



***Ptychagnostus atavus* (Tullberg, 1880) (Trilobita: Agnostida) del Cámbrico medio (Miaolingiano-Drumiano) de Arivechi, Sonora, México: significado bioestratigráfico**

Cuen-Romero, Francisco Javier^{a,*}; Beresi, Matilde Sylvia^b; Palafox Reyes, Juan José^a;
Montijo González, Alejandra^a

^a Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Geología, Blvd. Luis Encinas y Rosales, 83000, Hermosillo, Sonora, México.

^b Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Av. A. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, 5500, Mendoza, Argentina.

* francisco.cuen@ciencias.uson.mx

Resumen

En la región de Arivechi, estado de Sonora, aflora una secuencia sedimentaria del Paleozoico inferior (Cámbrico), representada por las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillas, con una litología predominante de caliza, caliza arcillosa y lutita. Esta secuencia está caracterizada por una abundante y diversa biota fósil, la cual consiste en algas oncolíticas, icnofósiles, esponjas, braquiópodos y trilobites. En este trabajo se describe e ilustra por primera vez para México, la especie *Ptychagnostus atavus*, trilobite agnóstico colectado en capas del Drumiano (Cámbrico-Miaolingiano) de la Formación El Mogallón. Las rocas cámbricas de la región de Arivechi, se depositaron como parte de una potente secuencia de sedimentos del margen occidental del cratón de Laurentia, asociadas a un ambiente de plataforma exterior. La distribución cosmopolita de esta especie sugiere la existencia de una amplia provincia faunística, que comprende localidades de Europa (Suecia), Asia (Corea), Canadá (Columbia Británica), Estados Unidos de América (California, Nevada, Utah), México (Sonora) y Argentina (Precordillera Argentina). Su amplia distribución confirma su utilidad relevante como índice estratigráfico y de correlación global para el Cámbrico medio.

Palabras clave: Bioestratigrafía, Cámbrico, Laurentia, *Ptychagnostus*, Sonora.

Abstract

*A lower Paleozoic (Cambrian) sedimentary sequence represented by the La Sata, El Mogallón, La Huerta and Milpillas formations crops out in the region of Arivechi, Sonora state, with a predominant lithology of limestone, clay-limestone, and shale. This sequence is characterized by an abundant and diverse fossil biota, which consists of oncolytic algae, ichnofossils, sponges, brachiopods and trilobites. This work describes and illustrates for the first time the species *Ptychagnostus atavus* for Mexico, agnostid trilobite collected in layers of the Drumian Stage (Cambrian-Miaolingian) of the El Mogallón Formation. The Cambrian rocks of the Arivechi region were deposited as part of a potent sequence of sediments from the western margin of the Laurentia craton, associated with an outer shelf environment. The cosmopolitan distribution of this species suggests the existence of a large faunal province, which includes locations in Europe (Sweden), Asia (Korea), Canada (British Columbia), United States of America (California, Nevada, Utah), Mexico (Sonora) and Argentina (Precordillera Argentina). The wide distribution of the species confirms its relevant utility as a stratigraphic index fossil and global stratigraphic boundary correlation for the middle Cambrian.*

Keywords: Bioestratigrafía, Cámbrico, Laurentia, *Ptychagnostus*, Sonora.

1. Introducción

El registro estratigráfico del Cámbrico en México es escaso, conociéndose solamente en algunas localidades de los estados de Sonora y Oaxaca (Cooper *et al.*, 1952; Pantoja y Robison, 1967; Buitrón-Sánchez, 1992; Cuen-Romero *et al.*, 2018; 2019). En el estado de Sonora, Cuen-Romero *et al.*, (2018) dividió los afloramientos del Cámbrico en cuatro regiones con base en la distribución de las faunas de trilobites: región noroeste, que comprende principalmente el área de Caborca (cerro San Clemente, Rajón, Cerro Prieto, Los Difuntos, Buelna, Proveedora y Arrojos); región noreste donde se ubican los depósitos de Cananea (sierra El Tule); región central que comprende los depósitos de San José de Gracia y Mazatán (cerro El Chihuarruita, El Sahuaral y sierra de Mazatán); y la región este que comprende los afloramientos del área de Arivechi (cerro La Sata y El Mogallón).

Las localidades cámbricas del área de Arivechi son conocidas desde finales de siglo pasado, notables por su riqueza de especies y por ser de los pocos afloramientos del Cámbrico en México (Almazán-Vázquez, 1989).

Los trilobites (Phylum Arthropoda) constituyen un grupo muy importante en la bioestratigrafía del Paleozoico, principalmente durante el Cámbrico-Ordovícico, debido a su alto nivel de complejidad funcional, rápida evolución en corto tiempo, amplia distribución geográfica y abundancia (Levi-Setti, 1993).

En México se conocen pocos afloramientos del Cámbrico con fósiles de trilobites. En el área de Caborca se han determinado 45 especies (Cooper *et al.*, 1952; 1956). Para el área de Cananea se han citado 6 especies (González-León, 1986); en el área de San José de Gracia-Mazatán se ha documentado la presencia de 15 especies (Vega-Granillo, 1996; Cuen-Romero *et al.*, 2018; 2019) y para el área de Arivechi aproximadamente 20 especies, las cuales fueron reportadas por Almazán-Vázquez (1989). Sin embargo, estas especies no han sido descritas ni ilustradas. En el presente trabajo se describe e ilustra por primera vez una especie de trilobite agnóstido *Ptychagnostus atavus* (Tullberg, 1880) de suma importancia en bioestratigrafía, debido a que es un fósil guía cuya primera aparición denota el inicio del Drumiano (~504.5 Ma). Su gran abundancia y su extensa distribución geográfica a nivel global, le confieren un valor significativo como fósil guía en estudios de correlación global, así como paleoecológicos. En el presente trabajo se describen e ilustran cuatro ejemplares provenientes de la Formación El Mogallón del Cámbrico medio de la sección de Arivechi, Sonora, México. La fauna asociada consiste principalmente en poríferos del grupo “reticulosa” así como escleritos de cancellóridos y braquiópodos linguliformes indeterminados. El conjunto de esponjas del Cámbrico medio de la región de Arivechi es taxonómicamente diverso y morfológicamente complejo. En el área de estudio, dos nuevas especies de esponjas excepcionalmente conservadas se han recuperado, *Ratcliffespongia arivechensis* y

Valospongia sonorensis, determinadas previamente por Beresi *et al.*, 2017 (Fig. 1).

El contenido fosilífero y composición litológica de la Formación El Mogallón, es interpretada como un ambiente marino de plataforma exterior, lo cual es consistente con el modelo propuesto por Robison (1976), y reafirmado por los estudios posteriores de Cuen-Romero (2013) y Beresi *et al.* (2017). Lo anterior se confirma con las facies y presencia de trilobites agnóstidos en las regiones de Arivechi, San José de Gracia y Mazatán, mientras que en las regiones de Caborca y Cananea se encuentran ausentes.

2. Área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada en la parte oriental del estado de Sonora, aproximadamente a 240 km al este de la ciudad de Hermosillo y 10.5 km al oeste del municipio de Arivechi, en las coordenadas geográficas 28°54'30" N y 109°16'30" W (Fig. 2).

3. Consideraciones estratigráficas

Al oeste del municipio de Arivechi afloran rocas sedimentarias del Cámbrico, las cuales han sido incluidas en las formaciones La Sata, El Mogallón, La Huerta y Milpillas (Fig. 3) (Almazán-Vázquez, 1989).

La Formación La Sata fue definida por Almazán-Vázquez (1989), en el cerro La Sata, localidad de la cual toma su nombre. Litológicamente está compuesta por cuarcita, lutita, arenisca, caliza oolítica y caliza oncolítica. Su descriptor original la dividió en tres miembros (A, B y C) con base en sus facies litológicas, y debido a la presencia de los trilobites *Amecephalus* sp. y *?Fielaspis* sp. le asignó una edad del Cámbrico medio correspondiente a la zona de pre-*Glossopleura*. Posteriormente, Cuen-Romero (2013) y Cuen-Romero *et al.* (2018), con base en el análisis de trilobites asignan esta sucesión a la Zona de *Poliella denticulata* (Miaolingiano-Wuliuano). La unidad posee un espesor aproximado de 100 m y aflora también en el margen oriental del arroyo Milpillas. El contacto inferior de la unidad no se observa, mientras que el contacto superior es concordante con la Formación El Mogallón.

La Formación El Mogallón, unidad de la cual proviene el material estudiado en el presente trabajo, está constituida principalmente por caliza de estratificación delgada y lutita. Fue dividida en cuatro miembros (A, B, C y D) por Almazán-Vázquez (1989), quien debido a la presencia de trilobites le asignó una edad del Cámbrico medio. El Miembro A posee los trilobites *Ptychagnostus atavus*, *Hypagnostus parvifrons*, *Peronopsis fallax*, *Peronopsis* sp., *Olenoides* cf. *O. marjumensis* y *Modocia* sp. El Miembro B no aportó fósiles. El Miembro C aportó las especies *Hypagnostus parvifrons*, *?Modocia typicalis* y *?Utaspis* sp., sin embargo no fue asignado a ninguna biozona por su

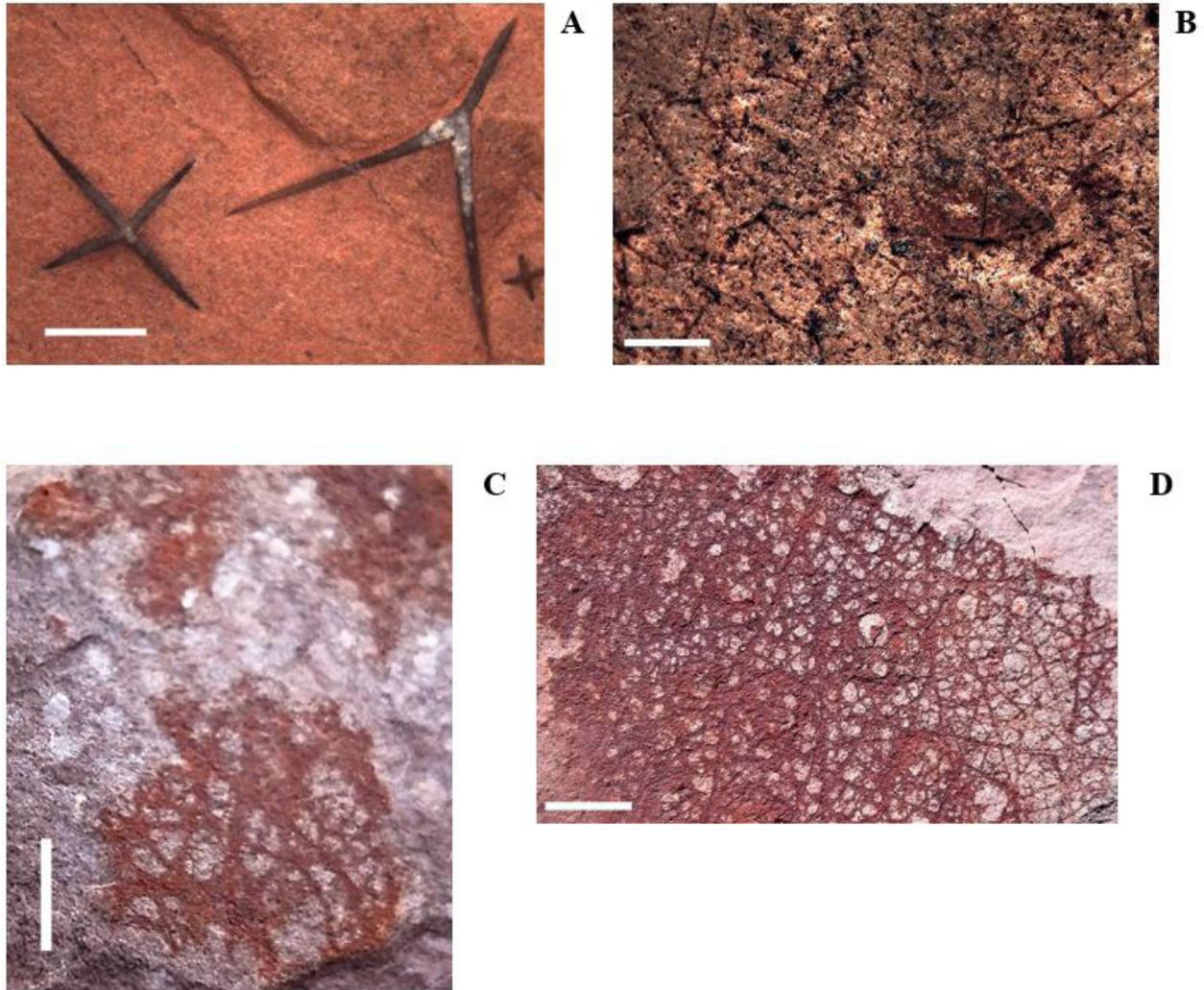


Figura 1. A) Espículas estauractinas y triactinas; B) Asociación de espículas estauractinas (hexactinélidas); C) Fragmentos de *Ratcliffespongia arivechensis*; D) *Valospongia sonorensis*. La escala gráfica equivale a 1 mm.

autor original (Almazán-Vázquez, 1989). Recientemente, Cuen-Romero *et al.* (2018), debido al contenido de trilobites asigna el Miembro C a la Zona de *Bolaspidella*, Zona de *Ptychagnostus atavus* para plataforma abierta (Miaolingiano-Drumiano). Finalmente el Miembro D proporcionó los trilobites *?Onymagnostus hybridus*, *?Ptychagnostus atavus*, *Ptychagnostus michaeli* y *Bathyuriscus* sp. Cuen-Romero *et al.* (2018), asigna las rocas de la parte basal de la Formación El Mogallón a la Zona de *Ptychagnostus atavus* (Miaolingiano-Drumiano), mientras que las rocas de la parte superior podrían representar biozonas más jóvenes (?zonas de *Goniagnostus nathorsti*, *Lejopyge armata* y/o *Lejopyge laevigata*; Drumiano superior–Guzhangiano inferior). La unidad posee un espesor aproximado de 395 m y aflora en los cerros La Sata y El Mogallón. Sobreyace de manera concordante a la Formación La Sata, y Almazán-Vázquez (1989), infiere que el contacto superior con la Formación La Huerta es concordante.

La Formación La Huerta toma su nombre del arroyo La Huerta, localizado al oeste de Arivechi, y consiste principalmente en estratos delgados de caliza, con estructuras de bioturbación intercalados con capas de arcilla (Almazán-Vázquez, 1989). La unidad posee un espesor de 250 m. Contiene trilobites, los cuales no pudieron ser identificados por su autor original (Almazán-Vázquez, 1989). Las relaciones estratigráficas de esta unidad no son claramente observables.

La Formación Milpillas toma su nombre del arroyo del mismo nombre, y consiste en una alternancia de lutita calcárea y caliza arcillosa (Almazán-Vázquez, 1989). Posee un espesor de 200 m, y es sobreyacida discordantemente por rocas del Ordovícico Inferior. Esta unidad proporcionó fósiles de *?Aphelotoxon* sp., *Elviniella* sp., *Homagnostus* sp., *Pseudagnostus* sp. y *Pterocephalia* sp. El autor original asignó dicha unidad a la Zona de *Dunderbergia* o *Elvinia* (Almazán-Vázquez, 1989), sin embargo, Cuen-Romero

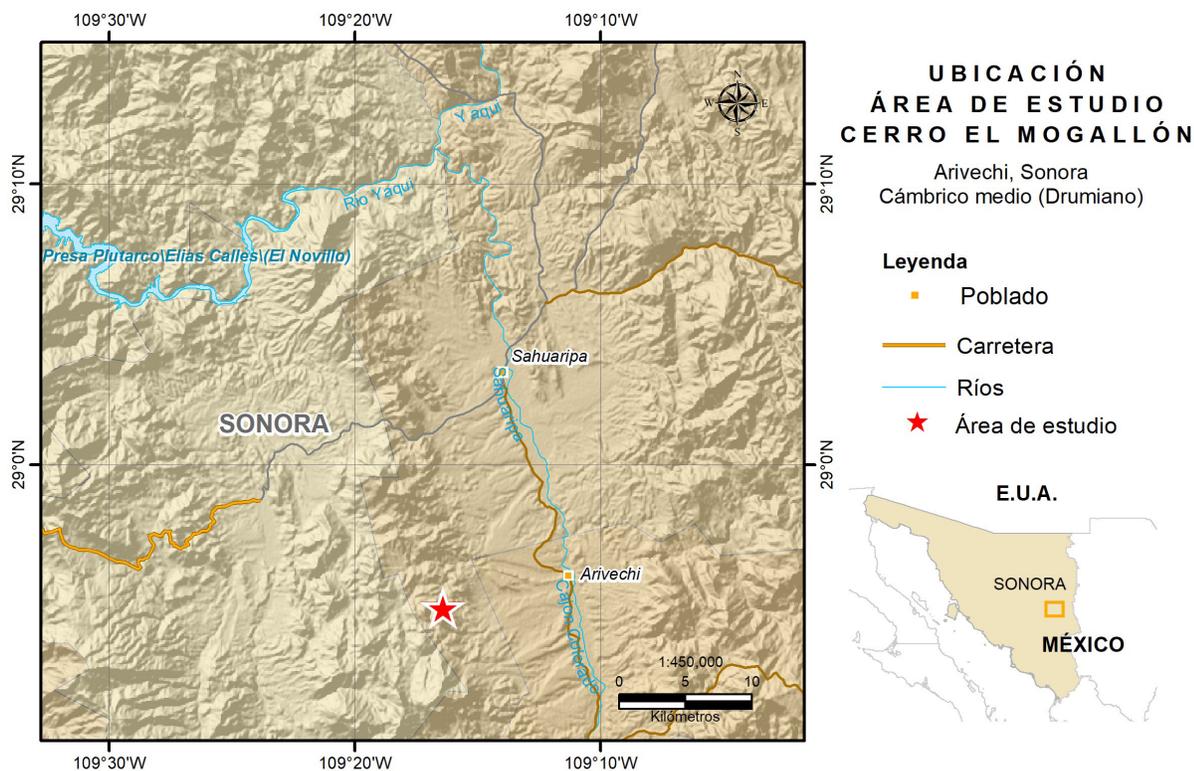


Figura 2. Localización del área de estudio en la parte oriental del estado de Sonora.

et al. (2018) asigna dicha unidad a la Zona de *Elvinia* (Furongiano-Paibiano).

4. Paleontología sistemática

El material aquí estudiado se encuentra depositado en la Colección de Paleontología del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. La nomenclatura y términos morfológicos utilizados para la descripción de los ejemplares son los propuestos por Robison (1982) así como Whittington y Kelly (1997).

Se consideró pertinente describir e ilustrar por primera vez a *Ptychagnostus atavus*, inclusive no siendo una especie nueva, debido a la importancia bioestratigráfica de esta especie para el Cámbrico medio de México y para correlaciones a nivel global, siendo ésta la primera vez que se ilustra para México.

Phylum Arthropoda von Siebold, 1848
 Clase Trilobita Walch, 1771
 Orden Agnostida Salter, 1864
 Familia Ptychagnostidae Kobayashi, 1939

Género *Ptychagnostus* Jaekel, 1909

Discusión. La definición del género *Ptychagnostus* es la propuesta por Robison (1984) así como Peng y Robison (2000).

Especie tipo. *Agnostus punctuosus* Angelin, 1851

Ptychagnostus atavus (Tullberg, 1880)
 Figura 8A–D

Sinonimia.

Agnostus atavus; Tullberg (1880), p. 14, lám. 1, figs. 1a–1d.
Agnostus intermedius; Tullberg (1880), p. 17, lám. 1, figs. 4a–4b.
Ptychagnostus atavus; Jaekel (1909), p. 400.
Ptychagnostus intermedius; Ergaliev (1980), p. 69–70, lám. 1, figs. 18–20.
Acidusus atavus; Laurie (1988), p. 180, fig. 5.
Ptychagnostus atavus; Peng y Robison (2000), p. 69–70, fig. 52, véase sinonimia adicional.
Acidusus atavus; Fletcher (2006), lám. 34, figs. 43–44.
Ptychagnostus atavus; Ahlberg, Axheimer y Robison (2007), p. 710–713, figs. 2.1–2.12, véase sinonimia adicional.
Ptychagnostus atavus; Babcock, Robison, Rees, Peng y Saltzman (2007), figs. 6B–6D, 7B.

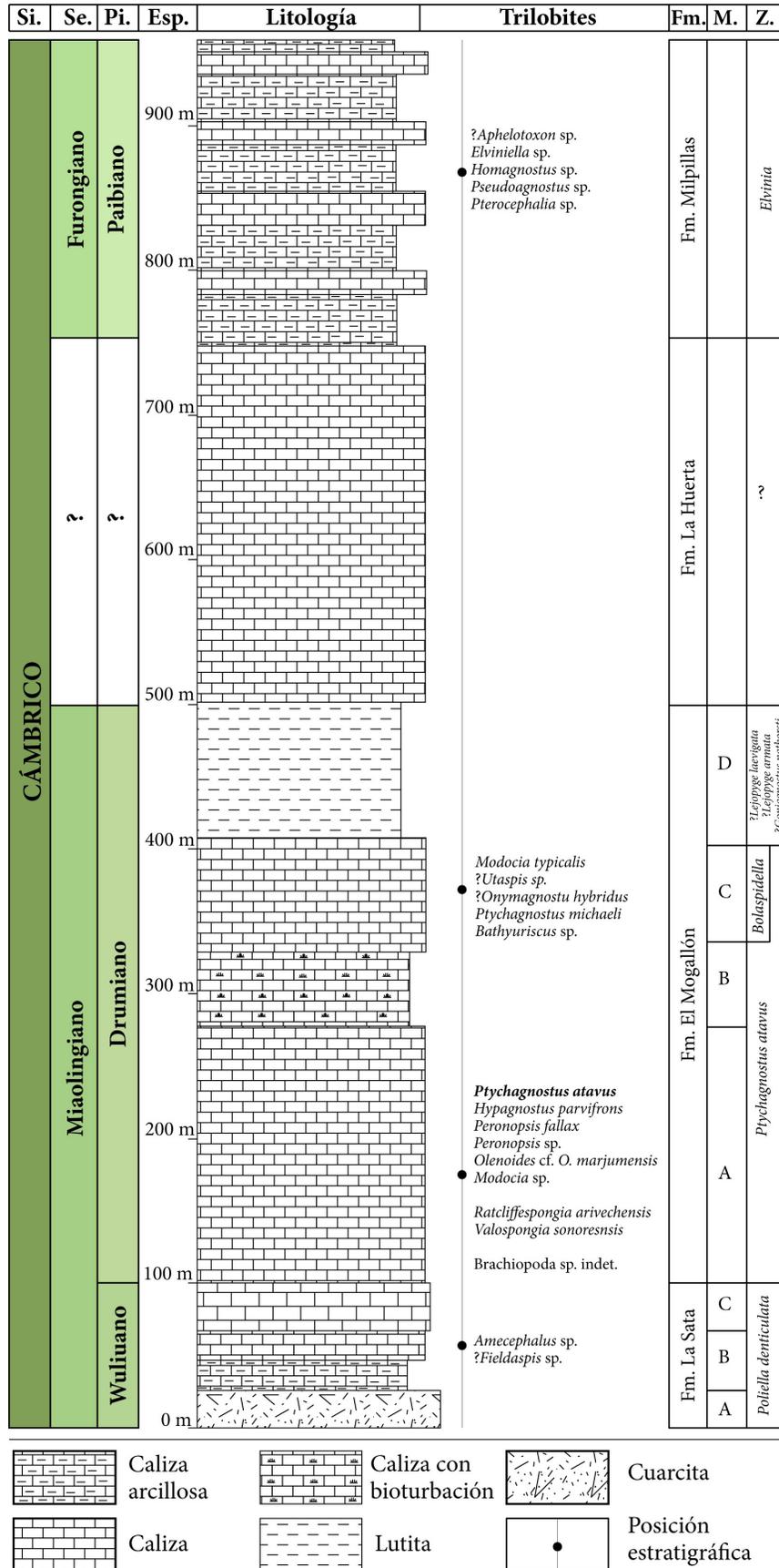


Figura 3. Columna estratigráfica del área de estudio donde se muestran las diferentes unidades litológicas, contenido biótico y zonas estratigráficas. (Si.) Sistema, (Se.) Serie, (Pi.) Piso, (Esp.) Espesor, (Fm.) Formación, (M.) Miembro y (Z.) Zona. Modificada de Almázan-Vázquez (1989).

Ptychagnostus atavus; Høyberget y Bruton (2008), p. 49–50, lám. 7, figs. G–M.

Acidusus atavus; Weidner y Nielsen (2009), p. 259–260, figs. 8A–8D, 10A, 10B.

Ptychagnostus atavus; Peng, Babcock y Cooper (2012), p. 448, fig. 19.6B.

Acidusus atavus; Weidner y Nielsen (2014), p. 32–35, figs. 9, 10A–D, 11A–H, 12F–H.

Ptychagnostus atavus; Hong y Choi (2015), p. 378–379, figs. 2, 1–8.

Diagnos. Cefalón subigual en longitud y anchura, moderadamente convexo y sin espinas. Eje cónico. F1 no desarrollado, F2 débil a moderadamente desarrollado. Genas suaves y poco escrobiculadas. Tórax no modificado, el segmento anterior presenta un tubérculo medio. Pigidio moderadamente convexo, más ancho que largo. F1 desviado oblicuamente hacia adelante, formando un ángulo medio obtuso. M2 hexagonal. Lóbulo posterior débilmente ojival, aunque puede variar de ojival a lanceolar. Surco del lóbulo posterior presente de manera frecuente, pero débil. Borde sin espinas (Robison, 1982).

Descripción. La descripción está basada en el ejemplar USDG-350. Cefalón subigual en longitud (2.45 mm) y anchura máxima (2.50 mm). Borde estrecho, prominente, con un ancho máximo de 0.14 mm en la parte anterior. Surco preglabellar tenue, prolongándose desde la anteroglabella hasta el borde, con longitud de 0.44 mm. Anteroglabella cónica subtriangular. Surco axial profundo, surco transglabellar (F3) mal preservado. Posterioglabella no preservada. Lóbulos basales prominentes con ancho máximo de 0.22 mm y el doble de largo. La longitud sagital del borde corresponde a los 5% de la longitud cefálica total. Genas escrobiculadas por depresiones que se extienden de manera irregular hacia el borde, estando ausentes cerca de la glabella. Tórax con dos segmentos mal preservados. Pigidio más ancho (2.40 mm) que largo (2.04 mm), borde del pigidio más ancho (0.25 mm) que el borde del cefalón, manteniéndose uniforme hacia la parte lateral. Longitud sagital aproximada al 10% de la longitud del pigidio. Borde desprovisto de espinas posterolaterales. Campo pleural liso. Surco postaxial completo y tenue. M2 de forma hexagonal, axis levemente constricto hacia M2, de forma lanceolar. Lóbulo anterior con un ancho máximo de 0.66 mm. Lóbulo posterior con ancho máximo de 0.80 mm con forma de ojiva. F2 conspicuo en forma de V. Tubérculo axial prominente.

Material y ocurrencia. Cuatro ejemplares. USDG 350–353. Fm. El Mogallón, Cámbrico medio (Miaolingiano-Drumiano). Zona de *Ptychagnostus atavus*.

Discusión. *Ptychagnostus atavus* difiere de otras especies del género *Ptychagnostus* Jaekel, debido a que carece de espinas en el cefalón y en el pigidio. La ornamentación es muy notable debido a que posee la superficie del exoesqueleto sin gránulos gruesos. En el axis del pigidio, M2 se presenta de forma hexagonal, el surco F2 tiene forma de V y el tubérculo axial es prominente (Robison, 1982; Peng y Robison, 2000; Hong y Choi, 2015). *P. atavus* es una especie importante en bioestratigrafía, debido a su amplia distribución geográfica y corto rango estratigráfico, permite definir con su primera aparición la base del Drumiano (Babcock *et al.*, 2007; Ogg *et al.*, 2016).

Ptychagnostus atavus de la Formación El Mogallón del área de Arivechi, Sonora, presenta similitud con la misma especie de la región de Andrarum del Cámbrico medio (Drumiano) de Suecia (Ahlberg *et al.*, 2007), sin embargo, el cefalón del ejemplar sueco es más grande y ancho (Lm = 5.00 y Am = 4.80) que el ejemplar mexicano (Lm = 2.45 y Am = 2.50 mm), no obstante en ambos casos prevalece una relación alométrica del 96–98% en el cefalón. La escrobiculación de las genas es más profunda en *P. atavus* de Suecia que en el material mexicano, sin embargo, la escrobiculación de las genas no es considerada como una característica distintiva de la especie, puesto que se ha observado gran variación en su forma y profundidad (Robison, 1982, 1984). De la misma manera el lóbulo anterior es de forma más ancha en el ejemplar sueco, mientras que en el ejemplar mexicano es de forma más aguda.

El material estudiado aquí también es comparado con *P. atavus* de la Formación Machari, Grupo Yeongwol del Drumiano de Korea (Hong y Choi, 2015), sin embargo, el ejemplar mexicano es ligeramente más pequeño (Lm = 2.45 mm) en la longitud sagital del cefalón que el material coreano (Lm ~ 3.00 mm), y la forma del lóbulo anterior es muy similar en ambos casos. En Corea no se observan escrobiculaciones en las genas, debido a la conservación del ejemplar. El axis del pigidio del material de Corea es más ancho en el lóbulo posterior que el ejemplar mexicano, y el surco postaxial medio es más profundo, estando prácticamente ausente en México. El borde de los especímenes de Corea es más ancho que el de los de México.

Tabla 1. Dimensiones de los ejemplares. Lst = Longitud sagital total, Lm = Longitud máxima, Am = ancho máximo, Ab = ancho del borde, Lsp = longitud del surco preglabellar, Lspp = longitud del surco postaxial.

Ejemplar	Cefalón (en mm)					Pigidio (en mm)			
	Lst	Lm	Am	Ab	Lsp	Lm	Am	Ab	Lspp
USDG-350	4.81	2.45	2.5	0.14	0.44	2.04	2.5	0.25	0.42
USDG-351	—	—	—	—	—	1.46	1.9	0.12	0.27
USDG-352	—	2.78	3.55	0.13	—	—	—	—	—
USDG-353	4.02	2.15	2.4	—	—	—	2.09	—	—

Ptychagnostus atavus en México es muy similar al material reportado en Norteamérica por Robison (1982), para las formaciones Wheeler y Marjuman (House Range y Drum Mountains, Utah), y Lincoln Peak y Geddes, Nevada.

Los ejemplares de Estados Unidos de América presentan mayor afinidad intraespecífica, ya que poseen un cefalón de tamaño similar ($Lm = 3.00$ mm) con el borde estrecho y prominente al igual que los estudiados aquí. Pero una diferencia notoria es que el posteroaxis y el borde del pigidio son ligeramente más anchos en el material de Estados Unidos de América que en el de México.

5. Consideraciones bioestratigráficas

La sección tipo y punto de límite global (GSSP) del Piso Drumiano se encuentra localizada en las Montañas Drum, noreste de Millard County, Utah; y la base de este coincide con el primer registro de aparición (FAD) de *Ptychagnostus atavus* (Peng *et al.* en Gradstein *et al.*, 2012). Debido a la gran abundancia de la especie también ha sido utilizada como fósil guía en regiones cámbricas de Baltica, Gondwana, Kazajistán y Laurentia (Robison, 1976, 1984; Babcock *et al.*, 2007; Hong y Choi, 2015; Beresi *et al.*, 2017).

La Zona de *Ptychagnostus atavus* fue definida por Robison (1982) para Norteamérica, estableciendo su límite inferior con la presencia de la especie homónima, y el límite superior con la presencia de *Ptychagnostus affinis*. Además, la asociación faunística está caracterizada por la presencia de *Baltagnostus eurypyx*, *Hypagnostus parvifrons*, *Peronopsis fallax*, *Peronopsis ferox*, *Peronopsis interstricta*, *Peronopsis segmenta* y *Ptychagnostus richmondensis* (Robison *op. cit.*). La zona inferior a la de *Ptychagnostus atavus* es la Zona de *Ptychagnostus gibbus*, mientras que la zona superior es la Zona de *Goniagnostus nathorsti*. De igual manera el inicio de la Zona de *Ptychagnostus atavus* casi coincide con la zona de trilobites poliméricos de *Bolaspidella* (Laurentia) y con la Zona de *Dorypyge richtofeni* (Sur de China).

Para Peng *et al.* en Gradstein *et al.* (2012), la base del Drumiano puede ser reconocida debido a los cambios significativos en las faunas de trilobites poliméricos, cambios en las faunas de conodontos y por una excursión negativa de carbono denominada como Excursión DICE.

El primer registro de la Zona de *Ptychagnostus atavus* en México fue hecho por Almazán-Vázquez (1989), quién identifica la zona en la sección del Cámbrico de la Formación El Mogallón del área de Arivechi con base en la presencia de los trilobites *Ptychagnostus atavus*, *Hypagnostus parvifrons*, *Peronopsis fallax*, *Peronopsis* sp., *Olenoides* cf. *O. marjumentensis* y *Modocia* sp. Posteriormente dicha zona también fue corroborada en la misma área por Cuen-Romero *et al.* (2013), Beresi *et al.* (2017) y Cuen-Romero *et al.* (2018). En el presente trabajo se restringe la sección del área de estudio a la parte inferior de la Zona de *Ptychagnostus atavus* debido a la presencia

asociada de *Hypagnostus parvifrons* y *Peronopsis fallax* especies encontradas únicamente en la parte inferior de la zona en Norteamérica (Robison, 1982), siendo además también común en la parte inferior de la zona los trilobites poliméricos *Bathyuriscus* sp., *Olenoides* sp., *Modocia* sp., *Bolaspidella* sp. y *Zacanthoides* sp. (Peng *et al.* en Gradstein *et al.*, 2012).

6. Consideraciones paleogeográficas

Se ha estimado que el 60% de los fósiles del Cámbrico corresponden a trilobites y el 30% a braquiópodos; el 10% restante los constituyen grupos como poríferos, moluscos, artrópodos primitivos, equinodermos y otros de afinidad incierta (McAlester, 1973; Cuen y Radelli, 2007). Los trilobites representan los principales indicadores bioestratigráficos para este sistema, especialmente los del Orden Agnostida Salter, 1864, debido a que además de presentar una amplia distribución geográfica y corto rango estratigráfico, muestran una marcada diversidad evolutiva principalmente durante el Cámbrico medio y tardío (Peng *et al.* en Gradstein *et al.*, 2012). Se caracterizan por ser trilobites de tamaño pequeño (~6–7 mm), isopigidios, la mayoría sin ojos ni sutura facial, teniendo el tórax constituido únicamente por dos o tres segmentos torácicos (Agnostina–Eodiscina), por lo tanto, su especialización y paleoecología ha sido fuertemente debatida en los últimos años (Zhuralev y Riding, 2001; Tortello *et al.* en Camacho, 2007). Para Liñán (1996), se consideran organismos pelágicos debido a las facies donde se encuentran, viviendo probablemente en aguas oceánicas o en aguas neríticas distales con comunicación con el mar abierto, ya que sus fósiles frecuentemente se encuentran acumulados en el bioma de cuenca oceánica o en el sublitoral más externo, circalitoral.

Las especies cosmopolitas de agnóstidos, como *Ptychagnostus atavus* se hallan en las facies de plataforma externa de Laurentia como también en las de Báltica, Australia, China, Siberia, Kazajistán y la Precordillera argentina (McCollum y Sundberg, 2007; Foglia, 2010; Babcock *et al.*, 2011; Hally y Paterson, 2014; Bordonaro, 2016).

Ptychagnostus atavus es una especie generalmente muy abundante y de distribución cosmopolita, permitiendo realizar correlaciones globales, razón por la cual ha sido descrita en muchas partes del mundo y su posición sistemática ha sido ampliamente discutida (Fig. 4) (Ahlber *et al.*, 2007; Peng *et al.*, 2012).

A nivel del continente de Laurentia, la especie de *Ptychagnostus atavus* está presente en diversas localidades del margen y de la plataforma cámbrica, específicamente en las formaciones Marjuman y Wheeler de Utah, Lincoln Peak y Geddes de Nevada, EUA y en la Formación El Mogallón de Sonora, México. La posición del continente de Laurentia cercana al paleoecuador durante el Cámbrico

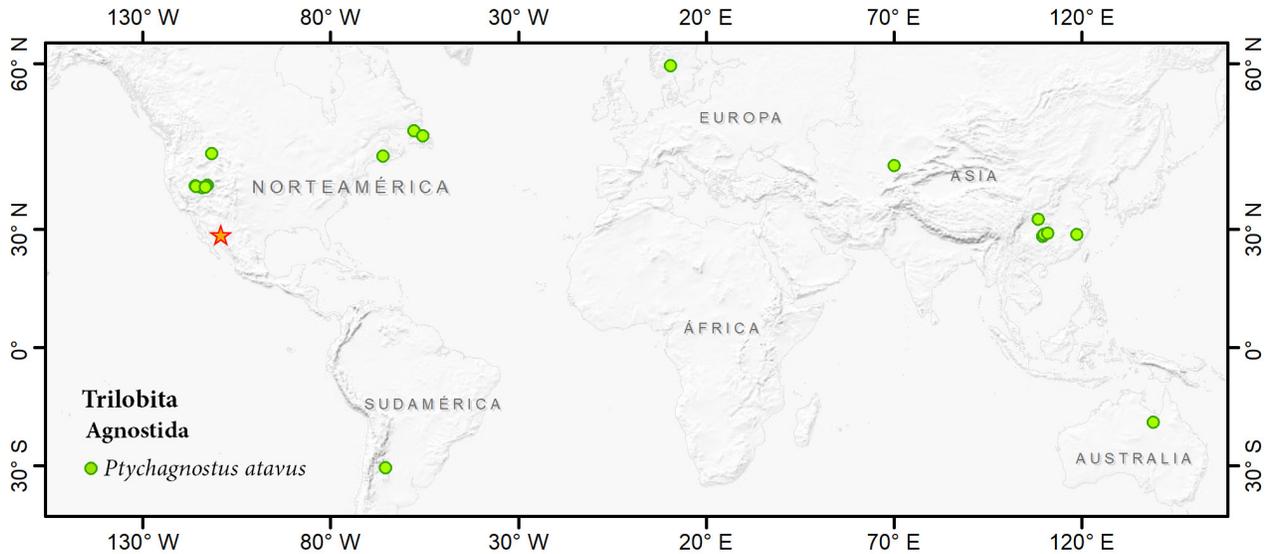


Figura 4. Distribución global de *Ptychagnostus atavus*, la estrella de color naranja indica su presencia en el estado de Sonora.

medio, fue un factor favorable para el acmé de diversos grupos de organismos que se movilizaron a través de las corrientes de la plataforma somera de aguas cálidas que rodeaba el paleocontinente. Las rocas cámbricas de la parte centro-oriental del estado de Sonora (San José de Gracia, Mazatán y Arivechi) fueron parte de la plataforma externa que rodeaba Laurentia durante el Cámbrico.

Robison (1976), aplicó un modelo a la Great Basin del oeste de Estados Unidos de América, donde reconoció dos biofacies que son mutuamente excluyentes: 1) Biofacies de plataforma interna restringida con escasos trilobites poliméridos endémicos y de baja diversidad; 2) Biofacies de plataforma exterior abierta con abundantes poliméridos y agnóstidos endémicos y cosmopolitas, y con alta diversidad. Si bien estas dos biofacies se interdigitan entre sí, cada una posee géneros y especies de trilobites propios que son mutuamente excluyentes. Este modelo se puede aplicar a la fauna de trilobites de Sonora durante el Cámbrico medio y tardío (Fig. 5 y 6), donde se observan localidades como Caborca y Cananea, las cuales corresponden a la biofacies de plataforma restringida, litológicamente caracterizadas por arenisca, lutita y carbonatos someros, caracterizadas por trilobites poliméridos: Ptychopariida (Alokistocaridae, Cedariidae, Crepicephalidae, Llanosapididae, Plethopeltidae, Ptychopariidae y Tricrepicephalidae) y Corynexochida (Dolichometopidae, Dorypigidae y Zacanthoididae). La biofacies de plataforma exterior abierta está representada por las localidades de San José de Gracia, Mazatán y Arivechi, las cuales se caracterizan litológicamente por potentes secuencias de sedimentos detríticos como lutita así como carbonatos oscuros, con una mezcla de trilobites miómeros y poliméridos: Agnostida (Eodiscidae, Metagnostidae, Peronopsidae,

Ptychagnostidae y Spinagnostidae), Ptychopariida (Alokistocaridae, Marjumiidae y Ptychopariidae) y Corynexochida (Dolichometopidae, Dorypigidae, Ogygopsidae, Oryctocephalidae y Zacanthoididae) (Fig. 7).

7. Conclusiones

Se describe e ilustra por primera vez para la región de Arivechi, Sonora y México, la especie *Ptychagnostus atavus*. La determinación de esta especie en rocas del Cámbrico de Sonora aporta nuevo conocimiento sobre su distribución en el continente de Laurentia, y considerando su aparición en diferentes regiones geográficas como Europa, China, Australia y Asia, se infiere que existió una amplia provincia faunística de plataforma abierta para esta especie que incluyó la parte occidental de Estados Unidos de América y el norte de México.

Ptychagnostus atavus es una especie generalmente muy abundante y distribución cosmopolita, permitiendo realizar correlaciones a nivel global, siendo descrita en muchas partes del mundo. Además de *Ptychagnostus atavus*, espículas de esponjas hexactinélidas y heteractínidas, escleritos de *Chancelloria eros* Walcott, *Archiasterella* y *Allonia*, junto con braquiópodos linguliformes, placas de equinodermos y posibles filamentos de algas se han colectado en rocas del Cámbrico medio de Sonora (Arivechi y San José de Gracia). Esta diversa biota es representativa de la fauna comúnmente encontrada en Laurentia y la cual se encuentra ampliamente distribuida para este intervalo temporal, siendo de significativa importancia para una mayor comprensión de la historia evolutiva de los primeros metazoos que habitaron los mares de la Tierra.

Global	Norteamérica		Zonas Trilobites	Zonas Trilobites (Plataforma Exterior)	Correlación	
	Serie	Piso				
CÁMBRICO	Guzhangiano	Lincolniano	Marjumano	<i>Crepicephalus</i>	<i>Glyptagnostus stolidatus</i> ? (<i>Linguagnostus reconditus</i>) ?	
				<i>Cedaria / Cedarina dakotaensis</i>	(<i>Agnostus pistiformis</i>)	
	<i>Bolaspidella</i>			<i>Lejopyge laevigata</i>		
				? — — — ? — — — ?		
			(<i>Goniagnostus nathorsti</i>) <i>Ptychagnostus punctuosus</i> <i>Ptychagnostus atavus</i>			
	Wuliuano		Topazano	<i>Ehmaniella</i>	<i>Altiocculus</i>	<i>Ptychagnostus gibbus</i>
					<i>Ehmaniella</i> <i>Ehmaniella</i> <i>Ehmaniella</i> <i>Proehmaniella</i>	<i>Ptychagnostus praecurrens</i>
			Delamarano		<i>Glossopleura walcotti</i>	<i>Peronopsis bonnerensis</i>
	<i>Albertella highlandensis</i> <i>Mexicella mexicana</i> Sin nombre <i>Albertella aspinosa</i>			<i>Oryctocephalus indicus</i>		
	<i>Poliella denticulata</i>					
<i>Amecephalus arrosensis</i> <i>Eokochaspis nodosa</i>						
Piso 4						

Figura 7. Correlación bioestratigráfica de la Formación El Mogallón con algunas unidades de Laurentia.

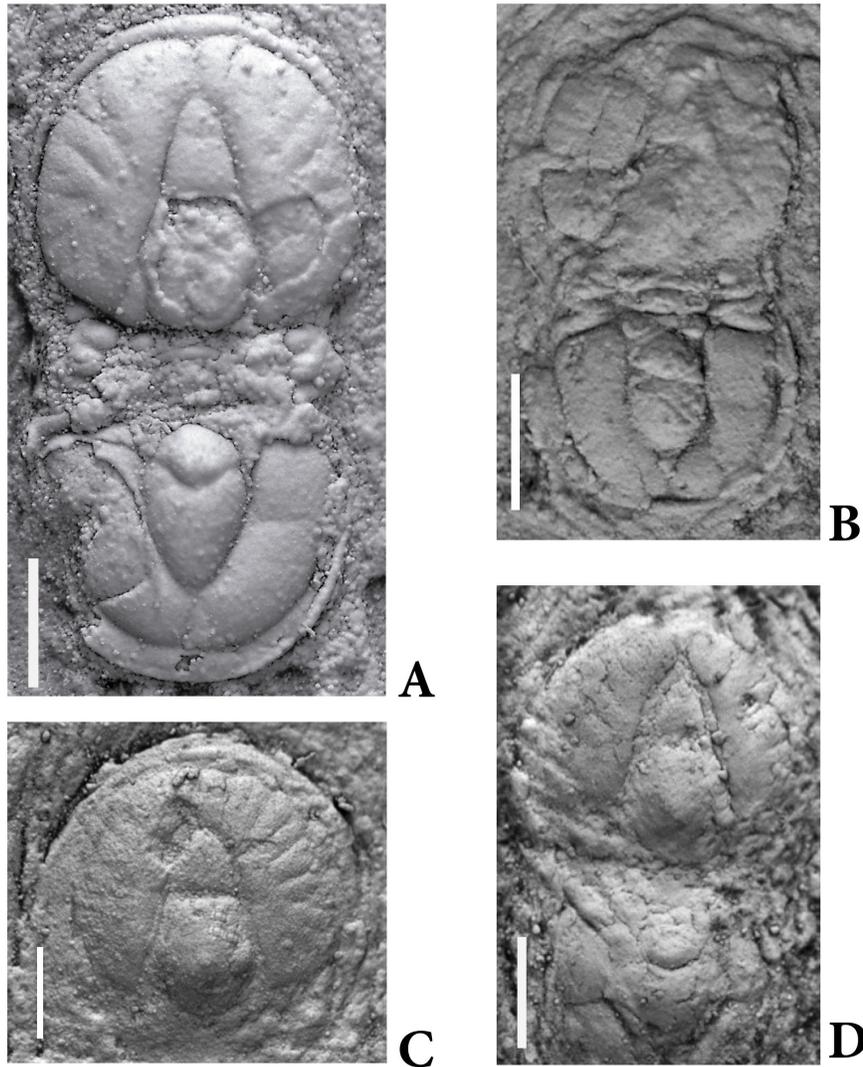


Figura 8. A) *Ptychagnostus atavus* USDG 350; B) *Ptychagnostus atavus* USDG 351, mostrando M2 de forma hexagonal, cefalón mal conservado; C) *Ptychagnostus atavus* USDG 352, mostrando la anteroglabra cónica y la escrobiculación de las genas; D) *Ptychagnostus atavus* USDG 353. La escala gráfica equivale a 1 mm.

Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte proporcionado por los proyectos CONACYT No. 165826, 235970 y ECOS Francia-México No. 229494. PRODEP: Paleoecología de los ecosistemas marinos del Cámbrico de Sonora, México: Bioestratigrafía, Paleobiogeografía y su relación con el cratón de Norteamérica. Así como el Proyecto UNISON No. USO315003632: Bioestratigrafía y Paleoecología de los depósitos del Paleozoico de Sonora central, México. También agradecemos al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por las facilidades otorgadas para llevar a cabo este estudio.

Referencias

- Ahlberg, P., Axheimer, N., Robison, R., 2007, Taxonomy of *Ptychagnostus atavus*: A key trilobite in defining a global Cambrian stage boundary: *Geobios*, 40(2007), 709–714.
- Almazán-Vázquez, E., 1989, El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del estado de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología Revista, 8(1), 275–278.
- Angelin, N.P., 1851, Palaeontologia Svecica. Pars I: Iconographia crustaceorum formationis transitionis, Fascicule 1, 1–24.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., Peng, S.C., 2011, Cambrian stage and series nomenclature of Laurentia and the developing global chronostratigraphic scale, en Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A., Foster, J.R. (eds.), *Cambrian Stratigraphy and Paleontology of Northern Arizona and Southern Nevada*: Flagstaff, Arizona, Museum of Northern Arizona Bulletin, 67, 12–26.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., Rees, M.N., Peng, S.C., Saltzman, M.R., 2007, The global boundary stratotype section and point (GSSP) of the Drumian Stage (Cambrian) in the Drum Mountains, Utah, USA: *Episodes*, 30, 85–95.
- Beresi, M.S., Botting, J.P., Palafox, J.J., Buitrón-Sánchez, B.E., 2017, New reticulosan sponges from the middle Cambrian of Sonora, Mexico: *Acta Palaeontologica Polonica*, 62(4), 691–703.
- Bordonaro, O.L., 2016, Trilobites laurénticos de la Formación La Laja (Cámbrico), Precordillera de San Juan, Argentina: un aporte biogeográfico al modelo alóctono de Precordillera: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(4), 457–467.
- Buitrón-Sánchez, B., 1992, Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico inferior de México y su contenido biótico, en Gutiérrez-Marco J.G., Saavedra J., Rábano I. (eds.), *Paleozoico de Ibero-América*: Extremadura, España, Universidad de Extremadura, 193–201.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1952, *Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern, Sonora, Mexico*: Smithsonian Miscellaneous Collections, 119, 1–184.
- Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1956, *Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora, Parte 1a*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1–259.
- Cuen-Romero, F.J., 2013, *Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones Paleogeográficas*: Tesis de Maestría en Ciencias-Geología, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Hermosillo, Sonora, México, 1–142.
- Cuen-Romero, F., Beresi, M.S., Montijo, A., Buitrón, B.E., Minjárez, I., De la O, M., Palafox, J.J., 2013, *Chancelloria Walcott*, 1920 y *Reticulosa* Reid, 1958 del Cámbrico medio de San José de Gracia, Sonora, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65, 581–590.
- Cuen-Romero, F.J., Radelli, L., 2007, Un problema estratigráfico en el Cámbrico y Precámbrico de Caborca, en Montijo-González, A. (ed.), *Resúmenes de la XXXI Semana Cultural de Geología*, 6.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón-Sánchez, B.E., Monreal, R., Enríquez-Ocaña, L.F., Aguirre-Hinojosa, E., Ochoa-Granillo, J.A., Palafox-Reyes, J.J., 2018, Trilobite-based biostratigraphy (Arthropoda-Trilobita) and related faunas of the Cambrian from Sonora, Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, Elsevier, 83(2018), 227–236.
- Cuen-Romero, F.J., Valdez-Holguín, J.E., Buitrón-Sánchez, B.E., Monreal, R., Enríquez Ocaña, L.F., Aguirre-Hinojosa, E., Ochoa-Granillo, J.A., Grijalva-Noriega, F.J., Palafox-Reyes, J.J., 2019, Paleocology of Cambrian communities of central Sonora, Mexico: Paleoenvironmental and biostratigraphic considerations: *Journal of South American Earth Sciences*, 92(2019), 631–645.
- Dott, R.H., Batten, R.L., 1971, *Evolution of the Earth*: United States of America, McGraw-Hill, Inc., 649 pp.
- Ergaliev, G.K., 1980, Middle and Upper Cambrian trilobites of the Lesser Karatau: Academy of Sciences, Kazakhstan SSR, Kazakhstan SSR Publishing House, Alma-Ata, 1–211.
- Fletcher, T.P., 2006, *Bedrock geology of the Cape St. Mary's Peninsula, southwest Avalon Peninsula, Newfoundland*: Government of Newfoundland and Labrador, Geological Survey, Department of Natural Resources, Report 06-02.
- Foglia, R.D., 2010, Primer registro de la Biozona de *Ptychagnostus atavus* (Cámbrico medio) en Argentina y sus implicaciones cronoestratigráficas: X Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, VII Congreso Latinoamericano de Paleontología. (La Plata, Argentina), Resúmenes, p. 47.
- González-León, C., 1986, Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra del Tule, noroeste de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología Revista, 06(2), 117–135.
- Hally, L.A., Paterson, J.R., 2014, Biodiversity, biofacies and biogeography of middle Cambrian (Series 3) arthropods (Trilobita and Agnostida) on the East Gondwana margin: *Gondwana Research*, 26(2), 654–674.
- Hong, P.S., Choi, D.K., 2015, Cambrian series 3 agnostoid trilobites *Ptychagnostus sinicus* and *Ptychagnostus atavus* from the Machari Formation, Yeongwol Group, Taebaeksan Basin, Korea: *Journal of Paleontology*, 89(3), 377–384.
- Høyberget, M., Bruton, D.L., 2008, Middle Cambrian trilobites of the suborders Agnostina and Eodiscina from the Oslo Region, Norway: *Palaeontographica Abteilung A*, 286, 1–87.
- Jaekel, O., 1909, Über die Agnostiden: *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 61, 380–401.
- Kobayashi, T., 1939, On the agnostoids (Part 1): *Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section II*, 5, 69–198.
- Laurie, J.R., 1988, Revision of some Australian Ptychagnostinae (Agnostida-Cambrian): *Alcheringa*, 12, 169–205.
- Levi-Setti, R., 1993, *Trilobites*: The University of Chicago, 1–342.
- Liñán, E., 1996, *Trilobites*: *Boletín de la SEA*, 16, 45–56.
- McAlester, A.L., 1973, *La historia de la vida*: Barcelona, España, Omega, 151 pp.
- McCollum, L.B., Sundberg, F.A., 2007, Cambrian trilobite biozonation of the Laurentian Delamaran Stage in the southern Great Basin, U.S.A.: Implications for global correlations and defining a Series 3 global boundary stratotype: *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, 34, 147–156.
- Ogg, J.G., Ogg, G.M., Gradstein, F.M., 2016, *A concise Geologic Time Scale*: Elsevier, 1–240.
- Pantoja-Alor, J., Robison, R.A., 1967, Paleozoic sedimentary rocks in Oaxaca, Mexico: *Science New Series*, 157(3792), 1033–1035.
- Peng, S., Babcock, L.E., Cooper, R.A., 2012, The Cambrian Period, en Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M. (eds.), *The Geologic Time Scale 2012*: Amsterdam, Elsevier, 2, 437–488.
- Peng, S.C., Robison, R.A., 2000, Agnostoid biostratigraphy across the Middle-Upper Cambrian boundary in Hunan, China: *Paleontological Society Memoir*, 53, 1–104.

- Robison, R.A., 1976, Middle Cambrian Trilobite Biostratigraphy of the Great Basin: Geology Studies, Brigham Young University, 23(2), 93–109.
- Robison, R.A., 1982, Some Middle Cambrian agnostoid trilobites from western North America: Journal of Paleontology, 56, 132–160.
- Robison, R.A., 1984, Cambrian Agnostida of North America and Greenland, Part I; Ptychagnostidae: University of Kansas Paleontological Contributions, Paper 109, 1–59.
- Salter, J.W., 1864, A monograph of the British Trilobites from Cambrian, Silurian and Devonian formations: Monographs of the Palaeontographical Society, 22–216.
- Tortello, M.F., Waisfeld, B.G., Vaccari, N.E., 2007, Trilobita, en Camacho, H. (eds.), Los invertebrados fósiles: Buenos Aires, Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 535–562.
- Tullberg, S.A., 1880, Om Agnostus-arterna i de kambriska aflagringarne vid Andrarum: Sveriges Geologiska Undersökning, C42, 1–37.
- Vega-Granillo, R., 1996, Geología de la Sierra de Mazatán: Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 13(1), 89–102.
- Von Siebold, C.T., 1848, Lehrbuch der vergleichenden Anatomieder Wirbellosen Thiere. Erster Theil, en von Siebold C.T., Stannius H. (eds.), Lehrbuch der vergleichenden Anatomie. – Verlag von Veit & Comp: Berlin, 679 pp.
- Walch, J.E.I., 1771, Die Naturgeschichte der Versteinerungen zur Erläuterung der Knorr'schen Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur: Dritter Theil, 1–85.
- Weidner, T., Nielsen, A.T., 2009, The Middle Cambrian *Paradoxides paradoxissimus* Superzone on Öland, Sweden: GFF, 131, 253–268.
- Weidner, T., Nielsen, A.T., 2014, A highly diverse trilobite fauna with Avalonian affinities from the Middle Cambrian *Acidusus atavus* Zone (Drumian Stage) of Bornholm, Denmark: Journal of Systematic Palaeontology, 12, 23–92.
- Whittington, H.B., Kelly, S.R.A., 1997, Morphological terms applied to Trilobita, en Kaesler, R.L. (ed.), Treatise of Invertebrate Paleontology, Part O, Arthropoda 1; Trilobita (Revised), Volume 1: Boulder, Colorado y Lawrence, Kansas, Geological Society of America and University of Kansas, 313–329.
- Zhuralev, A.Y., Riding, R., 2001, The Ecology of the Cambrian Radiation: Columbia University Press, 1–536.

Manuscrito recibido: Septiembre 10, 2019.

Manuscrito corregido recibido: Diciembre 5, 2019.

Manuscrito aceptado: Diciembre 6, 2019.