

Bioestratigrafía de conodontos del Darriwiliense medio (Ordovícico) en el borde oriental de la Sierra de Villicum (Precordillera Oriental, Argentina)

A. Mestre

CONICET – Laboratorio de Micropaleontología – IIM, Universidad Nacional de San Juan,
Urquiza y Libertador (5400) San Juan, Argentina.
amestre@unsj.edu.ar

RESUMEN

En el borde oriental de la Sierra de Villicum se encuentra el pase transicional entre las formaciones San Juan y Los Azules. El techo de la Formación San Juan se caracteriza por *wackestone* bioclásticos intensamente bioturbados de color gris oscuro a negro con pátinas verdosas y *packstone-grainstone* bioclásticos de color gris oscuro a negro que presentan estructura lajosa. La Formación Los Azules está compuesta por pelitas negras y en su base se distinguen bancos carbonáticos lateralmente discontinuos que gradualmente pasan a nódulos. Se realizó un estudio detallado de la conodontofauna y de la bioestratigrafía del último metro de la Formación San Juan y los niveles inferiores de la Formación Los Azules en tres secciones, registrándose en estos niveles la Zona de *Yangtzeplacognathus crassus*. La correlación del techo de la Formación San Juan de las secciones aquí estudiadas en la Precordillera Oriental con otras de la Precordillera Central sugiere que el pase entre éstas y sus formaciones suprayacentes (formaciones Los Azules y Las Aguaditas) es diacrónico durante el Darriwiliense desde la Zona de *Y. crassus* hasta la Zona de *Eoplacognathus pseudoplanus*, concluyendo que los techos más jóvenes se ubican en el sector centro-occidental de la Precordillera Central.

Palabras claves: bioestratigrafía, conodontos, Darriwiliense, Ordovícico, Precordillera.

Conodont biostratigraphy of the middle Darriwilian (Ordovician) in the eastern flank of the Villicum Range (Eastern Precordillera, Argentina)

ABSTRACT

A transitional contact between the San Juan and Los Azules formations is present in the eastern flank of the Villicum Range. The very top of the San Juan is characterized by dark greenish grey to black burrowed bioclastic wackestone and tabular dark grey to black bioclastic packstone-grainstone. The Los Azules Formation is composed of black shale with levels and nodules of mudstone. A detailed study of the conodont fauna and biostratigraphy of the uppermost metre of the San Juan Formation and the lower levels of the Los Azules formation from three sections suggesting the Yangtzeplacognathus crassus Zone for these levels. The correlation between these studied sections of the Eastern Precordillera with those of the Central Precordillera allows us to suggest that the contact between San Juan Formation and the Los Azules and Las Aguaditas formations was diachronic during the Darriwilian, from the Y. crassus to the Eoplacognathus pseudoplanus zones, and we conclude that the younger tops are found in the western-central part of the Central Precordillera.

Key words: biostratigraphy, conodonts, Darriwilian, Ordovician, Precordillera.

ABRIDGED ENGLISH VERSION

Introduction

The stratigraphy and macrofossils of the top of the San Juan Formation in the Villicum range have been studied by several authors (Baldís and Beresi, 1981; Sánchez et al., 1996; Kröger et al., 2007).

Sarmiento (1985, 1987) presented the first contributions on conodont biostratigraphy of the San Juan and Los Azules formations in Don Braulio and La Pola Creeks, where the author identified the "Amorphognathus variabilis-Eoplacognathus pseudoplanus" Zone. Subsequently, Sarmiento (1990, 1991) reviewed this conodont fauna and recorded the E. suecicus Zone for these levels. Recently, Mestre (2013) identified the Y. crassus Zone in three sections at the very top of the San Juan Formation of the eastern flank of the Villicum range.

Heredia and Mestre (2011, 2013) proposed a revision of the Darriwilian biostratigraphic chart for the Precordillera, documenting the following conodont biozones: the Lenodus variabilis, Yangtzeplacognathus crassus, Eoplacognathus pseudoplanus, including the M. ozarkodella Subzone and Eoplacognathus suecicus Zone with P. lunnensis and P. anite subzones, this confirms the close connection with the fauna of Baltica and South-Central China.

The focus of this paper is to report and illustrate the conodont fauna of the top metre of the San Juan Formation and the lower levels of the Los Azules Formation in three sections of the eastern flank of the Villicum range (Fig. 1). We evaluate the biostratigraphical position of these levels in the Darriwilian Precordillera basin, offering a new vision of the architecture of the basin at this time.

Stratigraphy

The top metre of San Juan Formation exposed in the Don Braulio (sample code DBS), La Pola (TLP) and Cecilia (C) creeks is composed of dark grey fossiliferous burrowed limestone and burrowed marls deposited in a restricted circulation environment and the conodont samples were collected from these levels at 10–15 cm intervals (Fig. 2). The San Juan Formation is conformably overlain by black shale and thin bedded marly limestone of the Los Azules Formation. The contact between the San Juan and Los Azules formations is transitional in all sections and the first level of black shale has been used as the arbitrary boundary between these units.

Biostratigraphical discussion

The uppermost strata of the San Juan Formation and the lower levels of the Los Azules Formation yield a conodont fauna which includes: *Ansella jemtlandica* (Löfgren); "Bryantodina" aff. *B. typicalis* (Stauffer); *Drepanoistodus basiovalis* (Sergeeva), *Drepanoistodus bellburnensis* Stouge, *Drepanoistodus costatus* (Abaimova), *Erraticodon* cf. *E. balticus* (Dzik), *Erraticodon hexianensis* An, *Fahraeusodus marathonensis* (Bradshaw), *Histioidella* sp., *Lenodus variabilis* (Sergeeva), *Lenodus* sp., *Parapaltodus simplicissimus* Stouge, *Paroistodus horridus* Barnes and Poplawski, *Paroistodus horridus primus* Albanesi, *Paroistodus horridus secundus* Albanesi, *Paroistodus originalis* (Sergeeva), *Periodon macrodentatus* (Graves and Ellison), *Protopanderodus calciatus* Stouge and Bagnoli, *Protopanderodus rectus* (Lindström), *Pteracontiodus cryptodens* Mound, *Rosodus barnesi* Albanesi, *Scolopodus oldstockensis* Stouge, *Spinodus spinatus* (Hadding), *Yangtzeplacognathus crassus* (Chen and Zhang) (Figs. 2-5). This conodont fauna was recovered from six samples (4 from La Pola Creek, 1 from Don Braulio Creek and 1 from Cecilia Creek); the insoluble fraction of each sample was chosen for conodont recovery, ca. 1700 identifiable conodont elements. All elements are well preserved and have a colour alteration index of 4 (Epstein et al., 1977).

The record of the Y. crassus Zone in the mentioned sections in the Villicum range allows us to propose a fine correlation of the contact between the San Juan and Los Azules formations (and equivalent units such as the Las Aguaditas Formation) leading us to believe that it was diachronic during the Darriwilian, from the Y. crassus Zone to E. pseudoplanus Zone, where the younger top of the San Juan Formation is located in the central-western part of the Central Precordillera (Fig. 6).

Introducción

La Precordillera forma parte del Terreno compuesto de Cuyanía (Ramos, 1995), que es interpretado como un terrano alóctono o para-autóctono que se acrecionó al margen de Gondwana durante el Paleozoico (Keller, 1999; Thomas and Astini, 2003; Finney, 2007; Voldman et al., 2009).

El Ordovícico Inferior y Medio en la Precordillera está representado por los depósitos carbonáticos de la Formación San Juan y los depósitos mixtos-silico-clásticos de las Formaciones Gualcamayo, Los Azules y Las Aguaditas.

Recientes estudios sobre la conodontofauna de estas formaciones han brindado nuevos datos bioestratigráficos para distintos sectores de la Precordillera Central, Precordillera Oriental y la Precordillera de Mendoza, los que han permitido proponer un nuevo cuadro bioestratigráfico de conodontos con una fuerte afinidad con los cuadros correspondientes a Báltica y Centro-Sur de China (Heredia and Mestre, 2011, 2013; Heredia et al., 2009; Heredia, 2012; Mestre, 2012, 2013).

La Precordillera Oriental (Ortiz and Zambrano, 1981) se caracteriza por su estilo estructural retrovergente y por presentar depósitos carbonáticos cámbricos con

una importante continuidad en sentido norte-sur. Esta provincia geológica está conformada de norte a sur por la Sierra de Villicum, Sierra Chica de Zonda, Cerro de Los Berros y Sierra de Pedernal (Fig. 1).

La estratigrafía del Paleozoico Inferior de la Sierra de Villicum ha sido ampliamente tratada en la bibliografía específica (para una síntesis ver Peralta, 2003).

En el borde oriental de la Sierra de Villicum se verifica el pase transicional entre las formaciones San Juan y Los Azules. El techo de la Formación San Juan se caracteriza por *wackestone* bioclásticos intensamente bioturbados de color gris oscuro a negro con pátinas verdosas y *packstone-grainstone* bioclásticos de color gris oscuro a negro que presentan estructura lajosa. Los últimos 5 m de esta unidad presentan un rico y variado contenido paleontológico el que

fue estudiado por diferentes autores Baldis and Beresi (1981), Baldis and González (1986), Sánchez *et al.* (1996), Kröger *et al.* (2007), entre otros. La Formación Los Azules está caracterizada por pelitas negras y en su base se distinguen bancos carbonáticos lateralmente discontinuos que gradualmente pasan a nódulos, en esta unidad el contenido paleontológico está constituido esencialmente por graptolites los que en esta área han sido pobremente estudiados (Peralta 1993, 1995).

Sarmiento (1985, 1987) representa los primeros aportes sobre la bioestratigrafía de conodontos de los niveles cuspidales de la Formación San Juan y la base de la Formación Los Azules en las Quebrada de Don Braulio y La Pola, donde reconoce la Zona de "*Amorphognathus variabilis-Eoplacognathus pseudoplanus*".

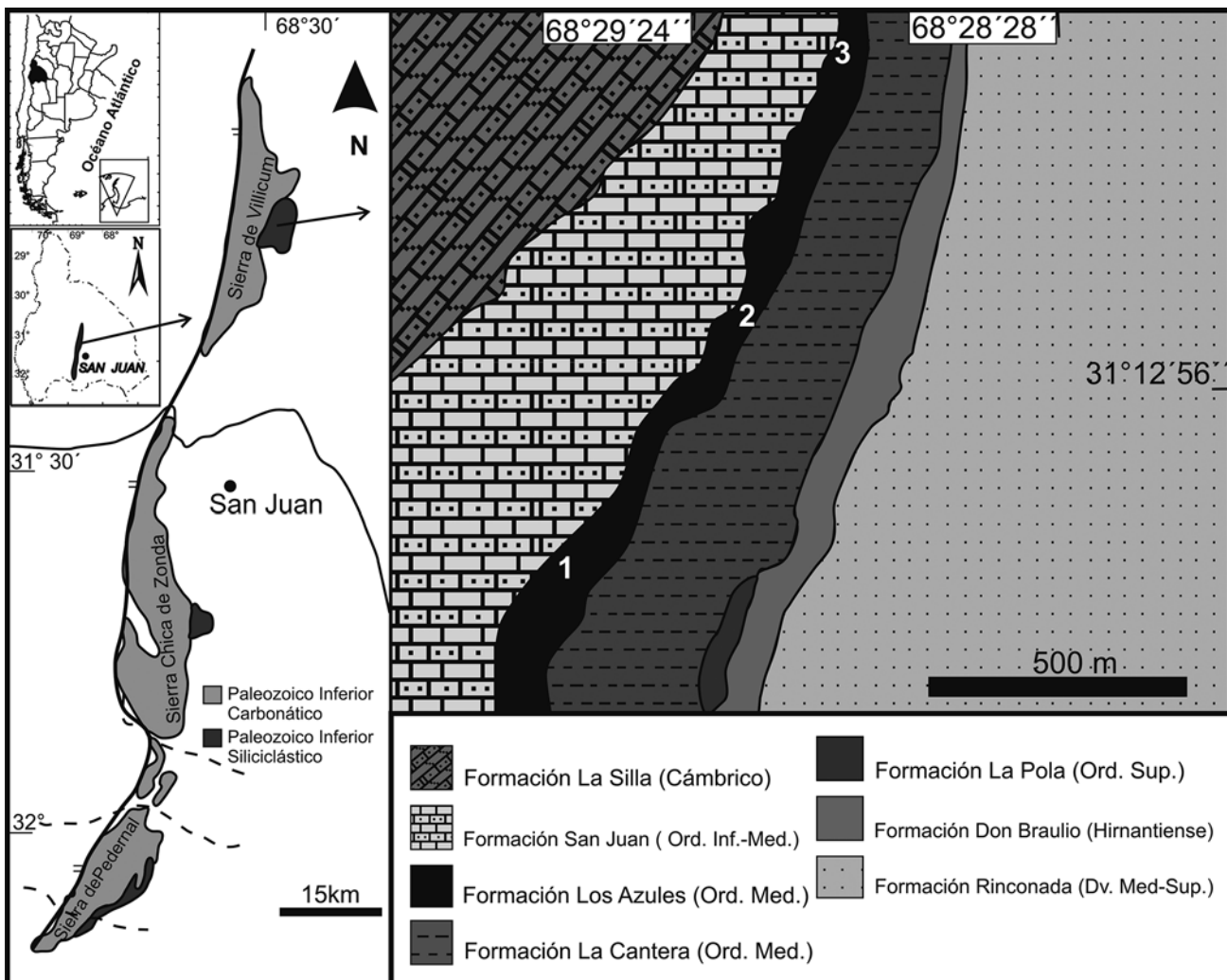


Figura 1. Mapa de ubicación de las secciones estudiadas sobre el borde oriental de la Sierra de Villicum. 1, Quebrada La Pola; 2, Quebrada Don Braulio; 3, Quebrada Cecilia.

Figure 1. Location map of the studied sections on the eastern flank of the Villicum Range. 1, La Pola Creek; 2, Don Braulio Creek; 3, Cecilia Creek.

Posteriormente, Sarmiento (1990, 1991) realiza una reinterpretación de esta conodontofauna determinando para estos niveles estratigráficos la Zona de *E. suecicus*. Recientemente, Mestre (2013) propone para este sector de la Precordillera Oriental la Zona de *Yangtzeplacognathus crassus*.

En la presente contribución se realiza un estudio detallado de la conodontofauna y de la bioestratigrafía del último metro de la Formación San Juan y los niveles inferiores de la Formación Los Azules en tres secciones del borde oriental de la Sierra de Villcum. Este estudio brinda precisiones sobre la ubicación bioestratigráfica de estos niveles en el contexto de la cuenca darriwiliense de la Precordillera, ofreciendo una nueva visión de su arquitectura para este momento.

Materiales y métodos

Se relevaron tres perfiles estratigráficos de detalle [La Pola, Don Braulio y Cecilia (Fig. 1)] del último metro de la Formación San Juan con el correspondiente muestreo de calizas, con un intervalo entre ellas del orden de 10–15 cm. En el miembro inferior de la Formación Los Azules las muestras fueron colectadas de forma aleatoria (Fig. 2).

Se procesaron alrededor de 15 kg de calizas, recuperándose cerca de 1 700 conodontos. Los mismos presentan un CAI de 4 ("*Color Alteration Index*" de Epstein *et al.*, 1977) y una buena conservación.

Las muestras fueron tratadas mediante los métodos convencionales de laboratorio, usando ácido fórmico al 10%, con el fin de aislar los elementos contenidos en las rocas (Stone, 1987). El residuo insoluble de las muestras fue recuperado mediante tamices N° 40, 80 y 120 (IRAM) y luego se separaron los conodontos bajo lupa binocular. Se obtuvieron microfotografías con el Microscopio Electrónico de barrido en el Servicio de Microscopía Electrónica del CCT-Mendoza (CONICET).

La colección de conodontos está depositada en el INGENIO, Universidad Nacional de San Juan, bajo las siglas INGENIO-MP.

Estratigrafía

En la presente contribución se ha estudiado en detalle el último metro de la Formación San Juan en tres secciones del flanco oriental de la Sierra de Villcum que en sentido sur-norte son Quebrada La Pola, Quebrada Don Braulio y Quebrada Cecilia (Fig. 1). Las características litofaciales y microfaciales del techo de la Formación

San Juan son similares en las tres secciones, estos niveles y la Formación Los Azules en su totalidad se encuentran intensamente deformados (replegados), debido principalmente a su comportamiento plástico que absorbe la mayor parte de la deformación que afecta el área.

Sección Quebrada La Pola (Fig. 2): El último metro de la Formación San Juan comienza con *wackestone* nodulares bioclásticos lajosos intensamente bioturbados de color gris oscuro a negro con una variada y abundante macrofauna: nautiloideos de grandes dimensiones, braquiópodos, trilobites, esponjas y placas y artejos de crinoideos (muestras TLP 1, 2). Hacia el tope aumenta el contenido de limo llegando a *mudstone*, con alto contenido de terrígenos y con estructura laminar. Por encima se observa un nivel de *grainstone* biolitoclástico con abundante macrofauna de color negro (TLP3) que rápidamente pasa a *mudstone* negros (TLP4). El tope está caracterizado por un nivel discontinuo de *grainstone* masivos de color gris claro a blanco sobre el que se depositan las primeras pelitas negras de la Formación Los Azules. En dicha unidad, se muestrearon de forma aleatoria nódulos carbonáticos con abundante macrofauna (LAz 3).

Sección Quebrada Don Braulio (Fig. 2): En esta sección se muestrearon los últimos 40 cm de la Formación San Juan que comienzan con *wackestone* nodulares negros con pátinas verdosas que pasan a *wackestone* nodulares pardo claro con abundante componente margoso y macrofauna (BDS1), continúan *grainstone* negros gradados que a la base presentan niveles de bioacumulación (DBS2) que pasan a *mudstone* negros finamente laminados. El tope de la unidad está caracterizado por un nivel de *grainstone* masivo de color gris claro a blanco sin macrofauna (DBS3). La Formación Los Azules comienza con niveles de pelitas negras con abundantes trilobites y graptolites.

Sección Quebrada Cecilia (Fig. 2): Los últimos 50 cm de la Formación San Juan en esta sección comienzan con *wackestone* nodulares de color gris oscuro a negro con pátinas verdes y naranjas con concentración de óxidos que presentan una intensa bioturbación. La macrofauna es muy abundante, dominada por nautiloideos de hasta 80 cm de longitud (Mestre *et al.*, 2013a), gasterópodos, braquiópodos y trilobites (C1 y C2). Hacia el tope se intercalan finos niveles de margas negras, sobre estos se deposita en contacto erosivo *grainstone* litobioclásticos gradados de color gris oscuro a negro, que pasan a términos más finos de *mudstone* en los que se observa la presencia de nódulos de óxidos de hierro discontinuos y con estructura botroidal (C3). Sobre estos niveles se apoya también en contacto erosivo *grainstone* gris claro a blanco, masivos y sin macrofauna (C4). Los primeros

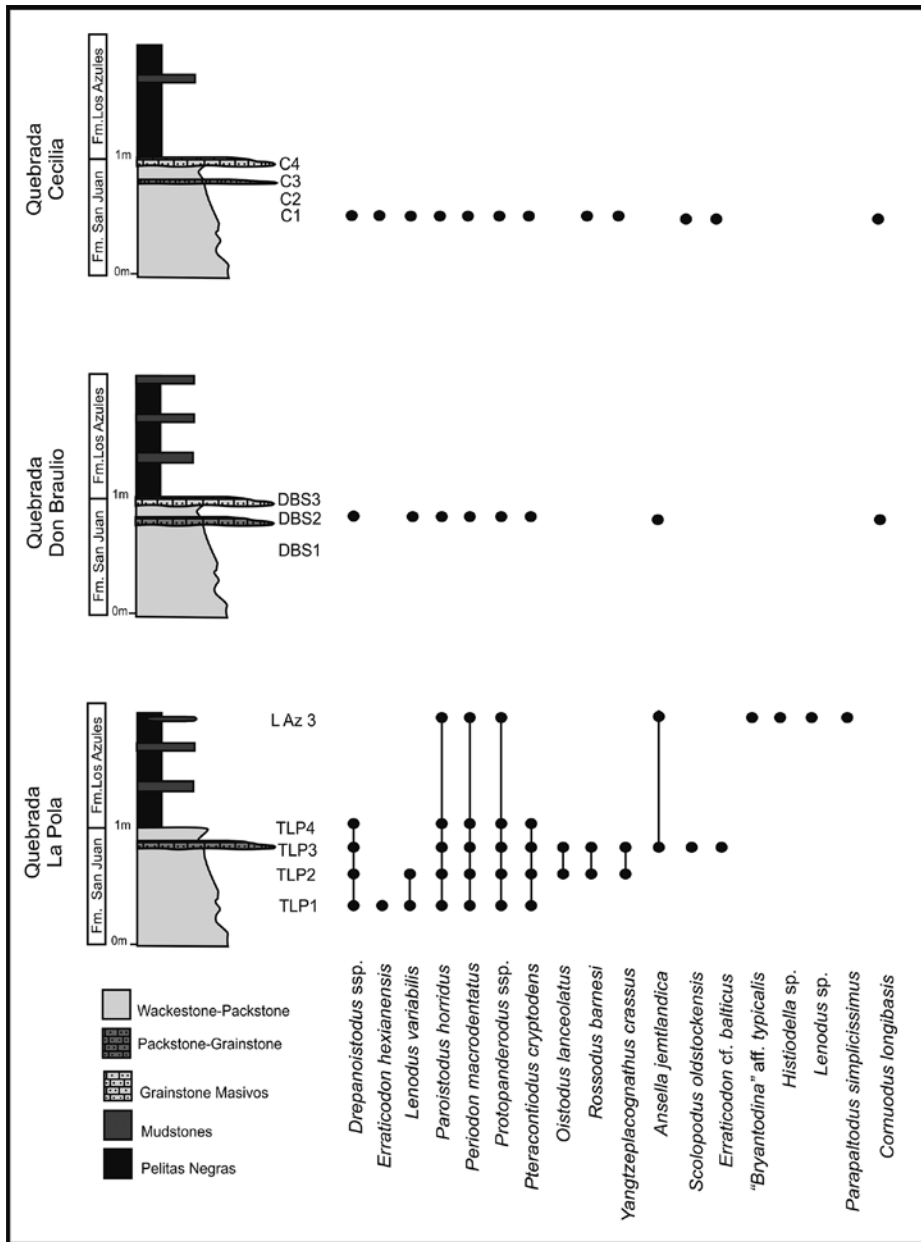


Figura 2. Perfiles estratigráficos del último metro de la Formación San Juan y la base de la Formación Los Azules, con la distribución vertical de las especies de conodontos identificadas.

Figure 2. Stratigraphical section of the last metre of the San Juan Formation and the lower levels of Los Azules Formation, showing the vertical distribution of the recorded species.

7 cm de la Formación Los Azules están conformados por pelitas negras muy fosilíferas que presentan como componente principal trilobites densamente empaquetados y en su mayoría desarticulados.

Conodontos

La fauna de conodontos recuperada de estas secciones está compuesta por: *Ansellia jemtlandica* (Löfgren); *Baltoniodus* sp.; "*Bryantodina*" aff. *typicalis* (Stauffer); *Cornuodus longibasis* (Lindström); *Drepanoistodus basiovalis* (Sergeeva); *Drepanoistodus bellburnensis* Stouge; *Drepanoistodus costatus*

(Abaimova); *Erraticodon cf. balticus* (Dzik); *Erraticodon hexianensis* An; *Fahraeusodus marathonensis* (Bradshaw); *Histiodelia* sp.; *Lenodus variabilis* (Sergeeva); *Lenodus* sp.; *Oistodus lanceolatus* Pander; *Parapaltodus simplicissimus* Stouge; *Paroistodus horridus* Barnes and Poplawski; *Paroistodus horridus primus* Albanesi; *Paroistodus horridus secundus* Albanesi; *Paroistodus originalis* (Sergeeva); *Periodon macrodentatus* (Graves and Ellison); *Protopanderodus calciatus* Stouge y Bagnoli; *Protopanderodus rectus* (Lindström); *Pteracontiodus cryptodens* Mound; *Rossodus barnesi* Albanesi; *Scolopodus oldstockensis* Stouge; *Yangtzeplacognathus crassus* (Chen and Zhang) (Figs. 2-5). La asociación identificada permite

asignar el último metro de la Formación San Juan y la parte inferior de la Formación Los Azules a la Zona de *Y. crassus*.

Paleontología sistemática

Para la realización de las descripciones taxonómicas se seleccionó un conjunto de taxones, teniendo en cuenta su valor bioestratigráfico y su importancia en el registro. En las listas sinonímicas se hace referencia solamente a los elementos previamente reconocidos para estos niveles estratigráficos del borde oriental de la Sierra de Villcum.

En este trabajo se aplica el sistema de notación convencional propuesto por Sweet (1981, 1988), que presenta las posiciones espaciales M, S y P, desde el extremo anterior al posterior del aparato multielemental, y las subposiciones de transición en simetría correspondientes.

Orden PRIONIODONTIDA Dzik, 1976
Superfamilia PRIONIODONTACEA Bassler, 1925
Familia BALOGNATHIDAE Hass, 1959
Género *Lenodus* Sergeeva, 1963
Especie tipo: *Lenodus clarus* Sergeeva, 1963.

Lenodus variabilis (Sergeeva, 1963)
Figura 3, 1-14.

- 1985 *Amorphognathus variabilis* Sergeeva. Sarmiento, lám. 1, figs 1-6.
1990 *Eoplacognathus variabilis* (Sergeeva). Sarmiento, lám. 4, figs. 1-3.
1991 *Eoplacognathus suecicus* Bergström. Sarmiento, lám. 1, figs. 14-15.
1991 *Amorphognathus?* Bergström. Sarmiento, lám. 1, figs. 16-19.
1991 *Eoplacognathus variabilis* (Sergeeva). Sarmiento, lám. 1, figs. 20-23.

Material.- 47 elementos, 3 Pa derechos, 3 Pb derechos, 2 Pb izquierdo, 2 Sa, 1 Sb, 1ScB y 4 M, 32 fragmentos. Sección Quebrada La Pola, TLP1: INGeo-MP 2503 (1), TLP2: INGeo-MP 2510 (1), TLP3: INGeo-MP 2523 (1-5); Sección Don Braulio, DBS2: INGeo-MP 2550 (1-4); Sección Quebrada Cecilia, C1: INGeo-MP 2559 (1-23).

Procedencia y edad.- Formación San Juan, Zona de *Y. crassus*.

Discusión.- Los elementos obtenidos del techo de la Formación San Juan en las secciones de la Sierra

de Villcum presentan características comparables con las observadas por Heredia and Mestre (2013a,b), Löfgren and Zhang (2003) y Zhang (1998).

En la presente colección se recuperaron todos los elementos del aparato septimembrado de esta especie, el elemento M reviste una importancia especial ya que en *L. variabilis* presenta una expansión en la base posterior que permite la asignación específica (Fig. 3, 4, 9-10), en la presente colección se distinguen al menos tres formas diferentes de elemento M, una con un marcado ángulo agudo entre la base posterior y la cúspide (Fig. 3, 4), otra con un ángulo casi de 90° entre la cúspide y la base posterior (Fig. 3, 9) y por último una forma con un ángulo intermedio y con dentículos en el borde anterior de la cúspide (Fig. 3, 10), estas variaciones morfológicas del elemento M también han sido observadas en los elementos ilustrados por Löfgren and Zhang (2003), Zhang (1998) y Mellgren and Eriksson (2010).

Género *Yangtzeplacognathus* Zhang, 1998
Especie tipo: *Polyplacognathus jianyeensis* An and Ding, 1982.

Yangtzeplacognathus crassus (Chen and Zhang, 1993; en Ding *et al.*, 1993)
Figura 4, 1-13.

- 1985 *Eoplacognathus psuedoplanus* (Viira). Sarmiento, lám. 1, figs. 7-10.
1990 *Eoplacognathus suecicus* Bergström. Sarmiento, lám. 4, figs. 5, 7.
1991 *Eoplacognathus suecicus* Bergström. Sarmiento, lám. 1, figs. 9-13.

Material.- 59 elementos, 3 Pa derechos, 2 Pa izquierdos, 2 Pb derechos, 5 Pb izquierdos, 2 Sa, 1 Sb, 1 ScA y 5 M, 37 fragmentos. Sección Quebrada La Pola, TLP2: INGeo-MP 2517 (1-7), TLP3: INGeo-MP 2531 (1-8); Sección Quebrada Cecilia, C1: INGeo-MP 2567 (1-26).

Procedencia y edad.- Formación San Juan, Zona de *Y. crassus*

Discusión.- El aparato multielemental de *Yangtzeplacognathus crassus* fue estructurado por Löfgren and Zhang (2003) conformando por siete elementos, Pa, Pb, Sa, Sb, ScA, ScB y M, con fuerte afinidades con los aparatos de *Lenodus* y *E. pseudoplanus*. En la presente colección se han recuperado todos los elementos excepto el ScB. La característica morfológica más sobresaliente de los elementos Pa, y que permite su asignación específica, es la inserción del proceso postero-lateral, el cual se inserta lejos de la cúspide en la

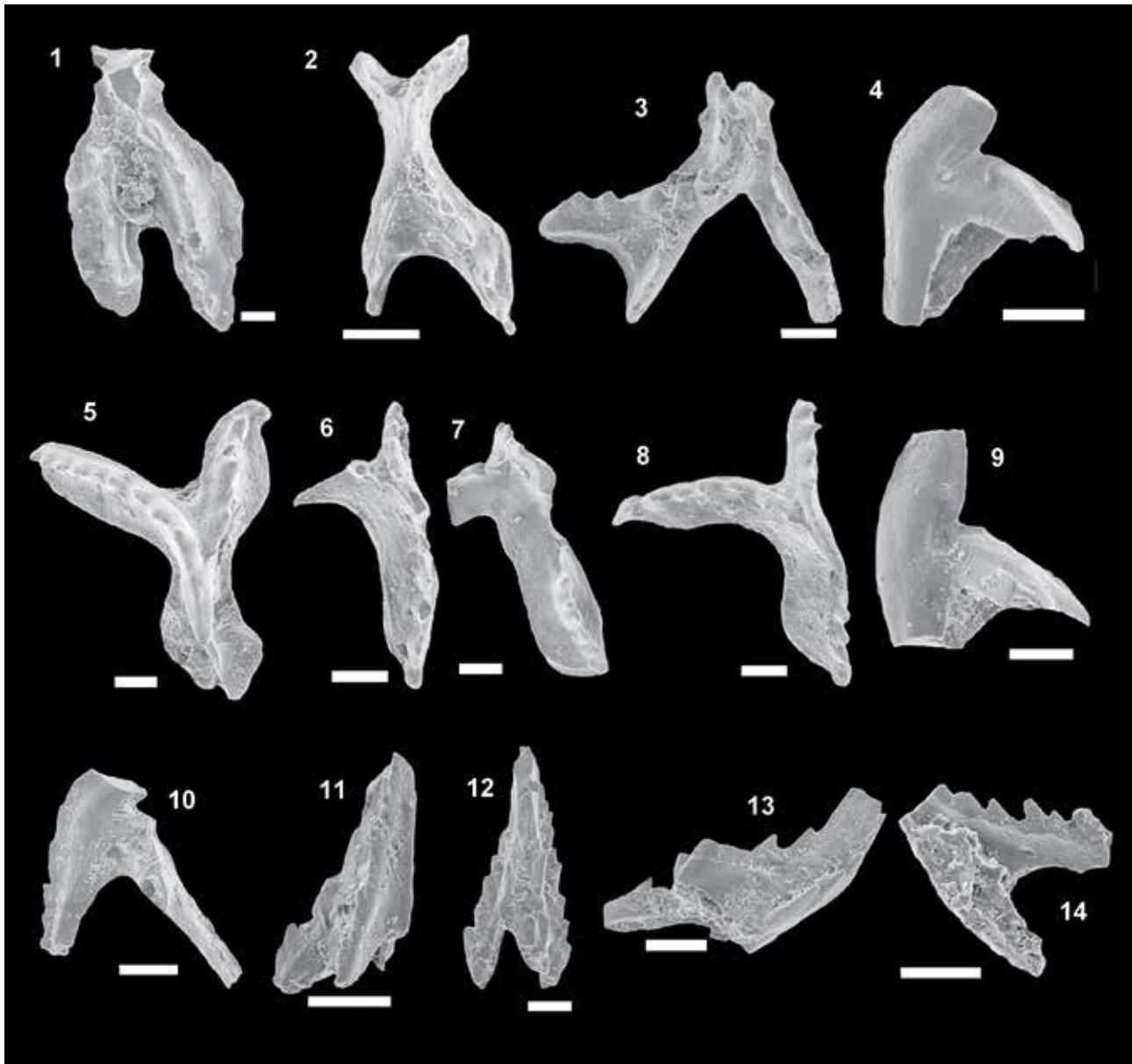


Figura 3. *Lenodus variabilis* (Sergeeva), microfotografías obtenidas mediante MEB, la escala gráfica representa 100 μ m, los elementos 1, 14 proceden de la muestra DBS2 (Quebrada Don Braulio) y 2-4, 6-13 de la muestra C1 (Quebrada Cecilia) y 5 de la muestra TLP3 (Quebrada La Pola) del techo de la Formación San Juan. **1-3**, elemento Pa derecho, vista oral; **1**, INGEO-MP-2550 (1); **2**, INGEO-MP-2559 (1); **3**, INGEO-MP-2559 (2), parte anterior del elemento; **4, 9-10**, elemento M, vista lateral; **4**, INGEO-MP-2559 (3); **9**, INGEO-MP-2559 (4); **10**, INGEO-MP-2559 (5); **5**, elemento Pb izquierdo, vista oral, INGEO-MP-2523 (1); **6-8**, elemento Pb derecho, vista oral, **6**, INGEO-MP-2559 (6); **7**, INGEO-MP-2559 (6); **8**, INGEO-MP-2559 (7); **11**, elemento Sa, vista lateral, INGEO-MP-2559 (8); **12**, elemento Sb, vista anterior, INGEO-MP-2559 (9); **13**, elemento ScA, vista antero-lateral, INGEO-MP-2559 (10); **14**, elemento ScB, vista lateral, INGEO-MP-2559 (11).

Figure 3. *Lenodus variabilis* (Sergeeva), scale bars represent 100 μ m, microphotographs obtained by SEM from the level DBS2 samples (Don Braulio Creek) elements 1, 14, C1 samples (Cecilia Creek) elements 2-4, 6-13 and TLP3 samples (La Pola Creek) element 5. **1-3**, Dextral Pa element, oral view; **1**, INGEO-MP-2550 (1); **2**, INGEO-MP-2559 (1); **3**, INGEO-MP-2559 (2), anterior part of the element; **4, 9-10**, M element, lateral view; **4**, INGEO-MP-2559 (3); **9**, INGEO-MP-2559 (4); **10**, INGEO-MP-2559 (5); **5**, sinistral Pb element, oral view, INGEO-MP-2523 (1); **6-8**, dextral Pb element, oral view, **6**, INGEO-MP-2559 (6); **7**, INGEO-MP-2559 (6); **8**, INGEO-MP-2559 (7); **11**, Sa element, lateral view, INGEO-MP-2559 (8); **12**, Sb element, anterior view, INGEO-MP-2559 (9); **13**, ScA element, antero-lateral view, INGEO-MP-2559 (10); **14**, ScB element, lateral view, INGEO-MP-2559 (11).

zona media del proceso posterior, y en donde generalmente se reconoce un denticulo de mayor tamaño que el resto (Fig. 4, 1,3-4). Otra carácter significativo es la

curvatura del proceso posterior hacia adentro (Fig. 4, 2) presente en algunos casos y propuesto por Zhang (1997) como una característica definitoria de la especie.

En los elementos Pb se observa una expansión en el borde distal de la plataforma del proceso posterior en la que se desarrollan en algunos casos grandes denticúlos. Zhang (1997) presenta los diferentes estadios ontogenéticos de *Y. crassus*, tanto para los elementos Pa como Pb derechos e izquierdos, exhibiendo una progresiva modificación morfológica; especialmente

con la generación de lóbulos y expansiones de las plataformas sobre los procesos desde los elementos juveniles hasta los gerontes. En los materiales estudiados es posible reconocer estos diferentes estadios (Fig. 4, 5-6). Los elementos M también presentan las variaciones morfológicas observadas en *Lenodus variabilis* (Fig. 5, 9, 13).

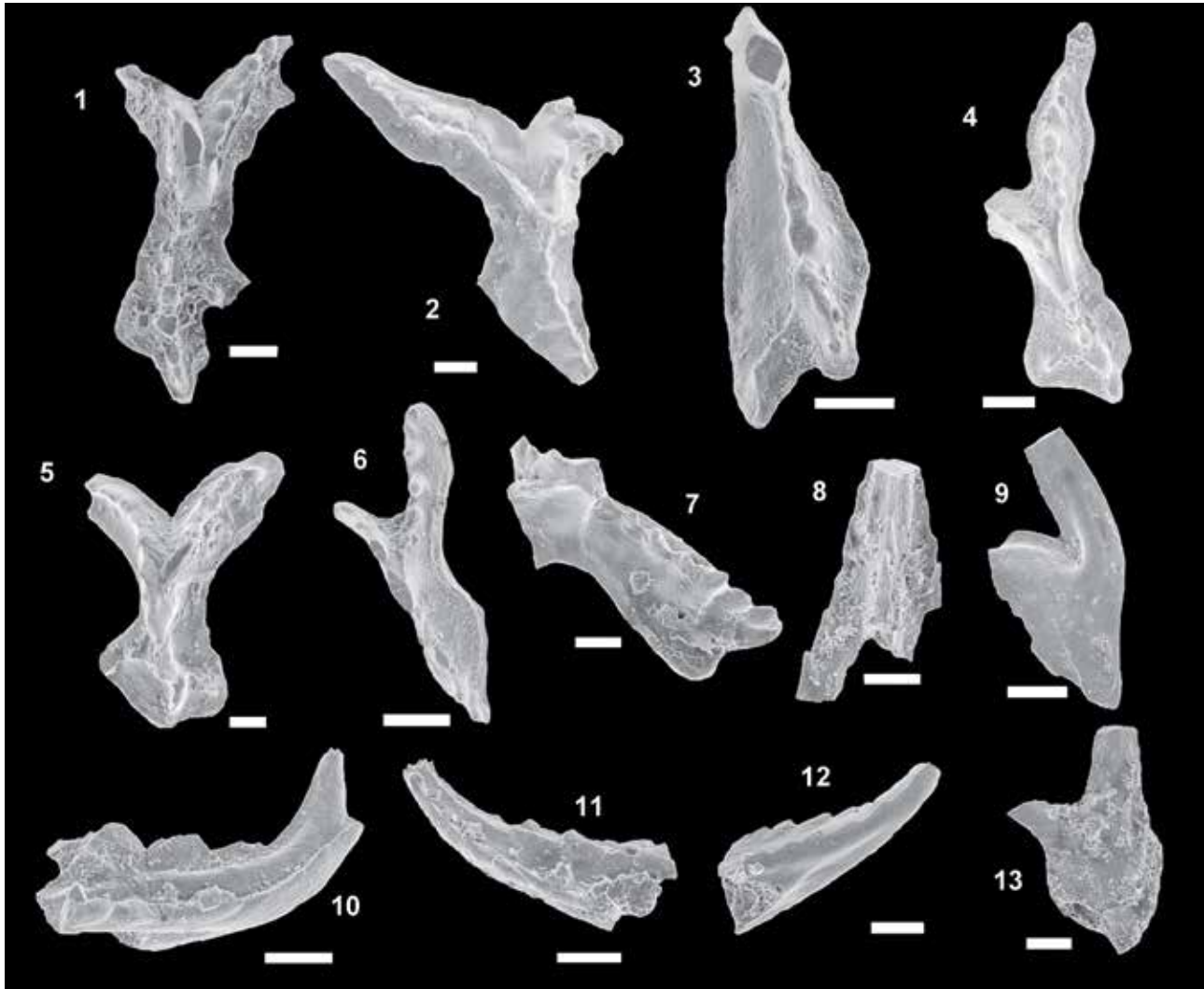


Figura 4. *Yangtzeplacognathus crassus* (Chen and Zhang) microfotografías obtenidas mediante MEB, la escala gráfica representa 100 μm . Elementos 12 proceden de la muestra DBS2 (Quebrada Don Braulio), y 1-3, 6-10 de la muestra C1 (Quebrada Cecilia) y 4-5, 11, 13 de la muestra TLP3 (Quebrada La Pola) del techo de la Formación San Juan. **1, 4**, elemento Pa izquierdo, vista oral; **1**, INGEO-MP-2567 (3); **4**, INGEO-MP-2531 (2); **2, 3**, elemento Pa derecho, vista oral; **2**, INGEO-MP-2567 (4); **3**, INGEO-MP-2567 (1); **5-6**, elemento Pb izquierdo, vista oral; **5**, forma geronte, INGEO-MP-2531 (1); **6**, forma juvenil, INGEO-MP-2567 (5); **7**, elemento Pb derecho, vista oral, INGEO-MP-2567 (6); **8**, elemento Sa, vista posterior, INGEO-MP-2567 (7); **9, 13**, elemento M, vista lateral, **9**, INGEO-MP-2567 (2); **13**, INGEO-MP-2531 (4); **10, 12**, elemento ScB, **10**, vista lateral, INGEO-MP-2567 (1), **12**, vista anterior, INGEO-MP-2531 (3); **11**, elemento Sb, vista lateral, INGEO-MP-2531 (4).

Figure 4. *Yangtzeplacognathus crassus* (Chen and Zhang), scale bars represent 100 μm , microphotographs obtained by SEM from the level DBS2 samples (Don Braulio Creek) elements 12, C1 samples (Cecilia Creek) elements 1-3, 6-10 and TLP3 samples (La Pola Creek) element 4-5, 11, 13. **1, 4**, sinistral Pa element, oral view; **1**, INGEO-MP-2567 (3); **4**, INGEO-MP-2531 (2); **2, 3**, dextral Pa element, oral view; **2**, INGEO-MP-2567 (4); **3**, INGEO-MP-2567 (1); **5-6**, sinistral Pb element, oral view; **5**, late form, INGEO-MP-2531 (1); **6**, juvenile form, INGEO-MP-2567 (5); **7**, dextral Pb element, oral view, INGEO-MP-2567 (6); **8**, Sa element, posterior view, INGEO-MP-2567 (7); **9, 13**, M element, lateral view, **9**, INGEO-MP-2567 (2); **13**, INGEO-MP-2531 (4); **10, 12**, ScB element, **10**, lateral view, INGEO-MP-2567 (1), **12**, anterior view, INGEO-MP-2531 (3); **11**, Sb element, lateral view, INGEO-MP-2531 (4).

Orden PRIONIODONTIDA Dzik, 1976
Superfamilia PRIONIODONTACEA Bassler, 1925
Familia ACONDONTIDAE Dzik, 1994
Género *Pteracontiodus* Harris and Harris, 1965
Especie tipo: *Pteracontiodus aquilatus* Harris and Harris, 1965.

Pteracontiodus cryptodens (Mound, 1965)
Figura 5, 1-7.

1998 *Pteracontiodus cryptodens* (Mound, 1965). Albanesi, lám. 10, figs. 25-32, fig. texto 21.

2010 *Pteracontiodus cryptodens* (Mound, 1965). Mestre, lám. 5, figs. A-E.

Material.- 82 elementos. Sección Quebrada La Pola, TLP1: INGEO-MP 2507 (1), TLP2: INGEO-MP 2515 (1-5), TLP3: INGEO-MP 2528 (1-20), TLP4: INGEO-MP 2538

(1-2); Sección Don Braulio, DBS2: INGEO-MP 2554 (1-2); Sección Quebrada Cecilia, C1: INGEO-MP 2564 (1-52).

Procedencia y edad.- Formación San Juan, Zona de *Y. crassus*.

Discusión.- Las formas hialinas presentan ligeras variaciones morfológicas, lo que hace la diferenciación entre *Triangulodus* Lindström y *Pteracontiodus* Harris and Harris, sea problemática como lo discuten Bauer (1987) y Stouge and Bagnoli (1990). El consenso en las investigaciones recientes sobre estos grupos es que la diferencia entre estos dos géneros está dado en el elemento P, por un lado *Triangulodus* presenta un elemento scandodiforme en esta posición, mientras *Pteracontiodus* exhibe un elemento acodiforme, pero sus elementos S y M son menos diagnósticos y en algunos casos indiferenciables.

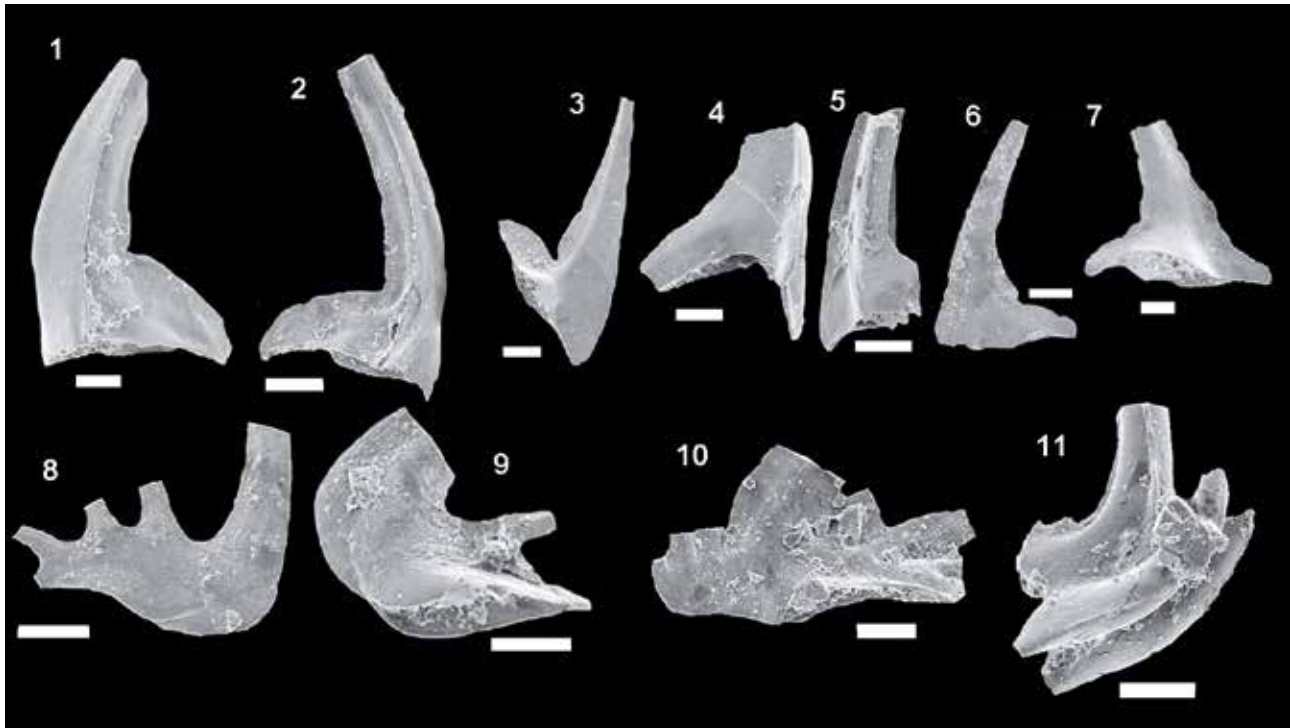


Figura 5. Microfotografías obtenidas mediante MEB, la escala gráfica representa 100 μ m. Elementos 1-10 de la muestra C1 (Quebrada Cecilia) y 11 de la muestra TLP1 (Quebrada La Pola) del techo de la Formación San Juan. **1-7, *Pteracontiodus cryptodens*** (Mound); **1-2**, elemento P, vista lateral; **1**, INGEO-MP-2564 (1); **2**, INGEO-MP-2564 (2); **3**, elemento M, vista lateral, INGEO-MP-2564 (3); **4**, elemento Sa, vista lateral, INGEO-MP-2564 (4); **5**, elemento Sb, vista antero-lateral, INGEO-MP-2564 (5); **6**, elemento Sc, vista lateral, INGEO-MP-2564 (6); **7**, elemento Sd, vista lateral, INGEO-MP-2564 (7); **8, *Parioistodus horridus*** Barnes and Poplawski, elemento P, vista lateral, INGEO-MP-2561 (1); **9, *Parioistodus horridus secundus*** Albanesi, elemento P, vista lateral, INGEO-MP-2561b (1); **10, *Periodon macrodentatus*** (Graves and Ellison), elemento P, vista lateral, INGEO-MP-2562 (1); **11, *Erraticodon hexianensis*** An, elemento Sa, vista lateral, INGEO-MP-2502 (1).

Figure 5. Scale bar represent 100 μ m; microphotographs obtained by SEM from the level C1 samples (Cecilia Creek) elements 1-10 and TLP1 samples (La Pola Creek) element 11. **1-7, *Pteracontiodus cryptodens*** (Mound); **1-2, P element, lateral view**, INGEO-MP-2564 (1); **2, INGEO-MP-2564 (2)**; **3, M element, lateral view**, INGEO-MP-2564 (3); **4, Sa element, lateral view**, INGEO-MP-2564 (4); **5, Sb element, antero-lateral view**, INGEO-MP-2564 (5); **6, Sc element, lateral view**, INGEO-MP-2564 (6); **7, Sd element, lateral view**, INGEO-MP-2564 (7); **8, *Parioistodus horridus*** Barnes and Poplawski, P element, lateral view, INGEO-MP-2561 (1); **9, *Parioistodus horridus secundus*** Albanesi, P element, lateral view, INGEO-MP-2561b (1); **10, *Periodon macrodentatus*** (Graves and Ellison), P element, lateral view, INGEO-MP-2562 (1); **11, *Erraticodon hexianensis*** An, Sa element, lateral view, INGEO-MP-2502 (1).

En el presente estudio se utiliza la nomenclatura propuesta por Sweet (1988) que interpreta el aparato de *Pteracotodus* constituido por un P (Pastinado modificado = Acodiforme), M (Geniculado = Oistodiforme) y elementos S simples con costillas que generan una serie de transición completamente desarrollada.

Discusión bioestratigráfica y correlación

En las secciones del borde oriental de la Sierra de Villicum los niveles cuspidales de la Formación San Juan y la base de la Formación Los Azules, presentan pocos y antiguos antecedentes sobre bioestratigrafía de conodontos, los que están representados por los aportes de Sarmiento (1985, 1987) quien reconoce la Zona de "*Amorphognathus variabilis-Eoplacognathus pseudoplanus*" para estos niveles y por Sarmiento (1990, 1991) que posteriormente realiza una reinterpretación de esta asociación de conodontos registrando para estos niveles estratigráficos la Zona de *E. suecicus*.

Recientes trabajos bioestratigráficos sobre la conodonto fauna del Darriwiliense medio de Precordillera Central, han permitido proponer un nuevo cuadro

bioestratigráfico para este lapso temporal, asimilando el mismo a los cuadros bioestratigráficos de Báltica y el Centro-Sur de China, incorporando desde la Zona de *L. variabilis* hasta la Zona de *E. suecicus* (Heredia and Mestre, 2011; Mestre, 2012; Heredia, 2012; Heredia and Mestre, 2013 a,b; Mestre and Heredia, 2013 a,b).

El hallazgo de las especies guías *L. variabilis* y *Y. crassus* en el último metro de la Formación San Juan en las secciones estudiadas permite reubicar bioestratigráficamente estas secciones en la Zona de *Y. crassus* (Mestre, 2013) y correlacionarlas con niveles estratigráficos coetáneos de la Formación San Juan en secciones de la Precordillera Central (Fig. 6).

Los datos bioestratigráficos presentados en este trabajo permiten correlacionar el techo de la Formación San Juan del borde oriental de la Sierra de Villicum, con el techo de esta formación en la Quebrada del Aluvión en el Cerro Viejo de Huaco (Mestre, 2010; Mestre *et al.*, 2013 a, b; Mestre and Heredia, 2013b) y con niveles ubicados a unos 5 m por debajo del tope de esta unidad en las secciones del Cerro La Chilca y río Las Chacritas donde el techo corresponde a la Zona de *Eoplacognathus pseudoplanus* (Mestre, 2012; Mestre and Heredia, 2013 a) (Fig. 6).

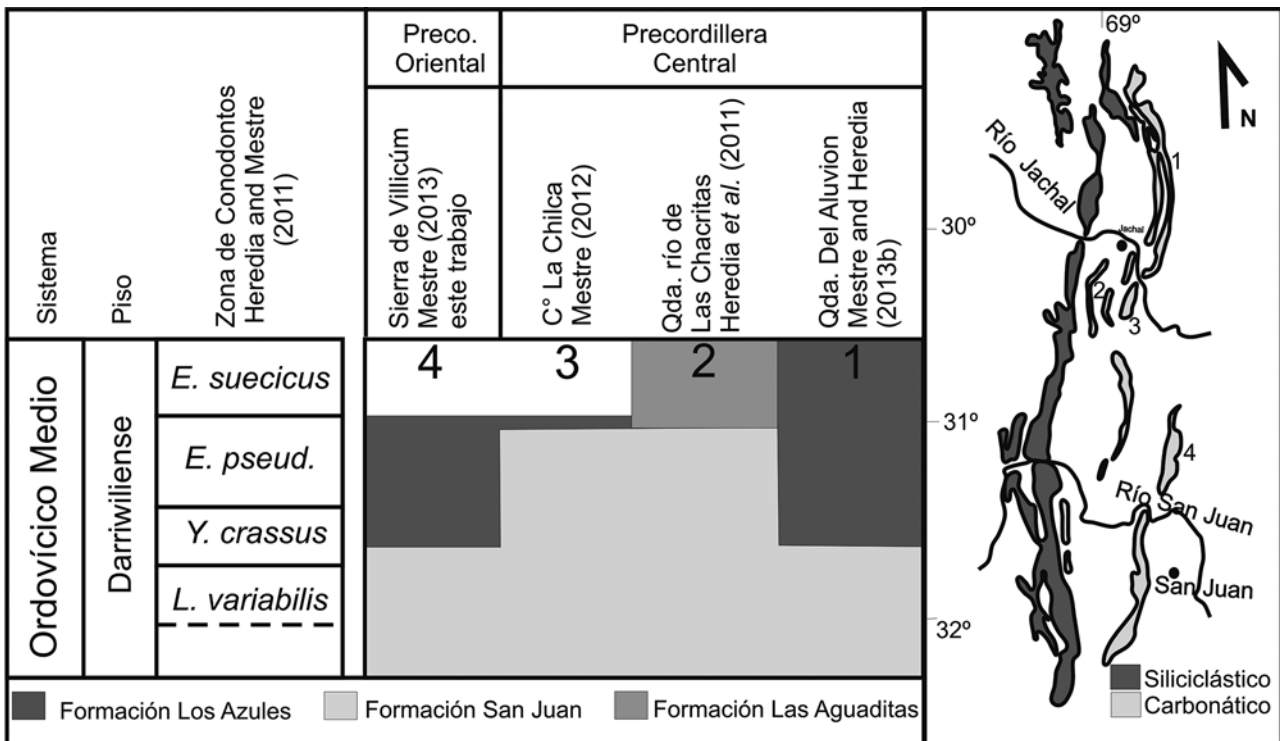


Figura 6. Cuadro de correlación del techo de la Formación San Juan entre las secciones de la Precordillera Oriental y las secciones de la Precordillera Central, que muestra el diaconismo, tanto en sentido sureste-noroeste como noreste-suroeste, del pase entre la Formación San Juan y las formaciones Los Azules y Las Aguaditas.

Figure 6. Stratigraphy correlation chart of the top of the San Juan formation between sections of the Eastern Precordillera and the section of the Central Precordillera, showing the diaconism between the San Juan Formation and the Los Azules and Las Aguaditas formations from southeast-northwest to northeast-southwest.

El análisis de esta información permite proponer que el contacto entre la Formación San Juan y las formaciones suprayacentes es diacrónico durante el Darriwiliense, tanto en sentido noreste-suroeste como sureste-noroeste, desde la Zona de *Y. crassus* hasta la Zona de *E. pseudoplanus*, estando ubicados los techos más jóvenes de la Formación San Juan en los sectores centro-occidentales de la Precordillera Central.

Agradecimientos

Al CONICET. A la Dra. Susana Heredia por su colaboración en las tareas de campaña, gabinete y por sus inestimables sugerencias. A las Dras. Graciela Sarmiento y Josefina Carlorosi por sus valiosas sugerencias sobre el manuscrito. A la Téc. Química M. González por su labor en laboratorio. Al Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis (MEByM) CCT CONICET-Mendoza.

Referencias

- Albanesi, G. 1998. Taxonomía de conodontes de las secuencias ordovícicas del Cerro Potrerillo, Precordillera Central de San Juan, República Argentina. *Academia Nacional de Ciencias*, Córdoba, XII, 99-253.
- An, T. and Ding, L. 1982. Preliminary studies and correlations on Ordovician conodonts from the Ningzhen Mountains, Nanjing, China. *Acta Petrolei Sinica*, 4, 1-12.
- Baldis, B., and Beresi, M. 1981. Biofacies de culminación del ciclo deposicional calcáreo del Arenigiano en el oeste de Argentina. *2º Congreso Latino-Americano Paleontología*, Porto Alegre, Brasil, I, 11-17.
- Baldis, B. and González, S.B. 1986. *Australoharpes precordilleranus* nov. sp. (trilobita, Ptychopariida, Harpidae) del Ordovícico Inferior de la Sierra de Villicum, (Provincia de San Juan, Argentina). *4º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, Actas 1, 59-73.
- Bassler R.S. 1925. Classification and stratigraphic use of the conodonts. *Geological Society of America, Bulletin*, 36, 218-220.
- Bauer, J.A. 1987. Conodonts and conodonts biostratigraphy of the McLinsh and Tulip Creek Formation (Middle Ordovician) of south-central Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Bulletin*, 141, 1-53.
- Ding, L., Chen, M., Zhang, J., Cao, H. and Bao, D. 1993. Cambrian to Ordovician conodonts. In: Ch. Wang (ed.), *Conodonts of lower Yangtze Valley – An index to Biostratigraphy and Organic Metamorphic Maturity*. Science Press, 155-214.
- Dzik, J. 1976. Remarks on the evolution of Ordovician conodonts. *Acta Palaeontologica Polonica*, 21, 395-455.
- Dzik, J. 1994. Conodonts of the Mójca Limestone. In: Dzik, J., Olempska, E., and Pisera, A. (eds.), *Ordovician carbonate platform ecosystem of the Holy Cross Mountain. Palaeontologica Polonica*, 53, 43-128.
- Epstein, A., Epstein, J., and Harris, L. 1977. Conodont color alteration - An Index to organic metamorphism. *United States Geological Survey Professional Paper*, 955, 1-27.
- Finney, S. 2007. A critical evaluation of evidence bearing on the Laurentian origin of the Cuyania terrane of Argentina. *Geologica Acta*, 5 (2), 127-158.
- Harris, R. and Harris, B. 1965. Some West Spring Creek (Ordovician Arbuckle) conodonts from Oklahoma. *Oklahoma Geology Notes*, 25, 34-47.
- Hass, S.H. 1959. Conodonts from the Chappel Limestones of Texas. *United States Geological Survey Professional Paper*, 294J, 364-400.
- Heredia, S. 2012. Bioestratigrafía de conodontes del Darriwiliense medio (Ordovícico) de Argentina: la Formación Las Aguaditas, Precordillera Central. *Revista Mexicana de Geología*, 29, 76-86.
- Heredia, S., and Mestre, A. 2011. Middle Darriwilian Conodont Biostratigraphy in the Argentine Precordillera. In: Gutiérrez Marco, J.C., Rábano, I., and García Bellido, D. (eds.), *Ordovician of the World*. Cuadernos del Museo Geominero 14, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 229-234.
- Heredia, S., and Mestre, A. 2013a. El conodontes darriwiliense *Lenodus variabilis* (Sergeeva) en la Precordillera Central de San Juan, Argentina. *Serie Correlación Geológica*, 29 (1), 89-100.
- Heredia, S. and Mestre, A. 2013b. Advances in the middle Darriwilian conodont biostratigraphy of the Argentine Precordillera. *Publicación Especial - Asociación Paleontológica Argentina*, 13, 45 - 48.
- Heredia, S., Beresi, M., and Mestre, A. 2009. La estratigrafía del Ordovícico Medio del río Las Chacritas, Precordillera Central de San Juan. *Serie Correlación Geológica*, 27, 18-26.
- 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.
- Kröger, B., Beresi, M., and Landing, E. 2007. Early orthoconeroid cephalopods from the Argentine Precordillera (Lower-Middle Ordovician). *Journal of Paleontology*, 81 (6), 1266-1283
- Löfgren, A. and Zhang J. 2003. Element association and morphology in some Middle Ordovician platform-equipped conodonts. *Journal of Paleontology*, 77, 723-739.
- Mellgren, J. and Eriksson, M. 2010. Untangling a Darriwilian (Middle Ordovician) palaeoecological event in Baltoscandia: conodont faunal changes across the 'Täljsten' interval. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 100, 353-370.
- Mestre, A. 2010. *Estratigrafía y bioestratigrafía de conodontes de la "Transición Cuspidal" de la Formación San Juan al sur del paralelo 30º, Precordillera de San Juan*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, 330 pp.
- Mestre, A. 2012. Bioestratigrafía de conodontes del techo de la Formación San Juan y el miembro inferior de la

- Formación Los Azules, Cerro La Chilca, Precordillera Central. *Ameghiniana*, 49 (2), 185-197.
- Mestre, A. 2013. Middle Darriwilian conodont biostratigraphy of the Villicum Range, Eastern Precordillera, Argentina. *Publicación Especial-Asociación Paleontológica Argentina* 13, 69-72.
- Mestre, A. and Heredia, S. 2013a. Biostratigraphic significance of Darriwilian conodonts from Sierra de La Trampa (Central Precordillera, San Juan, Argentina). *Geosciences Journal* 17 (1), 43 – 53. Doi 10.1007/s12303-013-0006-2.
- Mestre, A. and Heredia, S. 2013b. La Zona de *Yangtzeplacognathus crassus* (conodonta), Darriwiliano de la Precordillera central, San Juan, Argentina. *Ameghiniana* 50 (4), 407-417.
- Mestre, A., Beresi, M., and Heredia, S. 2013a. Nautiloid cephalopod concentration beds in the San Juan Formation (middle Darriwilian) of the Argentine Precordillera. *Publicación Especial-Asociación Paleontológica Argentina*, 13, 73 - 78.
- Mestre, A., Beresi, M., Heredia, S., and Nestell, G. 2013b. Microfossils of the *Yangtzeplacognathus crassus* Zone in the middle Darriwilian of the Argentine Precordillera. *Publicación Especial-Asociación Paleontológica Argentina*, 13, 79-84.
- Mound, M.C. 1965. A conodont fauna from the Joins Formation (Ordovician), Oklahoma. *Tulane Studies in Geology and Paleontology*, 4, 1-45.
- Ortiz, A. and Zambrano, J. 1981. La provincia geológica Precordillera Oriental. *VIII Congreso Geológico Argentino*, San Luis, Actas, 3, 9 – 74.
- Peralta, S.H. 1993. Estratigrafía y consideraciones paleoambientales de los depósitos marino clásticos eopaleozoicos de la Precordillera Oriental de San Juan. *12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Actas 1, 128-137.
- Peralta, S.H. 1995. La Formación Gualcamayo en la Sierra de Villacum: sus graptolitos y faunas asociadas. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*, 60 (3/4), 401-408.
- Peralta, S.H. 2003. Don Braulio Creek, Villicum Range and Rinconada Area, Chica de Zonda Range, Eastern Precordillera. In: Peralta, S., Albanesi, G., and Ortega, G. (eds), *Ordovician and Silurian of the Precordillera, San Juan Province, Argentina*. Field Trip Guide, 9º ISOS, 7º IGS and FMSSS. Instituto Superior de Correlaciones Geológicas, Miceláneas, 10, 23-43.
- Ramos, V.A. 1995. Sudamérica: un mosaico de continentes y océanos. *Ciencia Hoy*, 6 (32), 24-29.
- Sánchez, T., Carrera, M.G., and Benedetto, J.L. 1996. Variaciones faunísticas en el techo de la Formación San Juan (Ordovícico temprano, Precordillera Argentina): significado paleoambiental. *Ameghiniana*, 33 (2), 185-200.
- Sarmiento, G. 1985. La Biozona de *Amorphognathus variabilis-Eoplacognathus pseudoplanus* (Conodonta), Llanvirniano inferior, en el flanco oriental de la sierra de Villicum. *1º Jornadas Sobre Geología de Precordillera*, San Juan, actas 1, Serie "A", Monografías y Reuniones, No. 2, Asociación Geológica Argentina, 119-123.
- Sarmiento, G. 1987. *Bioestratigrafía y conodontes de la Formación San Juan (Ordovícico) aflorante en el flanco oriental de la sierra de Villicum, Provincia de San Juan, Argentina*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 336 pp.
- Sarmiento, G. 1990. Conodontos ordovícicos de Argentina. *Treballs del Museu de Geologia*, Barcelona, 1, 135-161.
- Sarmiento, G. 1991. Conodontos de la Zona Suecicus (Llanvirniano inferior) en la sierra de Villicum, Precordillera de San Juan, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 23 (3), 113-1132.
- Sergeeva, S.P. 1963. Conodonts from the Lower Ordovician in the Leningrad region [in Russian]. *Akademia Nauk SSSR. Paleontologičeskij žurnal*, 93-108.
- Stone, J. 1987. Review of investigative techniques used in the study of conodonts. In: Austin, R., (ed.), *Conodonts: Investigative Techniques and Applications*. Ellis Horwood Limited, Chichester, 17-34.
- Stouge, S. and Bagnoli, G. 1990. Lower Ordovician (Volkhovian – Kundan) conodonts from Hagudden, northern Öland, Sweden. *Palaeontographia Italica*, 77, 1-54.
- Sweet, W.C. 1981. Macromorphology of elements and apparatuses. In: Robinson, R. A. (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Pt. W, Miscellanea, Supplement 2, Conodonta. Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence, Kansas, 5-20.
- Sweet, W.C. 1988. The Conodonta: Morphology, Taxonomy, Paleoecology, and evolutionary history of a long-extinct animal phylum. *Oxford Monographs on Geology and Geophysics*, 10, Clarendon Press, New York, Oxford, 212 pp.
- Thomas, W.A. and Astini, R.A. 2003. Ordovician accretion of the Argentine Precordillera terrane to Gondwana: a review. *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 67-79.
- Voldman, G., Albanesi, G., and Ramos, V. 2009. Ordovician metamorphic event in the carbonate platform of Argentine Precordillera: Implications for the geotectonic evolution of the proto-Andean margin of Gondwana. *Geology*, 37, 4, 311-314
- Zhang, J. 1997. The Middle Ordovician conodont *Eoplacognathus crassus* Chen and Zhang, 1993. *GFF*, 119, 61-65.
- Zhang, J. 1998. Conodonts from the Guniutan Formation (Llanvirnian) in Hubei and Hunan Provinces, south-central China. *Stockholm Contributions in Geology*, 46, 1-161.

Recibido: octubre 2013

Revisado: noviembre 2013

Aceptado: diciembre 2013

Publicado: febrero 2014