell, M. A., Donoghue, P. C. J. and Aldridge, R. J. 2000. Orientation and anatomical notation in conodonts. *Journal of Paleontology*, 74, 113-122.
- Rao, R.I., Hünicken, M.A. y Ortega, G. 1994. Conodontes y graptolitos del Ordovícico Inferior (Tremadociano - Arenigiano) en el área de Purmamarca, provincia de Jujuy, Argentina. *Anais de la Academia Brasileira de Ciências*, 66, 1-25.
- Sánchez, T.M. y Benedetto, J.L. 2007. The earliest known estuarine bivalve assemblage, Lower Ordovician of northwestern Argentina. *Geobios*, 40, 523-533.
- Stone, J. 1987. Review of investigative techniques used in the study of conodonts. In: R. Austin, (Ed.), *Conodonts: Investigative Techniques and Applications*, Ellis Horwood Limited, Chichester, 17-34.
- Stouge, S. and Bagnoli, G. 1990. Lower Ordovician (Volkhovian-Kunda) conodonts from Hagudden, northern Öland, Sweden. *Palaeontographia Italica*, 77, 1-54.
- Stouge, S. and Bagnoli, G. 1999 The suprageneric classification of some Ordovician prioniodontid conodonts. *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, 37, 145-158.
- Waisfeld, B.G. and Vaccari, N.E. 2003. Trilobites. En: J.L. Benedetto (Ed.), *Ordovician Fossils of Argentina*, Secretaría de Ciencias y Tecnología, Universidad Nacional de Córdoba, 295-409.
- Wamel, W. A. 1974. Conodont biostratigraphy of the Upper Cambrian and Lower Ordovician of north - western Öland, south- eastern Sweden. *Utrecht Micropalaeontological Bulletin*, 10, 1-126.
- Wang, X., Chen, X., Li, Z. and Wang, C. 2003a. The Huanghuachang Section, potential as Global Stratotype for the base of the Middle Ordovician Series: In: G.L. Albanesi, M.S. Beresi and S.H. Peralta (Eds.), *Ordovician from the Andes*, Serie Correlación Geológica (INSUGEO), 17, 153-160.
- Wang, X., Chen, X., Li, Z. and Wang, C. 2003b. The Conodont succession from the proposed GSSP for the Middle Ordovician base at Huanghuachang Section Yichang, China. In: G.L. Albanesi, M.S. Beresi and S.H. Peralta (Eds.), *Ordovician from the Andes*, Serie de Correlación Geológica (INSUGEO), 17, 161-166.
- Wang, X., Stouge, S., Erdtmann, B.- D., Chen, X., Li, Z., Wang, C., Zeng, Q., Zhou, Z. and Chen, H. 2005. A proposed GSSP for the base of the Middle Ordovician Series: the Huanghuachang section, Yichang, China. *Episodes*, 28, 105-117.
- Wang, X., Stouge, S., Chen, X., Li, Z., Wang, C., Finney, S., Zeng, Q., Zhou, Z., Chen, H. and Erdtmann, B. 2009. The global stratotype section and point for the base of the Middle Ordovician Series and the Third Stage (Dapingian). *Episodes*, 32, 96-113.
- Zhen, Y.-Y. and Percival, I. 2003. Ordovician conodont biogeography reconsidered. *Lethaia*, 36, 357-370.
- Zhen, Y.-Y., Percival, I.G. and Webby, B.D. 2003. Early Ordovician conodonts from western New South Wales, Australia. *Records of the Australian Museum*, 55, 169-220.

Recibido: marzo 2013

Revisado: junio 2013

Aceptado: septiembre 2013

Publicado: octubre 2013