

Trazas fósiles, paleoambiente y paleogeografía del Silúrico Inferior del Cordón de Lila, Región de Antofagasta, norte de Chile

Aceñolaza, Florencio G.¹ ; Hans Niemeyer²; Alejandra Navarro²
y Manuel Bruna²

¹ Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO), CONICET – Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205, 4000 Tucumán. Argentina.

² Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile. Casilla 1280, Antofagasta, Chile.

► **Resumen** — Las trazas fósiles aquí estudiadas provienen de horizontes estratigráficos ubicados en el techo de la sección basal de la Formación Quebrada Ancha del Llandoveryano (Silúrico inferior), Cordón de Lila, Región de Antofagasta, Norte de Chile. Ésta corresponde a una sucesión de 275 m de espesor formada por cuarzoarenitas de color pardo claro, de grano muy fino a muy grueso con abundante estratificación cruzada planar y en artesa. Los horizontes que contienen las trazas corresponden a areniscas cuarcíferas con un moderado a intenso grado de bioturbación. Se identifican *Arthropycus linearis*, *Skolithos linearis*, *Arthropycus alleghaniensis*, *Planolites beverleyensis*, *Palaeophycus tubularis*, *Zoophycos circinatus*, *Monocraterion tentaculatum* y *Polykladichnus aragonensis*, de las cuales *A. alleghaniensis* y *A. linearis* son frecuentes en capas silúricas de diferentes partes de Sudamérica y de otras localidades gondwánicas y laurénticas. El análisis estratigráfico y sedimentológico de la sucesión indica depositación en un ambiente marino de plataforma siliciclástica sublitoral ("shoreface"), con aportes sedimentarios dirigidos hacia el noroeste. En particular *Arthropycus* es una forma propia de ambientes de facies siliciclásticas marinas de aguas poco profundas y se asocia con un ambiente de alta energía, marea fuerte, y tormentas esporádicas. Se consideran como formando parte de una Cuenca chileno-boliviana, intermedia entre el *Terrane* de Arequipa y la "Dorsal Central Argentina", lo cual agrega nuevos elementos de juicio para la interpretación de la evolución del borde suroccidental gondwánico durante el Silúrico temprano (Llandoveryano).

Palabras clave: Silúrico, trazas fósiles, Formación Quebrada Ancha, Chile, borde suroccidental de Gondwana.

► **Abstract** — The trace fossils here studied belong to beds located at the top of the basal section of the Llandoveryan (Lower Silurian) Quebrada Ancha Formation in the Cordón de Lila, Antofagasta Region, northern Chile. The measured succession is 275 m thick and is formed by very fine to coarse-grained quartzarenites with abundant planar and trough cross bedding. At the top of the studied succession beds with moderate to intense bioturbation are exposed in which trace fossils were identified: *Arthropycus linearis*, *Skolithos linearis*, *Arthropycus alleghaniensis*, *Planolites beverleyensis*, *Palaeophycus tubularis*, *Zoophycos circinatus*, *Monocraterion tentaculatum* and *Polykladichnus aragonensis*. *A. alleghaniensis* and *A. linearis* are frequent in Silurian strata of different parts of South America and other gondwanan and laurentian localities. The stratigraphical and sedimentological analysis of the succession show that it was deposited in a shoreface environment, with paleocurrents directed towards the northwest. Specially *Arthropycus* has been reported before as a form characteristic of siliciclastic facies of shallow waters in a high energy environment, strong tidal currents and sporadic storms. The succession is the first outcrop of Silurian reported in Chile. It formed part of a Chilean-Bolivian basin intermedium between the Arequipa Terrane and the "Central argentinian Ridge" and is a new fact for the interpretation of the evolution of the southwestern border of Gondwana during the Early Silurian (Llandoveryan).

Keywords: Silurian, trace fossils, Quebrada Ancha Formation, Chile, southwestern border of Gondwana.

INTRODUCCIÓN

El Cordón de Lila se ubica inmediatamente al sur del Salar de Atacama, Región de Antofagasta, Norte de Chile (figura 1). Allí afloran extensos y bien expuestos afloramientos de rocas estratificadas pertenecientes al Paleozoico inferior a medio, figura 2 (Niemeyer, 1989; Benedetto *et al.*, 2005; González *et al.*, 2006; Navarro *et al.*, 2006; Zimmermann *et al.*, 2009). La posición occidental de dichos afloramientos respecto a otros de la misma edad en el noroeste de Argentina hace que éstos constituyan una pieza fundamental en las reconstrucciones paleogeográficas del noroeste argentino, norte chileno y sur de Bolivia durante el Paleozoico temprano a medio. En la presente comunicación se describen trazas fósiles contenidas en estratos silúricos de la Formación Quebrada Ancha (FQA) del Cordón de Lila. Se infieren las condiciones paleoambientales imperantes durante su sedimentación. Asimismo, se integran estos datos dentro de una reconstrucción paleogeográfica para el borde suroccidental de Gondwana durante el Silúrico temprano (Llando-veriano).

FORMACIÓN QUEBRADA ANCHA

La primera mención inequívoca a estratos silúricos en el Cordón de Lila se debe a Navarro *et al.* (2006), quienes identificaron una secuencia de ca. 300 m de espesor integrada por areniscas cuarcíferas con delgadas intercalaciones de calizas arenosas. Dichos estratos fueron designados, por esos autores, como Formación Quebrada Ancha debido a que presentan una buena exposición en la quebrada del mismo nombre, sector noroccidental del Cordón de Lila. Las trazas fósiles aquí estudiadas, en cambio, provienen de afloramientos del sector suroccidental del Cordón de Lila, los cuales se correlacionan con aquellos de la FQA en su localidad tipo.

En los afloramientos de la parte suroccidental la base de la FQA se observa con claridad, la cual está formada por un conglomerado basal clasto-soportado de 1-2 m de espesor que la separa en discordancia de rocas dacíticas del Complejo Ígneo Sedimentario del Cordón de Lila (CISL), de edad arenigiana (Ordovícico inferior; Niemeyer, 1989; Zimmermann *et al.*, 2009). Los clastos del conglomerado basal son muy bien redondea-

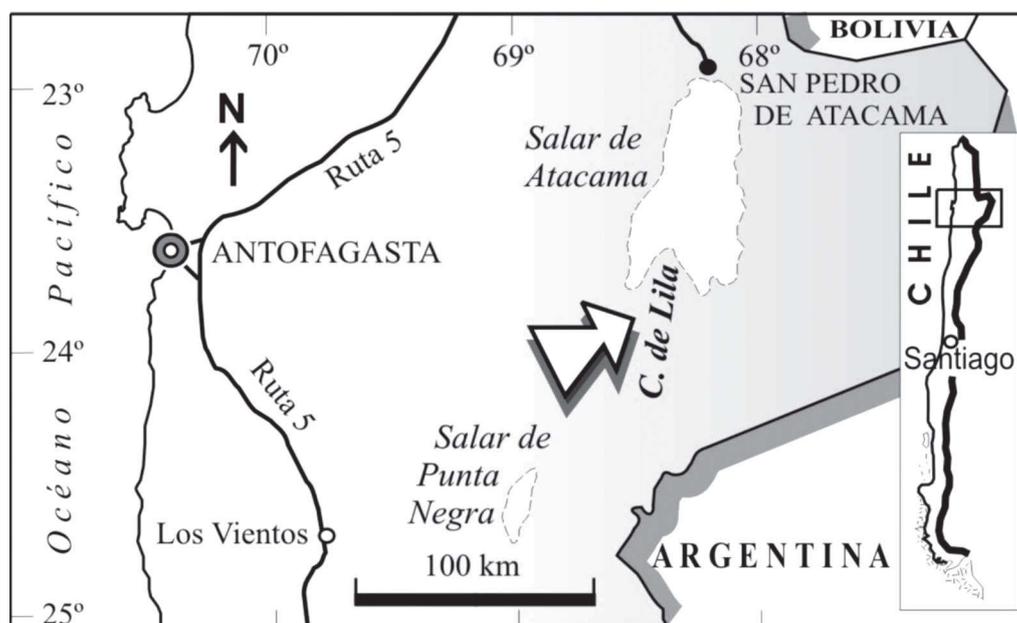


Figura 1. Ubicación del Cordón de Lila en el extremo sur del Salar de Atacama, Región de Antofagasta, Norte de Chile.

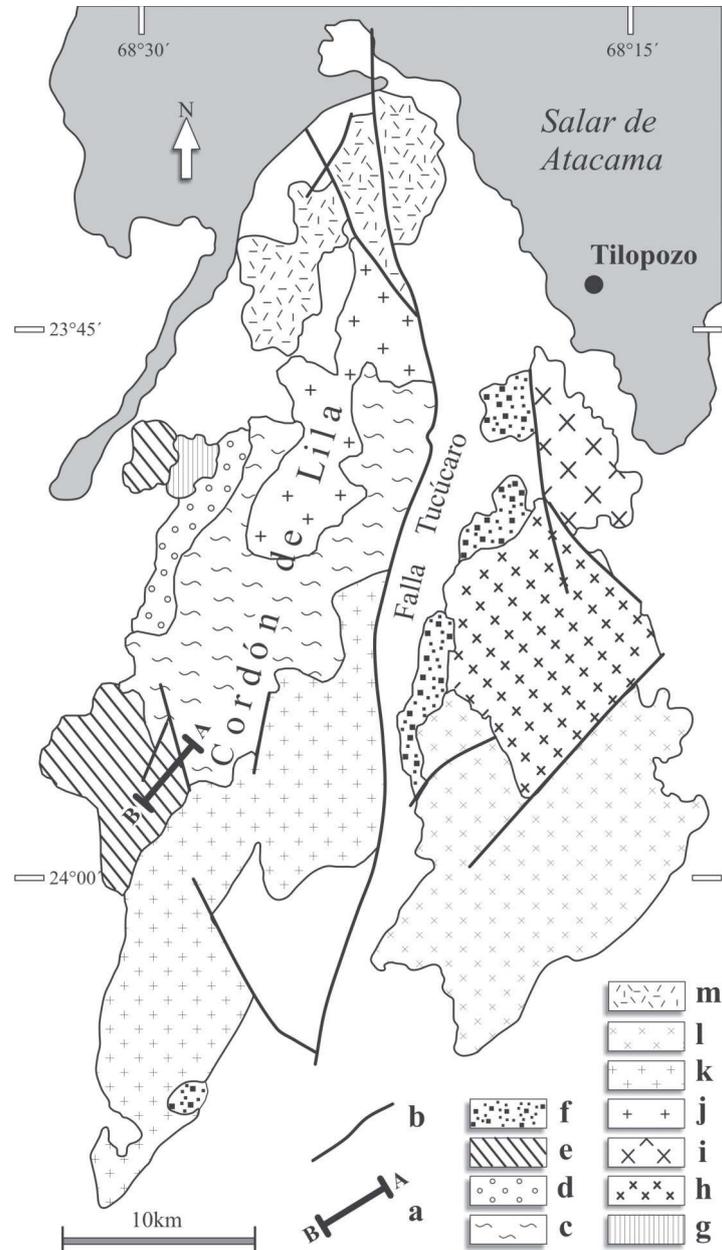


Figura 2. Esquema geológico con la distribución de las diferentes unidades paleozoicas del Cordón de Lila. a) Sección estratigráfica en la base de la Formación Quebrada Grande. b) Fallas. c) Complejo ígneo-sedimentario del Cordón de Lila, CISL: lavas basálticas y riódacíticas intercaladas con turbiditas (Arenigiano) d) Formación Quebrada Grande: conglomerados, areniscas y siltitas (Arenigiano superior- Llanvirniano inferior). e) Formación Quebrada Ancha: cuarzoarenitas (Silúrico inferior.-Llandoveryano). f) Formación Lila: cuarzoarenitas y conglomerados (Devónico). g) Pórfido de Quebrada Ancha (Pérmico superior) h) Plutón Tilopozo: monzogranitos a sienogranitos (Ordovícico superior). i) Plutón Tucúcaro: monzogranitos de grano grueso (Ordovícico superior). j) Diorita del Cerro Lila: dioritas de grano fino a medio (Pérmico). k) Plutón Pingo-Pingo: granodioritas de grano medio (Ordovícico inferior). l) Plutón Tambillo: monzogranitos de grano grueso (Ordovícico inferior). m) Dacitas (Pérmico).

dos, con diámetro variable entre 0,5 y 8 cm y están compuestos principalmente por cuarzo ("chert") y rocas de composición basáltica y riódacíticas. Estas dos últimas litologías son frecuentes en la parte superior del CISL.

Por encima del conglomerado basal los afloramientos de la FQA corresponden mayoritariamente a cuarzoarenitas de color pardo claro con granos de tamaño muy fino a muy grueso, redondeados a subredondeados y abundante estratificación cruzada planar y en artesas. Estas rocas poseen una alta madurez textural y composicional. Hacia el techo de los afloramientos examinados se encuentran capas de areniscas cuarcíferas con un moderado a intenso grado de bioturbación que contienen trazas fósiles. La sección estratigráfica allí aflorante es de 275 m de espesor, correspondiendo los niveles cuarcíticos portadores de la icnofauna al tramo superior. Esta sección se encuentra recubierta por material detrítico moderno, motivo por el cual no es posible determinar su espesor total.

HORIZONTES CON TRAZAS FÓSILES

En el techo de la columna estratigráfica se han identificado seis horizontes portadores de trazas fósiles, los cuales se indican con

las letras *i* hasta *n* en el perfil esquemático de la figura 3. El horizonte *i* representa una cornisa de arenisca cuarcífera de grano medio, de color blanco en la cual se observa gran cantidad de pistas de *Arthropycus linearis*. Más arriba en la sucesión se observa *Skolithos linearis* contenido en el horizonte *j*, formado por areniscas de grano grueso, color blanco amarillento y algo friable. Siguiendo la secuencia hacia arriba, se observan areniscas de grano medio de color verde oliva, con abundante mica detrítica. En éstas se encuentra intercalado un lente de areniscas de grano medio, blancas, similar al horizonte *i*. En el techo de dicho lente se recolectó *Arthropycus alleghaniensis* (horizonte *k*). Sobre el lente se dispone un nivel de areniscas limosas de grano muy fino silicificadas, de color verde oliva. En la base de este nivel se recolectaron trazas de *Planolites beverleyensis* y *Palaeophycus tubularis* (horizonte *l*) y, en su techo, trazas de *Zoophycos circinnatus* (horizonte *m*). Finalmente, aflora un nivel de concreciones calcáreas intercalado en las areniscas de color verde oliva.

La sección continúa hacia arriba con areniscas de grano fino bien estratificadas grisáceas a las que se le intercalan bancos cuarcíticos que culminan en uno de grano fino, color blanquecino, masivo, de 2 m de

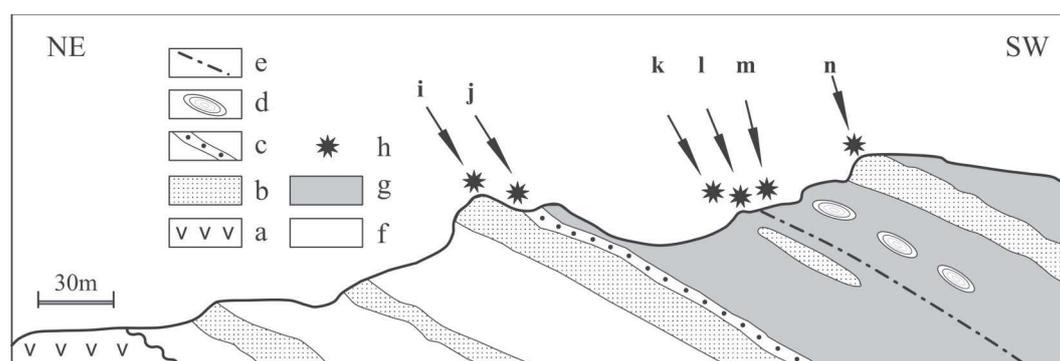


Figura 3. Perfil esquemático en la base de la Formación Quebrada Ancha con ubicación de los horizontes con trazas fósiles. a) Dacitas. b) Cornisas de areniscas cuarcíferas de grano medio a fino. c) Areniscas de grano grueso. d) Concreciones calcáreas. e) Nivel de areniscas limosas. f) Color blanco amarillento. g) Color verde oliva. h) Nivel con trazas fósiles. i) *Arthropycus linearis*. j) *Skolithos linearis*. k) *Arthropycus alleghaniensis*. l) *Planolites*, *Palaeophycus*. m) *Zoophycos*. n) *Skolithos*, *Monocraterion*, *Polycladichnus* y, en menor proporción, *Arthropycus linearis*.

espesor que contiene abundantes perforaciones verticales asignadas a *Skolithos linearis*, *Monocraterion tentaculatum* y *Polycladichnus aragonensis*, además de escasos ejemplares de *A. linearis* (horizonte *n*).

ICNOLOGÍA

Zoophycos circinnatus (Brogniart) (figura 4 A-C) es una traza correspondiente a una estructura oval a subcircular, aplanada, que en su superficie contiene una serie bien definida de surcos y estrías radiales generalmente arqueadas que se disponen según el plano de estratificación o cortando ligeramente al mismo ("spreite"). Estas estrías forman parte de una lámina que tiene un formato abanicado y convergen en un punto o en un sector central que conforma el eje. Hay una diferencia entre las trazas asignadas a esta especie provenientes de afloramientos del Cordón de Lila y los que se encuentran en el Silúrico de las Sierras Subandinas de Salta y Jujuy, Argentina (Aceñolaza, 1978). Estas últimas, en general, presentan un tamaño mayor que las que aquí se describen, llegando a tener un diámetro del orden de 200 mm, mientras que los ejemplares coleccionados en la sección de Cordón de Lila tienen un tamaño que varía entre 40 y 60 mm.

Arthropycus linearis Seilacher (figura 4 D-E-F) consiste en una estructura hipicnial tubular simple de sección subcuadrática con trayectoria lineal, ligeramente curva, siguiendo el plano de estratificación o incidiéndolo en bajo ángulo. En la superficie se observan surcos transversales de aspecto anular regularmente dispuestos a lo largo de la pista. En algunos ejemplares es posible observar una estriación muy delgada, tenue, que se intercala entre los surcos mayores, así como también la estructura seleniforme que caracteriza al relleno del tubo.

Monocraterion tentaculatum Torel (figura 4 G) son tubos simples verticales o ligeramente curvos, subcilíndricos, penetrativos en el material arenoso, cuya posición oral se expande notoriamente semejando un "embudo". Se interpreta que el ascenso del animal

genera el colapso de la matriz sedimentaria dando lugar a la estructura cónica que la caracteriza.

Palaeophycus tubularis Hall (figura 4 H) es una estructura tubiforme, de pared delgada, dispuesta en el plano de estratificación con escasa penetración en el estrato y con una trayectoria lineal ligeramente curva.

Arthropycus alleghaniensis (Harlan) Hall (figura 4 I) se caracteriza por ser una forma palmada abanicada integrada por varios tubos subcilíndricos aplanados con surcos transversales que se disponen con regularidad en la superficie de la traza. Cabe destacar que Covacevich (1981) en Ramírez y Gardeweg (1982) señaló la presencia de esta icnoespecie en areniscas expuestas a escasos kilómetros del lugar del presente estudio.

Planolites beverleyensis Billings (figura 4 J) es una traza cilíndrica a subcilíndrica, horizontal a ligeramente oblicua respecto del plano de estratificación. Se presenta generalmente curvada u ondulosa. La superficie es lisa, no observándose ramificaciones.

Skolithos linearis Haldeman, *Monocraterion tentaculatum* Torel y *Polykladichnus aragonensis* Uchman y Alvaro (*in locus*). Este conjunto de trazas comparten la característica de ser tubos cilíndricos a subcilíndricos que perforan la roca dándole un aspecto cribado. En el caso de *S. linearis* los tubos son simples, verticales y de unos 4-5 mm de diámetro. *M. tentaculatum* presenta una apertura oral en forma de embudo cuyo diámetro máximo llega a tener hasta 20 mm, mientras que en el caso de *P. aragonensis* los tubos son verticales u oblicuos y se ramifican en forma de "Y" o "U".

EDAD Y CORRELACIÓN

Para precisar la edad de la Formación Quebrada Ancha deben tomarse en consideración los siguientes aspectos: 1) la posición estratigráfica en discordancia sobre rocas del CISL del Ordovícico inferior; 2) el contenido de icnofósiles entre los que se destaca la presencia del icnogénero *Arthropycus* cuyas icnoespecies *A. alleghaniensis* y *A. li-*

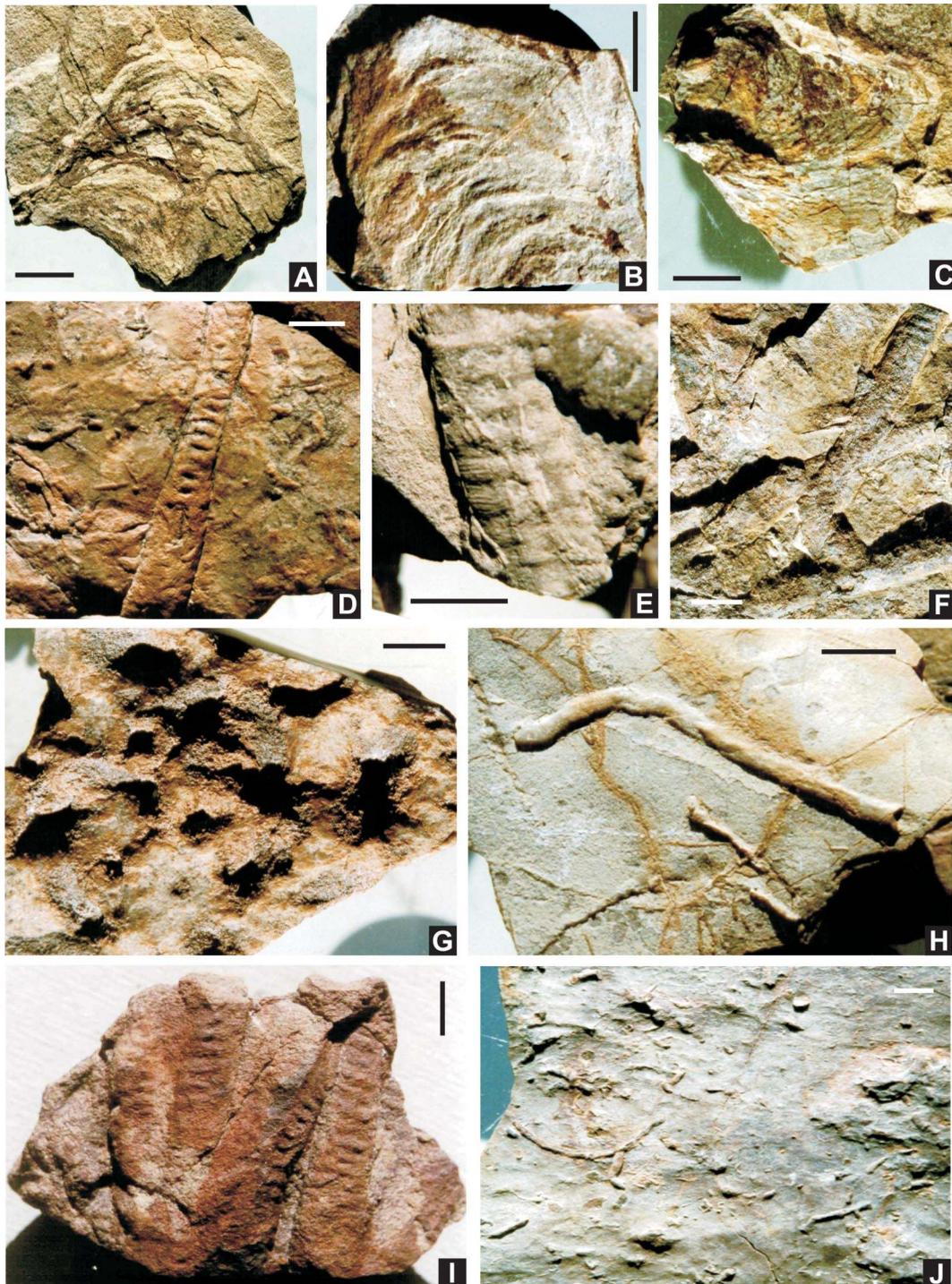


Figura 4. A, B ,C) *Zoophycos circinnatum*. D, E, F) *Arthropycus linearis* (en E detalles de estrías en la superficie). G) *Monocraterion tentaculatum* (vista oral). H) *Palaeophycus tubularis*. I) *Arthropycus alleganiensis*. J) *Planolites beverleyensis*. Escala: 1 cm.

nearis son frecuente en capas silúricas de diferentes partes de Sudamérica y de otras localidades gondwánicas y laurénticas y 3) la presencia del braquiópodo *Hindella* (*Cryptotyrella*) del Llandoveryano (Silúrico inferior), en la localidad tipo de la Formación Quebrada Ancha (Niemeyer *et al.*, en preparación).

Referente a las trazas fósiles, en Brasil se señala la presencia de *Arthropycus alleghaniensis* en formaciones de edad silúrica tanto en la Cuenca del Amazonas (Formaciones Nhamundá y Trombetas; Fernández y Borghi, 1996; Rodrigues *et al.*, 1999; Fernández *et al.*, 2001) como en la Cuenca de Paraná (Formaciones Vila María y Furnas; Fernandes 1996; Fernández, Borghi y Moreira, 2000). Estos autores describen la presencia de dicho icnogénero que presenta características morfológicas similares a los de la Formación Quebrada Ancha, asociado con micro y macrofósiles de edad llandoveryana.

En Argentina se encuentran buenos ejemplares de *Arthropycus alleghaniensis* junto a *Monocraterion tentaculatum* en la provincia de Buenos Aires, sistema orográfico de Tandilia (Formación Balcarce, Ordovícico superior- Silúrico; Borrello, 1966; Poiré *et al.*, 2003). También se describen en posición ordovícica superior-silúrica en otros sectores de Gondwana, como es el caso de los provenientes de la cuenca de Murzuk, en el norte de África (Seilacher, 2000) y Laurentia (Rindsberg y Martin, 2003).

En el caso particular de *Polykladichnus aragonensis* hasta el presente se la había identificado en capas que abarcan desde el Devónico al Terciario (Schrift y Uchman, 2005), lo que en principio significaría ampliar el rango estratigráfico de la icnoespecie.

Asimismo debe señalarse que las otras icnoespecies (*Skolithos*, *Planolites*, *Palaeophycus*) tienen un amplio registro estratigráfico, motivo por el cual no son lo suficientemente indicativas para identificar una posición cronoestratigráfica.

Cabe mencionar que en la sección tipo de la Formación Quebrada Ancha, sector noroccidental del Cordón de Lila, también afloran horizontes de areniscas con *A. linea-*

ris, lo que refuerza la correlación del afloramiento aquí examinado con aquél. La presencia del braquiópodo del Silúrico basal *Hindella* (*Cryptotyrella*) en la localidad tipo de la Formación Quebrada Ancha permite establecer correlación con niveles equivalentes en la Puna de Argentina, los cuales son conocidos como Formación Salar de Rincón, ¿Llandoveryano pre-superior? (Isaacson *et al.*, 1976) en el Cerro Rincón.

PALEOAMBIENTE

En la siguiente sección se discute la sucesión estratigráfica estudiada, correspondiente a un ambiente marino de plataforma siliciclástica sublitoral (“shoreface”). La nomenclatura utilizada para describir las asociaciones de facies observadas corresponde a la establecida por Clifton *et al.* (1971). Luego se describen las icnofacies, dentro del mismo ambiente.

SUCESIÓN ESTRATIGRÁFICA Y FACIES

Se levantó una sucesión de 275 m de espesor en la Formación Quebrada Ancha que comienza con el conglomerado basal ya descrito, y se puede subdividir en seis unidades (figura 3). Las cinco primeras unidades representan un ambiente de alta energía cercano a la costa (“high-energy nearshore”), en tanto que la unidad 6, superior, representa un ambiente algo distante de la línea de costa (“offshore”) de sedimentación en un medio de menor energía, con interrupciones de episodios de alta energía.

La unidad 1 comienza con el conglomerado basal. Luego siguen areniscas de grano fino a muy fino con laminación paralela fina y gruesa que se interpretan como parte de la facies interna plana (“inner planar facies”) de la zona de inundación (“swash zone”).

La unidad 2 se compone de areniscas de grano muy fino a medio con laminación paralela. Sólo una capa está formada por areniscas de grano medio con estratificación cruzada planar. Contiene, además, un mi-

croconglomerado en su base y una capa de arenisca gruesa en el techo, ambos con gradación decreciente. Estas capas, con mayor tamaño de grano representan las facies externas ("outer planar facies") en la zona de olas ("surf zone").

La unidad 3 presenta un desarrollo cíclico de sus estructuras sedimentarias. Comienza y termina con estratificación cruzada en artesa en areniscas de grano fino a medio que representa posiblemente la facies interna de estratificación cruzada ("inner rough facies"), pasando en su parte media a estratificación planar en areniscas de grano grueso a muy fino que indica la zona de facies planar externa ("outer planar facies").

La unidad 4 está formada principalmente por areniscas de grano medio con diferentes tipos de estratificación cruzada que representan la facies interna de estratificación cruzada ("inner rough facies"). Presenta un horizonte de microconglomerado que indica alta energía en zona de olas ("surf zone"). Sigue al conglomerado un horizonte de arenisca limosa que indica depositación en aguas calmas, probablemente durante la marea alta.

La unidad 5 se caracteriza por ser estrato-creciente y grano creciente, comenzando en la base con areniscas de grano muy fino, seguida de areniscas de grano fino a medio y terminando en el techo con areniscas de grano grueso. Predomina en esta unidad la estratificación cruzada, tanto de bajo ángulo como de alto ángulo, indicando un intervalo de alta energía, probablemente de tormenta (de Raaf *et al.*, 1977) que culmina en el techo con cuarcitas de laminación gruesa, pertenecientes a la facies planar externa ("outer planar facies"), con depositación en aguas más calmas.

La unidad 6 representa un cambio importante de color a areniscas de grano medio de color verde oliva con estratificación cruzada en artesa en su base y laminación fina en el techo y representa una facies "off-shore" disaeróbica. Los niveles de areniscas blancas, especialmente si son lenticulares, representan el efecto de tormentas que transportaron arenas más costaneras hacia zonas más profundas.

ICNOFACIES

Arthrophyucus es una forma propia de ambientes de facies siliciclásticas marinas y de aguas poco profundas (Seilacher, 2000). La presencia de *Arthrophyucus* se asocia con un ambiente de alta energía, marea fuerte y tormentas esporádicas. Rodrigues *et al.* (1999) le asignan un ambiente sublitoral ("shoreface"), en cuarzoarenitas, donde este icnofósil indica períodos de depositación caracterizados por niveles de mediana y alta energía de corrientes, evidenciados por estratificación cruzada y plano paralela. Por su parte, Isaacson *et al.* (1976) establecen para *Hindella* = *Crypthophyrella* un paleoambiente muy similar al descrito para dicho icnofósil.

Skolithos linearis, *Polykladichnus aragonensis* y *Monocraterion tentaculatum* son típicas formas de la zona litoral en ámbitos de alta energía como es el caso de playas intermareales. En general son indicativos de una plataforma estable sobre la cual acciona intermitentemente la fuerza del oleaje dando lugar al desarrollo de arenas puras, como es el caso de los bancos en los que se encuentra esta icnoasociación *Zoophycos* se considera que es una especie minadora afín a poliquetos sabélidos o sipuncúlidos que explota el substrato por razones alimenticias durante intervalos disaeróbicos (Bromley, 1990; Ekdale y Lewis, 1991; Wetzel, 1992) generalmente en condiciones de baja energía de las aguas. En el clásico modelo de icnofacies de Seilacher (Seilacher, 1967) y sus modificaciones (Frey y Seilacher, 1980), *Zoophycos* representa una posición batimétrica intermedia entre las de *Cruziana* y *Nereites*. Hoy se conoce que esto no es siempre así, ya que esta icnoespecie se encuentra en áreas con aguas de cierta tranquilidad sin corrientes de fondo, significativamente pobres de oxígeno, llegando a reconocérsela hasta en sectores de escasa profundidad en la zona litoral y en ambientes deltaicos (Kotake, 1997).

La presencia de *Zoophycos* intercalados en niveles de mayor energía de las aguas representa una momentánea interrupción de dichas condiciones, donde se invierten las

condiciones de oxigenación por un corto tiempo y se instalan otras disaeróbicas a anóxicas. Este parece ser el caso de los ejemplares encontrados en la sección de FQA analizada aquí, donde el horizonte con *Zoophycos* (horizonte *m*) aparece intercalado con los que contienen *Planolites* y *Palaeophycus* e inmediatamente sobrepuesto a los de *A. alleghaniensis*.

Por otro lado, la incoasociación de *Skolithos linearis*, *Monocraterion tentaculatum* y *Polykladichnus aragonensis* es considerada clásicamente propia de zonas de alta energía como es la zona intermareal del ámbito litoral e incluso, como es el caso de *Polykladichnus*, en ambientes supramareales.

PALEOGEOGRAFÍA

Los afloramientos de la Formación Quebrada Ancha deben considerarse, en primera instancia, en el marco regional en el cual una "Cuenca chileno-boliviana" estaría determinada por su ubicación intermedia entre el *Terrane* de Arequipa y la llamada "Dorsal Central Argentina" (Benedetto *et al.*, 1992; Aceñolaza *et al.*, 1999) o "Arco puneño" (Padula *et al.*, 1967; González, 1986). Sobre esta cuenca Isaacson *et al.* (1976) señalaron la existencia de un canal marino que relacionaría el área andina boliviana con el occidente de Argentina. Se supone que la misma tendría una anchura de no menos de 100 a 150 km, situación que explicaría la distribución biogeográfica del suroeste de Gondwana durante el Silúrico temprano (Llando-veriano), pudiendo la misma alcanzar la región de la Precordillera.

En el Cordón de Lila la influencia del canal de aguas cálidas se manifiesta por el desarrollo de una delgada intercalación de areniscas calcáreas coquinas con conchas del braquiópodo *Hindella* en la base de la FQA (Niemeyer *et al.*, en prensa).

En realidad, durante el Ordovícico se desarrolló una cuenca de retroarco en territorio argentino donde hubo un importante acontecimiento plutónico-efusivo que permitió la acumulación de material piroclástico tanto en el oeste de la Puna como en la Región de

Antofagasta. Se estima que el cierre de esta cuenca en el Ordovícico superior (Orogenia Oclóyica) se debió al empuje del *Terrane* de Arequipa sobre el Arco Puneño (Bahlburg *et al.*, 1990). Luego de tal empuje, en la Región de Antofagasta se desarrolló por sobre la secuencia volcánica ordovícica (CISL; Niemeyer, 1989) un canal marino de escasa profundidad y con una extensa plataforma litoral, al que se hace referencia más arriba.

Esta cuenca marina estaría biogeográficamente relacionada con niveles estratigráficos de la cuenca boliviana, donde el desarrollo del Silúrico es muy notable. Particularmente debe señalarse que en el sur de Bolivia se reconoce una sección integrada por areniscas, cuarcitas gris claro muy finas cementadas por sílice y fangolitas rítmicas gris oscuras que se identifican con el nombre de Formación Llallagua (Koeberling, 1919 en Suárez Soruco, 2000). Esta unidad tiene un espesor de 200 m en la zona de Llallagua donde representa facies marinas de tipo litoral. Sus afloramientos se extienden hasta la zona de San Cristóbal de Lípez en las cercanías del punto tripartito con Chile y Argentina (Suárez Soruco, 2000; Suarez Soruco y Díaz Martínez, 1996).

Datos de medición de paleocorrientes en la Formación Quebrada Ancha señalan un aporte detrítico con vector medio dirigido hacia el oeste y noroeste (figura 2), proveniente de un alto topográfico ubicado al oriente, compatible con la idea de la existencia del "Arco Puneño" o "Dorsal Central Argentina" ubicado al este del Cordón de Lila (González, 1986). Debe señalarse que la abundancia de material siliciclástico está directamente relacionada con detritos provenientes del basamento pre-Silúrico en dicha región, que consiste mayoritariamente en extensos afloramientos de granitoides emplazados durante la Orogenia Oclóyica, ocurrida durante el Ordovícico tardío (Mpodozis *et al.*, 1983). Al este del Arco Puneño se habrían desarrollado secuencias clásticas marinas de aguas frías en la Cuenca subandina (Fms. Kirusilla, Lipeón y Zapla; figura 5) en el Llando-veriano (Díaz-Martínez y Grahn, 2007).

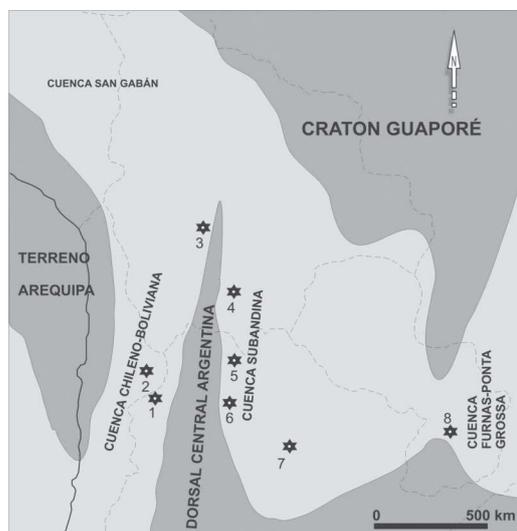


Figura 5. Paleogeografía del suroeste de Sudamérica durante el Silúrico temprano con indicación de localidades claves en la interpretación regional: **a) Cuenca chileno-boliviana** de aguas cálidas 1) Cerros Rincón (Argentina), 2) Cordón de Lila (Chile), 3) Llallagua (Bolivia). **b) Cuenca subandina** 4) Kirusilla (Bolivia), 5) Lipeón (Argentina), 6) Zapla (Argentina), 7) Copo (Argentina). **c) Cuenca Furnas - Ponta Grossa** 8) Itacurubi-Vargas Peñas (Paraguay).

Las litofacies y ambiente de deposición inferido para la Formación Quebrada Ancha son comparables y equivalentes con los afloramientos del Salar de Rincón en Argentina (Aceñolaza *et al.*, 1972), así como también en su contenido bioestratigráfico (Isaacson *et al.*, 1976).

CONCLUSIONES

La presente contribución permite incorporar el conocimiento de una interesante secuencia de trazas fósiles en capas de la Formación Quebrada Ancha, aflorantes en el Cordón de Lila. Las características de la misma permiten afirmar que el conjunto sedimentario tuvo origen en un ámbito litoral poco profundo, de naturaleza submareal a intermareal en el cual la colonización del sedimento por parte de organismos se verificó en diferentes niveles de la columna estra-

tigráfica. En ellos se reconoce la explosiva aparición del icnogénero *Arthropycus linearis* en los niveles cuarcíticos inferiores, el cual paulatinamente disminuye en frecuencia para dar lugar a *A. alleghaniensis*, que comparte el espacio con una icnoasociación que contiene *Planolites*, *Palaeophycus* y *Zoophycos*, la cual representa ambientes disaeróbicos. Culmina la secuencia siliciclástica con bancos cuarcíticos en los que abundan *Skolithos*, *Polikladicnus*, *Monocraterion* y, en menor proporción, *A. linearis* que en conjunto representan facies intermareales. La sucesión estudiada corresponde a los primeros afloramientos de Silúrico documentados en Chile que conjuntamente con los de Bolivia contribuyen al concepto de la existencia de un estrecho canal marino de aguas cálidas situado entre el Terrano de Arequipa y la Dorsal Central Argentina. Esta idea, formulada anteriormente por Breitkreuz *et al.* (1988), agrega nuevos elementos de juicio para la interpretación de evolución del borde suroccidental de Gondwana y de la “Cuenca chileno-boliviana” que en él se desarrolló durante el Silúrico temprano (Llando-veriano).

AGRADECIMIENTOS

H.N. agradece a la Dirección de Investigaciones y Postgrados de la Universidad Católica del Norte por el financiamiento de las campañas de terreno. Leonel Jofré, del Departamento de Ciencias Geológicas (Universidad Católica del Norte) realizó la mayor parte de las figuras para esta publicación. También se hace extensivo al Arq. Daniel Ruiz Holgado y los diferentes revisores que tuvieron en sus manos el manuscrito y aportaron elementos para su mejora, Dres H. Bahlburg, S. Peralta y S. Esteban.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F. G. 1978. El Paleozoico inferior de Argentina, según sus trazas fósiles. *Ameghiniana* 15 (1-2): 15-64.
- Aceñolaza, F., Benedetto, L. y Salfity, J. 1972. El Neopaleozoico de la Puna argentina, su fauna y

- relación con áreas vecinas. *Anales de la Academia Brasileira de Ciencias (Supl)* 44: 5-20.
- Aceñolaza, F. G., Aceñolaza, G. y García, G. 1999. El Silúrico y Devónico del Noroeste Argentino. En: Caminos, R. (Ed.), *Geología Argentina*: 205-214. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Buenos Aires.
- Bahlburg, H. 1990 The Ordovician basin in the Puna of NW Argentina and N. Chile: Geodynamic evolution from back-arc to foreland basin. *Geotektonische Forschungen* 75: 1-107.
- Bahlburg, H., Breitskreuz, C., Maletz, J., Moya, C. y Salfity, J. 1990. The Ordovician sedimentary rocks in the northern Puna of Argentina and Chile. *New stratigraphical data based on graptolites. Newsletters Stratigraphy* 23 (2-3): 69-89.
- Benedetto, J. L., Niemeyer, H., González, J. y Brussa, E. 2005. First occurrence of Ordovician brachiopods and graptolites from Cordón de Lila (Salar de Atacama), northern Chile: stratigraphic and paleobiogeographic implications. XII Gondwana Conference. Abstracts: 68, Mendoza, Argentina.
- Benedetto, L., Sánchez, T. y Brussa, E. 1992. Las cuencas silúricas de América latina. En: Paleozoico inferior de Iberoamérica. -Gutiérrez Marco, J. C.; Saavedra, J. y Rábano, I. (Eds). *Publicación Especial de la Universidad de Extremadura*: 119-148. Mérida.
- Borrello, A. 1966. Trazas, restos tubiformes y cuerpos fósiles problemáticos de la Formación La Tinta, Sierras Septentrionales, provincia de Buenos Aires. *Paleontografía Bonaerense. Fascículo V. Comisión de Investigaciones Científicas, La Plata*, 42 pp.
- Breitskreuz, C., Bahlburg, H. y Zeil, W. 1988. The Paleozoic evolution of Northern Chile; Geotectonic implications. En: Bahlburg, H., Breitskreuz, Ch. y Giese, P. (Eds.), *The Southern Central Andes. Lectures and Notes in Earth Sciences* 17: 87-102. Springer-Verlag, Berlin.
- Bromley, R. 1990. Trace Fossils. Biology and taphonomy. *Special topics in Palaeontology*. Unwin Hyman Ltd., 280 pp., London.
- Clifton, H. E., Hunter, R. E. y Phillips, R. L. 1971. Depositional structures and processes in the non-barred high-energy nearshore. *Journal of Sedimentary Petrology* 41 (3): 651-670.
- Covacevich, V. 1981. Observaciones paleontológicas de muestras provenientes de la Hoja Toconao, región de Antofagasta, Chile. *SERNAGEOMIN*, 28 pp, Santiago de Chile.
- De Raaf, J. F. M., Boersma, J. R. y van Gelder, A. 1977. Wave-generated structures and sequences from a shallow marine sucesión, Cogher Carboniferous, County Cork, Ireland. *Sedimentology* 24: 451-483.
- Díaz-Martínez, E. y Grahn, Y. 2007. Early Silurian glaciation along the western margin of Gondwana (Peru, Bolivia and northern Argentina): Paleogeographic and geodynamic setting. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoeecology* 245: 62-81.
- Ekdale, A. y Lewis, D. 1991 The New Zealand *Zoophycos* revisited; morphology, ethology and paleoecology. *Ichnos* 1: 183-194.
- Fernandes, A. C. 1999. Conteúdo icnológico das formações do Ordoviciano-Devoniano da Bacia do Paraná, Brasil. *Boletim do Museu Nacional. Nova Serie. Geología* 46: 1-12.
- Fernández, A. C. y Borghi, L. 1996. Comentarios sobre o icnogénero *Arthropycus* Hall 1852 e seu registro nas bacias sedimentares brasileiras. Simposio Sul Americano do Siluriano-Devoniano, *Anais*: 131-139. Ponta Grossa.
- Fernandes, A. C., Borghi, L. y Moreira, M. 2000. Sobre a ocorrência do icnogénero *Arthropycus* Hall 1852 na Formação Furnas (Bacia do Paraná) *Boletim do Museu Nacional. Nova Serie. Geología* 52: 1-14.
- Frey, R. W. y Seilacher, A. 1980 Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia* 23: 183-207.
- González, C. R. 1986. Paleogeografía. Parte I. Precámbrico-Paleozoico. Universidad Nacional de Tucumán. *Publicación especial Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo*. 230 pp. Tucumán.
- González, J., Niemeyer, H., Benedetto, J. L. y Brussa, E. 2006. La Formación Quebrada Grande, Arenigiano superior- Llanvirniano inferior del Cordón de Lila, Región de Antofagasta, Norte de Chile. XI Congreso Geológico Chileno. *Actas* 1: 49-52.
- Isaacson, P. E., Belarmino, A. y Boucot, A. J. 1976. Implications of a Llandovery (Early Silurian) Brachiopod Fauna from Salta Province, Argentina. *Journal of Paleontology* 50 (6): 1103-1112.
- Kotake, N. 1997. Ethological interpretation of the trace fossil *Zoophycos* in the Hikoroichi Formation (Lower Carboniferous), southern Kitami mountains, Northeast Japan. *Paleontological Research* 1 (1): 15-28.
- Mpodozis, C., Hervé, F., Davidson, J. y Rivano, S. 1983. Los granitoides de Cerro Lila, manifestaciones de un episodio intrusivo y termal del Paleozoico inferior en los Andes del Norte de Chile. *Revista Geológica de Chile* 18: 3-14.
- Navarro, A., Niemeyer, H., Boucot, A. y Aceñolaza, F. G. 2006. El Silúrico del Cordón de Lila, Región de Antofagasta, Chile. XI Congreso Geológico Chileno. *Actas* 1: 85-88.
- Niemeyer, H. 1989. El Complejo ígneo-sedimentario del Cordón de Lila, Región de Antofagasta: significado tectónico. *Revista Geológica de Chile* 16 (2): 163-181.
- Niemeyer, H., Navarro, A., Álvarez, F., Boucot, A. J. y Bruna, M. (en prensa). The Silurian from Cordón de Lila, Salar de Atacama; Antofagasta Region, Chile. En: Álvarez, F. y Curry, G.B. (Eds.) *Morphological, functional and ontogenic variation in brachiopods skeletal structures. Evolutionary and phylogenetic implications. Special Papers in Palaeontology*.

- Padula, E., Roller, E., Mingramm, A., Criado Roque, P., Flores, M. y Baldis, B. 1967. Devoniano de Argentina. Internaciona Symposium of the Devonian System 2: 165-169.
- Poiré, D., Spalletti, L. y Del Valle, A. 2003. The Cambrian-Ordovician siliciclastic platform of the Balcarce Formation (Tandilia System, Argentina): Facies, trace fossils, palaeoenvironments and sequence stratigraphy. *Geologica Acta*. 1 (1): 41-60.
- Ramírez, C. F. y Gardeweg, M. 1982. Hoja Toconao, Región de Antofagasta. Carta Geológica de Chile N° 54, escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago, Chile.
- Rodrigues, A. C., Truckenbrodt, W. y Amaral, E. A. 1999. Formação Nhamunda (Siluriano Inferior) da bacia Do Amazonas, Região de Presidente Figueiredo. *Revista brasileira de geociências* 29 (2): 135-140.
- Rindsberg, A. y Martin, A. 2003. *Arthropycus* in the Silurian of Alabama (USA) and the problem of compound trace fossils. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 192: 187-219.
- Schrift, M. y Uchman, A. 2005 Revision of the ichnogenus *Sabellifex* Richter, 1921 and its relationship to *Skolithos* Haldeman, 1840 and *Polykladichnus* Fürsich, 1981. *Journal of Systematic Palaeontology* 3 (2): 115-131.
- Seilacher, A. 1967. Fossil behaviour. *Scientific American* 27: 72-80.
- Seilacher, A. 2000. Ordovician and Silurian arthropycid Ichnostratigraphy. En: Sola, M. A. y Worsley, D. (Eds), *Geological exploration in Murzuk Basin: 237-258*. Elsevier, Amsterdam.
- Suárez Soruco, R. 2000. Compendio de Geología de Bolivia. *Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos* 18 (1-2): 1-214.
- Suarez Soruco, R. y Diaz Martínez, E. 1996. Léxico estratigráfico de Bolivia. *Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos* 17 (1-2): 1-227.
- Wetzel, A. 1992 The New Zealand *Zoophycos* revisited; morphology, ethology and paleoecology – some notes for clarification. *Ichnos* 2: 91-92.
- Zimmermann, U., Niemeyer, H. y Meffre, S. 2009 (en prensa). Revealing the continental margin of Gondwana: The Ordovician arc of the Cordón de Lila (Northern Chile). *International Journal Earth Sciences (Geologisches Rundschau)*.