

# Tafofacies y biofacies de la Formación Vaca Muerta en el sector surmendocino de la Cuenca Neuquina: implicancias paleoecológicas, sedimentológicas y estratigráficas



Diego Alejandro KIETZMANN<sup>1</sup> y Ricardo Manuel PALMA<sup>1</sup>

**Abstract.** TAPHOFACIES AND BIOFACIES OF THE VACA MUERTA FORMATION IN THE SOUTHERN MENDOZA SECTOR OF THE NEUQUÉN BASIN: PALEOECOLOGICAL, SEDIMENTOLOGICAL AND STRATIGRAPHIC IMPLICATIONS. Taphonomic and paleoecological studies of fossil assemblages from the transgressive and highstand succession of the Vaca Muerta Formation (lower Tithonian to upper Valanginian) in Loncoche Creek, Rahue Creek and Cuesta del Chihuido, Mendoza province, was carried out. A range of paleoenvironments that include mid, outer and basin deposits of carbonate ramp have been determined based on integrated studies of taphofacies, biofacies, lithofacies and microfacies. In the mid ramp zone were recognized the following taphofacies: two types of autoperabiostromes, as well as concentrations of bivalves, gastropods and serpulids. Meanwhile, biofacies included autobiostromes rich in grypheids and serpulids. In the outer ramp zone were recognized two types of parabiostromes, ammonite and aptychus pavements, bioclastic detritus, molluscs and brachiopods pavements, besides bioturbated nodular limestones and truncated ammonites. In this zone, biofacies are characterized by high diversity including: *Lingularia-Discinisca*, infaunal bivalves, epistominid foraminifers, filament bivalves, besides of pectinidae, oysters and inoceramid bivalves, hardgrounds and microbial mats. Taphofacies and biofacies data allow to estimate relative sea level changes, sedimentation rates, substrate consistency, oxygenation, nutrient levels and productivity.

**Resumen.** Se realizaron estudios tafonómicos y paleoecológicos de las asociaciones fósiles en las sucesiones transgresivas y de mar alto de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano inferior – Valanginiano superior) de las secciones del arroyo Loncoche, arroyo Rahue y Cuesta del Chihuido, provincia de Mendoza. Sobre la base de la integración de estudios tafonómicos y biofaciales, y litofaciales y microfaciales previos, se determinaron distintos subambientes de la rampa carbonática, que incluyen rampa media, rampa externa y cuenca. En la zona de rampa media se reconocieron las siguientes tafofacies: dos tipos de autoperabiostromas, así como concentraciones de bivalvos, gastrópodos y serpúlidos; mientras que las biofacies incluyen autobiostromas ricos en grifeidos y serpúlidos. En la zona de rampa externa se reconocieron dos tipos de parabiostromas, pavimentos de amonites y ápticos, detritos bioclásticos, pavimentos de moluscos y braquiópodos, además de calizas nodulares bioturbadas y amonites truncados. En esta zona las biofacies están caracterizadas por una alta diversidad que incluye: *Lingularia-Discinisca*, bivalvos infaunales, foraminíferos epistomínidos, bivalvos filamentosos, además de pectínidos, ostreidos e inocerámidos, sustratos endurecidos así como matas microbianas. El estudio de tafofacies y biofacies permitió estimar cambios relativos del nivel del mar, tasas de sedimentación, consistencia del sustrato, oxigenación, nutrientes y niveles de productividad.

**Key words.** Vaca Muerta Formation. Taphofacies. Biofacies. Outer ramp. Jurassic-Cretaceous.

**Palabras clave.** Formación Vaca Muerta. Tafofacies. Biofacies. Rampa externa. Jurásico-Cretácico.

## Introducción

La Formación Vaca Muerta contiene una fauna excepcionalmente rica y variada de invertebrados y vertebrados marinos; sin embargo solamente algunos de estos grupos han sido estudiados desde los trabajos iniciales de Behrensden (1891). Los trabajos

más modernos prestaron particular atención a la fauna de amonites debido al especial interés en los estudios estratigráficos (*e.g.* Leanza, 1945; Leanza y Hugo, 1977; Leanza, 1980; Riccardi, 1984 y Riccardi *et al.*, 2000, entre otros). No obstante, el reconocimiento de otras faunas de invertebrados, como bivalvos, gastrópodos y braquiópodos, así como sus características tafonómicas, han sido prácticamente descuidadas a pesar de su importancia como indicadores paleoambientales y paleoecológicos.

Estudios de esta naturaleza son escasos en la Cuenca Neuquina; sin embargo, análisis biofaciales recientes (Damborenea y Manceñido, 2005; Dambo-

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Pabellón II. Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).  
diegokietzmann@gl.fcen.uba.ar; palma@gl.fcen.uba.ar

renea y Lanés, 2007; Lazo, 2007) manifiestan el avance en el conocimiento de otras unidades del Jurásico y Cretácico Inferior. Asimismo, análisis tafonómicos detallados (Palma y Lanés, 2001; Lazo, 2006) demostraron el valor complementario en el entendimiento de los paleoambientes y la estratigrafía secuencial del Cretácico Inferior.

En particular para la Formación Vaca Muerta, Spalletti *et al.* (1999) y Doyle *et al.* (2005) comenzaron a revisar estos aspectos, discutiendo brevemente los mecanismos de acumulación y preservación de las faunas de vertebrados y estableciendo niveles de oxigenación relativa basados en asociaciones de trazas fósiles y megafauna. Si bien estos trabajos discuten dichos aspectos en términos de las condiciones dinámicas que prevalecieron en la rampa carbonática, el análisis litofacial y microfacial de la Formación Vaca Muerta en el sector mendocino (Kietzmann *et al.*, 2008) ha permitido apreciar que la dinámica de la rampa tithoniana-berriasiana es mucho más compleja y que la distribución de la fauna se encuentra controlada, además del contenido de oxígeno, por variaciones de las condiciones del sustrato, energía del ambiente y grados de productividad superficial, entre otros parámetros.

El objetivo de este trabajo consiste en analizar los aspectos tafonómicos y paleoecológicos de la Formación Vaca Muerta, con el fin de: 1) comprender la distribución de la fauna en el ambiente sedimentario y su relación con la dinámica depositacional, 2) evaluar la importancia de otros factores como controles de las paleocomunidades respecto de las interpretaciones convencionales basadas en el contenido de oxígeno, y 3) generar un marco general a partir del cual se puedan profundizar en futuros estudios sobre estos aspectos para distintos grupos taxonómicos.

## Marco geológico

La Formación Vaca Muerta se caracteriza por la alternancia rítmica de margas y lutitas con *mudstones*, *wackestones*, *packstones* y *floatstones* bioclásticos. Constituye un sistema de rampa homoclinal de bajo gradiente topográfico dominado por facies de cuenca y rampa externa (Kietzmann *et al.*, 2008). Se extiende desde el Tithoniano temprano (Zona de *Virgatosphinctes mendozanus*) hasta el Berriasiano tardío o Valanginiano tardío (Zona de *Spiticeras damesi* o *Lissonia riveroi*) (e.g. Leanza y Hugo, 1977). Forma parte del Grupo Mendoza (Stipanovic *et al.*, 1968) y conforma la Mesosecuencia Mendoza Inferior de Legarreta y Gulisano (1989) (figura 1). En las secciones analizadas (arroyo Loncoche (316 m), Cuesta del Chihuido (185 m) y arroyo Rahue (350 m); figura 2) los límites inferior y superior son concordantes con las forma-

Edad	Estratigrafía			Ambiente sedimentario
Barremiano	Mesosecuencia Mendoza	Superior	Fm. Agrio	rampa mixta (cuenca, rampa externa, rampa media, rampa interna)
Hauteriviano			Fm. Chachao	rampa interna
Valanginiano		Media	Fm. Vaca Muerta	rampa mixta (cuenca, rampa externa, rampa media distal)
Berriasiano			Fm. Tordillo	fluvial, cólico, lacustre
Tithoniano		Inferior		
Kimmeridgiano				

**Figura 1.** Cuadro estratigráfico esquemático del Grupo Mendoza en el sector surmendocino de la Cuenca Neuquina (Modificado de Palma *et al.*, 2008) / schematic stratigraphic chart of the Mendoza Group in the southern Mendoza Province, Neuquén Basin (Modified from Palma *et al.*, 2008).

ciones Tordillo y Chachao, respectivamente. En este trabajo se considera esta última en el sentido de Leanza *et al.* (1977), es decir sólo el miembro superior de Legarreta y Kozłowski (1981), considerando el miembro inferior como la parte de la Formación Vaca Muerta debido a la ambigüedad de su definición.

## Metodología

El estudio descriptivo de la Formación Vaca Muerta se realizó a escala centimétrica. Las tafofacies fueron definidas sobre la macrofauna y microfauna (lámina delgada) teniendo en cuenta rasgos tafonómicos y clasificaciones basados en Kidwell *et al.* (1986) y Kidwell y Bosence (1991). Se analizaron alrededor de 50 individuos por capa (cuando fue posible) y se tuvo en cuenta: 1) orientación, 2) articulación, 3) fragmentación, 4) abrasión, 5) bioerosión, y 6) incrustación. Las observaciones fueron tomadas en corte, debido a la escasa disponibilidad de superficies expuestas en planta. En los casos en los que realizaron observaciones en planta, se tomaron secciones de 1 m<sup>2</sup> para realizar los conteos, pero se priorizaron las observaciones en corte para que sean comparables. Los índices se estimaron cuantitativamente como: muy bajo a nulo (0-20%), bajo (20-40%), moderado (40-60%), alto (>60%).

Las biofacies fueron definidas cualitativamente a partir de las observaciones sedimentológicas y tafonómicas, descartando por ejemplo de las asociaciones aquellos individuos con índices de fragmentación y abrasión altos o articulación bajos, respecto de los otros individuos. La riqueza específica se caracterizó de acuerdo al número de géneros presentes como alta (>5) o baja (<5), teniendo en cuenta géneros de bivalvos, braquiópodos, gastrópodos y foraminí-

feros, y la presencia de amonites, nautiloideos, belemnites, equinodermos, esponjas, etc. El modelo biofacial se construyó teniendo en cuenta los modelos de Sageman *et al.* (1991) para ambientes poco oxigenados, la naturaleza del sustrato y la posición dentro de los cortejos sedimentarios.

En el caso de la bioturbación no se tuvieron en cuenta datos de icnofábrica, pero se caracterizó tanto en planta como en corte como baja (<30%), moderada (30 a 60%) y alta (>60%).

Las tasas de sedimentación y el grado de mezcla temporal se basaron en los cálculos cicloestratigráficos de Kietzmann (2007) y Kietzmann y Palma (2008), quienes identificaron ciclos elementales caliza/pelita dentro de la frecuencia de precesión (20 ka). De este modo, cada hemicycle –en condiciones normales– contiene sedimentos y faunas que fueron depositados o que habitaron ese sustrato en un rango menor a los 10.000 años.

## Resultados: tafofacies y biofacies

El análisis tafonómico permitió reconocer 12 tafofacies y estimar en forma cualitativa el grado de transporte de la fauna identificada, el grado de mezcla temporal y la discriminación de modas con diferentes historias tafonómicas. Sobre este análisis se pudieron reconocer 10 biofacies, cuyas relaciones con las tafofacies y litofacies se resumen en el cuadro 1.

### Tafofacies

**Tafofacies TI. Autoparabiostromas tipo 1.** La tafofacies TI se desarrolla en los intervalos correspondientes a las zonas de *Windhausenicerias internispinosum*, *Corongoceras alternans* y *Spiticeras damesi* en la sección de Cuesta del Chihuido. Consiste en biostromas pausiespecíficos de *Aetostreon latissimum* (Lamarck) que forman concentraciones bioclásticas unimodales pausiespecíficas de origen mixto sedimentológico-biogénicas, desarrolladas en el sector de la rampa media. Se disponen en bancos tabulares (15 a 25 cm), masivos, con bases netas irregulares y techos transicionales o netos. Presenta fábrica grano-sostén, empaquetamiento abierto y buena selección. La matriz es fangosa (pelítica o carbonática-*wackestones*). Contiene una alta proporción de *Aetostreon latissimum* y como accesorios aparecen serpúlidos (*Rotularia* (R.) *phillipsii* (Roemer)) y amonites.

Los individuos de *Aetostreon latissimum* presentan escasas evidencias de bioerosión o incrustaciones, el grado de articulación es alto y la distribución –tanto en corte como en planta– es aleatoria. La fragmenta-

ción y la abrasión son bajas. En el sector basal de los depósitos de la tafofacies T1 algunos individuos se encuentran en posición de vida.

Las conchillas de amonites se disponen en forma horizontal, aparecen parcialmente rellenas con fango y los sectores más internos del fragmocono tienen relleno esparítico. La tafofacies pasa vertical y transicionalmente a la tafofacies TII (figura 3.1).

**Interpretación.** La preservación de individuos articulados en una matriz fangosa sugiere condiciones de baja energía, mientras que la disposición aleatoria de las conchillas indica períodos de retrabajo por oleaje de tormenta.

La ausencia de incrustantes y bioerodadores puede relacionarse con ambientes de condiciones estresadas como sugieren Lazo (2007) y Lazo *et al.* (2008) para la Formación Agrio. Sin embargo, podría deberse simplemente a cortos períodos de exposición en la interfase agua-sedimento.

Las conchillas de amonites parcialmente rellenas indican que las tasas de acumulación de sedimentos fueron altas, aunque las tasas de sedimentación y la turbulencia de las aguas pudieron ser bajas (Fernández López, 1997). Los rasgos tafonómicos, como el alto grado de articulación, la baja fragmentación y el tipo de fábrica, permiten interpretar la tafofacies como autoparabiostromas (Kershaw, 1994). Puede considerarse como una asociación promediada dentro del hábitat y su desarrollo está asociado al cortejo de mar alto.

**Tafofacies TII. Autoparabiostromas tipo 2.** Al igual que la tafofacies TI, la tafofacies TII se desarrolla en los intervalos correspondientes a las zonas de *Windhausenicerias internispinosum*, *Corongoceras alternans* y *Spiticeras damesi* en la sección de Cuesta del Chihuido. Consiste en biostromas de *Aetostreon latissimum* dispuestos en bancos tabulares (5 a 20 cm), con bases transicionales y techos irregulares netos. Forman concentraciones bioclásticas unimodales y monotípicas de origen mixto (sedimentológico-biogénicas) desarrolladas en el sector de la rampa media.

Presenta fábrica grano-sostén, empaquetamiento denso y matriz carbonática (*wackestones*) o pelítica. La selección es moderada a mala. Se compone principalmente por *Aetostreon* y accesorios como serpúlidos y amonites.

Los individuos de *Aetostreon* presentan un alto grado de desarticulación y distribución aleatoria. La fragmentación es alta y la abrasión es baja a moderada. Las conchillas de amonites se encuentran parcialmente rellenas de sedimentos y los sectores más internos del fragmocono tienen relleno esparítico. Se disponen en forma horizontal o imbricada. El techo suele estar bioturbado con *Thalassinoides* isp. (figura 3.1).

**Cuadro 1.** Relación entre litofacies (según Kietzmann *et al.* 2008), tafofacies y biofacies / *litofacies (after Kietzmann et al. 2008), tafofacies and biofacies relationship.*

Litofacies	Tafofacies	Biofacies
<i>Floatstones, rudstones y packstones</i> bioclásticos	TI: autoparabiostromas tipo 1	BI: autobioestromas de grifeidos y serpúlidos BVI: autobioestromas de grifeidos
	TII: autoparabiostromas tipo 2	
<i>Mudstones y wackestones</i> bioclásticos laminados, masivos	TV: pavimentos con amonites y ápticos de gran tamaño	BII: <i>Lingularia - Discinisca</i> BIII: bivalvos infaunales BIV: foraminíferos epistomínidos BV: bivalvos filamentosos, BVII: pectínidos
	TXI: depósitos con amonites y ápticos de pequeño tamaño	
	TVI: concentraciones de bivalvos, gastrópodos y serpúlidos	
	TVIII: pavimentos de bivalvos, braquiópodos y gastrópodos	
<i>Wackestones</i> nodulares	TX: calizas nodulares bioturbadas	
<i>Mudstones/wackestones</i> laminados	TIX: depósitos laminados con valvas aisladas	BVIII: ostreidos e inocerámidos BX: matas microbianas
<i>Wackestones</i> laminados y masivos	TXII: amonites truncados	BIX: <i>hardgrounds</i>
<i>Floatstones, rudstones y packstones</i> bioclásticos	TIII: parabiostromas tipo 1	-
	TIV: parabiostromas tipo 2	
	TVII: detritos bioclásticos	

**Interpretación.** El alto grado de desarticulación, la distribución aleatoria, la alta fragmentación y la baja abrasión de las conchillas sugiere condiciones de alta energía, desarrolladas durante períodos cortos de re-trabajo por oleaje de tormenta y poco transporte. Su asociación y similitudes con la Tafofacies TI indican que se trata de una fase de mayor energía de los procesos sedimentarios que actuaban en ese sector de la rampa.

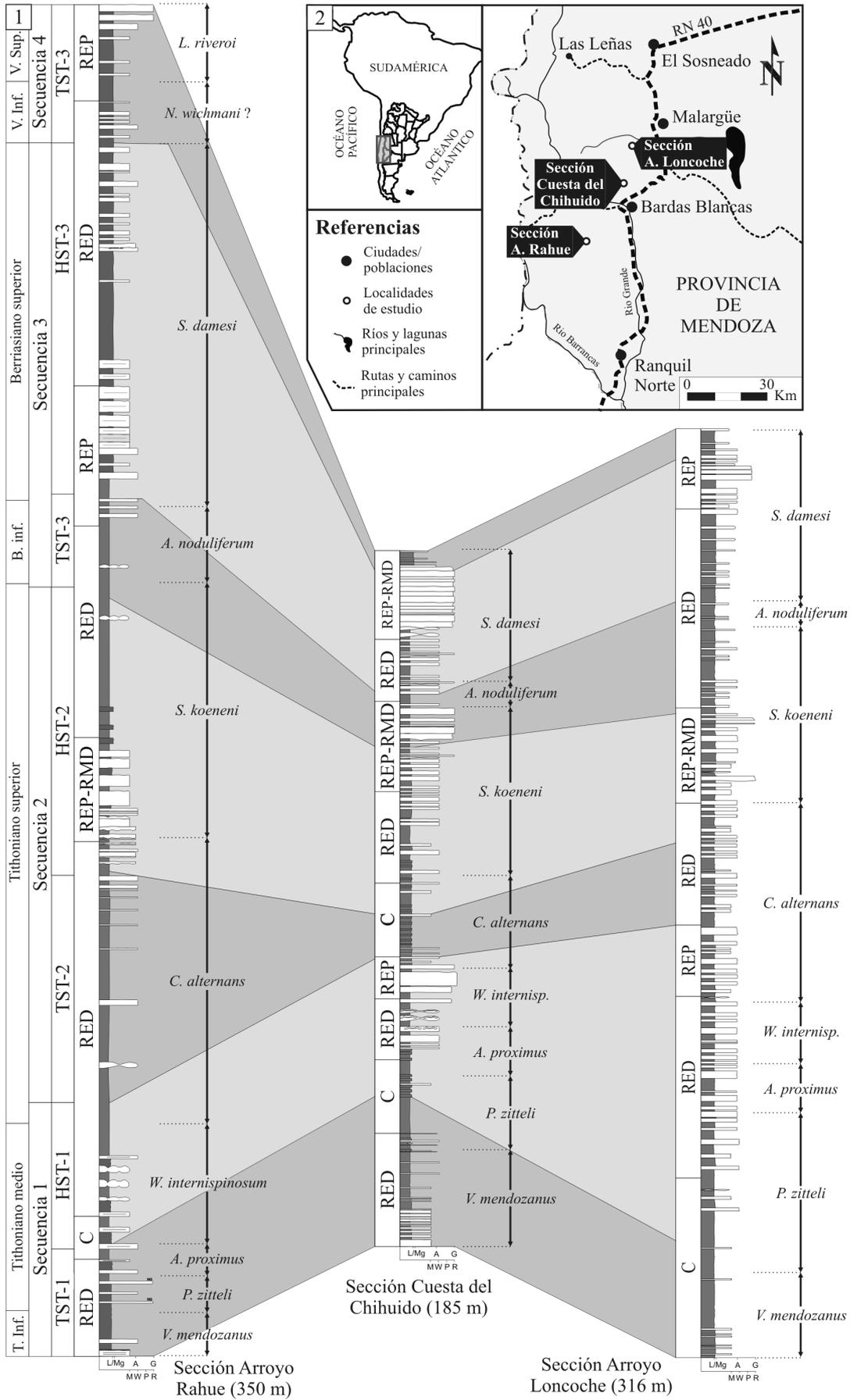
Las galerías de *Thalassinoides* isp. sugieren el incremento de la oxigenación del sustrato posterior al evento de tormenta (Monaco y Garassino, 2001).

El relleno parcial de las conchillas de amonites indica que las tasas de acumulación de sedimentos fueron altas, aunque las tasas de sedimentación y la turbulencia de las aguas fueron por lo general bajas, mientras que la disposición aleatoria sería consecuencia de la reorientación por re-trabajo de los organismos bioturbadores (Fernández López, 1997; Fernández López, 2007).

Estas características tafonómicas permiten interpretar la tafofacies TII como autoparabiostromas (Kershaw, 1994), puede considerarse como una asociación promediada dentro del hábitat y se asocia al cortejo sedimentario de mar alto.

**Tafofacies TIII. Parabiostromas tipo 1.** La tafofacies TIII se desarrolla en los intervalos asignados a las zonas de *Corongoceras alternans* y *Substeueroeras koeneni* de las secciones del arroyo Loncoche y Cuesta del Chihuido. Consiste en concentraciones dominadas por grifeidos y ostreidos que forman concentraciones bioclásticas de origen sedimentológico y pueden clasificarse como parabiostromas (Kershaw 1994). Se desarrollan en el sector de la rampa media distal y rampa externa proximal. Se disponen en bancos tabulares (20 a 40 cm), con base erosiva y techos irregulares. Presentan estratificación entrecruzada tabular sigmoidal, la fábrica es grano-sostén, el empaquetamiento abierto y la matriz bioclástica. Se compone de *Aetostreon latissimum*, serpúlidos (*Rotularia* sp.),

**Figura 2. 1,** Perfiles esquemáticos y correlación de cortejos sedimentarios de las secciones estudiadas; **2,** Mapa esquemático del sector sur de la provincia de Mendoza (modificado de Palma *et al.*, 2008). **Referencias:** HST, cortejo de mar alto; TST, cortejo transgresivo; C, cuenca; RED, rampa externa distal; REP, rampa externa proximal; RMD, rampa media distal / **1,** *Schematic profiles and correlation of sedimentary systems tract in the studied sections;* **2,** *Schematic map of the southern Mendoza Province (modified from Palma et al., 2008).* **References:** HST, highstand system tract; TST, transgressive system tract; C, basin; RED, distal outer ramp; REP, proximal outer ramp; RMD, distal middle ramp.



ostreidos indeterminables, bivalvos aragoníticos, amonites y belemnites.

El grado de articulación de los grifeidos y ostreidos es alto y la distribución es aleatoria. Los bivalvos aragoníticos están desarticulados y fragmentados (figura 3.2).

En esta tafofacies se encuentran también restos de vertebrados retrabajados. En lámina delgada se observan microperforaciones en los serpúlidos y grifeidos.

**Interpretación.** Las estructuras sedimentarias y la disposición aleatoria de las valvas indican la participación de procesos erosivos y la acción de flujos combinados y unidireccionales (Kidwell y Bosence, 1991). La presencia de estratificación entrecruzada tabular-sigmoidal puede ser interpretada como la acreción de barras durante los episodios de tormenta (Bádenas y Aurell, 2001).

Las microperforaciones en serpúlidos y grifeidos estarían indicando períodos relativamente cortos de exposición en la interfase agua-sedimento (Speyer y Brett, 1988).

Se considera esta tafofacies como una asociación promediada dentro del hábitat y se asocia al cortejo de mar alto.

**Tafofacies TIV. Parabiostromas tipo 2.** La tafofacies TIV aparece en toda la sucesión y agrupa una variedad de concentraciones bioclásticas que corresponden a facies de *floatstones*, *packstones* y *wackestones* bioclásticos. Se disponen en bancos tabulares (15 a 40 cm), con bases erosivas y techos planos. Los bioclastos se componen por *Aetostreon latissimum*, *Deltoideum* Rollier, *Cucullaea* Lamarck, *Eriphyla* Gabb, pectínidos y serpúlidos (*Rotularia* sp.).

Pueden presentar fábrica masiva, gradación normal o gradación inversa. Aquéllos masivos o con gradación normal poseen un alto porcentaje de organismos articulados y fragmentación moderada. La orientación es variable pero domina la disposición concordante y cóncava hacia arriba. En algunos sectores, sin embargo, las valvas se disponen con orientación perpendicular o se encuentran apiladas.

En los parabiostromas con gradación inversa, los bioclastos se disponen en forma aleatoria, se encuentran altamente desarticulados y fragmentados, e in-

mersos en una matriz bioclástica altamente fragmentada. Se presentan con contacto erosivo sobre *mudstones* y *wackestones* bioclásticos y se encuentran rellenando galerías de *Thalassinoides paradoxicus* Woodward (figura 3.3).

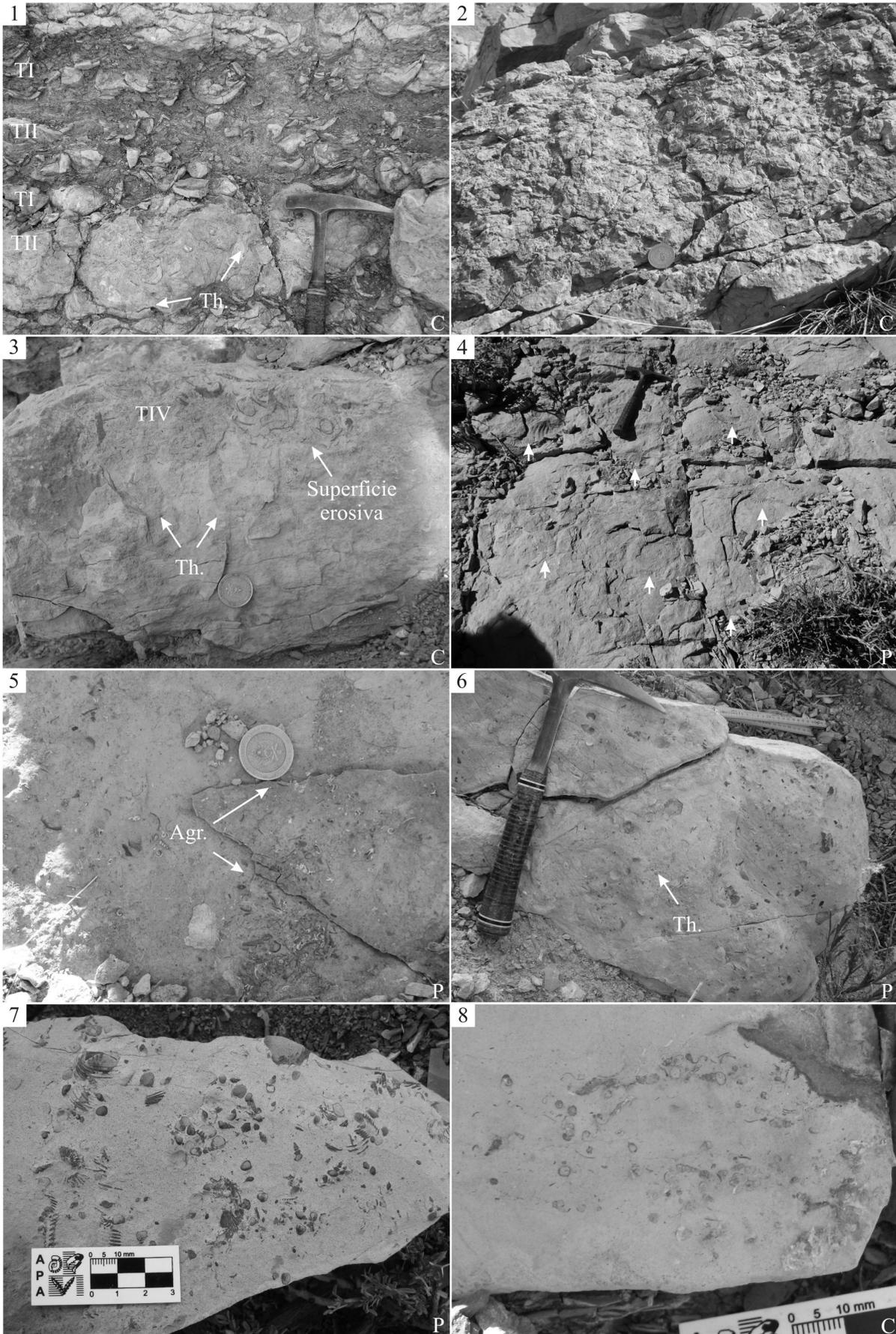
**Interpretación.** Se interpreta esta tafofacies como concentraciones bioclásticas bimodales de origen sedimentológico. De acuerdo con Kershaw (1994) pueden clasificarse como parabiostromas que se desarrollan en la rampa externa. A partir de sus características sedimentarias y tafonómicas como estructuras gradacionales, fragmentación, articulación y distribución de las conchillas, se interpreta que las concentraciones fueron generadas bajo condiciones de flujos turbulentos oscilatorios y unidireccionales (Speyers y Brett, 1988) que permiten asociar la tafofacies a episodios de tormentas, de manera similar a los descritos por Simpson (1987) para la rampa carbonática del Carbonífero del sur de Gales, y por Bádenas y Aurell (2001) para la rampa kimmeridgiana del norte de España.

La disposición concordante cóncava hacia arriba se puede asociar con redepositación por decantación a partir de corrientes de tormenta, mientras que las disposiciones perpendiculares o apiladas sugieren la acción del oleaje (Kidwell y Bosence, 1991).

Los parabiostromas con gradación inversa presentan un grado de desarticulación y fragmentación mayor, y la disposición aleatoria de los bioclastos sugiere la depositación a partir de flujos turbulentos asociados a tormentas (Simpson, 1987; Kidwell *et al.*, 1986) y probablemente reflejen depósitos más distales. Su asociación con facies de *mudstones* y *wackestones* con *Thalassinoides paradoxicus* indica que la depositación ocurrió en sectores de la rampa con baja tasa de sedimentación (Myrrow, 1995). La tafofacies se desarrolla durante el cortejo de mar alto en el sector de la rampa externa y puede considerarse como una asociación promediada dentro del hábitat.

**Tafofacies TV. Pavimentos con amonites y ápticos de gran tamaño.** Esta tafofacies se desarrolla en facies de *mudstones/wackestones* masivos de las zonas de *Aulacosphinctes proximus*, *Windhausenicerias internispinosum* y *Spiticeras damesi*. Los *mudstones/wackestones* son de color castaño, geometría tabular con espesores que varían entre 4 y 45 cm, bases y techos planos y en

**Figura 3.** Tafofacies de la Formación Vaca Muerta. **1**, Autoparabiostromas tipo 1 y 2 (TI y TII); **2**, Parabiostromas tipo 1 (TIII); **3**, Parabiostromas tipo 2 (TIV); **4**, Pavimentos con amonites y ápticos de gran tamaño (TV), las flechas blancas indican la posición de los amonites; **5**, Concentraciones de bivalvos, gastrópodos y serpúlidos (TVI); **6**, Detritos bioclásticos (TVII); **7-8**, Pavimentos de bivalvos, braquiópodos y gastrópodos (TVIII); **7**, Pavimentos de bivalvos y gastrópodos; **8**, Concentraciones de gastrópodos. **Referencias:** **Th**, *Thalassinoides*, **Agr**: agregados; **P**, vista en planta; **C**, vista en corte / *tafofacies of the Vaca Muerta Formation*. **1**, *Autoparabiostromes type 1 and 2 (TI and TII)*; **2**, *Parabiostromes type 1 (TIII)*; **3**, *Parabiostromes type 2 (TIV)*; **4**, *Large ammonite and aptychus pavements (TV)*, white arrows indicate the ammonites positions; **5**, *Bivalve, gastropod and serpulid concentrations (TVI)*; **6**, *Bioclastic detritus (TVII)*; **7-8**, *Bivalve, brachiopod and gastropod pavements (TVIII)*; **(7)** *Bivalve and gastropod pavements*, **(8)** *Gastropod concentrations*. **Reference:** **Th**, *Thalassinoides*, **Agr**: aggregates; **P**, plant view; **C**, transversal section view.



ocasiones techos bioturbados por *Thalassinoides* isp., *Rhizocorallium* isp. y *Palaeophycus tubularis* Hall.

La fauna incluye abundantes amonites de hasta 40 cm de diámetro, ápticos (*Lamellaptychus* sp. o *Laeoptychus* sp.) de hasta 25 cm de largo, bivalvos (representados por *Eryphyla* cf. *lotenoensis* Weaver, "*Lucina*" *neuquensis* (Haupt) y en menor medida *Deltoideum* sp. y *Rotularia* sp.).

Tanto amonites como ápticos se disponen en forma paralela a la estratificación (figura 3.4). Los amonites presentan serpulidos incrustantes (*Parsimonia* sp.) sobre toda la conchilla y se preservan como moldes internos micríticos o como moldes externos. Los bivalvos se disponen concordantes a la estratificación y también presentan serpulidos incrustantes. Aparecen enteros, articulados o levemente desplazados.

En el tramo berriasiano de la sucesión aparecen depósitos similares (aunque sin ápticos), con conchillas braquiales de *Discinisca* sp. dispuestas cóncavas hacia arriba.

En lámina delgada se puede observar además foraminíferos bentónicos (*Epistomina viviersae* Ballent y *E. loncochensis* Ballent) totalmente recristalizados y rellenos de calcita granular, fragmentos de equinodermos, briozoos y bivalvos, radiolarios spumelláridos calcitizados y espículas de esponjas aisladas, en una matriz alomicrítica.

**Interpretación.** La tafofacies TV se ubica en el sector de rampa externa y evidencia condiciones tranquilas dominadas por sedimentación por decantación y muy bajo transporte lateral. Entre las evidencias se incluyen una baja relación amonites/ápticos, la presencia de organismos bien preservados y la participación de radiolarios. Asimismo la presencia de espículas de esponjas hexactinélidas sugiere sustratos fangosos y ambientes tranquilos (Vishnevskaya *et al.*, 2002).

La abundancia de serpulidos incrustantes en amonites y bivalvos indica que las conchillas estuvieron expuestas por períodos de tiempo relativamente largos, mientras que el relleno alomicrítico de los amonites y la abundancia de trazas sugiere condiciones de baja tasa de sedimentación y buena oxigenación (Fernández López, 1997).

Por otro lado, *Discinisca* es un género epifaunal pedunculado ubicado con la valva peduncular hacia arriba (Emig, 2003), lo que permite interpretarlas como ubicadas en posición de vida.

La naturaleza de la matriz y de las partículas observadas en lámina delgada permite inferir que la sedimentación ocurrió a partir de material en suspensión.

La tafofacies puede considerarse como una asociación promediada dentro del hábitat y se asocia al cortejo de mar alto.

AMEGHINIANA 46 (2), 2009

**Tafofacies TVI. Concentraciones de bivalvos, gastrópodos y serpulidos.** Consiste en concentraciones bioclásticas representadas por facies de *wackestones* y *floatstones* bioclásticos masivos en espesores de 10 a 50 cm, tabulares, con bases y techos planos a levemente ondulados. Los techos presentan *Thalassinoides suevicus* Reith.

Aparecen en las zonas de *Aulacosphinctes proximus*, *Windhausenicerias internispinosum*, *Substeuerceras koeneni* y *Spiticeras damesi*.

La fauna incluye amonites, bivalvos [*Eryphyla* cf. *lotenoensis* Weaver y *Grammatodon mendozanus* (Weaver)], gastrópodos (*Dicroloma?* sp., *Sinuarbullina melihuensis* Gründel y/o *Exelisa? arcuatoconca* Gründel (cf. Gründel y Parent, 2001), serpulidos (*Rotularia* (*R.*) *phillipsii*) y foraminíferos epistominidos.

Los amonites se disponen en general concordantes a la estratificación, a excepción del género *Aspidoceras* Zittel que suele disponerse en forma perpendicular u oblicua. Los bivalvos se encuentran dispersos, desarticulados, altamente fragmentados, concordantes, dispuestos indiferentemente cóncavos o convexos hacia arriba, y en ocasiones apilados. Los gastrópodos están bien preservados y presentan orientación hacia el sudoeste (n=30, para cada medición). Los individuos de *Rotularia* (*R.*) *phillipsii* se encuentran enteros y con orientación aleatoria. Aisladamente aparecen agregados de empaquetamiento denso formados por bivalvos desarticulados, fragmentados, dispuestos al azar o perpendiculares a la estratificación, gastrópodos bien preservados, serpulidos fragmentados (*Rotularia* (*R.*) *phillipsii*) y un alto porcentaje de foraminíferos dispuestos al azar (figura 3.5).

En lámina delgada se observa que tanto las conchillas de los gastrópodos como los serpulidos están rellenas por *pellets* o peloides fosfatizados.

**Interpretación.** La tafofacies TVI se desarrolla en la rampa media distal a externa proximal. La abundancia de *Epistomina* sp. y *Rotularia* (*R.*) *phillipsii*, así como la presencia de fragmoconos en posición vertical y oblicua, sugieren períodos de baja energía que permitieron la colonización de estos organismos y el mantenimiento de la posición vertical de los fragmoconos hasta su soterramiento.

La disposición aleatoria y el apilamiento de las valvas de los bivalvos sugieren el retrabajo episódico durante las tormentas a partir de flujos turbulentos (Kidwell y Bosence, 1991; Hips, 2006). La presencia de agregados con matriz diferente a la de los sedimentos que los alojan, permite deducir la proveniencia de los agregados desde áreas más someras y con baja tasa de sedimentación (Kietzmann *et al.*, 2008).

Las galerías de *T. suevicus* representan episodios de oxigenación post-tormentas y caracterizan sustratos blandos (Myrrow, 1995).

La tafofacies TVI puede considerarse como una asociación promediada dentro del hábitat y su desarrollo está asociado tanto al cortejo de mar alto como al cortejo transgresivo.

**Tafofacies TVII. Detritos bioclásticos.** Consiste en concentraciones bimodales compuestas por detrito bioclástico altamente fragmentado. Se desarrolla en toda la sucesión en facies de *wackestones* bioclásticos con bancos tabulares de 6 a 40 cm, laminados, con bases y techos erosivos. Presenta fábrica fango-sostén (alomocrítico), empaquetamiento abierto y selección moderada.

Los bioclastos de mayor tamaño consisten en conchillas de ostreidos y bivalvos aragoníticos indeterminados recristalizados. Están desarticuladas, altamente fragmentadas, con signos de abrasión y dispuestos concordantes con la estratificación.

La fracción de menor tamaño consiste en fragmentos de equinodermos con signos de abrasión y micritización, ejemplares de *Epistomina* sp. dispuestos sin orientación, gastrópodos (*Dicroloma?* sp. o *Sinuarbullina melehuensis* Gründel) y una alta proporción de peloides subsféricos fosfatizados o *phoslitoclasts*.

La bioturbación es moderada y está dominada por estructuras horizontales con relleno bioclástico y frecuentemente exhumadas, entre las que se reconocieron *Palaeophycus tubularis* Hall, *Thalassinoides* isp. y *Planolites* isp. (figura 3.6).

**Interpretación.** Esta tafofacies consiste en concentraciones bioclásticas bimodales de origen sedimentológico y se ubica en el sector de rampa externa. Contiene elementos alóctonos a parautóctonos muy fragmentados, con valvas desarticuladas, y con signos de abrasión. Se infiere que éstas fueron transportadas en suspensión durante las tormentas desde zonas más someras y a partir de material exhumado repetitivamente o expuesto en la interfase agua sedimento durante períodos prolongados (Kidwell y Bosence, 1991; Speyers y Brett, 1988).

Las galerías exhumadas de *Thalassinoides* isp. evidencian superficies erosivas y representan discontinuidades locales asociadas a interrupciones en la sedimentación (cf. Monaco, 1995; Doyle *et al.*, 2005). Los *phoslitoclasts* reflejan fases repetitivas de erosión, incrustación/impregnación y acreción (Föllmi *et al.*, 1991; Flügel, 2004) y desarrollo de *hardgrounds* asociados con cortos períodos de inundación y/o ahogo (Blomeier y Reijmer, 1999; Flügel, 2004).

Estas características permiten interpretar un ambiente con baja tasa de sedimentación afectado por tormentas, donde se manifiesta variaciones en el régimen de sedimentación, debido a la alternancia de procesos erosivos y depositacionales, que permitirían la oxigenación del fondo y la colonización del sustrato.

La tafofacies de detritos bioclásticos puede consi-

derarse como una asociación condensada ambientalmente y se asocia al cortejo transgresivo y/o de mar alto.

**Tafofacies TVIII. Pavimentos de bivalvos, braquiópodos y gastrópodos.** La tafofacies de pavimentos de bivalvos, braquiópodos y gastrópodos (figura 3.7) se desarrolla en toda la sucesión en facies de *wackestones* masivos y *mudstones* laminados de geometría tabular (5 y 40 cm) con bases y techos planos. Se compone de bivalvos, braquiópodos y gastrópodos, representados por *Eriphyla* cf. *lotenoensis*, *Grammatodon mendozanus*, "*Lucina*" *neuquensis*, *Cucullaea* sp., *Anopaea* sp., *Acesta?* sp., "bivalvos filamentosos" (*filaments*; Flügel 2004), pectínidos, *Lingularia* sp., *Sinuarbullina melehuensis* Gründel y *Dicroloma?* sp.

Los bivalvos se encuentran bien preservados, articulados, abiertos en preservación "tipo mariposa" o con valvas levemente desplazadas. Los gastrópodos están bien preservados y presentan también orientación al sudoeste (n=30), y los braquiópodos se encuentran en posición de vida o dispuestos horizontalmente sobre la superficie del sustrato y su presencia es importante en el tramo berriasiano (Zona de *Spiticeras damesi*).

En lámina delgada se observan además epistominas y radiolarios spumelláridos dispuestos paralelos a la laminación.

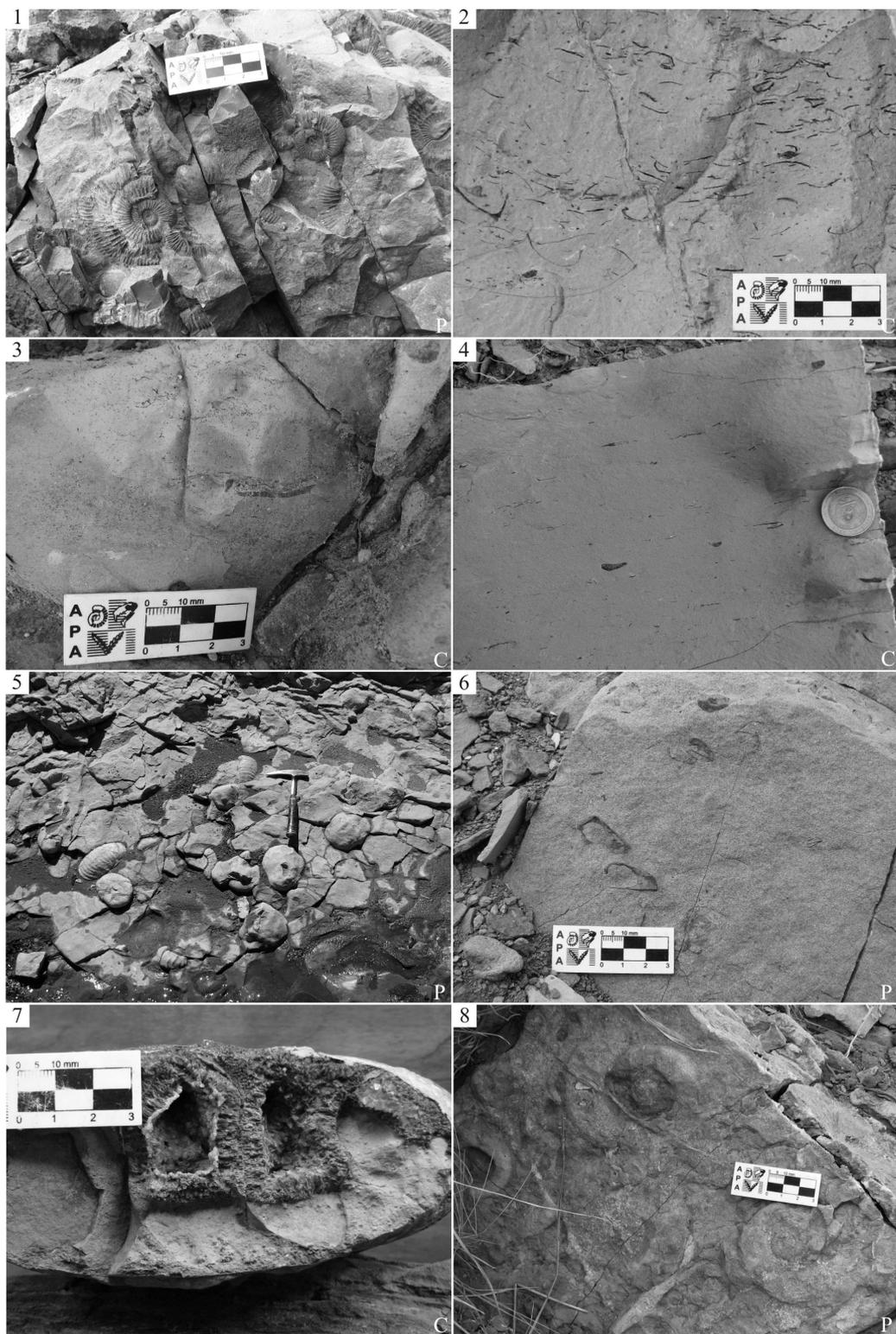
Es común encontrar pavimentos monoespecíficos tanto de gastrópodos (figura 3.8), como de bivalvos (*Acesta?* sp., *Cucullaea* sp. o "bivalvos filamentosos", figura 4.1-2) o de epistominas (figura 4.3). En estas últimas se observan texturas de origen microbiano.

**Interpretación.** La tafofacies se ubica en el sector de rampa externa y manifiesta condiciones tranquilas dominadas por sedimentación por decantación y moderado transporte lateral.

La disposición de las valvas indica que antes su enterramiento ocurrió la apertura y en algunos casos desarticulación de las mismas, pudiendo reflejar baja oxigenación del fondo (Fürsich *et al.*, 2007). La orientación de las conchillas de gastrópodos así como el desplazamiento de algunas valvas indica la acción de corrientes de fondo de baja energía.

Asimismo, la ocurrencia de concentraciones monoespecíficas a pausiespecíficas en distintos niveles de la sucesión estaría indicando la existencia de variaciones en las condiciones paleoambientales (como oxigenación o salinidad) que permitirían el desarrollo sólo de ciertos organismos. Los niveles con mezcla de faunas sugieren por otro lado el reestablecimiento de las condiciones normales o la superposición de distintas comunidades. La asociación puede considerarse como promediada dentro del hábitat.

**Tafofacies TIX. Depósitos laminados con valvas aisladas.** Se encuentra en *mudstones/wackestones* laminados, de colores oscuros, geometría tabular y espe-



**Figura 4.** Tafofacies de la Formación Vaca Muerta. **1-3,** Pavimentos de bivalvos, braquiópodos y gastrópodos (TVIII): **1,** Pavimentos de pectínidos y amonites, **2,** Concentraciones monotípicas de bivalvos filamentosos, **3,** Concentraciones de foraminíferos epistomínidos; **4,** Depósitos laminados con valvas aisladas (TIX); **5,** Calizas nodulares bioturbadas (TX); **6-7,** Depósitos con amonites y ápticos de pequeño tamaño (TXI): **6,** disposición de ápticos con desplazamiento leve, **7,** estructura geopetal; **8,** Amonites truncados (TXII). **Referencias:** P, vista en planta; C, vista en corte / *Taphofacies of the Vaca Muerta Formation. 1-3, Bivalve, brachiopod and gastropod pavements (TVIII): 1, Pectinid and ammonite pavements, 2, Monotypic filament concentrations, 3, Epistominid foraminifer concentrations; 4, Laminated isolate shell deposits (TIX); 5, Bioturbated nodular limestones (TX); 6-7, Small ammonite and aptychus deposits (TXI): 6, aptychus available with slight displacement, 7, geopetal structure; 8, Truncated ammonites (TXII). References: P, plant view; C, transversal section view.*

sores de 2 a 20 cm, con bases y techos planos y netos (figura 4.4). La bioturbación suele estar ausente o representada por *Chondrites*. Aparece representada en las zonas de *Virgatosphinctes mendozanus*, *Pseudolissoceras zitteli* y *Substeuerocheras koeneni*.

Los componentes esqueléticos son escasos y están representados por amonites, ostreidos de valvas delgadas, inocerámidos (tipo *flat clam*), escamas y fragmentos óseos milimétricos, dispuestos concordantes con la laminación. Aisladamente se encuentran gastrópodos bien conservados pertenecientes a *Sinuarbullina melehuensis* Gründel.

Los bivalvos se encuentran desarticulados, dispuestos generalmente cóncavos hacia arriba. Los ostreidos presentan valvas bien preservadas que aparecen incrustando la zona umbilical (ambos lados) de las conchillas de amonites, o como detrito muy fragmentado; mientras que los inocerámidos suelen encontrarse altamente fragmentados.

En lámina delgada se observan valvas bien preservadas, así como fragmentadas. Se han reconocido abundantes radiolarios spumelláridos y nasselláridos, y aisladamente foraminíferos epistominidos. Suelen encontrarse asociados a peloides subesféricos y otras texturas de origen microbiano (cf. Sun y Wright, 1989; Riding y Tomás, 2006).

**Interpretación.** La tafofacies TIX se ubica en el sector de rampa externa distal y cuenca. La excelente laminación y la elevada abundancia de radiolarios indican que la sedimentación estuvo dominada por decantación en sectores hemipelágicos, durante períodos de alta disponibilidad de nutrientes y condiciones de aguas estratificadas poco oxigenadas (Bartolini *et al.*, 1999; Haas y Filácz, 2004).

La disposición concordante cóncava hacia arriba puede asociarse con depositación de detritos provenientes en suspensión (Kidwell y Bosence, 1991) a partir de corrientes inducidas durante las tormentas. En el caso de las conchillas bien preservadas, pueden interpretarse como decantación de organismos pseudoplanctónicos o como fauna autóctona asociada al ambiente restringido.

La asociación puede considerarse como promediada dentro del hábitat y se asocia al cortejo transgresivo.

**Tafofacies TX. Calizas nodulares bioturbadas.** La tafofacies de calizas nodulares bioturbadas (figura 4.5) está representada en las zonas de *Aulacosphinctes proximus* y *Windhauseniceras internispinosum*, en *mudstones* o *wackestones* bioclásticos masivos, de geometría tabular, espesores variables de 15 a 30 cm, bases netas, y techos netos bioturbados. La bioturbación es alta y está dominada por *Thalassinoides suevicus*.

La fauna está representada por amonites de gran tamaño (20 a 40 cm) y fragmentos aislados de con-

chillas de bivalvos indeterminables. Entre los amonites, los perisfíntidos se disponen en forma horizontal a la estratificación o levemente imbricados. Mientras que las especies globosas (*Aspidoceras* sp.) se disponen generalmente en forma vertical u oblicua y sin orientación preferencial. En ambos casos los fragmóconos se encuentran rellenos por fango y corresponden a moldes internos concrecionales reelaborados (*sensu* Fernández López, 2007). Los fragmentos de bivalvos presentan alta abrasión y son concordantes con la estratificación.

La microfauna consiste en foraminíferos epistominidos totalmente recristalizados y rellenos de esparita, y radiolarios spumelláridos calcitizados en una matriz alomicrocítica. Se observan también en lámina delgada fragmentos de equinodermos, briozoos y bivalvos.

**Interpretación.** La tafofacies de calizas nodulares bioturbadas se desarrolla en el sector de rampa externa. Las características tafonómicas de los fragmentos indeterminables de bivalvos permiten inferir que el aporte sedimentario estuvo relacionado con la alternancia de procesos de decantación y procesos de redepositación de material alóctono proveniente en suspensión, asociados probablemente con corrientes de relajación durante episodios de tormentas.

*T. suevicus* Reith es una forma típica de sustratos blandos (Monaco, 1995), sin embargo ha sido descrita frecuentemente en este tipo de fábrica nodular (Myrow, 1995) representando sustratos firmes (*firmgrounds*) que revelan discontinuidades locales asociadas a superficies de omisión. En el caso de TX no se observan rellenos discordantes con la matriz hospedante, pero su preservación evidencia procesos de cementación temprana. Por este motivo, la asociación puede considerarse como una asociación promediada dentro del hábitat o condensada ambientalmente.

La orientación imbricada de algunos amonites perisfíntidos puede interpretarse como modificación postdeposicional de la orientación horizontal original a partir de los organismos que generaron las galerías. Los aspidocerátidos, por tener mayor espesor relativo o forma más globosa, pudieron llegar a ser mecánicamente estables en posición vertical sobre el sedimento y se interpretan como moldes internos concrecionales reelaborados ya que presentan discontinuidad estructural entre el relleno y la matriz sedimentaria, debido a procesos de desgaste, reorientación y desplazamiento ocurridos antes del enterramiento final cuando presentaban flotabilidad negativa. La tafofacies de calizas nodulares se desarrolla durante el cortejo transgresivo.

**Tafofacies TXI. Depósitos con amonites y ápticos de pequeño tamaño.** Esta tafofacies se desarrolla en facies de *wackestones/mudstones* bioclásticos laminados, de color gris oscuro, geometría tabular, espeso-

res de 4 a 20 cm, con bases y techos planos, principalmente de la zona de *Pseudolissoceras zitteli*.

La fauna incluye abundantes amonites (1 a 15 cm) y *Lamellaptychus* sp., bivalvos y fragmentos óseos. Los amonites y ápticos se disponen en forma paralela a la estratificación. Los ápticos se encuentran dentro de la cámara habitación, articulados o levemente desplazados (figura 4.6) y cerca del fragmocono. Algunos amonites se encuentran rellenos por fango alomicrítico y por calcita granular formando estructuras de tipo geopetal (figura 4.7). Son frecuentes los restos de vertebrados, incluyendo fragmentos óseos y escamas. Los bivalvos (*Cucullaea* sp.) se encuentran articulados, levemente desplazados o presentan preservación tipo mariposa.

En lámina delgada se observan radiolarios calcitizados, foraminíferos epistomínidos recristalizados, con relleno esparítico o micrítico, fragmentos de bivalvos y serpúlidos, además de espículas monoaxonas y triaxonas que pueden ser asignadas a esponjas hexactinélidas.

**Interpretación.** La tafofacies de depósitos con amonites y ápticos de pequeño tamaño se ubica en el sector de la rampa externa y manifiesta condiciones dominadas por sedimentación por decantación y muy bajo transporte lateral, como indica la presencia de organismos bien preservados, escamas, radiolarios y espículas de esponjas hexactinélidas.

Se diferencia de TV (pavimentos con amonites y ápticos de pequeño tamaño) principalmente por la preservación de los amonites. El relleno esparítico en las conchillas de amonites y foraminíferos bentónicos, así como la abundancia de espículas de esponjas, sugiere que la tasa de acumulación de sedimentos ligada a corrientes de fondo pudo ser localmente alta, enterrando las conchillas sólo parcialmente rellenas de fango en las cámaras más externas. Sin embargo, la tasa de sedimentación y el grado de turbulencia de las aguas por lo general fueron extremadamente bajos, permitiendo la cementación temprana de los fangos calcáreos y el mantenimiento del volumen y forma de las conchillas frente a la compactación sedimentaria. El bajo grado de fragmentación de los restos esqueléticos indica que si bien actuaron corrientes de fondo débiles, dominaron las condiciones de tranquilidad.

A pesar de la baja tasa de sedimentación la tafofacies puede considerarse como una asociación promediada dentro del hábitat o condensada ambientalmente y su desarrollo se asocia al cortejo transgresivo.

**Tafofacies TXII. Amonites truncados.** La tafofacies de amonites truncados consiste en pavimentos de amonites dispuestos en forma horizontal y concordante con la estratificación (figura 4.8). Se desarrolla en facies de *mudstones/wackestones* gris oscuro, bio-

clásticos y laminados, de 10 a 20 cm de espesor, presentes en el intervalo Tithoniano inferior y medio.

La macrofauna está compuesta principalmente por amonites y ostreidos, pero aparecen aisladamente otros bivalvos como "*Lucina*" *neuquensis* y *Anopaea?* sp. y fragmentos de equinodermos, briozoos, serpúlidos, gastrópodos. La microfauna está representada por radiolarios spumelláridos y foraminíferos epistomínidos.

Las superficies de estratificación en la parte superior de las capas suelen ser irregulares, con relieves diferenciales de 3 a 5 cm que truncan los macrofósiles, y están altamente ferruginizadas. De especial interés resulta la presencia de peloides fosfatizados o *phosliothoclast* (Kietzmann *et al.*, 2008)

**Interpretación.** La tafofacies de amonites truncados se interpreta como resultado del desarrollo de superficies de discontinuidad sedimentaria (simple *hard-ground*; Wilson y Palmer, 1992) generadas por removilización sinsedimentaria de sustratos calcáreos blandos a firmes, en momentos de interrupción de la sedimentación e inundación de la rampa.

Los procesos de ferruginización se asocian a la disolución del carbonato de calcio y la liberación de hierro (presente como impurezas), el cual precipita al pasar del estado ferroso al férrico, durante el desarrollo local de sustratos duros (*hardgrounds*).

La disolución selectiva de las conchillas de amonites se debe en parte a la mineralogía inestable (aragonita) en comparación con la de las conchillas de los ostreidos o *Anopaea* sp. (calcita con bajo contenido de magnesio) durante la fase fosildiagenética. Estos procesos deben haber afectado a otros organismos como los lucínidos, ya que éstos no se han observado en la zona afectada por removilización sinsedimentaria.

Las partículas fosfatizadas pueden ser interpretadas como *hardground-intraclast* (Flügel, 2004) y reflejan fases repetitivas de erosión, incrustación, impregnación y acreción (Föllmi *et al.*, 1991, Flügel, 2004), que pueden ser atribuidas a intervalos de baja productividad del sistema carbonático, a cortos períodos de inundación y ahogo, así como también a condiciones de *upwelling* (*cf.* Blomeier y Reijmer, 1999).

Esta tafofacies se localiza en el ambiente de rampa externa y se asocia a los estadios iniciales del cortejo transgresivo. La asociación puede considerarse como condensada ambientalmente.

### Biofacies

**Biofacies BI. Autobiostromas de grifeidos y serpúlidos.** La biofacies BI está constituida por biostromas de *Aetostreon latissimum* en asociación con *Rotularia* (*R.*) *phillipsii* y en menor medida con *Parsimonia* sp.

Las trazas fósiles se encuentran dominadas por *Thalassinoides* y pueden ser asignadas a la icnofacies de *Glossifungites* (Kietzmann *et al.*, 2008).

Los individuos de *Aetostreon latissimum* poseen tamaños de 5 a 7 cm, excepcionalmente 15 cm, y se desarrollan sobre sustratos fangosos (carbonático o pelítico). Es común la presencia de amonites y, en menor medida, nautiloideos (*Cymatoceras perstriatum* Steuer, *cf.* Chichowolsky, 2003) y belemnites. El plancton está representado principalmente por radiolarios nasselláridos y algunos spumelláridos.

Se desarrolla desde el Tithoniano medio hasta el Valanginiano inferior dependiendo de la posición en la cuenca y desarrolla acumulaciones de entre 0,4 y 5 metros.

**Interpretación.** La estructura trófica de la biofacies BI está dominada por organismos bentónicos epifaunales estacionarios-reclinantes y suspensívoros (grifeidos y serpulidos), comúnmente asociados a sustratos fangosos (Stenzel, 1971; Macellari, 1984). Se desarrolla en condiciones ambientales de baja energía y baja tasa de sedimentación, asociados a episodios de alta productividad superficial (Concheyro *et al.*, 2006; Kietzmann, 2007).

Si bien en otras unidades de la cuenca este tipo de ostras y serpulidos presentan características de oportunistas (*e.g.* baja salinidad en la Formación Agrio; Lazo, 2007), la presencia de amonites y nautiloideos permitiría inferir un ambiente marino normal. Al no contarse con mayores elementos para confirmar este tipo de inferencias, la biofacies BI podría haber estado controlada por las condiciones de oxigenación del sustrato (niveles medios de oxigenación; Sageman y Bina, 1997).

La información sedimentológica y tafonómica permite asignar a esta biofacies una posición dentro de la rampa media y su desarrollo estaría asociado al cortejo de mar alto.

**Biofacies BII. *Lingularia-Discinisca*.** La biofacies de *Lingularia-Discinisca* se encuentra en facies *wackestones* bioclásticos arcillosos de color castaño y aspecto moteado. Presenta una alta riqueza específica y está constituida por *Lingularia* sp., *Discinisca* sp., *Eriphyla* *cf.* *lotenoensis*, "*Lucina*" *neuquensis*, *Cucullaea* sp. y pectínidos.

Su distribución se restringe al Tithoniano superior alto-Berriasiano superior. Está bien representada en las secciones del arroyo Loncoche y Cuesta del Chihuido en facies de rampa externa proximal (Kietzmann *et al.*, 2008).

Las formas de bivalvos son suspensívoras móviles y ocupan el ámbito epifaunal e infaunal tanto somero como profundo. *Lingularia* sp. es una forma infaunal profunda difundida desde ambientes intermareales hasta ambientes profundos, asociada a sustratos fangosos y adaptada a condiciones estresadas de salinidad, oxigenación, e incluso variaciones cortas

de temperatura (Emig, 2003; Zonneveld *et al.*, 2007). Por su parte el hábito de *Discinisca* sp. es algo más controvertido. De acuerdo con Emig (2003) el hábito más probable es el de una forma bentónica epifaunal, aunque también ha sido interpretada como pseudo-plancton en depósitos similares (Etter, 1996).

**Interpretación.** La biofacies de *Lingularia-Discinisca* presenta una estructura trófica dominada por organismos suspensívoros infaunales que alcanzan sectores profundos del sustrato. El aprovechamiento del espacio bentónico era óptimo ya que se encuentran formas infaunales profundas y someras, e incluso epifaunales.

El aspecto moteado de la fábrica evidencia el re-trabajo del sustrato por acción de la fauna. Estos indicios indican que el sustrato estaba oxigenado prácticamente en su totalidad (niveles E o F del modelo Tipo 1 de Sageman *et al.*, 1991).

La presencia de lingúlidos ha sido citada para el Valanginiano superior bajo de la Cuenca Neuquina donde fue interpretada como de ambiente salobre (Lazo *et al.*, 2008). Sin embargo, en el caso de la Formación Vaca Muerta, la alta diversidad que presenta la asociación de bivalvos permitiría inferir condiciones euhalinas. La información sedimentológica y tafonómica indican condiciones ambientales de baja energía, baja tasa de sedimentación, alta productividad superficial (Kietzmann, 2007) y sustrato fangoso. Su posición estaría dentro de la rampa externa proximal asociada al cortejo de mar alto.

**Biofacies BIII. Bivalvos infaunales.** La biofacies de bivalvos infaunales se encuentra en facies de *mudstones* y *wackestones* bioclásticos de tonalidades grises a castañas. Presenta una alta riqueza específica y está constituida por *Eriphyla* *cf.* *lotenoensis*, "*Lucina*" *neuquensis*, *Grammatodon mendozanus*, *Cucullaea* sp. Asociados aparecen amonites, radiolarios, escasos foraminíferos epistomínidos y gastrópodos (*Dicroloma?* sp. o *Sinuarbullina melehuensis*).

La biofacies está bien representada en las secciones del arroyo Loncoche y Cuesta del Chihuido en facies asignadas al sector de la rampa externa proximal (Kietzmann *et al.*, 2008). Dominan las formas suspensívoras móviles y ocupan el ámbito epifaunal e infaunal, tanto somero como profundo. *Eriphyla* *cf.* *lotenoensis* y *Cucullaea* sp. son una formas suspensívoras-infaunales someras. En particular, *Cucullaea* es un género generalista de sustrato y suele aparecer asociada tanto a fondos arenosos y fangosos (Lazo, 2007). Por su parte *Grammatodon* Meek ha sido interpretado tradicionalmente como una forma suspensívora semiinfaunal móvil, mientras que *Lucina* Bruguière es una forma suspensívora-infaunal, profunda o somera según la especie (Frenkiel *et al.*, 1996; De la Mora *et al.*, 2000). Las trazas están representadas por *Thalassinoides horizontalis* Myrow.

**Interpretación.** La biofacies BIII presenta estructura trófica dominada por organismos suspensívoros infaunales. El aprovechamiento del espacio era bueno ya que se encuentran organismos infaunales someros, semiinfaunales y epifaunales.

La presencia de *Thalassinoides* junto a la proliferación de bivalvos infaunales indica que el sustrato presentaba condiciones de buena oxigenación por períodos de tiempo relativamente largos y condiciones euhalinas. Asimismo, de acuerdo con la información obtenida de TVIII, si bien el transporte de los elementos es moderado, la asociación con *T. horizontalis* Myrrow indica que los organismos se encontraban sujetos a procesos de removilización en las partes altas o superficiales del sustrato.

De este modo, la información sedimentológica y tafonómica indican condiciones ambientales de baja energía, interrumpidas por episodios de alta energía asociada a tormentas, tasa de sedimentación normal y alta productividad superficial.

Su posición estaría dentro de la rampa externa proximal asociada a las etapas tardías del cortejo transgresivo y al cortejo de mar alto.

**Biofacies BIV. Foraminíferos epistomínidos.** Esta biofacies consiste en concentraciones prácticamente monoespecíficas de foraminíferos epistomínidos, que aparecen en niveles con escasos radiolarios y bivalvos, asociados a sustratos fangosos sin bioturbadores y micritas peloidales que evidencian actividad microbiana (cf. Sun y Wright, 1989; Riding y Tomás, 2006).

*Epistomina* posee un modo de vida epifaunal o semiinfaunal detritívoro y podría tener estrategias quimiosimbiontes (Sagasti y Ballent, 2002). Es un género oportunista frecuente en los ambientes de plataforma externa del Jurásico y el Cretácico (Carrillo *et al.*, 1995) y suele encontrarse bajo condiciones de baja circulación y deficientes en oxígeno.

La biofacies de foraminíferos epistomínidos se encuentra en frecuente asociación con la biofacies de bivalvos "filamentosos" (Biofacies BV).

**Interpretación.** La biofacies de foraminíferos epistomínidos se desarrolla en un ambiente de baja energía y en sustratos fangosos. Presenta características similares a las descritas para la sección basal de la Formación. Agrio (Sagasti y Ballent, 2002). La ausencia de bioturbadores y la baja riqueza permite inferir que estos niveles corresponden a episodios de colonización de oportunistas en un ambiente disaeróbico con alto gradiente de óxido-reducción en límite agua-sedimento (nivel B del modelo Tipo 1 de Sageman *et al.*, 1991).

A diferencia de la biofacies de bivalvos filamentosos, las estrategias quimiosimbiontes de *Epistomina* (Sagasti y Ballent, 2002) le habrían permitido desarrollarse durante episodios de baja productividad superficial, como sugiere la escasez de radiolarios y bi-

valvos, y un alto gradiente de óxido-reducción, como indican las evidencias de actividad microbiana. La biofacies se encuentra en la rampa externa proximal asociada principalmente al cortejo de mar alto y en menor medida al cortejo transgresivo.

**Biofacies BV. Bivalvos "filamentosos".** Esta biofacies está formada por concentraciones monoespecíficas de abundantes bivalvos de conchillas muy delgadas y reducido tamaño (hasta 1 cm) (*paper pecten*: Wignall, 1990; *filaments*: Flügel, 2004). Doyle *et al.* (2005) los asignaron *Entolium* sp.; sin embargo, no existen buenas exposiciones en estos niveles para confirmar esta asignación taxonómica. Subordinadamente se encuentran foraminíferos epistomínidos y abundantes radiolarios.

Estas formas habrían tenido un hábito epifaunal a semiinfaunal suspensívoro y se desarrollan en niveles discretos de unos pocos centímetros de espesor asociados a sustratos fangosos. Suele estar asociada con la biofacies de foraminíferos epistomínidos (Biofacies BIV).

**Interpretación.** La biofacies de bivalvos filamentosos se desarrolla en un ambiente de baja energía y asociado a sustratos fangosos. La baja diversidad permite inferir que estos niveles corresponden a cortos episodios de colonización de oportunistas. El reducido tamaño y la ausencia de bioturbadores y organismos neotónicos sugieren un ambiente probablemente disaeróbico (Aberhan y Pálffy, 1996) de aguas estratificadas, aunque con alta productividad superficial, como indica la abundancia de radiolarios.

Su presencia en niveles discretos entre la biofacies de foraminíferos epistomínidos sugiere eventos de colonización como respuesta a cambios en las condiciones redox (aumento de la oxigenación) del límite agua-sedimento (nivel D del modelo Tipo 2 de Sageman *et al.*, 1991). La biofacies BV se encuentra en la rampa externa proximal y se asocia al cortejo transgresivo y al inicio del cortejo de mar alto.

**Biofacies BVI. Autobiostromas de grifeidos.** La biofacies de autobiostromas de grifeidos es similar a la biofacies BI (grifeidos y serpúlidos) y está constituida por biostromas monoespecíficos de *Aetostreon latissimum* menores a 2 cm. No se observan trazas fósiles y los organismos neotónicos son escasos (e.g. amonites). Se encuentra siempre en el techo de los biostromas de la biofacies BI y su desarrollo no supera los 30 centímetros.

**Interpretación.** La estructura trófica de la biofacies BVI es similar a la descrita para la biofacies BI. Se asocia a sustratos fangosos que indican condiciones de baja energía y baja tasa de sedimentación. Corresponde a organismos oportunistas, desarrollados durante los estadios de ahogo de la rampa carbonática.

Su ubicación corresponde a la rampa media y su

desarrollo está asociado a los estadios iniciales de cortejo transgresivo.

**Biofacies BVII. Pectinoideos.** Esta biofacies está representada por una asociación de bivalvos de la subclase Pteriomorpha. Los elementos principales están representados por formas de conchilla plana (interpretados como oxytómidos por Doyle *et al.*, 2005) que corresponden a monotoideos (*cf.* Damborenea y Leanza, 2007), buchiidos y en menor medida especímenes indeterminados de *Limidae* y *Anopaea* sp. Conjuntamente aparecen abundantes amonites y radiolarios.

Estas formas asignadas a *Monotoidea*, *Limidae* y *Buchiidae* son formas epifaunales suspensívoras estacionarias adaptadas a ambientes deficientes en oxígeno, con baja disponibilidad de partículas en suspensión e incluso a temperaturas relativamente bajas (Oliver, 1979; Järnegren y Altin, 2006). La biofacies está bien representada en la sección del arroyo Rahue y es frecuente en el Tithoniano tardío.

**Interpretación.** La biofacies de pectinoideos se desarrolla en la rampa externa y en condiciones de baja energía. Está dominada por formas epifaunales-estacionarias suspensívoras típicamente desarrolladas en sustratos fangosos (Aguirre *et al.*, 1996). En particular, *Anopaea* ha sido interpretada como una forma semiinfaunal endobisada, desarrollada en ambientes tanto profundos como someros (Crame y Kelly, 1995).

La presencia de organismos de hábitos fijos requiere sustratos relativamente firmes, de manera que se interpreta que la biofacies prosperó durante períodos de baja tasa de sedimentación, interpretación sustentada por la abundancia inusual de amonites. Asimismo, de acuerdo con el estudio del nanoplacton de Concheyro *et al.* (2006) esta biofacies se desarrolla en estadios de baja productividad superficial.

En cuanto a las condiciones de oxigenación se interpreta que el ámbito bentónico se caracterizó por un medio disóxico con alto gradiente de las condiciones redox en la interfase agua-sedimento (*cf.* Sageman *et al.*, 1991). La biofacies de pectínidos se asocia al cortejo transgresivo.

**Biofacies BVIII. Ostreidos e Inocerámidos.** La biofacies de ostreidos e inocerámidos consiste en una asociación formada por bivalvos epifaunales representados por ostreidos de valvas delgadas e inocerámidos (tipo *flat clam*) y, en menor medida, lucínidos y pectínidos, radiolarios (spumelláridos y nasselláridos), foraminíferos epistomínidos, amonites y vertebrados. Asimismo, los estudios microfaciales muestran que existen evidencias texturales indicativas de actividad microbiana (*cf.* Sun y Wright, 1989; Riding y Tomás, 2006).

Tanto los ostreidos como los inocerámidos son organismos que se adaptan a condiciones restringidas. Los ostreidos pueden encontrarse sobre el sustrato o

como epibiontes en las conchillas de amonites (*shell island epibionts*; Sageman *et al.*, 1991). Actualmente los representantes de Lucinidae son suspensívoros y excavadores profundos, pero se los ha encontrado como individuos de dimensiones reducidas y asociados a condiciones restringidas, por lo que probablemente pueden haber sido quimiosimbiontes (Taylor y Glover, 2006).

**Interpretación.** La biofacies de ostreidos e inocerámidos se desarrolló en un ambiente dominando por procesos de decantación a partir de organismos planctónicos y fango alomicrítico, en condiciones marinas de pobre oxigenación y asociada a las facies más distales del sistema de rampa (cuenca y rampa externa distal).

La abundancia de organismos planctónicos (radiolarios) y nectónicos (amonites y vertebrados) permite inferir condiciones de buena oxigenación en el sector superficial de la columna de agua que permitían la proliferación de estos organismos. A su vez, la presencia de acumulaciones de escamas y huesos puede ser interpretada como el resultado de predación o desintegración de carcasas en flotación (Doyle *et al.*, 2005; Fürsich *et al.*, 2007), lo que confirmaría la existencia de una zona propensa para su descomposición.

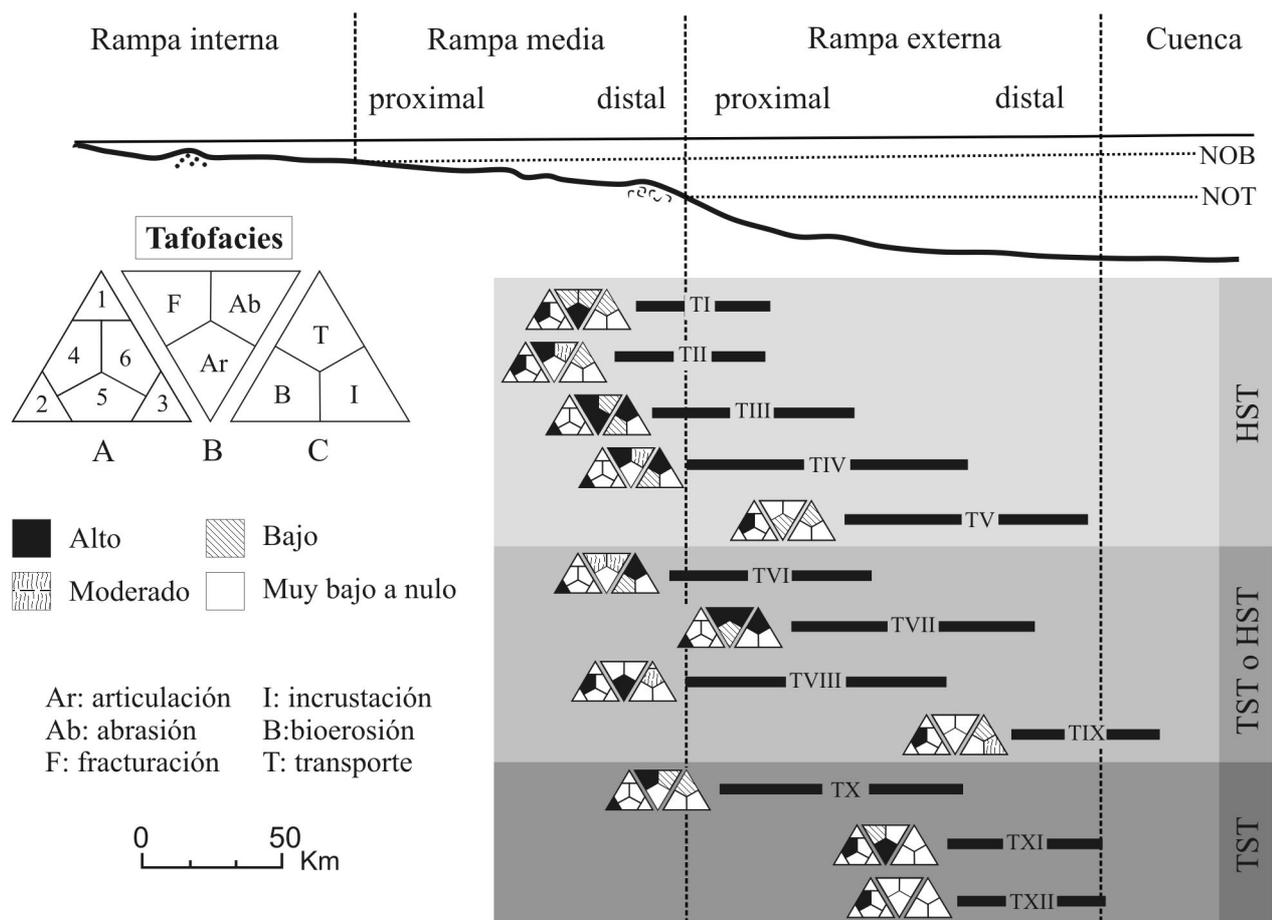
En contraposición, los niveles inferiores de la columna de agua se encontraban por debajo de la zona de oxígeno mínimo y permitían la preservación de materia orgánica y de los restos provenientes de los sectores superficiales.

En el ámbito bentónico la estructura trófica estaba dominada por organismos epifaunales suspensívoros, con capacidad de desarrollo en condiciones de baja oxigenación y sustratos fangosos (Sageman *et al.*, 1991; Sageman y Bina, 1997; Crame y Kelly, 1995). La estructura trófica de la biofacies permite inferir un marcado gradiente óxido-reducción en el límite agua-sedimento (nivel B y C del modelo Tipo 1 de Sageman *et al.*, 1991).

La biofacies de ostreidos e inocerámidos se asocia al cortejo transgresivo.

**Biofacies BIX. Sustratos duros o *hardgrounds*.** La biofacies de *hardgrounds* se desarrolla en facies de *wackestones* bioclásticos laminados (microfacies 5: *phosclast-packstones* biopelmicríticos; Kietzmann *et al.*, 2008) y asociada a la tafofacies de amonites truncados. Está compuesta por foraminíferos epistomínidos, equinodermos, briozoos, serpúlidos (*Rotularia* sp. y *Parsimonia* sp.), ostreidos de valvas finas, bivalvos indeterminados, gastrópodos (*Sinuarbullina melhuensis*) y amonites. Es común la presencia de *Thalassinoides paradoxicus* y de trazas de bioerosión en bivalvos, gastrópodos y serpúlidos.

Su desarrollo se asocia al sector de rampa externa y se restringe principalmente al Tithoniano inferior y medio (zonas de *Virgatospinectes mendozanus*, *Pseudo-*



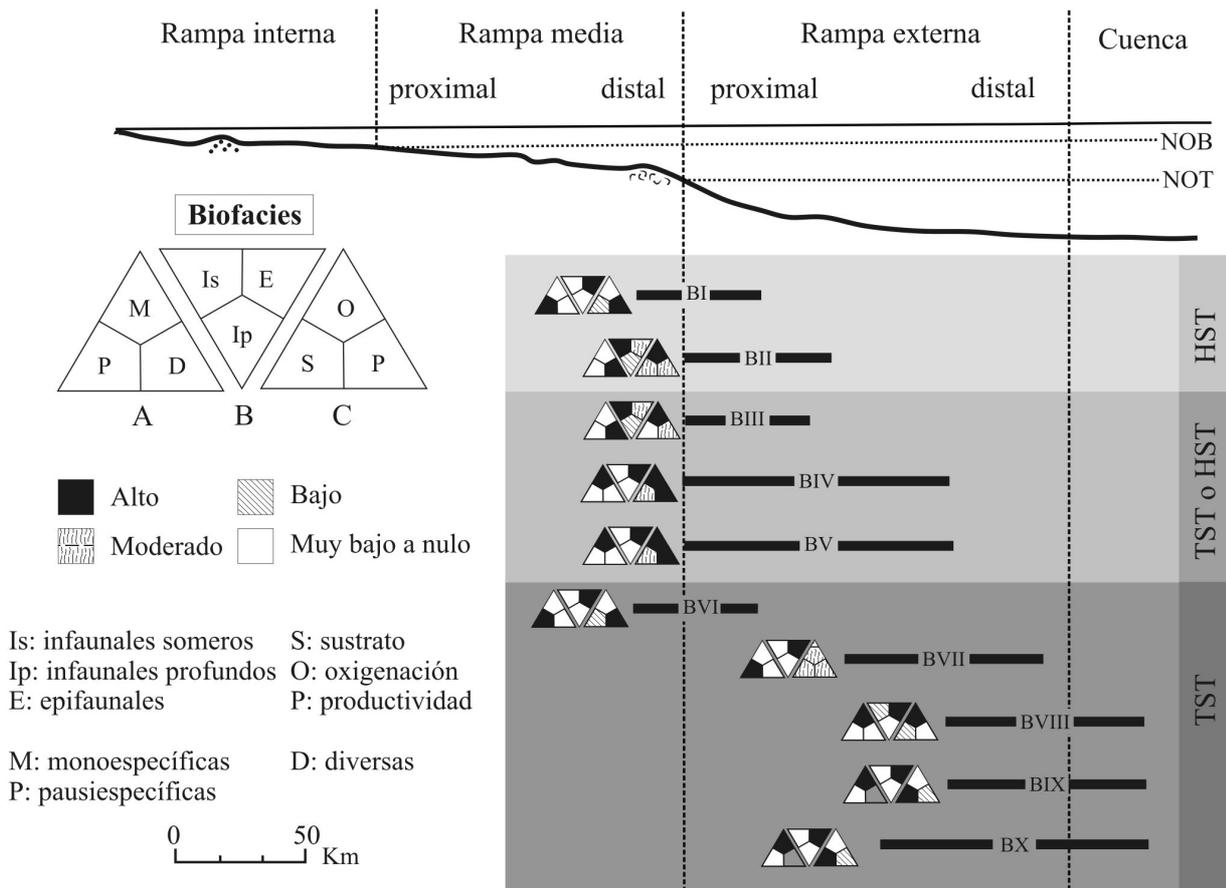
**Figura 5.** Distribución de las tafofacies en la rampa carbonática de acuerdo con su posición en el marco secuencial. Se indica para cada tafofacies: 1, Clasificación según Kidwell *et al.* (1986); 2, Grado de fragmentación, abrasión y articulación; 3, Grado de transporte, bioerosión e incrustación. **Referencias:** TI, autoparabiostromas tipo 1; TII, autoparabiostromas tipo 2; TIII, parabiostromas tipo 1; TIV, parabiostromas tipo 2; TV, pavimentos con amonites y ápticos de gran tamaño; TVI, concentraciones de bivalvos, gastrópodos y serpulidos; TVII, detritos bioclásticos; TVIII, pavimentos de bivalvos, braquiópodos y gastrópodos; TIX, depósitos laminados con valvas aisladas; TX, calizas nodulares bioturbadas, TXI: depósitos con amonites y ápticos de pequeño tamaño; TXII, amonites truncados; HST, cortejo de mar alto; TST, cortejo transgresivo; NOT, nivel de olas de tormenta; NOB, nivel de olas de buen tiempo. / *taphofacies distribution in the carbonate ramp according to their position in the sequential framework. They are indicated for each taphofacies: 1, Classification after Kidwell et al. (1986); 2, Fragmentation, abrasion and articulation; 3, Transport, bioerosion and incrustation. References: TI, autoparabiostromes type 1; TII, autoparabiostromes type 2; TIII, parabiostromes type 1; TIV, parabiostromes type 2; TV, large ammonite and aptychus pavements; TVI, bivalve, gastropod and serpulid concentrations; TVII, bioclastic detritus; TVIII, bivalve, brachiopod and gastropod pavements; TIX, deposits of laminated isolate shells; TX, bioturbated nodular limestones; TXI, small ammonite and aptychus deposits; TXII, truncated ammonites; HST, highstand systems tract; TST, transgressive systems tract; NOT, storm wave level; NOB, fair-weather wave level.*

*lissoceras zitteli*, *Aulacosphinctes proximus* y *Windhauseniceras internispinosum*).

**Interpretación.** La biofacies de *hardgrounds* proliferó sobre sustratos duros generados por litificación temprana durante períodos de muy baja tasa de sedimentación o incluso interrupción de la sedimentación que permitieron la colonización de organismos epifaunales asociados generalmente a ambientes más someros. Su desarrollo estaría ligado a intervalos de baja productividad del sistema carbonático, cortos períodos de inundación y ahogo, y condiciones de *upwelling*, de manera similar a las facies descritas

por Blomeier y Reijmer (1999) para la plataforma jurásica temprana de Jbel Bou Dahar de Marruecos. Se asocia al cortejo transgresivo.

**Biofacies BX. Matas microbianas.** La biofacies de matas microbianas está compuesta por asociaciones de comunidades microbianas bentónicas que presentan características diferentes de acuerdo con su posición dentro de la rampa carbonática. En las áreas más distales (rampa externa distal y cuenca) pueden reconocerse por las estructuras biolaminadas y la alternancia de láminas ricas en materia orgánica y láminas micríticas. Contienen radiolarios spumelláridos,



**Figura 6.** Distribución de las biofacies en la rampa carbonática de acuerdo con su posición en el marco secuencial. Se indica para cada una: **1**, Diversidad; **2**, Abundancia de infaunales someros, profundo y epifaunales; **3**, Importancia de la oxigenación, consistencia del sustrato y productividad. **Referencias:** BI, autobiostromas de grifeidos y serpulidos; BII, *Lingularia-Discinisca*; BIII, bivalvos infaunales; BIV, foraminíferos epistomínidos; BV, bivalvos filamentosos; BVI, autobiostromas de grifeidos; BVII, pectínidos; BVIII, ostreidos e inocerámidos; BIX, hardgrounds; BX, matas microbianas; HST, cortejo de mar alto; TST, cortejo transgresivo; NOT, nivel de olas de tormenta; NOB, nivel de olas de buen tiempo / biofacies distribution in the carbonate ramp according to their position in the sequential framework. **References:** BI, grypheid and serpulid autobiostromes; BII, *Lingularia-Discinisca*; BIII, infaunal bivalves; BIV, epistominid foraminifers; BV, filaments; BVI, grypheid autobiostromes; BVI, Pectinids; BVIII, Oysters and inoceramids; BIX, hardgrounds; BX, microbial mats; HST, highstand systems tract; TST, transgressive systems tract; NOT, storm wave level; NOB, fair-weather wave level.

ocasionalmente foraminíferos epistomínidos y suelen asociarse con la biofacies de ostreidos e inocerámidos (BVIII).

La actividad microbiana está más localizada en el sector de la rampa externa proximal y el desarrollo está evidenciado por texturas peloidales y envolturas micríticas, asociadas con abundante material alomicrocítico.

Se desarrolla principalmente en el Tithoniano inferior y medio (zonas de *Virgatosphinctes mendozanus*, *Pseudolissoceras zitteli*, *Aulacosphinctes proximus* y *Windhausenicerias internispinosum*).

**Interpretación.** La biofacies de matas microbianas probablemente se desarrolló en condiciones de baja productividad superficial (Concheyro *et al.*, 2006; Kietzmann, 2007) principalmente en el sector de cuenca y rampa externa. Las condiciones adversas

del sustrato (disóxicas a anóxicas) fueron óptimas para la acumulación de materia orgánica y la proliferación de microbios y bacterias. La asociación de estos organismos con foraminíferos se debe al hábito detritívoro y/o quimiosimbionte de *Epistomina* (Sagasti y Ballent, 2002), mientras que la asociación con la biofacies de ostreidos e inocerámidos estaría vinculada con pequeñas variaciones en el contenido de oxígeno en la interfase agua-sedimento. La biofacies se asocia al cortejo transgresivo.

**Discusión**

Los trabajos tafonómicos y paleoecológicos previos efectuados en la Formación Vaca Muerta son de carácter localizado. Spalletti *et al.* (1999) discutieron

la preservación de la fauna de vertebrados en la Yesera del Tromen (provincia de Neuquén) e interpretaron un ambiente anóxico, profundo, de energía extremadamente baja y sustrato blando, con muy poca modificación tafonómica.

Doyle *et al.* (2005) reconocieron asociaciones de macroinvertebrados e interpretaron un ambiente anóxico-disóxico profundo de baja energía donde establecieron niveles de oxigenación relativa, en la sección del Río Salado (provincia de Mendoza). Entre las asociaciones reconocidas por estos autores se pueden encontrar similitudes (sin ser coincidentes) con las biofacies Autobiostromas de grifeidos y serpúlidos (BI), Bivalvos infaunales (BIII), Bivalvos filamentosos (BV), Pectínidos (BVII) y Ostreidos e Inocerámidos (BVIII) del presente estudio, aunque el tratamiento tafonómico es claramente distinto, debido a los diferentes objetivos de ambos trabajos.

A diferencia de Spalletti *et al.* (1999) y Doyle *et al.* (2005), en esta contribución se analizaron las características tafonómicas y paleoecológicas de la macro- y microfauna a lo largo de una transecta noreste-suroeste y dentro de un contexto estratigráfico secuencial, que permitió el desarrollo de un modelo tafonómico y biofacial (figuras 5 y 6) y evaluar los factores que controlaron la diversidad en la rampa carbonática.

**Implicancias paleoecológicas, sedimentológicas y estratigráficas.** Las interpretaciones paleoambientales y paleoecológicas que controlan las comunidades se basan fundamentalmente en el análisis de los organismos bentónicos, ideales para la evaluación de la autoctonía. Sin embargo, los amonites (en particular los perisfíntidos) son sensibles al gradiente proximal-distal a pesar de exhibir respuestas mucho más débiles (Olóriz *et al.*, 1995; Fernández López, 1997). La información obtenida del análisis tafonómico y lito/microfacial (Kietzmann *et al.*, 2008) permite observar una clara relación en el gradiente proximal-distal entre las tafofacies y las lito/microfacies, y por lo tanto en las biofacies.

Distintos factores habrían controlado la distribución de la fauna a lo largo de la rampa carbonática (formaciones Vaca Muerta y Chachao), afectando tanto a las comunidades (biofacies) como a la dispersión de los restos orgánicos durante el estadio bioestratigráfico (tafofacies). Entre ellos, la energía del ambiente, tasa de sedimentación, tipo de sustrato y disponibilidad de nutrientes, además de oxigenación y batimetría, todos controlados a su vez por las variaciones eustáticas. La distribución de tafofacies y biofacies en el ambiente sedimentario, así como el grado de influencia de los diferentes factores se resumen en las figuras 5 y 6.

**Energía del ambiente.** La energía del medio ha sido evaluada a partir del análisis sedimentológico (Kietzmann *et al.*, 2008), sin embargo, el análisis paleoecológico permitió establecer que la mayoría de los organismos infaunales son indicativos de baja energía (*e.g.* De la Mora *et al.*, 2000) y el dominio de suspensívoros sugiere niveles de energía suficientes como para aportar o mantener la disponibilidad de materia orgánica (*e.g.* Olóriz *et al.*, 2008).

Asimismo, las facies dominadas por bivalvos epifaunales de conchilla gruesa o semiinfaunales bisados son de mayor energía, siendo ambas adaptaciones de adherencia al sustrato. De igual modo, las facies dominadas por valvas fragmentadas permiten inferir una mayor energía del ambiente por medio de la acción de corrientes y oleaje.

En contraparte, la presencia de abundantes radiolarios y espículas de esponjas hexactinélidas en el sector distal, permite interpretar ambientes de energía baja a moderada (Vishnevskaya *et al.*, 2002; Gammon *et al.*, 2000).

**Tasa de sedimentación y tipo de sustrato.** De acuerdo con los estudios cicloestratigráficos preliminares realizados por Kietzmann (2007) y Kietzmann y Palma (2008) la tasa de sedimentación de la Formación Vaca Muerta varía entre 4 y 30 m/Ma en el sector de la cuenca y la rampa externa distal, y entre 30 y 90 m/Ma en la rampa externa proximal y rampa media distal. Las facies con desarrollo de parabiostromas se asocian a los sectores proximales con alta tasa de sedimentación, mientras que las facies con espículas de esponjas, *hardgrounds* y/o matas microbianas se asocian a los sectores más distales con baja tasa de sedimentación. Las bajas tasas de sedimentación favorecieron el desarrollo de la epifauna respecto de la infauna, la colonización de serpúlidos, briozoos y foraminíferos bentónicos y la proliferación de matas microbianas (Reolid *et al.*, 2005).

En particular, las biofacies mayormente controladas por bajas tasas de sedimentación son las de pectínidos (BVII), *hardgrounds* (BIX) y matas microbianas (BX), mientras que las tafofacies relacionadas son los pavimentos de amonites y ápticos (TV y TXI), calizas nodulares (TX) y amonites truncados (TXII).

Cabe destacar que el hábito de la macrofauna está profundamente relacionado con el grado de consolidación del sustrato. Los organismos bentónicos asociados a los ambientes de rampa externa proximal están condicionados por sustratos poco consistentes y altas tasas de sedimentación, donde pueden desarrollarse organismos infaunales someros o profundos, como es el caso de las biofacies de *Lingularia-Discinisca* (BII) y bivalvos infaunales (BIII). Por el contrario, en los sectores distales se asocian a sustratos firmes o duros con bajas tasas de sedimentación, favoreciendo a los organismos epifaunales (Flügel, 2004; Olóriz *et al.*, 2008), como es el caso de las biofacies de pectínidos (BVII), ostreidos e inocerámidos (VIII) y *hardgrounds* (BIX). A su vez, el desarrollo de

sustratos microbianos favorece la colonización en forma de "islas bentónicas" que diferencian localmente a la fauna respecto del sustrato fangoso circundante (e.g. Zuschin *et al.*, 1999), como por ejemplo las biofacies de matas microbianas (BX) y ostreidos e inocerámidos (VIII).

Por su parte, la superposición de biofacies indica la alternancia de las condiciones de consistencia del sustrato generadas por variaciones reversibles de corto-plazo dentro del mismo estrato, similares a las descritas por Walker y Diehl (1986) para la rampa externa del Ordovícico Superior de Estados Unidos. En el caso de la Formación Vaca Muerta se registraron variaciones de la superficie estratal (rugosidad y consistencia) a partir de la colonización de organismos, acumulación de detrito esquelético y cementación marina temprana con generación de *hardgrounds*, principalmente asociada al sector de la rampa externa distal.

**Disponibilidad de nutrientes, materia orgánica y oxigenación.** Los estudios en la sección del arroyo Loncoche permitieron definir siete intervalos de productividad/dilución (Concheyro *et al.*, 2006; Kietzmann, 2007). Los intervalos de productividad coinciden con períodos de mayor productividad superficial y disponibilidad de nutrientes en la columna de agua, como indica el incremento en la abundancia de radiolarios y nanoplancton calcáreo, junto a otras características litológicas (Kietzmann, 2007). Las asociaciones fósiles revelan diferencias respecto a la disponibilidad de nutrientes en los distintos subambientes (cuenca, rampa externa y rampa media).

Los intervalos de productividad en la rampa media distal y rampa externa proximal coinciden con el predominio de organismos suspensívoros –indicando la disponibilidad de nutrientes a lo largo de la columna de agua– y sustratos oxigenados (autobiostromas de grifeidos y serpúlidos (BI); *Lingularia-Disciniscia* (BII) y bivalvos infaunales (BIII)). En las facies distales de la rampa, los niveles relativamente someros del sedimento presentan condiciones más adversas, disóxicas a anóxicas y un alto contenido de materia orgánica, por lo que la capacidad de movilidad vertical fue crucial para la alimentación frente a las fluctuaciones de las condiciones de óxido-reducción en el límite agua-sedimento (e.g. lucínidos). En este contexto se desarrollaron las biofacies de pectínidos (BVII), ostreidos e inocerámidos (VIII), *hardgrounds* (BIX) y matas microbianas (BX).

Las biofacies de foraminíferos epistomínidos (BIV) y bivalvos filamentosos (BV) caracterizan condiciones más particulares. Tanto los microbios y bacterias como los foraminíferos responden a la deposición y disponibilidad de materia orgánica, cuyo incremento habría permitido el desarrollo del hábito detritívoro/quimiosimbionte de *Epistomina* (Sagasti y

Ballent, 2002). En condiciones extremas de disoxia (biofacies exaeróbica; Sageman *et al.*, 1991) la escasez de organismos suspensívoros permite mayor acumulación de materia orgánica incrementando la actividad microbiana en la interfase agua-sedimento (Reolid *et al.*, 2005).

Siguiendo el modelo biofacial de Sageman *et al.* (1991) para ambientes oxígeno-deficientes, pueden reconocerse tres zonas: 1) zona anaeróbica representada por lutitas negras carentes de fauna; 2) zona disaeróbica caracterizada principalmente por las biofacies de matas microbianas (nivel B), ostreidos e inocerámidos (nivel B, C), foraminíferos epistomínidos (nivel B), bivalvos filamentosos (nivel D); y 3) zona aeróbica donde se desarrollan el resto de las biofacies. En particular, los ostreidos suelen asociarse frecuentemente con ambientes altamente restringidos y anaeróbicos (Stenzel, 1971), interpretación válida para la biofacies de ostreidos e inocerámidos (BVIII) y probablemente también para la biofacies de autobiostromas de grifeidos (BVI), pero no para la biofacies de autobiostromas de grifeidos y serpúlidos (BI).

Asimismo, la superposición de las biofacies indica que existían fluctuaciones del gradiente óxido-reducción en el límite agua-sedimento (modelos tipo 1 y 2 de Sageman *et al.*, 1991).

**Batimetría.** La evaluación de profundidad mediante asociaciones de macroinvertebrados sigue siendo controversial (e.g. Olóriz *et al.*, 1995). Westermann (1996), sobre la base de la morfología de las conchillas y el patrón de los septos, propuso diferentes rangos de profundidad para los distintos grupos de amonites. Los grupos presentes en la unidad de estudio muestran rangos entre 50 a 120 m en el caso de Perisphinctidae, 90 m para Haploceratidae y aproximadamente unos 25 m para Aspidoceratidae. Estos rangos son coherentes con los valores preliminares estimados por Kietzmann *et al.* (2008), quienes consideraron un rango de 30 a 200 m sobre la base de la orientación de aspidocerátidos y la relación de nasselláridos/spumelláridos.

Es importante enfatizar que las hipótesis de Raup (1973) y Crick (1983) aplicadas por Kietzmann *et al.* (2008) no pueden ser utilizadas en todos los casos, ya que en determinadas circunstancias los aspidocerátidos pudieron llegar a ser mecánicamente estables en posición vertical (sin tener que estar condicionados por el contexto hidrostático). Por otro lado, cuando se trata de moldes internos reelaborados, los fragmocónos estaban rellenos por fango y las conchillas no pudieron tener flotabilidad neutra o positiva que condicionara una posición vertical preferente durante el enterramiento.

El desarrollo de las tafofacies con *Aspidoceras* sp. (TVI y TX), sin embargo, está asociado a facies con estratificación entrecruzada tipo *hummocky* en el

sector de la rampa media (e.g. Kietzmann y Vennari, 2008).

Por lo tanto, aún aceptando el transporte post-mortem de las conchillas de amonites, las evidencias tafonómico/sedimentológicas permiten inferir que el transporte no fue importante y, que la sobre- o subestimación de la profundidad es insignificante. Esto permitiría restringir las profundidades máximas a valores de aproximadamente 120 m. De este modo se puede considerar que las biofacies BI a BIII y BVI, así como las tafofacies TI a TIV, TVI y TX se desarrollaron a profundidades de alrededor de 30 a 60 m, mientras que las biofacies BIV, BV y BVII a BX, y las tafofacies TV, TVII, TVIII, TIX, TXI y TXII indicarían profundidades de 60 a 120 metros.

**Tendencias del ambiente sedimentario y variaciones del nivel del mar.** De acuerdo con los resultados obtenidos se observa una tendencia al decrecimiento de la diversidad en el ámbito bentónico desde el sector proximal (rampa media distal y rampa externa proximal) hacia los sectores más distales (rampa externa distal y cuenca). Esta tendencia responde al incremento de las condiciones adversas de oxigenación, estratificación de la columna de agua, menor tasa de sedimentación, disminución del aporte de nutrientes y mayores fluctuaciones de la consistencia del sustrato.

El desarrollo de las tafofacies y biofacies se correlaciona íntimamente con la dinámica depositacional de modo que en la rampa media distal-rampa externa proximal se encuentran las tafofacies TI a TVI y las biofacies BI a BVI, mientras que en la rampa externa distal a cuenca las tafofacies TVII a TXII y las biofacies BVII a BX (figura 5 y 6).

Asimismo, la distribución de las tafofacies y biofacies junto con las litofacies sustenta la interpretación del análisis secuencial, ya que los cambios relativos del nivel del mar inducen fluctuaciones en los parámetros que las controlan. De este modo se pudo determinar que las tafofacies TI a TV y las biofacies BI y BII se asocian al cortejo de mar alto, donde se incrementa la productividad del sistema carbonático, la disponibilidad de nutrientes, la tasa de sedimentación y la oxigenación del fondo. Al cortejo transgresivo se asocian las tafofacies TX a TXII y las biofacies BVI a BX, debido a la reducción de la tasa de sedimentación y a la restricción de las condiciones ambientales. Sin embargo, las tafofacies TVI a TVIII y las biofacies BIII a BV presentan una distribución más generalizada y aparecen tanto en el cortejo de mar alto como en el cortejo transgresivo (figuras 5 y 6).

## Conclusiones

El análisis tafonómico/biofacial de la Formación AMEGHINIANA 46 (2), 2009

Vaca Muerta, en una transecta noreste-suroeste (secciones arroyo Loncoche, Cuesta del Chihuido y arroyo Rahue), permitió reconocer 12 tafofacies y 10 biofacies, además de la evaluación de los distintos factores que habrían controlado la distribución de la fauna y que permitieron el desarrollo de un modelo tafonómico/biofacial para la rampa carbonática.

**Energía del medio.** Las facies dominadas por organismos infaunales caracterizan condiciones de baja energía, mientras que aquellas dominadas por organismos epifaunales de conchilla gruesa o semiinfaunales-bisados la energía del ambiente es mayor. La presencia de radiolarios y espículas de esponjas permite interpretar ambientes de energía baja a moderada.

**Tasa de sedimentación y tipo de sustrato.** Las facies mayormente controladas por bajas tasas de sedimentación son BVII, BIX y BX, mientras que las tafofacies relacionadas son TV, TX, TXI y TXII. Las biofacies BII y BIII se asocian con sustratos poco consistentes con alta tasa de sedimentación, mientras que las biofacies BVII, BVIII y BIX, se asocian a sustratos firmes con baja tasa de sedimentación.

**Nutrientes, materia orgánica y oxigenación.** Las biofacies BI a BIII coinciden con intervalos de alta productividad y buena oxigenación. En cambio, las biofacies BVII a BX, se desarrollaron bajo condiciones disódicas y un alto contenido de materia orgánica. Se reconocieron tres zonas: 1) zona anaeróbica, representada por lutitas negras carentes de fauna; 2) zona disaeróbica, caracterizada por las biofacies BV, BIV, BVIII y BX; y 3) zona aeróbica, donde se desarrollan el resto de las biofacies.

**Batimetría.** Las biofacies BI a BIII y BVI, así como las tafofacies TI a TIV, TVI y TX se desarrollaron a profundidades de aproximadamente 30 a 60 m, mientras que las biofacies BIV, BV y BVII a BX, y las tafofacies TV, TVII a TIX, TXI y TXII indicarían profundidades de 60 a 120 metros.

**Ambiente sedimentario y cortejos sedimentarios.** En la rampa media distal-rampa externa proximal se encontraron las tafofacies TI a TVI y las biofacies BI a BVI, mientras que en la rampa externa distal a cuenca, las tafofacies TVII a TXII y las biofacies BVII a BX. Al HST se asocian las tafofacies TI a TV y las biofacies BI y BII, y al TST se asocian las tafofacies TX a TXII y las biofacies BVI a BX. Las tafofacies TVI a TVIII y las biofacies BIII a BV presentan una distribución más generalizada y aparecen tanto en el HST como en el TST.

## Agradecimientos

Este estudio contó con el apoyo financiero de los proyectos UBACyT X-133 y PIP-5142 (CONICET). Los autores desean agrar-

decer a A. Riccardi y S. Damborenea de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la U.N.L.P., quienes determinaron los amonites y bivalvos de la sección del arroyo Loncoche, a L. Buatois y M. Mángano de la Universidad de Saskatchewan por sus opiniones sobre las trazas, y a los revisores D. Lazo, de la Universidad de Buenos Aires, y S. Fernández-López, de la Universidad Complutense de Madrid, por sus valiosos aportes y comentarios.

## Bibliografía

- Aberhan, M. y Pálffy, J. 1996. A low oxygen tolerant East Pacific flat clam *Posidonotis semiplicata* from the Lower Jurassic of the Canadian Cordillera. *Canadian Journal of Earth Sciences* 33: 993-1006.
- Aguirre, J., Braga, J.C., Jiménez, A.P. y Rivas, P. 1996. Substrate-related changes in pectinid fossil assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126: 291-308.
- Bádenas, B. y Aurell, M. 2001. Proximal-distal facies relationships and sedimentary processes in a store dominated carbonate ramp (Kimmeridgian, northwest of the Iberian Range, Spain). *Sedimentary Geology* 139: 319-340.
- Bartolini, A., Baumgartner, P.O. y Guex, J. 1999. Middle and Late Jurassic radiolarian palaeoecology versus carbon-isotope stratigraphy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 145: 43-60.
- Behrendsen, O. 1891. Zur Geologie des Ostbanges der Argentinische Cordillere. *Zeitschrift Deutsches Geologische Gesellschaft*: 1-369.
- Blomeier, D.P.G. y Reijmer, J.J.G. 1999. Drowning of a Lower Jurassic carbonate platform: Jabal Bou Dahar, High Atlas, Morocco. *Facies* 41: 81-110.
- Carrillo, M., Paredes, I., Crux, J.A. y De Cabrera, S. 1995. Aptian to Maastrichtian paleobathymetric reconstruction of Eastern Venezuelan Basin. *Marine Micropaleontology* 26: 405-418.
- Cichowolski, M. 2003. The nautiloid genus *Cymatoceras* from the Cretaceous of the Neuquén and Austral basins, Argentina. *Cretaceous Research* 24: 375-390.
- Concheyro, A., Palma, R.M., Lescano, M., López Gómez, J., Chivelet, J. M. y Kietzmann, D.A. 2006. Nanofósiles calcáreos en los episodios de productividad y dilución de la Formación Vaca Muerta. 9º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía (Córdoba), Resúmenes: 218.
- Crame, J.A. y Kelly, R.A. 1995. Composition and Distribution of the Inoceramid Bivalve Genus *Anopaea*. *Paleontology* 38: 87-103.
- Crick, R.E. 1983. The practicality of vertical cephalopod shells as paleobathymetric markers. *Bulletin of the Geological Society of America* 94: 1,109-1,116.
- Damborenea, S.E. y Lanés, S. 2007. Early Jurassic shell beds from marginal marine environments in southern Mendoza, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 250: 68-88.
- Damborenea, S.E. y Leanza, H.A. 2007. Monotoidea (Bivalvia, Tithonian) from northern Neuquén, Argentina. 3º Simposio Argentino del Jurásico (Mendoza), Resúmenes: 37.
- Damborenea, S.E. y Manceñido, M.O. 2005. Biofacies analysis of Hettangian-Sinemurian bivalve/brachiopod associations from the Neuquén Basin (Argentina). *Geologica Acta* 3: 163-178.
- De la Mora, A., Olóriz, F. y González-Arreola, C. 2000. 'Autochthonous' bivalve assemblages and palaeoecologic interpretation in the Upper Jurassic-Lower Cretaceous La Caja Formation from the Cañon de San Matías (Zacatecas, México). *Earth and Planetary Sciences* 331: 741-747.
- Doyle, P., Poire, D.G., Spalletti, L.A., Pirrie, D., Brenchley, P. y Matheos, S.D. 2005. Relative oxygenation of the Tithonian-Valanginian Vaca Muerta-Chachao formations of the Mendoza Shelf, Neuquén Basin, Argentina. En: G.D. Veiga, L.A. Spalletti, J.A. Howell y E. Schwarz (eds.), The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics, *Geological Society of London, Special Publications* 252: 185-206.
- Emig, C.C. 2003. Proof that *Lingula* (Brachiopoda) is not a living-fossil, and emended diagnoses of the Family Lingulidae. *Notebooks on Geology Letter* 1-18.
- Etter, W. 1996. Pseudoplanktonic and benthic invertebrates in the Middle Jurassic Opalinum Clay, northern Switzerland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126: 325-341.
- Fernández López, S. 1997. Ammonites, clinos tafonómicos y ambientes sedimentarios. *Revista Española de Paleontología* 12: 102-128.
- Fernández-López, S.R. 2007. Ammonoid taphonomy, palaeoenvironments and sequence stratigraphy at the Bajocian/Bathonian boundary on the Bas Auran area (Subalpine Basin, south-eastern France). *Lethaia* 40: 377-391.
- Flügel, E. 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks. Análisis, Interpretation and Application*. Springer, Berlin-Heidelberg, 976 pp.
- Föllmi, K.B., Garrison, R.E. y Grimm, K.A. 1991. Stratification in Phosphatic Sediments: Illustration from the Neogene of California. En: G. Einsele, W. Ricken y A. Seilacher (eds.), *Cycles and Events in Stratigraphy*, Springer, Berlin-Heidelberg, pp. 493-507.
- Frenkiel, L., Gros, O. y Mouëza, M. 1996. Gill structure in *Lucina pectinata* (Bivalvia: Lucinidae) with reference to hemoglobin in bivalves with symbiotic sulphur-oxidizing bacteria. *Marine Geology* 125: 511-524.
- Fürsich, F.T., Werner, W., Schneider, S. y Mäuser, M. 2007. Sedimentology, taphonomy, and palaeoecology of a laminated plattenkalk from the Kimmeridgian of the northern Franconian Alb (southern Germany). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 243: 92-117.
- Gammon, P.R., James, N.P. y Piserá, A. 2000. Eocene spiculites and spongiolites in southwestern Australia: not deep, not polar, but shallow and warm. *Geology* 28: 855-858.
- Gründel, J. y Parent, H. 2001. Lower and Middle Tithonian marine gastropods from the Neuquén-Mendoza Basin, Argentina. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 71: 13-18.
- Haas, J. y Filácz, E.T. 2004. Facies changes in the Triassic-Jurassic boundary interval in an intraplatform basin succession at Csovar (Transdanubian Range, Hungary). *Sedimentary Geology* 168: 19-48.
- Hips, K. 2006. Facies pattern of western Tethyan Middle Triassic black carbonates: The example of Gutenstein Formation in Silica Nappe, Carpathians, Hungary, and its correlation to formations of adjoining areas. *Sedimentary Geology* 194: 94-114.
- Järnegen, J. y Altin, D. 2006. Filtration and respiration of the deep living bivalve *Acesta excavata* (J.C. Fabricius, 1779) (Bivalvia; Limidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 334: 122-129.
- Kershaw, S. 1994. Classification and geological significants of biostromes. *Facies* 31: 81-92.
- Kidwell, S.M. y Bosence, D.W.J. 1991. Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. En: A. Allison y D.E.G. Briggs (eds.), *Taphonomy: Releasing the data locked in the fossil record*, Topics in Geobiology 9, Plenum Press, New York, pp. 116-209.
- Kidwell, S.M., Fürsich, F.T. y Aigner, T. 1986. Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentration. *Palaios* 1: 228-238.
- Kietzmann, D.A. 2007. [Cicloestratigrafía y bioestratigrafía de la Formación Vaca Muerta, origen y frecuencia de su ritmicidad. Arroyo Loncoche-Malargüe, Mendoza. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 175 pp. Inédito.].
- Kietzmann, D.A. y Palma, R.M. 2008. Resultados preliminares en el análisis cicloestratigráfico de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano inferior-Berriasiano superior), Mendoza. 12º Reunión Argentina de Sedimentología (Buenos Aires), Resúmenes: 87.

- Kietzmann, D.A. y Vennari, V.V. 2008. Facies, ambiente deposicional y estratigrafía de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano inferior - Berriasiano superior) en el área del cerro Domuyo, Neuquén. *17º Congreso Geológico Argentino* (San Salvador de Jujuy), *Actas*: 773.
- Kietzmann, D.A., Palma, R.M. y Bressan, G.S. 2008. Facies y microfácies de la rampa tithoniana-berriasiana de la Cuenca Neuquina (Formación Vaca Muerta) en la sección del Arroyo Loncoche - Malargüe, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 696-713.
- Lazo, D.G. 2006. Análisis tafonómico e inferencia de mezcla temporal y espacial de la macrofauna del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio, Cretácico Inferior de cuenca Neuquina, Argentina. *Ameghiniana* 44(3): 293-310.
- Lazo, D.G. 2007. Análisis de biofacies y cambios relativos del nivel del mar en el Miembro Pilmatué de la Formación Agrio, Cretácico Inferior de cuenca Neuquina, Argentina. *Ameghiniana* 44: 73-89.
- Lazo, D.G., Aguirre-Urreta, M.B., Price, G.D., Rawson, P.F., Ruffell, A.H. y Ogle, N. 2008. Palaeosalinity variations in the Early Cretaceous of the Neuquén Basin, Argentina: Evidence from oxygen isotopes and palaeoecological analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 260: 477-493.
- Leanza A. F. 1945. Amonites del Jurásico superior y del Cretácico inferior de la Sierra Azul, en la parte meridional de la provincia de Mendoza. *Anales Museo La Plata* 1:1-99.
- Leanza, H.A. 1980. The Lower and Middle Tithonian Ammonite Fauna from Cerro Lotena, Province of Neuquén, Argentina. *Zitteliana* 5: 3-49.
- Leanza, H.A. y Hugo, C.A. 1977. Sucesión de amonites y edad de la Formación Vaca Muerta y sincrónicas entre los Paralelos 35º y 40º I.s. Cuenca Neuquina-Mendocina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 32: 248-264.
- Leanza, H.A., Marchese, H.G. y Riggi, J.C. 1977. Estratigrafía del Grupo Mendoza con especial referencia a la Formación Vaca Muerta entre los Paralelos 35º y 40º I.s. Cuenca Neuquina-Mendocina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 32: 190-208.
- Legarreta, L. y Gulisano, C. A. 1989. Análisis estratigráfico de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior). En: G.A. Chebli y L. Spalletti (eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas*, Simposio Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica 6, Tucumán, pp. 221-243.
- Legarreta, L. y Kozlowski, E. 1981. Estratigrafía y sedimentología de la Formación Chachao, Provincia de Mendoza. *8º Congreso Geológico Argentino* (San Luis), *Actas* 2: 521-543.
- Macellari, C.E. 1984. Revision of serpulids of the genus *Rotularia* (Annelida) at Seymour Island (Antarctic Peninsula) and their value in stratigraphy. *Journal of Paleontology* 58: 1098-1116.
- Monaco, P. 1995. Relationships Between Trace-Fossil, Communities and Substrate Characteristics in some Jurassic Pelagic Deposits in the Umrria-Marche Basin, Central, Italy. *Geobios* 18: 299-311.
- Monaco P. y Garassino A. 2001. Burrows and body fossil of decapod crustaceans in the Calcarei Grigi, lower Jurassic, Trento platform (Italy). *Geobios* 34: 291-301.
- Myrow, P. 1995. *Thalassinoides* and the Enigma of Early Paleozoic Open-Framework Burrow Systems. *Palaos* 10: 58-74.
- Oliver, P.G. 1979. Adaptations of some deep-sea suspension-feeding bivalves (*Limopsis* and *Bathycarca*). *Sarsia* 64: 33-36.
- Olóriz, F., Caracuel, J. E. y Rodríguez-Tovar, F. J. 1995. Using Ecostratigraphic Trends in Sequence Stratigraphy. En: B.U. Haq (ed.), *Sequence Stratigraphy and Depositional Response to Eustatic, Tectonic and Climate Forcing*, Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 59-85.
- Olóriz, F., Reolid, M. y Rodríguez-Tovar, F.J. 2008. Taphonomy of fossil macro-invertebrate assemblages as a tool for ecostratigraphic interpretation in Upper Jurassic shelf deposits (Prebetic Zone, southern Spain). *Geobios* 41: 31-42.
- Palma, R.M. y Lanés, S. 2001. Shell Bed Stacking Patterns in the Chachao Formation (early Valanginian) in Malargüe Area, Mendoza Province, Neuquén Basin-Argentina. *Carbonates and Evaporites* 16: 168-180.
- Palma, R.M., Bressan, G.S. y Kietzmann, D.A. 2008. Diagenesis of bioclastic oyster deposits from the Lower Cretaceous (Chachao Formation), Neuquén Basin, Mendoza Province. *Carbonates and Evaporites* 23: 39-49.
- Raup, D.M. 1973. Depth inferences from vertically imbedded cephalopods. *Lethaia* 6: 217-226.
- Reolid, M., Gaillard, C., Olóriz, F. y Rodríguez-Tovar, F.J. 2005. Microbial encrustations from the Middle Oxfordian-earliest Kimmeridgian lithofacies in the Prebetic Zone (Betic Cordillera, southern Spain): characterization, distribution and controlling factors. *Facies* 50: 529-543.
- Riccardi, A.C. 1984. Las asociaciones de amonites del Jurásico y Cretácico de la Argentina. *9º Congreso Geológico Argentino* (Bariloche), *Actas* 4: 559-595.
- Riccardi, A.C., Leanza, H.A., Damborenea, S., Manceñido, M., Ballent, S. y Zeiss, A. 2000. Marine Mesozoic Biostratigraphy of the Neuquén Basin. En: H. Miller y F. Hervé (eds.), *Zeitschrift für Angewandte Geologie, Hannover, 31º International Geological Congress*, SH 1: 103-108.
- Riding, R. y Tomás, S. 2006. Stromatolite reef crust. Early Cretaceous, Spain: bacterial origin of in situ-precipitated peloid microspar? *Sedimentology* 53: 23-34.
- Sagasti, G. y Ballent, S. 2002. Caracterización microfaunística de una transgresión marina: Formación Agrio (Cretácico inferior), Cuenca Neuquina, Argentina. *Geobios* 35: 721-734.
- Sageman, B.B. y Bina, C.R. 1997. Diversity and Species Abundance Pattern in Late Cenomanian Black Shale Biofacies, Western Interior, U.S. *Palaos* 12: 449-466.
- Sageman, B.B., Wignall, P.B. y Kauffman, E.G. 1991. Biofacies Models for Oxygen-Deficient Facies in Epicontinental Seas: Tool for Paleoenvironmental Analysis. En: G. Einsele, W. Ricken y A. Seilacher (eds.), *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer, Berlin-Heidelberg, pp. 542-564.
- Simpson, J. 1987. Mud-Dominated Storm Deposits From A Lower Carboniferous Ramp. *Geological Journal* 22: 191-205.
- Spalletti, L.A., Gasparini, Z., Veiga, G., Schwarz, E., Fernández, M. y Matheos, S. 1999. Facies anóxicas, procesos deposicionales y herpetofauna de la rampa marina titoniano-berriasiana en la Cuenca Neuquina (Yesera del Tromen), Neuquén, Argentina. *Revista Geológica de Chile* 26: 109-123.
- Speyer, S.E. y Brett, C.E. 1988. Taphofacies models for epeiric sea environments Middle Paleozoic examples. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 63: 225-262.
- Stenzel, H. 1971. Oysters. En: Moore, R. C. y Teichert, C. (eds.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Part N. Mollusca 6. Bivalvia Volume 3, University of Kansas and Geological Society of America, Lawrence, N953-N1224.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F., Baulies, O. L. y Martinez, C.G. 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23: 67-98.
- Sun, S.Q. y Wright, V.P. 1989. Peloidal fabrics in Upper Jurassic reefal limestones, Weald Basin, southern England. *Sedimentary Geology* 65: 165-181.
- Taylor, J.D. y Glover, E.A. 2006. Functional anatomy, chemosymbiosis and evolution of the Lucinidae. En: E.M. Harper, J.D. Taylor y J.A. Crame (eds.), *The evolutionary biology of the Bivalvia*. *Geological Society of London Special Publication* 177: 207-225.
- Vishnevskaya, V., Pisera, A. y Racki, G. 2002. Siliceous biota (radiolarians and sponges) and the Late Devonian biotic-crisis: The Polish reference. *Acta Palaeontologica Polonica* 47: 211-226.
- Walker, K.R. y Diehl, W.W. 1986. The Effect of Synsedimentary Substrate Modification on the Composition of Paleocommunities: Paleocological Succession Revisited. *Palaos* 1: 65-74.
- Westermann, G.E.G. 1996. Ammonoid life and habitat. En: N. Landman, K. Tanabe y R.A. Davis (eds.), *Ammonoid*

- Paleobiology*. Topics in Geobiology 13, Plenum Press, New York, pp. 607-707.
- Wignall, P.B. 1990. Observations on evolution and classification of dysaerobic communities. En: W. Miller (ed.), *Paleocommunity temporal dynamics: the long-term development of multispecies assemblies*, *Special Publication of the Paleontological Society* 10: 99-111.
- Wilson, M.A. y Palmer, T.J. 1992. *Hardgrounds and hardground faunas*. University of Wales, Aberystwyth, Institute of Earth Studies Publications 9: 1-131.
- Zonneveld, J.P., Beatty, T.W. y Pemberton, S.G. 2007. Lingulide brachiopods and the trace fossil *Lingulichmus* from the Triassic of Western Canada: implications for faunal recovery after the End-Permian Mass Extinction. *Palaos* 22, 74-97.
- Zuschin, M., Stachowitsch, M., Pervesler, P. y Kollmann, H. 1999. Structural features and taphonomic pathways of a high-biomass epifauna in the northern Gulf of Trieste, Adriatic Sea. *Lethaia* 32: 299-317.

**Recibido:** 16 de septiembre de 2008.

**Aceptado:** 24 de febrero de 2009.