

## **Tafonomía e icnología de los depósitos de tormenta de la Formación Bardas Blancas (Jurásico Inferior-Medio), Mendoza, Argentina**

**Graciela S. Bressan<sup>1</sup> y Ricardo M. Palma<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). [gbressan@gl.fcen.uba.ar](mailto:gbressan@gl.fcen.uba.ar); [palma@gl.fcen.uba.ar](mailto:palma@gl.fcen.uba.ar)

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón II, 1428 Buenos Aires, Argentina.

**Abstract.** *Taphonomy and ichnology from storm deposits in Bardas Blancas Formation (Lower-Middle Jurassic), Mendoza, Argentina.* The Bardas Blancas Formation (Toarcian-Bajocian) of the Neuquen Basin in rio Potimalal area is characterized on the basis of sedimentologic, taphonomic and ichnologic criteria. The taphonomic attributes and their relation to the lithofacies allow us to distinguish five different bioclastic deposits (BD): (1) BD1, hummocky cross-stratified shell concentrations; (2) BD2, lenticular or tabular shell concentrations in hummocky cross-stratified sandstones; (3) BD3, shell "lags"; (4) BD4, complex shell beds; (5) BD5, shell beds in massive fine-medium grained sandstones. BD3 have been interpreted as storm relaxation flows, whereas BD1-BD2 has been interpreted as proximal tempestites and BD4-BD5 as distal tempestites. Molluscs taxa recorded include bivalves, cephalopods and gastropods, in order of decreasing of his relative abundance. *Pholadomya* cf. *abbreviata* Hupé, *Meleagrinnella* cf. *echinata* (Sowerby) and *Neocrassina andium* (Gottsche) are present in sandstone facies while, *Pholadomya laevigata* Hupé and *Trigonia (Trigonia)* sp. are abundant in mudstone facies. Ichnofauna includes *Skolithos* and *Ophiomorpha* that may be assigned to the *Skolithos* ichnofacies, and *Thalassinoides*, *Palaeophycus*, *Planolites* and *Chondrites*, assigned to the *Cruziana* ichnofacies. In the study area, there are three deepening upward successions averaging 26, 17 and 25 m in thickness. The analysis and interpretation of sedimentologic, taphonomic and ichnologic features suggests a storm-dominated shelf, in a zone comprised from shoreface and outer shelf areas.

**Resumen.** Los depósitos de la Formación Bardas Blancas (Toarciense-Bajociense) de la Cuenca Neuquina, en el área del río Potimalal, son caracterizados sobre la base de criterios sedimentológicos, tafonómicos e icnológicos. Los atributos tafonómicos y su relación con las litofacies permiten distinguir cinco tipos de depósitos bioclásticos (DB): (1) DB1-Areniscas bioclásticas con estratificación cruzada tipo *hummocky*; (2) DB2-Concentraciones tabulares o lenticulares en areniscas finas-medias con estratificación cruzada tipo *hummocky*; (3) DB3-"Lags" bioclásticos; (4) DB4-Concentraciones complejas; (5) DB5-Concentraciones bioclásticas en areniscas finas macizas. Estos depósitos fueron interpretados como flujos de relajación de tormentas (DB3), tempestitas proximales (DB1 y DB2) y tempestitas distales (DB4 y DB5). Los taxa de moluscos incluyen pelecípodos, cefalópodos y gastrópodos, en orden de abundancia decreciente. *Pholadomya* cf. *abbreviata* Hupé, *Meleagrinnella* cf. *echinata* (Sowerby) y *Neocrassina andium* (Gottsche) están presentes en las facies de areniscas mientras que *Pholadomya laevigata* Hupé y *Trigonia (Trigonia)* sp. son abundantes en las facies de pelitas. La icnofauna incluye los icnogéneros *Skolithos* y *Ophiomorpha*, asignados a la icnofacies de *Skolithos*, y *Thalassinoides*, *Palaeophycus*, *Planolites* y *Chondrites*, asignados a la icnofacies de *Cruziana*. En estos afloramientos se reconocieron tres secciones que se profundizan hacia el techo, promediando los 26, 17 y 25 m en espesor. El análisis y la interpretación de los rasgos sedimentológicos, tafonómicos e icnológicos permiten interpretar una plataforma dominada por tormentas, en una zona comprendida entre la anteplaya y la plataforma externa.

**Key words.** Bardas Blancas Formation; Jurassic; Storms; Bioclastic deposits; Ichnofacies.

**Palabras clave.** Formación Bardas Blancas; Jurásico; Tormentas; Depósitos bioclásticos; Icnofacies.

## **Introducción**

La Formación Bardas Blancas consiste en una sucesión de areniscas y escasas pelitas bien estratificadas, que afloran en el sur de la provincia de Mendoza, desde las inmediaciones de la ciudad de Malargüe hasta sierra de Reyes. Las areniscas son finas a medias, con laminación paralela, estratificación cruzada tipo *hummocky*, ondulitas de oleaje e intercalaciones de concentraciones bioclásticas.

Los estudios previos que tuvieron como objeto de estudio a la Formación Bardas Blancas son escasos, e incluyen Junken (2002), Sanci (2005), Bressan *et al.* (2005) y Bressan y Palma (2006), en tanto que los estudios tafonómicos en depósitos siliciclásticos del Jurásico de la Cuenca Neuquina están limitados a Lanés (1998).

Los depósitos de la Formación Bardas Blancas son particularmente adecuados para los estudios tafonómicos considerando que las concentraciones bioclásticas están compuestas casi en su totalidad por pelecípodos, muy útiles para realizar análisis tafonómicos debido a que poseen una gran variedad de propiedades cuantificables (Speyer y Brett, 1988). Como las propiedades tafonómicas son el producto de condiciones ambientales específicas, esta información permite hacer interpretaciones sobre el ambiente depositacional ([tabla 1](#) de Fürsich y Oschmann, 1993 y [tablas 2-7](#) de Speyer y Brett, 1988) y sirve como herramienta en el análisis de cuencas (Fürsich y Oschmann, 1993). Asimismo, los estudios tafonómicos realizados en plataformas modernas muestran que las acumulaciones esqueléticas reflejan las condiciones de energía del ambiente y la historia post-mortem de los organismos (Meldahl y Flessa, 1990; Best y Kidwell, 2000).

**Tabla 1.** Litofacies. HCS: estratificación cruzada tipo hummocky;  $\lambda$ : longitud de onda / *lithofacies*. HCS: *hummocky cross-stratification*,  $\lambda$ : *wave length*

| Litofacies   | Litología   | Geometría   | Estructuras sedimentarias  | Ambiente                              |
|--|---|---|--|---------------------------------------|
| G<br>(conglomerados)                                     | Ortoconglomerados finos, gris verdoso, polimícticos, matriz arenosa gruesa, clastos redondeados a subangulosos de 3-5 cm y fuera de tamaño de hasta 50 cm | Tabulares, base erosiva, espesor: 90-110 cm   | Estratificación cruzada tabular planar   | Playa y anteplaya superior            |
| Shcs<br>(areniscas con HCS)                              | Areniscas finas-medias, castaño amarillentas  | Tabulares, base erosiva, espesor: 11-110 cm   | HCS ( $\lambda < 2$ m, inclinación de las láminas = $10^\circ$ ), laminación paralela (láminas de 0,3-1 cm), estructuras de escape de agua y ondulitas de oleaje en el techo | Anteplaya inferior-zona de transición |
| Sa<br>(areniscas con HCS formando depósitos amalgamados) | Areniscas finas-medias, castaño amarillentas  | Tabulares, base erosiva, espesor: 5-145 cm. Amalgamación de hasta 9 m                   | HCS (similar a Shcs), laminación horizontal y estructuras de escape de agua  | Anteplaya                             |
| Sm<br>(areniscas macizas)                                | Areniscas finas, castaño amarillentas   | Tabulares, base neta, espesor: 12-70 cm   | Macizas  | Zona de transición                    |
| Fm/FI<br>(pelitas laminadas o macizas)                   | Limolitas y arcilitas gris verdosas oscuras   | Tabulares, espesor: 1-115 cm; escasas lenticulares (<5cm, interestratificadas con Shcs) | Macizas o laminadas  | Zona de transición-costa afuera       |

**Tabla 2.** Depósitos bioclásticos. Empaquetamiento: suelto (S)/denso (D); orientación: concordante (Co)/oblicua (O)/caótica (Ca); estructura interna: simple (S)/compuesta (C); fragmentación: media (M)/alta (A). HCS: estratificación cruzada tipo hummocky / *Shell beds*. *Packing: loose (S)/dense (D); orientation: concordant (Co)/oblique (O)/chaotic (Ca); internal structure: simple (S)/complex (C);*

fragmentation: medium (M)/high (A). HCS: hummocky cross-stratification.

|     | Rasgos sedimentológicos y estratigráficos                                       | Rasgos tafonómicos |             |                    |               | N° de concentraciones |
|-----|---|--------------------|-------------|--------------------|---------------|-----------------------|
|     |   | Empaquetamiento    | Orientación | Estructura interna | Fragmentación |                       |
| DB1 | Lentes amalgamadas de areniscas bioclásticas con HCS                            | S                  | Co          | S                  | A             | 3                     |
| DB2 | Concentraciones bioclásticas tabulares o lenticulares en bancos de Sf-m con HCS | D-S                | Co-O-Ca     | S                  | M             | 40                    |
| DB3 | Concentraciones bioclásticas en la base de Sf-m con HCS (lags)                  | D                  | Co          | S                  | A             | 7                     |
| DB4 | Concentraciones bioclásticas complejas en bancos de Sf-m con HCS                | D                  | Co-Ca       | C                  | A             | 5                     |
| DB5 | Concentraciones bioclásticas en bancos de Sf macizas                            | D                  | Co          | S                  | M             | 2                     |

Los eventos de tormentas en ambiente marino generan concentraciones fosilíferas con rasgos característicos en los depósitos tempestíficos y su ubicación con respecto a la línea de costa, los que influirán en la calidad de preservación, espesor, geometría de las concentraciones y complejidad interna de las acumulaciones esqueletales (Fürsich y Oschmann, 1993, Simões y Torello 2003).

Tomaš ových (2004) considera que los rasgos tafonómicos reconocidos en el análisis de tafofacies de asociaciones fósiles solo indican en forma ambigua las condiciones ambientales, por lo que su potencial de resolución para interpretar el ambiente debe ser verificado independientemente en el análisis tafonómico. Sobre la base de estos aspectos propone estudiar por separado las propiedades de los depósitos y los rasgos tafonómicos de los bioclastos, ya que reflejarían procesos a distinta escala. La variación en la icnofábrica, la geometría y estructura interna de los depósitos bioclástico permitiría realizar la interpretación genética de los depósitos, en tanto que el grado de alteración de las conchillas da información sobre las rutas tafonómicas (*i.e.*, importancia de los procesos destructivos y constructivos) durante la formación de las asociaciones de muerte (Meldahl y Flessa, 1990; Kowalewski *et al.*, 1994).

El propósito de esta contribución es describir e interpretar los depósitos de la Formación Bardas Blancas en los afloramientos localizados en el área del río Potimalal, desde un punto de vista sedimentológico, tafonómico e icnológico, con la intención de formular una interpretación paleoambiental para la misma. Considerando que los rasgos tafonómicos podrían no reflejar correctamente el ambiente depositacional, se analizan e interpretan las propiedades de los depósitos bioclásticos, y en un segundo paso, se evalúan los rasgos tafonómicos de los bioclastos presentes en los depósitos previamente definidos.

## Marco geológico

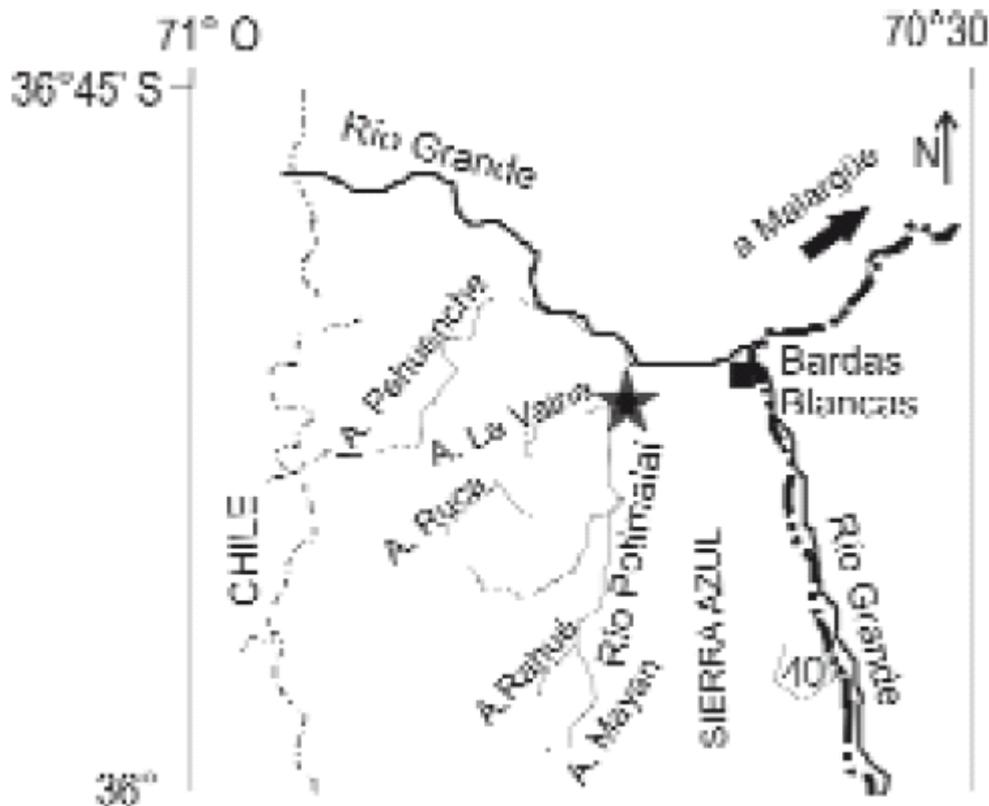
La Formación Bardas Blancas aflora en el sector mendocino de la Cuenca Neuquina y forma parte del Grupo Cuyano o Cuyo (Groeber, 1946) o Ciclo Cuyano (Gulisano, 1981), producto de la primera transgresión marina en la cuenca. Esta transgresión, proveniente del oeste, se inició en el Noriano (Triásico Superior) en el área del río Atuel (Riccardi *et al.*, 1997; Riccardi y Llanos, 1999), y alcanzó su máxima extensión en el Bajociano (Jurásico Medio), momento a partir del cual las facies marinas comenzaron a retroceder, hasta que en el Caloviano medio la cuenca quedó aislada del mar abierto (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1994). Para consultar el contexto estratigráfico secuencial de estos depósitos se puede recurrir a Legarreta y Gulisano (1989).

Los primeros trabajos que hicieron referencia a los depósitos de la Formación Bardas Blancas fueron realizados por Groeber (1918, 1946, 1953), Gerth (1925), Jaworski (1926), Weaver (1931) y Stipanovic (1965, 1969).

Originalmente esta unidad fue reconocida como "Arenisca con *Pseudomonotis*" (Gerth, 1925; Dessanti, 1973 y 1978). Más tarde, recibió la denominación de "Arenisca Bardas Blancas" cuando Gulisano (1981) definió su localidad tipo en las inmediaciones del puente de la Ruta Nacional 40 sobre el río Grande (Malargüe, Mendoza). En ese momento, estos depósitos fueron considerados como facies marginales de la Formación Los Molles. Años más tarde, la Arenisca Bardas Blancas fue recategorizada por Riccardi y Westermann (1984) y Riccardi (1984) como Formación Bardas Blancas, y fue interpretada como un ambiente marino cercano a la costa sometido a la influencia de tormentas (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1994).

En un principio, Groeber (1918) asignó a esta unidad una edad correspondiente al Aaleniano-Bajociano inferior. Estudios posteriores ampliaron el rango al Toarciano superior-Bajociano inferior (Riccardi y Damborenea, 1993a; Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1994) y por último hasta el Toarciano inferior (Sanci, 2005).

El área de estudio se ubica en el sector occidental de la sierra Azul ([figura 1](#)), en el departamento de Malargüe (provincia de Mendoza). En esta zona, la Formación Bardas Blancas aflora a través de varios kilómetros en ambos márgenes del río Potimalal. Esta unidad se encuentra limitada en la base por la discordancia regional Intraliásica (Gulisano *et al.*, 1984), que separa a esta formación de los depósitos de la Formación Remoredo (Retiano-Hettangiano inferior) (Legarreta y Gulisano, 1989). A su vez, se encuentra cubierta por las pelitas de ambientes costa afuera de la Formación Tres Esquinas (Bajociano) (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1994). Estos depósitos fueron asignados al Toarciano inferior-Bajociano inferior (Sanci, 2005).



**Figura 1.** Mapa de ubicación geográfica del afloramiento en el área del río Potimalal. La estrella indica la posición del afloramiento/ map showing the geographic location of the outcrop in rio Potimalal area. The star indicates the position of the outcrop.

La sucesión sedimentaria estudiada se localiza en la margen derecha del río Potimalal, en las inmediaciones de la desembocadura del arroyo La Vaina, donde alcanza los 68 m de espesor y está compuesta por areniscas y pelitas bien estratificadas, formando tres secciones grano y estratodecrecientes.

### Metodología

Las litofacies fueron descritas teniendo en cuenta su composición, geometría, espesor y estructuras sedimentarias. Para la descripción y definición de las concentraciones bioclásticas se tuvieron en cuenta las características tafonómicas de más de 50 concentraciones esqueléticas, con datos tomados en el campo.

En este trabajo se hace referencia a concentraciones (o depósitos) bioclásticas o esqueléticas, llamándose como tal a cualquier acumulación de partes duras biológicas relativamente densa, independientemente de su composición taxonómica, estado de preservación, o grado de modificación *post-mortem* (Kidwell *et al.*, 1986).

Para describir los depósitos bioclásticos se tuvieron en cuenta espesor, geometría, contactos, estructura interna, fábrica (selección, empaquetamiento) y orientación de los bioclastos.

Las concentraciones consideradas presentan una geometría tridimensional, y de acuerdo al criterio de Kidwell *et al.* (1986) las mismas quedan incluidas en una de las dos categorías presentes a través del afloramientos, tratándose de concentraciones lenticulares (*lens*) o tabulares (*beds*). La estructura interna de los depósitos fue considerada como simple o compuesta, de acuerdo a Kidwell *et al.* (1986).

La selección por tamaño se hizo siguiendo el esquema de Kidwell y Holland (1991), que diferencia entre depósitos bien seleccionados (*well sorted*), con selección bimodal (*bimodal*) o con selección pobre (*poorly sorted*).

El empaquetamiento fue considerado denso (*densely packed*), suelto (*loosely packed*) o disperso (*disperse*) de acuerdo al criterio semicuantitativo propuesto por Kidwell y Holland (1991).

Para las observaciones relacionadas con la orientación de los bioclastos se tuvieron en cuenta solo cortes en sección, más frecuentes que las vistas en planta de las concentraciones y que permiten apreciar mejor la biofábrica. De acuerdo a Kidwell *et al.* (1986) la orientación se definió como concordante (*concordant*), perpendicular (*perpendicular*) u oblicua (*oblique*). En los casos en que los bioclastos no presentaron ninguna orientación preferencial, se hizo referencia a ello como una orientación caótica. Cabe destacar que algunos fragmentos resultaron muy pequeños como para determinar el tipo de orientación y no fueron considerados al definir este rasgo. También se usaron los términos apilamiento y anidamiento (*sensu* Kidwell *et al.*, 1986) para indicar el ordenamiento característico de ciertos elementos esqueléticos observado en las concentraciones.

Para la descripción de las características tafonómicas de las conchillas se consideraron atributos propuestos por Fürsich y Oschmann (1993), Kidwell *et al.* (1986) y Kidwell y Holland (1991) tales como grado de articulación, fragmentación, abrasión, mineralogía de las conchillas y presencia de bioerosión. La fragmentación fue determinada como baja (0-30% de valvas fragmentadas), media (30-70%) y alta (70%-100%).

El mal estado de preservación de los restos y la fuerte cementación de las concentraciones fueron un obstáculo para determinar la composición taxonómica de los restos esqueléticos y su estado de preservación. En los casos en los que fue posible determinar el estado de preservación de las conchillas, éste fue definido de acuerdo al grado de abrasión y bioerosión.

Teniendo en cuenta los principales procesos de concentración (olas, corrientes, productividad biológica, sedimentación neta y tiempo) propuestos por Fürsich y Oschmann (1993), se pudieron reconocer concentraciones de tempestitas proximales, tempestitas distales y concentraciones formadas por corrientes. Las concentraciones también fueron clasificadas de acuerdo a la importancia relativa de los procesos (o agentes) de concentración biológicos, físico-sedimentológicos o diagenéticos (Kidwell *et al.*, 1986).

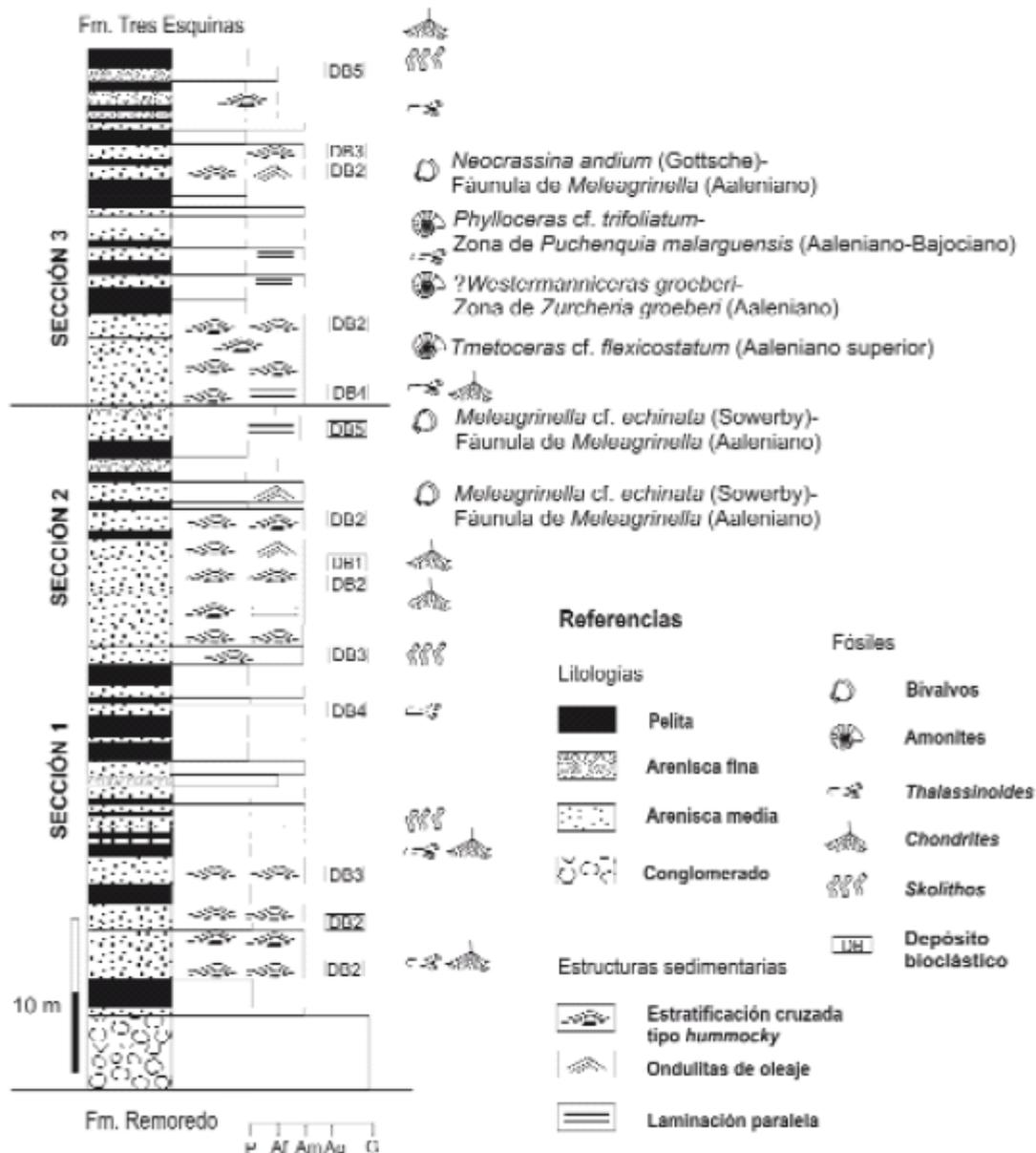
Los rasgos estratigráficos y sedimentológicos de los depósitos (*sensu* Kidwell y Holland, 1991) fueron utilizados como información complementaria para realizar la interpretación de las concentraciones bioclásticas, teniendo en cuenta que estas acumulaciones esqueléticas se formaron en respuesta a procesos de concentración físicos.

El modelo paleoambiental utilizado en la interpretación es el propuesto por Hampson y Storms (2003). En el mismo se diferencian zonas de playa (*foreshore*), anteplaya (*shoreface*), plataforma interna (*inner shelf*) y plataforma media-externa (*mid-outer shelf*) sobre la base de los niveles de alta y baja marea y del nivel de base de olas de buen tiempo y de tormenta.

### **Características sedimentológicas de la Formación Bardas Blancas**

La sucesión sedimentaria (68 m) consiste de areniscas, pelitas y paquetes conglomerádicos subordinados. Las areniscas y pelitas se disponen en tres secciones grano y estratodecrecientes que de base a techo alcanzan 26, 17 y 25 m de espesor

(figura 2). En la tabla 1 se resumen las principales características de las litofacies observadas en la Formación Bardas Blancas.



**Figura 2.** Perfil estratigráfico de la Formación Bardas Blancas en el río Potimalal / *stratigraphical section of the Bardas Blancas Formation at rio Potimalal.*

En la base de la primera sucesión grano y estrato decreciente se encuentran cuatro paquetes amalgamados de conglomerados (litofacies G) que alcanzan 4,3 m de espesor. Por encima de los mismos se presenta una sucesión de areniscas (litofacies Sm y Shcs) interestratificadas con pelitas (litofacies Fm/Fl). Hacia el techo de esta sección basal disminuye la frecuencia y espesor de las capas de areniscas y aumenta la presencia de la litofacies Fm/Fl.

La siguiente sucesión grano y estrato decreciente se inicia con un conjunto fuertemente amalgamado de areniscas con estratificación cruzada tipo *hummocky* que alcanza 9 m de espesor (litofacies Sa). Verticalmente, las areniscas de la litofacies Sa son reemplazadas por areniscas de las litofacies Shcs y Sm. La frecuencia de las capas de pelitas (Fm/Fl) aumenta hacia el techo de la sección, hasta reemplazar completamente a las capas de

areniscas.

El arreglo interno de la tercera sucesión grano y estratodecreciente es similar al de la segunda, pero en este caso, la litofacies Sa alcanza un espesor de 5 metros.

#### *Fauna en la Formación Bardas Blancas*

Las areniscas de las litofacies Shcs, Sa y Sm tienen concentraciones esqueléticas con geometría tabular o lenticular, ricas en conchillas de pelecípodos muy fragmentadas, que una vez analizadas permitieron reconocer 5 tipos de depósitos bioclásticos (DB 1-5). Ocasionalmente se hallaron gastrópodos, cefalópodos (belemnites y amonites) y fragmentos de braquiópodos. Entre los pelecípodos se identificaron ejemplares de *Pholadomya* cf. *abbreviata* Hupé y *Meleagrinnella* cf. *echinata* (Sowerby) en la primera sección, ejemplares de *Meleagrinnella* cf. *echinata* (Sowerby) en la segunda y de *Neocrassina andium* (Gottsche) y *Modiolus*, en la tercera sección.

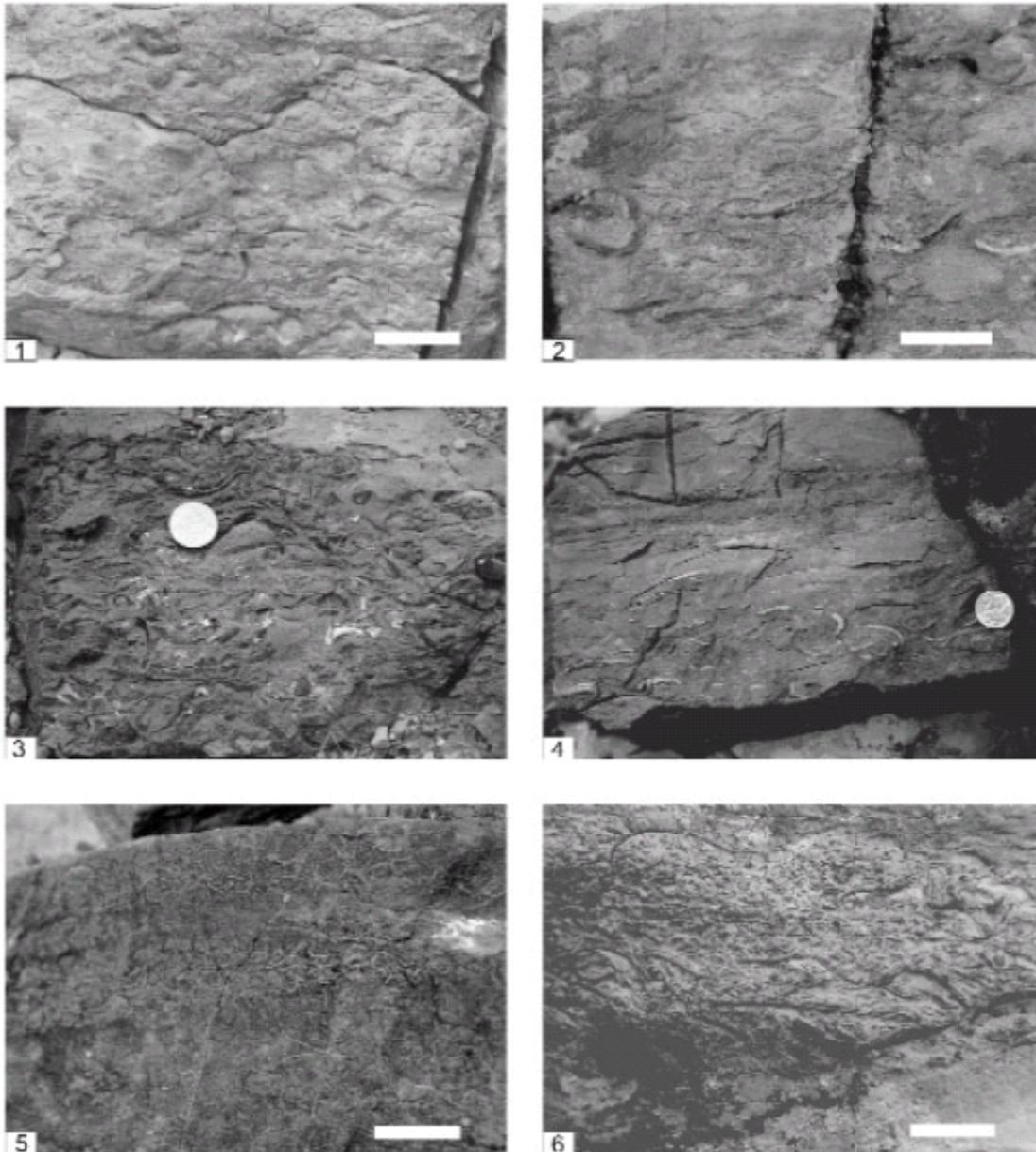
*Meleagrinnella* cf. *echinata* (Sowerby) y *Neocrassina andium* (Gottsche) pertenecen a la Fáunula de *Meleagrinnella*, que indica estratos del Toarciano más alto y del Aaleniano (Riccardi y Damborenea, 1993b; Damborenea, 1994). Entre los amonites se identificó *Tmetoceras* cf. *flexicostatum* Neumayr del Aaleniano superior, en la segunda sección. Esta especie se encuentra principalmente en la Zona de Asociación de *Zurcheria groeberi*, aunque también se la puede encontrar en la Zona Standard de *Puchenquia malarguensis*, ambas propuestas por Westermann y Riccardi (1979). A lo largo de toda la sucesión sedimentaria, estas areniscas (Shcs, Sa y Sm) presentan abundantes trazas fósiles que incluyen *Chondrites*, *Thalassinoides*, *Planolites* y *Palaeophycus*, además de tubos de *Skolithos*.

Las pelitas de la litofacies Fm/Fl, contienen una fauna muy dispersa de pelecípodos que incluye valvas desarticuladas y retrabajadas de *Trigonia* (*Trigonia*) sp. a lo largo de toda la sucesión. En el último tercio de la sucesión se encontraron moldes internos de *Pholadomya laevigata* Hupé en posición de vida y de *Grammatodon* sp., además de ejemplares de fauna pelágica como los amonites de las especies ?*Westermanniceras groeberi* (Westermann y Riccardi), asignada al Aaleniano (Zona de Asociación de *Zurcheria groeberi*) (Westermann y Riccardi, 1979) y *Phylloceras* cf. *trifoliatum* Neumayr, del Aaleniano-Bajociano (Zona Standard de *Puchenquia malarguensis*) (Westermann y Riccardi, 1982). Asimismo, en esta litofacies se observó también la presencia de briznas y de trazas fósiles asignadas a los icnogéneros *Thalassinoides* y *Chondrites*.

#### **Depósitos bioclásticos**

##### *Areniscas bioclásticas con estratificación cruzada tipo hummocky*

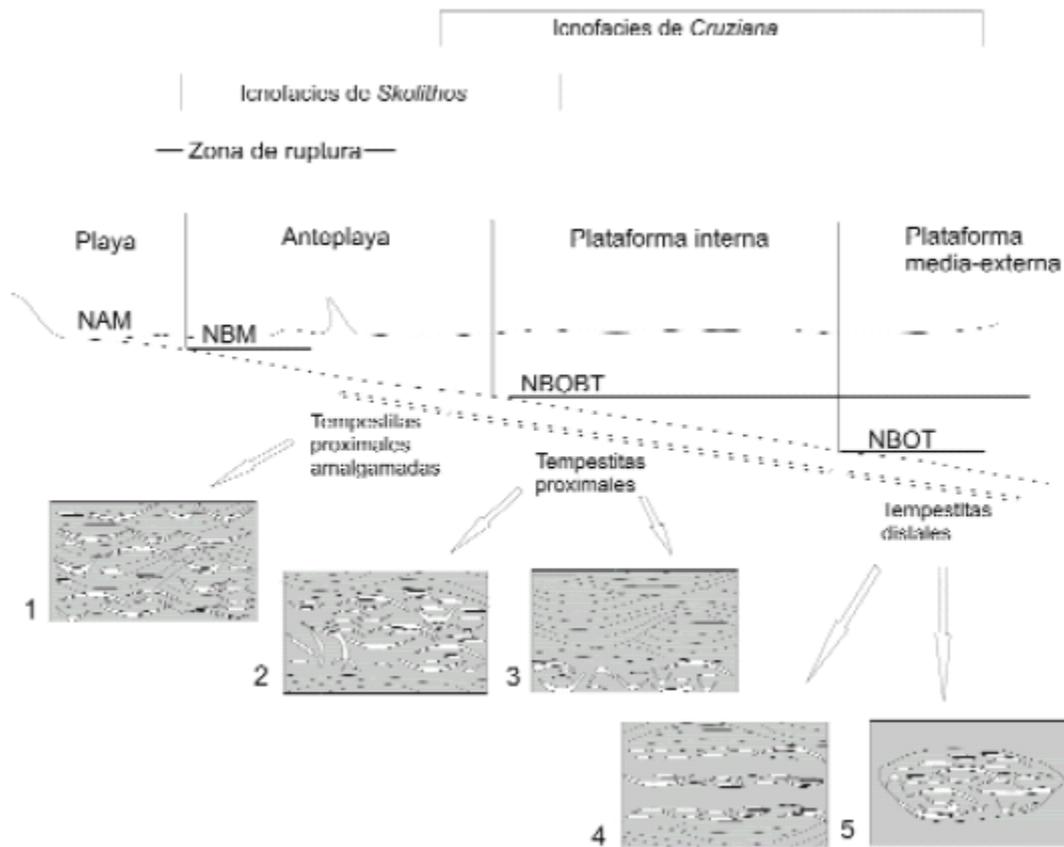
**Descripción de los depósitos.** Corresponde a bancos tabulares con base erosiva que exhiben estratificación cruzada tipo *hummocky* y laminación paralela. El espesor de las capas varía entre 12 y 28 cm, aunque aparecen amalgamadas alcanzando espesores de hasta 60 cm. Los restos esqueléticos se distribuyen en una matriz de arenisca fina-media conformando una arenisca bioclástica ([figura 3.1](#)).



**Figura 3.** Fotos de campo de los depósitos bioclásticos (DB) de la Formación Bardas Blancas. **1,** DB1, areniscas bioclásticas con estratificación cruzada tipo *hummocky*. **2-3,** DB2, concentraciones bioclásticas tabulares o lenticulares en areniscas finas-medias con estratificación cruzada tipo *hummocky*. **4,** DB3, "lags" bioclásticos. **5,** DB4, concentraciones complejas. **6,** DB5, Concentraciones bioclásticas en areniscas finas macizas. Escala gráfica y moneda = 2,5 cm / *field pictures of the bioclastic deposits (BD) of the Bardas Blancas Formation. 1, BD1, hummocky crossstratified shell concentrations. 2-3, BD2, lenticular or tabular shell concentrations in hummocky cross-stratified sandstones. 4, BD3, Shell "lags". 5, BD4, complex shell beds. 6, BD5, shell beds in massive fine-medium grained sandstones. Graphic scale and coin = 2.5 cm.*

Las concentraciones esqueléticas se encuentran formadas principalmente por conchillas de pecelípodos, y ocasionales belemnites (de hasta 7 cm) y gastrópodos (de hasta 8 cm). La selección es pobre, observándose fragmentos de 0,2-5 cm y conchillas enteras de hasta 7 cm. El empaquetamiento es suelto y los bioclastos se encuentran orientados en forma concordante a la estratificación. En algunos sectores dominan las valvas cóncavas hacia arriba, y también hay casos de anidamiento y apilamiento de los bioclastos. Internamente, la estructura es simple, con gradación normal. Como característica adicional se observan intraclastos limosos.

**Interpretación.** La falta de selección por tamaños y la orientación de los bioclastos cóncavos hacia arriba sugieren distancias de transporte cortas (Boyer *et al.*, 2004). El anidamiento y apilamiento que se observa en algunos casos sugieren depositación rápida vinculada a eventos de alta energía. Por su parte, los intraclastos presentes en algunas de estas concentraciones indican el retrabajo de los estratos subyacentes por flujos turbulentos (Kreisa y Bambach, 1982; Norris, 1986; Mandic y Piller, 2001). Las estructuras tipo *hummocky* confirman la interpretación de estos depósitos como depósitos de tormenta, en tanto que la amalgamación indica sucesivos eventos de tormentas, en un ambiente marino somero de alta energía (Dott y Bourgeois, 1982), probablemente en la parte superior de un sector de anteplaya inferior (figura 4). De acuerdo al modelo propuesto por Fürsich y Oschmann (1993) estas concentraciones pueden interpretarse como concentraciones de tempestitas proximales.



**Figura 4.** Perfil esquematizado de la línea de costa mostrando la distribución de los depósitos bioclastos e icnofacies en la Formación Bardas Blancas (modificado de Hampson y Storms, 2003); nivel de alta marea (NAM); nivel de baja marea (NBM); nivel de base de olas de buen tiempo (NBOBT); nivel de base de olas de tormenta (NBOT); 1. Depósito bioclástico tipo 1, 2. Depósito bioclástico tipo 2, 3. Depósito bioclástico tipo 3, 4. Depósito bioclástico tipo 4, y 5. Depósito bioclástico tipo 5 / *schematic shoreline profile showing the bioclastic deposits and ichnofacies distribution in Bardas Blancas Formation (modified from Hampson and Storms, 2003); high tide level (NAM); low tide level (NBM); fair weather wave base (NBOBT); storm wave base (NBOT); 1. Type 1 Bioclast deposits, 2. Type 2 Bioclast deposits, 3. Type 3 Bioclast deposits, 4. Type 4 Bioclast deposits, and 5. Type 5 Bioclast deposits.*

*Concentraciones bioclásticas tabulares o lenticulares en areniscas finas-medias con estratificación cruzada tipo hummocky*

**Descripción.** Corresponde a concentraciones bioclásticas de 4 a 23 cm de potencia. Su geometría es tabular (decenas de metros de extensión lateral) y en algunos casos

lenticular (alcanzando hasta 150 cm de extensión lateral). Este tipo de concentraciones es el más frecuente en estos depósitos de la Formación Bardas Blancas. El contacto basal de estas concentraciones es erosivo y el contacto superior es neto. Se encuentran incluidas en depósitos de areniscas finas-medias con estratificación cruzada tipo *hummocky* (Shcs) que varían entre 20 y 115 cm de espesor ([figura 3.2 y 3.3](#)). Las concentraciones están formadas por pelecípodos, entre los cuales se identificaron *Meleagrinnella* cf. *echinata* (Sowerby), *Neocrassina andium* (Gottsche) y *Megapraeonia benecke* Mörnicke. Raramente se encuentran restos de belemnites. Los bioclastos presentan empaquetamiento denso o suelto. La selección es pobre; en tanto que la orientación de los bioclastos puede ser concordante, oblicua o aleatoria con respecto al plano de estratificación, rasgo que puede variar dentro de una misma concentración. La estructura interna de las concentraciones es simple.

Excepcionalmente se encuentran algunas valvas articuladas.

**Interpretación.** La orientación caótica y la pobre selección de los restos esqueléticos, así como la presencia de conchillas articuladas indican cortos períodos de retrabajo y breves distancias de transporte. La disposición oblicua observada para algunas valvas puede deberse a deformación sindeposicional de las concentraciones.

Se interpreta que estos depósitos fueron generados por flujos de tormentas y depositados en la zona más distal de la anteplaya o en la plataforma interna ([figura 5](#)). La presencia de estratificación cruzada tipo *hummocky* y la potencia de las capas de areniscas sustentan esta interpretación. De acuerdo al modelo propuesto por Fürsich y Oschmann (1993) estas concentraciones son interpretadas como depósitos de tempestitas proximales.



**Figura 5.** Vista general de los afloramientos en el área de estudio y sus secciones / *panoramic view of the outcrops showing study sections.*

*Concentraciones bioclásticas en la base de areniscas finas-medias con estratificación cruzada tipo hummocky ("Lags" bioclásticos)*

**Descripción.** Son concentraciones tabulares, irregulares, de 2 a 9 cm de espesor, presentes en la base de areniscas finas-medias con estratificación cruzada tipo *hummocky* (Shcs) que alcanzan hasta 1 m de espesor. La base de estas concentraciones es erosiva y el contacto superior es neto. Las concentraciones están formadas por restos de pelecípodos, que presentan empaquetamiento denso y se disponen en forma concordante al plano de estratificación. La estructura interna de las concentraciones es simple y la selección es pobre ([figura 3.4](#)).

**Interpretación.** Las distancias de transporte habrían sido cortas teniendo en cuenta la mala selección de los bioclastos. El origen de los *lags* estaría relacionado a la erosión ocasionada por flujos de tormentas que producen la exhumación y concentración de las conchillas, seguidos por la depositación de arenas con estratificación cruzada tipo *hummocky* (Norris, 1986). Estos depósitos fueron interpretados como flujos de relajación de tormentas, producidos por diferencias de presión hidrostática entre la costa y los sectores costa afuera (Walker y Plint, 1992).

La variabilidad entre estas concentraciones de *lag* es muy baja y no permite establecer relaciones de proximidad a la línea de costa, sin embargo, teniendo en cuenta el espesor de las areniscas que suprayacen a las concentraciones, se puede inferir la zona donde se encuentran estos depósitos. Es así como los depósitos más potentes se encontrarían por encima del nivel de base de olas de buen tiempo, en el sector más distal de la anteplaya inferior, mientras que aquellos que miden unos pocos centímetros se encontrarían por debajo de dicho nivel, en la plataforma interna ([figura 4](#)). Estas concentraciones corresponden a depósitos generados por corrientes de acuerdo al modelo de Fürsich y Oschmann (1993).

#### *Concentraciones bioclásticas con estructura interna compleja*

**Descripción.** Consiste de concentraciones bioclásticas internamente complejas, de 10-15 cm de potencia, con geometría tabular (varias decenas de metros de extensión lateral) o con menos frecuencia lenticular (menos de un metro). Estas concentraciones están incluidas en bancos de areniscas finas-medias con estratificación cruzada tipo *hummocky* (Shcs).

Las concentraciones están formadas por restos de pelecípodos, con empaquetamiento denso. Se disponen en forma concordante a la estratificación, aunque lateralmente la biofábrica puede variar presentando un arreglo caótico. Internamente, las conchillas se concentran en niveles centimétricos separados entre sí por niveles de 1 cm de areniscas finas-medias ([figura 3.5](#)). La selección de las concentraciones por lo general es buena, y dominan los restos fragmentados menores a 1 cm, aunque en algunas concentraciones se llegan a observar en forma aisladas valvas de hasta 6 cm. La fragmentación es alta (restos menores a 1 cm).

**Interpretación.** Estos depósitos bioclásticos poseen una compleja historia depositacional indicada por la alternancia de niveles con conchillas y areniscas finas a medias. La buena selección de los mismos sugiere grandes distancias de transporte; aunque el arreglo caótico de la biofábrica probablemente refleja una rápida depositación de los bioclastos.

Estas concentraciones estarían formadas por la superposición de sucesivos eventos de depositación episódica o un evento que ocurrió en varias etapas. La alternancia de capas de conchillas y de areniscas en una misma concentración podría estar reflejando diferencias de competencia en los diferentes pulsos que dieron origen a la concentración. Estos depósitos bioclásticos se hallarían en sectores distales de la plataforma interna o en la plataforma media-externa ([figura 4](#)). De acuerdo al esquema

de Fürsich y Oschmann (1993) estos depósitos son interpretados como concentraciones de tempestitas distales.

#### *Concentraciones bioclásticas en areniscas finas macizas*

**Descripción.** Corresponden a concentraciones lenticulares de 5-8 cm de potencia y de 1-15 m de extensión lateral que se encuentran incluidas en bancos de areniscas finas macizas de hasta 70 cm de espesor.

Estas concentraciones están formadas principalmente por pelecípodos, entre los cuales se reconocieron ejemplares de *Pholadomya* cf. *abbreviata* Hupé, y ocasionales belemnites (de hasta 7 cm) y troncos (de hasta 12 cm de longitud). El empaquetamiento es denso y la disposición de los bioclastos es concordante con respecto al plano de estratificación. La estructura interna de estas concentraciones es simple (figura 3.6), y la selección es pobre.

**Interpretación.** La biofábrica de las concentraciones indica distancias de transporte cortas, considerando la pobre selección de los restos. Teniendo en cuenta las evidencias de transporte, espesor y su relación con las capas de areniscas de la litofacies Sm, estas concentraciones pueden interpretarse como depósitos de flujos de tormentas en la parte inferior de la plataforma interna o en la plataforma media-externa (figura 4). De acuerdo con Fürsich y Oschmann (1993) se interpretarían como depósitos de tempestitas distales.

**Rasgos tafonómicos de los bioclastos.** Las valvas de los distintos tipos de depósitos bioclásticos presentan características tafonómicas similares. Las conchillas de pelecípodos se presentan por lo general desarticuladas, y unas pocas se encuentran articuladas con un relleno de composición similar a la matriz. La fragmentación es media-alta. Se han identificado conchillas que conservan su estructura original, y otras disueltas y recristalizadas. La abrasión y redondez varía de moderada a alta de una concentración a otra o incluso dentro de una misma concentración. Se han observado escasas evidencias de bioerosión.

#### **Trazas fósiles**

En los depósitos de la Formación Bardas Blancas se reconocen elementos de dos icnofacies, *Cruziana* y *Skolithos*. La icnofacies de *Skolithos*, representada por los icnogéneros *Skolithos* y *Ophiomorpha*, se encuentra en las litofacies Shcs y Sa. La diversidad es baja y en la mayor parte de los casos los tubos de *Skolithos* es el único icnogénero presente. Esta icnofacies, caracterizada por tubos verticales y ligeramente inclinados de organismos suspensívoros o predadores pasivos, se encuentra asociada a ambientes con sedimentos arenosos limpios o ligeramente fangosos, de energía moderada a alta, donde pueden ocurrir sucesos de erosión o depositación abruptos, típicamente en la playa o en la anteplaya (Pemberton, *et al.*, 1992a; Buatois *et al.*, 2002). Durante eventos de tormenta, esta icnofacies también puede encontrarse en sectores más distales (Buatois *et al.*, 2002).

La icnofacies de *Cruziana* está representada por los icnogéneros *Thalassinoides* y *Chondrites* en la litofacies Fm/Fl y *Thalassinoides*, *Chondrites*, *Palaeo-phycus* y *Planolites* en las litofacies Shcs, Sa y Sm. En general, esta icnofacies presenta numerosas estructuras (horizontales, verticales e inclinadas) correspondientes a una variada gama de categorías etológicas y caracterizaría una zona entre la anteplaya inferior y sectores costa afuera, con sustratos limosos y arenosos bien seleccionados, con energía moderada a relativamente baja y

tasa de sedimentación baja a moderada (Pemberton *et al.*, 1992a; Buatois *et al.* 2002). En la Formación Bardas Blancas esta icnofacies presenta muy baja diversidad. La asociación de elementos de la icnofacies de *Cruziana* con elementos de la icnofacies de *Skolithos* en la Formación Bardas Blancas es similar a la observada en la Formación Cardium (Turoniano, Canadá), donde la alternancia de areniscas y limolitas es causada por fluctuaciones en la energía hidrodinámica (Pemberton *et al.*, 1992b). La alternancia de estas dos icnocenosis en la Formación Cardium refleja la presencia de fauna que coloniza dos hábitats diferentes. Los elementos de la icnofacies de *Cruziana* caracterizan una comunidad bentónica estable, propia de ambientes con sedimentación de fondo de buen tiempo. Por su parte, los elementos de la icnofacies de *Skolithos* representan organismos oportunistas de ambientes físicamente controlados que colonizan los sedimentos una vez que el evento de tormenta finaliza. Este patrón en la distribución de las dos icnocenosis fue observado numerosas veces a través del registro geológico (Pemberton *et al.*, 1992b; Pemberton y MacEachern, 1997). En el caso de la Formación Bardas Blancas se observó que para un mismo banco de areniscas de la litofacies Shcs, aparecen icnogéneros de las dos icnofacies, como es el caso de *Skolithos* y *Planolites* y/o *Palaeophycus*, señalando sucesivas etapas de colonización. Cabe aclarar que las trazas de las dos icnofacies no se cortan. En la litofacies Shcs se observaron estructuras combinadas (*sensu* Pickerill y Narbonne, 1995) como es el caso de tubos de *Chondrites* (1-2 mm de sección), en el relleno de tubos de *Thalassinoides* de hasta 2 cm de diámetro. Esto pone en evidencia dos etapas de colonización sucesivas. *Thalassinoides* es un icnogénero que consiste de estructuras de habitación (categoría etológica Domichnia de Seilacher, 1953) de organismos suspensívoros y por lo general caracteriza condiciones de buena oxigenación, aunque en ambientes modernos se observó la presencia de *Thalassinoides* en facies con pobre oxigenación (Myrow, 1995). Por su parte, las excavaciones del icnogénero *Chondrites* corresponden a estructuras de alimentación de organismos depositívoros (categoría etológica Fodinichnia de Seilacher, 1953) realizadas por animales capaces de penetrar sedimentos ricos en materia orgánica alcanzando profundidades relativamente grandes por debajo de la interfase sedimento-agua (McBride y Picard, 1991). Estas estructuras mantienen una conexión permanente con el fondo del mar, de modo que los organismos que las construyen pueden colonizar ambientes con aguas intersticiales anaeróbicas y aguas de fondo disaeróbicas o anaeróbicas (Ekdale y Mason, 1988). Podría aceptarse que la presencia *Chondrites* en ambientes previamente ocupados por organismos constructores de *Thalassinoides* estaría indicando una disminución en las condiciones de oxigenación del ambiente.

## **Discusión**

### *Concentraciones bioclásticas*

Las acumulaciones bioclásticas de la Formación Bardas Blancas presentan rasgos típicos de las concentraciones originadas por tormentas, es decir, la presencia de una base erosiva reflejando un aumento de energía durante el evento depositacional (Kreisa y Bambach, 1982; Kidwell, 1985; Fürsich y Oschmann, 1986), y la presencia de gradación normal o arreglos donde se observa la alternancia de niveles de conchillas y partículas del tamaño arena/limo de forma similar a las descritas por Fürsich y Oschmann (1986). A su vez, la estratificación cruzada tipo *hummocky* que caracteriza a los depósitos bioclásticos tipo 1 y que se encuentra asociada a los depósitos bioclásticos

tipo 2, 3 y 4, también permite interpretar a estas concentraciones como depósitos de tormenta.

Norris (1986) señala que los eventos de tormenta suelen ser no destructivos, y es conveniente tener en cuenta el área fuente de los bioclastos para interpretar el grado de fragmentación de los mismos. La alta proporción de conchillas desarticuladas y fragmentadas refleja el intenso retrabajo de los bioclastos en un ambiente turbulento de aguas someras y con tasas de soterramiento bajas por encima del nivel de olas de buen tiempo, como es la zona de rompiente (Driscoll, 1967; Brett y Baird, 1986, Speyer y Brett, 1988; Simões y Torello, 2003; Boyer *et al.*, 2004). En pocos casos se hallaron conchillas articuladas, que sugieren distancias de transporte breves (Brett y Baird, 1986; Boyer *et al.*, 2004).

Considerando las altas tasas de destrucción de conchillas documentadas en ambientes modernos, las asociaciones de muerte de ambientes plataforma presentan individuos de distintas edades y fueron formadas a lo largo de miles o decenas de miles de años (Kidwell, 1998). Los rasgos observados en las concentraciones indican que éstas se formaron a partir de restos esqueléticos provenientes principalmente de zonas de alta energía y en menor proporción por aquellos que caracterizan ambientes más tranquilos, los que fueron transportados por flujos turbulentos y redepositados. Este último es el caso de valvas con signos de bioerosión, rasgo que indica largos períodos de permanencia en la interfase sedimento-agua en ambientes de baja energía y/o baja tasa de sedimentación. Teniendo en cuenta la alta trituración de las conchillas y la presencia de restos esqueléticos con grados diferentes de abrasión y fragmentación se podría aceptar que estos depósitos son el producto de múltiples episodios de retrabajo de tormentas (Jennette y Pryor, 1993). El retrabajo pudo haber influido en la ausencia de bioturbación en las concentraciones bioclásticas (Norris, 1986).

El empaquetamiento denso observado en algunos depósitos refleja la acumulación de partes duras, durante largos períodos de tiempo, previa a la tormenta (Davies *et al.*, 1989), lo cual pudo haber sido acelerado por procesos hidráulicos o biogénicos que eliminaron la matriz, por una tasa de sedimentación baja o un evento que haya aportado gran cantidad de bioclastos (*e.g.*, mortalidad en masa o concentración de material exótico por procesos biogénicos o hidráulicos) (Kidwell y Holland, 1991). El empaquetamiento suelto o disperso observado en algunos depósitos bioclásticos podría deberse a menores tasas de acumulación de partes duras o a eventos de tormenta de menor intensidad.

Las conchillas pueden presentarse con su composición original (calcita), o con más frecuencia disueltas o recristalizadas, sugiriendo una composición aragonítica (metaestable) para esos bioclastos (Land, 1967).

Las concentraciones bioclásticas descritas en este trabajo son interpretadas como de tipo sedimento-lógico (*sensu* Kidwell *et al.*, 1986). Las mismas dominan por encima del nivel de base de olas de tormentas (Kidwell *et al.*, 1986), y de acuerdo a su proveniencia pueden considerarse como concentraciones parautóctonas o alóctonas (*sensu* Kidwell *et al.*, 1986). Si bien para Kreisa (1981) es común el transporte de asociaciones entre la anteplaya, la playa y zonas intermareales, Westrop (1986) menciona que los depósitos de tormenta no suelen estar formados por sedimentos que fueron transportados grandes distancias, sino que probablemente los macrofósiles son lavados de estratos subyacentes y depositados en áreas cercanas. La pobre selección observada en la mayoría de los depósitos bioclásticos (DB tipo 1, 2, 3 y 5) podría estar indicando que los restos fueron transportados cortas distancias, sin embargo, en algunas concentraciones hay rasgos que permiten suponer la mezcla de conchillas de distintos ambientes, como se mencionó para los depósitos bioclásticos tipo 1 o mayores distancias de transporte, como lo indica

la buena selección de las conchillas en los depósitos tipo 4.

En la [figura 4](#) se presenta la distribución de los depósitos bioclásticos de acuerdo a su proximidad a la costa. Esta distribución fue determinada en base a rasgos depositacionales (Fürsich y Oschmann, 1993) y sedimentológicos de los depósitos (Aigner, 1982; Dott y Bourgeois, 1982; Fürsich y Oschmann, 1986; Norris, 1986; Cheel y Leckie, 1993). Los depósitos bioclásticos tipo 1, teniendo en cuenta la amalgamación de las concentraciones bioclásticas, fueron considerados los más someros e interpretados como depósitos de tempestitas proximales presentes en la zona superior de un sector de anteplaya inferior. Por su parte, los depósitos bioclásticos tipo 2 también corresponden a depósitos de tempestitas proximales. Teniendo en cuenta la ausencia de amalgamación, fueron asignados a la zona más distal de la anteplaya o a la plataforma interna. Los depósitos bioclásticos tipo 3 fueron asignados a sectores de la anteplaya inferior y plataforma interna por sus características sedimentológicas. Por su parte, los depósitos tipo 4 y 5, interpretados como depósitos de tempestitas distales, pueden ser reconocidos en la parte inferior de la plataforma interna o en la parte superior de la plataforma media-externa.

### **Ambiente depositacional de la Formación Bardas Blancas**

Los depósitos de la Formación Bardas Blancas fueron interpretados por Gulisano y Gutiérrez Pleimling (1994) como un ambiente costero sometido a la influencia de tormentas. Efectivamente, los rasgos sedimentológicos observados en las litofacies Shcs y Sa y las características de la fauna presente permiten interpretar a este ambiente como una plataforma marina siliciclástica dominada por tormentas.

En la zona del río Potimalal, la sucesión de la Formación Bardas Blancas está formada por tres secciones grano y estratodecrecientes cuyas características litológicas y sedimentológicas permiten reconocerlas como sucesiones de profundización.

La sección basal se inicia con depósitos conglomerádicos amalgamados, con estratificación cruzada tabular planar y clastos imbricados que sugieren corrientes altamente competentes. De acuerdo a Cheel y Leckie (1992) depósitos gravosos marinos con estas características suelen producirse en un ambiente de playa y anteplaya superior durante tormentas. Por encima de estos conglomerados, se hallan las areniscas de la litofacies Shcs, donde se localizan los depósitos bioclásticos tipo 1-4, y que fueron interpretadas como depósitos de anteplaya inferior-plataforma interna (Hampson y Storms, 2003). A estas areniscas le siguen las litofacies Fm/Fl y Sm que sugieren una disminución en la energía del ambiente (Dott y Bourgeois, 1982).

La litofacies de Sm/SI puede ser interpretada como la sedimentación durante períodos de buen tiempo de arenas que estaban en suspensión. Esta litofacies es asignada a los sectores más profundos de la plataforma interna y a la parte superior de la plataforma media-externa (Hampson y Storms, 2003). En estas areniscas se encuentran las concentraciones de los depósitos bioclásticos tipo 5.

La litofacies Fm/Fl se presenta en el techo de cada sección, en algunos casos interestratificadas con areniscas macizas (Sm), y se interpreta como depositadas a partir de material que se encontraba en suspensión (Reineck y Singh, 1975; Kreisa y Bambach, 1982; Hurst y Pickerill, 1986).

Las pelitas estériles y/o con escasas trazas fósiles del icnogénero *Chondrites*, reflejan ambientes anóxicos o con niveles muy bajos de oxígeno (Hurst y Pickerill, 1986; Buatois *et al.*, 2002), y corresponderían a ambientes de plataforma interna-externa.

Por otra parte, aquellas pelitas con conchillas desarticuladas y retrabajadas de *Trigonia* (*Trigonia*) sp. y moldes internos de *Pholadomya laevigata* Hupé en

posición de vida, corresponderían a depósitos de la fase menguante de tormentas asociados al tope de las areniscas de la litofacies Shcs (anteplaya inferior y plataforma interna) o a depósitos de buen tiempo en zonas con mejor oxigenación (plataforma interna-externa).

El subgénero *Trigonia* (*Trigonia*) está representado por pelecípodos infaunales someros (Delvene, 2003), generalmente asociados a ambientes arenosos relativamente inestables (Stanley, 1977). Por su parte, *Pholadomya laevigata* Hupé es una especie con hábito infaunal (Campbell y Grant-Mackie, 1995) y en esta litofacies fue hallada en posición de vida. La presencia de valvas dispersas de *T.* (*Trigonia*) junto a estos restos de *P. laevigata*, estaría indicando la acción de corrientes superficiales de fondo que transportaron las valvas de *Trigonia* desde sustratos arenosos hasta los pelíticos.

Las secciones 2 y 3 se inician con areniscas con estratificación cruzada tipo *hummocky* que se presentan amalgamadas (litofacies Sa) indicando un ambiente de anteplaya inferior (Hampson y Storms, 2003). La fuerte amalgamación y la ausencia de bioturbación son evidencias del repetido retrabajo por acción de olas de tormenta y corrientes (Norris, 1986; De Celles y Cavazza, 1992). La ausencia de intercalaciones pelíticas (Fm/FI) indica que las condiciones de energía elevada habrían impedido la depositación de material fino (Prave *et al.*, 1996). Hacia el techo, ambas secciones se continúan con las areniscas de las litofacies Shcs y Sm/SI y con las pelitas de las litofacies Fm/FI, mostrando una distribución de facies similar al de la sección 1.

#### *Ciclicidad de los depósitos de la Formación Bardas Blancas*

El arreglo interno de los depósitos de la Formación Bardas Blancas pone en evidencia un patrón de sedimentación repetitivo, donde se reconoce la presencia de tres ciclos grano y estratodecrecientes. Cada uno de estos ciclos muestra un cambio gradual hacia el techo desde litofacies de conglomerados y areniscas que caracterizan ambientes someros de alta energía (litofacies G, Sa, Shcs) hasta litofacies pelíticas (litofacies Fm/FI) de ambientes de plataforma.

La distribución de las litofacies permite interpretar a cada ciclo como una sucesión de profundización ([figuras 4 y 5](#)), formada por facies de ambientes marinos de anteplaya hasta depósitos de plataforma media-externa.

Si bien la distribución de las litofacies permite reconocer claramente los tres ciclos, la distribución de los depósitos bioclásticos no es tan clara para este fin. Menos de un 15% de las concentraciones totales analizadas fueron asignadas los depósitos bioclásticos tipo 4 y 5 (depósitos de tempestitas distales) y su distribución es aparentemente aleatoria dentro de cada uno de los tres ciclos. A su vez, los depósitos bioclásticos tipo 1-2, interpretados como tempestitas proximales (más del 75% de las concentraciones), se distribuyen a lo largo de todo el perfil, de base a techo, en forma más o menos uniforme. Esta distribución de los depósitos bioclásticos estaría reflejando ciclos de menor orden, permitiendo reconocer como mínimo cuatro ciclos en el tercio inferior de la sucesión, al menos tres en la segunda sección y otros tres en la tercera. Estos ciclos están pobremente definidos cuando se observa la distribución de las litofacies, y son puestos en evidencia a través de la distribución de las concentraciones bioclásticas.

Las diferencias en el espesor de ciclos sucesivos podría deberse a la interrelación entre los cambios eustáticos del nivel del mar, la tectónica regional y el aporte de sedimento controlado por el clima (Emery y Myers, 1996). Teniendo en cuenta que la sedimentación en la Cuenca Neuquina durante el Jurásico Temprano y parte del Jurásico Medio estuvo controlada por la tectónica y por cambios eustáticos (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1994; Leanza *et al.*, 2000), probablemente sean estos factores los

determinantes de las diferencias en el espesor de los ciclos en los depósitos de la Formación Bardas Blancas.

## Conclusiones

Los depósitos de la Formación Bardas Blancas, están caracterizados por la alternancia de depósitos de evento (tormentas) con depósitos de buen tiempo o fase menguante de tormentas.

El análisis de los depósitos bioclásticos permitió definir 5 tipos de depósitos, que fueron interpretados como depósitos de tempestitas proximales (DB1 y 2), depósitos de tempestitas distales (DB4 y 5) y depósitos generados por corrientes (DB3).

Teniendo en cuenta la distribución de las litofacies, se reconocieron tres ciclos grano y estratodecrecientes, cada uno de los cuales se inicia con facies de ambientes de anteplaya, caracterizados por depósitos de las litofacies G, Sa y Shcs, y finaliza con depósitos de plataforma media-externa, caracterizados por las litofacies Sm y Fm/Fl. La distribución de los depósitos bioclásticos pone en evidencia ciclos de menor orden dentro de cada sección.

## Agradecimientos

A A. Riccardi y a S. Damborenea, de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad de La Plata, quienes determinaron las muestras de amonites y pelecípodos, respectivamente. A D. Kietzmann por su colaboración en el campo. A la Secretaría de Investigación de la Universidad de Buenos Aires (proyecto UBACyT X-133) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PIP 02139), por el apoyo financiero.

## Bibliografía

1. Aigner, T. 1982. Calcareous tempestites: Storm-dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones (Middle Trias, SW-Germany). En: G. Einsele y A. Seilacher (eds.), *Cyclic and Event Stratification*: 180-198. [ [Links](#) ]
2. Best, M.M.R. y Kidwell, S.M., 2000. Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic-carbonate settings: I. Environmental variation in shell condition. *Paleobiology* 26: 80-102. [ [Links](#) ]
3. Boyer, D.L., Bottjer, D.J. y Droser, M.L., 2004. Ecological signature of Lower Triassic shell beds of the western United States. *Palaios* 19: 372-380. [ [Links](#) ]
4. Bressan, G.S, González Pelegri, E., Crousse, L. y Palma, R.M., 2005. Tafofacies de la Formación Bardas Blancas (Jurásico Medio)-Sierra Azul-Mendoza. *16º Congreso Geológico Argentino* (La Plata), *Actas* 3: 161-166. [ [Links](#) ]
5. Bressan, G.S. y Palma, R.M., 2006. Tafofacies de los depósitos de tormenta de la Formación Bardas Blancas, Provincia de Mendoza. *9º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía* (Córdoba), *Resúmenes*: 242. [ [Links](#) ]
6. Brett, C.E. y Baird, G.C. 1986. Comparative Taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios* 1: 207-227. [ [Links](#) ]
7. Buatois, L.A, Mángano, M.G y Aceñolaza, F.G. 2002. Trazas Fósiles, señales del comportamiento en el registro estratigráfico. *Museo Paleontológico Egidio Feruglio, Edición Especial N° 2*, 382 pp. [ [Links](#) ]

8. Campbell, H.J. y Grant-Mackie, J.A. 1995. Jurassic Pholadomyidae (Bivalvia) from New Zealand and New Caledonia. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 38: 47-59. [ [Links](#) ]
9. Cheel, R.J. y Leckie, D.A. 1992. Coarse-grained storm beds of the Upper Cretaceous Chungo Member (Wapiabi Formation), Southern Alberta, Canadá. *Journal of Sedimentary Petrology* 62: 933-945. [ [Links](#) ]
10. Cheel, R.J. y Leckie, D.A. 1993. *Hummocky* cross-stratification. En: V. P. Wright (ed.), *Sedimentology Review 1*, Blackwell Scientific Publications: 103-122. [ [Links](#) ]
11. Damborenea, S.E. 1994. Circum-Pacific correlation of Argentine Early and Middle Jurassic bivalve zones. *Geobios* 17: 141-147. [ [Links](#) ]
12. Davies, J.D, Powell, E.N. y Stanton, R.J.Jr. 1989. Relative rates of shell dissolution and net sediment accumulation - a commentary: can shell beds form by the gradual accumulation of biogenic debris on the sea floor? *Lethaia* 22: 207-212. [ [Links](#) ]
13. DeCelles, P.G. y Cavazza, W. 1992. Constraints on the formation of Pliocene *hummocky* cross-stratification in Calabria (southern Italy) from consideration of hydraulic and dispersive equivalence, grain-flow theory, and suspended-load fallout rate. *Journal of Sedimentary Petrology* 62: 555-568. [ [Links](#) ]
14. Delvene, G. 2003. Middle and Upper Jurassic bivalve associations from the Iberian Range (Spain). *Geobios* 36: 519-531. [ [Links](#) ]
15. Dessanti, R.N. 1973. Descripción Geológica de la Hoja 29b, Bardas Blancas, provincia de Mendoza. *Boletín del Servicio Nacional Minero Geológico* (Argentina), 139, Buenos Aires, 70 pp. [ [Links](#) ]
16. Dessanti, R.N. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 28b, Malargüe, provincia de Mendoza. *Boletín del Servicio Geológico Nacional* (Argentina), 149, Buenos Aires, 50 pp. [ [Links](#) ]
17. Dott, R.H. Jr. y Bourgeois, J. 1982. *Hummocky* stratification: significance of its variable bedding sequences. *Geological Society of America Bulletin* 93: 663-680. [ [Links](#) ]
18. Driscoll, E.G. 1967. An experimental field study of shell abrasion. *Journal of Sedimentary Petrology* 57: 1117-1123. [ [Links](#) ]
19. Ekdale, A.A. y Mason, T.R. 1988. Characteristic trace-fossil associations in oxygen-poor sedimentary environments. *Geology* 16: 720-723. [ [Links](#) ]
20. Emery, D. y Myers, K. 1996. *Sequence Stratigraphy*. Blackwell Science, London, 297 pp. [ [Links](#) ]
21. Fürsich, F.T. y Oschmann, W. 1986. Storm shell beds of *Nanogyra virgula* in the upper Jurassic of France. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 172: 141-161. [ [Links](#) ]
22. Fürsich, F.T. y Oschmann, W. 1993. Shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of Geological Society* 150: 169-185. [ [Links](#) ]
23. Gerth, E. 1925. Estratigrafía y distribución de los sedimentos mesozoicos de los Andes Argentinos. *Academia Nacional de Ciencias* (Córdoba), *Actas* 9: 11-55. [ [Links](#) ]
24. Groeber, P. 1918. Estratigrafía del Dogger en la República Argentina. *Boletín de la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Serie B (Geología)*, 18. Buenos Aires, 81pp. [ [Links](#) ]

25. Groeber, P. 1946; Observaciones geológicas a lo largo del Meridiano 70°, 1. Hoja Chos Malal. *Sociedad Geológica Argentina* 1: 177-208. [ [Links](#) ]
26. Groeber, P. 1953. Geografía de la República Argentina II, 1° parte. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos-GAEA, 541 pp. [ [Links](#) ]
27. Gulisano, C.A. 1981. Ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y Sur de Mendoza. *8° Congreso Geológico Argentino* (San Luis), *Actas* 3: 579-592. [ [Links](#) ]
28. Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R., y Digregorio, R.E. 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la Provincia de Neuquén. *9° Congreso Geológico Argentino* (S.C. Bariloche), *Actas* 1: 236-259. [ [Links](#) ]
29. Gulisano, C.A. y Gutiérrez Pleimling, A.R. 1994. Field Trips Guidebook B, Neuquen Basin, Mendoza Province. *4° International Congress on Jurassic Stratigraphy and Geology* (Argentina), 113 pp. [ [Links](#) ]
30. Hampson, G.J. y Storms, J.E.A., 2003. Geomorphological and sequence stratigraphic variability in wave-dominated, shoreface-shelf parasequences. *Sedimentology* 50: 667-701 [ [Links](#) ]
31. Hurst, J.M. y Pickerill, R.K. 1986. The relationship between sedimentary facies and faunal associations in the Llandoverly siliciclastic Ross Brook Formation, Arisaig, Nova Scotia. *Canadian Journal of Earth Sciences* 23: 705-726. [ [Links](#) ]
32. Jaworski, E. 1926. La fauna de Lias Dogger de la Cordillera Argentina en la parte meridional de la Provincia de Mendoza. *Academia Nacional de Ciencias* (Córdoba) *Acta* t9: 139-317. [ [Links](#) ]
33. Jennette, D.C. y Pryor, W.A. 1993. Cyclic alternation of proximal and distal storm facies: Kope and Fairview Formations (Upper Ordovician), Ohio and Kentucky. *Journal of Sedimentary Petrology* 63: 183-203. [ [Links](#) ]
34. Junken, E.A., 2002. [*Sedimentación dominada por tormentas en el Bajociano (Jurásico medio): Formación Bardas Blancas, Cuenca Neuquina, Mendoza*. Trabajo final de licenciatura. Universidad de Buenos aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 92 pp. Inédito.]. [ [Links](#) ]
35. Kidwell, S.M, 1985. Palaeobiological and sedimentological implications of fossil concentrations. *Nature* 318: 457-459. [ [Links](#) ]
36. Kidwell, S.M., 1998. Time-averaging in the marine fossil record: overview of strategies and uncertainties. *Geobios* 39: 977-995. [ [Links](#) ]
37. Kidwell, S.M., Fürsich, F.T. y Aigner T. 1986. Conceptual frame-work for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios* 1: 228-238. [ [Links](#) ]
38. Kidwell, S.M. y Holland, S.M. 1991. Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaios* 6: 426-434. [ [Links](#) ]
39. Kreisa, R.D. 1981. Storm-generated sedimentary structures in subtidal marine facies with examples from the Middle and Upper Ordovician of Southwestern Virginia. *Journal of Sedimentary Petrology* 51: 823-848. [ [Links](#) ]
40. Kreisa, R.D. y Bambach, R.K. 1982. The role of storm processes in generating shell beds in Paleozoic shelf environments. En: G. Einsele y A. Seilacher (eds.), *Cyclic and Event Stratification*: 200-207. [ [Links](#) ]

41. Kowalewski, M., Flessa, K.W., y Aggen, J.A., 1994. Taphofacies analysis of Recent shelly cheniers (beach ridges), Northeastern Baja California, Mexico, *Facies* 31: p. 209-242. [ [Links](#) ]
42. Land, L.S., 1967. Diagenesis of skeletal carbonates. *Journal of Sedimentary Petrology* 37: 914-9230 [ [Links](#) ]
43. Lanés, S. 1998. Tafofacies de una plataforma dominada por tormentas, Formación Puesto Araya - Mendoza. *7º Reunión Argentina de Sedimentología* (Salta,), *Resúmenes*: 155-157. [ [Links](#) ]
44. Leanza, H.A., Rosenfeld, U., Volkheimer, W. y Zeiss, A. 2000. Facies evolution of the Mesozoic Neuquén Basin (Argentina) in space and time. *Zeitschrift für Angewandte Geologie. Sonderheft SH1, Hannover 2000, Geoscientific Cooperation with Latin America. 31º International Geological Congress* (Río de Janeiro): 95-102. [ [Links](#) ]
45. Legarreta, L. y Gulisano C.A. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior). En: G.A. Chebli y L.A. Spaletti (eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie de correlación geológica N° 6*: 221-243. [ [Links](#) ]
46. Mandic, O. y Piller, W.E. 2001. Pectinid coquinas and their palaeoenvironmental implications-examples from the early Miocene of northeastern Egypt. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 172: 171-191. [ [Links](#) ]
47. McBride, E.F. y Picard, M.D. 1991. Facies implications of *Trichichnus* and *Chondrites* in turbidites and hemipelagites, Marnoso-arenacea Formation (Miocene), Northern Apennines, Italy. *Palaios* 6: 281-290. [ [Links](#) ]
48. Meldahl, K.M. y Flessa, K.W., 1990. Taphonomic pathways and comparative biofacies and taphofacies in a recent intertidal/shallow shelf environment. *Lethaia* 23: 43-60 [ [Links](#) ]
49. Myrow, P.M. 1995. *Thalassinoides* and the enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. *Palaios* 10: 58-74. [ [Links](#) ]
50. Norris, R.D. 1986. Taphonomic gradients in shelf fossils assemblages: Pliocene Purisima Formation, California. *Palaios* 1: 256-270. [ [Links](#) ]
51. Pemberton, S.G., Frey, R.W., Ranger, M.J. y MacEachern, J., 1992a. The conceptual framework of ichnology. En: S.G. Pemberton (ed.), *Applications of ichnology to petroleum exploration- A core workshop. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshop* 17: 1-30. [ [Links](#) ]
52. Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. y Ranger, M.J. 1992b. Ichnology and event stratigraphy: the use of trace fossils in recognizing tempestites. En: S.G. Pemberton (ed.), *Applications of ichnology to petroleum exploration- A core workshop. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshop* 17: 85-117. [ [Links](#) ]
53. Pemberton, S.G. y MacEachern, J.A. 1997. The ichnological signature of storm deposits: the use of trace fossils in event stratigraphy. En: C.E. Brett y G.C. Baird (eds.), *Paleontological Events. Stratigraphic, ecological and evolutionary implications*. Columbia University Press, New York: 73-109. [ [Links](#) ]
54. Pickerill, R.K. y Narbonne, G.M. 1995. Composite and compound ichnotaxa: a case example from the Ordovician of Québec, eastern Canada. *Ichnos* 4: 53-69 [ [Links](#) ]
55. Prave, A.R., Duke, W.L. y Slattery, W. 1996. A depositional model for storm- and tide-influenced prograding siliciclastic shorelines from the Middle Devonian of the central Appalachian foreland basin, USA. *Sedimentology* 43: 611-629. [ [Links](#) ]

56. Reineck, H.E. y Singh, I.B. 1975. *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York, 439 pp. [ [Links](#) ]
57. Riccardi, A.C. 1984. Las asociaciones de amonitas del Jurásico y Cretácico de la Argentina. 9° *Congreso Geológico Argentino* (S.C. de Bariloche), *Actas* 4: 559-595. [ [Links](#) ]
58. Riccardi, A.C., Damborenea, S.E. 1993a. Léxico estratigráfico de la Argentina. Volumen IX- Jurásico. *Asociación Geológica Argentina, Serie B (Didáctica y Complementaria)* 21: 470 pp. [ [Links](#) ]
59. Riccardi, A.C., Damborenea, S.E. 1993b. Invertebrados Mesozoicos. 12° *Congreso Geológico Argentino* y 2° *Congreso de Exploración de Hidrocarburos* (Mendoza, 1993), *Relatorio*: 329-340. [ [Links](#) ]
60. Riccardi, A.C., Damborenea, S.E., Manceñido, M.O., Scasso, R., Lanés, S. e Iglesia Llanos, M.P. 1997. Primer registro de Triásico marino fosilífero de la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52: 228-234. [ [Links](#) ]
61. Riccardi, A.C. e Iglesia Llanos, M.P. 1999. Primer hallazgo de amonites en el Triásico de la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 298-300. [ [Links](#) ]
62. Riccardi, A.C. y Westermann, G.E.G. 1984. Amonitas y estratigrafía del Aaleniano-Bayociano de la Argentina. Con un apéndice micropaleontológico. 9° *Congreso Geológico Argentino* (S.C. de Bariloche), *Actas* 4: 362-393. [ [Links](#) ]
63. Sancí, R. 2005. [Evolución ambiental y bioestratigráfica de las Formaciones Bardas Blancas y Tres Esquinas (Grupo Cuyo), Cuenca Neuquina, Mendoza. Trabajo final de licenciatura. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 114pp. Inédito.]. [ [Links](#) ]
64. Seilacher, A. 1953. Studien zur Palichnologie. I. Über die Methoden der Palichnologie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 96: 421-452. [ [Links](#) ]
65. Simões, M.G y Torello, F.F. 2003. Modelo de Tafofácies para os moluscos bivalves do Grupo Passa Dois (Formações Serra Alta, Teresina e Corumbataí), Permiano Superior, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 33: 371-380. [ [Links](#) ]
66. Speyer, S.E. y Brett, C.E. 1988. Taphofacies models for epeiric sea environments: Middle Paleozoic examples. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 63: 225-262. [ [Links](#) ]
67. Stanley, S.M. 1977. Coadaptation in the Trigoniidae, a remarkable family of burrowing bivalves. *Palaeontology* 20: 869-899. [ [Links](#) ]
68. Stipanovic, P.N. 1965. El Jurásico en Vega de la Veranada (Neuquen), el Oxfordense y el diastrofismo Divesiano (Agassiz-Yaila) en Argentina. *Asociación Geológica Argentina* 20: 403-478. [ [Links](#) ]
69. Stipanovic, P.N. 1969. El avance de los conocimientos del Jurásico argentino a partir del esquema de Groeber, *Asociación Geológica Argentina* 24: 367-388. [ [Links](#) ]
70. Tomaš ových, A., 2004. Effect of extrinsic factors on biofabric and brachiopod alteration in a shallow intraplatform carbonate setting (Upper Triassic, West Carpathians). *Palaios* 19: 349-371. [ [Links](#) ]
71. Walker, R.G. y Plint, A.G. 1992. Wave- and storm-dominated shallow marine systems. En: R.G. Walker y N.P. James (eds), *Facies models, response to sea level change*, *Geological Association of Canada*, pp. 219-238. [ [Links](#) ]

72. Weaver, C. 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of west Central Argentina. *University of Washington. Memoir 1*, Seattle, 469 pp. [ [Links](#) ]

73. Westermann, G.E.G. y Riccardi, A.C., 1979. Middle Jurassic ammonoid fauna and biochronology of the Argentine-Chilean Andes. Part 2: Bajocian Stephanocerataceae. *Palaeontographica* A164: 85-188. [ [Links](#) ]

74. Westermann, G.E.G. y Riccardi, A.C., 1982. Ammonoid fauna from the Early Middle Jurassic of Mendoza Province, Argentina. *Journal of Paleontology* 56: 11-41. [ [Links](#) ]

75. Westrop, S.R., 1986. Taphonomic *versus* ecologic controls on taxonomic relative abundance patterns in tempestites. *Lethaia* 19: 123-132. [ [Links](#) ]

**Recibido:** 31 de mayo de 2006.

**Aceptado:** 18 de septiembre de 2007.



All the contents of this journal, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution License](#)