

Las sucesiones carbonáticas marinas del Pérmico Temprano en Antofagasta, norte de Chile

Gabriela A. Cisterna¹, Andrea F. Sterren^{2,3}, Hans R. Niemeyer⁴

¹ CONICET-Universidad Nacional de La Rioja, Avda. Dr. Luis M. de la Fuente s/n, 5300 La Rioja, Argentina.
gabrielacisterna@conicet.gov.ar

² Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), CONICET-Universidad Nacional de Córdoba, Avda. Vélez Sársfield 1611, X5016GCA, Córdoba, Argentina.
asterren@com.uncor.edu

³ Centro de Investigaciones Paleobiológicas (CIPAL), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Avda. Vélez Sársfield 299, X500JJC, Córdoba, Argentina.

⁴ Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas, Casilla 1280, Antofagasta, Chile.
hansn@ucn.cl

RESUMEN. Se analizan las sucesiones carbonáticas de las formaciones Cerro El Árbol y Cerros de Cuevitas, en la depresión central de Antofagasta, norte de Chile. Ellas están caracterizadas por una asociación de invertebrados marinos compuesta, en general, por braquiópodos, bivalvos, gastrópodos, crinoideos y briozoos, en el que el braquiópodo *Kochi-productus* Dunbar es el elemento dominante. La presencia de este género, de amplia distribución mundial en secuencias pérmicas, sería clave para encontrar la posible vinculación de esta región con las cuencas clásticas del centro oeste de Argentina. Si bien la fauna del norte de Chile presenta claras afinidades con aquellas de las cuencas de Bolivia y Perú, su composición no es exactamente equivalente y es, además, marcadamente menos diversa. El conocimiento taxonómico aquí alcanzado indica que esta fauna, particularmente braquiópodos y bivalvos, representaría una asociación de mezcla. En términos bioestratigráficos, esta podría ser considerada intermedia entre las faunas más antiguas del Carbonífero tardío-Pérmico temprano del centro oeste de Argentina y las más jóvenes del Pérmico de Bolivia y Perú.

Palabras clave: Pérmico, Bioestratigrafía, Paleobiogeografía, Antofagasta, Chile.

ABSTRACT. Early Permian marine carbonate sequences in Antofagasta, northern Chile. The carbonate successions of the Cerro El Árbol and Cerros de Cuevitas formations in the central region of Antofagasta are herein studied. These stratigraphic units are characterized by an invertebrate marine fossil assemblage integrated by brachiopods, bivalves, gastropods, crinoids and bryozoans, in which the brachiopod *Kochi-productus* Dunbar is the dominant component. This genus, widely known in the Permian sequences of the world, can be considered a key to understand the possible connection between northern Chile and the central western Argentinean basins. Although the fauna studied shows clear affinities with those from Bolivia and Perú, it is notably less diverse and its composition appears to be not exactly equivalent. The taxonomic knowledge reached, indicates that this fauna, particularly brachiopods and bivalves, would represent a mixed-assemblage. From a biostratigraphic perspective, the fauna of northern Chile could be considered intermediate between the oldest Late Carboniferous-Early Permian faunas of central western Argentinian basins and the younger ones from Bolivia and Perú.

Keywords: Permian, Biostratigraphy, Paleobiogeography, Antofagasta, Chile.

1. Introducción

En la depresión central de Antofagasta, los depósitos marinos del Paleozoico superior conforman diversos afloramientos, cuyo estudio proporciona información valiosa acerca de la paleogeografía de esta parte de Sudamérica y la posible conexión del norte de Chile con las cuencas vecinas de Bolivia y noroeste de Argentina. Estos depósitos han sido asignados de manera general al Carbonífero-Pérmico Inferior (Davidson *et al.*, 1981; Maksaev *et al.*, 1991; Niemeyer *et al.*, 1997; Cortés, 2000), e incluso algunos autores determinaron una edad aún más amplia, Carbonífero temprano-Pérmico tardío (Chong y Cecioni, 1976).

Las sucesiones carbonáticas de la Formación Cerro El Árbol, en la localidad homónima y en el Cerro 1584, área de Augusta Victoria, y de la Formación Cerros de Cuevitas en el salar de Navidad (Fig. 1), están caracterizadas por una asociación de invertebrados marinos compuesta, en general, por braquiópodos, bivalvos, gastrópodos, crinoides y briozoos. Un muestreo detallado en cada una de ellas ha permitido observar diferencias composicionales, puestas de manifiesto en las abundancias relativas de los principales grupos de invertebrados identificados, como así también en las variaciones taxonómicas de braquiópodos y bivalvos, replanteando así esquemas bioestratigráficos y paleobiogeográficos previos.

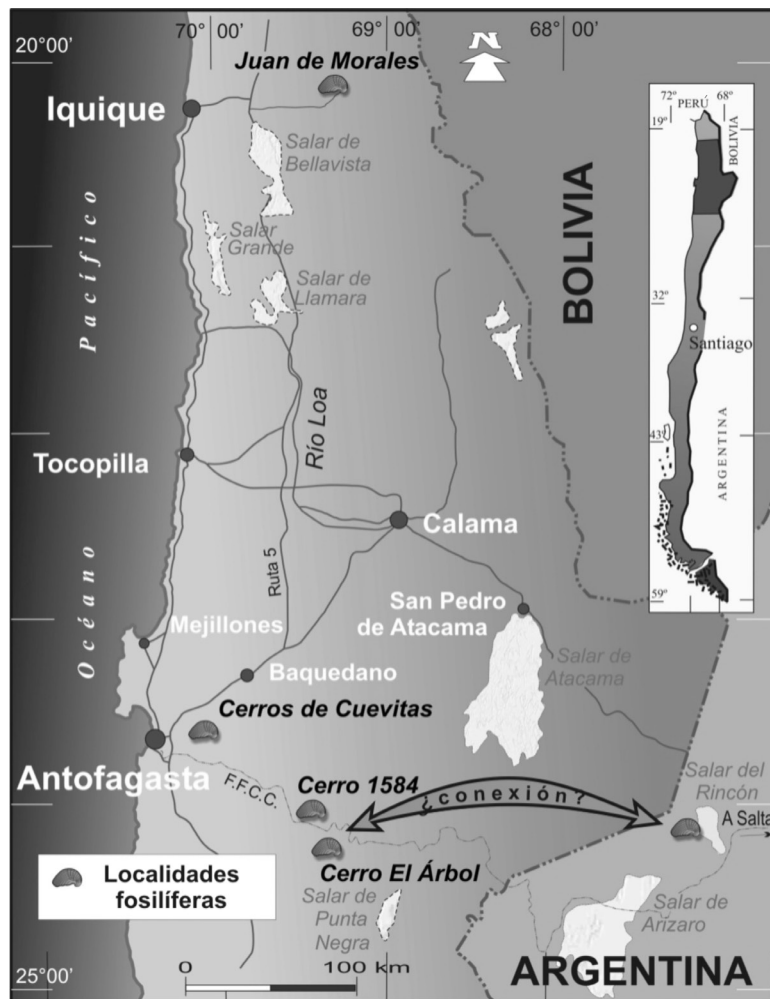


FIG. 1. Esquema de ubicación geográfica de las principales localidades fosilíferas pérmicas del norte de Chile.

2. Estratigrafía y contenido fosilífero

2.1. Formación Cerro El Árbol

Estudiada previamente por Niemeyer *et al.* (1985), fue definida 5 km al noreste del cerro homónimo como ‘una secuencia formada por areniscas arcósicas y calcáreas, lutitas rojas, conglomerados y calizas con fósiles marinos’ (Maksaev *et al.*, 1991). Esta unidad se apoya sobre rocas volcánicas de la Formación La Tabla (Carbonífero-Pérmico; Maksaev *et al.*, 1991) y su techo está marcado por un contacto discordante con los depósitos marinos triásicos de la Formación El Profeta (Maksaev *et al.*, 1991). En un perfil de 355 m de espesor, se identificaron dos intervalos fosilíferos con marcadas variaciones composicionales (Fig. 2). En el intervalo inferior (Fig. 2, niveles 2 a 6), la fauna está dominada por bivalvos, gastrópodos, abundantes artejos de crinoideos, restos de briozoos y escasos braquiópodos indeterminados. Allí se diferenciaron dos niveles separados 70 m uno de otro. El nivel inferior está constituido por una arenisca gruesa portadora de escasos restos de bivalvos mal preservados dentro de los cuales se pudieron reconocer *Schizodus?* sp. y Pectinidae ind. El segundo nivel fosilífero está representado por una arenisca fina de color morado con los bivalvos *Heteropecten?* sp., *Wilkingia* sp., Anomalodesmata ind., Bivalvia ind. 1, Bivalvia ind. 2. Los gastrópodos reconocidos en este intervalo pertenecen a las Familias Bellerophontidae M'Coy y Pseudozygopleuridae Horny. En el intervalo superior de naturaleza carbonática (Fig. 2, niveles 9 a 11), se identificaron concentraciones predominantemente compuestas por braquiópodos. En estas coquinas fue posible reconocer una asociación dominada por braquiópodos (*Kochiprproductus* aff. *K. peruvianus* (d'Orbigny), *Kochiprproductus* sp., *Gypspirifer?* sp. A, *Gypspirifer?* sp. B y chonetidae ind.), crinoideos y briozoos, acompañados de gastrópodos (Familias Eotomariidae?) y escasos bivalvos (Anomalodesmata? ind.). Una asociación equivalente ha sido identificada en los niveles carbonáticos del área del Cerro 1584, dominada también por braquiópodos aunque más diversificados: *Kochiprproductus* aff. *K. peruvianus* (d'Orbigny), *Kochiprproductus* sp., *Cleiothyridina* sp., *Kozlowskia* sp., Linoprproductidae ind., *Gypspirifer?* sp. A, *Gypspirifer?* sp. B y *Hustedia?* sp., acompañados de crinoideos y briozoos.

2.2. Formación Cerros de Cuevitas

Esta unidad, definida según afloramientos distribuidos en los cerros del mismo nombre por Niemeyer *et al.* (1997), está caracterizada por una sucesión que se inicia con niveles de conglomerados seguidos de un paquete de pelitas y areniscas calcáreas fosilíferas que alternan en intervalos regulares; en la parte media se registran niveles con conglomerados rojizos y, hacia el techo, areniscas calcáreas y calizas con intercalaciones de tobas epiclásticas. La sucesión se apoya, mediante una discordancia angular conspicua, sobre los niveles de turbiditas devónicas plegadas de la Formación Sierra del Tigre (Niemeyer *et al.*, 1997) y subyace, también mediante discordancia angular, a depósitos de calizas de edad triásico-jurásica.

En la Formación Cerros de Cuevitas se identificaron dos intervalos fosilíferos de composición taxonómica diferente (Fig. 3): el inferior constituido por calcarenitas y dominado por moluscos, donde se reconoce una fauna de bivalvos compuesta por *Myalina* sp. aff. *M. chilena* González, Pectinidae ind., Anomalodesmata ind. y gastrópodos, además de briozoos ind.; el intervalo carbonático superior, físicamente desconectado del inferior, presenta una asociación faunística equivalente a las que caracterizan a las secciones de Cerro El Árbol y Cerro 1584, antes mencionadas. La fauna está dominada por los braquiópodos *Kochiprproductus* aff. *K. peruvianus* (d'Orbigny), *Kochiprproductus* sp., Linoprproductidae ind. (probablemente *Linoprproductus cora* (d'Orbigny), (P. Isaacson, comunicación personal, 2013), *Cleiothyridina* sp., *Kozlowskia* sp., *Dielasma?* sp., *Gypspirifer?* sp. A, *Gypspirifer?* sp. B y *Hustedia?* sp., acompañada por crinoideos y gastrópodos (Familia Eotomariidae?).

3. Consideraciones bioestratigráficas y paleobiogeográficas

En términos paleogeográficos, los depósitos aquí analizados corresponden a una plataforma carbonática somera que se habría desarrollado en el margen sudoeste de Gondwana, desde Venezuela hasta Perú, Bolivia, norte de Chile y probablemente el noroeste de Argentina (Davidson *et al.*, 1981; Díaz Martínez *et al.*, 2000). La estrecha similitud faunística, señalada por diversos autores (Galli, 1968; Davidson *et al.*, 1981; Díaz Martínez *et al.*, 2000), entre los invertebrados marinos del norte de

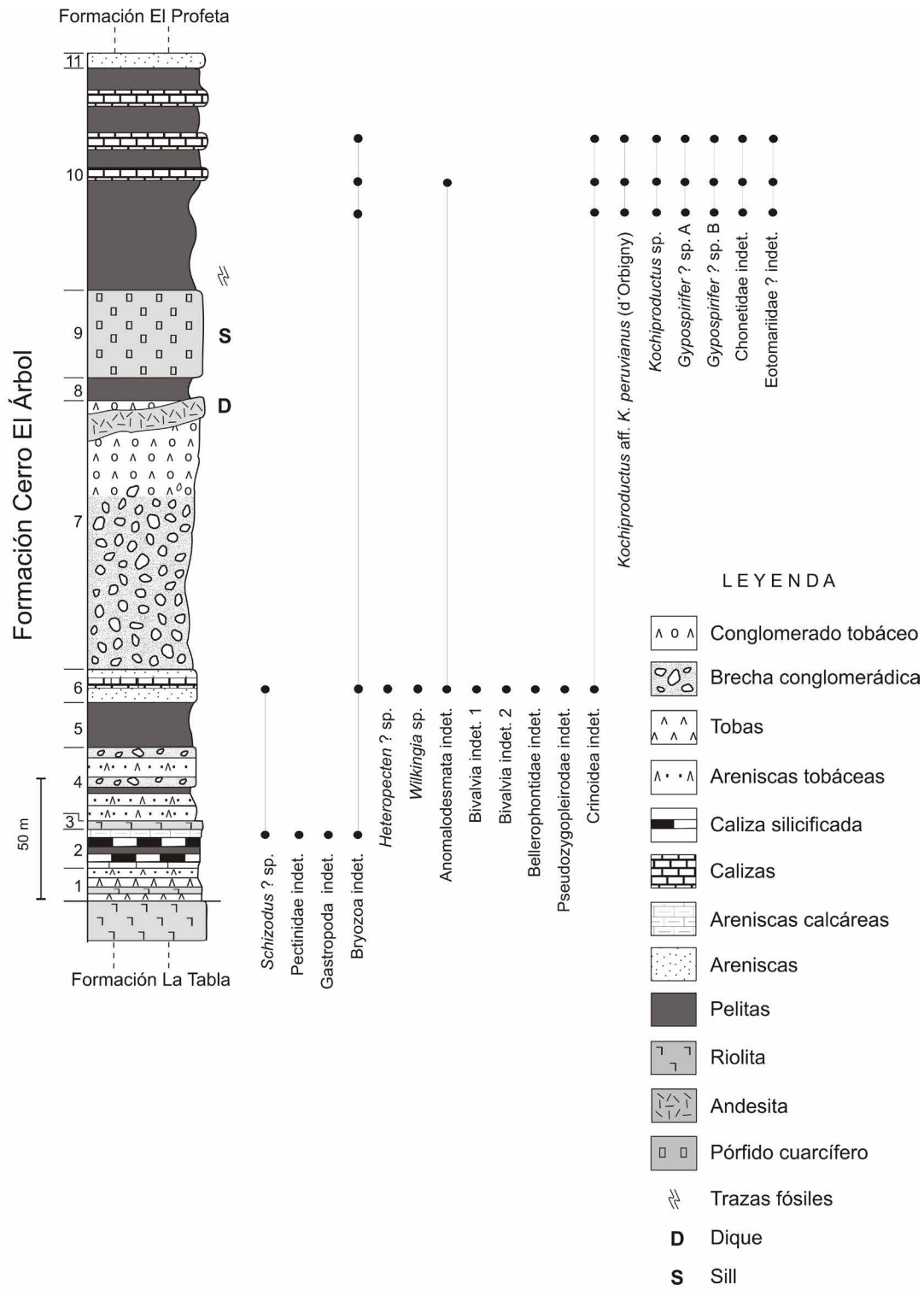


FIG. 2. Sección estratigráfica de la Formación Cerro El Árbol, 5 km al noreste del cerro homónimo, área de Augusta Victoria (24°7' 49,94"S; 69°30'1,89"W). Detalle de los niveles fosilíferos y distribución vertical de la fauna identificada.

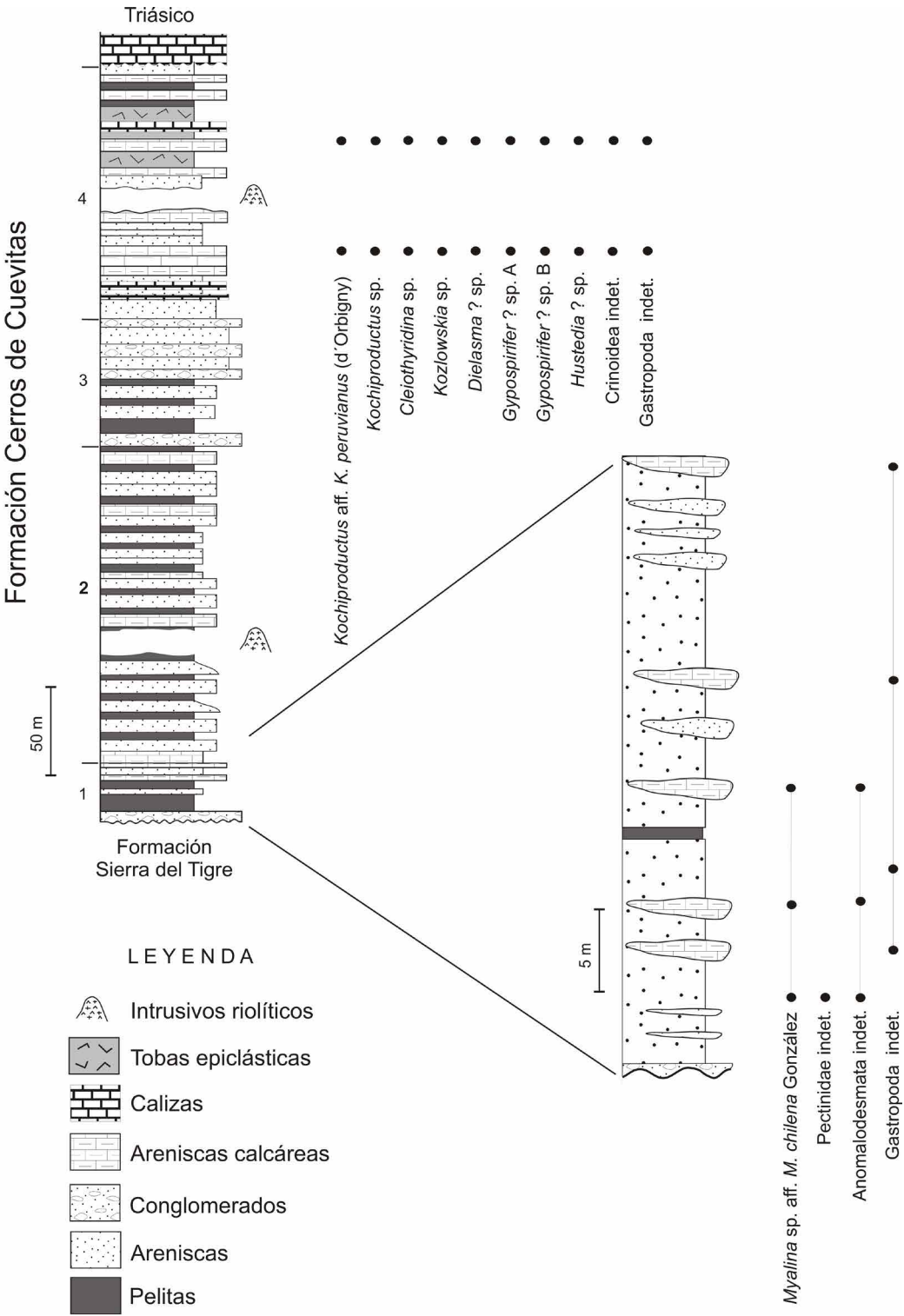


FIG. 3. Sección estratigráfica de la Formación Cerros de Cuevitas, en la localidad homónima, área del salar de Navidad (23°31'34,02"S; 69°57'28,95"W) con los niveles fosilíferos y la distribución vertical de la fauna identificada.

Chile y aquellos de la Formación Copacabana en Perú y Bolivia, como así también los descritos para la Formación Arizaro en el noroeste de Argentina (Aceñolaza et al., 1972), confirman este esquema.

El estudio detallado de las asociaciones faunísticas en diferentes localidades del norte de Chile, además de ajustar el esquema de afinidades paleobiogeográficas arriba señalado, permitiría encontrar las posibles vías de conexión entre esta región y cuencas clásticas del centro oeste de Argentina (cuencas Río Blanco, Calingasta-Uspallata y Paganzo). En este sentido, el braquiópodo *Kochiproductus* Dunbar, elemento dominante en las faunas identificadas, se convierte en un género clave para encontrar la posible vinculación de estas cuencas. *Kochiproductus* es un productido buxtoniinae de gran tamaño, cuya distribución global se halla restringida principalmente a depósitos pérmicos (Tazawa, 2003). Ejemplares asignados a este género, colectados por otros autores en las mismas localidades aquí analizadas (Niemeyer et al., 1985), han sido usualmente comparados con *Kochiproductus peruvianus* (d'Orbigny), descritos para la Formación Copacabana en Perú (Newell et al., 1953, p. 83, pl. 8, figs. 1-3, 5). No obstante, los especímenes chilenos caracterizados por región umbonal y umbón notablemente más anchos, son cercanos a aquellos identificados en los afloramientos de la Formación Copacabana en Bolivia (Newell et al., 1953, pl. 8, figs. 4a-b; Branisa, 1965, p. 190, lám. 63, figs. 1-6, 11, 12). *Kochiproductus* ha sido citado más recientemente, con la especie *Kochiproductus* sp., para las sucesiones carbonáticas de la Formación Juan de Morales que afloran próximas al área de Iquique (Cisterna y Niemeyer, 2008). Sin embargo, la asociación de braquiópodos que caracteriza a esta unidad está dominada por *Waagenoconcha* Chao, otro productido grande, con las especies *Waagenoconcha humboldti* (d'Orbigny) ilustrada por Díaz Martínez et al. (2000, fig. 7) y *Waagenoconcha* sp. aff. *Waagenoconcha humboldti* (d'Orbigny), *Waagenoconcha*? sp., mencionadas por Cisterna y Niemeyer (2010). En los depósitos carbonáticos pérmicos del norte de Chile, el género *Waagenoconcha* está restringido solo a la Formación Juan de Morales, cuya fauna de fusulinidos indicaría una edad Artinskiano-Kunguriano (Díaz Martínez et al., 2000).

La fauna de braquiópodos que aparece asociada a *Kochiproductus* en las localidades analizadas (*Cleiothyridina* sp., *Kozlowskia* sp., *Dielasma*? sp., *Gy-*

pospirifer? sp. A, *Gypospirifer*? sp. B, *Hustedia*? sp.), es comparativamente muy escasa (Fig. 4). De las especies identificadas, *Kozlowskia* sp. es comparable con *Kozlowskia capaci* (d'Orbigny), descrita en niveles del Pérmico temprano de la Formación Copacabana en Bolivia (Branisa, 1965, p. 194, lám. 65, figs. 1-10). Asimismo, algunos elementos comunes con esta asociación (*Hustedia*, *Gypospirifer*, *Cleiothyridina*) se han reconocido en las calizas de la Formación Huentelauquén (Minato y Tazawa, 1977), de edad carbonífera tardío-pérmica temprana para algunos autores (Rivano y Sepúlveda, 1985) y pérmica temprana para otros (Díaz Martínez et al., 2000). Minato y Tazawa (1977) describieron para esta unidad una fauna de braquiópodos relativamente diversa en comparación con aquella del norte de Chile (*Liosotella* sp. A., *Liosotella* sp. (o *Anemonaria* sp. ind.), *Alpavlia* (*Chaoiella*) *boliviensis* (d'Orbigny), *Anidanthus* aff. *eucharis* (Girty), *Yakovlevia* (*Muirwoodia*) sp., *Hustedia* aff. *meridionalis* Chronic, *Hustedia* sp., *Hustedia*? sp., *Gypospirifer* aff. *condor* (d'Orbigny), *Neospirifer* aff. *costellae* King, *Neospirifer* cf. *pseudocameratus* King, *Neospirifer* sp. indet., *Spiriferella* sp. A, *Spiriferella* sp. A y *Cleiothyridina* sp.), aunque integrada por ejemplares bastante fragmentarios y deformados que dificultan el nivel de comparación.

De los espiriferidos identificados en la asociación faunística aquí estudiada, *Gypospirifer*? sp. A y *Gypospirifer*? sp. B, han sido usualmente asignados a *Gypospirifer* ('*Neospirifer*') *condor* (d'Orbigny), por algunos autores que trabajaron en la región (Niemeyer et al., 1985). Esta especie fue descrita como *Neospirifer condor* (d'Orbigny) para la Formación Copacabana (Chronic en Newell et al., 1953, p. 60, pl. 10, figs. 10a-12c; Branisa, 1965, p. 184, lám. 60, figs. 1-8) y su ubicación genérica extensamente discutida por Cooper y Grant (1976) y Manceñido (2003), entre otros. En este sentido, el género *Gypospirifer* Cooper y Grant difiere de *Neospirifer* Fredericks por presentar costillas más finas y numerosas, las cuales no aparecen distintivamente fasciculadas, además de un mayor número de las mismas sobre el pliegue y seno, y por la total ausencia de una verdadera '*plication*' de la conchilla (Cooper y Grant, 1976, p. 2210). Carter et al. (2006) se refieren también al carácter de las costillas en *Gypospirifer*, señalando que estas son numerosas, finas, bien redondeadas, casi uniformes, simples o

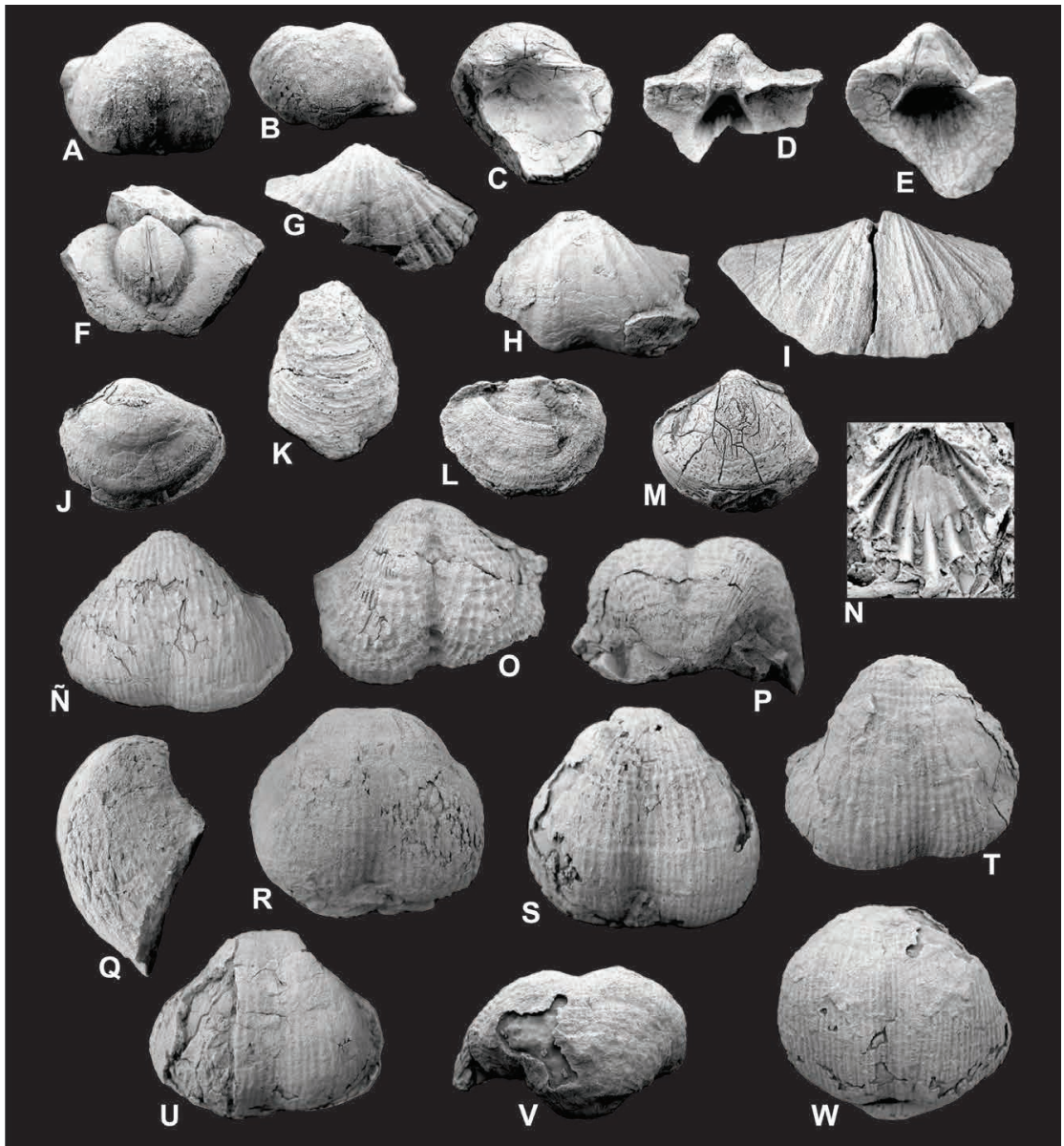


FIG. 4. Fauna de braquiópodos característica de las secciones estudiadas. A-C. *Kozłowska* sp., valva ventral, vistas exterior, posterior e interna, IPI 4267, x1 (Formación Cerros de Cuevitas); D-H. *Gypospirifer*? sp. A; D. Valva ventral, vista del área cardinal, IPI 4268, x1,2; E. Valva ventral, vista del área cardinal, IPI 4269, x1,35; F. Molde interno de valva ventral, IPI 4270, x1,27; G. Valva ventral que muestra detalle del fasciculamiento de las costillas, IPI 4271, x1; H. Valva ventral, IPI 4272, x1 (Formación Cerro El Árbol); I. *Gypospirifer*? sp. B, ejemplar articulado, vista ventral, IPI 4273, x0,6 (Formación Cerro El Árbol); J, L-M. *Cleiothyridina* sp.; J. Ejemplar articulado, vista ventral, IPI 4274, x0,88; L. Ejemplar articulado, vista dorsal, IPI 4276, x0,82; M. Ejemplar articulado, vista ventral, IPI 4277, x0,85 (Formación Cerros de Cuevitas); K. *Dielasma*? sp., ejemplar articulado, vista ventral, IPI 4275, x1,2 (Formación Cerros de Cuevitas); N. *Hustedia*? sp, molde externo de valva dorsal, IPI 4278, x2,67 (Formación Cerro El Árbol); Ñ-T. *Kochiproductus* aff. *K. peruvianus* (d'Orbigny); Ñ. Valva ventral, IPI 4279, x0,6; O-P. Valva ventral, vistas frontal y posterior, IPI 4280, x0,69; Q-R. Valva ventral, vistas lateral y frontal, IPI 4281, x0,8; S. Valva ventral, IPI 4282, x0,76; T. Valva ventral, IPI 4283, x0,71 (Formación Cerros de Cuevitas); U-W. *Kochiproductus* sp.; U. Valva ventral, IPI 4284, x0,57; V-W. Valva ventral, vistas posterior y frontal, IPI 4285, x0,53 (Formación Cerros de Cuevitas). Repositorio: IPI (Instituto de Paleontología, Sección Paleoinvertebrados, Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina).

bifurcadas y pueden formar débiles fascículos en la región posterior. Sin embargo, cuando estos últimos están presentes no producen ‘*plicae*’ (Carter *et al.*, 2006, p. 1799). Los especímenes chilenos que aquí se mantienen con duda en el género *Gypospirifer*, exhiben la ornamentación de típicas costillas fasciculadas en fascículos de tres costillas (Figs. 4G, I), muy diferente de la especie *Gypospirifer condor* (d’Orbigny) y, en general, de las especies descritas para ese género por Cooper y Grant (1976).

Trabajos previos sobre braquiópodos en este sector del margen oeste de Gondwana (Díaz Martínez *et al.*, 2000) señalan que la presencia del género *Waagenoconcha*, identificado en las sucesiones pérmicas de Juan de Morales en Chile, y en aquellas de la Formación Copacabana en Bolivia, indicaría una probable vinculación entre la cuenca boliviana y el norte de Chile para el Pérmico medio-superior. Dichos autores sostienen que *Waagenoconcha humboldti*, aparentemente ausente en los afloramientos de la Formación Copacabana en Perú, además de sugerir la posible comunicación entre las cuencas antes señaladas, sería un indicador de aguas templado-frías. De igual manera, en las asociaciones aquí estudiadas, el género *Kochiproductus* representa un elemento clave para entender las probables vías de conexión, en el intervalo Carbonífero tardío-Pérmico temprano, entre el norte de Chile, noroeste de Argentina (salar de Arizaro) y las cuencas precordilleranas Río Blanco, Calingasta-Uspallata y Paganzo. *Kochiproductus*, considerado un género de tipo Boreal (‘Boreal-type genus’, Tazawa, 2003), ampliamente distribuido en sucesiones pérmicas de las regiones árticas, ha sido también identificado en asociación con faunas tetianas en el oeste de Texas, en América del Norte (Cooper y Grant, 1975). Más recientemente, Tazawa (2003) registra su presencia en los depósitos pérmicos del noreste de Japón, en los cuales la fauna de braquiópodos está caracterizada por la mezcla de elementos boreales y tetianos. En las cuencas neopaleozoicas Río Blanco y Paganzo (provincia de San Juan, Argentina), el género *Kochiproductus*, representado con las especies *Kochiproductus riojanus* (Leanza) y *Kochiproductus* sp., aparece asociado a una fauna de braquiópodos típicamente gondwánicos (*Tivertonia* Archbold, *Coronaiosia* Waterhouse y Gupta, *Costatumulus* Waterhouse y *Pericospira* Archbold y Cisterna), que integran la Biozona de *Tivertonia jachalensis*-*Streptorhynchus inaequiornatus* (TS). Sobre la base de su fauna de

braquiópodos, esta biozona ha sido referida al Pérmico temprano (Cisterna y Simanaukas, 2000; Cisterna *et al.*, 2002, 2005), edad que apoyan otras evidencias paleontológicas más recientes que involucran palinomorfos y megaflore (Cisterna *et al.*, 2011). Dataciones radiométricas obtenidas por Gulbranson *et al.* (2010) han reasignado esta biozona, como así también la palinozona asociada (FS: *Pakhapites fusus*-*Vittatina subsaccata*), al intervalo Carbonífero tardío (Moscoviano-Estefaniano), replanteando con ello los esquemas bioestratigráficos aceptados para gran parte de Gondwana. Sin embargo, a partir de los perfiles propuestos por estos autores para unidades clave (formaciones Río del Peñón y Tupe), no es posible cotejar la ubicación relativa de la fauna de TS con respecto a las rocas portadoras de los nuevos datos radiométricos (Gulbranson *et al.*, 2010, figs. 6 y 8). Es importante destacar que los géneros de braquiópodos que caracterizan a esta fauna han sido registrados solo en secuencias pérmicas de Gondwana, lo que impediría correlaciones regionalmente más amplias. Las dataciones radiométricas recientes plantean una revisión extrema de dichos taxa, como así también del esquema bioestratigráfico que sustentan las asociaciones paleoflorísticas usualmente asociadas a la Biozona de TS.

La fauna de bivalvos identificada en los depósitos carbonáticos del norte de Chile (Fig. 5) está integrada por géneros que presentan, en general, una amplia distribución geográfica. Entre ellos se destaca *Myalina* De Koninck registrado en la Formación Copacabana y la especie *Myalina chilena* González, a la que fue referido el material aquí estudiado, en sucesiones pérmicas del área de Huentelauquén (González, 1986). En el centro oeste argentino, también se reportaron especies incluidas en la Familia Myalinidae French. Un posible género representante de esta familia fue mencionado por Manceñido *et al.* (1976) para la cuenca Calingasta-Uspallata en el oeste argentino (Formación Del Salto, Quartino *et al.*, 1971, pág. 76, lám. 3, fig. 8) y *Septimyalina* sp. fue descrita para la Formación Tupe en el sector occidental de la cuenca Paganzo (Sterren, 2004). La especie *Septimyalina burmai* Newell ha sido identificada en el Pérmico Inferior de los Andes Centrales (Formación Copacabana en Perú; Newell *et al.*, 1953, p. 158, lám. 34, figs. 1a-2) y *Septimyalina* cf. *S. burmai* en los Andes Septentrionales de Venezuela y Colombia (Sánchez, 1984, p. 31, lám. 3, figs. 1-7). En el Pensilvaniano de Brasil, se reconocieron las

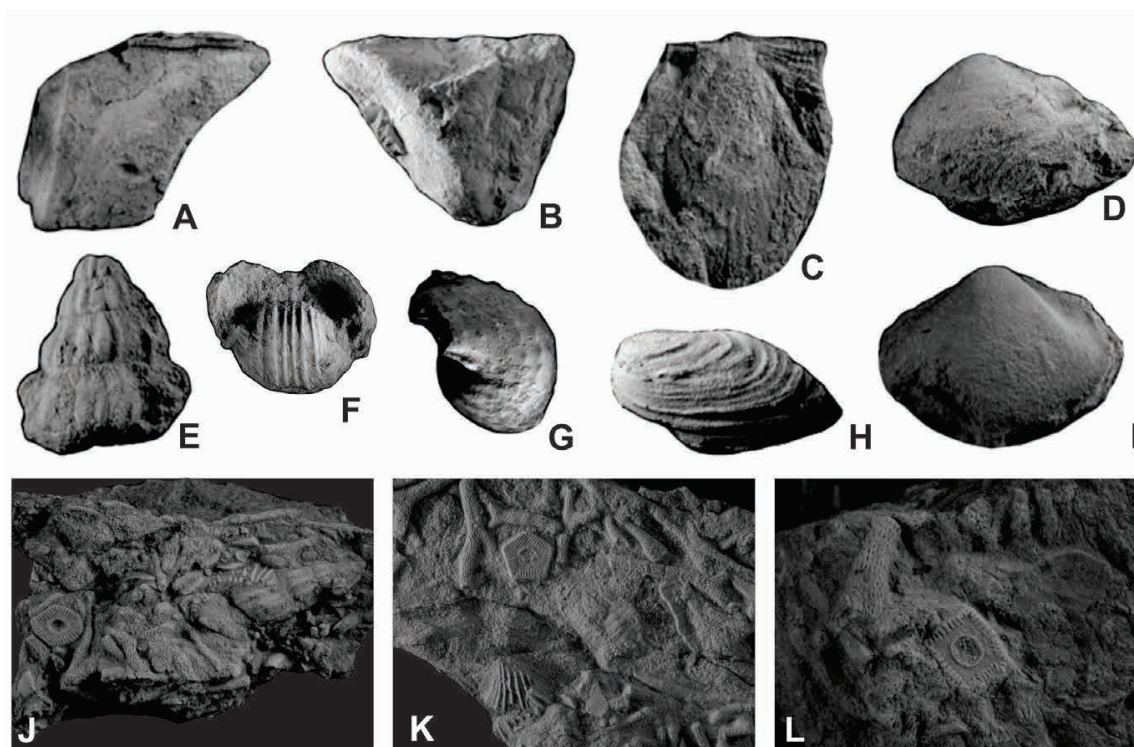


FIG. 5. Bivalvos, gastrópodos, briozoos y artejos de crinoideos. **A-B.** *Myalina* sp. aff. *M. chilena* González; **A.** Molde interno de valva derecha, IPI 4286, x0,80; **B.** Molde interno de valva izquierda, IPI 4287, x0,83 (Formación Cerros de Cuevitas); **C.** *Heteropecten?* sp., molde compuesto de valva derecha, IPI 4313, x3,11; **D.** *Schizodus* sp., molde compuesto de valva izquierda, IPI 4333, x2,07; **E.** *Pseudozygopleuridae* ind., vista lateral, IPI 4339, x2,7; **F-G.** *Bellerophontidae* ind.; **F.** Vista apertural, IPI 4341, x1,3; **G.** Vista lateral, IPI 4342, x1,6; **H.** *Wilkingia* sp., molde compuesto de valva izquierda, IPI 4337, x1,3; **I.** *Schizodus?* sp., molde interno de valva izquierda, IPI 4329, x3,68; **J-L.** Coquinas compuestas por gastrópodos, bivalvos, artejos de crinoideos y fragmentos de briozoos; **J.** IPI 4338, x1,5; **K.** IPI 4344, x1,5; **L.** IPI 4319, x4,1 (Formación Cerro El Árbol). Repositorio: IPI (Instituto de Paleontología, Sección Paleoinvertebrados, Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina).

especies *Septimyalina lanei* Mendes (1966, p. 40, lám. 3, figs. 3-6) en la cuenca amazónica (Formación Itaituba, Brasil) y *Septimyalina perattenuata* (Meek y Hayden, 1858), en la cuenca de Parnaíba (Formación Piauí, Anelli *et al.*, 2006, p. 1128, lám. 2, figs. 2-12). El género *Wilkingia* Wilson, además de sus registros en la Formación Cerro El Árbol, cuenta con representantes en sedimentitas del Carbonífero tardío-Pérmico temprano de la cuenca Río Blanco en Argentina, donde se describió la especie *Wilkingia riojana* González (1997; p. 209, lám. 8, figs. D-F). Otras especies del género fueron citadas para el Pensilvaniano del norte de Brasil: *Wilkingia?* sp., en la cuenca de Amazonas (Mendes, 1966, p. 46, lám. 4, figs. 3-4) y *Wilkingia terminalis* (Hall, 1852) (Anelli *et al.*, 2009, p. 104, lám. 9, figs. A-J) en la cuenca de Paranaíba. Esta última especie fue men-

cionada además para el Carbonífero tardío-Pérmico temprano de Venezuela (Benedetto, 1980; Sánchez, 1984) y Perú (Romero *et al.*, 1995). Es importante destacar que los géneros *Septimyalina* y *Wilkingia*, de amplia distribución latitudinal, aparecen comúnmente asociados con faunas paleoequatoriales y son considerados elementos indicadores de aguas relativamente cálidas (Sterren, 2004 y referencias allí citadas). El género *Heteropecten* Kegel y Costa, identificado en la Formación Cerro El Árbol, cuenta con diversos registros en el resto de Sudamérica. En el Carbonífero tardío-Pérmico temprano de Argentina, fue reportado en la cuenca Río Blanco con la especie *Heteropecten anteloi* González (González, 1997, p. 202, lám. 6, figs. D-G) y *Heteropecten?* sp. (Cisterna *et al.*, 2006b, lám. 6, fig. W), en la cuenca Sauce Grande en Sierras Australes con *Heteropecten* sp.

(Pagani, 2000, p. 308, lám. 3, figs. A-E) y en la cuenca Tepuel-Genoa en Patagonia con la especie *Heteropecten argentinaensis* Pagani (Pagani, 2005, p. 587, lám. 4, figs. C-F). Otras especies identificadas son *Heteropecten catharinae* Kegel y Costa (Rocha-Campos, 1970, p. 22) y *Heteropecten paranaensis* (Neves et al., 2014, p. 11, lám. 7, figs. A-T) en la cuenca de Paraná en Brasil (Grupo Itararé) y *Heteropecten multiscalptus* (Thomas) (Newell et al., 1953, p. 154, lám. 31, figs. 9a-10b) en el Grupo Tarma, Perú. Representantes del género *Heteropecten* aparecen asociados tanto en sedimentos siliciclásticos depositados en mares de aguas frías en cuencas de Brasil y Este de Argentina, como así también en sedimentitas calcáreas paleoequatoriales de Perú (Neves et al., 2014).

Los gastrópodos estudiados en este trabajo (Fig. 5) pertenecen a las familias Bellerophonitidae M'Coy,

Eotomariidae Wenz y Pseudozygopleuridae Horny, también comunes en las cuencas neopaleozoicas del centro oeste argentino con representantes en las formaciones Agua Negra, Del Salto, Río del Peñón, como así también en la cuenca Arizaro (Formación Arizaro) y en las cuencas ya citadas de Perú, Brasil y Venezuela.

En función de la fauna estudiada en este trabajo es posible notar la presencia de braquiópodos y bivalvos de afinidades tetianas, rasgo que caracteriza no solo a las asociaciones faunísticas de las cuencas del norte de Chile, sino también a las del centro oeste de Argentina. Si bien la extensión de la plataforma carbonática en su máxima expresión no tiene registros en las cuencas argentinas de Paganzo, Río Blanco y Calingasta-Uspallata (Fig. 6), elementos comúnmente asociados a aguas cálidas han sido hallados en estas cuencas. Desde el punto de vista paleogeográfico, es

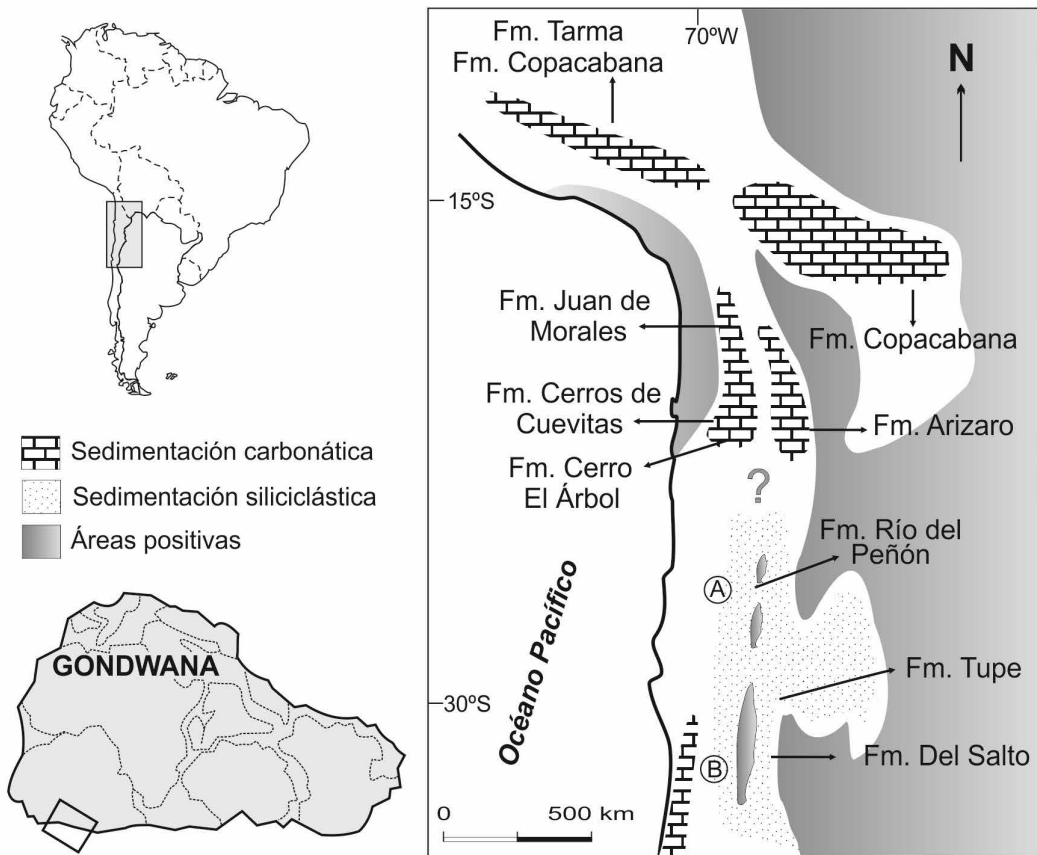


FIG. 6. Reconstrucción paleogeográfica que esquematiza la plataforma carbonática desarrollada en Perú, Bolivia, Chile y noroeste de Argentina durante el Carbonífero tardío-Pérmico temprano y las cuencas de sedimentación siliciclásticas del centro oeste de Argentina. A. Cuenca Río Blanco; B. Cuenca Calingasta-Uspallata.

importante destacar que las cuencas mencionadas se habrían desarrollado en latitudes medias, situándose alrededor de los 40° según Geuna *et al.* (2010). El registro de faunas características de temperaturas cálidas estaría relacionado con diversas variables. El mejoramiento climático propuesto para este sector de Gondwana hacia finales del Carbonífero (Kasimoviano-Gzheliano, López Gamundi *et al.*, 1993; Limarino *et al.*, 2013 y referencias allí citadas), habría generado un escenario propicio para la expansión de estas faunas. Por otra parte, la actividad magmática desarrollada en el margen proto-Pacífico (Bahlburg y Hervé, 1997; López Gamundi y Breitzkreuz, 1997; Limarino y Spalletti, 2006, entre otros), podría haber favorecido el desarrollo de invertebrados marinos comunes en aguas más templadas; dado que el volcanismo contemporáneo con la sedimentación contribuye al incremento de la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y dióxido de carbono, tal como señala Vermeij (1995). La acción de corrientes marinas de aguas templadas a cálidas representaría otro factor influyente en la distribución de la fauna, facilitando el ingreso de elementos típicamente paleoequatoriales a estas regiones (Sterren, 2004).

Si bien la fauna del norte de Chile presenta claras afinidades con aquellas de las cuencas de Bolivia y Perú, su composición no es exactamente equivalente, siendo además marcadamente menos diversa. El conocimiento taxonómico que se tiene hasta el momento, fundamentalmente de sus braquiópodos y bivalvos, indica que esta fauna correspondería a una asociación de mezcla. En términos bioestratigráficos, la misma podría considerarse intermedia entre las faunas más antiguas del Carbonífero tardío-Pérmico temprano del centro oeste de Argentina y las más jóvenes del Pérmico de Bolivia y Perú.

Un mayor conocimiento de los braquiópodos y bivalvos del norte de Chile y su probable conexión con las faunas neopaleozoicas de las cuencas del centro oeste de Argentina, permitirá en el futuro ajustar los esquemas paleobiogeográficos propuestos previamente para este sector de Gondwana (Archbold, 1983; Shi y Waterhouse, 1990; Cisterna *et al.*, 2006a; Shen *et al.*, 2013, entre otros).

Agradecimientos

Los autores agradecen a L. Jofré por la confección de los dibujos. Al CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina) por los proyectos PIP 6144, 0091 y 114-200801-

00017, que permitieron la estadia en Chile de dos de los autores (G.A. Cisterna y A.F. Sterren) y el posterior estudio de las muestras. Asimismo, un agradecimiento especial a P. Isaacson, E. Díaz Martínez y revisores anónimos, cuyas correcciones, sugerencias y comentarios permitieron mejorar la calidad del trabajo.

Referencias

- Aceñolaza, F.G.; Benedetto, J.L.; Salfity, J.A. 1972. El Neopaleozoico de la Puna argentina: su fauna y relación con áreas vecinas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Suplemento)* 44: 5-20.
- Anelli, L.E.; Rocha-Campos, A.C.; Simões, M.G. 2006. Pennsylvanian pteriomorphian bivalves from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil. *Journal of Paleontology* 80 (6): 1125-1141.
- Anelli, L.E.; Rocha-Campos, A.C.; Simões, M.G.; Peck, R.L. 2009. Pennsylvanian Heteroconchia (Mollusca, Bivalvia) from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 12 (2): 93-112.
- Archbold, N.W. 1983. Permian marine invertebrate provinces of the Gondwanan Realm. *Alcheringa* 7: 59-73.
- Bahlburg, H.; Hervé, F. 1997. Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of NW-Argentina and N-Chile. *Geological Society of America Bulletin* 109: 869-884.
- Benedetto, J.L. 1980. Bivalvos pensilvanianos de la Formación Caño Indio, Sierra de Perijá, Venezuela. *Dirección General Sectorial de Minas y Geología, Ministerio de Energía y Minas* 14: 197-245.
- Branisa, L. 1965. Los fósiles guía de Bolivia, I Paleozoico. *Boletín del Servicio Geológico de Bolivia* 6: 1-282.
- Carter, J.L.; Johnson, J.G.; Gourvennec, R.; Hou, H. 2006. Spiriferida. *In* Treatise on Invertebrate Paleontology, Part H (Kaesler, R., editor). Geological Society of America and University of Kansas Press 5: 1689-1870. Lawrence.
- Cisterna, G.A.; Simanaskas, T. 2000. Brachiopods from the Río del Peñón Formation, Río Blanco basin, Upper Palaeozoic of Argentina. *Revista Española de Paleontología* 15: 129-151.
- Cisterna, G.A.; Niemeyer, H. 2008. Presencia del género *Kochiprproductus* Dunbar en las calizas pérmicas de Juan de Morales, norte de Chile. *Ameghiniana, Suplemento* 45 (4): p. 7R.
- Cisterna, G.A.; Niemeyer, H. 2010. Brachiopod faunas from the Permian sequences of northern Chile. *In*

- International Brachiopod Congress, No. 6, Geological Society of Australia, Abstract 95: p. 33. Melbourne.
- Cisterna, G.A.; Simanaukas, T.; Archbold, N.W. 2002. Permian brachiopods from the Tupe Formation, La Herradura Creek, San Juan Province, Precordillera, Argentina. *Alcheringa* 26: 177-200.
- Cisterna, G.A.; Gutiérrez, P.R.; Sterren, A.F.; Desjardins, P.R.; Balarino, L. 2005. The marine interval of the Tupe Formation in western Paganzo Basin and its implication in the definition of the Carboniferous-Permian boundary in South America. *In* Gondwana Conference, No. 12. Geological and Biological Heritage of Gondwana. Abstracts: p. 106. Mendoza.
- Cisterna, G.A.; Archbold, N.W.; Simanaukas, T. 2006a. Palaeobiogeographic affinities of the Argentine Precordilleran Late Palaeozoic brachiopod faunas. *Alcheringa* 30 (4): 251-262.
- Cisterna, G.A.; Sterren, A.F.; Archbold, N.W. 2006b. A review of the *Tivertonia jachalensis-Streptorhynchus inaequioratus* Biozone in La Delfina Creek, San Juan province, Argentina. *Ameghiniana* 43 (2): 487-491.
- Cisterna, G.A.; Sterren, A.F.; Gutiérrez, P.R. 2011. The Carboniferous-Permian boundary in the South American central western Argentinean basins: paleontological evidences. *Andean Geology* 38 (2): 349-370.
- Cooper, G.A.; Grant, R.E. 1975. Permian Brachiopods of West Texas III. *Smithsonian Contributions to Paleobiology* 19 (1-2): 795-1929.
- Cooper, G.A.; Grant, R.E. 1976. Permian Brachiopods of West Texas IV. *Smithsonian Contributions to Paleobiology* 21 (1-2): 1923-2608.
- Cortés, J. 2000. Hoja Palestina, Región de Antofagasta. Mapas geológicos 19. Servicio Nacional de Geología y Minería. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Chong, G.; Cecioni, A. 1976. Presencia de una secuencia marina de probable edad paleozoica superior en la Provincia de Antofagasta. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 1, Actas 1: A11-A20.
- Davidson, J.; Mpodozis, C.; Rivano, S. 1981. Evidencias de tectogénesis del Devónico superior-Carbonífero inferior al oeste de Augusta Victoria, Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile* 12: 79-86.
- Díaz Martínez, E.; Mamet, B.; Isaacson, P.E.; Grader, G.W. 2000. Permian marine sedimentation in northern Chile: new paleontological evidence from the Juan de Morales Formation, and regional paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Science* 13 (6): 511-525.
- Galli, C. 1968. Cuadrángulo Juan de Morales, Provincia de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 18: 53 p. 1 mapa escala 1:50.000: 53 p. Santiago.
- Geuna, S.E.; Escosteguy, L.D.; Limarino, C.O. 2010. Palaeomagnetism of the Carboniferous-Permian Patquía Formation, Paganzo basin, Argentina: implications for the apparent polar wander path for South America and Gondwana during the Late Palaeozoic. *Geologica Acta* 8: 373-397.
- González, C.R. 1986. Algunos *Mylianiidae* (Bivalvia) del Paleozoico superior de Chile. *In* Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, No. 2, y Congreso Latinoamericano de Paleontología, No. 1, Actas 4: 23-29. Buenos Aires.
- González, C.R. 1997. Late Carboniferous Bivalvia from western Argentina. *Geologica et Palaeontologica* 31: 193-214.
- Gulbranson, E.L.; Montañez, I.P.; Schmitz, M.D.; Limarino, C.O.; Isbell, J.L.; Marenssi, S.A.; Crowley, J.L. 2010. High-precision U-Pb calibration of Carboniferous glaciation and climate history, Paganzo Group, NW Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 122: 1480-1498.
- Hall, J. 1852. Exploration and Survey of the Valley of the Great Salt Lake of Utah, U.S. *In* Congress Special Session, No. 32 (Stansbury, H., editor). *Geology and paleontology* 3: 399-414.
- Limarino, C.O.; Spalletti, L.A. 2006. Paleogeography of the upper Paleozoic basins of southern South America: an overview. *Journal of South American Earth Sciences* 22: 134-155.
- Limarino, C.O.; Césari, S.; Spalletti, L.; Taboada, A.C.; Isbell, J.; Geuna, S.; Gulbranson, E.L. 2013. Paleoclimatic evolution of southern South America during the Late Paleozoic: a record from Icehouse to Greenhouse conditions. *Gondwana Research* 25 (4): 1396-1421. doi: 10.1016/j.gr.2012.12.022.
- López Gamundí, O.R.; Césari, S.N.; Limarino, C.O. 1993. Paleoclimatic significance and age constraints of the Carboniferous coals of Paganzo basin. *In* Gondwana Conference, No. 8: 291-298. Balkema.
- López Gamundí, O.R.; Breitzkreuz, C. 1997. Carboniferous to Triassic evolution of the Panthalassan margin in southern South America. *In* Late Paleozoic and Early Mesozoic Circum-Pacific Events and their Global Correlation (Dickins, J.M.; Yang, Z.; Yin, H.; Lucas, S.G.; Acharyya, S.; editors). Cambridge University Press, World and Regional Series 10: 8-19. New York.
- Maksaev, V.; Marinovic, N.; Smoje, I.; Mpodozis, C. 1991. Mapa Geológico de la Hoja Augusta Victoria.

- Servicio Nacional de Geología y Minería. Documento de trabajo 1. 1 mapa escala 1: 100.000. Santiago.
- Manceñido, M.O. 2003. On the systematic position of the brachiopod '*Spirifer*' *condor* d'Orbigny, 1842. *Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales de Bolivia* 21: 251-254.
- Manceñido, M.O.; González, C.R.; Damborenea, S. 1976. La fauna de la Formación Del Salto (Paleozoico Superior de la provincia de San Juan). Parte III. Bivalvia 1. *Ameghiniana* 13: 65-84.
- Meek, F. B.; Hayden, F.V. 1858. Description of new organic remains from northwestern Kansas, indicating the existence of Permian rocks in that territory. *Albany Institute Transactions* 4: 73-88.
- Mendes, J.C. 1966. Moluscos da Formação Itaituba (Neocarbonífero) estado do Pará, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. *Cuadernos da Amazônia* 9: 66 p.
- Minato, M.; Tazawa, J. 1977. Fossils of the Huentelauquén Formation at the Locality F, Coquimbo Province, Chile. *In* Comparative studies on the Geology of the Circum-Pacific Orogenic Belt in Japan and Chile (Ishikawa, T.L.; Aguirre, L.; editors). First Report, Japan Society for the Promotion of Science: 95-117. Tokyo.
- Neves, J.P.; Anelli, L.E.; Pagani, M.A.; Simões, M.G. 2014. Late Palaeozoic South American pectinids revised: biostratigraphical and palaeogeographical implications. *Alcheringa* 38 (2): 281-295. doi: 10.1080/03115518.2014.870383.
- Newell, N.D.; Chronic, J.; Roberts, T.G. 1953. Upper Paleozoic of Perú. *Geological Society of America, Memoir* 36: 111 p.
- Niemeyer, H.R.; Urzúa, F.; Aceñolaza, F.G.; González, C.R. 1985. Progresos recientes en el conocimiento del Paleozoico de la Región de Antofagasta. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 4, Actas 1: 410-438. Antofagasta.
- Niemeyer, H.; Venegas, R.; González, C.R.; Aceñolaza, F.G. 1997. Los terrenos paleozoicos del Salar de Navidad, Región de Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile* 24 (2): 123-143.
- Pagani, M.A. 2000. Bivalvos del Pérmico inferior de la Formación Bonete, Sierras Australes (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana* 37 (3): 301-320.
- Pagani, M.A. 2005. Los bivalvos carboníferos y pérmicos de Patagonia (Chubut, Argentina). Parte III: Familia Mytilidae, Pterineidae, Limidae, Leptochondriidae, Etheripectinidae, Euchondriidae y Streblochondriidae. *Ameghiniana* 42 (3): 579-596.
- Quartino, B.J.; Zardini, R.A.; Amos, A.J. 1971. Estudio y exploración geológica de la región Barreal-Calingasta. República Argentina. Asociación Geológica Argentina, Monografía 1: 184 p. Buenos Aires.
- Rivano, S.; Sepúlveda, P. 1985. Las calizas de la Formación Huentelauquén: depósitos de aguas templadas a frías en el Carbonífero superior-Pérmico inferior. *Revista Geológica de Chile* 25-26: 29-38.
- Rocha-Campos, A.C. 1970. Moluscos Permianos da Formação Rio Bonito (Subgrupo Guatá) SC. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional de Produção Mineral* 251: 1-89.
- Romero, L.; Aldana, M.; Rangel, C.; Villavicencio, E.; Ramírez, J. 1995. Fauna y flora fósil del Perú. *Boletín del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Serie D, Estudios Especiales* 17: 1-332. Lima.
- Sánchez, T.M. 1984. Étude paléocéologique du Paléozoïque supérieur dans le Nord des Andes du Venezuela. *Biostratigraphie du Paléozoïque, Université de Bretagne Occidentale* 2: 1-165, pl. 10. Brest.
- Shen, S.Z.; Hang, H.; Shi, G.R.; Li, W.Z.; Xie, J.F.; Mu, L.; Fan, J.X. 2013. Early Permian (Cisuralian) global brachiopod palaeobiogeography. *Gondwana Research* 24:104-124.
- Shi, G.R.; Waterhouse, J.B. 1990. Sakmarian (Early Permian) brachiopods biogeography and major associations as related to terrane drift. *In* Brachiopods through Time (MacKinnon, D.I.; Lee, D.E.; Campbell, J.D.; editors). *Proceedings of the Second International Brachiopod Congress*: 355-365. Rotterdam.
- Sterren, A.F. 2004. Bivalvos pérmicos de la Formación Tupe en la quebrada de La Herradura, provincia de San Juan. *Ameghiniana* 41 (1): 57-74.
- Tazawa, J. 2003. *Kochiproductus* and *Leptodus* (Brachiopoda) from the Middle Permian of the Obama area, South Kitakami Belt, northeast Japan. *Science Niigata University, series E (Geology)* 18: 25-39.
- Vermeij, G.J. 1995. Economics, volcanoes, and Phanerozoic revolutions. *Paleobiology* 21: 125-152.