

La sucesión rítmica de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en el sur de la provincia de Mendoza, y su posible vinculación con Ciclos de Milankovitch

Guillermina SAGASTI¹

1. CONICET. UNLP. Centro de Investigaciones Geológicas.
Calle 1 N° 644, 1900 La Plata, Argentina.
E-mail: guille@cig.museo.unlp.edu.ar

Resumen. La ritmicidad en la estratificación es el atributo más significativo del Miembro Superior de la Formación Agrio (Hauteriviano superior - Barremiano inferior), y constituye una evidencia de que ciclos regulares en tiempo fueron responsables de su formación. Esta ritmicidad se manifiesta por la alternancia de niveles pelíticos y calcáreos que conforman pares estratificados los cuales, a su vez, se agrupan en conjuntos de pares, caracterizados por una tendencia a la disminución en el espesor de los pares estratificados.

En dos secciones del Miembro Superior de la Formación Agrio (arroyo Cienaguitas y Río Seco Cinta Roja, provincia de Mendoza) se estimaron las periodicidades de los ritmos en función de la tasa de sedimentación media, y se encontró que la mayor parte (el 70 % en ambas secciones) tiene una duración de entre 10 y 30 ka. Además se realizaron análisis espectrales de las series de espesor de cada perfil (Series de Fourier), identificándose ciclos de 378 ka, 126 ka, 103 ka, 69 ka, 47 ka y 45 ka en la sección arroyo Cienaguitas; y de 875 ka, 319 ka, 125 ka, 117 ka, 77,5 ka y 65 ka en Río Seco Cinta Roja.

Comparando los resultados obtenidos con las periodicidades propuestas para los Ciclos de Milankovitch se encuentra que los ciclos de 378 y 319 ka pueden correlacionarse con el ciclo de excentricidad de amplio rango, cuyo período es de aproximadamente 400 ka; los de 126, 125, 117 y 103 ka se corresponden con los picos de 123 y 95 ka del ciclo de excentricidad de rango corto; los de 47 y 45 ka son cercanos a la señal de 41 ka del ciclo de oblicuidad; y los de entre 10 y 30 ka pueden asignarse a ciclos de precesión.

Palabras clave: ritmicidad, ciclos de Milankovitch, análisis espectral, Cretácico inferior, Cuenca Neuquina.

Key words: rhythmicity, Milankovitch cycles, spectral analysis, Lower Cretaceous, Neuquén Basin.

EXTENDED ABSTRACT

Sequences deposited in pelagic and hemipelagic environments commonly develop a striking small-scale cyclicity in which beds of shaly character (shale or marl) alternate at regular intervals with beds of higher carbonate content (marl or limestone). The coupling of a less calcareous and a more-calcareous bed is termed "bedding

couplet" (Fischer & Schwarzscher, 1984; Einsele & Ricken 1991). Einsele & Ricken (1991) suggest that the major processes forming marl-limestone alternations and shale-carbonate alternations include variations in carbonate productivity, terrigenous dilution, carbonate dissolution, and redox conditions of the bottom waters. These processes have been related to orbital driven climatic variations or Milankovitch cycles.

Rhythmically arranged stratigraphic sequences are widely distributed in space and time. There are many described examples of Cretaceous age sequences from North America and Europe. However, few studies have been carried out in the Southern Hemisphere, and particularly in South America.

The lower Cretaceous succession of the Neuquén Basin, Argentina, (Agrido Formation) constitutes an excellent example of a rhythmic succession. Previous work referred to the cyclicity of this units was carried out by Spalletti *et al.*, 1990. More recently Spalletti *et al.*, (in press) mentioned the presence of high frequency cycles probably related to climatic changes in the Loma La Torre section of the Upper Member of the Agrido Formation (north of Neuquén province). This contribution provides the first cyclostratigraphy analysis of the Agrido Formation based on outcrop data.

Deposition of the Agrido Formation (late early Valanginian – early lower Barremian) began with a marine incursion following major regression in the earliest Valanginian. Accumulation occurred in a wide, semi-starved distal ramp setting, where periods of catch-up carbonate deposition alternated with periods of fine-grained clastic aggradation, resulting in a strongly rhythmic succession being shales and micritic limestones its major components. This facies arrangement characterises the Lower member of the Agrido Formation.

This depositional scenario continued through the late Hauterivian and early lower Barremian. However, these conditions were punctuated by a short episode of shallowing that caused an abrupt basinward shift of the depositional systems. During this time shales and sandstones of the Avilé member were deposited in the centre of the basin. In spite of the drastic changes implied by the lowstand facies distribution, the area was reflooded and fine-grained carbonates and clastic of the Upper member of the Agrido Formation were deposited over the whole extent of the Neuquén Basin.

The Upper Member of the Agrido Formation was studied in two sections (arroyo Cienaguitas and Río Seco Cinta Roja, see Fig. 4) selected from the north of the Neuquén Basin (Mendoza province).

The arroyo Cienaguitas section (138.8 m thick) is situated about 40 km from Malargüe city; the Río Seco Cinta Roja section (98.8 m thick) is located about 150 km south from Malargüe city, in the northern edge of the Cara Cura range (Fig. 5).

Fine-grained sediments deposited in a low-energy, distal ramp environment compose the entire sedimentary succession at both localities. The lithology is characterised by alternations of carbonate shales, marlstones, marly limestones and micritic limestones. The rhythmic bedding

is the main attribute of the Upper Member of the Agrido Formation and it is clearly revealed in outcrops (Fig. 6).

Definition of the bedding cycles is based on the lithologic alternation of a relatively light coloured carbonate-rich end member (carbonate-rich hemicycle), and a relatively dark coloured clay-rich end member (clay-rich hemicycle). Visual identification of these hemicycles in outcrops is facilitated by variations in bed colours, bed thickness, and induration/weathering profile (mainly a function of the CaCO_3 content).

Carbonate-rich hemicycles include “impure” carbonates such as limestones and marly limestones (CaCO_3 , 90 to 68 %). Bed colour range from light grey to bluish grey. Study of the microfacies reveals a dominance of mudstone over wackestones textures. Massive fabric dominates, but some laminated beds are also present. Some pyrite partially replaces shells as well as it is finely disseminated throughout beds. Shell material, scattered in carbonate-rich units includes pelecypods (*Lucinidae*), gastropods, and *Inoceramus* bivalve shells and shell fragments, radiolarians, calcispheres, and sponge spicules (Fig. 7). Some of the limestone beds have *Thalassinoids* trace fossils.

Carbonate-rich beds typically are 0.10 to 1.00 m thick in the Arroyo Cienaguitas sections, and 0.03 to 0.40 m thick in the Río Seco Cinta Roja section. Average values are 0.32 and 0.15 respectively (Table 1).

Clay-rich hemicycles include marlstones and calcareous shales (CaCO_3 , 65 to 42 %). Bed colour ranges from dark olive grey to dark grey and the fabric is laminated. Clay-rich hemicycles tend to be thicker than the corresponding carbonate-rich beds. In the Arroyo Cienaguitas section the average thickness is 1.03 m (with a minimum value of 0.01 m and a maximum of 5.65 m). In the Río Seco Cinta Roja section the average thickness is 0.71; with a minimum value of 0.07 m and a maximum of 4.98 m (Table 1).

Bedding couplets have been defined from the base of the clay-rich hemicycle to the top of the overlying carbonate-rich hemicycle. Grouping of the couplets in bundles was made according to variations in couplet thickness observed throughout the sections (Fig. 9). The groups are generally characterised by a thinning upward trend. Figure 8 shows the thickness distribution of the carbonate-rich hemicycles, clay-rich hemicycles and bedding couplets. An excellent correlation between the clay-rich hemicycles and the couplet thickness can be observed. This trend seems to reflect changes in siliciclastic input superimposed on relatively constant fluxes of CaCO_3 .

In a first stage the individual couplet duration was estimated using average sedimentation rates calculated

using the ratio between the thickness of the section and its duration in million of years, obtained with ammonites stratigraphy.

According to Aguirre Urreta & Rawson (1997), the Upper Member succession comprise the *Spitidiscus ricardii*, *Crioceratites schlagintweiti* and *Crioceratites diamantensis* zones, and the lower part of the *Paraspiticerias groeberi* zone (Fig. 10). In the studied sections the lower Hauterivian-early lower Barremian age was determinate with ammonites and nannofossils.

The Gradstein *et al.*, (1996) time scale was used to determine an age-thickness relationship for the Upper Member in the arroyo Cienguitas and Río Seco Cinta Roja sections. The error ranges of the stage boundaries define minimum and maximum limits for duration of the studied interval. Calculation of the average bulk sedimentation rate yields a value of 45 m/Ma in the arroyo Cienaguitas section, and 32 m/Ma in Río Seco Cinta Roja section. This value represents an effective sedimentation rate (Park and Herbert, 1987) which is not corrected by compaction and non-deposition.

Based on Gilbert (1895) couplet duration was calculated using the mean sedimentation rate. In the arroyo Cienaguitas section as well as in Río Seco Cinta Roja section, most of the cycles (70 %) represent time intervals between 10 and 30 ky. This values may be related to the near 20 ky precessional signal (Fischer, 1993; Gale, 1998).

In a second stage Fourier spectral analysis was applied to the couplet thickness series of each sequence. In the arroyo Cienaguitas spectra consistent peaks appear in the 378 ky; 126-103 ky range; 69 ky and 47-45 ky range (Fig. 11 A). In the Río Seco Cinta Roja spectra major peaks are in the 875 ky; 319 ky; 125-117 ky range; 77,5 ky and 65 ky (Fig. 11 B). Some of these peaks closely match orbital periods, for example the 378 ky peak (and perhaps the 319 ky one) may correspond to the near 400 ky long eccentricity signal; the 126-103 ky and 125-117 ky peaks may represent the 97-123 short eccentricity signal; finally the 47-45 ky peaks may be assigned to the 41 ky obliquity signal. However there are others peaks do not match any known orbital periods (77,5 ky; 69 ky and 65 ky), raising the question whether other, up to now unidentified, cyclic forcing agents have not been recognised, or whether some of the orbital periods have changed and interacted in unresolved ways.

INTRODUCCIÓN

Las secuencias sedimentarias de ambientes pelágicos y hemipelágicos desarrollan por lo común una ciclicidad

de pequeña escala en la cual las capas relativamente ricas en arcillas (pelitas o margas) alternan con otras ricas en carbonato (calizas margosas o micríticas). Cada uno de los ritmos formado por la alternancia de estos tipos litológicos es denominado "par estratificado" (*bedding couplet*; Fischer & Schwarzscher, 1984; Einsele & Ricken 1991). Diversos autores (Barron *et al.*, 1985; Bottjer *et al.*, 1986; 1986; Fischer, 1993; Gale, 1998, entre otros) consideran que el origen de estos ciclos estaría vinculado con variaciones climáticas originadas por cambios en los parámetros orbitales (Ciclos de Milankovitch).

La mayoría de los estudios de ciclicidad realizados en sucesiones pre-cuaternarias están referidos al Cretácico del Hemisferio Norte, en cuencas de paleolatitudes bajas a intermedias (Lins *et al.*, 1977; Kauffman, 1977; Pratt *et al.*, 1985; Elder *et al.*, 1994; Grötsch, 1996; Lehmann *et al.*, 1998; Sageman *et al.*, 1998). Sin embargo, muy poca es la información que existe sobre sucesiones cretácicas del Hemisferio Sur, particularmente en el continente sudamericano.

Spalletti *et al.*, (1990) realizaron estudios cicloestratigráficos en el Miembro Superior de la Formación Agrio, y su contribución provee una de las primeras informaciones sobre el posible registro de Ciclos de Milankovitch en el Cretácico del Hemisferio Sur, y en una cuenca cuya paleolatitud (según Barron *et al.*, 1981) es del orden de los 40°. Los autores realizaron un análisis cicloestratigráfico a partir de datos de rayos gamma, perfil de doble inducción y perfil sónico, obtenidos en un sondeo de petróleo correspondiente al yacimiento Filo Morado, en el norte de la provincia del Neuquén (próximo al límite con Mendoza). Más recientemente Spalletti *et al.* (en prensa) mencionan la presencia de ciclos de alta frecuencia en la sucesión del Miembro Superior de la Formación Agrio que aflora en la localidad Loma La Torre (ubicada en el norte de la provincia del Neuquén), y los vinculan con oscilaciones en el aporte de arcillas, relacionadas con posibles variaciones climáticas.

En este trabajo se presenta un estudio de ciclicidad realizado a partir de datos de afloramiento correspondientes a dos perfiles sedimentológicos de detalle del Miembro Superior de la Formación Agrio, ambos localizados en el ámbito surmendocino de la Cuenca Neuquina. Se pretende aquí, por un lado, describir los atributos sedimentológicos que permiten definir los ritmos y analizar su distribución vertical a fin de caracterizar el diseño de apilamiento y, por otro, calcular la periodicidad de dichos ritmos. A continuación, teniendo en cuenta los atributos sedimentológicos y de apilamiento previamente establecidos, se intentará definir cuales fueron los principales factores de control en la formación de estos ritmos.

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LOS CICLOS DE MILANKOVITCH

Los ciclos climáticos de Milankovitch, cuya banda de frecuencias va entre 10 ka y 1 Ma (Gilbert, 1895; Fischer, 1980; de Boer, 1982; Schwarzacher & Fischer, 1982; Arthur *et al.*, 1984; Gale, 1998), son causados por complejos patrones orbitales del sistema Sol-Luna-Tierra (de Boer & Smith, 1994) los cuales afectan la cantidad de energía solar que alcanza la superficie de la Tierra (insolación) y la distribución estacional de dicha energía. Los tres ciclos definidos por Milankovitch, precesión, oblicuidad y excentricidad, se combinan dando lugar a una compleja curva de insolación (Fig.1).

La precesión se debe a los efectos combinados de atracción solar y lunar en el ecuador terrestre y se manifiesta a través del movimiento de la proyección axial del eje de rotación de la Tierra. Esto da lugar a cambios predecibles en la distribución de la insolación sobre la Tierra, y por lo tanto a cambios en el contraste entre el verano y el invierno. El efecto de la precesión está desfazado en 180° entre el Hemisferio Norte y el Hemisferio

Sur. El período absoluto de este ciclo es del orden de 26 ka pero puede alcanzar valores extremos entre 14 ka y 28 ka; los valores más frecuentes son de 19 ka a 23 ka (Berger, 1988).

La oblicuidad es el ángulo de inclinación del eje de la Tierra con respecto a una perpendicular a la eclíptica (plano en el cual la Tierra gira alrededor del Sol). La oblicuidad varía entre 22° y 24,5° con un período medio aproximado de 41 ka (de Boer & Smith, 1994). Esto afecta la insolación que recibe la Tierra mediante un cambio de ciclo estacional, especialmente en altas latitudes.

Finalmente, la órbita terrestre alrededor del Sol no es un círculo sino una elipse con excentricidad variable. El período medio de variación es 100 ka, con mayores componentes en 99 ka y 123 ka. Además existen variaciones de excentricidad con períodos de 400 ka, 1300 ka y 2 Ma, que también pueden reconocerse en el registro sedimentario (Schwarzacher & Fischer, 1982; de Boer, 1983; Anderson, 1984; Olsen, 1984; Cottle, 1989; Melynck & Smith, 1989).

Berger & Loutre (1989) y Berger *et al.* (1989) calcularon las variaciones de periodicidad de los parámetros

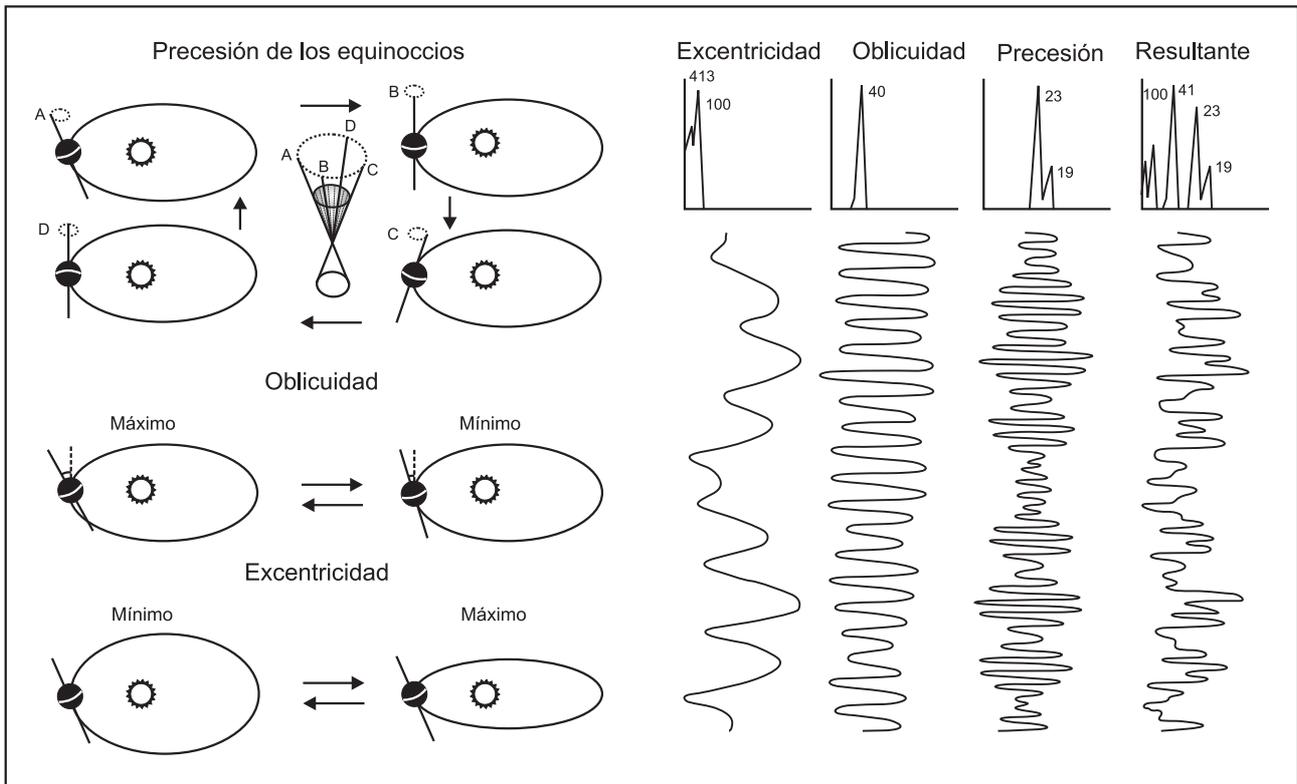


Figura 1. Izquierda: diagrama simplificado ilustrando los ciclos de Milankovitch (basado en Weedon, 1993). Derecha: diagrama que muestra la interacción de los ciclos de excentricidad, oblicuidad y precesión (tomado de Einsele & Ricken, 1991).

Figure 1. Left: diagram illustrating Milankovitch cycles (based on Weedon, 1993). Right: diagram showing the interaction between eccentricity, obliquity and precessional cycles (from Einsele & Ricken, 1991).

orbitales durante los últimos 500 millones de años, y demostraron que los períodos de oblicuidad y precesión eran algo más pequeños que los calculados para el Cuaternario, en tanto que la excentricidad mantiene el mismo valor. De acuerdo con sus resultados en tiempos del Cretácico tardío los picos de periodicidad correspondientes al ciclo de oblicuidad se encuentran en el orden de los 39,381 ka y 51,226 ka y los asignados al ciclo de precesión en en orden de los 18,645 ka y 22,481 ka (Fig. 2).

Autores tales como Fischer (1964; 1982), Arthur *et al.* (1984), Goldhammer *et al.* (1990), Einsele & Ricken (1991), Mitchum & Van Wagoner (1991) y de Boer & Smith (1994), entre otros, han sugerido que el eustatismo, la productividad, la dilución clástica y la disolución del carbonato constituyen los principales controles en la formación de estos ritmos. De acuerdo con Goldhammer *et al.* (1990), los cambios relativos de nivel del mar de alta frecuencia (de 4° a 6° orden) constituyen un control primordial en la depositación de carbonatos de ambientes someros.

Sin embargo, Einsele & Ricken (1991) consideran que en los medios pelágicos y hemipelágicos las oscilaciones eustáticas de alta frecuencia no serían tan importantes en la formación de los ritmos pelitas - caliza y marga - caliza, y sugieren que en estos ambientes los ciclos se originarían por modificaciones en la productividad orgánica, en el aporte de arcilla y en la profundidad de compensación del carbonato.

Las variaciones en la productividad carbonática son particularmente importantes en la formación de ciclos carbonáticos cuya fracción carbonática es casi exclusivamente de origen pelágico, y que no muestran signos de disolución o de dilución terrígena. Los ciclos de productividad se caracterizan por variaciones en el aporte de carbonato pelágico, sobreimpuestos a un flujo relativamente constante de arcilla terrígena. De esta manera, a partir de una sucesión margosa inicial, los incrementos periódicos en la productividad carbonática darán lugar a capas de caliza cada vez más potentes, generando finalmente sucesiones rítmicas de calizas y margas en las cuales se observa que los hem Ciclos carbonáticos son siempre más potentes que los hem Ciclos pelíticos (Fig. 3).

No obstante, es necesario tener en cuenta que sólo bajo condiciones extremas de cambios ambientales (como por ejemplo migración de las celdas de *upwelling* y/o de los cinturones climáticos) se pueden generar importantes modificaciones en la productividad. Por lo tanto, resulta poco probable que las fluctuaciones en la producción de carbonato, como único factor de control, sean suficientes para originar sucesiones rítmicas de margas y calizas.

Ciclos de Milankovitch

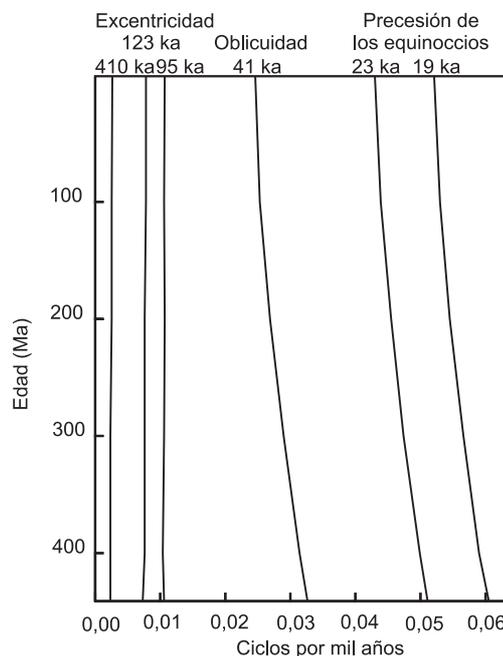


Figura 2. Diagrama mostrando los valores de periodicidad correspondientes a los ciclos de excentricidad, oblicuidad y precesión en el Cuaternario, y su variación en los últimos 400 Ma (a partir de datos de Berger & Loutre, 1989).

Figure 2. Diagram showing periodicities of the Quaternary eccentricity, obliquity and precessional cycles, and its change during the last 400 Ma (data from Berger & Loutre, 1989).

En ambientes carbonáticos sujetos a condiciones de aporte clástico, tales como los mares epicontinentales y las zonas distales de plataformas y rampas carbonáticas, la fluctuación periódica en la dilución terrígena constituye un importante factor de control en la generación de los ritmos. El aporte de terrígenos se produce a través de procesos fluviales, eólicos o glaciales, y está íntimamente ligado a los cambios climáticos.

El proceso de dilución terrígena opera mediante variaciones en el aporte de terrígenos, sobreimpuestos a una tasa uniforme de producción de carbonato. De esta forma, los ciclos de dilución constituyen el extremo opuesto al de productividad; puesto que dan lugar a sucesiones caracterizadas por una mayor proporción de facies pelíticas o margosas, las cuales muestran variaciones de espesor relacionadas con la variación en la tasa de aporte de terrígenos (Fig. 3).

Los ciclos de disolución son aquellos originados por disolución de carbonato, y su desarrollo está vinculado a aquellos ambientes cuya profundidad está comprendida entre la lysoclina y la profundidad de compensación de

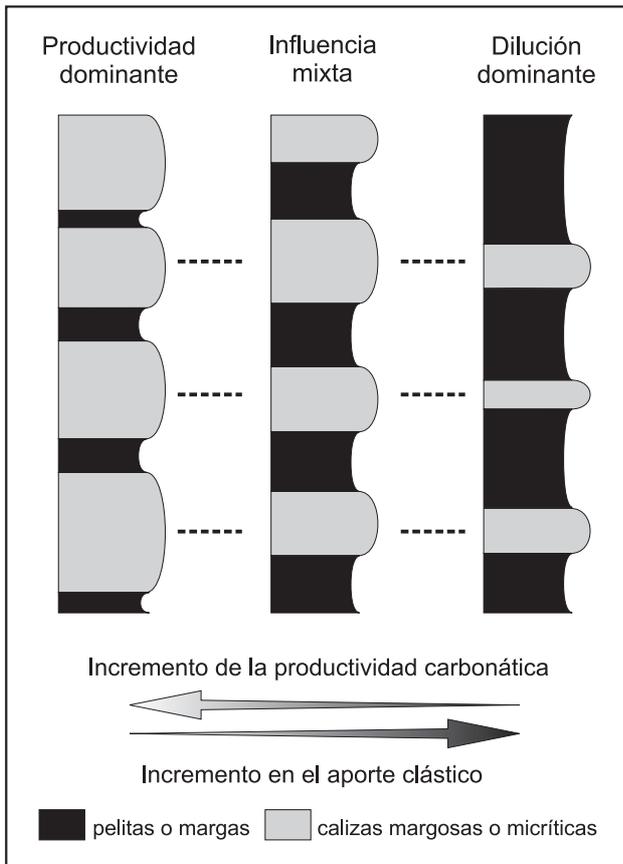


Figura 3. Representación esquemática de una sucesión rítmica originada por la acción dominante de la productividad (extremo izquierdo) y de la dilución clástica (extremo derecho). La situación intermedia representa el caso en que la sucesión es generada por acción combinada de productividad y dilución.

Figure 3. Schemmes showing a sequence generated under high influence of the productivity cycles (left), under high influence of the dilution cycles (right), and under equal influence of both cycles (middle).

los carbonatos. El arreglo de las sucesiones es semejante al de las originadas por ciclos de productividad, con hemiciclos carbonáticos más potentes que los hemiciclos pelíticos.

MARCO GEOLÓGICO

Los términos de la serie sedimentaria que caracterizan a la Cuenca Neuquina están constituidos por sedimentitas marinas, continentales y de transición cuya evolución estuvo relacionada con la actividad del margen convergente que, durante el Jurásico y Cretácico, limitó el borde occidental de la placa Sudamericana (Legarreta & Gulisano, 1989; Legarreta & Uliana, 1991; Legarreta

et al., 1993).

El conjunto sedimentario depositado en el lapso Tithoniano-Barremiano inferior (Grupo Mendoza) está conformado por unidades formacionales que reciben distintos nombres de acuerdo al sector de la cuenca considerado. En el ámbito neuquino se reconocen las formaciones Vaca Muerta, Quintuco, Mulichinco y Agrio (Weaver, 1931) y en el sector surmendocino las formaciones Vaca Muerta, Chachao, Lindero de Piedra y Agrio.

La evolución del Grupo Mendoza comenzó con un importante episodio transgresivo (en el Titoniano) que dio lugar a la depositación de facies de pelitas oscuras de interior de cuenca correspondientes a la Formación Vaca Muerta, facies clásticas y carbonáticas de plataforma de la Formación Quintuco y facies terrígenas continentales de la Formación Bajada Colorada. El estilo dominante fue hacia la profundización, con apilamiento retroescalonado de los depósitos marginales. Hacia el Tithoniano medio tardío, se desarrollaron sistemas progradacionales, primero carbonáticos y luego mixtos, sin conformación de importantes relieves, que continuaron y se acentuaron en el Berriasiano. Durante esta etapa se verificó una tendencia general hacia la somerización. Hacia el Valanginiano se alcanzó la máxima restricción del depocentro, con condiciones de aguas someras aún en el centro de la cuenca. Esta situación de nivel de base particularmente bajo es correlacionable con la caída eustática global del Valanginiano (Haq *et al.*, 1987). En este marco se depositaron, en la provincia del Neuquén, sedimentitas clásticas marino marginales de la Formación Mulichinco y, en el sur de la provincia de Mendoza, calizas esqueletales de la Formación Chachao y sedimentitas clásticas marino marginales de la Formación Lindero de Piedra. Estos depósitos dan comienzo a la Mesosecuencia Mendoza media (Legarreta & Gulisano, 1989).

Un nuevo episodio transgresivo aconteció hacia fines del Valanginiano y se prolongó durante el Hauteriviano temprano; en dicho período se establecieron condiciones óptimas para el desarrollo de un sistema mixto carbonático clástico con geometría de rampa (Legarreta *et al.*, 1993). En posiciones internas de la cuenca, bajo condiciones de aguas profundas, tuvo lugar la depositación del Miembro Inferior de la Formación Agrio, en tanto que hacia el borde oriental se depositaron facies proximales de areniscas calcáreas con abundantes invertebrados, referidas a la Formación Lindero de Piedra (Legarreta *et al.*, 1981; Legarreta & Gulisano, 1989; Legarreta *et al.*, 1993).

En la parte alta del Hauteriviano inferior se produjo el descenso del nivel del mar; en el centroeste y noroeste del Neuquén se estableció un ambiente continental, con depósitos fluviales y eólicos los cuales, hacia el extremo norte del Neuquén y sur de Mendoza pasan a facies

La sucesión rítmica de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en el sur de la provincia de Mendoza...

lagunares efímeras (Legarreta & Gulisano, 1989). Estos depósitos de mar bajo, que dan inicio a la Mesosecuencia Mendoza superior, corresponden al Miembro Avilé de la Formación Agrio. En el Hauteriviario inferior terminal se produjo el ascenso del nivel del mar y se establecieron una vez más condiciones de aguas profundas. En este marco se depositó el Miembro Superior de la Formación Agrio.

Resulta interesante destacar que durante la evolución del Grupo Mendoza, la Cuenca Neuquina se caracterizó por su asimetría en términos de tasa de subsidencia y de suministro clástico. La mayor parte del aporte clástico ingresó a la cuenca por el flanco sudoriental, generando sistemas deposicionales altamente progradantes. Por su parte, el sector noroeste de la cuenca estuvo sujeto a condiciones más estables, de bajo aporte clástico, lo que permitió el desarrollo de sucesiones carbonáticas agradacionales con predominio de materiales finos.

Esta situación paleoambiental de bajo aporte clástico, que caracterizó al área septentrional de la cuenca, desempeñó un papel primordial en la depositación de la Formación Agrio, puesto que permitió el desarrollo de una potente pila sedimentaria constituida casi exclusivamente por ritmos de pelita-marga y marga-caliza.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las secuencias analizadas (arroyo Cienaguitas y Río Seco Cinta Roja) se encuentran dentro del área surmendocina de la Cuenca Neuquina (Fig. 4), en la unidad estructural denominada Faja Plegada y Corrida de Malargüe (Kozłowski *et al.*, 1993). La primera se sitúa unos 40 km al noroeste de la localidad de Malargüe, en las cercanías de la desembocadura del arroyo Cienaguitas en el río Salado. En esta zona la estructura está dominada por pliegues y fallas con vergencia oriental, cuyos ejes tienen orientación meridional. La sección se midió en el flanco occidental del anticlinal de Cañada Ancha, el cual se presenta normal y con un buzamiento de 20° al O (Fig. 5A). La sección Río Seco Cinta Roja, ubicada unos 150 km al sur de la localidad de Malargüe, se midió en el área septentrional de la Sierra de Cara Cura, en el flanco este del braquianticlinal de Cara Cura oriental. El núcleo de esta estructura está constituido por el Grupo Choiyoi y sobre éste se disponen periclinalmente las sedimentitas mesozoicas (Fig. 5B).

Ambas secciones son representativas de la sucesión sedimentaria del Miembro Superior de la Formación Agrio, cuyo desarrollo estuvo ligado con la evolución del área nororiental de la Cuenca Neuquina. Desde



Figura 4. Mapa de ubicación de las localidades estudiadas .
Figure 4. Location of the studied sections.

el punto de vista de su composición litológica, se observa una sucesión monótona formada por intercalaciones de pelitas, margas y calizas margosas y micríticas.

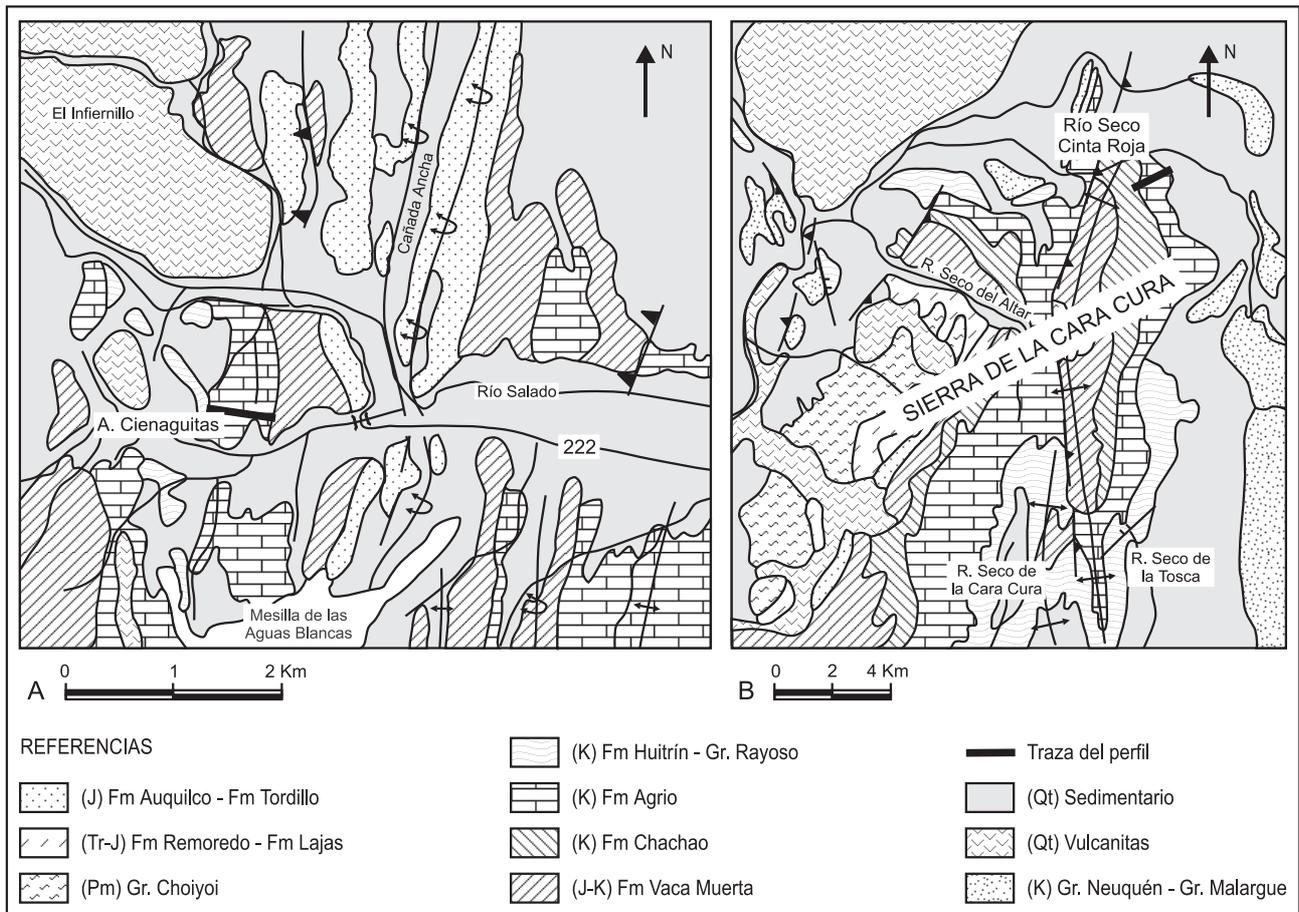


Figura 5. A: bosquejo geológico del sector de afloramiento y traza del perfil donde se encuentra la sección arroyo Cienaguitas. B: bosquejo geológico del sector de afloramiento y traza del perfil donde se encuentra la sección Río Seco Cinta Roja.

Figure 5. A: geologic map and stratigraphic section location of the arroyo Cienaguitas area. B: geologic map and stratigraphic section location of the Río Seco Cinta Roja area.

LOS CICLOS DEL MIEMBRO SUPERIOR DE LA FORMACIÓN AGRIO

El atributo más característico del Miembro Superior de la Formación Agrio, incluso reconocible en observaciones a nivel de afloramiento, es la ritmicidad de la estratificación (Fig. 6). Esta ritmicidad se debe a la alternancia de dos componentes litológicos principales (fangos silicoclásticos y fangos carbonáticos) que constituyen los miembros extremos de un espectro continuo de variación. En función del contenido relativo de estos dos componentes se diferenciaron hem Ciclos pelíticos y hem Ciclos carbonáticos.

La identificación visual de estos hem Ciclos en el afloramiento resulta sencilla debido a la variación en el color y espesor de las capas y, principalmente, al diferente grado de endurecimiento y meteorización. Esta distinción

litológica es factible debido a que el contenido de carbonato de calcio de las capas varía dentro del rango correspondiente al límite de meteorización (Seibold, 1952; Einsele & Ricken, 1991). El contenido de carbonato de calcio que define el límite de meteorización depende del clima, exposición, procesos de endurecimiento y meteorización, y de las propiedades físicas del sedimento (porosidad, tipo y tamaño de grano de la fracción carbonática) y, en general, se encuentra entre el 65% y el 85%. Las oscilaciones en el contenido de carbonato por encima o por debajo de este rango no se traducen en variaciones litológicas apreciables a nivel de afloramiento, y el material se observa como enteramente caliza o enteramente pelita (o marga), respectivamente.

Hem Ciclos carbonáticos

Este grupo incluye una serie de carbonatos “impu-

La sucesión rítmica de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en el sur de la provincia de Mendoza...



Figura 6. A: aspecto de la sucesión rítmica del Miembro Superior de la Formación Agrio (sección Río Seco Cinta Roja). **B:** vista en detalle de los pares estratificados.

Figure 6. A: outcrop view of the rhythmic succession of the Upper member of the Agrio Formation (Río Seco Cinta Roja section). **B:** detail view of the bedding couplets.

ros” representados por calizas margosas y micríticas, cuyo contenido de carbonato de calcio se encuentra entre el 68% y el 90%. El color de los niveles varía entre gris claro y gris azulado, con meteorización celeste. El análisis de las microfacies revela que las texturas corresponden en su mayor parte a mudstones, y en forma subordinada a wackestones. La fábrica es masiva, ocasionalmente se observan bancos con laminación paralela; es frecuente encontrar pirita finamente diseminada en la matriz. El material esquelético varía de muy escaso a escaso, e incluye conchillas de gasterópodos y pelecípodos (*Lucinidae* e *Inoceramus*, entre otros); radiolarios, calciesferas y espículas de esponja. Algunos bioclastos están parcialmente reemplazados por pirita (Fig. 7). Muchos bancos presentan trazas de *Thalassinoides*. En la sección del arroyo Cienaguitas el espesor de las capas varía entre 0,10 y 1,00 m, con un promedio de 0,32 metros. En la sección de Río Seco Cinta Roja las capas tienen entre 0,03 y 0,40 m de potencia, con un valor medio de 0,15 m (tabla 1).

Hemiciclos pelíticos

Están conformados por pelitas calcáreas y margas, con tenores de carbonato de calcio que oscilan entre 42 y 65 %. El color varía entre gris oliva oscuro y gris oscuro y las capas pueden presentar laminación fina (milimétrica) o grosera (1 cm). El espesor de estos hemiciclos es, en general, mayor que el de los hemiciclos carbonáticos y, además, varía estratigráficamente. El espesor medio de las capas en la sección arroyo Cienaguitas es de 1,03 m, y el rango de variación se encuentra entre 0,01 y 5,65 metros. En la sección de Río Seco Cinta Roja las capas tienen entre 0,07 y 4,98 m de potencia, con una media de

0,71 m (tabla 1).

Los pares estratificados se han definido desde la base de un hemiciclo pelítico hasta el tope del hemiciclo carbonático suprayacente.

Tendencias en el espesor de los hemiciclos y pares estratificados

Cuando se observa la distribución vertical de los pares estratificados a lo largo de la sucesión del Miembro Superior, rápidamente se advierte que es posible agruparlos en conjuntos de pares con una tendencia a la disminución del espesor en sentido ascendente. Estos conjuntos están conformados por una sección inferior con predominio de ciclos potentes que pasa gradualmente a una superior con ciclos delgados. En algunos casos falta la sección inferior, o está representada por uno o dos pares estratificados. Si se observa la distribución de espesores de los hemiciclos carbonático y pelítico, y de los pares estratificados (Fig. 8), se podrá advertir que existe una muy buena correlación entre la distribución de espesores de los hemiciclos pelíticos y la de los pares estratificados, y una mayor uniformidad en la distribución de espesores de los hemiciclos carbonáticos. Este tipo de tendencia podría indicar que el aporte de material silicoclástico habría ejercido un importante control en la formación de los ciclos, y en forma subordinada habrían actuado las variaciones en el aporte carbonático.

DESCRIPCIÓN DE LAS SECCIONES ESTUDIADAS EN TÉRMINOS DE SU CICLICIDAD

La sección arroyo Cienaguitas tiene un espesor de 138,8 m y se compone de pares estratificados tipo marga-caliza cuyos espesores varían entre los 0,20 m y los 6 m (Fig. 8, tabla 1). El espesor medio de los ciclos es de 1,35 m y la desviación standard de 1,16. De acuerdo al ordenamiento vertical de los pares estratificados se han diferenciado 5 conjuntos de pares (Fig. 9A):

1) Abarca los primeros 44,65 m de la sucesión, y está compuesto por 40 pares estratificados cuyo espesor medio de 1,12 metros. En la mitad inferior los ciclos tienen espesores variables, pero en general son relativamente potentes (1,62 m promedio), en la mitad superior se observa una mayor uniformidad en el espesor de los ciclos, los cuales además son más delgados (0,88 m de espesor medio).

2) Tiene un espesor de 26,63 m y está compuesto por 22 ciclos, con un espesor medio de 1,21 metros. Los primeros 16,5 m se caracterizan por la presencia de ci-

| | Arroyo Cienaguitas | | | Río Seco Cinta Roja | | |
|-------------------------|--------------------|--------|---------------|---------------------|--------|---------------|
| | E mín | E máx | E med | E mín | E máx | E med |
| Hemiciclos carbonáticos | 0,10 m | 1,00 m | 0,32 m | 0,03 m | 0,40 m | 0,15 m |
| Hemiciclos pelíticos | 0,01 m | 5,65 m | 1,03 m | 0,07 m | 4,98 m | 0,71 m |
| Pares estratificados | 0,20 m | 6,00 m | 1,35 m | 0,09 m | 5,14 m | 0,88 m |

Tabla 1. Datos de espesor mínimo, máximo y promedio de los hemiciclos carbonáticos y pelíticos y de los pares estratificados.

Table 1. Minimum, maximum and mean thickness of the calcareous-rich and clay-rich hemicycles and bedding couplets.

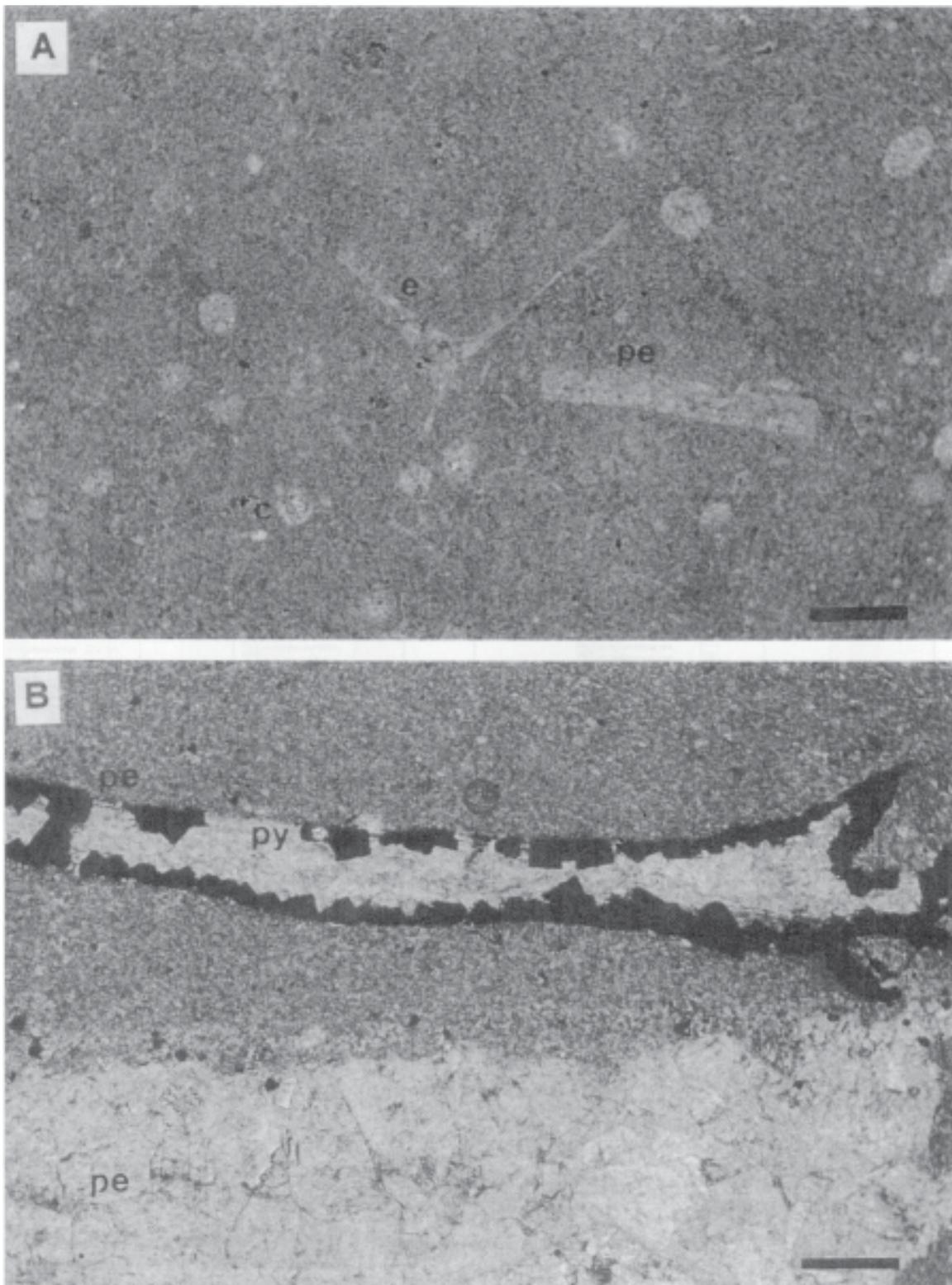
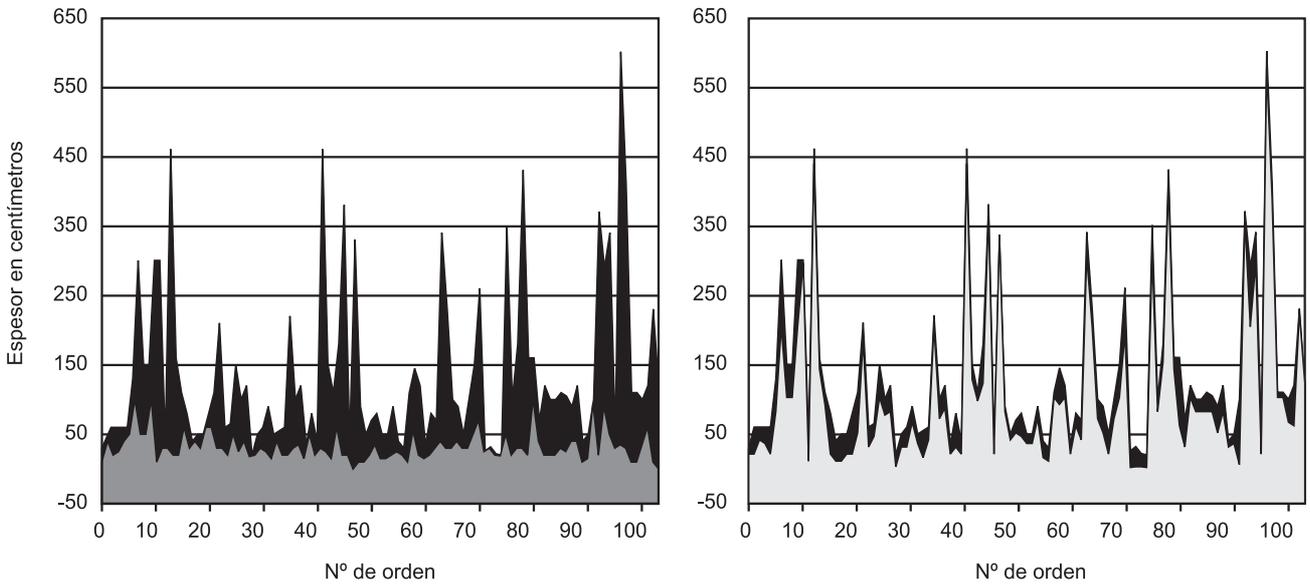


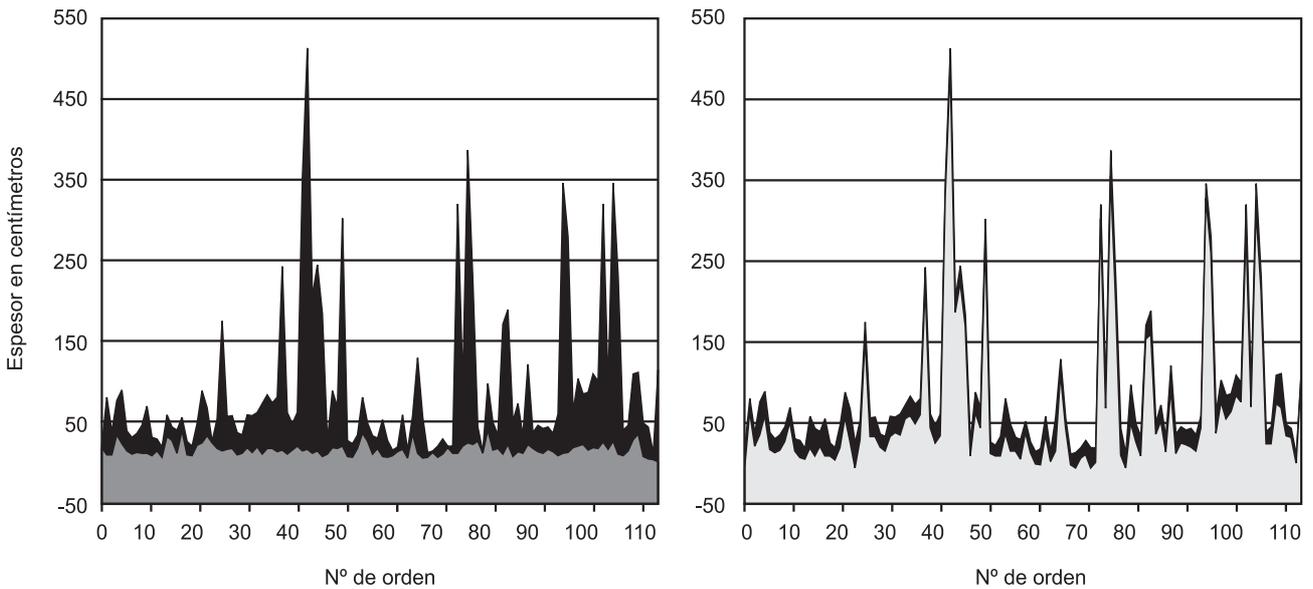
Figura 7. Microfotografía de las calizas micríticas. A: Mudstone con calcisferas (c), espículas de esponja (e) y restos de pelecípodos (pe). B: Mudstone con grandes valvas de pelecípodos (pe) parcialmente reemplazados por piritita (py). Barra de escala: 300 m.

Figure 7. Micritic limestone photomicrography. A: Mudstone with calcispheres (c), sponge spicules (e) and pelecypod fragments (pe). B: Mudstone with large pelecypods shells (pe) partially replaced by pyrite (py). Scale bar: 300 m.

A) Arroyo Cienaguitas



B) Río Seco Cinta Roja



■ Pares estratificados ■ Hemiciclos calcáreos ■ Hemiciclos pelíticos

Figura 8. Diagramas que muestran la distribución de espesores de los hemiciclos calcáreos y pelíticos en comparación con la de los pares estratificados. A) Sección arroyo Cienaguitas. B) Sección Río Seco Cinta Roja. Nótese la similitud entre la curva de los hemiciclos pelíticos y la de los pares estratificados en ambas secciones.

Figure 8. Diagrams showing thickness distribution of the calcareous-rich and clay-rich hemicycles compared with the bedding couplet thickness. A) Arroyo Cienaguitas section. B) Río Seco Cinta Roja section. Notice the similarity between the clay-rich hemicycle and the bedding couplet thickness curves.

culos con espesores variables, pero en general dominan los ciclos con hemiciclos margosos potentes (con un espesor medio de 2,35 m). En el tramo superior del inter-

valo se observan los ciclos delgados de alta frecuencia, cuyo espesor promedio es de 0,74 metros.

3) Tiene un espesor de 14,2 m y está compuesto

La sucesión rítmica de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en el sur de la provincia de Mendoza...

A) Sección arroyo Cienaguitas

B) Sección Río Seco Cinta Roja

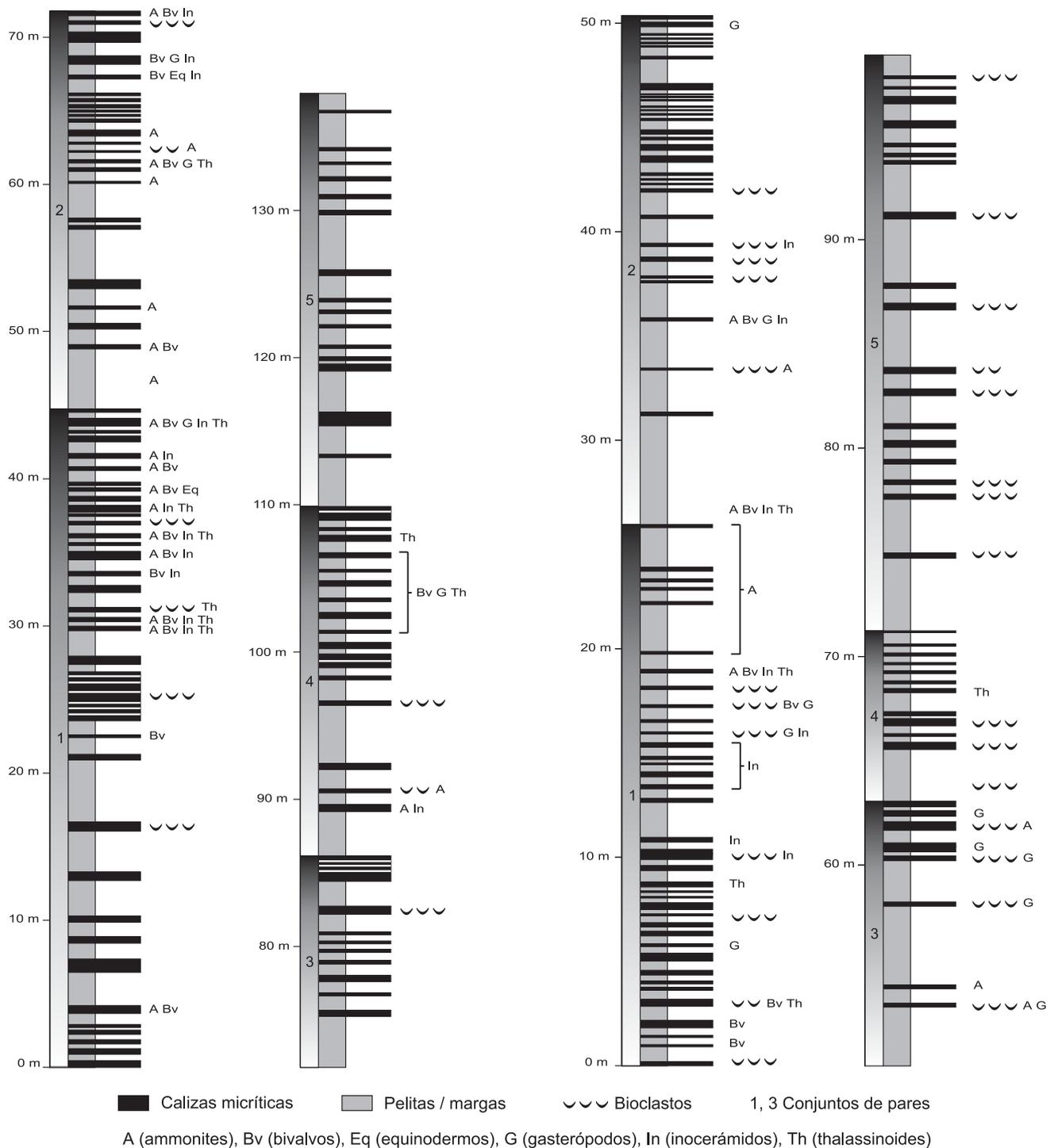


Figura 9. Perfiles estratigráficos del Miembro Superior de la Formación Agrio indicando los conjuntos de pares diferenciados. A) Sección arroyo Cienaguitas. B) Sección Río Seco Cinta Roja.

Figure 9. Stratigraphic sections of the Upper member of the Agrio Formation. Bedding couplets groups are indicated. . A) Arroyo Cienaguitas section. B) Río Seco Cinta Roja section.

por 12 pares estratificados, con un espesor medio de 1,18 metros. Comienza con dos ciclos potentes de 3,8 y 2,3 m y a continuación siguen los ciclos de alta frecuencia, con un valor promedio de espesor de 0,85 metros.

4) Tiene 23,85 m de espesor repartido en 17 ciclos de 1,4 m de espesor medio. En la parte inferior los ciclos son potentes, y hacia arriba siguen ciclos delgados de 0,91 m de espesor promedio.

5) Tiene un espesor de 28,5 m que se reparten en 12 ciclos de espesores variables pero en general bastante potentes. La media de todo el intervalo es de 2,38 metros.

La Sección Río Seco Cinta Roja, de 98,86 m de potencia, se compone de ciclos tipo pelita-caliza que tienen entre 0,09 m y 5,14 m de espesor (Fig. 8, tabla 1). El espesor medio es de 0,88 m y la desviación standard de 0,95. En esta sección también se han diferenciado 5 conjuntos de pares (Fig. 9B):

1) Abarca los primeros 25,18 m de la sucesión, y está compuesto por 41 pares estratificados con un espesor medio de 0,61 metros.

2) Tiene un espesor de 25,66 m que se reparten en 30 pares estratificados de 0,86 m de espesor medio. Los primeros 17,85 m se caracterizan por la presencia de ciclos de espesor variable, pero en general mayor a 2 metros. Los restantes 7,81 m muestran ciclos con espesores menores a 1 metro. El valor medio para este tramo superior es de 0,36 metros.

3) Tiene 21,39 m de espesor (21 pares estratificados) y, al igual que en el tramo anterior, también se aprecia una parte inferior con ciclos de espesores mayores a 2 m y otra superior con ciclos más delgados. El valor medio de todos los ciclos es de 1,02 m, en tanto que para los ciclos de la parte superior es de 0,65 metros.

4) Tiene un espesor de 11,63 m que se reparten en 2 ciclos basales cuyo espesor supera los 2 m y 6 ciclos de menos de 2 m de espesor. La media de todo el intervalo es de 1,45 m y para la parte superior, el promedio de los ciclos es de 0,90 metros.

5) Tiene un espesor de 15 m, repartidos en 12 pares estratificados. En general todos son bastante potentes, con un valor medio de 1,25 metros. Sin embargo en la parte superior hay algunos ciclos más delgados, cuyo espesor promedio es de 0,64 metros.

estratigráfico detallado que permite estimar la duración de la sucesión analizada (Aguirre Urreta, 1993, Aguirre Urreta & Rawson, 1993; 1997; 1999a; 1999b y 1999c). De acuerdo con Aguirre Urreta & Rawson (1997), la sucesión del Miembro Superior abarca el intervalo Hauteriviano superior-Barremiano inferior bajo y comprende la Biozonas de *Spitidiscus ricardii*, *Crioceratites schlagintweiti*, *Crioceratites diamantensis* y la parte inferior de la Biozona de *Paraspiticerias groeberi* (Fig. 10). En las secciones estudiadas esta edad fue comprobada por la presencia de ammonites, acompañada con datos de

| ÉPOCA / EDAD | | ZONAS AMONITÍFERAS | SUBZONAS AMONITÍFERAS | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------------|--|---|--------------------------------------|
| 127-132 | BARRE | INF. (parc.) | <i>Paraspiticerias groeberi</i> | | |
| | | SUPERIOR | <i>Crioceratites diamantensis</i> <i>Crioceratites schlagintweiti</i> | | |
| | HAUTERIVIANO | INFERIOR | <i>Spitidiscus ricardii</i> | | |
| | | | <i>Weavicerias vacaensis</i> | | |
| | | | <i>Hoplitcrioceras gentilii</i> | <i>Hop. gentilii</i> <i>Hop. sp. nov.</i> | |
| | | | <i>Holcoptichites neuquensis</i> | <i>O. (Olc.) leanzai</i> <i>H. compressum</i> <i>H. neuquensis</i> | |
| | | | | <i>Neocomites sp.</i> | |
| | | | | <i>Chacantuceras ornatum</i> | |
| | 133-137 | VALANGINIANO | SUPERIOR | <i>Pseudofavrella angulatiformis</i> | <i>Pseudofavrella angulatiformis</i> |
| | | | | | <i>O. (Viluceras) permolestus</i> |
| <i>Olcostephanus (O.) atherstoni</i> | | | | <i>Karakaschiceras attenuatus</i> <i>O. (Olcostephanus) atherstoni</i> | |
| INFERIOR | | | <i>Lissonia riveroi</i> | | |
| | | | <i>Neocomites wichmanni</i> | | |
| | | | | | |

CRONOLOGÍA

El estudio de la fauna de ammonites provee una buena aproximación para el cálculo de la edad del Miembro Superior de la Formación Agrio. En lo referente a la Formación Agrio en su totalidad, existe un esquema

Figura 10. Biozonas de ammonites reconocidas en la Formación Agrio. Basado en Aguirre Urreta & Rawson (1997; 1999 a y b). Escala de tiempo de Gradstein et al., (1996).

Figure 10. Ammonite biozones recognized in the Agrio Formation. Based on Aguirre Urreta & Rawson (1997; 1999 a y b). Time scale from Gradstein et al., (1996).

La sucesión rítmica de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en el sur de la provincia de Mendoza...

nannofósiles calcáreos.

Para determinar la relación espesor / edad del Miembro Superior en las secciones arroyo Cienaguitas y Río seco Cinta Roja se utilizó la escala de tiempo de Gradstein *et al.*, (1996). Los errores involucrados en los límites entre los pisos definen una duración máxima y una mínima para el intervalo en cuestión, las cuales se traducen en un rango de tasas de sedimentación. El intervalo comprendido entre la base de la Biozona de *Spitidiscus ricardii* y la parte más baja de la Biozona de *Paraspticerias groeberi* resulta apropiado para estimar la tasa de sedimentación media, puesto que en las localidades estudiadas el tope del Miembro Superior no alcanza el límite superior de esta última.

La tasa de sedimentación media (calculada a partir del cociente espesor / duración del intervalo) alcanza un valor de 45 m / Ma en la sección arroyo Cienaguitas, y de 32 m / Ma en la sección Río Seco Cinta Roja. Estos valores representan tasas de sedimentación efectivas (Park & Herbert, 1987) las cuales no están corregidas por compactación o no depositación.

ANÁLISIS DE LA CICLICIDAD

Para estimar la periodicidad de los ciclos que conforman la sucesión rítmica del Miembro Superior de la Formación Agrio se utilizaron dos metodologías. La primera de ellas, originalmente empleada por Gilbert (1895), se basa en la ponderación directa del tiempo involucrado en la formación de cada ritmo en función de su espesor. De este modo, utilizando la tasa media de sedimentación y asumiendo que la misma ha sido constante en el intervalo analizado, se toma la distancia estratigráfica como una medida del tiempo. La relación que se utiliza es:

(I) Período = Espesor del ciclo / Tasa de sedimentación media

Si se expresa el espesor del ciclo en centímetros y la tasa de sedimentación en centímetros / miles de años, el período quedará expresado en miles de años (ka).

La segunda, un poco más compleja, se basa en el análisis espectral de series de tiempo. En general se considera que el análisis espectral es un método estadístico más objetivo que los métodos de estimación simple y directa; sin embargo, es importante tener en cuenta que el tratamiento de series temporales se realiza a intervalos de tiempo constante. Por esta razón, cuando se emplean estas metodologías dentro de un contexto geológico en el cual un muestreo equidistante representa intervalos de espesor constante (y no de tiempo constante), los valores de frecuencia obtenidos a través del análisis espectral deberán interpretarse en función del espesor y no del tiempo.

En el caso analizado se realizó el análisis espectral de los datos de espesor de los pares estratificados y, por lo tanto, las frecuencias representan ciclos por unidad de espesor.

Para calcular la periodicidad se debe utilizar la siguiente relación:

(II) Período = 1 / (Frecuencia x Tasa de sedimentación media)

Si se expresa la frecuencia en ciclos / centímetro y la tasa de sedimentación en centímetros / miles de años, el período quedará expresado en miles de años / ciclo.

De lo expuesto se deduce que un requisito indispensable de ambos métodos es conocer el tiempo involucrado en la depositación de la secuencia. Esta limitación, prácticamente imposible de superar, está relacionada con el error asociado a la escala de tiempo utilizada, la imposibilidad de acotar inequívocamente la duración de las biozonas representadas, y el desconocimiento del tiempo no representado por erosión y/o no depositación. Otro factor que introduce error en el cálculo es el empleo de una tasa de sedimentación constante para todo el intervalo analizado. Sin embargo, puede considerarse que este error es mínimo en el caso del Miembro Superior de la Formación Agrio puesto que las sucesiones son uniformes en cuanto a sus facies, y no se han encontrado evidencias de superficies de erosión, ni hiatos o intervalos condensados.

Metodología de Gilbert (1895)

En cada una de las secciones se aplicó la relación (I) para estimar la duración individual de cada par estratificado, como así también de los conjuntos de pares estratificados.

La sucesión en arroyo Cienaguitas está conformada por 103 pares estratificados de los cuales el 70 % poseen una duración de entre 10 y 30 ka, el 8,73 % entre 35 y 55 ka y el 5,82 % en el orden de los 100 ka (Fig. 11 A).

En la sección Río Seco Cinta Roja se identificaron 112 pares estratificados distribuidos en un 70,54 % de ciclos de entre 10 y 30 ka, un 4,41 % entre 35 y 55 ka y un 6,25 % en el orden de los 100 ka (Fig. 11 B).

Resulta interesante destacar que, a excepción de unos pocos ciclos cuya duración es menor a los 10 ka, la mayor parte de ellos tiene periodicidades que se encuentran dentro del rango de valores correspondientes a la banda de Milankovitch. Más aún, una gran proporción de los pares estratificados (en el orden del 70 % en ambas secciones) tiene una duración muy cercana a la de los ciclos de precesión (con picos de periodicidad en 19 ka y 23 ka, pero que pueden alcanzar valores extremos de 14 a 28 ka). Los ciclos cuya duración ronda los 41 y 53 ka se

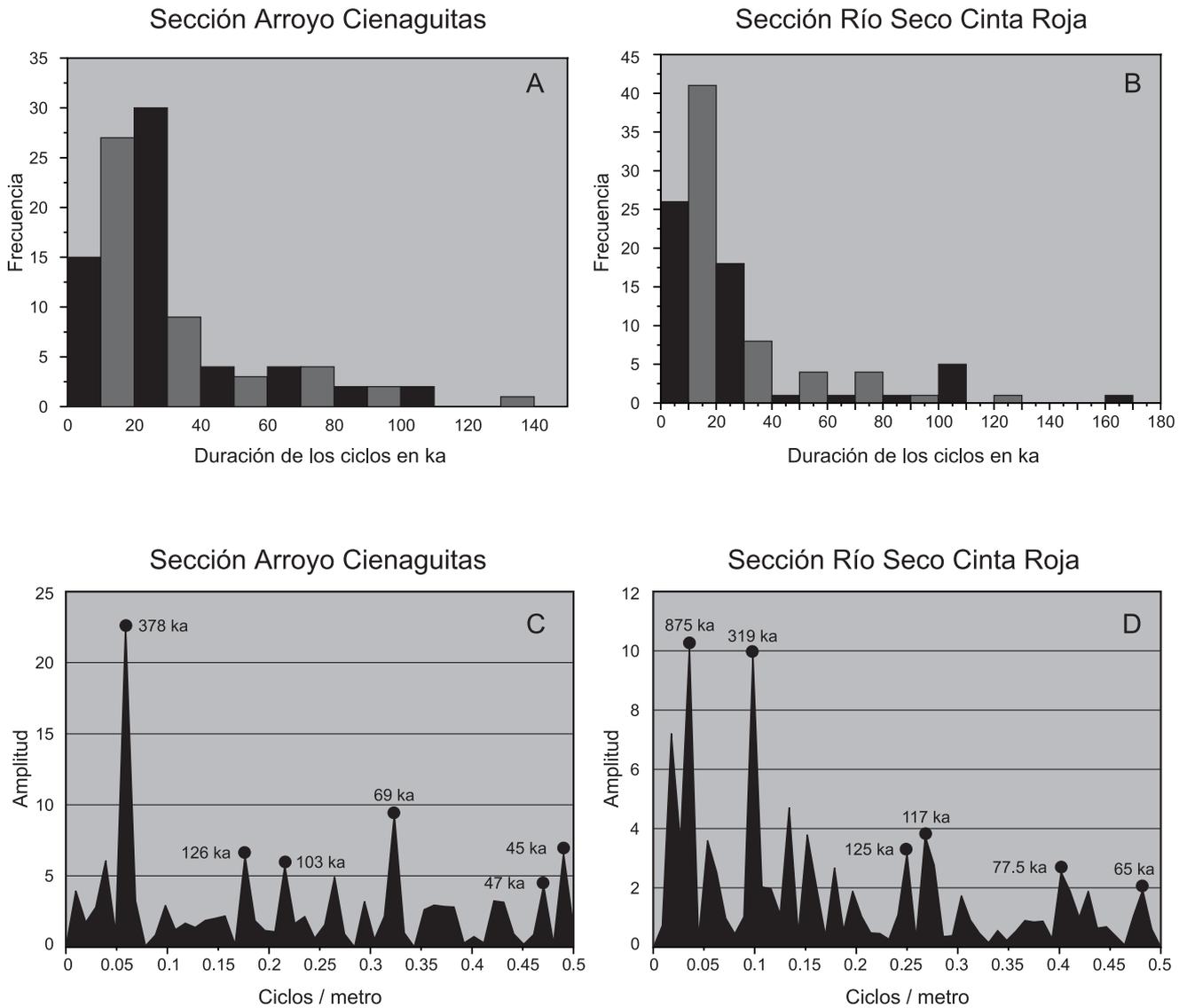


Figura 11. Arriba: distribución de frecuencias de la duración, en miles de años (ka), de los pares estratificados. A) Sección arroyo Cienaguitas. B) Sección Río Seco Cinta Roja. Abajo: análisis espectral (series de Fourier) de las series de espesor de los pares estratificados. C) Sección arroyo Cienaguitas. D) Sección Río Seco Cinta Roja. Los picos de frecuencia más significativos y su valor de periodicidad en miles de años (ka) se han indicado con un círculo negro.

Figure 11. Up: frequency intervals of the bedding couplet duration, in thousands of years (ky). A) Arroyo Cienaguitas section. B) Río Seco Cinta Roja section. Down: bedding couplet spectral analysis. C) Arroyo Cienaguitas section. D) Río Seco Cinta Roja section. Black circles denote major frequency peaks and the periodicity value in thousands of years (ky).

relacionan con la señal de oblicuidad, mientras que los cercanos a 100 ka pueden ser vinculados con el ciclo de excentricidad de rango corto.

Por otra parte, los conjuntos de pares reconocidos en la sección arroyo Cienaguitas tienen una duración aproximada de 316 ka, 530 ka, 592 ka, 633 ka y 991 ka; y los referidos a la sección Río Seco Cinta Roja de 363 ka, 469 ka, 668 ka, 787 ka y 802 ka. Estas cifras, en general, son comparables con los valores asignados por

Vail (1992) a secuencias deposicionales de 3° orden.

Análisis espectral - Series de Fourier

Uno de los métodos standard utilizados para identificar picos de frecuencia relacionados con parámetros orbitales se basa en el análisis de series de tiempo de Fourier. Una vez identificadas estas frecuencias se calculan las periodicidades de los ciclos por medio de la ecuación (II).

La sucesión rítmica de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en el sur de la provincia de Mendoza...

En la sección arroyo Cienaguitas los picos de frecuencia más significativos corresponden a ciclos de 17 m; 5,7 m; 4,3 m; 3,09 m; 2,12 m y 2,02 m (Fig. 11 C). De acuerdo con la tasa de sedimentación estimada (45 m / Ma) estos ciclos de espesor representan periodicidades de 378 ka, 126 ka, 103 ka, 69 ka, 47 ka y 45 ka respectivamente.

En la sucesión Río Seco Cinta Roja se encontraron ciclos de 28 m; 10,18 m; 4 m; 3,61 m; 2,49 m y 2,07 m (Fig. 11 D) los cuales se corresponden con periodicidades de 875 ka, 319 ka, 125 ka, 117 ka, 77,5 ka y 65 ka respectivamente (considerando la tasa de sedimentación calculada de 32 m / Ma).

El pico de 378 ka obtenido en la sección arroyo Cienaguitas (y quizás el de 319 ka de la sección Río Seco Cinta Roja) podría representar la señal de excentricidad de amplio rango, cuya periodicidad es cercana a los 400 ka. Los picos de 126 y 103 ka de la sección arroyo Cienaguitas y los de 125 ka y 117 ka de la sección Río Seco Cinta Roja se acercan a los valores correspondientes al ciclo de excentricidad de rango corto (en el orden de los 100 ka), por último, los picos de 47 ka y 45 ka hallados en la sección arroyo Cienaguitas se acercan al período de aproximadamente 41 ka correspondiente al ciclo de oblicuidad.

Si bien algunos de los valores de periodicidad resultan cercanos a los asignados a ciclos orbitales, hay otros que no reflejan períodos conocidos, dejando latente la posibilidad de que exista algún otro mecanismo orbital aún no identificado, o de que los ciclos conocidos hayan cambiado o se hayan combinado dando una respuesta hasta la fecha no descubierta.

DISCUSIÓN

Origen de los ciclos

Aunque son numerosos los trabajos en los que se aborda la interpretación del origen de la ritmicidad de los estratos, éste sigue siendo un tema bastante controvertido. En general, las interpretaciones aluden tanto a causas de origen primario como secundario.

En lo que respecta al posible origen primario, las ritmicidades se relacionan fundamentalmente con procesos autocíclicos o alocíclicos (Seilacher & Aigner, 1991; Einsele, 1991; Eberli, 1991; Einsele *et al.*, 1991).

El origen autocíclico es asignado a aquellas alternancias generadas por procesos que tienen lugar en la propia cuenca sedimentaria, por ejemplo alternancias no periódicas de tipo tempestífico o turbidítico.

Las alternancias alocíclicas son producto de fenó-

menos no directamente relacionados con la cuenca sedimentaria tales como las variaciones climáticas, los movimientos tectónicos y las variaciones eustáticas.

Frente a la interpretación de un origen primario, algunos autores (Sujkowski, 1958; Hallam, 1964; 1986; Bathurst, 1991) defienden el origen secundario, basado en la redistribución de carbonato en una sucesión inicialmente homogénea. Son pocos los trabajos en los que se aduce un origen secundario, sin embargo se admite que las alternancias reconocidas en los afloramientos pueden registrar una superposición secundaria sobre los ritmos primarios existentes. En este caso los procesos de cementación selectiva de los carbonatos favorecen fenómenos de disolución-precipitación y compactación diferencial, lo que provoca diferencias respecto a la distribución inicial. De esta manera, los ritmos marga-caliza originados por fenómenos diagenéticos se caracterizan por presentar capas de calizas relativamente potentes con intercalaciones margosas o pelíticas delgadas (Bathurst, 1987; Ricken, 1986). Esto se debe a que la cementación suele ser más intensa en las capas ricas en carbonato, en tanto que las más arcillosas sufren una mayor compactación química y mecánica.

Ambientes propicios para la formación de ritmos marga-caliza

El desarrollo de ritmos marga-caliza en secciones de campo se pone de manifiesto cuando la relación carbonato / arcilla se encuentra en el orden de 3 a 4. Dado que la tasa de producción planctónica de carbonato es baja (5 a 30 m / Ma) las alternancias marga-caliza pueden ser fácilmente destruidas por dilución clástica.

Por este motivo, los ambientes propicios para la formación de los ritmos marga-caliza se localizan en zonas de bajo aporte terrígeno, y por debajo de la profundidad de olas de tormenta.

Estos ambientes son:

a) Plataforma y rampa carbonática externa distal y zona central de mares epicontinentales: debido a que estos ambientes se encuentran relativamente cerca de las masas continentales, son zonas que reciben cantidades relativamente importantes de fangos terrígenos. Así, los fangos carbonatados (tanto de origen pelágico como derivados de la plataforma) tienden a ser diluidos por aporte clástico. Por esta razón, las condiciones climáticas reinantes en el continente y las variaciones relativas del nivel del mar resultan sumamente importantes en la relación final sedimento carbonático / sedimento clástico (Eberli, 1991). En aquellos casos en que el aporte terrígeno se vuelve muy importante, y alcanza una proporción mayor a la tercera parte o mitad del volumen total de

sedimento, las sucesiones marga-caliza pueden ser reemplazadas por sucesiones pelita-marga, con pares estratificados más potentes.

b) Zona marginal profunda del océano, plateaux oceánico profundo y ambientes desarrollados alrededor de plataformas carbonáticas aisladas: estos ambientes parecen ser los más favorables para el desarrollo de ritmos marga-caliza. Dado que se desarrollan a profundidades que están por arriba de la lysoclina, y a que sólo reciben pequeñas cantidades de sedimentos terrígenos, los ritmos están muy poco afectados por fenómenos de disolución del carbonato y por dilución clástica, por lo que el control dominante es ejercido por la tasa de productividad carbonática. Bajo determinadas circunstancias la productividad carbonática es tan alta que el contenido de arcilla resulta insuficiente para la formación de niveles margosos.

c) Zona de mar profundo, entre la lysoclina y la profundidad de compensación de los carbonatos: el principal factor para el desarrollo de los ritmos en estos ambientes es la variación en la disolución del carbonato, debido a la oscilación de la lysoclina. Como resultado de esto se originan secuencias con grandes variaciones en el contenido de carbonato entre capas consecutivas (Farell & Prell, 1987).

En lo que respecta al Miembro Superior de la Formación Agrio, existen una serie de criterios que pueden ser utilizados a favor de un origen primario de la ritmicidad observada. Por un lado, la mayoría de las capas mantienen constante el espesor, además no se observan diferencias mineralógicas significativas entre capas de distinta composición litológica, más aún, no es frecuente encontrar fósiles fracturados como consecuencia de una deformación secundaria.

Una vez interpretado el origen primario de la ritmicidad, es necesario evaluar si éste se vincula con procesos autocíclicos o alocíclicos. A partir del análisis detallado de la unidad se ha puesto de manifiesto que, en general, no se observan granoclasificaciones (este hecho puede estar relacionado, al menos en parte, con el tamaño de grano fino generalizado de la sucesión), el análisis de las microfacies muestra una gran uniformidad composicional, sin diferencias texturales ni granulométricas; además, la única estructura sedimentaria que se ha definido es laminación producida por fenómenos de decantación de material fino.

Estas características llevan a descartar la influencia de procesos autocíclicos (turbidíticos, tempestíticos) en la formación de los ciclos, por lo que se infiere que la ciclicidad se debe a procesos alocíclicos y, dada la escala de las alternancias y sus rangos de periodicidad, se presume que los ritmos se han originado por alguno de los

mecanismos relacionados con los Ciclos de Milankovitch (eustatismo de alta frecuencia, productividad carbonática, dilución clástica, disolución de carbonato).

Dado que el Miembro Superior de la Formación Agrio se depositó en un ambiente de rampa distal, afectado por la llegada de material terrígeno, que la profundidad del sustrato se encuentra por encima de la profundidad de la lysoclina; y que los ritmos observados comprenden pares estratificados marga-caliza y pelita-marga caracterizados por presentar hemiciclos pelíticos más potentes y con mayores variaciones de espesor que los hemiciclos calcáreos; se presume que el principal control en la formación de los ciclos ha sido la variación en el aporte clástico y, por ende, que los ritmos representan ciclos de dilución.

Los conjuntos de pares, por su parte, se habrían originado en respuesta a variaciones eustáticas de 3° orden.

Consideraciones acerca de la ritmicidad

En una clásica publicación referida al Triásico de los Alpes, Sander (1951, p. 16) expresó que “a partir de secuencias sedimentarias no rítmicas en el espacio no podemos concluir que el control en su formación ha sido no rítmico en el tiempo; sin embargo, a partir de secuencias sedimentarias rítmicas en el espacio debemos concluir que ha existido un control rítmico en el tiempo”. Schwarzacher, discípulo de Sander, demostró esta premisa, la denominó Regla de Sander y la enunció de la siguiente manera: “la ciclicidad en el espacio (representado por el espesor estratigráfico) indica ciclicidad en el tiempo, pero la ausencia de ciclicidad en el espacio no indica ausencia de ciclicidad en el tiempo” (Schwarzacher, 1975, p. 288).

Contrariamente a la opinión de estos y muchos otros autores, hay quienes sostienen que las sucesiones rítmicas pueden ser originadas por procesos no cíclicos (aleatorios) y que la ciclicidad resultante es una casualidad y no una causalidad (ver Drummond & Wilkinson, 1993a; 1993b; Wilkinson *et al.*, 1998).

En esta contribución se han empleado diferentes metodologías para el cálculo de la periodicidad de los ciclos que componen el Miembro Superior de la Formación Agrio, con la finalidad de confrontar los resultados obtenidos en cada caso, y evaluar el alcance de los distintos métodos.

Resulta interesante destacar que las periodicidades obtenidas por uno y otro mecanismo no son coincidentes. Es así que mediante el empleo de la Metodología de Gilbert (1895) se determinaron con gran éxito los ciclos de mayor frecuencia (representados por los pares

La sucesión rítmica de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en el sur de la provincia de Mendoza...

estratificados individuales), cuya duración es cercana a la de los ciclos de precesión.

Sin embargo, a través del análisis espectral (Series de Fourier) se pusieron de manifiesto los picos de frecuencia relacionados con los ciclos de oblicuidad y excentricidad, en tanto que la señal de precesión no fue detectada.

Esta diferencia de resultados no implica una falla en el análisis, sino más bien una consecuencia del alcance de cada método. En lo que se refiere a Gilbert (1895), la fuerte señal de periodicidad vinculada al ciclo de precesión se debe al hecho de que sólo se ha calculado la duración de cada par estratificado en forma individual, sin progresar en el análisis de posibles agrupamientos de pares que pudieran dar lugar a un orden de ciclicidad mayor. Por otra parte, la no aparición de la señal de precesión en el análisis espectral puede estar relacionada, en parte, con el amplio rango de periodicidad que posee el ciclo de precesión. Este hecho ha sido establecido por Fischer *et al.* (1991) quienes observaron que es posible que los picos espectrales correspondientes a las mayores frecuencias no resulten evidentes, aún cuando la señal de estratificación de alta frecuencia es el atributo más importante en la sucesión sedimentaria.

CONCLUSIONES

1) La ritmicidad que caracteriza al Miembro Superior de la Formación Agrio es un rasgo deposicional, y constituye una evidencia de que ciclos regulares en tiempo fueron responsable de su formación.

2) Los atributos sedimentológicos que caracterizan dicha sucesión rítmica indican que tiene un origen primario relacionado con procesos alocíclicos, más específicamente con Ciclos de Milankovitch.

3) La estimación de la duración de los ciclos a partir de análisis directo del espesor de los pares estratificados pone de manifiesto que, tanto en la sucesión de Arroyo Cienaguitas como en la de Río Seco Cinta Roja, una importante proporción de éstos tienen una duración en torno a los 20 ka, por lo que pueden ser interpretados como ciclos de precesión. Por su parte, los conjuntos de pares estratificados, cuya duración varía entre 316 ka y 991 ka, pueden ser atribuidos a secuencias deposicionales de 3° orden (en el sentido de Vail, 1992).

4) El empleo de técnicas de análisis espectral (Series de Fourier) permitió identificar los picos de frecuencia relacionados las señales orbitales de oblicuidad y excentricidad.

5) Los picos de frecuencia más significativos obtenidos a partir del análisis de la serie de espesor de la sec-

ción arroyo Cienaguitas indican periodicidades en torno a los 41 ka, 100 y 400 ka, posiblemente vinculados con señales de oblicuidad, excentricidad de rango corto y excentricidad de amplio rango respectivamente.

6) Los picos de frecuencia más significativos obtenidos a partir de la serie de espesor de la sección Río Seco Cinta Roja indican periodicidades en torno a los 100 ka, posiblemente vinculadas con señales de excentricidad de rango corto.

Agradecimientos. A Beatriz Aguirre Urreta, por la clasificación de los ammonites, de vital importancia para la realización del trabajo. A los árbitros, por la revisión del manuscrito y las sugerencias realizadas. A Luis Spalletti, por su estímulo y apoyo durante la elaboración del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE URRETA, M. B., 1993. Neocomian ammonite biostratigraphy of the Andean basins of Argentina and Chile. *Revista Española de Paleontología* 8: 57-74.
- AGUIRRE URRETA, M. B. & P. F. RAWSON, 1993. The Lower Cretaceous Ammonite *Paraspiticer* from Neuquén basin, west-central Argentina. *Neues Jahrbuch Geologie Paläontologie, Abhandlungen* 188: 51-69.
- AGUIRRE URRETA, M. B. & P. F. RAWSON, 1997. The ammonite sequence in the Agrio Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina. *Geological Magazine* 134 (4): 449-458.
- AGUIRRE URRETA, M. B. & P. F. RAWSON, 1999a. Stratigraphic position of *Valanginites*, *Lissonia* and *Acantholissonia* in the Lower Valanginian (Lower Cretaceous) sequence of the Neuquén Basin, Argentina. En: Olóriz, F. & F. J. Rodríguez-Tovar (Eds.) *Advancing research on living and fossil cephalopods*: 521-529. Plenum Press. New York.
- AGUIRRE URRETA, M. B. & P. F. RAWSON, 1999b. The Lower Cretaceous (Valanginian) ammonite *Chancatuceras* gen. nov., a link between the Neuquén and Austral basins, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53: 354-364.
- AGUIRRE URRETA, M. B. & P. F. RAWSON, 1999c. Lower Cretaceous ammonites from the Neuquén Basin, Argentina: *Viluceras*, a new Valanginian subgenus of *Olcostephanus*. *Cretaceous Research* 20: 343-357.
- ANDERSON, R. Y., 1984. Orbital forcing of evaporite sedimentation. En: Berger, A. L., J. Imbrie, J. Hays, G. Kukla & B. Saltzman, (Eds.). *Milankovitch and Climate Part 1*: 147-162. Reidel Publication Company Dordrecht.
- ARTHUR, M. A., W. E. DEAN & D. A. V. STOW, 1984. Models for the deposition of Mesozoic fine-grained

- organic-carbon-rich sediments in the deep sea. En: Stow, D. A. V. & D. J. W. Piper (Eds.) *Fine-grained Sediments: Deep-water Processes and Facies*. Geological Society of London Special Publication 15: 527-560. London.
- ARTHUR, M. A. & W. E. DEAN, 1991. A Holistic Geochemical Approach to Cyclomania: Examples from Cretaceous Pelagic Limestone Sequences. En: Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A. (Eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*: 126-166. Springer Verlag. New York.
- BARRON, E. J., C. HARRISON, J. SLOAN & W. HAY, 1981. Paleogeography, 180 million year ago to the present. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 74: 443-470.
- BARRON, E. J., M. A. ARTHUR, E. G. KAUFFMAN, 1985. Cretaceous rhythmic bedding sequences: a plausible link between orbital variations and climate. *Earth and Planetary Science Letters* 72: 327-340.
- BATHURST, R. G. C., 1987. Diagenetically enhanced bedding in argillaceous platform limestones: stratified cementation and selective compaction. *Sedimentology* 34: 749-778.
- BATHURST, R. G. C., 1991. Pressure-dissolution and limestone bedding: the influence of stratified cementation. En: Einsele, G., W. Ricken & A. Seilacher, (Eds.), *Cycles and Events in Stratigraphy*: 450-463. Springer Verlag. New York.
- BERGER, A., 1988. Milankovitch theory and Climate. *Rev. Geophys* 26: 624-657.
- BERGER, A. & M. F. LOUTRE, 1989. Pre-Quaternary Milankovitch frequencies. *Nature* 342: 133.
- BERGER, A., M. F. LOUTRE & V. DEHANT, 1989. Astronomical frequencies for pre-Quaternary paleoclimatic studies. *Terra Nova* 1: 474-479.
- BOTTJER, D. J., M. A. ARTHUR, W. E. DEAN, D. E. HATTIN & C. E. SAVRDA, 1986. Rhythmic bedding produced in Cretaceous pelagic carbonate environments: sensitive recorder of climate cycles. *Paleoceanography* 1: 467-481.
- COTTLE, R. A., 1989. Orbitally mediated cycles from the Turonian of southern England: their potential for high-resolution stratigraphic correlation. *Terra Nova* 1: 426-431.
- DE BOER, P. L., 1982. Cyclicity and the storage of organic matter in Middle Cretaceous pelagic sediments. En: Einsele, G. & A. Seilacher (Eds.). *Cyclic and Event Stratification*: 456-475. Springer Verlag. Berlin.
- DE BOER, P. L., 1983. Aspects of Middle Cretaceous pelagic sedimentation in S Europe. *Geological Ultraiectina* 31: 112.
- DE BOER, P. L. & D. G. SMITH, 1994. Orbital forcing and cyclic sequences. En: De Boer, P. L. & D. G. Smith (Eds.). *Orbital Forcing and Cyclic Sequences*. International Association of Sedimentology Special Publication 19: 1-14. Blackwell. London.
- DRUMMOND, C. N. & B. H. WILKINSON, 1993a. On the use of cycle thickness diagrams as record of long-term sealevel change during accumulation of carbonate sequences. *The Journal of Geology* 101: 687-702.
- DRUMMOND, C. N. & B. H. WILKINSON, 1993b. Carbonate cycle stacking patterns and hierarchies of orbitally forced eustatic sealevel change. *Journal of Sedimentary Petrology* 63 (3): 369-377.
- EBERLI, G. P., 1991. Calcareous turbidites and their relationship to sea-level fluctuations and tectonism. En: Einsele, G., W. Ricken & A. Seilacher (Eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*: 340-359. Springer Verlag. New York.
- EINSELE, G. & W. RICKEN, 1991. Limestone-Marl alternations – an Overview. En: Einsele, G., W. Ricken & A. Seilacher, (Eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*: 23-47. Springer Verlag. New York.
- EINSELE, G., W. RICKEN & A. SEILACHER, 1991. Cycles and Events in Stratigraphy – Basic Concepts and Terms. En: Einsele, G., W. Ricken & A. Seilacher (Eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*: 1-19. Springer Verlag. New York.
- ELDER, W. P., E. R. GUSTASON & B. B. SAGEMAN, 1994. Correlation of basinal carbonate cycles to nearshore parasequences in the Late Cretaceous Greenhorn seaway, Western Interior USA. *Geological Society of America Bulletin* 106: 892-902.
- FAREL, & W.L. PRELL, 1987. Climate forcing of calcium carbonate sedimentation: a 4.0 my record from the central equatorial Pacific Ocean. *American Geophysics Union* 68: 333.
- FISCHER, A. G., 1964. The Lofer cyclothems of the Alpine Triassic: Kansas state. *Geological Survey Bulletin* 169 1: 107-150.
- FISCHER, A. G., 1980. Gilbert-bedding rhythms and geochronology. En: Yochelson E. I. (Ed.) *The Scientific ideas of G. K. Gilbert*. Geological Society of America Special Papers 183: 93-104.
- FISCHER, A. G., 1982. Long-term climatic oscillations recorded in stratigraphy. En: *Climate in Earth History*. National academy Press, Washington D. C., p. 97-104.
- FISCHER, A. G., 1993. Cyclostratigraphy of Cretaceous chalk-marl sequences. En: Caldwell, W. G. E. & E. G. Kauffman (Eds.), *Evolution of the Western Interior Basin*. Geological Association of Canada. Special Paper 39: 283-296.
- FISCHER, A. G., T. D. HERBERT, G. NAPOLEONE, I. PREMOLI SILVA & M. RIPEPE, 1991. Albian pelagic rhythms (Piobbico core). *Journal of Sedimentary Petrology* 61, 1164-1172.
- FISCHER, A. G. & W. SCHWARZACHER, 1984.

La sucesión rítmica de la Formación Agrio (Cretácico inferior) en el sur de la provincia de Mendoza...

- Cretaceous bedding rhythms under orbital control? En: Berger, A., J. Imbrie, J. Hays, G. Kukla & B. Saltzman (Eds) *Milankovitch and climate*. NATO ASI Series C 126: 163-176. Reidel Publication Company Dordrecht.
- GALE, A. S., 1998. Cyclostratigraphy. En: Doyle, P. & M. R. Bennett (Eds.), *Unlocking the stratigraphical record: advances in modern stratigraphy*: 195-220. John Wiley & Sons Limited.
- GILBERT, G. K., 1895. Sedimentary measurement of the geological time. *Journal of Geology* 3: 121-127.
- GOLDHAMMER, R. K., P. A. DUNN & P. A. HARDIE, 1990. Depositional cycles, composite sea-level changes, cycles stacking patterns, and the hierarchy of stratigraphic forcing: Examples from the Alpine Triassic carbonates. *Geological Society of America Bulletin* 102: 535-562.
- GRADSTEIN, F. M., F. P. AGTERBERG, J. G. OGG, J. HARDENBOL, P. VAN VEEN, J. THIERRY & ZEHUI HUANG, 1996. A Triassic, Jurassic and Cretaceous time scale. *Society for Sedimentary Geology*, Special Publication 54:95-126.
- GRÖTSCH, J., 1996. Cycle stacking and long-term sea-level history in the Lower Cretaceous (Gavrovo Platform, NW Greece). *Journal of Sedimentary Research* 66 (4): 723-736.
- HALLAM, A., 1964. Origin of the limestone-shale rhythms in the Blue Lias of England: a composite theory. *Journal of Geology* 72: 157-168.
- HALLAM, A., 1986. Origin of minor limestone-shale cycles: climatically induced or diagenetic? *Geology* 14: 609-612.
- HAQ, B. U., J. HARDENBOL & P. R. VAIL, 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1167.
- KAUFFMAN, E. G., 1977. Geological and biological overview: Western Interior Cretaceous Basin. *Mountain Geologist* 14: 75-100.
- KOERSCHNER, W. F. & J. F. READ, 1989. Field and modelling studies of Cambrian carbonate cycles, Virginia Appalachians. *Journal of Sedimentary Petrology* 59: 654-687.
- KOZLOWSKI, E. E., R. MANCEDA & V. A. RAMOS, 1993. Estructura. En: Ramos, V. A. (Ed.) *Geología y Recursos Minerales de Mendoza*. Relatorio XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos: 235-256. Mendoza.
- LEGARRETA, L. & C. A. GULISANO, 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior). En: Chebli, G. & L. A. Spalletti (Eds.) *Cuencas Sedimentarias Argentinas*, Serie Correlación Geológica 6: 221-243.
- LEGARRETA, L. & M. A. ULIANA, 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of backarc basin fill, Central Argentine Andes. En: D. I. Macdonald (Ed.), *Sedimentation, Tectonics and Eustasy. Sea level Changes at Active Plate Margins*, International Association of Sedimentology Special Publications 12: 429-450.
- LEGARRETA, L., C. A. GULISANO & M. A. ULIANA, 1993. Las Secuencias Sedimentarias Jurásico-Cretácicas. En: Ramos, V. A. (Ed.) *Geología y Recursos Minerales de Mendoza*. Relatorio XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos: 87-114.
- LEGARRETA, L., E. KOZLOWSKY & A. BOL, 1981. Esquema estratigráfico y distribución de facies del Grupo Mendoza en el ámbito surmendocino de la Cuenca Neuquina. *VIII Congreso Geológico Argentino, Actas III*: 389-409. San Luis.
- LEGARRETA, L. & M. A. ULIANA, 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of backarc basin fill, Central Argentine Andes. En: Macdonald, D. I. (Ed.) *Sedimentation, Tectonics and Eustasy. Sea level Changes at Active Plate Margins*. International Association of Sedimentology Special Publications 12: 429-450.
- LEHMANN, C., D. A. OSLEGER & I. MONTAÑEZ, 1998. Controls on cyclostratigraphy of Lower Cretaceous carbonates and evaporites, Cupido and Coahuila Platforms, Northeastern Mexico. *Journal of Sedimentary Research* 68 (6): 1109-1130.
- LINS, T. W., F. E. JOHNSON, D. M. KEADY & E. E. RUSSELL, 1977. The Arcola Limestone: A Cretaceous calcisphere wackestone and grainstone. *Geological Society of America Abstracts with Programs* 9: 159.
- MELYNK, D. H. & D. G. SMITH, 1989. Outcrop to subsurface cycle correlation in the Milankovitch frequency band: Middle Cretaceous, central Italy. *Terra Nova* 1: 432-436.
- MITCHUM R. M., & J. C. VAN WAGONER, 1991. High frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high frequency eustatic cycles. *Sedimentary Geology* 70: 131-160.
- PARK, J. & HERBERT, T. D., 1987. Hunting for paleoclimatic periodicities in a geologic time series with an uncertain time scale. *Journal of Geophysical Research* 92: 14,027-14,040.
- OLSEN, P. E., 1984. Periodicity of Lake-level cycles in the Late Triassic Lockatong Formation of Newark Basin (Newark Supergroup, New Jersey and Pennsylvania). En: Berger, A. L., J. Imbrie, J. Hays, G. Kukla & B. Saltzman (Eds.). *Milankovitch and Climate Part 1*: 129-146. Reidel Publication Company Dordrecht.
- PRATT, L. M., E. G. KAUFFMAN, & F. B. ZELT (Eds.), 1985. Fine-grained deposits and biofacies of the Cretaceous

Guillermina SAGASTI

- Western Interior Seaway: Evidence of cyclic sedimentation processes. *Society of economic Paleontologists and Mineralogists Field Trip Guidebook 4*.
- RICKEN, W., 1986. Diagenetic bedding: a model for marl-limestone alternations (Lect. Notes Earth Sci. 6), *Springer, Berlin Heidelberg New York*, 210 pp.
- RUDDIMAN, W. F., M. RAYMO & A. MC INTYRE, 1986. Matuyama 41,000-year cycles: North Atlantic Ocean and northern hemisphere ice-sheets. *Earth and Planetary Science Letters* 80: 117-129.
- SAGEMAN, B. B., J. RICH, M. A. ARTHUR, W. E. DEAN, C. E. SAVRDA & T. J. BRALOWER, 1998. Multiple Milankovitch cycles in the Bridge Creek Limestones (Cenomanian-Turonian), Western Interior Basin. Stratigraphy and Paleoenvironments of the Cretaceous Western Interior Seaway, USA. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology* 6: 153-171.
- SANDER, B., 1951. Contribution to the study of depositional fabrics (rhythmically deposited Triassic limestones and dolomites): *Tulsa*, Oklahoma, American Association of Petroleum geologists, 207 p.
- SCHWARZACHER, W., 1975. Sedimentation models and quantitative stratigraphy. *Developments in Sedimentology* 19. New York, Elsevier, 382 p.
- SCHWARZACHER, W. & A. G. FISCHER, 1982. Limestone-Shale bedding and perturbations of the Earth's orbit. En: Einsele, G. & A. Seilacher, (Eds.). *Cyclic and Event Stratification*: 72-95. Springer Verlag. Berlin.
- SEIBOLD, E., 1952. Chemische untersuchungen zur Ban Kung im unteren Malm Schwabens. *Neues Jahrbuch Geologie Paläontologie, Abhandlungen* 95: 337-370.
- SEILACHER, A. & T. AIGNER, 1991. Storm deposition at the Bed, Facies and Basin Scale: the Geologic Perspective. En: Einsele, G., W. Ricken & A. Seilacher, (Eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*: 249-267. Springer Verlag. New York.
- SPALLETTI, L. A., A. DEL VALLE & A. KIELBOWICZ, 1990. Análisis cicloestratigráfico del intervalo Hauteriviano superior-Barremiano en el área de Filo Morado, Cuenca Neuquina. *III Reunión Argentina de Sedimentología Actas*: 253-259. San Juan.
- SPALLETTI, L. A., J. FRANZESE, S. D. MATHEOS & E. SCHWARZ (en prensa). Sequence stratigraphy in tidally-dominated carbonate-siliciclastic ramp, The Tithonian of the Southern Neuquén Basin, Argentine. *Journal of the Geological Society of London*.
- SUJKOWSKI, Z. L., 1958. Diagenesis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 42: 2692-2717.
- VAIL, P. R., 1992. The evolution of seismic stratigraphy and the global sea-level curve. En Dott R. H., Jr., (Ed.) *Eustasy: the historical ups and downs of a major geological concept*. Geological Society of America Memoir 180: 83-91.
- WEAVER, V., 1931. Palaeontology of the Jurassic and Cretaceous central Argentina. University of Washington. Memoir I: 1-496. Seattle.
- WEEDON, G. P., 1993. The recognition and stratigraphic implications of orbital-forcing of climate and sedimentary cycles. *Sedimentary Review* 1: 31-48.
- WILKINSON, B. H., N. W. DIEDRICH, C. N. DRUMMOND & E. D. ROTHMAN, 1998. Michigan hockey, meteoric precipitation, and rhythmicity of accumulation on peritidal carbonate platforms. *Geological Society of America Bulletin* 110 (8): 1075-1093.
- WRIGTH, V. P., 1992. Speculations on the controls on cyclic peritidal carbonates: ice-house versus greenhouse eustatic controls. *Sedimentary Geology* 76: 1-5.

Guillermina SAGASTI
Centro de Investigaciones Geológicas
(UNLP-CONICET)
Calle 1 N° 644
1900 La Plata
República Argentina
Teléfono: 54-221-4215677
E-mail: guille@cig.museo.unlp.edu.ar

Recibido: 4 de julio de 2000.

Aceptado: 15 de noviembre de 2000.