

# FACIES Y MICROFACIES DE LA RAMPA TITHONIANA-BERRIASIANA DE LA CUENCA NEUQUINA (FORMACIÓN VACA MUERTA) EN LA SECCIÓN DEL ARROYO LONCOCHE - MALARGÜE, PROVINCIA DE MENDOZA

Diego A. KIETZMANN<sup>1,2</sup>, Ricardo M. PALMA<sup>1,2</sup> y Graciela S. BRESSAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

E-mails: diegokietzmann@gl.fcen.uba.ar; palma@gl.fcen.uba.ar; gbressan@gl.fcen.uba.ar

## RESUMEN

La Formación Vaca Muerta (Tithoniano-Berriasiano) consiste en una alternancia rítmica de lutitas negras, lutitas grises, margas y limolitas, con *mudstones*, *wackestones*, *packstones*, *floatstones* y *rudstones* bioclásticos. La asociación de facies en la sección del arroyo Loncoche, permitió definir 12 litofacies y 8 microfacies, dominadas por moluscos, equinodermos, foraminíferos, braquiópodos, serpúlidos y radiolarios. Se distinguieron cuatro asociaciones de facies correspondientes a los subambientes de cuenca, rampa externa (distal y proximal) y rampa media. La utilización de la relación *Nassellaria/Spumellaria* permitió estimar un rango de profundidades menores a 200 metros. El patrón de apilamiento y la distribución vertical de facies permitió la distinción de tres secuencias depositacionales, y el reconocimiento de un sistema tithoniano de rampa homoclinal y un sistema berriasiano de rampa homoclinal de mayor gradiente. La secuencia depositacional 1 consiste en facies de cuenca y rampa externa distal y se caracteriza por un patrón retrogradacional. Presenta un espesor de 124 m, y se extiende desde la Zona de *Virgatospinctes mendozanus* hasta la base de la Zona de *Corongoceras alternans*. Las secuencias depositacionales 2 y 3 consisten en facies de rampa externa y rampa media. Están caracterizadas por un patrón agradacional y progradacional. El espesor de la secuencia 2 es de 66 m y se asigna a la Zona de *Corongoceras alternans*, mientras que la secuencia 3 alcanza 78 m y corresponde a las zonas de *Substeuoceras koeneni* y *Spiticeras damesi*.

Palabras clave: *Facies, Microfacies, Formación Vaca Muerta, Jurásico, Rampa.*

**ABSTRACT:** *Facies and microfacies of the Tithonian-Berriasian ramp from the Neuquén basin (Vaca Muerta Formation) in the Loncoche creek section - Malargüe, Mendoza.* Facies association of the Tithonian-Berriasian Vaca Muerta Formation from the Loncoche creek section, Neuquén Basin, west central Argentina, allow the distinction and definition of 12 lithofacies and 8 microfacies, which are dominated by molluscs, echinoderms, foraminifera, brachiopods, serpulids and radiolarians. The Vaca Muerta Formation consists of a rhythmical alternation of black shales, grey shales, marls and siltstones, with bioclastic mudstones, wackestones, packstones, floatstones and rudstones. Facies associations corresponding to four types of depositional settings were distinguished: basin, outer ramp (distal and proximal), and middle ramp. The *Nassellaria/Spumellaria* ratio was used for bathymetrical interpretation and allows an estimation minor than 200 m depth. The strata pattern and vertical facies distribution show three depositional sequences between a tithonian homoclinal ramp and a berriasian steep homoclinal ramp system. The depositional sequence 1 consists of basin and distal outer ramp facies and it is characterized by a retrogradational pattern. It reaches 124 m in thickness, and may be assigned to the *Virgatospinctes mendozanus* Zone up to the base of *Corongoceras alternans* Zone. Depositional sequences 2 and 3 consist of outer ramp and middle ramp facies. They are characterized by agradational and progradational patterns. The thickness of the sequences 2 is 66 m and is assigned to *Corongoceras alternans* Zone, meanwhile sequence 3 reaches 78 m and corresponds to *Substeuoceras koeneni* and *Spiticeras damesi* zones.

Keywords: *Facies, Microfacies, Vaca Muerta Formation, Jurassic, Ramp.*

## INTRODUCCIÓN

Durante el intervalo Tithoniano-Berriasiano el engolfamiento Neuquino se comportó como una cuenca parcialmen-

te cerrada, limitada hacia el oeste por un arco de islas volcánicas poco elevado, y conectada por estrechos pasajes marinos con el océano Pacífico (Spalletti *et al.* 2000, Howell *et al.* 2005). Bajo estas con-

diciones, durante el Tithoniano temprano, luego de un período de mar bajo dominado por condiciones de sedimentación clástica continental, Formación Tor-dillo de edad kimberidgiana, se registró

un rápido aumento del nivel del mar, que inicialmente inundó la cuenca formando un depocentro relativamente somero e hipersalino (Legarreta 2002).

El avance de las condiciones transgresivas permitió el desarrollo de una amplia cuenca marina con un régimen hidrológico positivo que indujo condiciones euxínicas (Legarreta y Uliana 1991) y dio origen a los depósitos rítmicos de la Formación Vaca Muerta. Esta unidad corresponde al inicio de la sedimentación del ciclo Ándico de Groeber (1946), forma parte del Grupo Mendoza según Stipanovic *et al.* (1968), y de acuerdo con Legarreta y Gulisano (1989) conforma la Mesosecuencia Mendoza Inferior en la base de la Supersecuencia Media.

Los estudios realizados en esta unidad tuvieron un interés particularmente bioestratigráfico, siendo de importante relevancia los trabajos realizados por Leanza (1945), Leanza y Hugo (1977), Leanza (1981a, b), Leanza y Zeiss (1990, 1992) y Riccardi *et al.* (1999, 2000). Estudios más modernos como los de Spalletti *et al.* (2000), Scasso *et al.* (2002), Leanza *et al.* (2003) y Doyle *et al.* (2005) se han centrado en las interpretaciones paleoambientales y estratigráficas, principalmente en la provincia de Neuquén. De acuerdo con los trabajos de Mitchum y Uliana (1986) y Legarreta y Uliana (1991) basados en la geometría de las facies sísmicas en el subsuelo, el ambiente sedimentario de la Formación Vaca Muerta corresponde a un sistema de rampa mixta con pequeñas variaciones de la pendiente de la rampa externa. Spalletti *et al.* (2000) estudiaron el intervalo Tithoniano-Valanginiano para los depósitos del sur de la cuenca Neuquina, definiendo un ambiente de rampa mixta dominada por mareas en el ambiente de rampa interna a media, y por tormentas en el ambiente de rampa externa, contexto en el cual se depositó la Formación Vaca Muerta. Sin embargo, Doyle *et al.* (2005) indicaron que las condiciones de sedimentación para el intervalo Tithoniano-Valanginiano en la plataforma mendocina habrían sido significativamente diferentes, y que la Formación

Vaca Muerta en la sección del río Salado, 35 km al norte del arroyo Loncoche, corresponde a un ambiente de cuenca que se someriza interestratificándose con niveles arenosos asignados a flujos gravitacionales.

Este trabajo tiene como objetivo presentar un estudio microfacial detallado de las facies carbonáticas, su relación con la dinámica depositacional, y el reconocimiento de superficies de valor estratigráfico no reconocibles en el análisis litofacial tradicional. La importancia de esta contribución radica en la falta de antecedentes en la literatura geológica referente a este tipo de estudio en la Formación Vaca Muerta, a excepción del trabajo de Scasso *et al.* (2002, 2005) que se refiere exclusivamente al Miembro Los Catutos (Tithoniano medio) de esta unidad, en la provincia de Neuquén.

## MARCO GEOLÓGICO Y POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA

La sección sedimentaria analizada se localiza en el área del arroyo Loncoche (35° 35' S, 69° 37' O), 20 km al sur de la localidad de Malargüe, en la provincia de Mendoza (Fig. 1). Los afloramientos mesozoicos estudiados se encuentran expuestos en el flanco occidental del anticlinal del Chihuido, estructura que constituye el frente de la faja plegada y corrida de Malargüe, y cuyo núcleo expone rocas del basamento denominadas Complejo volcánico-sedimentario El Fortín por Llam-bías *et al.* (2005). En esta localidad la Formación Vaca Muerta presenta un espesor de aproximadamente 300 m y consiste en la alternancia rítmica de margas/lutitas y calizas. El límite inferior es concordante con la Formación Tordillo y representa una marcada superficie transgresiva, mientras que el límite superior se manifiesta como una progradación de facies carbonáticas más someras correspondientes a la Formación Chachao (e.g. Palma y Lanés 2001).

De acuerdo con la información bioestratigráfica basada en la fauna de amonites y

dentro del esquema de zonación propuesto por Riccardi *et al.* (1999), la Formación Vaca Muerta se extiende desde el Tithoniano temprano (*Z. Virgatosphinctes mendosanus*) hasta el Berriasiano tardío (*Z. Spiticeras damesi*), contrastando con localidades adyacentes como el río Salado y Bardas Blancas que de acuerdo con Leanza y Hugo (1977) y Doyle *et al.* (2005) se extienden hasta el Valanginiano temprano.

## METODOLOGÍA

El estudio descriptivo de la Formación Vaca Muerta se realizó a escala centimétrica, definiendo facies de acuerdo con las características litológicas, texturales, estructuras sedimentarias, geometría, contactos, contenido fósil y aspectos taxonómicos y reconociendo facies carbonáticas y siliciclásticas.

Las facies carbonáticas se definieron en el campo teniendo en cuenta la terminología de Dunham (1962) y fueron reforzadas a través de descripciones petrográficas sobre la base de cuarenta láminas delgadas, lo que permitió reconocer asociaciones microfaciales (cf. Flügel 2004) con características particulares y realizar una mejor interpretación paleoambiental y estratigráfica. Las descripciones petrográficas de las facies carbonáticas fueron realizadas teniendo en cuenta las clasificaciones de Wright (1992) y Strohmenger y Wirsing (1991), y para el caso de los niveles fosfatizados se utilizó la modificación de Trappe (2001). La estimación de porcentajes fue realizada por estimación óptica.

En las facies con abundantes radiolarios se utilizó la metodología propuesta por Kiessling (1996) para determinar intervalos paleobatimétricos y reforzar las interpretaciones paleoambientales. Por último, las faunas de amonites y bivalvos fueron determinadas por el Dr. A. Riccardi y la Dra. S. Damborenea de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad de La Plata, permitiendo una mejor caracterización temporal de la formación.

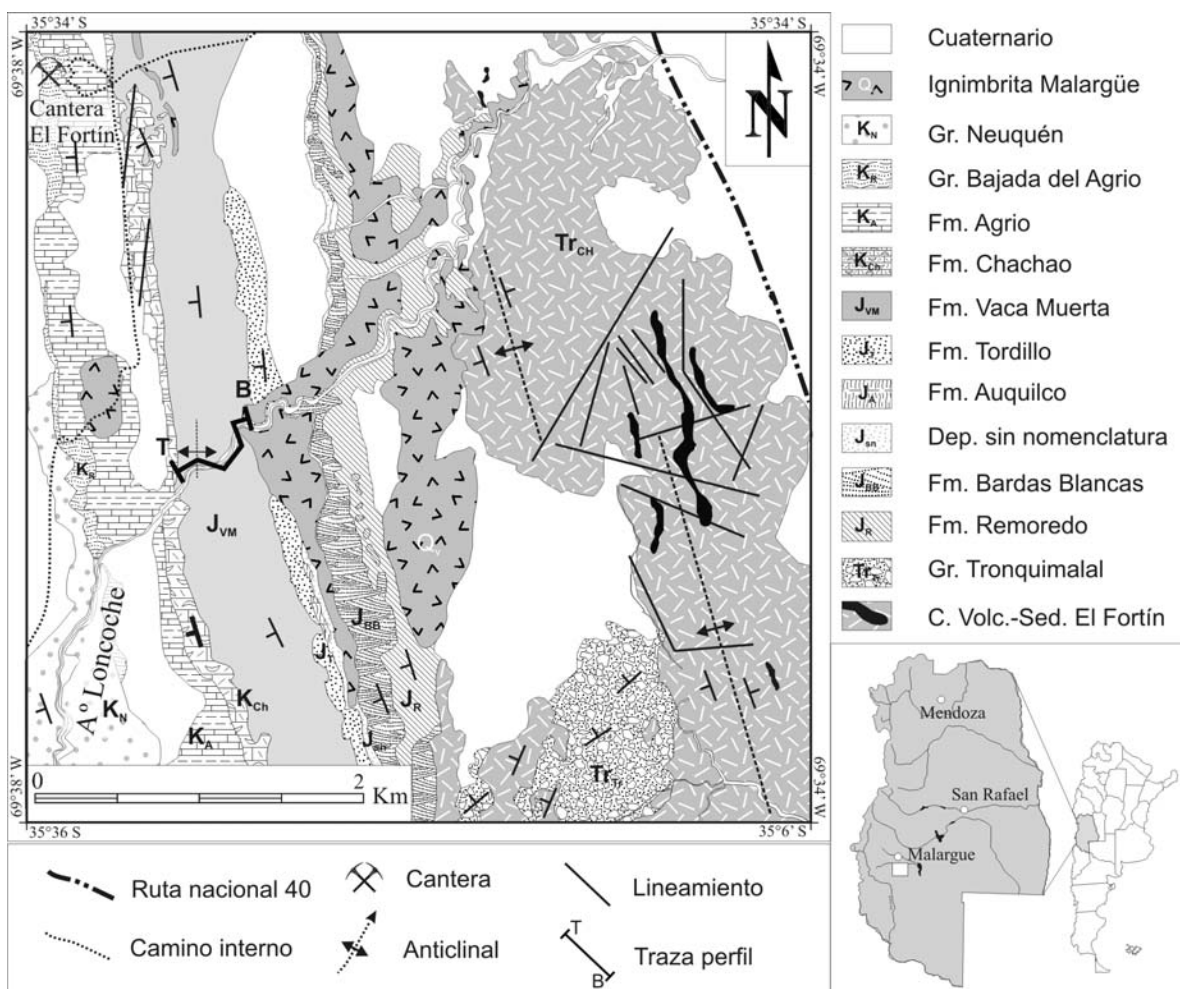


Figura 1: Mapa geológico y ubicación del área del arroyo Loncoche (modificado de Llambías *et al.* 2005).

## FACIES Y MICROFACIES

La Formación Vaca Muerta constituye un sistema de rampa mixta (e.g. Mitchum y Uliana 1986, Spalletti *et al.* 2000) y sus depósitos muestran una notable alternancia de intervalos de naturaleza carbonática y siliciclástica, conformando ciclos de lutitas/margas y calizas de diferentes órdenes y jerarquías, cuyos orígenes y controles se encuentran relacionados con cambios eustáticos y cambios climáticos asociados a variaciones de la órbita terrestre (Scasso *et al.* 2002, 2005, Concheyro *et al.* 2006, Kietzmann 2007). El conjunto de atributos estudiados y las características propias de la sucesión han permitido definir 12 litofacies y 8 microfacies, cuyas características se resumen en el cuadro 1. Estas fueron agrupadas a su

vez en 4 asociaciones de facies que caracterizan a los subambientes de cuenca, rampa externa distal, rampa externa proximal y rampa media distal (Figs. 4 y 5), cuyas características se resumen en el cuadro 2.

### Facies clásticas

A) *Litofacies de lutitas negras* (Fn): corresponde a arcilitas negras laminadas, ricas en materia orgánica, organizadas en paquetes de geometría tabular de arreglo homogéneo. Presentan contactos planos y netos, y sus espesores varían de 1 a 180 cm. La preservación de la fauna nectónica y bentónica es pobre a moderada. Se reconocen fragmentos de amonites y escasas escamas de composición fosfática, dispuestos paralelos a la estratificación.

Es común la presencia de cristales pseudomórficos de hematita según pirita, de hábito cúbico o en agregados esféricos. **Interpretación:** la excelente preservación de la laminación, la ausencia de actividad bentónica y su semejanza con los depósitos del Jurásico Tardío de Boulonnais, Francia (Wignall y Newton 2001), permiten interpretar la litofacies como producto de sedimentación por decantación en aguas estratificadas, por debajo del nivel de olas de tormenta y en condiciones deficientes de oxígeno, anóxicas a disóxicas. B) *Litofacies de lutitas castañas a grises* (F): corresponde a arcilitas laminadas, castañas o grises dispuestas en paquetes tabulares de espesores variables entre 2 y 220 cm. Contienen bivalvos infaunales someros, de tamaños milimétricos hasta 3 cm,

y subordinadamente bivalvos epifaunales reclinantes (ostreidos) en forma dispersa. La presencia de amonites es esporádica y éstos se encuentran preservados como moldes internos o impresiones.

**Interpretación:** la excelente laminación y contenido fosilífero indican un medio poco oxigenado, probablemente subóxico a disóxico, y representa sedimentación por decantación por debajo del nivel de olas de tormenta.

C) **Litofacies de margas** (Mg): corresponde a margas grises a castañas, con laminación mal definida. Los espesores oscilan entre 2 y 460 cm. Presenta una mayor diversidad de bivalvos epifaunales e infaunales someros (ostreidos y lucínidos), muchas veces en posición de vida, y en ocasiones serpúlidos (*Parsimonia* sp.).

**Interpretación:** la presencia de laminación permite inferir que la sedimentación por decantación fue coincidente con períodos de mayor productividad del sistema carbonático. Si bien poseen mayor contenido faunístico que las litofacies anteriores, la diversidad es baja y la fauna se encuentra dispersa, probablemente como consecuencia de condiciones disóxicas a subóxicas.

D) **Litofacies de limolitas** (L): corresponde a limolitas castaño claras con laminación horizontal y ondulítica. La geometría es tabular, con base y techo netos, y ocasionalmente bases levemente erosivas. Los espesores oscilan entre 10 y 20 cm. Contienen pequeños bivalvos de conchilla delgada, de no más de 1 cm, y niveles con abundantes escamas dispuestas paralelas a la laminación, además de briznas, y ocasionales fragmentos e improntas de amonites. La bioturbación es moderada a baja y dominan las trazas horizontales.

**Interpretación:** la presencia de laminación ondulítica en esta litofacies es poco conspicua, y estaría relacionada a la acción de corrientes tractivas. Su intercalación con lutitas negras permitiría interpretarlas como depósitos de turbiditas distales asociadas a tormenta (Aigner 1982, Seilacher y Aigner 1991). El escaso contenido faunístico, la abundancia de escamas fosfáticas y la escasa bioturba-

**CUADRO 1:** Litofacies, microfacies y procesos interpretados para la sección de la Formación Vaca Muerta en el arroyo Loncoche.

| Facies                     | Microfacies                               | Interpretación Microfacies   | Interpretación Facies   |
|----------------------------|---|--|---|
| Lutitas negras             | -   | -  | Decantación, condiciones anóxicas/subóxicas   |
| Lutitas grises             | -   | -  | Decantación, condiciones óxicas/subóxicas   |
| Margas                     | -   | -  |   |
| Limolitas                  | -   | -  | Turbiditas asociadas a tormentas, condiciones óxicas/subóxicas  |
| Dep. Piroclás. de caída    | -   | -  | Decantación, condiciones anóxicas/subóxicas   |
| M/W laminados              | W/P radiolaríticos                        | Decantación de organismos pelágicos  | Decantación durante períodos de alta productividad, disponibilidad de nutrientes y condiciones anóxicas a disóxicas. Bioclastos provenientes en suspensión, o de organismos pseudoplantónicos.  |
|                            | W radiolaríticos                          | Decantación de organismos pelágicos y fango alomicrítico                     |   |
| M/W bioclásticos laminados | W biomicríticos                           | Decantación de organismos y fango alomicrítico                               | Superposición de estadios con sedimentación por decantación bajo condiciones aeróbicas a disaeróbicas, y estadios de erosión y depositación de material alóctono transportado desde zonas más someras durante las tormentas, que a su vez permitiría la oxigenación del fondo y la colonización del sustrato. |
|                            | W biomicríticos con epistominas           | Decantación de organismos y fango alomicrítico, subóxico                     |   |
| M/W bioclásticos masivos   | Phos-P biopelmicríticos                   | Retrabajo de hardgrounds, fosfatización                                      | Decantación, bajo transporte lateral. Condiciones de sustrato blando y baja energía   |
|                            | W biomicríticos con espiculas de esponjas | Decantación en condiciones subóxicas. Sustrato fangoso                       |   |
| W bioclásticos masivos     | W biopelmicríticos                        | Alternancia de procesos decantación con material exportado durante tormentas | Decantación con influencia de corrientes unidireccionales o eventos episódicos de rápida depositación.  |
| M nodulares                | -   | -  | Procesos diagenéticos en estadios de baja tasa de sedimentación.  |
| F/P bioclásticos           | W/P biomicríticos                         | Tempestitas  | Concentraciones generadas por flujos turbulentos oscilatorios y unidireccionales, que permiten asociarla a episodios de tormentas.  |
| F/R                        | -   | -  | Procesos erosivos y acción combinada de flujos oscilatorios y unidireccionales, depósitos tempestíficos proximales desarrollados en el sector de la rampa media distal o rampa externa proximal.  |

Abreviaturas: M: mudstones. W: wackestones. P: packstones. Phos-P: phosclast packstones. F: floatstones. R: rudstones.

ción como la preservación de briznas indicarían bajos niveles de oxigenación y soterramiento rápido.

E) **Litofacies de depósitos piroclásticos de caída** (C): consiste en delgados niveles de tobas alteradas, de coloración naranja amarillenta a blanquecina, muy deleznales debido a su alteración a arcillas. Su espesor varía de 1 a 10 cm (espesor medio: 3 cm) y su aparición es esporádica.

**Interpretación:** la asociación con la facies de lutitas negras indica que la depositación tuvo lugar en condiciones de muy baja energía y bajo condiciones anóxicas/subóxicas que inhibieron el retra-

bajo de la fauna bentónica. La litofacies se interpreta como niveles piroclásticos de caída, proveniente del arco volcánico.

### Facies carbonáticas

F) **Litofacies mudstone/wackestones laminados** (M/Wl - Fig. 2a): consiste en mudstones o wackestones de color negro. Los espesores oscilan entre 2 y 60 cm, presentan bases y techos planos y netos. Los componentes esqueléticos consisten en ostreidos de valvas delgadas, inocerámidos tipo *flat clam*, amonites, escamas y fragmentos óseos milimétricos de peces,



dispuestos concordantes con la laminación. Aisladamente se encuentran gastrópodos bien conservados. Los bivalvos se encuentran como detrito muy fragmentado, o bien preservados. En este último caso aparecen desarticulados y dispuestos generalmente convexos hacia abajo, o como incrustantes en la zona umbilical (ambos lados) de las cochillas de amonites.

**Microfacies 1- wackestone/packstones radiolaríticos** (Fig. 3a): se compone de radiolarios, foraminíferos y bivalvos (80-90%) dispuestos en una matriz alomicrítica (10%) y abundante materia orgánica (5-10%, estimación óptica). Los radiolarios (80%) pertenecen a los órdenes Nassellaria y Spumellaria (índice N/S 0,4 a 0,86, excepcionalmente 0,1) están calcitizados, aunque preservan su estructura interna. Los foraminíferos (<5%) se encuentran recristalizados y corresponden a las formas trocoespiraladas bentónicas del género *Epistomina* (cf. Sagasti y Ballent 2002). Los bivalvos (5%) aparecen fragmentados, desarticulados y están representados por inocerámidos, ostreidos y bivalvos aragoníticos recristalizados.

**Microfacies 2 - wackestones radiolaríticos** (Fig. 3b): presenta una laminación conspicua y se compone de radiolarios, bivalvos y foraminíferos (20-40%) y peloides y partículas óseas (5-10%). El conjunto aparece inmerso en una matriz alomicrítica, recristalizada en parte a microesparita, y atravesada por suturas de disolución con diseño anastomosado. La fracción terrígena (5 - 8%) se compone de cuarzo, feldespatos y líticos volcánicos.

Los radiolarios (30-40%) incluyen nassellaridos y spumellaridos (N/S 0,1 - 0,66), con preservación pobre y totalmente calcitizados. Los bivalvos (5-8%) están desarticulados, fragmentados y concordantes con la laminación. Se han identificado inocerámidos, ostreidos y bivalvos recristalizados de composición original aragonítica. Los foraminíferos (*Epistomina* sp.) son escasos y se encuentran totalmente recristalizados.

Los peloides aparecen fosfatizados, y en algunos casos se pueden reconocer ca-

**CUADRO 2:** Resumen de las asociaciones de facies y su interpretación.

| Subambiente            | Facies y microfacies                                 | Interpretación   |
|------------------------|--|--|
| Cuenca                 | Fn, Mg, (L), (C), MWI (1 y 2)                        | Condiciones restringidas (anóxicas/subóxicas), sedimentación por decantación dentro de un subambiente de cuenca que pasa progresivamente a rampa externa distal.   |
| Rampa externa distal   | F, Mg, (L), MWbl (3, 4), MWbm (6), Mn                | Condiciones restringidas (subóxico). Patrón de sedimentación normal dominado por procesos de decantación e interrumpido episódicamente por tempestitas distales.   |
| Rampa externa proximal | F, Mg, MWbl (3, 4, 5), MWbm (6), Wbm (7), FP (8), Mn | Ambiente de energía baja a moderada con procesos de decantación por suspensión de material terrígeno, organismos planctónicos y plumas de suspensión, interrumpido por tempestitas distales y proximales.  |
| Rampa media distal     | F, Mg, Wbm (7), FP (8), Mn                           | Caracteriza un ambiente de energía moderada-alta con procesos de decantación por suspensión frecuentemente interrumpidos por eventos de tormenta, desarrollado por encima del nivel de base de olas de tormenta, pero dentro de una franja transicional con la rampa externa proximal. |

Abreviaturas: Fn: lutitas negras. F: lutitas grises. Mg: margas. (L): limonitas subordinadas. (C): depósitos piroclásticos subordinados. MWI (1 y 2): *mudstones/wackestones* laminados, microfacies 1 y 2. MWbl (3, 4): *mudstones/wackestones* bioclásticos laminados, microfacies 3, 4 y 5. MWbm (6): *mudstones/wackestones* bioclásticos masivos, microfacies 6. Wbm (7): *wackestones* bioclásticos masivos, microfacies 7. FP (8): *floatstones/packstones*, microfacies 8. Mn: *mudstones nodulares*.

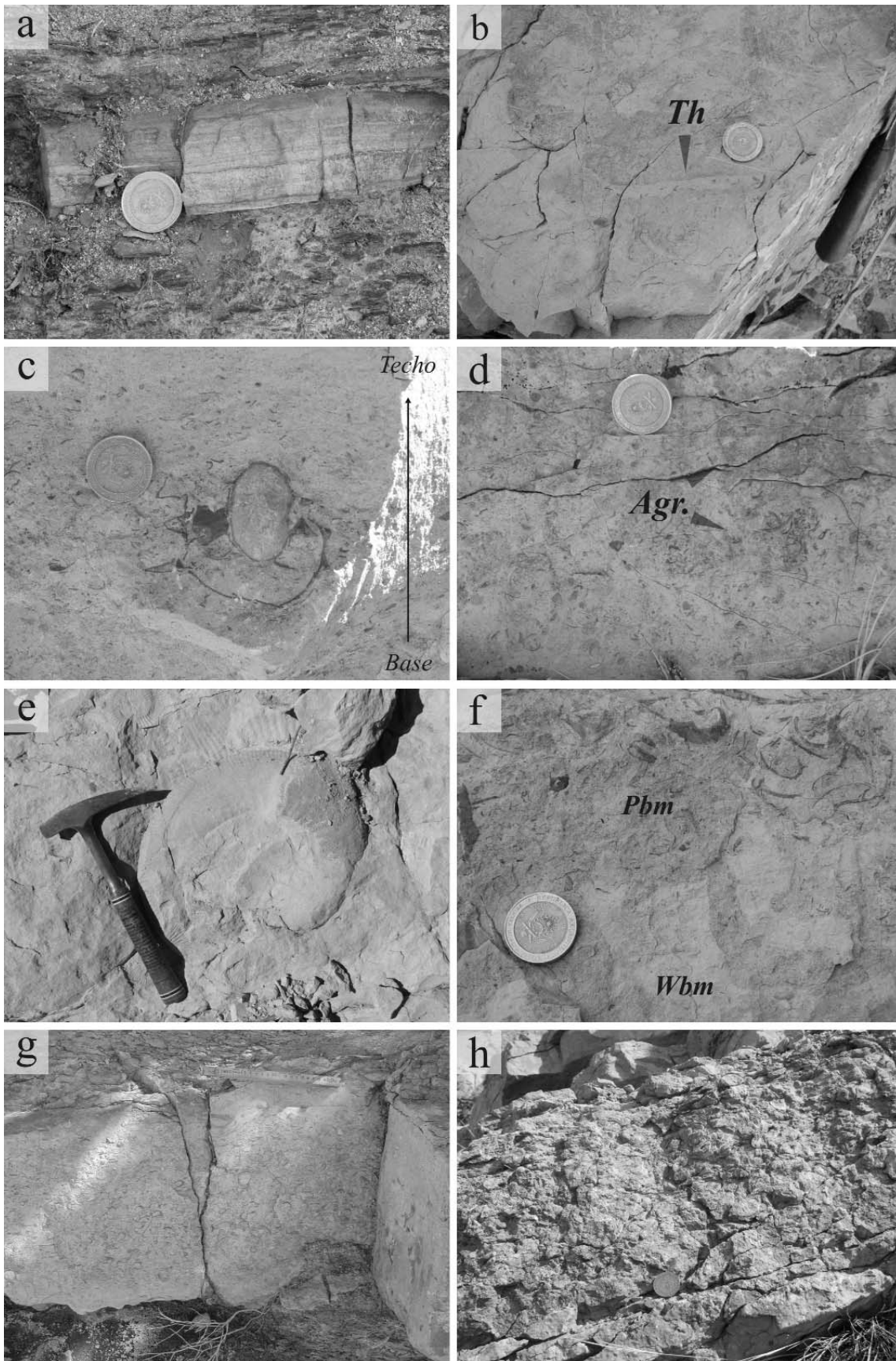
racterísticas de las partículas originales como equinodermos e intraclastos. Las partículas óseas son de aspecto acicular y anguloso. Entre las partículas terrígenas se destacan los líticos volcánicos, con texturas porfiricas y pilotácicas.

**Interpretación:** se interpreta como depósitos de baja energía producto de decantación en sectores de rampa externa distal y de cuenca, durante períodos de alta productividad y disponibilidad de nutrientes (Haas y Filácz 2004), y en condiciones de aguas estratificadas anóxicas a disóxicas (Bartolini *et al.* 1999). La disposición concordante y cóncava hacia arriba de las cochillas puede asociarse con depositación de detritos provenientes en suspensión (Kidwell y Bosence 1991) a partir de corrientes inducidas durante las tormentas. La alta proporción de radiolarios, materia orgánica y su similitud con las facies de *packstones* radiolaríticos descritos por Haas y Filácz (2004) para la sucesión Csóvár, en el Triásico de la cuenca Transdanubiana (Hungría), permitirían considerar a la microfacies 1 como niveles condensados. En cambio la microfacies 2 presenta mayor participación de matriz carbonática y una relación N/S de 0,1-0,66 que indicaría una profundidad menor y condiciones restringidas.

**G) Litofacies wackestones bioclásticos laminados** (Wbl - Fig. 2b): se encuentra formada por *wackestones* bioclásticos grises a castaños laminados, con espesores que oscilan entre 6 y 80 cm. Los capas presentan geometría tabular, bases netas y techos frecuentemente bioturbados y erosivos.

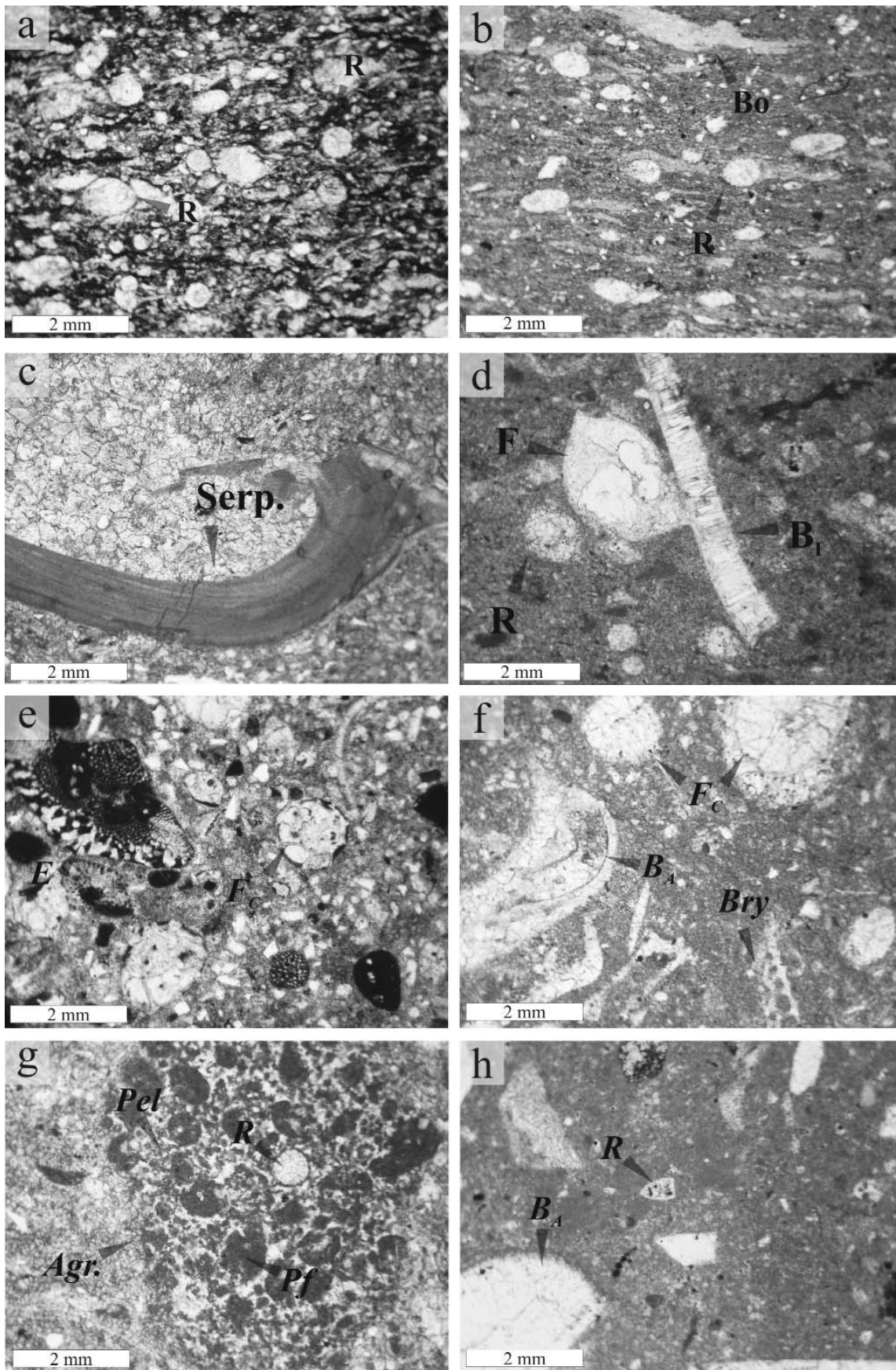
La fauna incluye amonites (fragmoconos y ápticos), ostreidos, lingúlidos y serpúlidos solitarios. Las cochillas de bivalvos presentan dos modas tafonómicas. La primera de ellas está representada por cochillas desarticuladas de ostreidos, bivalvos indeterminables y serpúlidos, con fragmentación moderada a alta y con signos de abrasión, que se disponen concordantes con la estratificación. La segunda moda está constituida por individuos articulados y bien preservados que consisten en ostreidos, lucínidos e inocerámidos, entre otros. Estos individuos no se encuentran en posición de vida, aunque por su buena preservación se puede considerarlos como autóctonos a parautoctonos.

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



**Figura 2:** Litofacies carbonáticas de la Formación Vaca Muerta en el arroyo Loncoche. a) *mudstone/wackestone* laminados. b) *mudstone/wackestone* bioclásticos laminados. *Th*: *Thalassinoides*. c-d) *mudstone/wackestone* bioclásticos masivos. c) aspecto general de la litofacies y presencia de amonites perpendiculares a la estratificación. d) aspecto general de la litofacies y presencia de agregados de partículas (*Agr.*). e) *wackestone* bioclásticos masivos. f) Contacto entre *wackestone* bioclásticos masivos y *packstone* bioclásticos. Se aprecia el contacto erosivo y trazas en galería. g-h) *floatstone/rudstone*.





**Figura 3:** Microfacies de la Formación Vaca Muerta en el arroyo Loncoche. a) *wackestones/packstones* radiolaríticos. b) *wackestones* radiolaríticos. c) *wackestones* biomicríticos con radiolarios. d) *wackestones* biomicríticos con epistominas. e) *phosclast-packstones* biopelmicríticos. f) *wackestones* biomicríticos con espículas de esponjas. g) *wackestones* biopelmicríticos con foraminíferos, pelecípodos, radiolarios, equinodermos y briozoos. h) Microfacies de la litofacies *wackestones*. i) *wackestones/packstones* biomicríticos. Referencias: R: radiolarios, F<sub>c</sub>: foraminíferos (*Epistomina*), Serp.: serpúlidos, B<sub>1</sub>: inocerámidos, B<sub>A</sub>: pelecípodos aragoníticos, BO: ostreídos, Pf: partículas fosfáticas, Pel: pellets, E: equinodermos, O: ostrácodos, Bry: briozoos, Agr.: agregados. Escala: 2 mm.





valvos de conchilla delgada (Flügel 2004). Las características de esta microfacies sugieren la alternancia de procesos de decantación de material en suspensión transportado por tormentas, erosión y retrabajo del sustrato previo, y etapas de calma y colonización de organismos oportunistas.

En la microfacies 5 la alta proporción de partículas de equinoideos, gastrópodos y serpúlidos, con signos de microbioerosión y alta fragmentación, así como los peloides fosfatizados, sugieren que las partículas fueron retrabajadas. Estos peloides pueden ser interpretados como *hardground-intraclast* (Flügel 2004) y reflejan fases repetitivas de erosión, incrustación, impregnación y acreción (Föllmi *et al.* 1991, Flügel 2004), desarrolladas durante intervalos de baja productividad del sistema carbonático, probablemente en asociación con cortos períodos de inundación y ahogo. Estas condiciones permitieron la interrupción del sistema y el aumento del *upwelling* favoreciendo la fosfogénesis (cf. Blomeier y Reijmer 1999). El retrabajo posterior a partir de corrientes generadas durante las tormentas permitió el transporte hacia zonas más profundas.

H) **Litofacies de mudstone/wackestones bioclásticos masivos** (MWbm - Fig. 2c-d): está representada por *mudstones* y *wackestones* castaño claro, con espesores que oscilan entre 4 y 65 cm. Sus bases y techos son netos y planos. En ocasiones, los techos de hallan bioturbados por *Thalassinoides*, *Rhizocorallium* y posiblemente *Palaeophycus tubularis* (Buatois y Mangano com. pers. 2006).

La fauna incluye amonites con fragmoconos de hasta 40 cm y abundantes ápticos del género *Laeviaphticus* de hasta 25 cm de largo, dispuestos en forma paralela a la estratificación, además de bivalvos, serpúlidos y braquiópodos dispersos. Los bivalvos están representados por ostreidos, arcoideos, y lucínidos, entre otros. Las valvas están bien preservadas, articuladas, o levemente desplazadas. Por su parte los braquiópodos corresponden principalmente a lingúlidos que presen-

tan conchillas mal preservadas.

**Microfacies 6 - wackestones biomicríticos con espículas de esponjas** (Fig. 3f): incluye a *wackestones* bien laminados con radiolarios, foraminíferos, bivalvos, gastrópodos, briozoos y espículas de esponjas (20 a 45 %), cuarzo, feldspatos y líticos volcánicos (2 a 12%). La matriz es de tipo peletoidal, de aspecto grumoso.

Los radiolarios (10%) pertenecen al orden Spumellaria y se encuentran totalmente calcitizados, en tanto que los foraminíferos corresponden a *Epistomina* sp. (10-20%) y aparecen recristalizados. Los bivalvos (5-10%) están desarticulados y/o fragmentados, y corresponden a individuos de valvas "filamentosas" y en menor proporción a ostreidos y bivalvos de composición aragonítica. Los gastrópodos presentan una conchilla de pared delgada y forma angulosa, y están rellenos por *pellets* similares a la matriz y cemento de calcita granular. En forma dispersa se observan espículas de esponjas monoaxonas y triaxonas calcitizadas, fragmentos fosfáticos óseos y placas de equinodermos fragmentadas.

**Interpretación:** la litofacies evidencia condiciones tranquilas de sedimentación por decantación y bajo transporte lateral. Entre las evidencias se incluyen una baja relación amonites/ápticos, la presencia de organismos bien preservados, la participación de radiolarios, y foraminíferos bentónicos autóctonos. La asociación de trazas mencionada (*Thalassinoides*, *Rhizocorallium* y *Palaeophycus*) puede asignarse a la icnofacies de *Cruziana* y representa condiciones de sustrato blando y baja energía (Myrrow 1995, Kim *et al.* 2002).

En la microfacies 6 (*wackestones* biomicríticos con espículas de esponjas) la abundancia relativa de radiolarios y foraminíferos bentónicos respecto de los bivalvos desarticulados indicaría una sedimentación dominada por decantación.

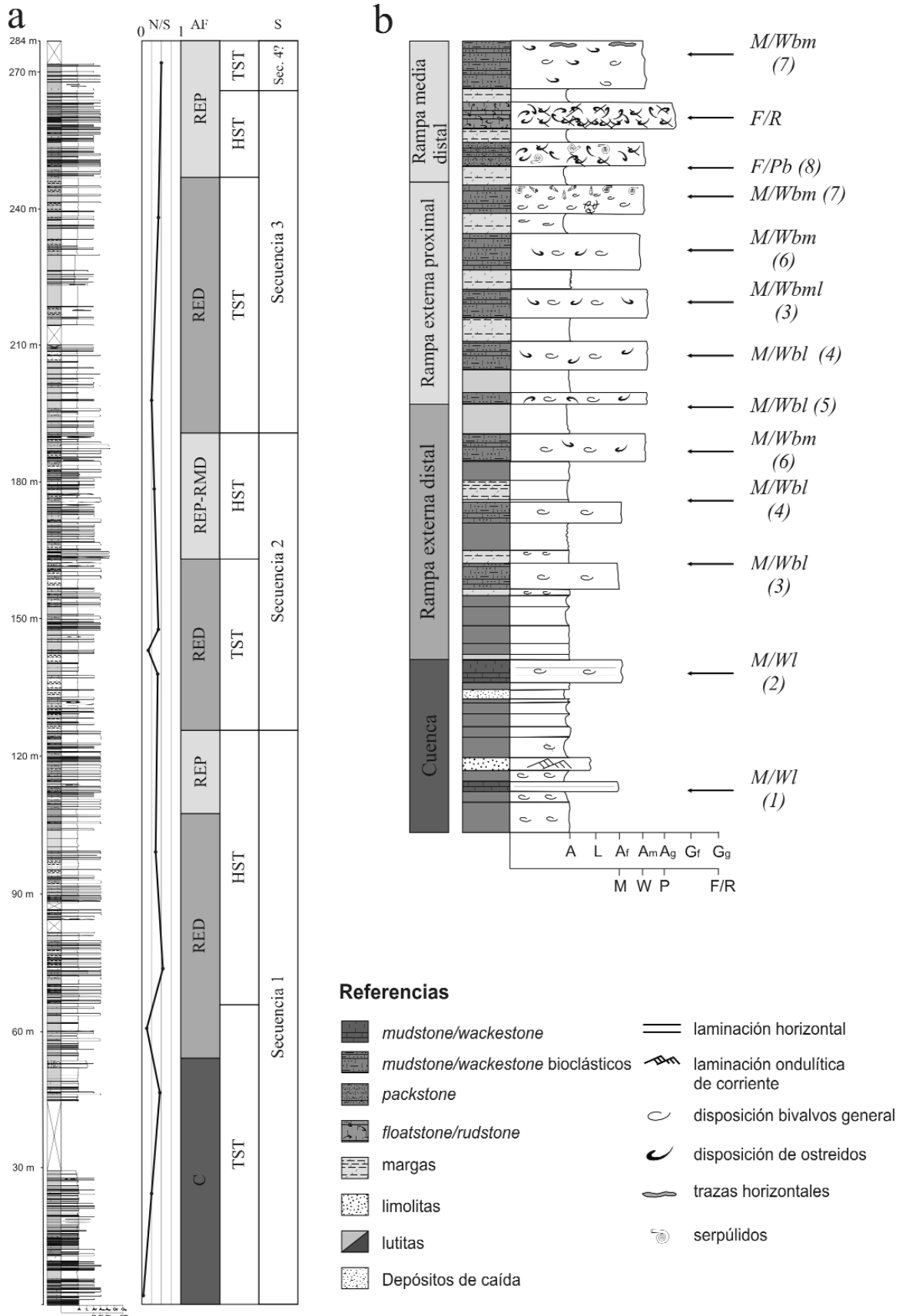
Los bivalvos y gastrópodos de valvas delgadas y foraminíferos epistomínidos caracterizan aguas profundas y condiciones de deficiencia de oxígeno, respectivamente (Flügel 2004, Sagasti y Ballent 2001). Las espículas monoaxonas y triaxonas

pueden ser asignada a esponjas hexactinélidas, características de sustratos fangosos y ambientes de aguas profundas deficientes en oxígeno (e.g. May 1995, Vishnevskaya *et al.* 2002).

La fábrica grumosa/peletoidal de la matriz sugiere la participación de bacterias heterótrofas, comunes en ambientes profundos, de baja energía, bajo aporte clásico y baja tasa de productividad carbonática (Sun y Wright 1989, Riding y Tomás 2006).

I) **Litofacies de wackestones bioclásticos masivos** (Wbm - Fig. 2c-d): está compuesta por *wackestones* bioclásticos de color castaño claro y cuyos espesores oscilan entre 10 y 50 cm (espesor medio: 30 cm). Presentan bases y techos planos y netos a levemente ondulados. La fauna incluye amonites, grifeidos, gastrópodos, serpúlidos y briozoos. Los amonites (10 cm) se disponen en forma paralela a la estratificación, a excepción de los individuos de formas globosas del género *Aspidoceras*, que se disponen en forma perpendicular. El resto de los bioclastos se presenta de dos formas distintas: a) Dispersos en la roca: bivalvos, desarticulados y muy fragmentados. Son concordantes y se disponen cóncavos o convexos hacia arriba. Los gastrópodos están bien preservados y se orientan con sus ápices hacia el sudoeste, mientras que los serpúlidos se encuentran enteros y con orientación aleatoria. Se observa a simple vista una importante cantidad de foraminíferos; b) Como agregados de empaquetamiento denso (*encrusted aggregate grains*): estos agregados se conforman por bivalvos de mayor tamaño, desarticulados, fragmentados y dispuestos al azar o perpendiculares a la estratificación, gastrópodos bien preservados, serpúlidos sin orientación y frecuentemente fragmentados, y un alto porcentaje de foraminíferos epistomínidos. En lámina delgada se observa que tanto las conchillas de los gastrópodos como los serpúlidos están rellenas por *pellets* y peloides fosfatizados.

**Microfacies 7 - wackestones biopelmicríticos** (Fig. 3g): está constituida por foraminíferos, bivalvos, gastrópodos, serpúlidos y



**Figura 5:** a) Perfil sedimentario de la Formación Vaca Muerta en el arroyo Loncoche. Se indica a la derecha los valores de la relación *Nassellarida/Spumellarida* (N/S), la distribución de las facies de cuenca, rampa externa distal y rampa externa proximal, cortesjes sedimentarios y secuencias deposicionales. b) Esquema idealizado de la distribución de facies y microfacies (no se encuentra a escala).



radiolarios (30 a 40%), peloides fosfatizados y fragmentos óseos (5 a 10%) y partículas terrígenas (cuarzo y feldespatos, 2 a 5%). La matriz es alomicrita, por sectores recristalizada, y con numerosas suturas de disolución. Los bivalvos se encuentran desarticulados y fragmentados, y están representados por ostreidos y otros de composición aragonítica. Los foraminíferos (*Epistomina* sp.) se encuentran recristalizados y dispuestos al azar. Los gastrópodos presentan una conchilla con forma globosa, rellena con pellets y peloides fosfatizados. Por su parte, los serpulidos se hallan generalmente fragmentados, bioerodados y en algunos casos presentan un relleno similar al de los gastrópodos. En tanto que los radiolarios están representados por spumelláridos calcitizados. Los peloides (*phosliothoclasts*) se encuentran en ocasiones formando agregados (*lumps*) junto con radiolarios, foraminíferos y *pellets*.

**Interpretación:** la disposición aleatoria de las valvas sugieren el control de corrientes unidireccionales o eventos episódicos de rápida depositación (Reboulet *et al.* 2003, Hips 2006). Asimismo, la presencia de *lumps* permite inferir la participación de flujos turbulentos y/o oscilatorios (Kidwell y Bosence 1991). En la microfacies asociada (*wackestones* biopelmicríticos) estos *lumps* están compuestos por *phosliothoclasts*, gastrópodos y serpulidos con relleno similar a la microfacies 5, por lo que se podría aceptar una proveniencia de áreas más someras. Por otro lado, la presencia de amonites dispuestos en forma perpendicular a la estratificación sugiere períodos de baja energía que permitieran el hundimiento y mantenimiento de la posición vertical por flotación de los fragmoconos hasta su soterramiento (Raup 1973). Esta disposición podría tener además implicancias paleobatimétricas que indicarían una profundidades máximas de entre 20 y 30 metros.

Estas características permiten comparar la litofacies con los depósitos distales asociados a tormentas, descritos por Hips (2006) en la Formación Gutenstein del Triásico Medio de Hungría o a los

mencionados por Simpson (1987) para la rampa carbonífera del sur de Gales.

J) **Litofacies de mudstones/wackestones nodulares** (MWn): esta litofacies puede ser considerada como una sublitofacies dentro de las litofacies de *wackestones* bioclásticos masivos/laminados, *mudstone/wackestones* bioclásticos masivos y *wackestones* bioclásticos masivos, sin embargo se la considera aparte debido a sus implicancias estratigráfico-diagenéticas. Aparece asociada con margas y se presenta como nódulos subsféricos de tamaños variables (tamaño medio: 25 cm de largo y 10 cm de ancho). No presenta fisuras, ni venas o superficies de disolución. Ocasionalmente los niveles nodulares pasan lateralmente a bancos con aspecto de *boudinage*.

**Interpretación:** la generación de los nódulos se debe probablemente a procesos diagenéticos de redistribución del carbonato de calcio disponible en las margas (cf. Fürsich 1982, Ricken y Eder 1991). Durante este proceso, la descomposición de la materia orgánica presente en las margas favorece la precipitación del carbonato de calcio en ambientes diagenéticos superficiales o de soterramiento somero (Ricken y Eder 1991). La ausencia de fisuras y venas, así como la generación de horizontes nodulares que lateralmente pueden coalescer dando el aspecto de *boudinage*, estaría relacionada a procesos de cementación progresiva durante la diagénesis temprana en períodos de baja tasa de sedimentación (Fürsich 1982).

K) **Litofacies de floatstones/packstones bioclásticos** (FPb - Fig. f): corresponde a facies de *floatstones* y *packstones* bioclásticos que se disponen en bancos tabulares de entre 15 a 30 cm, con bases netas irregulares y erosivas, y techos netos planos. Pueden presentarse masivos o con gradación normal y con un alto porcentaje de organismos articulados y otros con fragmentación intermedia. Los bioclastos presentan orientación variable, pero domina la tendencia general a la disposición concordante y cóncava hacia arriba. En algunos sectores, las valvas se disponen con orientación perpendicular o se en-

cuentran apiladas. En otros casos se observa gradación inversa y bioclastos con disposición aleatoria. Con bioclastos altamente desarticulados y fragmentados, e inmersos en una matriz bioclástica altamente fragmentada. Aparecen con contacto erosivo sobre *mudstones* y *wackestones* bioclásticos relleno galerías de *Thalassinoides paradoxicus*.

**Microfacies 8 - wackestones/packstones biomicrocríticos** (Fig. 3h): se compone de bivalvos, serpulidos, radiolarios y foraminíferos (50 a 70%), fragmentos óseos (5 a 10%) y partículas terrígenas (2 a 4%), inmersas en una matriz alomicrítica similar a las descritas previamente y atravesada por microfracturas rellenas de calcita granular. Los bivalvos están representados por ostreidos y bivalvos de composición aragonítica. Aparecen desarticulados, fragmentados, con microbioerosión y silicificadas. Los radiolarios corresponden al Orden Nassellaria y se encuentran totalmente calcitizados, en tanto que los foraminíferos son similares a los descritos previamente. Las partículas fosfáticas corresponden a fragmentos óseos muchas veces aciculares, microbioerodados y parcialmente silicificados.

**Interpretación:** esta litofacies se desarrolló en el ambiente de rampa media a rampa externa. La gradación, como la fragmentación, articulación y distribución de las conchillas, sugieren que las concentraciones fueron generadas bajo condiciones de flujos turbulentos (Speyers y Brett 1988) oscilatorios y unidireccionales, por lo que es posible asociarla a episodios de tormentas (Simpson 1987, Bádenas y Aurell 2001). La disposición concordante cóncava hacia arriba se puede asociar con redepositación por suspensión a partir de corrientes de retorno de tormenta y/o pérdida de competencia de flujos altamente cargados en sedimentos, mientras que las disposiciones perpendiculares o apiladas sugieren la acción del oleaje o el aumento de la fricción con el sustrato (Kidwell y Bosence 1991). Sin embargo, cuando se observa un mayor grado de desarticulación, fragmentación y disposición aleatoria de los bioclastos,

es posible inferir que la depositación fue rápida, la fricción con el sustrato alta (Futterer 1978), o que ocurrió a partir de flujos turbulentos asociados a eventos de tormenta (Simpson 1987, Kidwell 1991). Su asociación con facies de *mudstones* y *wackestones* con *Thalassinoides paradoxicus* indica que la depositación ocurrió en sectores de la rampa afectados por condiciones de baja tasa de sedimentación (Myrow 1995).

L) **Litofacies de floatstone/rudstones** (F/R - Fig. 2g-h): corresponde a *floatstones* y *rudstones* bioclásticos, que se disponen en bancos de entre 20 a 40 cm, de geometría tabular, con bases netas irregulares y erosivas, y techos netos planos a irregulares. Presenta fábrica bioclasto-sostén y empaquetamiento denso. Está compuesta por una alta proporción de grifeidos, amonites, serpúlidos, belemnites y nautiloideos dispersos. El grado de articulación es alto y la distribución es aleatoria. Los grifeidos presentan en algunos casos evidencias de microbioerosión e incrustaciones de *Parsimonia* sp. Los fragmoconos de amonites se encuentran imbricados advirtiéndose cierto grado de orientación preferencial. Asociado a estas facies se han encontrado restos de ictiosaurios re-trabajados (vértebras, maxilares y huesos de las extremidades).

**Interpretación:** la disposición de las valvas de los grifeidos y de los fragmoconos de amonites indica la participación de procesos erosivos y la acción combinada de flujos oscilatorios y unidireccionales, que permitieron el re-trabajo repetitivo durante los episodios de tormenta. La fragmentación de las conchillas es producto del impacto ente ellas, y su distribución aleatoria, es coincidente con rasgos característicos de zonas turbulentas (Speyers y Brett 1988). La escasa presencia de valvas incrustadas y bioerodadas estaría indicando períodos relativamente cortos de exposición en la interfase agua-sedimento, aunque también se podría relacionar con ambientes de condiciones estresadas. El grado de articulación, fragmentación, y el tipo de fábrica pueden ser utilizados como índices de transporte

y permiten interpretar la litofacies como depósitos tempestíticos proximales des-arrrollados en el sector de la rampa media distal o rampa externa proximal (cf. Specht y Brenner 1979, Aigner 1982, Simpson 1987, Bádenas y Aurell 2001).

## AMBIENTE SEDIMENTARIO DE LA FORMACIÓN VACA MUERTA

El análisis de facies en la sección del arroyo Loncoche permitió identificar los subambientes de cuenca, rampa externa y rampa media, similares a los mencionados por Mitchum y Uliana (1986), Spalletti *et al.* (2000), Scasso *et al.* (2002, 2005) y Doyle *et al.* (2005), entre otros. Sin embargo, el detallado análisis microfacial permitió diferenciar una mayor diversidad de procesos sedimentarios, no identificables macroscópicamente, por lo que se pudo discriminar entre la rampa externa proximal y distal (Fig. 4).

### Comparación con microfacies tipo

El modelo microfacial presentado por Wilson (1975) para plataformas de margen definido y aguas cálidas generó el concepto de *standard microfacies types* (SMF), que se basan en criterios simples y semicuantitativos, y son de gran utilidad en reconstrucciones paleoambientales e interpretaciones secuenciales. Sin embargo, para una morfología de rampa, las SMF de Wilson (1975) presentan ciertas variaciones debido al control que ejerce el transporte durante las tormentas, el crecimiento de *mounds* y la dependencia batimétrica de los organismos bentónicos (Schlager 2002, Flügel 2004). De este modo, Flügel (2004) propuso las *ramp microfacies types* (RMF) comparables en algunos casos con las SMF. Si bien las RMF no poseen el carácter estándar de las SMF, su utilización permite la caracterización de cinturones de facies y superficies de valor estratigráfico difícilmente reconocibles macroscópicamente en este tipo de ambiente.

De acuerdo con las microfacies definidas

en este trabajo, las microfacies 1 y 2 (*wackestones/packstones* y *wackestones* radiolaríticos) serían equivalentes en composición y posición a la RMF 5 (*mudstones/wackestones* pelágicos, SMF 3) y su diferenciación permitió establecer una relación de proximalidad-distalidad dentro de la rampa externa. La microfacies 3 (*wackestones* biomicríticos) y la microfacies 4 (*wackestones* biomicríticos con epistominas) se pueden considerar como equivalentes a la RMF 3 (*wackestones* bioclasticos bioturbados, SMF 8), pero la microfacies 4 caracteriza períodos de estrés ambiental. La microfacies 5 (*phosclast-packstones* biopelmicríticos) equivale a las RMF 7 u 8 (*packstones* bioclásticos y *packstones* bioturbados, SMF 12), que representa superficies de inundación y ahogo, la microfacies 6 (*wackestones* biomicríticos con espículas de esponjas) a la RMF 1 (calcilomilitas y *mudstones* espiculíticos). Finalmente, la microfacies 7 (*wackestones* biopelmicríticos) es equivalente a las RMF 4 (*wackestones* peloidales, SMF 2), mientras que la microfacies 8 (*wackestones/packstones* biomicríticos) sería equivalente en posición a la RMF 6 (*grainstones* bioclásticos peloidales) (Fig. 4).

De acuerdo con la propuesta de Flügel (2004), el subambiente de rampa externa presenta las RMF 1 a 6 (ocasionalmente 9, 10, 11), el de rampa media las RMF 7 a 12 (ocasionalmente 2, 3, y 5) y la rampa interna las RMF 13 a 30.

### Asociación de facies de cuenca

Están caracterizadas por la alternancia de lutitas negras y margas con *mudstone/wackestones* laminados (microfacies 1 y 2: *mudstones* y *wackestones* radiolaríticos) y esporádicamente bancos delgados de limolitas y depósitos piroclásticos de caída (Figs. 4 y 5).

Se encuentra bien representada en la base de la sucesión (Fig. 5a) y posee un carácter rítmico definido que se torna difuso en algunos tramos. Caracteriza un ambiente de baja energía, dominando los procesos de decantación, a partir de suspensión de material terrígeno y organis-



mos planctónicos, e interrumpido episódicamente por plumas de suspensión y flujos tempestícos distales que aportaron limo y fango alomicrítico. La diversidad de la fauna es reducida y está caracterizada principalmente por abundantes radiolarios, foraminíferos, amonites, y escasos pelecípodos, que indicarían condiciones deficientes de oxígeno, probablemente relacionadas a una zona de surgencia que contribuyó a la reducción de la profundidad de la zona de oxígeno mínimo.

La alternancia de *mudstones/wackestones* laminados y lutitas negras, y la presencia de abundantes radiolarios sugieren que la sedimentación fue por decantación en sectores distales, y permitiría inferir una zona de sedimentación hemipelágica. Teniendo en cuenta las evidencias mencionadas por Wignall y Newton (2001) y Galeotti *et al.* (2003), quienes estudiaron las sucesiones del Jurásico Tardío del norte de Francia y del Cretácico medio del centro de Italia, las facies de cuenca se habría depositado bajo condiciones de poca profundidad. De acuerdo a Erbacher *et al.* (1996) este tipo de asociación caracteriza ambientes con alto influjo de detritos orgánicos o que se encuentran relacionados a un alto influjo de nutrientes y una alta tasa de productividad en las aguas superficiales, promoviendo la expansión de la zona de oxígeno mínimo. Los bancos de limolitas representan eventos episódicos, tempestitas distales, en períodos donde la sedimentación silicoclástica se vio favorecida, mientras que los niveles piroclásticos de caída corresponden a períodos de actividad del arco volcánico andino que permitieron la decantación de material piroclástico en sectores distales.

#### Asociación de facies de rampa externa

La rampa externa distal se caracteriza por la alternancia de lutitas castañas a grises, margas y limolitas, con, *mudstone/wackestones* bioclásticos masivos/laminados (microfacies 3 y 4: *wackestones* biomicríticos y *wackestones* biomicríticos con epistomi-

nas) y *mudstone/wackestones* bioclásticos masivos (microfacies 6: *wackestones* biomicríticos con espículas de esponjas).

Esta facies representa un ambiente dominado por procesos de decantación de material terrígeno y organismos planctónicos, bajo condiciones marinas relativamente abiertas, de baja energía y pobre oxigenación, interrumpido episódicamente por flujos tempestícos con características distales. La diversidad de la fauna autóctona es reducida y está caracterizada principalmente por radiolarios, foraminíferos y algunos bivalvos y braquiópodos. Entre los organismos alóctonos se registraron gastrópodos, equinodermos, serpulidos, pelecípodos, foraminíferos, briozoos y amonites.

La alternancia de *mudstones* y *wackestones* bioclásticos masivos y laminados sugiere que el patrón de sedimentación normal en este ambiente está dominado por procesos de decantación a partir de organismos planctónicos y fango alomicrítico exportado desde zonas más someras durante estadios de alta productividad, y fango siliciclástico durante los estadios de mayor aporte terrígeno. La notable ritmicidad y una alta tasa de sedimentación estarían relacionadas a la productividad del ambiente y al arribo de sedimentos a partir de plumas de suspensión.

La rampa externa proximal se caracteriza por la alternancia de lutitas castañas a grises, margas y limolitas con *mudstone/wackestones* bioclásticos masivos/laminados (microfacies 3, 4 y 5: *wackestones* biomicríticos, *wackestones* biomicríticos con epistominas y *phosclast-packstones* biopelmicríticos), *mudstone/wackestones* bioclásticos masivos (microfacies 6: *wackestones* biomicríticos con espículas de esponjas), *wackestones* bioclásticos masivos (microfacies 7: *wackestones* biopelmicríticos) y en forma dispersa *floatstones/packstones* bioclásticos (microfacies 8: *wackestones/packstones* biomicríticos).

Esta facies caracteriza un ambiente de energía baja a moderada con procesos de decantación por suspensión de material terrígeno, organismos planctónicos y plumas de suspensión, frecuentemente

interrumpido por eventos tempestícos distales y proximales, en zonas cercanas al nivel de base de olas de tormenta.

La diversidad de la fauna autóctona es reducida y está caracterizada principalmente por radiolarios, foraminíferos y bivalvos, entre los que se destaca *Aetostreon* sp. y bivalvos de valvas "filamentosas". Asimismo se registran braquiópodos representados por *Lingularia* sp. y *Discinisca* sp. Entre los organismos alóctonos se registran gastrópodos, equinodermos, serpulidos, otros bivalvos, briozoos, foraminíferos y amonites.

La participación de *packstones* y *floatstones* bioclásticos masivos interrumpiendo el patrón de sedimentación que poseían las facies de rampa externa distal ha permitido realizar una discriminación cualitativa respecto de la proximalidad de estas facies, ya que revelan un incremento en los procesos de exportación. Si bien esta situación puede deberse simplemente a causas climáticas, el resultado final resulta en la progradación de la rampa debido, probablemente a variaciones en la pendiente de la misma.

#### Asociación de facies de rampa media distal

Las facies de rampa media distal están representadas por la alternancia de lutitas castañas y grises y margas, con *wackestones* bioclásticos masivos (microfacies 7: *wackestones* biopelmicríticos), *floatstones/packstones* bioclásticos masivos (microfacies 8: *wackestones/packstones* biomicríticos), y *floatstone/rudstones* (Figs. 4 y 5).

La rampa media distal caracteriza un ambiente de energía moderada-alta con procesos de decantación por suspensión frecuentemente interrumpidos por eventos de tormenta, que se habría desarrollado por encima del nivel de base de olas de tormenta, pero dentro de una franja transicional con la rampa externa proximal. Sin embargo, la discriminación entre ambos subambientes se debe al incremento en la participación de procesos erosivos y de retrabajo por flujos oscilatorios y unidireccionales, así como el aumento de ca-

racterísticas tales como microbioerosión e incrustación.

La fauna autóctona es reducida y está caracterizada principalmente por ostreoides, entre los que se destaca *Aetostreon* sp., pero se reconocen a su vez otros organismos, como belemnites y nautiloideos, que estaban ausentes en los sectores más distales.

### Paleobatimetría

Sobre la base del análisis sismoestratigráfico Mitchum y Uliana (1986) estimaron en el norte de Neuquén una profundidad mínima de 150 a 200 m para los depósitos del Tithoniano temprano y medio, y de 250 m para los depósitos del Tithoniano tardío y Berriasiano, mientras que, Leanza y Zeiss (1990) sugirieron una profundidad de entre 30 y 50 m para los depósitos neuquinos del Miembro Los Catutos, debido a la presencia de peces, tortugas, e ictiosaurios (Scasso *et al.* 2002).

En el caso del arroyo Loncoche la distribución de la fauna muestra una tendencia a un aumento del tamaño y la abundancia de los fragmoconos y ápticos de amonites, y aparecen elementos como belemnites, nautiloideos y restos de reptiles marinos, a medida que la sucesión se someriza. Y por otro lado, la disposición vertical de los fragmoconos de los amonites aspidocerátidos podría estar indicando profundidades máximas de hasta 20 o 30 metros para el sector de la rampa externa proximal (Raup 1973).

En las facies con abundantes radiolarios (*mudstones/wackestones* laminados y *wackestones* bioclasticos masivos/laminados) se utilizaron las relaciones entre radiolarios nassellaridos y spumellaridos (índice N/S) siguiendo la metodología propuesta por Kiessling (1996) para determinar intervalos paleobatimétricos y reforzar las interpretaciones paleoambientales. De acuerdo con Kiessling (1996) una relación N/S entre 0 y 1 corresponde a un intervalo batimétrico de entre 0 y 200 m. Los valores menores a 1 caracterizan el subambiente de rampa externa y talud, y

los valores se incrementan con la distancia a la costa. Por último, los valores menores de 0,5 son indicativos de ambientes con condiciones restringidas.

Tradicionalmente se asume que los spumellaridos son más abundantes en aguas someras, mientras que los nassellaridos se vuelven dominantes con el incremento de la profundidad y condiciones de mar abierto (Bartolini *et al.* 1999). Pero bajo condiciones restringidas la relación N/S puede ser explicada por cambios en la productividad en la superficie del agua asociados al incremento de la movilización y aporte de nutrientes, como en las zonas de *upwelling* (Kiessling 1996, Bartolini *et al.* 1999).

En el caso de las microfacies 1 y 2, se calcularon relaciones N/S que varían entre 0,4 y 0,86, y valores extremos de 0,1, que permitieron estimar profundidades menores a los 200 m, caracterizar el ambiente de rampa externa e identificar períodos de mayor restricción de oxígeno (Fig. 5). Por otra parte, la acumulación de radiolarios junto con partículas esqueletales carbonáticas indica que la depositación se produjo por encima de la línea de compensación del carbonato de calcio. En el caso de las microfacies 3 y 4, los valores del índice N/S se encuentran alrededor de 0,6, lo que indicaría profundidades menores, y valores extremos de 0,1, que indicarían condiciones más restringidas.

Se puede concluir entonces, que la profundidad máxima en el subambiente de cuenca no supera los 200 m (Kiessling 1996) y que la profundidad en el sector de la rampa externa varía desde unos 20 a 30 m (Raup 1973) hasta aproximadamente 100 a 150 m (Kiessling 1996).

### Consideraciones sobre la dinámica y el contexto sedimentario

Las características de la sucesión sedimentaria permiten considerar que la plataforma externa estuvo influenciada por procesos de tormenta, coincidiendo con la interpretación de Spalletti *et al.* (2000) para el sur de Neuquén. El contexto sedimentario representa un ambiente general

de baja energía con períodos de alto y bajo influjo de sedimentos terrígenos. El importante espesor que presenta la sucesión permite deducir que la tasa de subsidencia o el aumento relativo del nivel del mar era similar a la tasa de sedimentación, generando agradación o progradación limitada. De este modo la plataforma presenta un perfil suave con un bajo gradiente topográfico, favoreciendo que las acumulaciones bioclasticas en la rampa media sean significativamente altas (Einsele 2000) y el retrabajo repetitivo por acción de tormentas resulte en una pronunciada amalgamación en el sector inferior de la rampa media. En contraposición, en la rampa externa dominan procesos de redepositación representados por tempestitas distales y proximales (cf. Bádenas y Aurell 2001) y procesos de erosión que exponen los depósitos repetitivamente generando sustratos con características de *firmgrounds* y *hardgrounds*.

Es interesante tener en cuenta que las plumas de suspensión pueden ser inducidas por tormentas. Asimismo, en las áreas distales las trazas en galería son exhumadas y rellenadas con sedimentos acarreados por la tormenta, generando sustratos más gruesos y firmes que atraen organismos como ostreoides, braquiópodos y crinoideos (Einsele 2000) (Fig. 2f).

La progradación del sistema estaría controlada principalmente por las variaciones en el influjo clástico y de la productividad del sistema carbonático, y en última instancia por cambios relativos del nivel del mar. Durante los estadios de baja productividad y alto influjo clástico dominan las facies de cuenca y rampa externa distal, en tanto que en los estadios de alta productividad y bajo influjo clástico el sistema prograda instaurándose los ambientes de rampa externa proximal y rampa media distal. Este modelo, combinado con una zona de surgencia que contribuye con aguas frías y ricas en nutrientes, permitió la instalación de una zona de oxígeno mínimo en el margen de la plataforma (Spalletti *et al.* 2000), generando condiciones de anoxia/disoxia, debi-



do a que la demanda de oxígeno es mayor al aporte de las aguas superficiales. De acuerdo con Scasso *et al.* (2002), durante el Tithoniano el nivel del mar elevado debió permitir una buena comunicación de la cuenca con el Océano Pacífico, de manera que la surgencia podría haber tenido efecto en un contexto paleoceanográfico de giros secundarios que se vuelcan sobre el continente al desprenderse de una corriente marina principal. La alta disponibilidad de nutrientes incrementaría la productividad en las aguas superficiales permitiendo la acumulación de sedimentos silíceos, típicos de ambientes pelágicos, en zonas menos profundas (Einsele 2000). Por otra parte, la importante disponibilidad de fosfato habría permitido la fosfogénesis de los niveles asociados a las superficies de inundación (microfacies 7: *wackestones biopelmicríticos*), que luego habrían sido retrabajados y transportados hacia la rampa externa.

## ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL

Si bien los estudios secuenciales requieren del análisis tridimensional que sólo puede ser logrado mediante la comparación de secciones de diferentes localidades, el análisis detallado de facies y microfacies ha permitido reconocer tres ciclos transgresivo-regresivos que pueden considerarse como secuencias depositacionales (Fig. 5A). La asignación de estos ciclos a secuencias depositacionales es coincidente con las observaciones sismoestratigráficas realizadas por Mitchum y Uliana (1986) y Legarreta y Uliana (1991) en el área de la laguna de Llancanelo.

La primera secuencia depositacional se compone por la facies de cuenca y rampa externa distal, y presenta una tendencia inicial de profundización o retrogradación que progresivamente se vuelve progradante. Tiene un espesor de 124 m y se extiende desde la Zona de *Virgatosphinctes mendozanus* hasta la base de la Zona de *Corongoceras alternans*.

La segunda y tercer secuencia están com-

puestas por facies de rampa externa distal y proximal, e incluso rampa media distal, con un patrón agradante-progradante. La secuencia 2 tiene un espesor de 66 m y se encuentra en la Zona de *Corongoceras alternans*. La secuencia 3 tiene un espesor de 78 m y abarca las zonas de *Substeneroceras koeneni* y *Spiticeras damesi*.

Los últimos 16 m se encuentran dentro de la Zona *Spiticeras damesi* y poseen, de acuerdo con la distribución vertical de facies y microfacies, una tendencia de profundización que podría estar representando el cortejo transgresivo de una cuarta secuencia. Sin embargo el último tramo se encuentra cubierto, impidiendo la verificación de esta conclusión.

Si bien no existen límites de secuencia irrefutables, las tres secuencias son distinguibles a partir del patrón de apilamiento y por la superposición de los subambientes. De acuerdo con Mitchum y Uliana (1986) y Legarreta y Uliana (1996) este tipo de límite puede ser considerado en términos de regresiones forzadas.

La microfacies 7 (*phosclast-packstones* biopelmicríticos con equinodermos) aparece como niveles discretos en las facies de rampa externa distal correspondientes al Tithoniano medio (*Z. Windhausenicerias internispinosum*) y representa niveles de condensación y retrabajo asociados al cortejo transgresivo (TST), similares a los descritos por Blomeier y Reijmer (1999) para la plataforma de Jbel Bou Dahar del Jurásico Temprano de Marruecos.

Por otro lado, la litofacies de *mudstone* / *wackestones* bioclásticos masivos presenta fauna autóctona relativamente somera y techos intensamente bioturbados, indicando la reducción de la sedimentación. Se desarrolla invariablemente previo a la superficie de inundación, de manera que debido a su ubicación estaría representando superficies de omisión asociadas al "ahogo" de la plataforma, y representaría el tope de secuencia (Fig. 5B).

La Formación Chachao (sensu Leanza *et al.* 1977) comprende una sucesión de calizas bioclásticas de rampa interna somera (Palma y Lanés 2001) y el contacto con la Formación Vaca Muerta es concordante.

Sin embargo, los últimos metros de la Formación Vaca Muerta registran un ordenamiento de facies que indica la profundización de la rampa, de manera que este contacto representa una dislocación de facies que puede ser interpretada como una regresión forzada de primer orden y se relacionaría con la caída del nivel del mar ocurrida en el Berriasiano tardío (Mitchum y Uliana 1986).

Por último, cabe destacar que, como indican Mitchum y Uliana (1986), la rampa carbonática berriasiana presenta un pequeño incremento de ángulo de la rampa externa, permitiendo el aumento de los procesos de transporte y la progradación del sistema. De este modo se puede diferenciar un sistema tithoniano de rampa homoclinal de bajo gradiente topográfico y un sistema berriasiano de rampa homoclinal de mayor gradiente o probablemente de rampa distalmente profundizada. El control para este pasaje de un sistema a otro debe ser asociado a cambios eustáticos, climáticos o tectónicos, ya que la fauna constituye una asociación de tipo heterozoan (sensu James 1997) y no presenta variaciones específicas significativas como para atribuir el pasaje a cambios en la actividad biótica.

## CONCLUSIONES

La Formación Vaca Muerta en la sección del arroyo Loncoche está conformada por la alternancia de capas carbonáticas y siliciclásticas y se extiende temporalmente desde el Tithoniano temprano (*Z. Virgatosphinctes mendozanus*) hasta el Berriasiano tardío (*Z. Spiticeras damesi*).

El análisis detallado de facies y microfacies ha permitido definir cuatro asociaciones de facies que caracterizan a los subambientes de cuenca, rampa externa distal, rampa externa proximal y rampa media distal. En tanto que el patrón de apilamiento y distribución vertical de los subambientes ha permitido reconocer al menos tres secuencias depositacionales. La microfacies 5 (*phosclast-packstones* biopelmicríticos) aparece como niveles discretos en el Tithoniano medio (*Z. Wind-*

*hausenicerias internispinosum*) y representa niveles de condensación y retrabajo asociados al cortejo transgresivo (TST).

La litofacies de *mudstone/wackestones* bioclásticos masivos se interpretó como superficies de omisión asociadas al ahogo de la plataforma y representa el tope de secuencia.

La utilización de la relación de radiolarios como indicador paleobatimétrico permitió estimar profundidades menores a los 200 m y caracterizar el ambiente de rampa externa y condiciones de restricción de oxígeno.

Por último, se puede diferenciar un sistema tithoniano de rampa homoclinal de bajo gradiente y un sistema berriasiano de mayor pendiente, cuyo control debe ser asociado a cambios eustáticos, climáticos o tectónicos.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio contó con el apoyo financiero de los proyectos UBACyT X-133 y PIP 5142 (CONICET). Se desea agradecer a A. Riccardi y a S. Damborenea, de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad de La Plata, quienes amablemente determinaron las muestras de amonites y bivalvos, respectivamente; A. L. Buatois y a M. G. Mángano de la Universidad de Saskatchewan (Canadá) por sus opiniones sobre las trazas. Por último se agradecen los aportes y sugerencias realizados por los árbitros M. Tunik y R. Scasso, así como las sugerencias de la editora L. Giambiagi.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Aigner, T. 1982. Calcareous tempestites: storm-dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones (Middle Trias, SW-Germany). En Einsele, G y Seilacher, A. (eds.) *Cyclic and Event Stratification*, Springer Verlag, 180-195, Berlin.

Aigner, T. 1985. Storm depositional systems. Dynamic stratigraphy on modern and ancient shallow-marine sequences. *Lecture Notes in Earth Science* 3: 174.

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(1-3): 43-60.

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.

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, Actas: 218, Córdoba.

Crame, J.A. y Nelly, R.A. 1995. Composition and Distribution of the Inoceramid Bivalve Genus *Anopaea*. *Paleontology* 38: 87-103.

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 Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.) *The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*, Geological Society, Special Publications 252: 185-206, London.

Dunham, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologist, Memoir* 1: 108-121.

Einsele, G. 2000. *Sedimentary Basin, Evolution, Facies, and Sediment Budget*. Springer Verlag, 543-560, Berlin-Heidelberg.

Erbacher, J., Thurow, J. y Littke, R. 1996. Evolution patterns of radiolaria and organic matter variations: a new approach to identify sea-level changes in mid-Cretaceous pelagic environments. *Geology* 24: 499-502.

Flügel, E. 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag, 976 p., Berlin-Heidelberg.

Föllmi, K.B., Garrison, R.E. y Grimm, K.A. 1991. Stratification in Phosphatic Sediments: Illustration from the Neogene of California. En Einsele, G., Ricken, W. y Seilacher, A. (eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*, Springer Verlag, 493-507, Berlin-Heidelberg.

Fosa Mancini, E., Feruglio, E. y Yussen de Campana, J.C. 1938. Una reunión de geólogos de YPF y el problema de la terminología estratigráfica. *YPF, Boletín Informes Petrolíferos* 171: 3-95.

Fürsich, F.T. 1982. Rhythmic Bedding and Shell Bed Formation in the Upper Jurassic of East Greenland. En Einsele, G y Seilacher, A. (eds.) *Cyclic and Event Stratification*, Springer Verlag: 208-222, Berlín.

Futterer, E. 1978. Untersuchungen über die Sink- und Transportgeschwindigkeit biogener Hartteile. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 155: 318-359.

Galeotti, S., Sprovieri, M., Coccioni, R., Bellanca, A. y Neri, R. 2003. Orbitally modulated black shale deposition in the upper Albian Amadeus Segment (central Italy): a multiproxy reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 190: 441-458.

Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. *Hoja Chos Malal, Revista Sociedad Geológica Argentina* 1(3): 178-208.

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(1-2): 94-114.

Howell, J.A., Schwarz, E. y Spalletti, L.A. 2005. The Neuquén Basin: an overview. En Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.) *The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. Geological Society, Special Publications 252: 1-13, London.

James, N.P. 1997. The cool-water carbonate depositional realm. En: James, N. P. y Clarke, A. D. (Eds.): *Cool-water carbonates*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 56: 1-120.

Kidwell, S.M. 1991. Taphonomic Feedback (Live/Dead Interaction) in the Genesis of Bio-

- genic Bed: Key to Reconstruction Sedimentary Dynamics. En Einsele, G., Ricken, W. y Seilacher, E. (eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*, Springer Verlag, 268-282, Berlin-Heidelberg.
- Kidwell, S.M. y Bosence, D.W.J. 1991. Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. En Allison, A. y Briggs, D.E.G. (eds.) *Taphonomy: Releasing the data locked in the fossil record*, Plenum Press, Topics in Geobiology 9: 116-209, New York.
- Kiessling, W. 1996. Facies Characterization of Mid-Mesozoic Deep-Water Sediments by Quantitative Analysis of Siliceous Microfaunas. *Facies* 35: 237-274.
- 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 (inédito), 175 p., Buenos Aires.
- Kim, J.Y., Kim, K.S. y Pickerill, R.K. 2002. Cretaceous Nonmarine Trace Fossils from the Hasandong and Jinju Formations of the Namhae Area, Kyongsangnamdo, Southeast Korea. *Ichnos* 9: 41-60.
- 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*, 99 p., La Plata.
- Leanza, A.F. 1973. Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes Jurásico-Cretácicos entre Loncopué y Picun Leufú, Provincia del Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 28(2): 97-132.
- Leanza, H.A. 1981a. Formas de ammonites del Jurásico superior y Cretácico inferior de América del Sur, con especial consideración en Argentina. En Volkheimer W. y Mussachio, E. (eds.) *Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur* 2: 589-597, Buenos Aires.
- Leanza, H.A. 1981b. The Jurassic Cretaceous boundary beds in West Central Argentina and their ammonite zones. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 161 (1): 62-92, Stuttgart.
- Leanza, H.A. y Hugo, C.A. 1977. Sucesión de amonites y edad de la Formación Vaca Muerta y sincrónicas entre los Paralelos 35° y 40° L.S. Cuenca Neuquina-Mendocina. *Revista Asociación Geológica Argentina* (1978) 32(4): 248-264.
- Leanza, H. y Zeiss, A. 1990. Upper Jurassic Lithographic Limestones from Argentina (Neuquén Basin). *Stratigraphy and Fossils. Facies* 22: 169-186.
- Leanza, H. y Zeiss, A. 1992. On the ammonite fauna of the Lithographic Limestones from the Zapala region (Neuquén province, Argentina), with the description of a new genus. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil 1 H.6: 1841-1850*.
- 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 35° y 40° L.S. Cuenca Neuquina-Mendocina. *Revista Asociación Geológica Argentina* (1978) 32(3): 190-208.
- Leanza, H.A., Hugo, C.A. y Salvarredy Aranguren, M. 2003. Miembro Huncal (Berriasio inferior): un episodio turbidítico en la Formación Vaca Muerta, Cuenca Neuquina, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(2): 248-254.
- Legarreta, L. 2002. Eventos de desecación en la Cuenca Neuquina: depósitos continentales y distribución de hidrocarburos. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Trabajos Técnicos, Actas en CD, Mar del Plata.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior). En Chebli, G.A. y Spalletti, L. (eds.) *Cuencas Sedimentarias Argentinas*, Simposio Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica 6: 221-243, Tucumán.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes. *Internacional Association of Sedimentology, Special Publication* 12: 429-450. London.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1996. Jurassic sucesión in best-central Argentina: stratal patterns, sequences and paleogeographic evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 120: 303-330.
- Llambías, E.J., Sato, A.M. y Basci, M.A. 2005. El basamento prejurásico medio en el anticlinal Chiuído, Malargüe: Evolución magmática y tectónica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(3): 567-578.
- Mangano, M.G. y Buatois, L.A. 1994. Trazas Fósiles e Ichnofábricas en Depósitos Carbonáticos Cretácicos, Las Cuevas, Alta Cordillera de Mendoza. *Ameghiniana* 31(1): 55-66.
- May, A. 1995. Relationship among sea-level fluctuation, biogeography and bioevents of the Devonian: an attempt to approach a powerful, but simple model for complex long-range control of biotic crises. *Geolines* 3: 38-49, Praga.
- Mitchum, R.M. y Uliana, M. 1986. Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina. En Berg, B.R. y Woolverton, D.G. (eds.) *Seismic Stratigraphy II. An integrated approach to hydrocarbon analysis*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 39: 255-83.
- Mónaco, P. 1995. Relationships Between Trace-Fossils, Communities And Substrate Characteristics In Some Jurassic Pelagic Deposits In The Umrria-Marche Basin, Central, Italy. *Geobios* 18: 299-311.
- Myrow, P. 1995. Thalassinoides and the Enigma of Early Paleozoic Open-Framework Burrow Systems. *Palaios* 10: 58-74.
- Nummedal, D. 1991. Shallow Marine Storm Sedimentation - the Oceanographic Perspective. En Einsele, G., Ricken, W. y Seilacher, A. (eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer Verlag, 229-249, Berlin-Heidelberg.
- 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(2): 168-180.
- Raup, D.M. 1973. Depth inferences from vertically imbedded cephalopods. *Lethaia* 6: 217-226.
- Reboullet, S., Mattioli, E., Pittet, B., Baudin, F., Olivero D. y Proux, O. 2003. Ammonoid and nannoplankton abundance in Valanginian (Early Cretaceous) limenstone-marl successions from the southeast France Basin: carbonate dilution or productivity?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 201: 113-139.
- Riding, R. y Thomas, S. 2006. Stromatolite reef crust. Early Cretaceous, Spain: bacterial origin of in situ-precipitated peloid microspar?.



- Sedimentology 53: 23-34.
- Riccardi, A.C., Damborenea, S., Manceñido, M. y Ballent, S. 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. 3. Bioestratigrafía. En Caminos R. (ed.) Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(24): 419-432, Buenos Aires.
- Riccardi, A.C., Leanza, H.A., Damborenea, S., Manceñido, M., Ballent, S. y Zeiss, A. 2000. Marine Mesozoic Biostratigraphy of the Neuquén Basin. En: Miller, H., Hervé, F. (Eds): Zeitschrift für Angewandte Geologie, Hannover. 31° Internacional Geological Congress, Actas SH 1: 103-108.
- Ricken, W. y Eder, W. 1991. Diagenetic Modification of Calcareous Beds - an Overview. En Einsele, G., Ricken, W. y Seilacher, A. (eds.) Cycles and Events in Stratigraphy. Springer Verlag, 431-449, Berlin-Heidelberg.
- 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 Patterns in Late Cenomanian Black Shale Biofacies, Western Interior, U.S. Palaios 12(5): 449-466.
- Scasso, R.A., Alonso, S.M., Lanés, S., Villar, H.J. y Lippai, H. 2002. Petrología y geoquímica de una ritmita margá-caliza del Hemisferio Austral: El Miembro Los Catutos (Formación Vaca Muerta), Tithoniano Medio de la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 57(2): 143-159.
- Scasso, R.A., Alonso, S.M., Lanés, S., Villar, H.J. y Lippai, H. 2005. Geochemistry and petrology of a Middle Tithonian limestone-marl rhythmite in the Neuquén Basin, Argentina: depositional and burial history. En Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.) The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics, Geological Society, Special Publications 252: 207-229, London.
- Schlager, W. 2002. Sedimentology and sequences stratigraphy of carbonate rocks. Vrije Universiteit/Earth and Life Sciences 146 p., Amsterdam.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A. y Howell, J.A. 2006. Sedimentary response to a tectonically induced sea-level fall in a shallow back-arc basin: the Mulichinco Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina. Sedimentology 53: 55-81.
- Seilacher, A. y Aigner, T. 1991. Storm Deposition at Bed, Facies, and Basin Scale: the Geologic Perspective. En Einsele, G., Ricken, W. y Seilacher, A. (eds.) Cycles and Events in Stratigraphy, Springer Verlag, 249-267, Berlin-Heidelberg.
- Simpson, J. 1987. Mud-Dominated Storm Deposits From A Lower Carboniferous Ramp. Geological Journal 22: 191-205.
- Spalletti, L.A., Franzese, J.R., Matheos, S.D. y Schwarz, E. 2000. Sequence stratigraphy of a tidally dominated carbonate siliciclastic ramp; the Tithonian-Early Berriasian of the Southern Neuquén Basin, Argentina. Journal of the Geological Society 157: 433-446, London.
- Specht, R.W. y Brenner, R.L. 1979. Storm-Wave Genesis of Bioclastic Carbonates in Upper Jurassic Epicontinental Mudstones, East-Central Wyoming. Journal of Sedimentary Petrology 49(4): 1307-13022.
- Speyer, S.E. y Brett, C.E. 1988. Taphofacies models for epeiric sea environments Middle Paleozoic examples. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 63: 225-262
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F., Bauliés, O.L. y Martínez, C.G. 1968. Las formaciones pre-neonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina 23(2): 67-98.
- Strohmenger, C. y Wirsing, G. 1991. A proposed extension of Folk's (1959, 1962) textural classification of carbonate rocks. Carbonates and Evaporites 6: 23-28.
- Sun, S.Q. y Wright, V.P. 1989. Peloidal fabrics in Upper Jurassic reefal limestones, Weald Basin, southern England. Sedimentary Geology 65: 165-181.
- Trappe, J. 2001. A nomenclature system for granular phosphate rocks according to depositional texture. Sedimentary Geology 145: 135-150.
- Vishnevskaya, V., Pisera, A. and Racki, G. 2002. Siliceous biota (radiolarians and sponges) and the Late Devonian biotic-crisis: The Polish reference. Acta Palaeontologica Polonica 47 (2): 211-226.
- Weaver, C. 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. University of Washington, Memoir 1: 1-496, Seattle.
- Wignall, P.B. y Newton, R. 2001. Black shales on the basin margin: a model on examples from Upper Jurassic of the Boulonnais, northern France. Sedimentary Geology 144: 335-356.
- Wilson, J.L. 1975. Carbonate facies in geologic history. Springer Verlag, 471 p. Berlín.
- Wright, V.P. 1992. A revised classification of limestones. Sedimentary Geology 76: 177-186.

Recibido: 17 de diciembre, 2007

Aceptado: 29 de mayo, 2008