

Trilobites agnóstidos del Cámbrico Tardío de la Sierra de Famatina (La Rioja, Argentina). Significado bioestratigráfico y paleoambiental

M. Franco TORTELLO¹ y Susana B. ESTEBAN²

Abstract: LATE CAMBRIAN AGNOSTOID TRILOBITES FROM THE FAMATINA RANGE (LA RIOJA, ARGENTINA). BIOSTRATIGRAPHIC AND PALEOENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE. Guillermo Bodenbender (1916) firstly collected fossils ("Agnostus", "Obolus") from the Filo Azul Member of the Volcancito Formation at Río Volcancito (Famatina Range, La Rioja Province), and tentatively assigned the unit to the "Upper Cambrian or Lower Ordovician". Recent studies have demonstrated that the Cambrian-Ordovician transition is well represented at Río Volcancito. The lower part of the section is composed of dark-coloured marls and shales with Late Cambrian trilobites (e.g., agnostoids and olenids), whereas the upper part is mainly composed of green shales containing the Lower Tremadocian *Jujuyaspis keideli* and *Rhabdinopora*. The agnostoids *Lotagnostus* (*Lotagnostus*) sp., *Micragnostus vilonii* Harrington and Leanza, *Pseudorhaptagnostus* (*Machairagnostus*) *tmetus* Harrington and Leanza, *P.* (*Machairagnostus*) *corrugatus* (Suárez-Soruco), *Gymnagnostus perinflatus* (Harrington and Leanza) and *G. bolivianus* (Hoek) have proved to have great biostratigraphic value as guide fossils for the uppermost Cambrian. They are especially diverse in beds deposited under low-oxygen conditions, a fact that could denote a benthic or nekto-benthic mode of life in a nutrient rich environment.

Resumen: LOS TRILOBITES AGNÓSTIDOS DEL CÁMBRICO TARDÍO DE LA SIERRA DE FAMATINA (LA RIOJA, ARGENTINA). SIGNIFICADO BIOESTRATIGRÁFICO Y PALEOAMBIENTAL. Guillermo Bodenbender (1916) fue el primero que coleccionó fósiles ("Agnostus", "Obolus") en el Miembro Filo Azul de la Formación Volcancito (sierra de Famatina, La Rioja), asignando tentativamente esta unidad al "Cámbrico Superior u Ordovícico Inferior". Estudios posteriores demostraron que la transición Cámbrico-Ordovícico se encuentra bien representada en el Río Volcancito. Las margas oscuras y lutitas de la parte inferior de la sección contienen una fauna de trilobites del Cámbrico Tardío (agnóstidos y olenidos), mientras que las pelitas verdes del tramo superior contienen *Jujuyaspis keideli* y *Rhabdinopora* del Tremadociano Inferior. Los agnóstidos *Lotagnostus* (*Lotagnostus*) sp., *Micragnostus vilonii* Harrington and Leanza, *Pseudorhaptagnostus* (*Machairagnostus*) *tmetus* Harrington and Leanza, *P.* (*Machairagnostus*) *corrugatus* (Suárez-Soruco), *Gymnagnostus perinflatus* (Harrington and Leanza) y *G. bolivianus* (Hoek) hallados en esta localidad tienen un gran valor bioestratigráfico para el Cámbrico Tardío. Ellos son especialmente diversos en sedimentos depositados bajo condiciones deficientes en oxígeno, hecho que puede indicar un modo de vida nectobentónico o bentónico en un ambiente rico en nutrientes.

Key words: Trilobita. Agnostida. Latest Cambrian. Volcancito Formation. La Rioja. Argentina. Biostratigraphy. Paleoenvironment.

Palabras clave: Trilobita. Agnostida. Cámbrico Tardío alto. Formación Volcancito. La Rioja. Argentina. Bioestratigrafía. Paleambiente.

¹ Departamento Científico Paleontología Invertebrados, Museo de Ciencias Naturales, Paseo del Bosque s/nº, 1900 La Plata, Argentina. E-mail: tortello@museo.fcaym.unlp.edu.ar

² Instituto Superior de Correlación Geológica, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, 4000 Tucumán, Argentina. E-mail: insugeo@csnat.unt.edu.ar

Introducción

El Miembro Filo Azul de la Formación Volcancito aflora sobre el río Volcancito en el sector medio de la sierra de Famatina, en la Provincia de La Rioja (e.g. Harrington *in* Harrington y Leanza, 1957; Esteban, 1999, 2002, 2003; Albanesi *et al.*, 2005). Las primeras referencias sobre esta sección se remontan al inicio del siglo XX, ocasión en que Guillermo Bodenbender (1916) describió su litología, coleccionó los primeros fósiles (“...calizas, entre esquistos, con trilobites y braquiópodos muy deformados...”) y asignó una edad “Cámbrico Superior o Silúrico (= *Ordovícico*) Inferior”. Aunque no realizó un estudio sistemático profundo de los trilobites obtenidos, Bodenbender destacó la importancia de los agnóstidos, que refirió tentativamente al género “*Agnostus*” (taxón de definición muy amplia en la época), e interpretó correctamente las relaciones estratigráficas del perfil respecto de secciones vecinas.

Estudios paleontológicos posteriores confirmaron que la transición Cámbrico-Ordovícico se encuentra bien representada en la sección Río Volcancito (Tortello y Esteban, 1997, 1998, 1999; Esteban, 1999; 2002; Albanesi *et al.*, 1999, 2005). Las margas y areniscas limosas de la parte inferior contienen una fauna diversa dominada por trilobites agnóstidos y olénidos del Cámbrico Tardío alto, mientras que las pelitas del tramo superior, asignadas al Ordovícico Temprano, incluyen los fósiles guía *Jujuyaspis keideli* y *Rhabdinopora flabelliformis*. Los agnóstidos de este perfil constituyen un grupo singular por cuanto proporcionan información bioestratigráfica de gran valor, la que se compendia en el presente artículo. Mediante un estudio integrado de la sedimentología y las facies representadas en la sección, también se aporta evidencia sobre el significado paleoambiental y el posible hábito de vida de estos organismos.

La Sección Río Volcancito

UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ESTRATIGRÁFICA

El área motivo de estudio se encuentra ubicada en el flanco oriental de la sierra de Famatina, aproximadamente 24 km al noroeste de la localidad de Famatina, en la Provincia de La Rioja (Figura 1). Sobre la margen izquierda del Río Volcancito, 1.500 m aguas abajo del puesto homónimo, aflora una secuencia de alrededor de 160 m de espesor correspondiente al tramo inferior de la Formación Volcancito (Miembro Filo Azul, Esteban 1999; Albanesi *et al.*, 2005). La misma representa el perfil clásico mencionado por Harrington (*in* Harrington y Leanza, 1957) cuando define dicha unidad litoestratigráfica.

El Miembro Filo Azul está delimitado en su base por una falla que lo pone en contacto con rocas metamórficas más antiguas correspondientes a la Formación Negro Peinado (Turner, 1960), mientras que hacia el techo pasa a una secuencia potente de lutitas negras graptolíticas correspondiente al Miembro Peña Negra de la Formación Volcancito (Esteban 1999; Albanesi *et al.*, 2005).

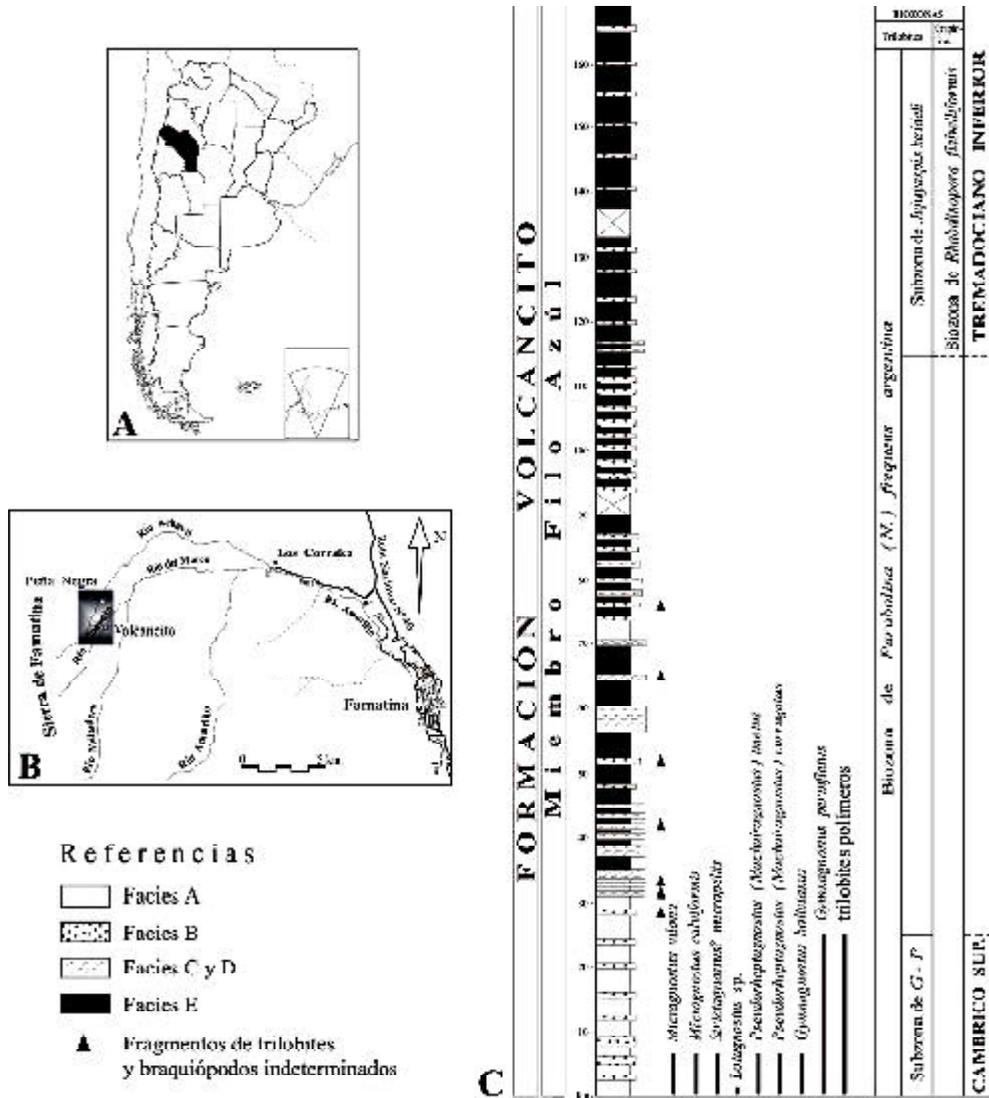


Fig. 1. A-B. mapa de ubicación. C. columna estratigráfica del Miembro Filo Azul de la Formación Volcancito en la localidad tipo, con el rango temporal de las faunas de trilobites agnóstidos.

GEOLOGÍA SEDIMENTARIA

Desde el punto de vista sedimentológico, el Miembro Filo Azul comprende de base a techo tres intervalos con características composicionales y faunísticas marcadas que permiten inferir importantes cambios en las condiciones ambientales durante su depositación.

El tramo inferior presenta 30 m de espesor de margas finamente laminadas (Facies A) intercaladas con delgados bancos de areniscas muy finas limosas (Facies B).

La Facies A está constituida por margas silicificadas, de color gris oscuro, cuya estructura dominante es la laminación paralela muy fina. La geometría de los depósitos es tabular, con base y techo

netos. Cercana a la base de la secuencia, esta facies preserva una abundante fauna de trilobites asociada a escasos braquiópodos articulados e inarticulados representados en su mayoría por valvas desarticuladas.

La facies A es interpretada como depositada a partir de un proceso de decantación del material en suspensión en aguas relativamente profundas de la plataforma, con fluctuaciones en el aporte del sedimento en suspensión que da origen a la fina laminación (O'Brien, 1990). La preservación en esta facies de la fina laminación puede ser adjudicada a la falta de organismos perturbadores del sedimento, relacionado posiblemente a problemas de oxigenación en el fondo marino. No obstante, la coloración levemente más verdosa de las rocas podría estar indicando un nivel de oxígeno disuelto relativamente bajo, pero sin llegar a condiciones totalmente anóxicas (cf. «biofacies exaeróbica» de Bottjer y Savrda, 1993). La facies B comprende areniscas muy finas limosas, de color gris oscuro a gris claro. Presentan estratificación delgada, en bancos de 2 a 10 cm de espesor, contactos netos y geometría tabular. Las bases suelen ser planas u onduladas, en tanto que los techos exhiben ondulitas asimétricas. Generalmente son masivos en la base y finamente laminados, con laminación plano-paralela hacia el techo. Es importante destacar en esta facies la abundancia de sulfuros, los cuales pueden estar concentrados formando delgadas láminas o bien diseminados dentro de las capas.

La presencia de una laminación plano paralela predominante, superpuesta en la mayoría de los casos a un intervalo masivo, puede indicar para esta facies una depositación a partir de un flujo unidireccional episódico y de corta duración. Depósitos de este tipo han sido interpretados por Brenchley (1985) como "turbiditas inducidas por tormenta", en presencia de corrientes de turbidez generadas por la licuefacción de las arenas en la zona del "shoreface" (Hamblin y Walker 1979; Walker *et al.*, 1983 y Walker, 1983, 1985).

El tramo medio del perfil corresponde a 85 m constituidos por bancos más potentes de areniscas carbonáticas muy finas a gruesas (Facies C y D) con escasas intercalaciones de pelitas (Facies E) y margas (Facies A).

La facies C corresponde a areniscas carbonáticas grises medianas a gruesas, sin estructura interna. Los estratos, de 5 a 20 cm de espesor, son generalmente continuos, aunque a veces se adelgazan lateralmente constituyendo lentes. Presentan bases netas y topes con suave ondulación pero con amplia longitud de onda. Estas capas contienen abundantes fragmentos de trilobites y braquiópodos indeterminados.

La falta de estructuras sedimentarias en estas capas, sugieren un modo de emplazamiento rápido, posiblemente a partir de flujos gravitatorios de detritos que han transportado material depositado bajo condiciones metaestables en sectores proximales de la cuenca (Einsele, 1991). La ausencia de estructuras de deformación y de escape de fluidos, permite descartar la existencia de procesos de fluidización o licuefacción en los sedimentos. Los topes ondulados con amplia longitud de onda, que permiten considerar a estos niveles como de tipo «hummock», sugieren una interacción entre flujos gravitatorios y retrabajo oscilatorio por tormentas (Esteban, 1999).

La facies D está constituida por areniscas carbonáticas de grano fino a muy fino y limolitas de grano grueso cuyo rasgo diagnóstico es la presencia de estratificación entrecruzada hummocky. Esta facies se presenta en forma de estratos delgados de 5 a 15 cm de espesor, con contactos netos y geometría lenticular. La amalgamación no es un rasgo común y los estratos se encuentran intercalados con pelitas laminadas oscuras semejantes a las de la facies E.

En las últimas décadas, se ha interpretado a los estratos arenosos con estratificación entrecruzada hummocky como el producto de corrientes y olas generadas por tormentas. La presencia de capas delgadas con estratificación entrecruzada hummocky, la escasa amalgamación y la ausencia de ondulitas de olas en el techo sugieren una posición relativamente distal para estos depósitos (tempestitas distales), ligeramente por encima del nivel de olas de tormenta (Brenchley *et al.*, 1986).

El tramo superior del perfil comprende 50 m de pelitas (Facies E) que alternan mayormente con delgados bancos de areniscas muy finas (Facies B). En este sector se han identificado trilobites correspondientes a *Jujuyaspis keideli* y graptolitos del grupo de *Rhabdinopora flabelliformis* (Tortello y Esteban, 1998, 1999).

La facies E consiste de pelitas de color verde grisáceo, masivas o con laminación paralela muy fina. Esta facies se presenta como paquetes de 2 metros o más de espesor, en el tramo inferior y superior de la secuencia de Río Volcancito. También forman niveles muy delgados, como los que separan los bancos arenosos de la facies C en el tramo medio del perfil.

Esta facies representa depositación por decantación a partir de material fino en suspensión, mayormente en ausencia de corrientes y olas. La presencia de bancos arenosos intercalados, indica que el proceso de decantación alternaría con momentos de sedimentación episódica, a partir de corrientes inducidas por tormentas. Si bien la depositación de esta facies habría tenido lugar mayormente por debajo del nivel de base de olas de tormenta dentro de la plataforma externa, la presencia de pelitas masivas y de rabdosomas a veces fragmentados sugieren un ambiente de moderada energía.

MODELO DEPOSITACIONAL

Las facies antes mencionadas pueden ser agrupadas en dos asociaciones que representan dos subambientes dentro de un sistema de plataforma. La asociación de facies 1 corresponde a una plataforma externa, en tanto que la asociación de facies 2 representa una zona con caracteres transicionales hacia una plataforma interna.

La asociación de facies 1 está integrada por margas finamente laminadas (Facies A) y pelitas masivas o laminadas (Facies E) con intercalaciones delgadas de areniscas muy finas limosas masivas y/o laminadas de espesores variables (Facies B). Dicha asociación es observada en el tramo inferior y superior de la sección de Río Volcancito, y en ella predomina una litología fina. La asociación de facies 2 incluye bancos de areniscas carbonáticas medianas a gruesas masivas (Facies C) y areniscas carbonáticas y limolitas con estratificación entrecruzada hummocky (Facies D) con pelitas masivas y laminadas (Facies E) subordinadas. La misma se encuentra principalmente representada en tramos medios de la sección estudiada y está caracterizada por la presencia de sedimentos de grano más grueso.

La disposición de las facies en la asociación 1 sugiere que la depositación del material en suspensión, fue interrumpida en distintos momentos por depósitos arenosos de génesis episódica. La falta de estructuras indicadoras de retrabajo por parte de las olas en los depósitos de evento y la abundancia de material pelítico, permite inferir para esta asociación una depositación por debajo del nivel de base de olas de tormenta en la plataforma externa. Los datos obtenidos a partir del estudio de la laminación de las facies de grano fino, son coincidentes con un proceso de decantación en aguas tranquilas y relativamente profundas de la plataforma (Esteban, 2003).

La asociación 2, en donde se observan los primeros depósitos con caracteres distintivos de tempestitas (Facies D) asociados a flujos coquinoideos (Facies C), indica una mayor energía del medio y una clara evidencia de depositación bajo la influencia de las olas. Dichas tempestitas son consideradas principalmente distales con respecto al "shoreface" como lo indica la estratificación entrecruzada hummocky de muy bajo ángulo, el espesor delgado de los bancos, la ausencia de amalgamación y el incremento en la proporción de pelitas entre bancos. En este sector de la plataforma, el porcentaje de pelita decrece con respecto a la plataforma externa y los fósiles están fragmentados indicando una zona menos profunda y de mayor energía.

Un cambio importante en la composición de los sedimentos es observado a través de la secuencia de Río Volcancito. En el tramo inferior a medio son principalmente carbonáticos, en tanto que hacia el tramo superior se vuelven mayormente siliciclásticos. Este cambio composicional va acom-

pañado de una variación en el color especialmente de los sedimentos finos, los cuales presentan una coloración mayormente oscura hacia abajo y verdosa en la parte superior de la secuencia. La diferencia en el color estaría evidenciando variaciones en las condiciones de oxigenación de la cuenca, con los niveles más bajos de oxígeno hacia la base donde se preserva abundante materia orgánica. La presencia de numerosos niveles de sulfuro de hierro y la ausencia de organismos bioturbadores en este tramo, constituyen otras evidencias a favor de un bajo nivel de oxígeno, tanto en el sedimento como posiblemente en las aguas de fondo (Esteban, 2003). Mayores concentraciones de oxígeno disuelto son esperadas para el tramo superior de la secuencia, donde los depósitos se vuelven más verdosos y la materia orgánica es escasa.

La materia orgánica presente en las facies finas del Miembro Filo Azul ha sido atribuida tanto a un origen planctónico como bentónico. En el primer caso, las partículas orgánicas se acumulan por decantación formando las láminas paralelas finas observadas en la mayoría de los niveles, margosos. En tanto que, el desarrollo de tapetes microbiales en el fondo marino ha sido considerado como la causa más probable de la laminación ondulosa presente en algunos de estos niveles especialmente para el tramo inferior. La observación al microscopio electrónico de estas rocas ha permitido identificar abundantes filamentos de calcita de hasta (μm) en diámetro asignados a microorganismos filamentosos, (Esteban, 2003). El modelo de tapetes microbiales ha sido utilizado por diversos autores para explicar la laminación ondulosa en facies lutíticas tanto modernas (Bauld, 1981) como antiguas (Kauffman, 1981; Schieber, 1986). La ausencia de bioturbación y la coloración oscura de los estratos conteniendo la laminación ondulosa en el perfil de Río Volcancito, podrían sugerir comunidades microbiales dominadas por organismos anaeróbicos.

Los trilobites agnóstidos de Río Volcancito

Con posterioridad a los trabajos pioneros de Bodenbender (1916), Harrington (1938) realizó un estudio sistemático profundo de los trilobites del Miembro Filo Azul, que fue complementado luego por Harrington y Leanza (1957). Las faunas fueron asignadas a la Biozona de *Parabolina* (*Neoparabolina*) *frequens argentina* (Cámbrico Tardío-Ordovícico Temprano). En la década del setenta Toselli (1977) coleccionó nuevos ejemplares de la base de la sección. Más recientemente, Tortello y Esteban (1997, 1998, 1999) revisaron material adicional y evaluaron sus implicancias estratigráficas.

A continuación se mencionan las especies de agnóstidos mejor representadas en el tramo inferior de la sección (Tortello y Esteban, 1999) (Figura 2):

- ***Lotagnostus* (*Lotagnostus*)** sp. (Figura 2.1). Este subgénero suele alcanzar un tamaño relativamente grande. El céfalo ilustrado presenta una glabela larga y angosta, lóbulos basales elongados, un surco preglabellar mediano, genas sin ornamentación, y un borde angosto. Aunque el material es muy escaso, reviste especial interés por su elevado valor estratigráfico (véase abajo).

- ***Micragnostus calviformis*** Harrington y Leanza (Figura 2.3-2.4). Especie caracterizada por su alta convexidad, el contorno sub-elíptico del céfalo y del pigidio, una anteroglabela pequeña, el posteroaxis relativamente largo y espinas posterolaterales muy pequeñas, apenas esbozadas. El taxón está representado por un buen número de ejemplares. Hasta el presente, sólo fue descrito en el Río Volcancito. El material originalmente citado por Bodenbender (1912) como "*Agnostus*" correspondería a *M. calviformis*.

- ***Micragnostus vilonii*** Harrington y Leanza (Figura 2.2). Especie signada por su glabela de lados subparalelos, la anteroglabela proporcionalmente grande y el posteroaxis de dimensiones variables. Su rango geográfico también incluye a las localidades de Iruya y Cajas, en la Cordillera Oriental (Harrington y Leanza, 1957; Tortello y Esteban, 2003).

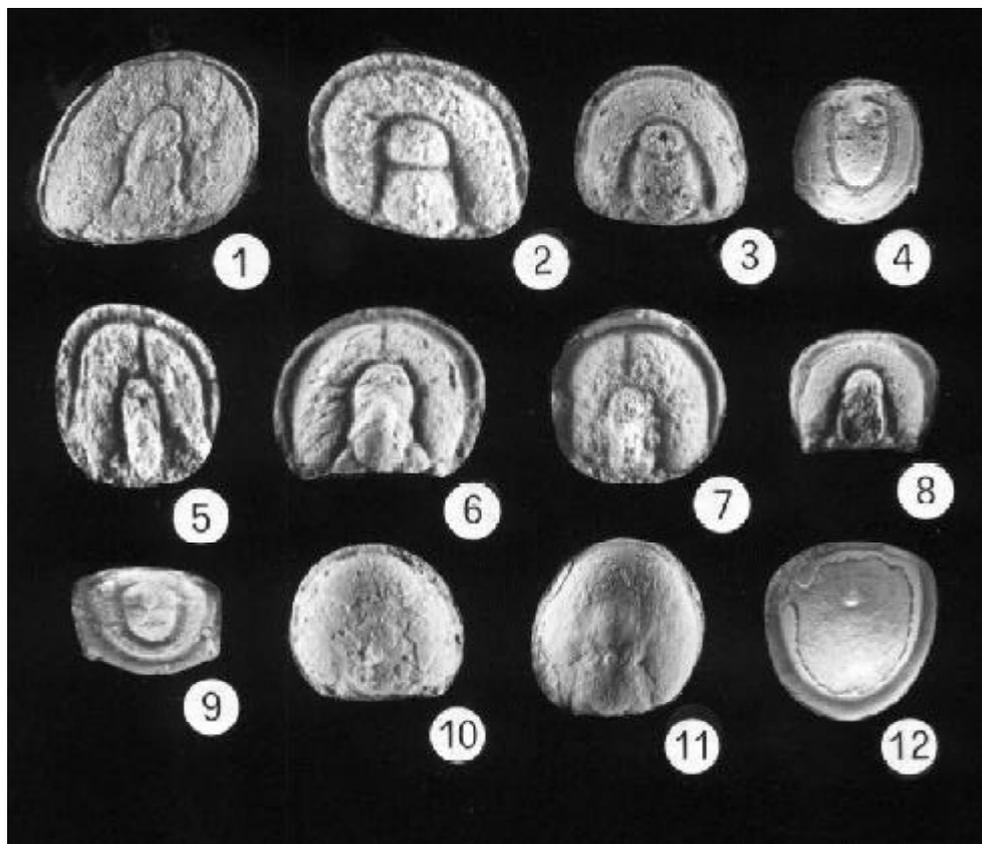


Fig. 2: Trilobites agnóstidos del Miembro Filo Azul (Formación Volcancito). 1, *Lotagnostus* sp., céfalo, PIL 13900, x5. 2, *Micragnostus vilonii* Harrington y Leanza, céfalo, MLP 28231, x12. 3-4, *Micragnostus calviformis* Harrington y Leanza; 3, céfalo, MLP 28218, x7.3; 4, pigidio, PIL 13918, x6.6. 5, *Pseudorhaptagnostus (Machairagnostus) tmetus* Harrington y Leanza, céfalo, PIL 11410, x10.8. 6-7, *Pseudorhaptagnostus (Machairagnostus) corrugatus* (Suárez-Soruco); 6, céfalo, PIL 11394, x8; 7, céfalo, PIL 13986, x8.5. 8-9, *Strictagnostus micropeltis* (Harrington y Leanza); 8, céfalo, PIL 11396, x8.8; 9, pigidio, PIL 11396, x8.3. 10, *Gymnagnostus bolivianus* (Hoek), céfalo, MLP 28262, x7.8. 11-12, *Gymnagnostus perinflatus* (Harrington y Leanza); 11, céfalo, MLP 28270, x5; 12, pigidio, MLP 28275, x6.2. (tomado de Tortello y Esteban, 1999, "Ameghiniana 36 (4)").

- ***Strictagnostus micropeltis*** (Harrington y Leanza) (Figura 2.8-2.9). Este taxón presenta un tamaño muy reducido, el céfalo y el pigidio de contorno subrectangular, bordes relativamente anchos, y un pigaxis levemente acuminado y fuertemente elevado sobre los campos pleurales. El surco marginal cefálico se ensancha en los ángulos anterolaterales del céfalo. Originalmente asignada a *Micragnostus* (Harrington y Leanza, 1957), la especie fue reasignada con dudas a *Strictagnostus* Shergold, 1975 por Tortello y Esteban (1999). Su registro no excede el ámbito del Sistema de Famatina.

- ***Pseudorhaptagnostus (Machairagnostus) tmetus*** Harrington y Leanza (Figura 2.5). El material de Famatina asignado a este taxón es muy escaso. El céfalo ilustrado aquí se encuentra algo deformado; el mismo presenta un contorno subrectangular, la glabella larga y angosta, un surco preglabellar mediano profundo y débiles indicios de ornamentación genal. De acuerdo a Harrington y Leanza (1957) y Tortello y Esteban (2003), la especie también se encuentra representada en varias localidades del norte de la Cordillera Oriental argentina (Santa Victoria, Iruya y Cajas).

- ***Pseudorhaptagnostus (Machairagnostus) corrugatus*** (Suárez-Soruco) (Figura 2.6-2.7). Esta especie difiere de *P. (M.) tmetus* porque alcanza un tamaño mayor y presenta el contorno del céfalo y

del pigidio más redondeados, la glabela levemente más corta y ancha, surcos radiales genales mejor definidos, el extremo glabellar posterior redondeado y los surcos marginales más profundos. Originalmente descrita en el sur de Bolivia (Suárez-Soruco, 1975), la especie también se registra en la Cordillera Oriental argentina (e.g., sierra de Cajas; Tortello y Esteban, 2003).

- ***Gymnagnostus perinflatus*** (Harrington y Leanza) (Figura 2.11-2.12). *Gymnagnostus* pertenece al grupo de agnóstidos "lisos", es decir, al de las formas que presentan sus surcos dorsales débilmente impresos o completamente obliterados. *Gymnagnostus perinflatus* posee el céfalo y el pigidio de contorno subelíptico, la glabela débilmente esbozada, un borde de desarrollo muy desigual (muy angosto en el céfalo y más conspicuo en el pigidio), y una convexidad igualmente desigual, moderada en el céfalo y mucho más marcada en el pigidio. El nodo axial pigidial presenta un desarrollo variable. La especie también se registra en la Cordillera Oriental (sierra de Cajas, Tortello y Esteban, 2003).

- ***Gymnagnostus bolivianus*** (Hoek) (Figura 2.10). Este taxón exhibe un elevado grado de alisamiento y los bordes cefálico y pigidial de dimensiones similares. Al igual que *G. perinflatus*, también se documenta en la Cordillera Oriental.

La fauna de trilobites del Miembro Filo Azul se completa con una profusa asociación de formas polímeras (e.g. *Parabolina*, *Parabolinella*, *Angelina*, *Onychopyge*, *Asaphellus*, *Rhadinopleura*), actualmente en revisión (en prep.).

SIGNIFICADO BIOESTRATIGRÁFICO

Los agnóstidos de Río Volcancito poseen singulares implicancias bioestratigráficas, ya que permiten asignar el tramo inferior de la sección, así como la parte inferior de la Biozona de *Parabolina* (*Neoparabolina frequens argentina*, al Cámbrico Tardío (Subzona de *Pseudorhaptagnostus-Gymnagnostus*).

Lotagnostus (*Lotagnostus*) reviste especial importancia por cuanto permite establecer correlaciones intercontinentales. Su registro abarca el Cámbrico Tardío alto de Norteamérica, Gran Bretaña, Escandinavia, Rusia, China y Argentina. Aunque con material escaso, en Argentina *L. (Lotagnostus)* está representado en Famatina y, además, en las provincias geológicas de la Cordillera Oriental (quebrada de Humahuaca, parte inferior de la Formación Santa Rosita) y la Precordillera (Mendoza, Formación Cerro Pelado). Otros taxa presentes en Río Volcancito aportan datos bioestratigráficos adicionales. Por ejemplo, *Pseudorhaptagnostus* (*Machairagnostus*) posee un rango acotado a la transición Cámbrico-Ordovícico, con un mayor desarrollo en el Cámbrico Cuspidal de Kazajistán, China, Corea y Tasmania; mientras que *Gymnagnostus bolivianus* presenta mayores afinidades con material descrito en el Cámbrico Tardío de Méjico, Newfoundland Oeste y China.

Aunque la asociación inferior de Río Volcancito tiene varias especies endémicas (por ejemplo, *Micragnostus calviformis* y *Strictagnostus micropeltis* entre los agnóstidos; *Onychopyge riojana*, *Asaphellus? riojanus*, *Rhadinopleura eurycephala* entre los polímeros), también incluye algunas formas descritas en la Cordillera Oriental. *Micragnostus vilonii*, *Pseudorhaptagnostus* (*Machairagnostus*) *tmetus*, *P. (Machairagnostus) corrugatus*, *Gymnagnostus perinflatus* y *G. bolivianus* son elementos típicos del Cámbrico Tardío alto de la sierra de Cajas (quebradas Azul y de La Llama), hecho que permite correlacionar la Formación Lampazar con la parte inferior de la Formación Volcancito (Tortello y Esteban, 2003). El olénido *Parabolina frequens* presente en ambas unidades, aporta evidencia adicional a favor de tal correlación (Tortello y Esteban, 1999, 2003).

IMPLICANCIAS PALEOAMBIENTALES

El hábito de vida de los trilobites agnóstidos ha sido ampliamente discutido en la literatura. Sobre la base de variada evidencia se han propuesto modos de vida muy diversos, que en conjunto representan casi todos los nichos ecológicos posibles para un artrópodo marino (pelágicos, epiplanctónicos adheridos a algas, ectoparásitos, epibentónicos, infaunales) (véase Fortey, 1985).

Aún se debate intensamente sobre los posibles hábitos del grupo. Robison (1972) postuló una vida pelágica basado en un estudio morfológico funcional, remarcando además la existencia de numerosas especies cámbricas de amplia distribución geográfica en ambientes de plataforma externa y talud. Un estudio de detalle de *Agnostus pisiformis*, del Cámbrico Tardío de Suecia, indicó que los agnóstidos habrían desarrollado la capacidad de nadar o flotar en ámbitos próximos a un fondo marino rico en nutrientes ("flocculent zone") (Müller y Walossek, 1987). Por su parte, otros autores sugieren que los agnóstidos se habrían limitado a vivir en íntimo contacto con el sustrato (epibentónicos, ?infaunales), preferentemente en ambientes profundos de aguas frías. Jago (1973) y Fortey (1980) sostienen que diferentes géneros pueden haber desarrollado diferentes hábitos, lo cual enriquece aún más el debate. Dado que presentan un tamaño reducido y un hipostoma desconectado del doblez ventral, la dieta habría consistido en partículas orgánicas diminutas, incluyendo algas, detritos y organismos microscópicos (Fortey y Owens, 1999).

Algunos perfiles clásicos del Cámbrico Tardío del noroeste argentino aportan datos paleoecológicos de interés. Varios géneros de amplia distribución mundial (*Lotagnostus*, *Pseudorhaptagnostus* (*Machairagnostus*), *Micragnostus*, *Gymnagnostus*) se registran preferentemente en facies disaeróbicas, tal como fue indicado por Nielsen (1997). En el perfil de Río Volcancito se documenta un aumento en la diversidad de especies de agnóstidos en los niveles de margas y pelitas oscuras del tramo inferior, depositadas en ambientes de plataforma externa y profundidad relativamente alta. Como se indicó más arriba, la preservación de materia orgánica y abundante sulfuro de hierro, y la ausencia de bioturbación, revelan bajos niveles de oxígeno en el sedimento y probablemente en las aguas cercanas al fondo marino. Siguiendo el modelo de biofacies de Bottjer y Savrda (1993), este ámbito correspondería a la zona exaeróbica, en donde coexisten sedimentos laminados y una fauna bentónica *in situ*, con una concentración de oxígeno muy baja en las aguas del fondo, apenas levemente superior a 0,1 ml/l O₂ disuelto. El aumento de la diversidad de agnóstidos en tal ambiente constituye un ejemplo de dependencia de facies, que puede ser interpretada como evidencia a favor de un hábito bentónico o nectobentónico para estos organismos. La alta disponibilidad de alimento, representada por una abundancia relativa de materia orgánica, habría favorecido el desarrollo de estas faunas. Los montículos algales, las algas filamentosas y los tapetes microbiales, de amplia dispersión en los tramos inferiores del perfil Río Volcancito, también pueden haber servido de alimento a estos trilobites micrófagos.

Una situación similar se documenta en la sierra de Cajas, donde los agnóstidos [*Lotagnostus* (*Distagnostus*), *Gymnagnostus bolivianus*, *Gymnagnostus perinflatus*, *Pseudorhaptagnostus* (*Machairagnostus*) *tmetus*] alcanzan su máxima representación en las pelitas oscuras de la parte inferior de la Formación Lampazar (Tortello y Esteban, 2003). Aunque el contenido de materia orgánica varía entre las distintas láminas oscuras de esta unidad, se observan algunas que por su alta concentración presentan un aspecto homogéneo al microscopio. Estas capas evidencian un aporte intracuencial asignable a periodos de máxima productividad orgánica. Aparentemente, las faunas de agnóstidos encontraban un ámbito favorable para su desarrollo en estas facies, signada por bajos niveles de oxígeno, escasa energía, baja presión de predación y abundante alimento disponible. Aunque no es posible asegurar si vivían apoyados sobre el fondo marino y/o flotando o nadando apenas por encima de él, la evidencia disponible indica una relación concreta entre ciertos agnóstidos y un sustrato de tales características.

Como es esperable en este tipo de facies, las faunas citadas se encuentran asociadas preferentemente a trilobites olénidos tales como *Parabolinella* y *Plicatolina*. Estos últimos géneros representan formas bentónicas especialmente adaptadas a vivir en ambientes disaeróbicos (Fortey, 1985). La presencia de un exoesqueleto delgado y numerosas pleuras expandidas lateralmente constituyen adaptaciones especiales, que optimizaban la absorción del escaso oxígeno disponible en el medio

(Morfortipo *Olenus* de Henningsmoen, 1957). Probablemente los olénidos eran formas detritívoras (“particle feeding”) que se alimentaban de partículas de tamaño algo mayor que el de los trilobites agnóstidos (Fortey y Owens, 1999), hecho que habría facilitado la coexistencia, en un ambiente muy especializado, de formas con estrategias alimentarias similares.

Consideraciones finales

Dotado de una aguda capacidad de observación y un elevado criterio científico, Bodenbender no se limitó a coleccionar los primeros ejemplares (“*Agnostus*”, “*Obolus*”) de una fauna singular en el Río Volcancito. Al evaluar las posibles implicancias de su registro, también señaló el camino que habrían de seguir las investigaciones del intervalo del límite Cámbrico-Ordovícico en el Sistema de Famatina.

En la actualidad, el Miembro Filo Azul de la Formación Volcancito es considerado un referente estratigráfico regional, que combina el registro de elementos guía de trilobites, graptolitos y conodontes, así como particulares caracteres sedimentológicos. Las faunas del tramo inferior, dominadas por trilobites agnóstidos y olénidos del Cámbrico Tardío, son particularmente diversas en sedimentitas de color oscuro, provistas de abundante materia orgánica, sulfuro de hierro e indicios de actividad microbiana. Los agnóstidos caracterizan la Subzona de *Pseudorhaptagnostus-Gymnagnostus* (Zona de *Parabolina frequens argentina*) y, aunque restringidos a las facies exaeróbicas de una plataforma distal, proporcionan bases sólidas para establecer correlaciones con el Cámbrico Tardío de la sierra de Cajas, en la Cordillera Oriental. La preferencia de los agnóstidos por este tipo de facies puede indicar un posible hábito nectobentónico o bentónico, en un ambiente rico en nutrientes.

Como se explica más arriba, los tramos medios y superiores de la sucesión de Río Volcancito experimentaron cambios ambientales profundos. La parte superior del Miembro Filo Azul, asignable al Ordovícico Temprano, representa un ambiente de plataforma externa de energía moderada y mayor contenido de oxígeno, que preserva una diversidad biológica baja, consistente en unas pocas formas pelágicas o nectobentónicas (*Jujuyaspis*, *Rhabdinopora*).

Referencias

- Albanesi, G. L., Esteban, S. B. y Barnes, C. R. 1999. Conodontes del intervalo del límite Cámbrico-Ordovícico en la Formación Volcancito, Sistema de Famatina, Argentina. *Temas Geológico-Mineros, Instituto Tecnológico Geominero de España* 26: 521-526.
- Albanesi, G.L.; Esteban, S.B.; Ortega, G.; Hunicken, M.A. y Barnes, C.R. 2005. Bioestratigrafía y ambientes sedimentarios de las Formaciones Volcancito y Bordo Atravesado (Cámbrico Superior – Ordovícico Inferior), Sistema de Famatina, Provincia de La Rioja, Argentina. En: Dahlquist, J.A; Rapela, C.W. y Baldo, E. (eds.) *Geología de la Provincia de La Rioja (Precámbrico – Paleozoico Inferior)*. Publicación Especial de la *Asociación Geológica Argentina, Serie D: Publicación Especial* 8: 41-54.
- Bauld, J., 1981. Occurrence of benthic microbial mats in saline lakes. *Hydrobiology*, 81,87 - 111.
- Bottjer, D. y Savrda, C. 1993. Oxigen-related mudrock biofacies. *Sedimentology Review*, 92-102.
- Brenchley, P.J. 1985. Storm influenced sandstone beds. *Modern Geology* 9: 369-396. United Kingdom.
- Brenchley, P.J.; Romano, M. y Gutiérrez-Marco, J.C. 1986. Proximal and distal hummocky cross-stratified facies on a wide Ordovician shelf in Iberia. En: Knight, R.J. y Mc Lean, J.R. (eds.) *Shelf sands and sandstones*. Canadian Society of Petroleum Geologist Memoir 11: 241-255.
- Bodenbender, G. 1916. El Nevado de Famatina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias* 21: 100-182.
- Bodenbender, G. 1912. Parte meridional de la provincia de La Rioja y regiones limítrofes. *Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería*. 7(3): 9-165.
- Einsle, G. 1991. Submarine mass flow deposits and turbidites. En: Einsle, G.; Ricken, W. y Seilacher (eds.) *Cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, 313-339.
- Esteban, S. B. 1999. *Estratigrafía, geología sedimentaria y paleontología del Ordovícico basal del Sistema de Famatina*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

- Esteban, S. B. 2002. The Early Ordovician in the Sistema de Famatina: stratigraphic and geotectonic framework. En: Aceñolaza, F.G. (ed.) *Aspects of the Ordovician System in Argentina*. Serie Correlación Geológica 16: 27-40.
- Esteban, S. B. 2003. Biogenic and physical sedimentary structures in latest Cambrian-earliest Ordovician mudrock facies (Famatina Range, Northwestern Argentina). *Geológica Acta* 1(1): 85-94.
- Fortey, R.A. 1980. The Ordovician trilobites of Spitsbergen. III. Remaining trilobites of the Valhallfonna Formation. *Norsk Polarinst Skrifter* 171:1—163.
- Fortey, R.A. 1985. Pelagic trilobites as an example of deducing the life habits of extinct arthropods. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 76: 219-230.
- Fortey, R. A. y Owens, R. M. 1999. Feeding habits in trilobites. *Palaeontology* 42(3): 429-465.
- Hamblin, A.P. y Walker, R.G. 1979. Storm dominated shallow marine deposits: The Fernie-Kootenay (Jurassic) transition, southern Rocky Mountains. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 16: 1673-1690.
- Harrington, H. J. 1938. Sobre las faunas del Ordoviciano Inferior del Norte argentino. *Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie (Sección Paleontología)* 1: 109-289.
- Harrington, H. J. y Leanza, A. F. 1957. *Ordovician trilobites of Argentina*. Department of Geology, University of Kansas Special Publication 1: 1-276.
- Henningsmoen, G. 1957. The trilobite family Olenidae, with description of Norwegian material and remarks on the Olenid and Tremadocian Series. *Skrifter Utgitt av det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo I Matematisk-Naturvidenskapelig Klasse* 1957(1): 303 pp., 31 pls.
- Jago, J. B. 1973. Cambrian agnostid communities in Tasmania. *Lethaia* 6: 405-421.
- Kauffman, E.G., 1981. Ecological reappraisal of the German Posidonienschiefer (Toarcian) and the stagnant basin model. In J. Gray, J., A. J. Boucot, W. B. Bery (eds.). *Communities of the past*, Hutchinson Ross, Stroudsburg, 224-259.
- Müller, K. y Walossek, D. 1987. Morphology, ontogeny, and life habit of *Agnostus pisiformis* from the Upper Cambrian of Sweden. *Fossils and Strata* 19: 1-124.
- Nielsen, A.T. 1997. A review of Ordovician agnostid genera (Trilobita). *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 87: 463-501.
- O'Brien, N. 1990. Significance of lamination in Toarcian (Lower Jurassic) shales from Yorkshire, Great Britain. *Sedimentary Geology*, 67: 25-34.
- Robison, R. A. 1972. Mode of life of agnostid trilobites. *International Geological Congress, Sess. 24*, 7: 33-40.
- Schieber, J., 1986. The possible role of benthic microbial mats during the formation of carbonaceous shales in shallow Mid-Proterozoic basins. *Sedimentology*, 33, 521-536.
- Shergold, J.H. 1975. Late Cambrian and Early Ordovician trilobites from the Burke River Structural Belt, Western Queensland, Australia. *Bulletin of the Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics* 153 (2 volúmenes), 251 pp., 58 lám.
- Suárez-Soruco, R. 1975. Nuevos trilobites del Tremadociano inferior del sur de Bolivia. *Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos* 4: 129-146.
- Tortello, M. F. y Esteban, S. B. 1997. Significado bioestratigráfico de una asociación de trilobites del tramo basal de la Formación Volcancito (Sistema de Famatina, La Rioja, Argentina). *Ameghiniana* 34: 265-270.
- Tortello, M. F. y Esteban, S. B. 1998. La transición Cámbrico-Ordovícica en la Formación Volcancito (Sistema de Famatina, La Rioja, Argentina). *VII Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Resúmenes*: 93.
- Tortello, M. F. y Esteban, S. B. 1999. La transición Cámbrico-Ordovícica en la Formación Volcancito (sierra de Famatina, La Rioja, Argentina). *Ameghiniana* 36: 371-387.
- Tortello M. F. y Esteban, S. B. 2003. Trilobites del Cámbrico Tardío de la Formación Lampazar (sierra de Cajas, Jujuy, Argentina). Implicancias bioestratigráficas y paleoambientales. *Ameghiniana* 40(3): 323-344.
- Toselli, G. A. 1977. El Paleozoico Inferior y Medio de la región de Volcancito, Sierra de Famatina, Provincia de La Rioja, Rep. Argentina. *Acta Geológica Lilloana* 14: 83-104.
- Turner, J.C. 1960. Estratigrafía del tramo medio de la Sierra del Famatina y adyacencias (La Rioja). *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias* 42: 77-126
- Walker, R.G. 1983. Cardium Formation 1. «Cardium, a turbidity current deposit» (Beach, 1955): a brief history of ideas. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 31: 205-212.
- Walker, R.G. 1985. Cardium Formation at Rycinus Field, southern Alberta: a channel cut and filled by turbidity currents in the Cretaceous Western Interior seaway. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 69: 1963-1981.
- Walker, R.G., Duke, W.L. y Leckie, D.A. 1983. Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences: Discussion. *Bulletin of the Geological Society of America*, 94: 1245-1251. New York.

Recibido: 23 de agosto de 2004
Aceptado: 14 de octubre de 2004

