

# ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE ESPECIES DEL GÉNERO *BALTOGRAPTUS* (GRAPTOLITHINA) EN EL ORDOVÍCICO TEMPRANO DE LA CORDILLERA ORIENTAL, ARGENTINA



BÁRBARA A. VENTO<sup>1</sup> Y BLANCA A. TORO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT-CONICET- Mendoza, C.C. 131, 5500 Mendoza, Argentina.

*bvento@mendoza-conicet.gob.ar*

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Exáctas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 1611, X5016

GSA Córdoba, Argentina. *btorogr@mendoza-conicet.gob.ar*

**Resumen.** La morfometría aplicada a graptolitos constituye una herramienta poco desarrollada en la actualidad. Este tipo de análisis se realiza por primera vez en Argentina, con el objetivo de brindar un soporte adicional para la clasificación sistemática a nivel de especie, de ejemplares problemáticos del género *Baltograptus*. El material proviene de la Cordillera Oriental, asignado previamente a las especies *B. turgidus* (Lee) y *B. kunmingensis* (Ni), e incluido sucesivamente en grupos informales. Estas especies fueron definidas originalmente en China, junto a muchas otras difícilmente diferenciables, que se caracterizan por presentar tubarios robustos de carácter deflexo, con rápido ensanchamiento de sus estipes. Material adicional de características similares, que fuera asignado anteriormente a *Baltograptus bolivianus* (Finney y Branisa), se incluye también en este análisis. A partir de la cuantificación de las variables morfométricas se llevó a cabo un análisis de tipo exploratorio (análisis de componentes principales), seguido del análisis de agrupamiento y del posterior análisis discriminante. Como resultado, el material se separa en tres agrupamientos diferentes, que corresponden claramente a las tres especies en discusión. Si bien las variables correspondientes al extremo proximal del tubario influyen en la discriminación de los grupos resultantes, aquellas correspondientes al resto de la colonia ejercen mayor preponderancia en la separación a nivel de especie. El análisis de los parámetros morfométricos seleccionados constituye una base necesaria de comparación con trabajos similares que se encuentran en desarrollo actualmente en China, donde estas y otras especies semejantes fueron originalmente descriptas.

**Palabras clave.** Morfometría. Graptolitos. *Baltograptus*. Cordillera Oriental.

**Abstract.** MORPHOMETRIC ANALYSIS OF EARLY ORDOVICIAN *BALTOGRAPTUS* SPECIES FROM THE CORDILLERA ORIENTAL, ARGENTINA. The application of morphometric techniques to graptolites is still under development. This kind of analysis is carried out for the first time in Argentina to give additional support to the systematic classification at species level for problematic specimens of the genus *Baltograptus*. The material comes from the Cordillera Oriental, and was previously assigned to *B. turgidus* (Lee) and *B. kunmingensis* (Ni) and subsequently included in informal groups. These species were originally described in China, along with many other species of difficult differentiation, which are characterized by a robust and deflexed tubarium with a rapid widening of the stipes. Additional similar material previously assigned to *Baltograptus bolivianus* (Finney and Branisa), is included in the analysis. An exploratory analysis (principal component analysis) was carried out, based on the quantification of the morphometric variables. It was followed by a cluster analysis with a subsequent discriminant analysis. The results showed that the specimens are separated into three groups, clearly corresponding to the discussed species. The variables of the distal part of the tubarium appear to have more influence in the separation of species. However, some variables corresponding to the proximal end also influence the resulting group discrimination. The analysis of the selected morphometric variables constitutes a foundation for comparison with similar studies, currently in progress in China, where the analyzed species as well as other related species, were originally described.

**Key words.** Morphometry. Graptolites. *Baltograptus*. Cordillera Oriental.

LA morfometría es la caracterización cuantitativa, el análisis y comparación de las formas biológicas, siendo la estadística cuantitativa un componente importante dentro de este estudio. Es una herramienta diferente para extraer información sobre material biológico o procesos biológicos, y a pesar de que la información que se obtiene es simple (variables cuantitativas), el tema al cual se aplica la morfología y los procesos inferenciales involucrados pueden resultar complicados. Uti-

lizada como un mecanismo para extraer patrones a partir de datos morfológicos, esta disciplina puede ser un gran aporte a los estudios evolutivos y de desarrollo biológico (Roth y Mercer, 2000). Tanto los estudios morfométricos tradicionales, como así también la morfometría multivariada, han mejorado notablemente en las últimas dos décadas.

Por su parte, la morfometría de fósiles fue definida por Bokstein *et al.* (1985) como “el análisis de las homologías bio-

lógicas y de los cambios geométricos”, siendo de gran relevancia en el estudio de las trayectorias filogenéticas y ontogénicas. Esta clase de análisis es indispensable en la mayoría de las áreas de investigación paleontológica, como así también en los estudios evolutivos y cladogenéticos (Kitchell, 1990), y adquiere cada vez mayor importancia y aplicabilidad en el área de la sistemática. Sin embargo, en nuestro país la morfometría aplicada a distintos grupos de invertebrados fósiles, y especialmente a graptolitos, constituye una herramienta poco desarrollada en la actualidad.

Vento (2013) sostuvo el uso de la estadística como una novedosa herramienta que puede resultar de gran utilidad en el análisis del registro fósil, evaluando los cambios que han sufrido los organismos a través del tiempo, y teniendo en cuenta que las diferencias entre organismos reflejan genotipos e historias evolutivas diferentes. Un estudio morfométrico, que involucró el análisis de un mayor número de formas de graptolitos (72 ejemplares, 10 variables morfométricas), resultó en la obtención de varias agrupaciones con un notable predominio correspondiente a algunos de los géneros a los que las mismas habían sido asignadas previamente. Según dicha autora, las variables del extremo proximal fueron las que ejercieron un mayor efecto en la discriminación de dichos grupos.

Este trabajo tiene como principal objetivo presentar la evaluación de la diferenciación morfométrica resultante de un grupo de graptolitos del Ordovícico Temprano de la Cordillera Oriental, y de su utilidad como herramienta de ajuste para las clasificaciones sistemáticas problemáticas. Para su desarrollo, se plantea el tratamiento estadístico de los datos que permiten cuantificar las relaciones y la agrupación del material en tres especies del mismo género.

El material del noroeste argentino que se incluye en este estudio fue descrito y asignado anteriormente por distintos autores a las especies *Baltograptus turgidus* (Lee, 1974), *Baltograptus kunmingensis* (Ni, 1979 en Mu *et al.*, 1979) y *Baltograptus bolivianus* (Finney y Branisa, 1984). El material se caracteriza en un sentido amplio por ser formas sumamente robustas, con estipes deflexos, que en general se ensanchan rápidamente en la parte proximal y se mantienen uniformes, o decrecen hacia el extremo distal. Sin embargo, las dudas acerca de su correcta asignación específica no han sido resueltas hasta el presente, probablemente debido a la similitud y variabilidad de las dimensiones en los distintos estadios de desarrollo del material estudiado, o a la diferente preservación o defor-

mación del mismo. *Baltograptus turgidus* y *B. kunmingensis* fueron descritas originalmente en China, junto a numerosas formas afines y difícilmente diferenciables, asignadas a diferentes especies (Mu *et al.*, 1979). Maletz (1994) prefirió asignar algunas de estas formas a un grupo informal dentro del género *Baltograptus* al que se llamó “*Baltograptus calidus group*”. En Argentina, *B. turgidus* y *B. kunmingensis* fueron descritas e ilustradas por primera vez por Toro (1994, 1996), a partir de material relleno con piritita, coleccionado en la quebrada de Lumará, en el extremo norte de la Sierra de Aguilar. Sus registros se ampliaron posteriormente al área de Santa Victoria, donde se revisó material mejor conservado, que fue analizado también desde el punto de vista bioestratigráfico (Toro, 1999; Toro y Brussa, 2003). Las dudas acerca de la correcta clasificación de estas formas fueron subsanadas, en parte, cuando Toro y Maletz (2007) confirmaron su inclusión en el género *Baltograptus* a partir del estudio de material conservado en semirrelieve. Sin embargo, dichos autores prefirieron mantener un sentido amplio para la asignación de ambas especies, manteniéndolas dentro del “grupo de *B. turgidus*”. Otros ejemplares de características y magnitudes similares, provenientes del área de Santa Victoria, fueron asignados a la especie *B. bolivianus* por Toro (1999) y Toro y Brussa (2003) debido a la presencia de pliegues protecales. Sin embargo, otros autores consideraron que estos últimos constituyen un carácter significativo para la separación entre grupos taxonómicos de distinto nivel, sólo en el caso de resultar tan marcados que provocan la inversión en forma de “u” de la curvatura de la proteca (Carlucci, 2008). De acuerdo a este último criterio, los pliegues que presenta el material aquí estudiado resultan de cuestionable valor para su diferenciación específica, al constituir solo una marcada ondulación de la teca. Por último, Toro *et al.* (2011) realizaron un análisis comparativo de las especies representantes del género *Baltograptus* en Argentina, Baltoescandinavia y China; incluyendo la revisión taxonómica de nuevo material proveniente del Río Mecoyita, en el área de Santa Victoria, y de una gran cantidad de material depositado en el Nanjing Institute of Geology and Palaeontology (China). Dichos autores afirmaron que las características del extremo proximal de los ejemplares preservados en relieve concuerdan perfectamente con aquellas descritas para el género *Baltograptus*, pero destacaron los problemas remanentes acerca de la correcta asignación específica de las numerosas formas deflexas con estipes robustos establecidas por Mu *et al.* (1979) en China, que posteriormente fue-

ron incluidas en distintos grupos informales como los de *B. calidus* y *B. turgidus* en diferentes trabajos. Estos autores sugirieron también las distintas sinonimias, basadas principalmente en el ancho máximo alcanzado por los estipes, entre *B. kunmingensis*, *B. wudingensis* y *B. varicosus*; y entre *B. calidus* y *B. yunnanensis*. Así mismo proponen la inclusión de *B. triangulatus* dentro del grupo informal de *B. turgidus*.

Los especímenes más completos y mejor conservados, que se midieron para la realización de este análisis, provienen de las quebradas de Lumará (extremo norte de la Sierra Aguilar), Provincia de Jujuy, y del área de Santa Victoria, Provincia de Salta. Ambos sitios pertenecen a los sectores occidental y oriental de la Cordillera Oriental respectivamente (Fig. 1). El material fue coleccionado en niveles de pelitas y areniscas finas intercaladas, que constituyen el tercio inferior de la Formación Acoite y representan los depósitos de una plataforma de bajo ángulo con influencia deltaica (Astini, 2003; 2008). Recientemente Toro y Vento (2013) presentaron nuevos ajustes bioestratigráficos y de correlación para dicha secuencia, que permiten confirmar la edad floiana temprana, correspondiente a la parte inferior de la Biozona de “*Baltograptus* cf. *B. deflexus*”, de los ejemplares analizados en este trabajo. Estos se encuentran preservados, en la mayoría de los casos, en semirrelieve lo que permite obser-

var tanto las características del extremo proximal como las del extremo distal del tubarium.

El material estudiado se encuentra depositado en el repositorio del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT-CONICET Mendoza, bajo la sigla **IANIGLA-PI**, y en el repositorio del Centro de Investigaciones Paleobiológicas (CIPAL) de la Facultad de Ciencias Exáctas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, con la sigla **CEGH-UNC**.

**METODOLOGÍA**

Este análisis involucra material proveniente de dos áreas clásicas del noroeste de Argentina, que fuera asignado previamente a tres especies del género *Baltograptus*. Este taxón fue definido por Maletz (1994) y posteriormente Toro y Maletz (2007) confirmaron la asignación genérica de los ejemplares conservados en semirrelieve hallados en estas localidades y que son objeto de este estudio.

Se utilizaron los datos de diecinueve ejemplares adultos y completos, con la finalidad de reconocer diferencias morfológicas entre las especies involucradas, y de esta forma intentar caracterizarlas en base a las variables morfológicas consideradas, determinando cuáles de estas últimas resultan

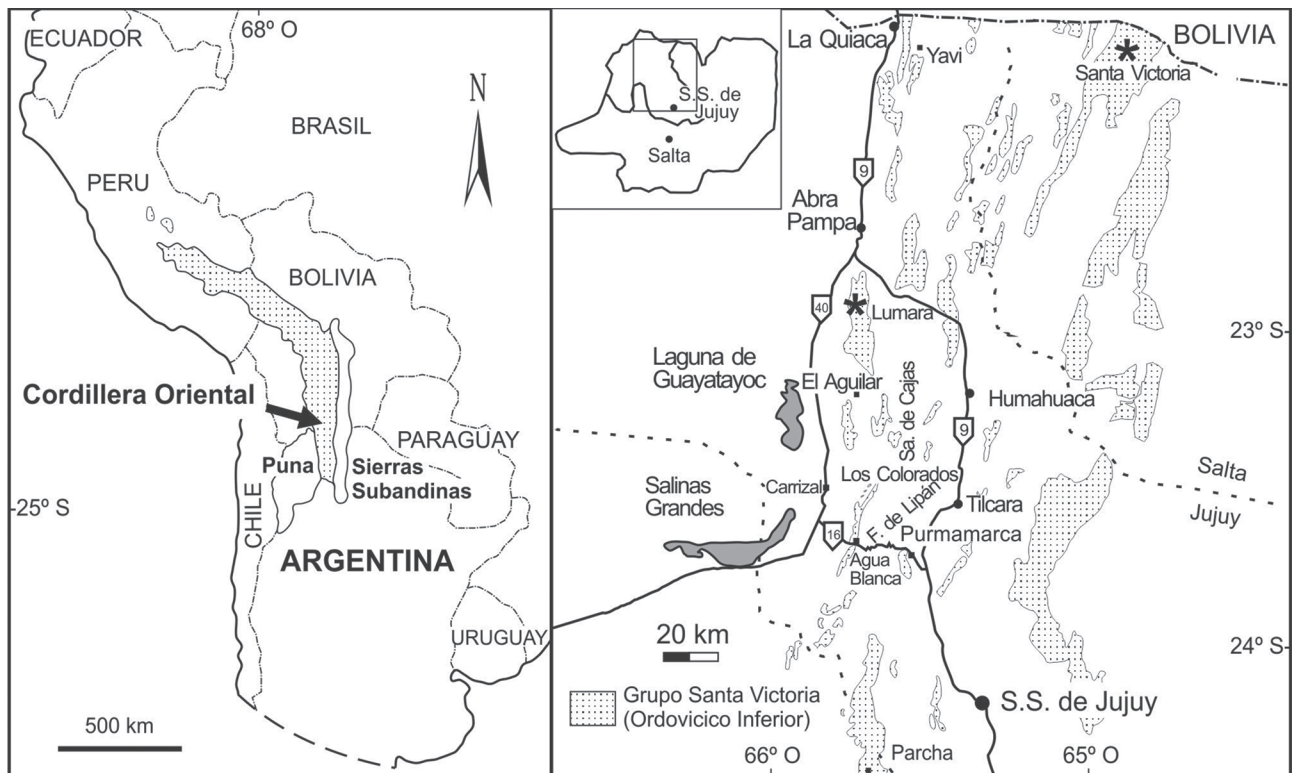
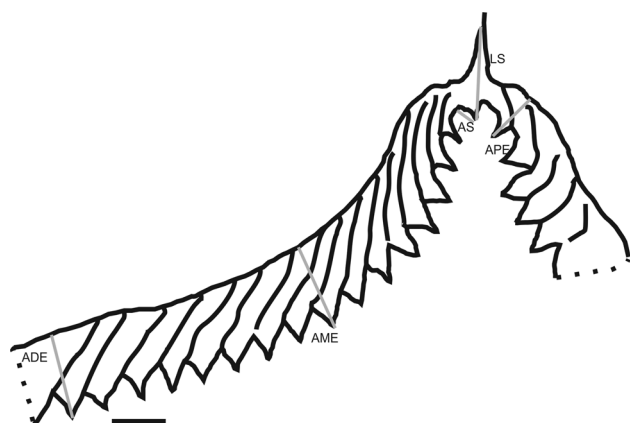


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica, modificado de Astini (2003). Los asteriscos indican las áreas de donde proviene el material estudiado.

más relevantes dentro del grupo de estudio seleccionado.

Para la toma de los datos se realizaron dibujos con cámara clara y se consideraron las siguientes medidas morfométricas: **LS**, longitud de la sícula; **AS**, ancho de la sícula; **APE**, ancho proximal del estipe; **ADE**, ancho distal del estipe; **AME**, ancho máximo del estipe; **TED**, cantidad de tecas en 10 mm. Las mediciones se realizaron en milímetros (Tabla 1, Fig. 2).



**Figura 2.** Representación esquemática de un espécimen que muestra las variables morfométricas seleccionadas. **Referencias:** **LS**, Longitud de la Sícula; **AS**, Ancho de la Sícula; **APE**, Ancho Proximal de Estipe; **ADE**, Ancho Distal del Estipe; **AME**, Ancho Máximo del Estipe. Escala gráfica= 1mm.

Los datos morfométricos registrados fueron sometidos a un análisis estadístico utilizando el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

En primer lugar, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) de tipo exploratorio que ordena las dimensiones observadas y registradas a lo largo de unos pocos ejes ortogonales que describen porciones independientes de la variación de la matriz original (Orlóci, 1966). Para éste análisis se utilizaron 19 ejemplares fósiles y 6 variables morfométricas (Tab. 1). Este análisis permite ver cómo se diferencian las distintas especies en función de su morfometría y cuáles son las variables morfométricas que intervienen principalmente en esta diferenciación. Se eligió este análisis con el objetivo de explorar y describir la diversidad de los datos tomados, reduciendo la dimensionalidad de la matriz original.

La normalidad de los registros morfométricos se comprobó con la prueba de Shapiro-Wilks modificada, y como las variables cumplían con este supuesto no fueron transformadas.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de agrupamiento jerárquico o conglomerado, para lograr agrupar los datos. Se trabajó con el método “completo” (*hclust*) o del vecino más lejano y se eligió como medida de disimilitud la distancia euclí-

**TABLA 1. Mediciones morfométricas**

<b>S</b>	<b>AS</b>	<b>APE</b>	<b>ADE</b>	<b>AME</b>	<b>TED</b>
1,7	0,35	0,9	1	1,6	14
1,7	0,35	0,8	0,9	1,6	14
1,8	0,3	0,7	0,8	1,5	20
1,7	0,3	0,75	0,8	1,3	16
1,7	0,3	0,8	0,9	1,5	20
1,9	0,4	1,1	1,5	1,7	15
2	0,5	1,1	1,2	1,8	15
1,9	0,3	0,8	1	2	16
1,8	0,3	0,8	0,9	1,3	17
1,9	0,3	1	1	2	14
1,7	0,3	0,8	0,9	1,7	18
1,8	0,3	0,9	1	2	18
1,8	0,3	0,9	1	1,7	14
1,8	0,3	1	1,1	1,7	18
1,8	0,35	0,9	1,1	2	14
1,9	0,3	0,9	1	1,5	18
1,8	0,3	0,8	0,9	1,4	16
1,9	0,3	1	1,1	1,6	16
1,8	0,3	0,9	0,9	1,6	20

Abreviaturas: **LS**, longitud de la sícula; **AS**, ancho de la sícula; **APE**, ancho proximal del estipe; **ADE**, ancho distal del estipe; **AME**, ancho máximo del estipe; **TED**, cantidad de tecas en 10 mm.

dea. En el método del vecino más lejano (*complete linkage*) la distancia entre dos agrupamientos es el máximo de las distancias entre un objeto de un grupo y un objeto de otro, constituyendo este uno de los métodos más usados (Lance y Williams, 1967). Como medida de distorsión del dendrograma se obtuvo el Coeficiente de Correlación Cofenético (Sokal y Rohlf, 1962).

El análisis de conglomerados consiste en clasificar o agrupar, un conjunto de individuos en función de los valores observados de las variables (Becking, 1957). Mediante la aplicación de un criterio de similitud se puede determinar cuan próximas o parecidas son entre sí, en este caso, las especies analizadas. De esta forma se aplican procesos de agrupación llegando a subconjuntos homogéneos entre sí, y diferentes grupo a grupo (Klastorin, 1983).

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente y con el objetivo de agrupar ejemplares similares de acuerdo a las características (variables) registradas, se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico (*cluster*) de los datos.

Para examinar las diferencias estadísticas entre grupos y poder detectar cuál o cuáles de las variables estarían ejerciendo mayor influencia en la discriminación de dichos grupos, se realizaron paralelamente un análisis de la varianza multivariada (MANOVA) y un análisis discriminante (AD).

**RESULTADOS**

El Análisis de Componentes Principales resultó en un diagrama (Fig. 3) donde se observa cómo los datos morfológicos de los ejemplares fósiles se ordenan a lo largo de los ejes ortogonales.

El eje 1 explicó un 56,4% y el eje 2 un 14,60% de la variabilidad total de la matriz, es decir que en total estos dos ejes principales estarían explicando el 71% de la variabilidad total de los datos. Este análisis de ordenamiento no restringido arrojó un factor de correlación cofenética alto ( $r=0,94$ ).

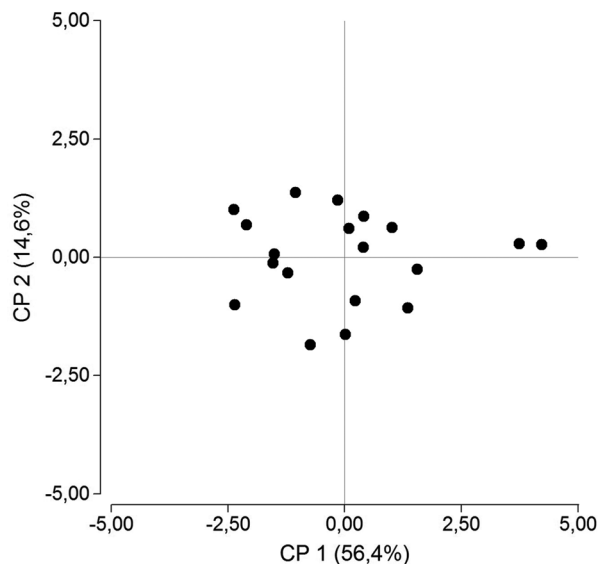
Las variables que contribuyeron positivamente en la ordenación de los ejemplares a lo largo del Componente Principal 1 (CP 1) fueron: **ADE** (0,90), **APE** (0,91), **LS** (0,75) y **AS** (0,74). La variable **TED** (0,78) muestra mayor contribución hacia los valores positivos del eje Componente Principal 2 (CP 2) (Tab. 2). La ordenación de los datos se produce mayormente a lo largo del CP 1 donde variables morfológicas provenientes de la parte distal como **ADE** y **APE** junto con **LS** y

**AS** provenientes del extremo proximal de la colonia, determinan dicha disposición de los datos. El análisis de conglomerados permitió diferenciar los ejemplares en tres grupos, los cuales se describen a continuación, y arrojó un coeficiente cofenético relativamente alto ( $r=0,83$ ) (Fig. 4). En el primer grupo resulta notable destacar que quedan incluidos los dos ejemplares identificados como *Baltograptus bolivianus*, que se separan claramente del resto. En un segundo grupo se presenta una mayor cantidad de ejemplares pertenecientes a la especie *Baltograptus turgidus*. Por último se obtuvo un tercer grupo donde a diferencia de lo que ocurre en el anterior, la mayor cantidad de ejemplares corresponde a la especie *Baltograptus kunmingensis*.

**TABLA 2. Contraste de las variables en los CP1 y CP2**

Var.	CP 1	CP 2
AM	0,59	-0,02
LS	0,75	0,44
APE	0,91	0,17
ADE	0,90	0,09
TED	-0,55	0,78
AS	0,74	-0,17

Abreviaturas: **CP1**, Componente Principal 1; **CP2**, Componente Principal 2; **AME**, ancho máximo del estipe; **LS**, longitud de la sícula; **APE**, ancho proximal del estipe; **ADE**, ancho distal del estipe; **TED**, cantidad de tecas en 10 mm, **AS**, ancho de la sícula.



**Figura 3.** Ordenamiento de los datos, obtenido por el Análisis de Componentes Principales. **Referencias:** **CP1**, Componente Principal 1; **CP2**, Componente Principal 2.



El análisis de la varianza multivariado (MANOVA) arrojó un valor  $F= 1,80$  (Pillai),  $p<0,0001$  para 24 grados de libertad. La tabla de comparaciones de medias multivariadas (centroides) según Hotelling con nivel corregido por Bonferroni para alfa 0,05 mostró tres grupos que presentan diferencias significativas entre sí (Tab. 3).

Los resultados obtenidos a partir del análisis discriminante muestran la separación en grupos discretos de los especímenes correspondientes a las tres especies identificadas y reafirman el análisis de la varianza anterior, indicando que hay diferencias morfométricas entre ellos. Además permitió detectar las variables que determinan la formación de los grupos. El eje canónico 1 explicó un 78,23% de la variación entre los grupos y el eje canónico 2 explicó un 21,77% (Fig. 5). A partir de la función discriminante estandarizada por las covarianzas comunes, puede observarse que la variable **AS** es una de las más importantes para la discriminación sobre el eje 1, junto con las variables **LS** y **ADE** (Tab. 4). Los centroides en el espacio

discriminante muestran que el grupo 1 se ubica hacia los valores positivos del eje canónico 1 y se oponen al grupo 2 hacia los valores negativos de dicho eje. Con respecto al eje canónico 2, el grupo 3 permite discriminarse del resto de los otros dos grupos (Fig. 5). El porcentaje de individuos totales clasificados correctamente por el análisis discriminante fue del 100% para cada uno de los grupos definidos previamente, lo cual permite dar mejor soporte al análisis.

Los resultados obtenidos permiten reasignar algunos de los ejemplares clasificados en trabajos anteriores como *Baltograptus turgidus* (CEGH-UNC 12212, 12214, 12563 y 12564), a la especie *B. kunmingensis*, y brindan el soporte necesario para mantener la asignación de los ejemplares de la especie *B. bolivianus* (CEGH-UNC 12572 y 12573), validando dicho taxón.

TABLA 3. Análisis de la varianza multivariada

GR	LS	AS	APE	ADE	AME	TED	n
3	1,85	0,31	0,93	1,04	1,81	16,00	8 A
2	1,95	0,45	1,10	1,35	1,75	15,00	2 B
1	1,74	0,31	0,81	0,89	1,50	17,22	9 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p<0,05$ ).

**Abreviaturas:** **LS**, longitud de la sícula; **AS**, ancho de la sícula; **APE**, ancho proximal del estipe; **ADE**, ancho distal del estipe; **AME**, ancho máximo del estipe; **TED**, cantidad de tecas en 10 mm; **GR**, grupo; **n**, tamaño de la muestra.

TABLA 4. Funciones discriminantes canónicas

	CP 1	CP 2
Constante	-48,75	11,32
LS	13,35	-8,82
AS	31,05	36,01
APE	-2,55	-5,51
ADE	13,92	1,34
AME	0,23	-4,55
TED	0,15	0,25

**Abreviaturas:** **CP1**, Componente Principal 1; **CP2**, Componente Principal 2; **LS**, longitud de la sícula; **AS**, ancho de la sícula; **APE**, ancho proximal del estipe; **ADE**, ancho distal del estipe; **AME**, ancho máximo del estipe; **TED**, cantidad de tecas en 10 mm.

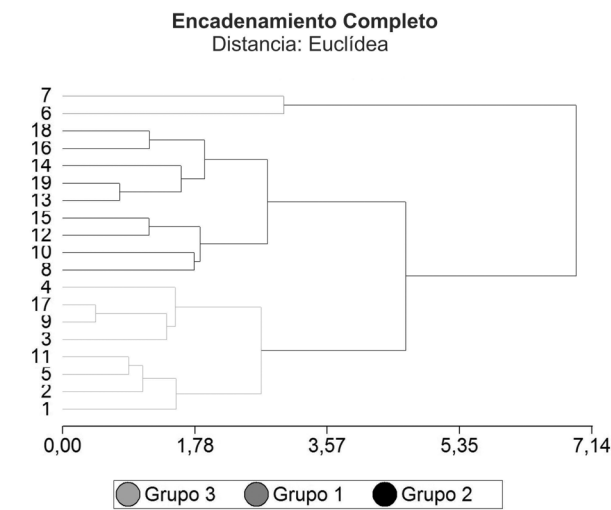


Figura 4. Dendrograma mostrando el agrupamiento de los datos.

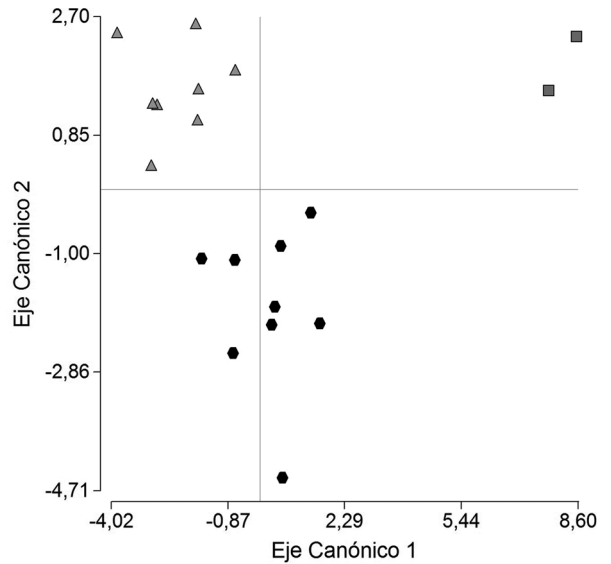


Figura 5. Análisis discriminante mostrando la agrupación de los datos.

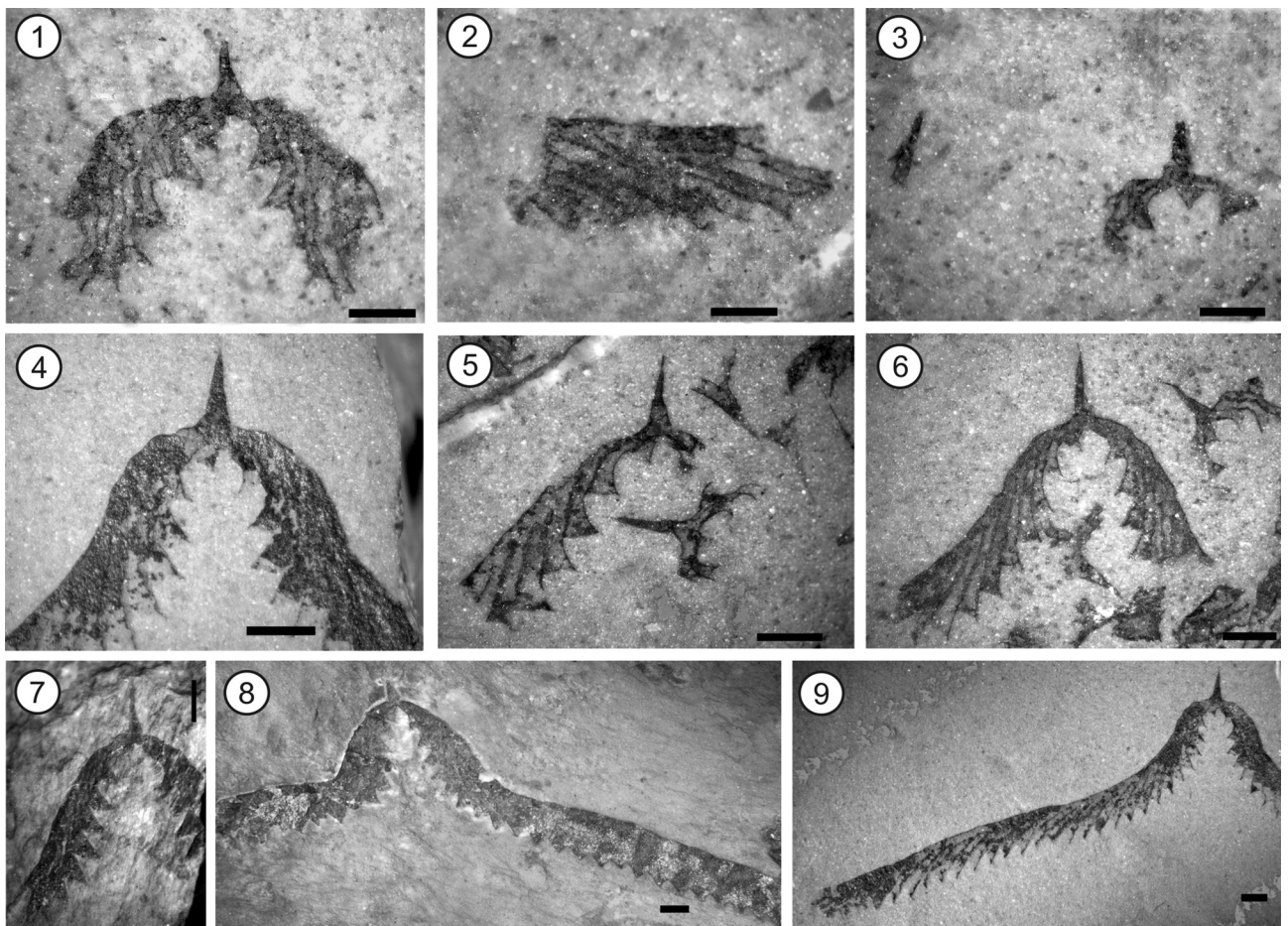
**DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El tratamiento estadístico de los datos morfométricos permite separar grupos dentro de una determinada asociación de graptolitos y constituye un soporte para la taxonomía. La información obtenida corrobora la importancia de este tipo de análisis como herramienta para mejorar el estudio y la clasificación de organismos fósiles, tales como los graptolitos, destacándose los resultados positivos en cuanto a su clasificación a nivel de especie. Este tipo de análisis también ha sido utilizado eficazmente en otros grupos fósiles, como trilobites (Crônier *et al.*, 2005) y palinomorfos (Stricanne y Servais, 2002; Breuer *et al.*, 2005). El trabajo que aquí se presenta resulta además, una contribución a la generación de una base de datos morfométricos de los graptolitos del noroeste de Argentina, donde hasta el presente no se contaba con antecedentes.

Uno de los pocos ejemplos en esta línea de investigación

aplicada a los graptolitos lo constituye el reciente trabajo de Zhang (2011), quien analizó desde el punto de vista morfométrico varias especies asignadas al género *Didymograptus* (Mc Coy en Sedgwick y Mc Coy, 1851) (*Baltograptus*, como se considera en este trabajo) provenientes de China, con la finalidad de separar especies y aplicar sus resultados a la clasificación sistemática. El mencionado autor, utilizó el análisis de conglomerados para comparar de a pares el material asignado a distintas especies, y el análisis discriminante para determinar las variables involucradas en dicha separación. La difusión de este y sucesivos trabajos pioneros al respecto, contribuirán a clarificar las relaciones existentes entre distintos taxones de diferentes niveles taxonómicos.

En este estudio el CP 1 en el análisis de componentes principales explicó más de un 56% de la variabilidad total de la matriz original de registros de variables morfométricas en



**Figura 6.** 1-3, *Baltograptus bolivianus* (Finney y Branisa), área de Santa Victoria. 1, CEGH-UNC 17572, ejemplar adulto y completo; 2, CEGH-UNC 17575, detalle de la parte distal del tubario; 3, CEGH-UNC 17574, detalle de estadios juveniles. 5-7, *Baltograptus kunmingensis* (Ni, 1979 en Mu *et al.*, 1979); 5-6, ejemplares adultos y juveniles del área de Santa Victoria. 5, CEGH-UNC 17566; 6, CEGH-UNC 17564; 7, CEGH-UNC 12201, ejemplar adulto de la sección de Lumará. 4, 8-9, *Baltograptus turgidus* (Lee); 4, 9, CEGH-UNC 17553, proveniente del área de Santa Victoria. 4, detalle de la parte proximal; 9, espécimen adulto y completo. 8, CEGH-UNC 12206, ejemplar adulto y completo de la sección de Lumará. Escala gráfica=1mm.

ejemplares fósiles. Dentro de las variables que contribuyeron en dicha ordenación se destaca la variable correspondiente al ancho distal del estipe (**ADE**) seguido por el ancho proximal del estipe (**APE**) junto a otras variables del extremo proximal (**AS** y **LS**). La obtención de la variable **ADE** como la mayor contribuyente en la ordenación de los datos resulta relevante por ser una característica notoria de las especies del género *Baltograptus* analizadas en este trabajo, la mencionada variable se halla poco estudiada en el grupo fósil considerado en este estudio.

El análisis de agrupamiento jerárquico permitió detectar una separación de tres grupos en los cuales existe un notable predominio de cada una de las especies por agrupamiento. Por un lado se destaca la clara división de los ejemplares de *Baltograptus bolivianus* (Fig. 6.1–3), seguida de dos conglomerados con un mayor número de especímenes correspondientes a *B. turgidus* (Fig. 6.6, 8, 9) y *B. kunmingensis* (Fig. 6.4, 5, 7) respectivamente. Un aspecto destacable de la diferenciación resultante del análisis morfométrico, entre los ejemplares de *B. bolivianus* y el grupo que incluye el material correspondiente a *B. turgidus*, reside en que en la misma no influyó el carácter marcadamente ondulado de las tecas del primero, que según lo discutido anteriormente resultaba insuficiente por sí mismo para la separación entre ambas especies.

El análisis discriminante realizado a nivel especie muestra que **AS**, **LS** y **ADE** fueron las variables que mayor poder de discriminación ejercieron en la separación de los grupos.

A partir de los resultados hallados en este análisis, es posible afirmar que del total de las variables morfométricas registradas, algunas de ellas tienen mayor efecto que otras al momento de agrupar especímenes en distintos niveles taxonómicos. Es así que a nivel de especie las variables provenientes del tubarium como **ADE** tendrían un peso importante en la separación, aunque otras variables correspondientes al extremo proximal como **AS** y **LS** también tendrían un rol significativo en la agrupación de ejemplares. De la realización de este estudio se desprende además, que resulta posible hacer estudios morfométricos en graptolitos utilizando sólo unas pocas variables como aquellas que poseen mayor efecto en la asociación de ejemplares.

La estadística aplicada a datos morfométricos puede resultar una herramienta valiosa para el estudio de los graptolitos

con el fin de dar un soporte confiable, complementar y aportar información relevante a otras áreas de estudio como la sistemática, la taxonomía y la filogenia. Sin embargo, debido a la poca información disponible en relación a este aspecto de su estudio, y a la falta de trabajos de similares características en cuanto al empleo del análisis estadístico, la generalización y extrapolación de estas conclusiones resulta difícil por el momento.

## AGRADECIMIENTOS

A I. Garibotti por la lectura del borrador y sugerencias realizadas. A S. de la Puente por las recomendaciones recibidas oportunamente. Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), mediante las becas de Tipo I y II de una de las autoras (B.V.) y por el subsidio CONICET-PIP 112-20110101111. Es una contribución al proyecto internacional 591 IGCP-UNESCO.

## REFERENCIAS

- Astini, R.A. 2003. The Ordovician Proto-Andean basins. En: J.L. Benedetto (Ed.), *Ordovician fossils of Argentina*. Secretaría de Ciencias y Tecnología - Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, p. 1–74.
- Astini, R.A. 2008. Sedimentación, facies, discordancias y evolución paleoambiental durante el Cambro – Ordovícico. *17° Congreso Geológico Argentino* (Jujuy), *Relatorio*: 50–73.
- Becking, R.W. 1957. The Zurich-Montpellier school of Phytosociology. *Botanical Review* 23: 411–488.
- Bookstein, F., Chernoff, B., Elder, R., Humphries, J., Smith, G. y Strauss, R. 1985. Morphometrics in evolutionary biology. *The Academy of Natural Sciences, Philadelphia. Special Publication*, 15, Philadelphia.
- Breuer, P., Stricanne, L. y Steemans, P. 2005. Morphometric analysis of proposed evolutionary lineage of Early Devonian land plant spores. *Geological Magazine* 142: 241–253.
- Carlucci, J. 2008. [*Phylogenetic analysis, systematics, and evolution of Early Ordovician graptolites*]. Master Thesis, Faculty of the Graduate School of the State University of New York at Buffalo, 133 p. [Inédito].
- Crônier, C., Auffray, J.C. y Courville P. 2005. Quantitative comparison of the ontogeny of two closely-related Upper Devonian phacopid trilobites. *Lethaia* 38: 123–135.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Finney, S.C. y Branisa, L. 1984. Two new Ordovician graptolites from Bolivia. *Geological Magazine* 121: 357–366.
- Kitchell, J.A. 1990. Computer analysis in Palaeontology, Chapter 6.1. En: D. Briggs y P.C. Crowther (Eds.), *Paleobiology a Synthesis*. Blackwell, Londres, p. 493–499.
- Klastorin, T.D. 1983. Assessing cluster analysis. *Journal of Marketing Research* 20: 92–98.
- Lance, G.N. y Williams, W.T. 1967. A general theory of classificatory sorting strategies. Hierarchical systems. *Computer Journal* 9: 373–380.
- Lee, C.K. 1974. *A handbook of stratigraphy and Paleontology of Southwestern China*. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology - Academia Sinica, Science Press, Beijing, 454 p.
- Maletz, J. 1994. Pendent didymograptids (Graptoloidea, Dichograptacea). En: Chen Xu, B.D. Erdtmann y Ni Yu-Nan (Eds.), *Graptolite Research Today*. Nanjing University Press, Nanjing, p. 27–43.
- Mu, E.Z., Ge, M.Y., Chen, X., Ni, Y.N. y Lin, Y.K., 1979. Lower Ordovician graptolites of Southwest China. *Palaeontologica Sinica, New Series B* 156: 1–192.
- Orlói, L. 1966. Geometric models in ecology. The theory and application of some ordination methods. *Journal of Ecology* 54: 193–215.



- Roth, V.L. y Mercer, J.M. 2000. Morphometrics in development and evolution. *American Zoologist* 40: 801–810.
- Sedgwick, A. y Mc Coy, F. 1851. A synopsis of the classification of the British Paleozoic rocks, Part 1. Cambridge University Press, 184 p.
- Sokal, R.R. y Rohlf. 1962. The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon* 11: 33–40.
- Stricanne, L. y Servais, T. 2002. A statistical approach to classification of the Cambro–Ordovician galeate acritarch plexus. *Review of Palaeobotany and Palynology* 118: 239–259.
- Toro, B.A. 1994. [*Taxonomía, bioestratigrafía y afinidades paleobiogeográficas en base a las graptofaunas ordovícicas del borde occidental de la Cordillera Oriental, provincia de Jujuy, Argentina*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 173 p. Inédito].
- Toro, B.A. 1996. Implicancias paleobiogeográficas del hallazgo de *Baltograptus turgidus* (Lee) y *Baltograptus kunmingensis* (Ni) (Graptolithina) en el Arenigiano Temprano del Noroeste de Argentina. *13<sup>er</sup> Congreso Geológico Argentino y 3<sup>er</sup> Congreso de Exploración de Hidrocarburos* (Buenos Aires), *Actas* 5: 27–38.
- Toro, B.A. 1999. Nuevos datos paleontológicos (Graptolithina), bioestratigráficos y paleogeográficos del área de Santa Victoria, Cordillera Oriental, Argentina. *Ameghiniana* 36: 477–487.
- Toro B.A. y Brussa E.D. 2003. Graptolites. En: Benedetto, J.L. (Ed.). *Ordovician fossils of Argentina*. Secretaria de Ciencia y Tecnología - Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, p. 441–505.
- Toro, B.A. y Maletz, J. 2007. Deflexed *Baltograptus* species in the early to mid Arenig graptolite biostratigraphy of Northwestern Argentina. *Acta Palaeontologica Sinica* 46: 489–498.
- Toro, B.A. y Vento, B.A. 2013. Reevaluación de las biozonas de *Tetragraptus phyllograptoides* y *Tetragraptus akzharensis* (Ordovícico inferior, Floiano) de la Cordillera Oriental Argentina. *Ameghiniana* 50: 287–297.
- Toro, B.A., Maletz, J., Zhang Y.D. y Zhang, J. 2011. Comparative analysis of the Early ordovician baltograptid specie from Northwestern Argentina, Baltoscandia and South China, p. 597–603. En: J.C.G. Marco, I. Rábano y D. García-Bellido (Eds.), *Ordovician of the World* (No. 14). IGME, Madrid.
- Vento, B.A. 2013. [*Cuantificación de las relaciones taxonómicas, filogenéticas y de los patrones paleoecológicos de los graptolitos del Paleozoico inferior del noroeste de Argentina*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, 332 p. Inédito].
- Zhang Ju. 2011. [*Graptolite fauna of the Hungshihyen Formation (Early Ordovician) in Eastern Yunnan and its palaeobiogeographic implications*. Master Thesis, Nanjing University, 140 p. (Inédito)].

doi: 10.5710/AMEGH.03.12.2013.942

**Recibido:** 17 de abril de 2013

**Aceptado:** 03 de diciembre de 2013