



## LA FORMACIÓN MULICHINCO (CRETÁCICO TEMPRANO) EN LA CUENCA NEUQUINA

Ernesto Schwarz<sup>1</sup>, Luis A. Spalletti<sup>1</sup> y Gonzalo D. Veiga<sup>1</sup>

1. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP – CONICET), La Plata [eschwarz@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:eschwarz@cig.museo.unlp.edu.ar)

### RESUMEN

La Formación Mulichinco se compone de sedimentitas continentales, transicionales y marinas y representa una cuña de mar bajo de baja frecuencia desarrollada sobre un límite de secuencia regional labrado en el Valanginiano Temprano a partir de un brusco descenso del relativo nivel del mar. La alta variabilidad de facies tanto en sentido lateral como vertical dentro de la Formación Mulichinco, así como la dificultad de identificar en algunos sectores de la cuenca su límite basal (denominado Discontinuidad Intravalanginiana), históricamente han impedido un consenso sobre el alcance estratigráfico de la unidad. En este capítulo se discute en primer lugar la definición original de la Formación Mulichinco y su evolución histórica, para pasar luego a describir su composición facial y desarrollo vertical en distintas áreas de la cuenca, tanto de afloramiento como de subsuelo. Sobre esta base se definen diferentes sistemas de acumulación para cada región e intervalo estratigráfico, que varían desde sistemas entrelazados gravosos en porciones proximales y etapas iniciales de acumulación, hasta sistemas marinos costa afuera en regiones distales y etapas póstumas de sedimentación. A continuación se discuten aspectos bioestratigráficos, secuenciales y relacionados con los controles extrínsecos, que resultan fundamentales para comprender la evolución de la unidad, pero también para justificar el alcance estratigráfico y regional que se propone en este trabajo.

**Palabras clave:** Sistemas Continentales, Sistemas Marinos, Cuña de Mar Bajo, Formación Mulichinco, Valanginiano, Cuenca Neuquina

### ABSTRACT

*The Mulichinco Formation (Early Cretaceous) in the Neuquén Basin.* - The Mulichinco Formation (Valanginian) comprises continental, transitional and open marine deposits and represents a low-frequency lowstand wedge within the Lower Cretaceous depositional history of the Neuquén Basin. The sequence boundary developed during a major, tectonically-induced sea-level fall and marks a drastic basinward shift of facies belts. Significant variations in facies, depositional architecture, and internal organization of the Mulichinco Formation occur along depositional strike and dip. This, coupled with the difficulty to recognize its basal sequence boundary (Intravalanginian Unconformity) in the more proximal and distal parts of the depocenter, have hampered a consensus on the stratigraphy and regional distribution of the unit over the years. In this paper, firstly the original definition of the Mulichinco Formation and its historic development is discussed. Secondly, facies associations and vertical stacking of the unit across the basin (both in outcrop and subsurface) are presented, followed by the characterization of the interpreted depositional systems. Biostratigraphic data, sequence-stratigraphic organization, as well as allogenic controls are finally discussed. The collective information presented in this chapter helps understanding the vertical and regional evolution of the Mulichinco Formation deposits, but at the same time is aimed at providing with a stratigraphic framework which could gain greater consensus for future research.

**Key words:** Continental Depositional Systems, Marine Depositional Systems, Lowstand Wedge, Mulichinco Formation, Valanginian, Neuquén Basin.

### INTRODUCCIÓN

La Formación Mulichinco fue originalmente reconocida y definida por Weaver (1931) en su extensa monografía sobre todo el relleno mesozoico aflorante en la Cuenca Neuquina (Fig. 1). La unidad pertenece a la sucesión sedimentaria que Groeber (1946) denominara Ciclo Ándico, Subciclo Mendociano en un principio, y que luego fuera modificado a Grupo Mendoza por Stipanovic *et al.* (1968). En esta sucesión, la Formación Mulichinco constituye un paquete predominantemente arenoso con sedimentitas continentales y marinas intercalado entre dos unidades marinas en las que prevalecen sedimentitas de grano fino y por ello su desarrollo se vinculó desde un primer momento con una fuerte regresión del ambiente marino (Weaver 1931; Groeber 1946). La unidad fue incluida en numerosos estudios de índole estratigráfica general (e.g. Marchese 1971; Uliana *et al.* 1977; Digregorio & Uliana, 1979), como así también abordada durante trabajos de cartografía geológica

(e.g. Zöllner & Amos 1973; Holmberg 1976). Sin embargo, hasta los inicios del siglo XXI se carecía de un estudio detallado de la unidad en afloramiento.

La Formación Mulichinco se desarrolló durante e inmediatamente poco después de un abrupto descenso relativo del nivel del mar (Gulisano *et al.* 1984), influenciado probablemente por un alzamiento tectónico (Vergani *et al.* 1995; Schwarz *et al.* 2006). Este efecto combinado ha generado una secuencia de mar bajo de segundo orden que muestra rápidos cambios de facies laterales y verticales (Schwarz 2003; Schwarz & Howell 2005), cuya arquitectura interna es compleja y representa un importante ejemplo aplicable a otras sucesiones fósiles desarrolladas sobre rampas deposicionales (Schwarz *et al.* 2006).

La Formación Mulichinco es también una importante unidad reservorio y objetivo exploratorio en el Engolfamiento Neuquino (Vottero & González 2002), extendiéndose desde algo al norte de la Dorsal de Huincul hasta el sur de la provincia de Mendoza (Fig. 1). La unidad también

reviste importancia desde un punto de vista bioestratigráfico y paleontológico por ser portadora de ammonoides (Aguirre Urreta *et al.* 2005) y una profusa fauna de invertebrados marinos, como así también por vertebrados marinos (e.g. Lazo & Cichowolski 2003) y continentales (Coria 2010) recientemente descubiertos.

El objetivo de este trabajo es discutir la definición original de la Formación Mulichinco y su evolución histórica, para pasar luego a describir su composición facial y desarrollo vertical en distintas áreas de la cuenca, tanto de afloramiento como de subsuelo. A continuación se discuten aspectos bioestratigráficos, estratigráficos y secuenciales que resultan fundamentales para comprender la evolución de la unidad, pero también para justificar el alcance que se propone en este trabajo. Finalmente se mencionan algunos temas específicos que según nuestro criterio podrían profundizarse en futuras investigaciones.

### Antecedentes estratigráficos

La Formación Mulichinco fue originalmente reconocida por Weaver (1931, pág. 53) quien analizando sus princi-

pales atributos sedimentarios y paleontológicos la describió como conformada mayormente por depósitos continentales, principalmente en el sur y sur-centro del Neuquén. Sin embargo, a continuación, al ocuparse de la unidad en el área de Pichi Neuquén (centro de la provincia) escribió: «...»The Mulichinco formation is still of continental origin, although the upper third consists of gray sandy shales with interbedded marine limestones indicating occasional invasions of the sea during the interval» ... «...»Further to the northeast at Curaco Canyon, the marine intercalations become thicker and more abundant, until at Rio Colorado they predominate and the continental phase almost entirely disappears» (Weaver 1931, pág. 72).

La Formación Mulichinco definida por Weaver (1931) conformaba una sucesión enteramente continental de 500 a 600 m de espesor entre el área de Picún Leufú y la sierra de la Vaca Muerta, que reducía drásticamente su potencia (200 - 270 m) en los alrededores del Cerro Mulichinco (Fig. 2). Algo más al norte (área Pichi Neuquén), su espesor era de hasta 300 m, pero poseía un tercio superior con dominio de depósitos marinos, en tanto que en el noreste del Neuquén la unidad estaba representada por una suce-

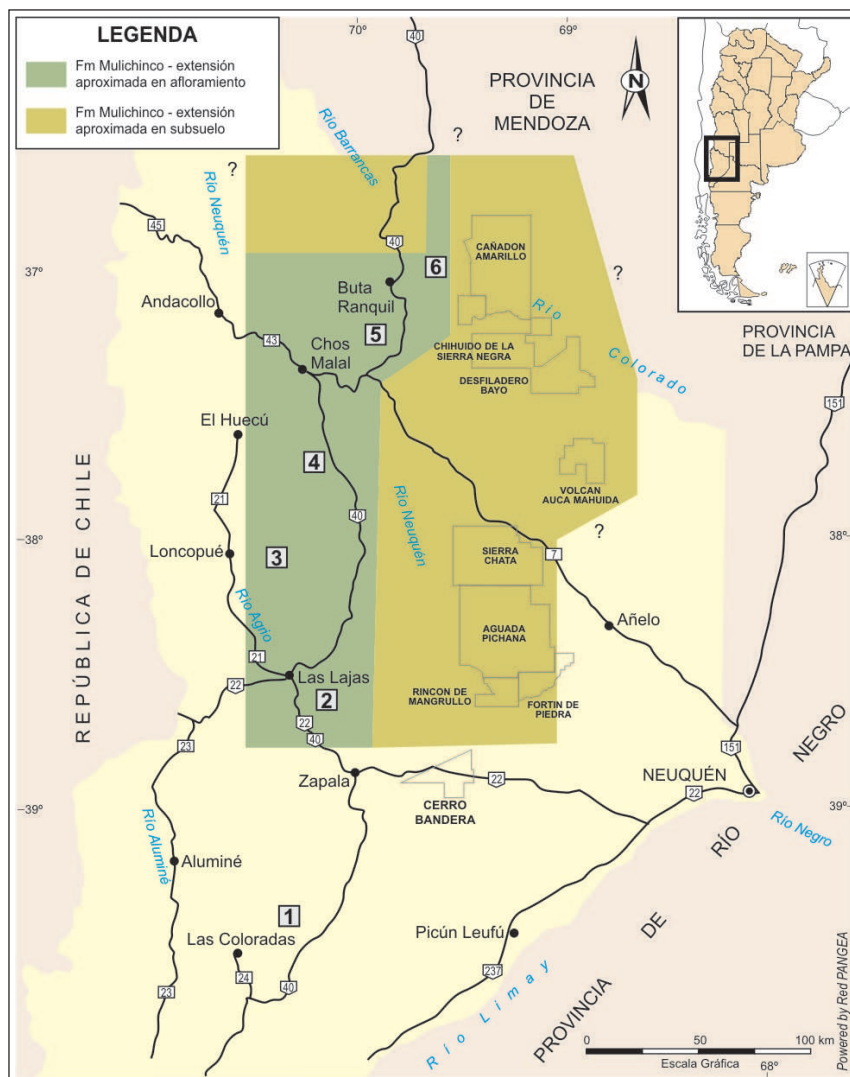


Figura 1: Extensión areal aproximada de la Formación Mulichinco tanto en los afloramientos como en el subsuelo de las provincias del Neuquén y Mendoza. También se indica la localización de las secciones columnares estratigráficas de la Figura 2 y la ubicación de yacimientos mencionados en este trabajo. 1: Área Arroyo Picún Leufú; 2: Área Sierra de la Vaca Muerta Norte; 3: Área Cerro Mulichinco; 4: Área Pichi Neuquén; 5: Área La Yesera; 6: Área Sierra de Reyes.

sión enteramente marina con espesores algo menores (Fig. 2). En síntesis, Weaver (1931) concibió a la Formación Mulichinco como una sucesión que se constituía de depósitos enteramente continentales al sur del Neuquén, hasta acumulaciones marinas en la porción más septentrional de la provincia.

El nombre formal de la Formación Mulichinco proviene del cerro homónimo en el centro de la provincia del Neuquén (Fig. 1), dado que su llamativo tope chato se encuentra coronado por sedimentitas continentales gruesas de la unidad. Sin embargo, es importante destacar que la elección de esa toponimia no significa que allí Weaver (1931) haya identificado la localidad tipo de la sucesión que originalmente llamó su «división media», como han sugerido algunos trabajos posteriores (e.g. Leanza 1993), más aún considerando que en ese cerro no se encontraba completa la unidad. En cambio, Weaver (1931, pág. 70) indicó que las bardas ubicadas al este y norte de los cerros Mulichinco y Mocho sí brindaban una excelente oportunidad para estudiar a los depósitos del Cretácico temprano (sus localidades Arroyo Coihuico y Trincajuera). De cualquier manera, dada la complejidad facial que presenta la Formación Mulichinco (ver apartados sucesivos), parece poco práctico o razonable definir una localidad o área tipo.

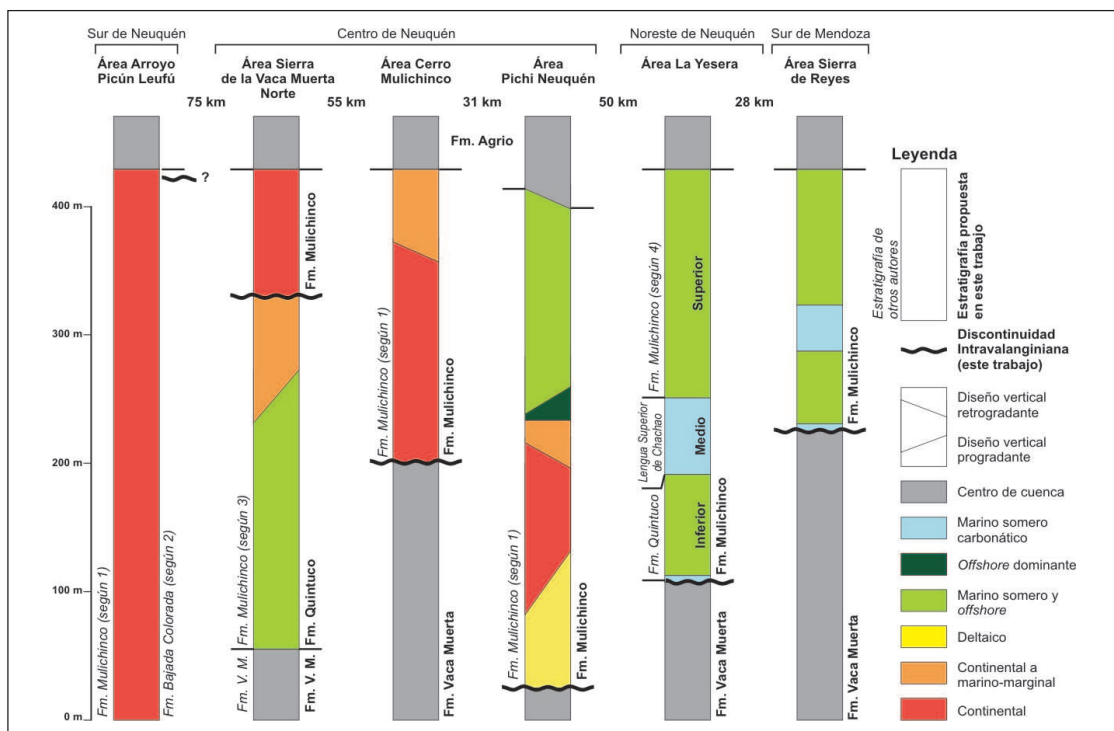
El alcance regional del concepto sobre la Formación Mulichinco sufrió una fuerte reducción durante la década del '80. A partir de estudios de afloramientos y subsuelo (Gulisano *et al.* 1984; Foucault *et al.* 1987), se comprobó que los potentes depósitos continentales ubicados en el área de Picún Leufú (al sur de la Dorsal de Huincul) y adyacencias eran más antiguos, y se encontraban por debajo de una discontinuidad regional que fue denominada Discontinuidad Intravalanginiana (Gulisano *et al.* 1984). Dicha sucesión recibió el nombre de Formación Bajada Colorada (Legarreta & Gulisano 1989, Fig. 2), por su buena correla-

ción con sedimentitas ubicadas sobre la margen izquierda del río Limay que ya portaban esa denominación (Fig. 1). De esta manera, la Formación Mulichinco quedaba restringida a los depósitos continentales y marinos que afloran desde el norte de la sierra de la Vaca Muerta hasta la región más septentrional de la provincia del Neuquén por encima de la Discontinuidad Intravalanginiana; concepto que fue seguido por numerosos trabajos (e.g. Mitchum & Uliana 1985; Legarreta & Gulisano 1989; Legarreta y Uliana 1991, 1999). Esta definición estratigráfica, que pone especial énfasis en el reconocimiento de la Discontinuidad Intravalanginiana como elemento para localizar la base de la Formación Mulichinco fue posteriormente retomada y extendida por Schwarz (2002, 2003) y Schwarz & Howell (2005), y es la que se sigue en este trabajo (Fig. 2).

Sin embargo, otros autores no han coincidido con la comentada definición. Así, por ejemplo, Leanza *et al.* (2001) al mapear en el área de la sierra de la Vaca Muerta (Hoja Zapala, al sur del río Agrio) no adhirieron a dicha propuesta puesto que incluyeron en la base de la Formación Mulichinco una potente secuencia de depósitos marinos someros (Fig. 2), que según nuestras observaciones en el área deberían incluirse en un ciclo de sedimentación anterior (es decir pre-Discontinuidad Intravalanginiana).

Nuestra visión en este punto concuerda con Zavala (2000), quién describe a la Formación Mulichinco en dicha región como formada enteramente por depósitos continentales, y con Leanza (2009) que excluye a los depósitos marinos someros de la unidad, atribuyéndolos a la Formación Quintuco.

Por su parte, algunos estudios enfocados en aspectos paleontológicos y/o bioestratigráficos del Cretácico temprano desarrollados en el centro-oeste del Neuquén restringieron el alcance de la Formación Mulichinco a las sedimentitas continentales, incluyendo a la sucesión



marina somera suprayacente como la sucesión basal de la Formación Agrio (Aguirre Urreta 1998; Lazo & Chichowski 2003). Esta concepción estratigráfica se aparta de la visión original de Weaver (1931), la cual sí incluía una sucesión francamente marina (hasta 150 m de potencia) en el tope de la unidad en el centro de Neuquén.

En el área nororiental de la provincia del Neuquén, donde los depósitos de la Formación Mulichinco son enteramente de origen marino (Weaver 1931), también se han seguido diferentes criterios estratigráficos. Luego de la definición de Weaver (1931), quien describió depósitos marinos clásticos y carbonáticos con abundantes restos de pelecípodos y amonoideos, la unidad fue incluida en estudios estratigráficos y sedimentológicos por Leanza & Hugo (1977) y Legarreta & Kozłowski (1981) entre otros, así como mencionada en Gulisano & Gutiérrez Pleimling (1995). Si bien Leanza & Hugo (1977) consignaron un espesor de hasta 370 m para la Formación Mulichinco en el área, por el contrario Legarreta & Kozłowski (1981) indicaron que la unidad poseía sólo 200 m de potencia, ya que incluyeron la sucesión basal dentro de la Formación Quintuco, y la sucesión media en la denominada «Lengua Superior de Chachao» (Fig. 2). De esta manera, la Formación Mulichinco estaba compuesta por sedimentitas silicoclásticas dominantes, con delgadas intercalaciones de calizas fosilíferas. Posteriormente, en la misma región, Schwarz (1999) reconoció la Discontinuidad Intravalanginiana en la base de lo que Legarreta & Kozłowski (1981) denominaron Formación Quintuco, y de esa manera extendió nuevamente el alcance estratigráfico de la Formación Mulichinco (Fig. 2), retomando las ideas de Weaver (1931) y Leanza & Hugo (1977). Este criterio fue seguido por otros autores con posterioridad (e.g. Zavala 2000; Schwarz 2002, 2003).

Por otra parte, el alcance de la Formación Mulichinco en el sector más austral de la provincia de Mendoza (ám-

bito de las sierras de Reyes y Cara Cura Sur) fue recientemente establecido por Schwarz *et al.* (2009) siguiendo los criterios utilizados en el norte del Neuquén. En dicha región también es posible identificar los tres intervalos o miembros informales (Fig. 2), como así también la discontinuidad basal. El miembro Medio fue denominado Lengua Superior de Chachao con anterioridad (Legarreta & Kozłowski (1981), pero esa nomenclatura parece confusa en el nuevo contexto estratigráfico (Schwarz *et al.* 2009).

Un avance significativo en el conocimiento de la Formación Mulichinco y los controles sobre su generación provino del análisis de la historia de subsidencia en la cuenca a partir de información de subsuelo. Vergani *et al.* (1995) reconocieron un evento de inversión tectónica durante la formación de la Discontinuidad Intravalanginiana y además sugirieron la existencia de subsidencia mecánica durante la acumulación de los depósitos suprayacentes. La respuesta estratigráfica de las sedimentitas de la Formación Mulichinco a la combinación de factores tectónicos, eustáticos y fisiográficos (sistema de rampa) fue discutida por Schwarz *et al.* (2006).

**Edad y correlaciones estratigráficas**

La Formación Mulichinco, y especialmente las formaciones Vaca Muerta y Agrio, son portadoras de un abundante registro amonitifero. Así, ya desde su definición se consideraba a aquella unidad formada en tiempos valanginianos (Weaver, 1931; Groeber, 1946). Con los trabajos posteriores de Leanza (1973) y Leanza & Hugo (1977), los patrones bioestratigráficos del Cretácico temprano mejoraron en forma considerable. Sin embargo, la edad de la unidad no se modificó, ya que siguió estando comprendida entre el Valanginiano temprano y el tardío (Fig. 3). Los últimos y muy importantes refinamientos bioestra-

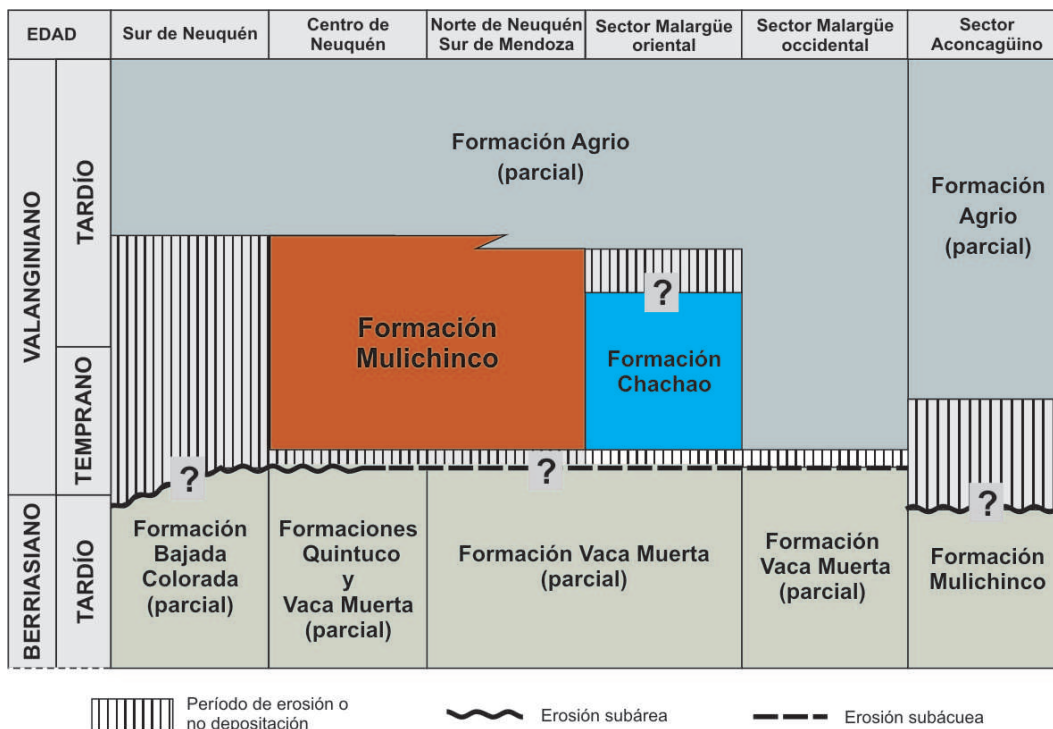


Figura 3. La Formación Mulichinco y sus unidades equivalentes (a partir de Gulisano *et al.* 1984; Aguirre Urreta & Lo Forte 1996; Aguirre Urreta & Rawson 1997; Sagasti 2002; Schwarz *et al.* 2002; Schwarz 2003; Schwarz *et al.* 2009).



tigráficos del Valanginiano fueron realizados hacia fines de los '90 por Aguirre Urreta (1998) y Aguirre Urreta & Rawson (1997, 1999a, 1999b). Estos autores generaron una biozonación más ajustada, con el reconocimiento de subzonas dentro de las zonas del Valanginiano. En forma adicional, el contenido palinológico de la unidad también se ha utilizado para intentar ajustes bioestratigráficos en las sucesiones con dominio de depósitos continentales (Quatrocchio *et al.* 2003).

La edad de la Formación Mulichinco se basa en los modernos esquemas estratigráficos desarrollados a partir de la fauna de amonoideos, pero integrando información de Schwarz (2003). La unidad, en la mayor parte del área aflorante en la provincia del Neuquén, comprende la porción más alta de la Zona de *Lissonia riveroi* y la totalidad de la Zona de *Olcostephanus (Olcostephanus) atherstoni*. Esto significa que la Formación Mulichinco abarca desde el Valanginiano temprano medio hasta el Valanginiano tardío bajo (Fig. 3). En tiempo absoluto, esta asignación cronoeestratigráfica se extiende aproximadamente entre los 139.5 y 137.5 Ma según la escala geológica de tiempo de Ogg *et al.* (2004).

La discusión sobre la correlación estratigráfica de la Formación Mulichinco con otras unidades de la Cuenca Neuquina se ve facilitada por el ajustado esquema bioestratigráfico basado en amonoideos presentado en los párrafos anteriores, y por la misma razón su certidumbre decrece a medida que se incrementa la proporción de depósitos continentales. En el sur del Neuquén (al sur de la Dorsal de Huincul) la Formación Mulichinco no posee unidades que sean equivalentes temporales puesto que la Formación Bajada Colorada se encontraría por debajo de la Discontinuidad Intravalanginiana (Gulisano *et al.* 1984; Foucault *et al.* 1987; Legarreta & Gulisano, 1989; Leanza 2009).

La Formación Chachao, compuesta por unos 30 m de espesor donde predominan *packstones* y *floatstones* esqueléticos (Legarreta & Kozlowski (1981), es un equivalente temporal parcial de la Formación Mulichinco en el ámbito del Anticlinal de Malargüe (sur-centro de Mendoza, Fig. 3). Dado que facies asignables a la Formación Chachao desaparecen hacia el oeste y son reemplazadas por calizas micríticas y margas de la Formación Agrio portadoras de *Olcostephanus (O.) atherstoni* y *Olcostephanus (Viluceras) permolestus* (Sagasti 2002), en esa región depocentral la sucesión basal de dicha unidad (unos 25 m) sería también temporalmente equivalente de la Formación Mulichinco (Fig. 3).

Siguiendo hacia el norte, Yrigoyen (1979) utilizó la denominación Formación Mulichinco para una sucesión continental clástica hasta marino-marginal mixta (carbonática/evaporítica) aflorante en la Cordillera Principal (o sector Aconcagüino). Numerosos autores han abordado su estudio en conjunto con el resto de las sedimentitas del Grupo Mendoza en la región (Cegarra & Lo Forte 1991; Aguirre Urreta & Lo Forte 1996; Álvarez *et al.* 2000, entre otros). Según las descripciones en dichos trabajos, la Formación Mulichinco posee un pasaje transicional desde la unidad infrayacente compuesta por depósitos marinos que portan amonoideos del Tithoniano medio, por lo tanto su acumulación podría haber comenzado, si no en el Tithoniano, con seguridad en el Berriasiano (Schwarz *et al.* 2002). En conclusión, dicha sucesión no puede ser coetánea de la Formación Mulichinco tratada en este trabajo (Fig. 3), la cual se desarrolla por

arriba de una discontinuidad de alta jerarquía dentro del relleno de la cuenca. Según Schwarz *et al.* (2002) la Discontinuidad Intravalanginiana podría estar expresada en el abrupto contacto entre el tope de esa sucesión clástica hasta evaporítica y las suprayacentes calizas y pelitas marinas de la base de la Formación Agrio que en algunos lugares portan amonoideos de *Olcostephanus* (e.g. Aguirre Urreta & Lo Forte 1996).

### Distribución regional de los depósitos y evolución de los sistemas de acumulación

La Formación Mulichinco presenta fuertes cambios laterales y verticales de facies reconocidos originalmente por Weaver (1931), y también por otros autores en épocas más modernas (Legarreta & Gulisano 1989; Legarreta & Uliana 1991; Zavala 2000). Schwarz (2003) realizó una pormenorizada descripción de asociaciones de facies e interpretación de los sistemas de acumulación que dichas asociaciones representan, sobre la base de quince perfiles sedimentológicos distribuidos en el centro y norte del Neuquén (Fig. 4). También describió la distribución regional y temporal de los sistemas de depositación, lo cual le permitió reconocer tres regiones dentro de los afloramientos del centro-norte de la provincia del Neuquén en donde la Formación Mulichinco posee características distintivas. Estas tres áreas se denominaron respectivamente Región Austral, Central, y Septentrional (Figs. 1 y 4), y se describen brevemente a continuación (para una descripción más detallada consultar Schwarz (2003) y Schwarz & Howell (2005).

#### Región Austral

La región Austral de la Formación Mulichinco definida por Schwarz (2003) abarcaba originalmente desde el río Agrio hasta algo al norte de la latitud de Huncal (38° 20' a 37° 50' S, Fig. 4). Sin embargo, incorporando el área de la sierra de la Vaca Muerta (según Zavala 2000, Schwarz *et al.*, este congreso), esta región se extendería hasta los 38° 42' de latitud sur (Fig. 1). En esta región la Formación Mulichinco (180 a 240 m de potencia) se caracteriza por un arreglo estrato y granodecreciente que registra el pasaje desde sedimentitas continentales en la base a depósitos marino-marginales en el techo (Fig. 2). La base de la unidad se apoya en forma neta pero concordante sobre pelitas verdes y areniscas finas de la denominada Formación Quintuco (Legarreta & Gulisano 1989), o sobre lutitas negras de Formación Vaca Muerta hacia el norte de la región Austral. Ambas unidades portan cerca del tope amonoideos asignados a la Zona de *Lissonia riveroi*.

Inmediatamente por arriba de la superficie basal se desarrolla un paquete de 20-35 m de potencia, conformado por la amalgamación de unidades de relleno de canales fluviales. Esta sucesión fluvial basal consiste en conglomerados finos moderadamente bien seleccionados, con desarrollo de estratificación cruda, con intercalaciones de areniscas sabulíticas y areniscas gruesas con estratificación entrecruzada en artesa y tangencial-planar, cuya participación aumenta desde el suroeste hacia el noreste y este (hacia las localidades de Río Salado y Trahuncura, Fig. 4). Las paleocorrientes medidas en este paquete sugieren paleoflujos en dirección al noreste y norte. Por arriba del paquete amalgamado se registra un incremento

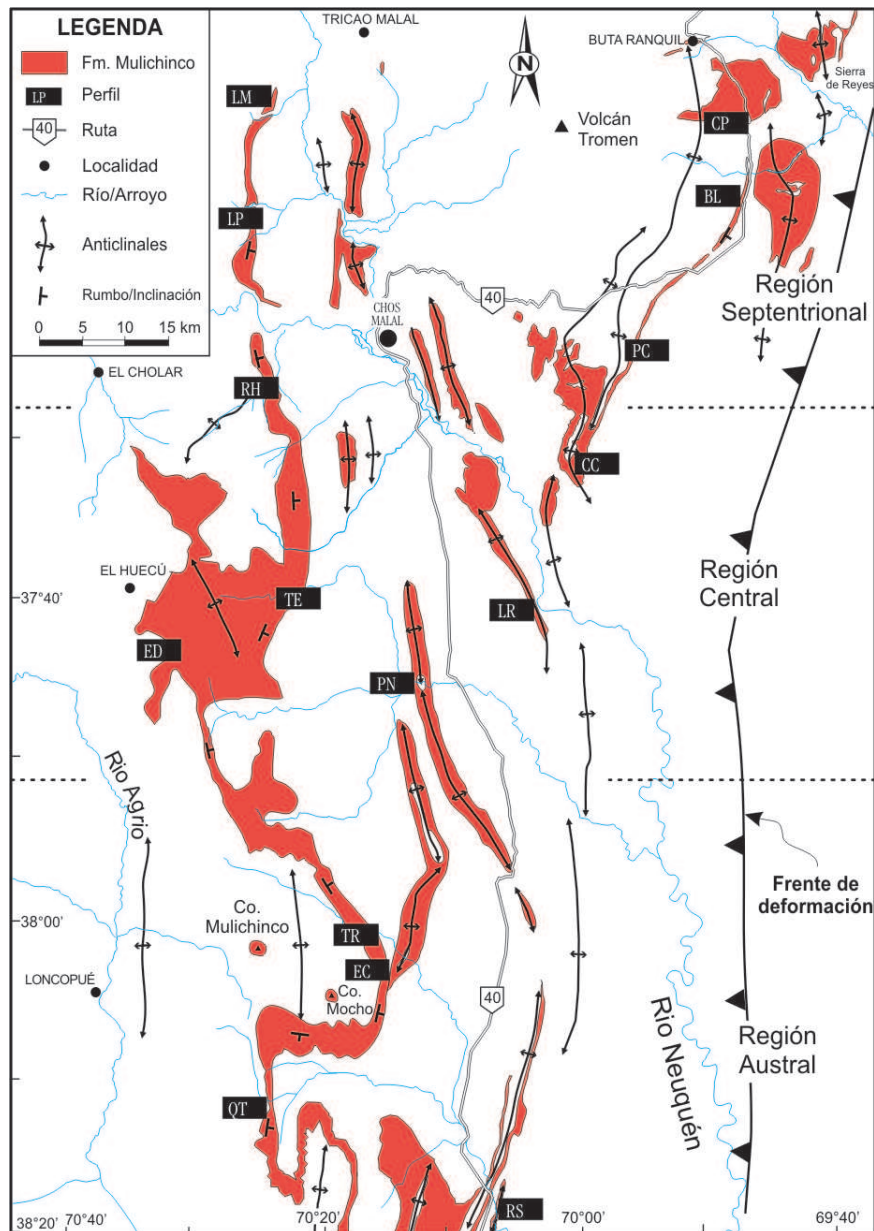


Figura 4. Mapa geológico simplificado de los afloramientos de la Formación Mulichinco al norte del río Agrio con ubicación de los perfiles sedimentológicos utilizados por Schwarz (2003), Schwarz & Howell (2005) y Schwarz *et al.* (2006). También se muestra el alcance geográfico de las regiones definidas en este trabajo en base a las características faciales y verticales de la unidad. BL: Barranca de Los Loros; CP: Casa de Piedra; CC: Cerro Curaco; ED: El Durazno; EC: Estancia Coihueco; LM: Los Menucos; LP: La Parva; LR: Loma Rayoso; PC: Puerta Curaco; PN: Pichi Neuquén; QT: Quintuco; RH: Rahueco; RS: Río Salado; TR: Trahuncura; TE: Treleiteube.

gradual en la proporción de depósitos finos tabulares y una reducción gradual en el tamaño de grano de los sedimentos. Así, en las unidades de relleno de canales predominan areniscas gruesas con estratificación entrecruzada, que suelen presentar conglomerados intraformacionales y moldes de troncos en sus bases. Dichas unidades canalizadas pasan en transición vertical a paquetes de limolitas y areniscas finas con geometría tabular interpretadas como depósitos de planicie de inundación (Schwarz 2003; Schwarz & Howell 2005).

En esta región Austral luego sigue una sucesión de 50-70 m de unidades canalizadas intercaladas, con mayor participación de depósitos de planicie de inundación. Dentro de las facies canalizadas predominan areniscas con estratificación inclinada de gran escala, en donde son

frecuentes láminas delgadas de arcilla, que inclusive en ocasiones revisten toda una superficie inclinada desde el tope hasta su base. Los depósitos no canalizados consisten en areniscas con capa plana y láminas de fango (repite) en la base de la sucesión, pero hacia arriba dominan intervalos heterolíticos con mayor contenido de pelitas, e inclusive areniscas con estratificación entrecruzada sigmoidal. En los niveles superiores además se hallaron escasas excavaciones (*Palaeophycus* y *Teichichnus*), ostrácos de afinidad marina y restos esqueléticos (Schwarz 2003). Esta sucesión se interpreta como generada en sistemas estuarinos con fuerte influencia de acción mareal.

La sección cuspidal en esta región (40-65 m de espesor) está dominada por fangolitas grises, a veces carbonosas, con areniscas subordinadas. Son comunes los restos



de plantas vasculares y delgados concentrados de gasterópodos, como así también escasos restos de ostrácodos marinos (*Cytherella* sp., *Cytherella montosaensis*, *Rostrocytheridea* sp., Schwarz 2003). Esta sección cuspidal también puede presentar unidades canalizadas con estratificación entrecruzada heterolítica de gran escala, y en conjunto se considera formada en ambientes de bahías someras o englofiamientos. El pasaje a la Formación Agrio en esta zona es neto, y se ubica en la base de un paquete de calizas (5-15 m de potencia) portador de abundantes restos de bivalvos y amonoideos correspondientes a la Zona de *Pseudofavrella angulatiformis*. Por su posición en secuencia, la Formación Mulichinco en esta región comprendería la parte más alta de la Zona de *Lissonia riveroi* y la totalidad de la Zona de *Olcostephanus (O.) atherstoni* en sus equivalentes marinos (Fig. 5).

La yuxtaposición de facies fluviales gruesas en la base de la Formación Mulichinco sobre depósitos marinos mayormente profundos se interpretó como un límite de secuencia generado durante un descenso del nivel relativo del mar (Gulisano *et al.* 1984, Legarreta & Gulisano 1989). Aunque esta superficie basal representa un significativo evento de erosión y salto de facies cuenca adentro (Legarreta & Uliana, 1991), no existen evidencias de incisiones profundas (Schwarz 2003; Schwarz *et al.* 2006). Por lo tanto se interpreta a esta superficie como una superficie de erosión aluvial de bajo relieve y su desarrollo se ha relacionado con la existencia de un muy bajo gradiente previo (rampa) y/o un rápido descenso relativo del nivel del mar debido a un alzamiento tectónico (Schwarz *et al.* 2006).

La sucesión de la Formación Mulichinco en la región Austral se interpreta como formada en un ambiente mayormente continental, en el cual la energía disminuía hacia el noreste y este. Por su parte, las asociaciones de facies presentes registran una continua transición desde planicies entrelazadas iniciales, pasando por planicies con dominio de cursos meandrosos, hasta la instalación de una planicie costera fangosa asociada al desarrollo de bahías poco profundas y de baja energía. Esta evolución se interpreta como el resultado de una continua reducción del gradiente fluvial asociado a una transgresión de largo término (Schwarz 2003; Schwarz & Howell 2005). El ininterrumpido ascenso del nivel de base produjo en principio un aumento en la preservación de facies no canalizadas dentro de la sucesión entrelazada (cambio desde condiciones de baja a moderada acomodación), pero luego una modificación sustancial de los sistemas de acumulación (Schwarz *et al.* 2006). En ese sentido, las planicies fluviales meandrosas probablemente alimentaban a sistemas de estuarios (*cf.* Allen & Posamentier 1993) identificados en zonas más distales (región Central) que, posteriormente y al continuar la transgresión de largo término, se implantaron en la región Austral.

### Región Central

La región Central de la Formación Mulichinco abarca desde el paralelo de 37° 50' S hasta la latitud de Chos Malal (37° 25' S, Fig. 4). En esta área, cuya sección más representativa se encuentra en el flanco oeste del Anticlinel Pichi Neuquén (Schwarz 2003, Schwarz *et al.* 2006). La sucesión comprende una mitad inferior (~ 170 m de espesor) compuesta por depósitos silicoclásticos deltaicos y continentales, y otra porción superior (~ 180 m) conforma-

da por areniscas, fangolitas y calizas de ambiente marino abierto. En la mayoría de esta región la Formación Mulichinco se apoya en forma abrupta sobre lutitas negras de la Formación Vaca Muerta (Fig. 2).

Por encima del límite basal se desarrolla una sucesión con claro arreglo progradacional desde depósitos de prodelta a frente deltaico (unos 70 m de potencia). Los primeros comprenden fangolitas laminadas y capas delgadas de areniscas con gradación normal y/o con capa plana. Por su parte, entre los depósitos de frente deltaico dominan areniscas medianas a gruesas masivas, con capa plana o estratificación entrecruzada. Esta sucesión culmina con unidades canalizadas de areniscas y areniscas sabulíticas que se interpretan como formadas en una planicie deltaica. Según Schwarz & Howell (2005), estas planicies deltaicas fluvio-dominadas serían los ambientes a donde gradarían los sistemas de planicies entrelazadas registrados tanto en la sección basal de la región Austral, como en el sector occidental de esta región Central (e.g. perfiles El Durazno and Treleitube en Fig. 4).

El paquete progradacional basal en Pichi Neuquén es cubierto por una sucesión con diseño agradacional (~ 100 m), compuesta por depósitos fluviales arenosos y de planicies deltaicas con importante preservación de sedimentos finos. En la localidad de Loma Rayoso, ubicada ~ 10 km hacia ambientes más distales (al noreste), el intervalo estratigráfico correlacionable se compone exclusivamente de depósitos deltaicos. Aquí son típicas las sucesiones métricas conformadas por fangolitas puras, paquetes heterolíticos y areniscas finas a medianas con estratificación entrecruzada de gran escala y recubrimientos de arcilla. En las areniscas se registra bioturbación moderada y laminación entrecruzada en direcciones contrapuestas. Este intervalo fue interpretado como perteneciente al ambiente predominante de prodelta hasta frente deltaico con significativa influencia de corrientes mareales (Schwarz 2003; Schwarz & Howell 2005).

En el área de Pichi Neuquén, por arriba de los depósitos fluviales y de planicie deltaica agradantes se desarrolla una sucesión con fuerte carácter transgresivo (~ 70 m de espesor), en donde unidades fluviales canalizadas con estratificación entrecruzada de gran escala (sistemas meandrosos), gradan rápidamente en sentido vertical a depósitos de estuario, y finalmente a fangolitas verdosas marinas con amonoideos. El resto de la Formación Mulichinco en la región Central está compuesto en forma dominante por sucesiones granocrecientes desde fangolitas de *offshore* hasta areniscas finas de *shoreface* con estructuras sedimentarias generadas por flujos tractivos oscilatorios, unidireccionales y combinados, a las que se subordinan calizas esqueletales. En los referidos depósitos son comunes tanto macrofaunas de invertebrados como excavaciones asignables a icnofacies de *Cruziana* y *Skolithos*. Esta sucesión marina abierta (de entre 120 a 140 m potencia) se interpreta como equivalente temporal de las planicies fangosas de baja energía desarrolladas en la región Austral en las últimas etapas de sedimentación de la Formación Mulichinco (Schwarz & Howell 2005). Si bien en el sector oriental de esta región Central prevalecen intervalos dominados por sucesiones de areniscas e interestratificaciones de arenisca-pelita, hacia el sector occidental prevalecen las facies de fangolitas verdosas y grisáceas de *offshore*, sugiriendo que hacia ese sector se

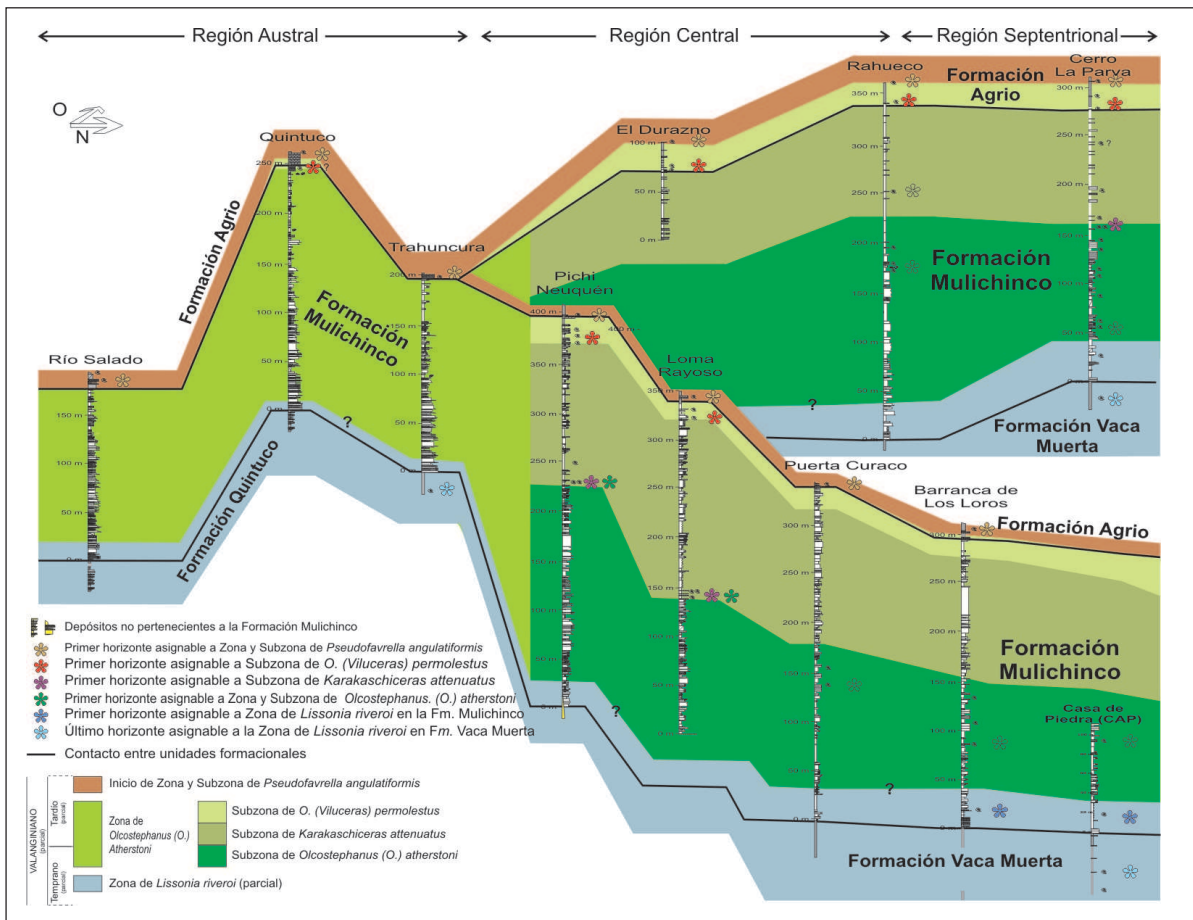


Figura 5. Localización de los horizontes amonitíferos con importancia bioestratigráfica hallados en la Formación Mulichinco y esquema bioestratigráfico propuesto para la unidad, sobre la base de dichos horizontes y correlaciones secuenciales (modificado de Schwarz 2003). Se consigna en forma destacada la primera aparición, excepto en el caso de *Lissonia riveroi* que se indica los últimos horizontes de la infrayacente Formación Vaca Muerta y el primer hallazgo en la Formación Mulichinco. Nótese que el caso de la primera aparición de *Olcostephanus (O.) atherstoni* es claramente diacrónico desde la localidad Cerro La Parva hacia las adyacentes de la Región Septentrional.

profundizaba el sistema en los últimos estadios evolutivos de la unidad (compárese con la situación proximal que registraban los depósitos continentales basales de los perfiles occidentales).

En la región Central el registro marino de la Formación Mulichinco comienza en la Subzona de *Olcostephanus (O.) atherstoni*, pero la mayor parte de esta sucesión (en el orden de 150 m de espesor) queda comprendida en la Subzona de *Karakaschiceras attenuatum* (Fig. 5). En el sector oriental de la región Central, el tope de la unidad (últimos 15 a 20 metros), queda incluida en la Subzona de *Olcostephanus (Viluceras) permolestus*, la más joven de la Zona de *Olcostephanus (O.) atherstoni*. Esto no ocurre en el sector occidental, puesto que allí los niveles fosilíferos indicadores de esta última subzona se encuentran en facies asignables a la Formación Agrio y por lo tanto representarían sus depósitos basales (Fig. 5, pero confróntese Aguirre Urreta *et al.* 2005). Por último, cabe destacar que la sucesión deltaica y fluvial que infrayace a los depósitos marinos más antiguos (de hasta 180 m de espesor) no posee fósiles indicadores, pero por su relación estratigráfica quedaría involucrada entre la parte más alta de la Zona de *Lissonia riveroi* y el final de la Subzona de *Olcostephanus (O.) atherstoni* (Fig. 5).

### Región Septentrional

Comprende desde la latitud de la ciudad de Chos Malal hasta la localidad de Buta Ranquil (37° 00' de latitud sur, Fig. 4). En esta región la Formación Mulichinco se caracteriza por estar compuesta exclusivamente por sedimentitas de origen marino, tanto silicoclásticas como carbonáticas (Weaver 1931). La Discontinuidad Intravalanginiense separa lutitas negras y *wackestones* con foraminíferos de la Formación Vaca Muerta por debajo, de areniscas con estratificación monticular y/o calizas esqueletales ricas en ostras de la base de la Formación Mulichinco por arriba (Schwarz 2003). Esta discontinuidad, con desarrollo localizado de *gutter casts*, se interpreta como una superficie de erosión submarina (Schwarz & Howell 2005). Por encima de la discontinuidad en esta región se distinguen tres intervalos estratigráficos diferenciables con claridad y denominados informalmente Miembro Inferior, Medio y Superior (Fig. 2). Esta subdivisión estratigráfica fue inicialmente propuesta (Schwarz 1999) para el sector oriental de esta región Septentrional (e.g. localidades Puerta Curaco y Barranca de Los Loros, Fig. 4), pero posteriormente se extrapoló al sector occidental (Schwarz, 2003).

El Miembro Inferior de la Formación Mulichinco en el sector oriental comienza con areniscas amalgamadas o



un nivel carbonático con concentración de ostras y amonoideos; ambos debajo de fangolitas verdosas. El nivel carbonático (< 10 m de espesor) antiguamente se denominaba «Lengua Inferior de Chachao» (Legarreta & Kozlowski 1981). Por encima, la sucesión (unos 80 m de espesor) está dominada por depósitos clásticos y se compone de pelitas, paquetes heterolíticos y areniscas en arreglos granocrecientes, con muy pocos carbonatos masivos intercalados. Las fangolitas son masivas y poseen niveles delgados con concentración de bivalvos articulados, en tanto que los intervalos heterolíticos van desde dominados por fangolitas hasta con amplia participación de capas de areniscas. Las areniscas con las que rematan típicas parasecuencias son muy finas y finas, y poseen frecuente estratificación monticular (HCS) y/o laminación ondulítica. Estos depósitos representan condiciones desde *offshore* a *shoreface* inferior con alto a moderado aporte silicoclástico (Schwarz 1999; Schwarz & Howell 2005).

El Miembro Medio comprende alrededor de 60-70 m de sedimentitas carbonáticas en donde destacan *boundstones* y *floatstones* de ostras cementantes y serpúlidos, así como *packstones-grainstones* de bivalvos infaunales, equinoideos y ostras reclinadas, asociados a calcipelitas, *wackestones* y *floatstones* esqueléticas. Las facies de ostras cementantes y serpúlidos representarían comunidades dominadas por organismos epibentónicos conformando bioconstrucciones con poco relieve topográfico en medios de acumulación marinos abiertos de baja a moderada energía. Por su parte, la asociación fósil paraautóctona en

los *packstones* y *grainstones* sugiere comunidades más diversas, dominadas por organismos endobentónicos (Schwarz 1999, 2003). Estos intervalos carbonáticos se desarrollarían durante los períodos de nula tasa de suministro clástico (Schwarz & Howell 2005), en condiciones de salinidad normal o empobrecida (Lazo *et al.* 2008). Por su parte, la proliferación de radiolarios spumeláridos y naseláridos en depósitos mixtos de baja energía (calcipelitas) sugieren acumulación desde columnas de agua bien oxigenadas y con abundantes nutrientes. En conjunto, ese intervalo medio representa una rampa de baja pendiente deposicional con dominio de productividad carbonática por sobre el aporte silicoclástico (Schwarz 1999; 2003).

El Miembro Superior de la Formación Mulichinco en el sector oriental de la región Septentrional (hasta 150 m de potencia) está conformado tanto por areniscas y pelitas silicoclásticas, como por intervalos de calizas masivas o con estructuras tractivas que indican sedimentación carbonática de alta energía. En esta sección se reconocen arreglos grano y estratocrecientes, así como también litosomas arenosos potentes sin arreglo definido (de hasta 20 m). La mayor parte del Miembro Superior de la Formación Mulichinco representa un sistema de rampa marina silicoclástica influenciada por olas y mareas (Schwarz 1999), con ambientes desde *offshore* distal a *shoreface* superior. Ocasionalmente la disminución del suministro clástico y/o el incremento de la producción de carbonatos, generó paquetes carbonáticos con facies desde alta a baja

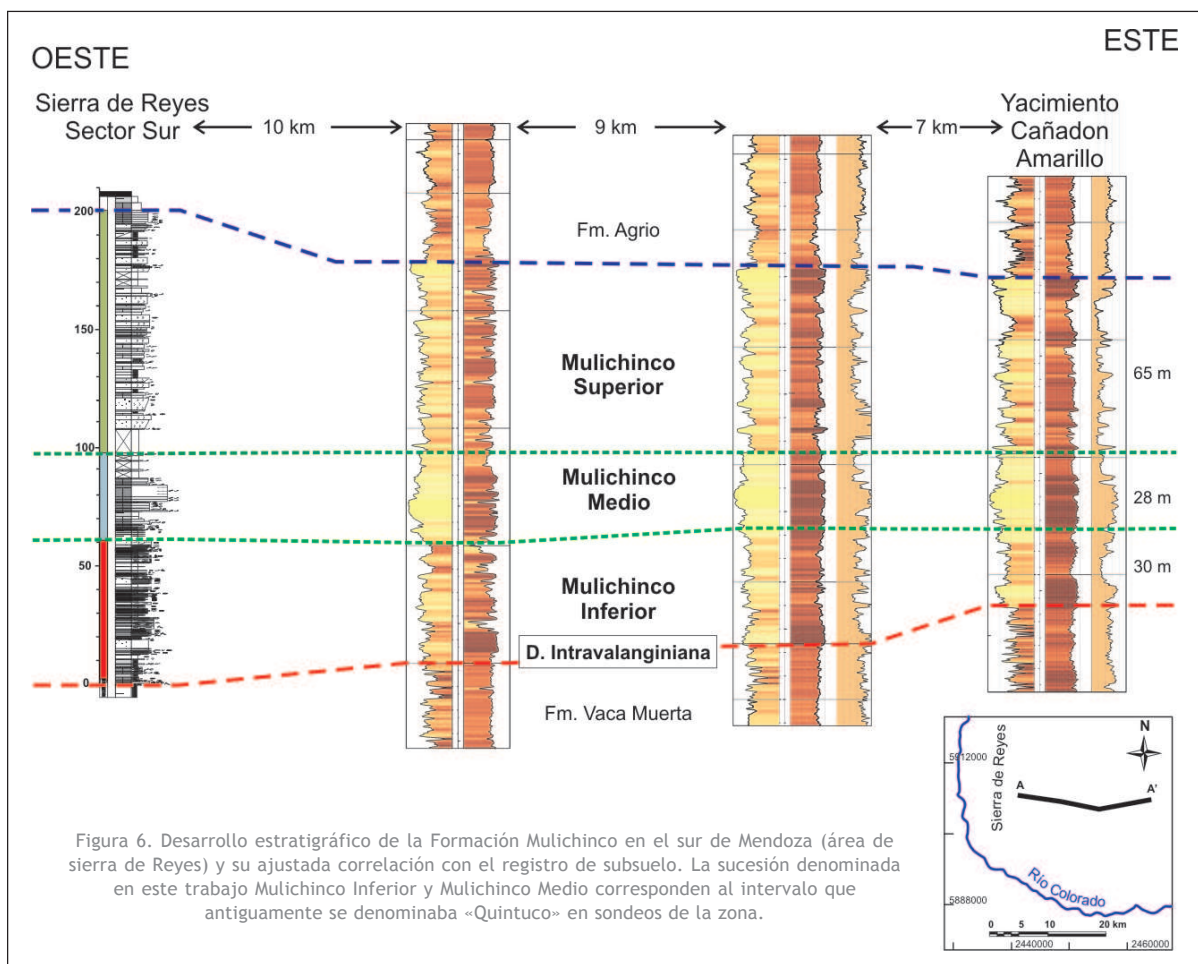


Figura 6. Desarrollo estratigráfico de la Formación Mulichinco en el sur de Mendoza (área de sierra de Reyes) y su ajustada correlación con el registro de subsuelo. La sucesión denominada en este trabajo Mulichinco Inferior y Mulichinco Medio corresponden al intervalo que antiguamente se denominaba «Quintuco» en sondeos de la zona.

energía (Schwarz 2010). El pasaje a la Formación Agrio se encuentra bien definido en toda la región, demarcado por la aparición de lutitas negras portadoras de amonoides, por encima de un paquete carbonático de hasta 6 m de potencia.

La estratigrafía de la Formación Mulichinco en el sector occidental de la región Septentrional (localidad Cerro La Parva, Fig. 4) es análoga a la descrita para el sector oriental, ya que se distinguen claramente los miembros Inferior, Medio y Superior. Más aún, los miembros Inferior y Medio poseen facies y diseños verticales similares. En cambio, el Miembro Superior (~ 100 m potencia) consiste en una monótona sucesión de fangolitas verdosas y grisáceas, entre las cuales intercalan delgados concentrados esqueléticos (Kozłowski *et al.* 1996; Schwarz 2003; Schwarz & Howell 2005). Toda la unidad posee abundante registro de invertebrados fósiles (bivalvos, serpúlidos, equinoideos, ammonoides, crustáceos, etc.) que han sido utilizados para elaborar esquemas bioestratigráficos (e.g. Aguirre Urreta 1998; Aguirre Urreta & Rawson 1999b), a la vez que permitieron comenzar estudios sobre condiciones paleoclimáticas del mar valanginiano de la Cuenca Neuquina (Lazo *et al.* 2008; Aguirre Urreta *et al.* 2009).

La Formación Mulichinco también se encuentra aflorando en el extremo sur de la provincia de Mendoza (Fig. 1), más precisamente el ámbito de las sierras de Reyes y Cara Cura. Al igual que en el noreste del Neuquén, en este sector se incluye como miembro inferior de la unidad (Fig. 2) a la sucesión antiguamente denominada Formación Quintuco por Legarreta & Kozłowski (1981). En la base de dicha unidad se ha identificado una superficie erosiva de carácter regional, que se interpreta como la expresión de la Discontinuidad Intravalanginiana en este sector depocentral de la cubeta (Schwarz *et al.* 2009; Schwarz *et al.* este congreso). Dicha discontinuidad está demarcada por galerías de *Thalassinoides* generados en un sustrato firme, constituyendo una *suite* de icnofacies de *Glossifungites* (Schwarz *et al.* este congreso). Por arriba, la unidad se compone de una sucesión estratigráfica muy similar a la descrita para el norte del Neuquén (Fig. 2), pero muestra una progresiva reducción de espesor de sur a norte. En tal sentido, en el norte de la sierra de Reyes, su espesor total (incluyendo los tres miembros) alcanza los 135 m, mientras que no supera los 50 m en la sierra de Cara Cura (Schwarz *et al.* 2009).

El Miembro Inferior de la Formación Mulichinco en la región Septentrional se encuentra bien datado sobre la base de sus niveles amonitíferos, y comprende desde los tiempos más jóvenes de la Zona de *Lissonia riveroi* hasta los propios de la Subzona de *Olcostephanus (O.) atherstoni* (Fig. 5). El Miembro Medio abarca la parte superior de esta última subzona y el inicio de la Subzona de *Karakaschiceras attenuatum*. Por último el intervalo clástico marino suprayacente de esta región (hasta 150 m de potencia) queda comprendido mayoritariamente dentro de aquella subzona, y en el sector occidental ésta es la última subzona representada dentro de la Formación Mulichinco, puesto que las lutitas negras suprayacentes, atribuibles a la Formación Agrio, portan amonoides de la Subzona de *Olcostephanus (Viluceras) permolestus* (Fig. 5). En cambio, en el sector oriental, donde las facies son en general más proximales, la Subzona de *Olcostephanus (Viluceras)*

*permolestus* quedaría incluida dentro de la Formación Mulichinco puesto que las lutitas basales de la Formación Agrio comienzan con neocomitidos de la Zona de *Pseudofavrella angulatiformis*.

### La Formación Mulichinco en el subsuelo

La Formación Mulichinco representa una importante unidad reservorio y objetivo exploratorio en el subsuelo de la Cuenca Neuquina. La unidad es extensa en sentido meridional, registrándose en campos inmediatamente al norte de la Dorsal de Huincul (e.g. Rincón del Mangrullo, Fortín de Piedra), pasando por el centro y norte de la provincia del Neuquén (e.g. Aguada Pichana, Volcán Auca Mahuida, Señal Cerro Bayo), hasta el sur Mendoza (e.g. bloque Cañadón Amarillo) (Fig. 1). La Formación Mulichinco no está presente en los yacimientos Cerro Bandera (Pángaro *et al.* 2002) y Loma La Lata (Hechem *et al.* este volumen), los cuales representarían los límites sur y sureste, respectivamente, para su depositación (Fig. 1). A grandes rasgos la unidad muestra un cambio lateral de facies similar al registrado en los afloramientos, ya que sus sedimentitas son predominantemente continentales en el sur y marinas en el extremo norte.

En el sector sur del Engolfamiento – por ejemplo en los campos Rincón del Mangrullo (Zardo *et al.* 2008), Fortín de Piedra (Zavala *et al.* 2005), Aguada Pichana (Murut & De Vera 1993; Gordino *et al.* 2008) y Sierra Chata (Anechine *et al.* 2002), la Formación Mulichinco tendría un espesor total que varía entre 100 y 150 m, y en ella se distinguirían a grandes rasgos tres miembros: Inferior, Medio y Superior. En líneas generales el Miembro Inferior se compone predominantemente por areniscas de origen eólico, el Miembro Medio por conglomerados, areniscas y fangolitas de sistemas fluviales, y el Miembro Superior por fangolitas y areniscas que representarían un ambiente desde continental hasta marino-marginal. Según este patrón vertical, se define un arreglo general transgresivo con mayor influencia marina al tope (Murut & De Vera 1993; Anechine *et al.* 2002). Es interesante resaltar que, exceptuando las sedimentitas eólicas del denominado Miembro Inferior, la evolución vertical de la sucesión suprayacente se asemeja a la descrita para la región Austral de los afloramientos. Debe indicarse además que la subdivisión informal de miembros propuesta para el subsuelo (Murut & De Vera 1993) no guarda ninguna vinculación con la propuesta por Schwarz (1999) para la sucesión marina del norte de la provincia del Neuquén.

En el sector nororiental del subsuelo neuquino la unidad ha sido mencionada para numerosos yacimientos como por ejemplo Volcán Auca Mahuida, Señal Cerro Bayo, Aguada Bocarey y Aguada del Chivato (Vottero & González 2002). En el yacimiento Volcán Auca Mahuida (Fig. 1) se realizó un estudio sedimentológico de alta resolución en la Formación Mulichinco (Schwarz *et al.* 2008) en el que se describió e interpretó una sucesión de 140-150 m potencia dominada ampliamente por depósitos continentales, con intercalaciones de probable origen marino cerca de la base y en los últimos 20 m de la unidad. El arreglo general vertical, a diferencia de lo consignado más al sur, no es grandecreciente, sino más bien indefinido (Schwarz *et al.* 2008), aunque sí aumenta la influencia marina en el estadio evolutivo final como en aquel sector y en la región



Austral de afloramientos. Otro punto significativo que resulta del estudio en el yacimiento Volcán Auca Mahuida es que los materiales silicoclásticos más gruesos (areniscas sabulíticas) se encuentran unos 20 m más arriba de lo que se considera hasta el momento la base de la unidad, generando cierta incertidumbre acerca de la correcta ubicación estratigráfica de la Discontinuidad Intravalanginiana en la región.

La Formación Mulichinco también se encuentra ampliamente representada en el subsuelo del norte del Neuquén (e.g. yacimientos Desfiladero Bayo, Chihuido de la Salina, Filo Morado) y sur de Mendoza (bloque Cañadón Amarillo, Fig. 1). En el yacimiento Cañadón Amarillo, dentro del bloque homónimo, la unidad ha sido documentada por Schwarz (2008) a partir de testigos corona que la atraviesan completamente. La misma posee 140 a 110 m de espesor y está conformada por depósitos marinos que representan ambientes desde *shoreface* superior hasta *offshore*. En esta región se identificaron los tres miembros reconocidos en las exposiciones de la Región Septentrional de Neuquén y del sur de Mendoza, con arreglos estratigráficos y sedimentológicos similares (Schwarz *et al.* 2009; Net *et al.* 2010), permitiendo una precisa correlación entre afloramiento y subsuelo (Fig. 6). En esta correlación regional resulta clave la identificación del límite de secuencia basal (Discontinuidad Intravalanginiana) demarcado por una asociación de icnofacies indicativa de sustrato firme hasta inclusive duro, así como el intervalo carbonático medio dominado por acumulaciones de ostras cementantes (Schwarz *et al.* 2009).

### Discusión sobre secuencias y controles en la sedimentación

La correlación de los sistemas deposicionales definidos, el empleo de un esquema bioestratigráfico refinado, el reconocimiento de las superficies claves y la identificación de arreglos estratales permitió generar un marco estratigráfico-secuencial para la Formación Mulichinco, reconstruir la evolución paleogeográfica de la unidad, determinar el arreglo interno de la secuencia y establecer los principales controles en su acumulación (Schwarz 2003; Schwarz & Howell 2005; Schwarz *et al.* 2006). Según estos autores, los depósitos de la Formación Mulichinco representan una única secuencia de tercer orden, desarrollada durante un lapso de aproximadamente 2 ma., y limitada por una discontinuidad regional o límite de secuencia denominado Discontinuidad Intravalanginiana (Gulisano *et al.* 1984). La caída relativa del nivel del mar comenzó en el Valanginiano temprano medio y dejó expuestas extensas áreas de los depósitos marinos depocentrales (Formación Vaca Muerta) y de plataforma (Formación Quintuco), en tanto es probable que las áreas continentales previas se convirtieran en regiones de no acumulación y/o *bypass* de sedimentos. La erosión vertical asociada a este límite de secuencia no ha sido cuantificado hasta la fecha, pero en términos temporales el *hiatus* involucrado posiblemente no representaría más que la duración de una zona bioestratigráfica definida en la región depocentral de la cuenca, puesto que amonoideos indicadores de la Zona de *Lissonia riveroi* se desarrollan tanto por debajo como por arriba de dicha discontinuidad en todo el centro y norte de Neuquén (Fig. 5).

Todos los depósitos de la Formación Mulichinco se hallan por encima del límite de secuencia y se interpretan como formados luego del máximo descenso del nivel del mar. En las regiones Austral y Central, depósitos continentales apoyan sobre las sedimentitas marinas previas. Hacia la región Septentrional, no hubo exposición subaérea pero se desarrolló una superficie de erosión marina, contemporánea del límite de secuencia. A diferencia de lo postulado por Schwarz & Howell (2005), aún en el extremo norte de Neuquén y sur de Mendoza se registran evidencias de erosión marina (Schwarz *et al.* 2009) y por lo tanto la correlativa conformidad del límite de secuencia es decir regiones del depocentro valanginiano sin bruscos cambios de facies ni registro de erosión debería estar en posiciones aún más distales, posiblemente hacia el noroeste.

La secuencia de tercer orden definida dentro de la Formación Mulichinco se compone de tres cortejos deposicionales, identificados y definidos sobre la naturaleza de sus límites y su geometría interna (Schwarz & Howell 2005). Los atributos estratales de estos cortejos, como así también la reconstrucción paleogeográfica de cada intervalo (véase Schwarz & Howell 2005, su Fig. 12) permitió reconocer un fuerte cambio en la polaridad de los sistemas deposicionales a lo largo de la unidad. El Cortejo de Mar Bajo temprano se caracteriza por baja acomodación en los ambientes fluviales y arreglo progradacional en los sistemas marinos. En este período se registran las máximas pendientes, el mayor calibre del material clástico y la mayor influencia fluvial en los sistemas deltaicos desarrollados en el sur del depocentro. Durante el último estadio del Cortejo de Mar Bajo se reduce la granulometría de los sedimentos y aumenta la influencia del régimen mareal en los ambientes costeros del sur. El registro sedimentario desarrolló un patrón agradacional probablemente porque la tasa de creación de acomodación y el suministro clástico alcanzaron un equilibrio transitorio.

Durante el Cortejo Transgresivo se produce un cambio más marcado en los sistemas deposicionales, con un predominio de sistemas estuarinos sobre sistemas fluviales antecedentes, y un medio marino que se expande en todas direcciones y se vuelve hambriento de sedimentos silicoclásticos. Esta situación favorece en el medio marino la instalación de un sistema carbonático de rampa con el desarrollo de extensas bioconstrucciones de ostras. Estas facies tan conspicuas han sido registradas hasta 40 km al este de la Región Septentrional de afloramientos (donde definen el Miembro Medio, Fig. 6), lo que representa una evidencia adicional en el sentido de que dichos agregados de ostras se generaron en un ambiente marino abierto (Schwarz 1999), y no en bahías o albuferas como son más comunes hoy en día.

En su último estadio evolutivo la sucesión de la región Austral experimenta la transición de sistemas estuarinos a otros dominados por planicies costeras y bahías someras. Por lo tanto, si esta región se investigara en forma aislada, la sucesión cuspidal se podría asignar a un estadio transgresivo tardío y se podría concluir que la unidad registra un arreglo general transgresivo (Uliana *et al.* 1977; Anechine *et al.* 2002). Sin embargo, al integrar esa información con los diseños estratales y la superposición de facies que se registra en el este, es factible reconocer un Cortejo de Mar Alto con arreglo agradacional a ligeramente progradacional dentro de la secuencia de tercer

orden, como sugirieron Schwarz *et al.* (2006). Con todo, es importante resaltar que durante este último estadio se registra muy poco aporte desde el oeste, en tanto que los sistemas fluviales del este (como los identificados en el yacimiento Auca Mahuida, Schwarz *et al.* 2008) sin duda siguieron proveyendo de material silicoclástico al ambiente marino de la región Septentrional.

En lo que respecta a los controles antes y durante la acumulación de la Formación Mulichinco, la tectónica regional de la cuenca fue un factor de control decisivo en el descenso relativo del nivel del mar que disparó su deposición. El alzamiento al oeste y sur de áreas previamente sumergidas, documentado por datos de subsuelo (Vergani *et al.* 2002), así como por evidencias sedimentológicas (Schwarz *et al.* 2006), controlaron además la configuración de los sistemas deposicionales definiendo un dominio cercano a las áreas reactivadas (dominio «activo») y un sector pasivo en donde hubo leve o no hubo alzamiento tectónico. El desarrollo de estos ambientes condicionó el calibre y el volumen de sedimentos suministrados al medio marino en cada período, siendo máxima la provisión de clásticos desde el suroeste durante la etapa inicial y mínima en la etapa final. Por su parte, la fisiografía de mar interior somero también jugó un rol importante ya que permitió una migración muy drástica de las fajas de facies durante el descenso relativo del nivel del mar, lo que a su vez posiblemente no favoreció la generación de valles incididos. Por último, la evolución temporal de los sistemas de acumulación también estuvo condicionada por el ascenso relativo del nivel del mar de larga frecuencia que comenzó hacia el final del Valanginiano Tardío (Cortejo Transgresivo de Mulichinco) y se aceleró tiempo después produciendo una inundación generalizada, no sólo de los sistemas marinos someros previos, sino también de los sistemas continentales del sur (representado por la base de la Formación Agrio).

## PERSPECTIVAS

Si bien los estudios desarrollados en la última década en las sedimentitas de la Formación Mulichinco han permitido una comprensión más acabada de la evolución paleogeográfica, fisiográfica y paleoceanica del depocentro neuquino durante parte del Valanginiano como se detallan brevemente en este capítulo, aún quedan numerosos aspectos que requieren de estudios más detallados.

Una cuestión fundamental se relaciona con la correcta identificación de la Discontinuidad IntraValanginiana en el subsuelo de la Cuenca Neuquina, en particular hacia la Dorsal de Huíncul y hacia el este de los afloramientos, que es motivo aun de intenso debate. La precisa ubicación estratigráfica del límite de secuencia de la cuña de mar bajo que representa esta discontinuidad regional, permitirá contribuir a un mejor entendimiento de los ambientes continentales iniciales de la Formación Mulichinco, pero también de las configuraciones paleogeográficas que antecedieron a la caída relativa del nivel del mar valanginiano. Estos avances podrían resultar de significativa importancia para generar modelos geológicos más confiables en yacimientos con niveles productores en la unidad en el engolfamiento neuquino. Los resultados también podrían servir de contexto paleoambiental para los recientes es-

tudios de vertebrados continentales hallados en la unidad (Coria 2010) y otras investigaciones por ejemplo de floras valanginianas.

En lo que respecta a los sistemas marinos de la Formación Mulichinco existen también otros aspectos que pueden profundizarse. Dentro de los cortejos sedimentarios de tercer orden se identificaron ciclos de mayor frecuencia, que muchas veces se manifiestan como secuencias mixtas (carbonáticas/silicoclásticas) de cuarto y quinto orden. Estas secuencias o ciclos de mayor frecuencia están siendo investigados con mayor detalle actualmente sobre la base de estudios integrados (e.g. Schwarz 2010), pero aún queda mucho por entender sobre la co-existencia o reemplazo temporal de sistemas silicoclásticos y carbonáticos. Por otra parte, también es muy poco el conocimiento que se tiene de la dinámica de las corrientes costeras (de tormenta, de mareas, paralelas a la costa), como más profundas (de *offshore*) que podrían haber condicionado la distribución de sedimentos dentro del sistema marino. Estas investigaciones, en combinación con estudios existentes y futuros de las propiedades oceánicas (paleotemperaturas, paleosalinidades, paleoxigenación, etc.) contribuirán a alcanzar un mayor conocimiento del depocentro neuquino durante el Valanginiano.

## Agradecimientos

Esta síntesis sobre la Formación Mulichinco se basa en una tesis doctoral desarrollada por el primer autor (ES) y estudios sucesivos generados con los dos co-autores (LS y GV), así como con numerosos colegas del ámbito académico y de la industria, a los cuáles ES desea agradecer. Se agradece a YPF S.A. por poner a disposición información de subsuelo y permitir la publicación de información de subsuelo en la Figura 6. Este trabajo es una contribución a los proyectos PICT 25304 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de la Argentina, y al PIP 02384 del CONICET de la Argentina.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aguirre Urreta, M.B. 1998. The ammonites *Karakaschiceras* and *Neohoplloceras* (Valanginian Neocomitidae) from the Neuquén Basin, west-central Argentina. *Journal of Paleontology* 72(1): 39-59.
- Aguirre Urreta, M.B. & Lo Forte, G.L. 1996. Los depósitos tithoneocomianos. En: Ramos, V.A., Aguirre Urreta, M.B. Álvarez, P.P., Cegarra, M.I., Cristallini, E.O., Kay, S.M., Lo Forte, G.L., Pereyra, F.X. & Pérez, D.J. (Eds.): Geología de la región del Aconagua, provincias de San Juan y Mendoza. Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Anales 24(7): 179-229. Buenos Aires.
- Aguirre Urreta, M.B. & Rawson, P.F. 1997. The ammonite sequence in the Agrio Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina. *Geological Magazine* 134: 449-458.
- Aguirre Urreta, M.B. & Rawson, P.F. 1999a. Stratigraphic position of *Valanginites*, *Lissonia* y *Acantholissonia* in the Lower Valanginian (Lower Cretaceous) ammonite sequence of the Neuquén Basin, Argentina. En: Olóriz & Rodríguez-Tovar (Eds.): *Advancing Research on Living and Fossils Cephalopods*: 521-529. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York
- Aguirre Urreta, M.B. & Rawson, P.F. 1999b. Lower Cretaceous



- ammonites from the Neuquén Basin, Argentina: Viluceras, a new Valanginian subgenus of *Olcostephanus*. *Cretaceous Research* 20: 343-357.
- Aguirre Urreta, M.B., Rawson, P.F., Concheyro, G.A., Bown, P.R., Ottone, E.G., 2005. Lower Cretaceous Biostratigraphy of the Neuquén Basin. En: Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A., Schwarz, E. (Eds.): *The Neuquén Basin, Argentina: a Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. Geological Society, London, Special Publication 252: 57-81.
- Aguirre Urreta, M. B., Price, G.D., Ruffell, A.H., Lazo, D.G., Kalin, R.M., Ogle, N., Rawson, P.F. 2009. Southern Hemisphere Early Cretaceous (Valanginian-Early Barremian) carbon and oxygen isotope curves from the Neuquén Basin, Argentina, *Cretaceous Research* 29: 87-99.
- Álvarez, P.P., Godoy E. & Sellés, D. 2000. Geología de la región del río Colorado, Andes Principales de Chile (33°25'S). IX Congreso Geológico Chileno, Actas I: 736-740. Puerto Varas.
- Allen, G.P. & Posamentier, H.W. 1993. Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the Gironde Estuary, France. *Journal of Sedimentary Petrology* 63: 378– 391.
- Anechine, M.D., Stahlschmidt, E.H., & Del Pino, M.J.A. 2002. Evaluación petrofísica de reservorios complejos dentro de la Formación Mulichinco, Yacimiento Sierra Chata – Cuenca Neuquina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: Formato CD Rom. Mar del Plata.
- Cegarra, M.I. & Lo Forte, G.L. 1991. Geología de la región oriental del Río de Los Horcones, Cordillera Principal de Mendoza, Argentina. VI Congreso Geológico Chileno, Resúmenes, 897-901. Santiago, Chile.
- Coria, R.A., Currie, P.J., Koppelhus, E., Braun, A. y Cerda, I. 2010. First record of a Valanginian (early Cretaceous) dinosaur association from South America. 70th Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, Abstracts, 75a. Pittsburgh, Reino Unido.
- Digregorio, J.H. & Uliana, M.A. 1979. Cuenca Neuquina. En: J.C. M. Turner (Ed.): *Geología Regional Argentina; Tomo II, Academia Nacional de Ciencias: 985-1032. Córdoba.*
- Foucault, J.E., Vaillard, C. & Viñez, R.F. 1987. Estratigrafía de las unidades aflorantes a lo largo del curso inferior del Río Limay, provincias del Neuquén y Río Negro, República Argentina. 10º Congreso Geológico Argentino, Actas: 139-142. San Miguel de Tucumán.
- Gordino, G., Torre, E., & Astesiano, D., 2008. Relación entre facies depositacionales, tipos de roca y producción en la Formación Mulichinco, Yacimiento de Aguada Pichana, Cuenca Neuquina. 7º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: Formato CD Rom. Mar del Plata.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 1. Hoja Chos Malal. *Revista de la Sociedad Geológica Argentina: 177-208.*
- Gulisano, C.A. & Gutiérrez Pleimling, A.R. 1995. The Jurassic of the Neuquén Basin, a) Neuquén Province. *Asociación Geológica Argentina Series, E2, Buenos Aires, 111 pp.*
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R. & Digregorio, R.E. 1984. Análisis estratigráfico del intervalo Tithoniano-Valanginiano (Formaciones Vaca Muerta, Quintuco y Mulichinco) en el suroeste de la provincia de Neuquén. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas I: 221-235. San Carlos de Bariloche.
- Holmberg, E., 1976. Descripción geológica de la Hoja 32c, Buta Ranquil, provincia de Neuquén. *Boletín 152, Servicio Geológico Nacional, 90 pp.*
- Kozłowski, E.E., Cruz, C.E. & Sylwan, C.A. 1996. Geología estructural de la zona de Chos Malal. Cuenca Neuquina, Argentina. 13º Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas I: 15-26. Buenos Aires.
- Lazo, D.G. & Cichowolski, M. 2003. First plesiosaur remains from the Lower Cretaceous of the Neuquén Basin, Argentina. *Journal of Paleontology*, 77: 784-789.
- Lazo, D.G., Aguirre Urreta, M.B., Price, G.D., Rawson, P.F., Ruffell, A.H. 2008. Palaeosalinity variations in the Early Cretaceous of the Neuquén Basin, Argentina: evidence from oxygen isotopes and detailed palaeoecological analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 260: 477–493.
- Leanza, H.A. 1973. Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes jurásico-cretácicos entre Loncopué y Picún Leufú, provincia del Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 28: 97-132.
- Leanza, H.A. 1993. Estratigrafía del Mesozoico posterior a los Movimientos Intermálmicos en la comarca del Cerro Chachil, provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48: 71-84.
- Leanza, H.A. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista del Museo Ciencias Naturales B. Rivadavia*. 11(2): 145-184.
- Leanza, H. A. & 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 de la Asociación Geológica Argentina* 32(4): 248-264.
- Leanza, H. A., Hugo, C.A. & Repol, D. 2001. Descripción de la Hoja Geológica 3969-I, Zapala, provincia del Neuquén. Instituto de Geología Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. *Boletín* 275. 128 p. Buenos Aires.
- Legarreta, L. & Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior). En: Chebli, G. & Spalletti, L.A. (Eds.): *Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica* 6: 221-243. Tucumán.
- Legarreta, L. & Kozłowski, E. 1981. Estratigrafía y sedimentología de la Formación Chachao, provincia de Mendoza. 8º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 521-543. San Luis.
- Legarreta, L. & Uliana, M.A. 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*. IAS Special Publication 12: 429-450.
- Legarreta, L. & Uliana, M.A. 1999. Facies Sedimentarias. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. En: Caminos, R. (Ed.): *Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales Geología Argentina, Anales* 29 (16): 399-432. Buenos Aires.
- Marchese, H.G. 1971. Litoestratigrafía y variaciones faciales de las sedimentitas mesozoicas de la Cuenca Neuquina, provincia de Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26 (3): 343-410.
- Mitchum, R.M. & Uliana, M.A. 1985. Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic - Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina. En: Bero, B.R. & Woolverton, D.G. (Eds.): *Seismic stratigraphy: an integrated approach to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir* 39: 255-274. Tulsa.
- Murut, C. & De Vera, H. 1993. Descripción Estática y Cálculo de Reservas. Yacimiento Aguada Pichana – Formación Mulichinco, provincia del Neuquén. Departamento de Producción Regional Plaza Huinul, Área Minería y Geología Regional. YPF. Informe inédito,

- Net, L.I., Schwarz, E., Coppoli, A., Rodríguez Blanco, L. & Massaferro, J.L. 2010. Characterization of mixed siliciclastic/carbonate systems within the Mulichinco Fm (Valanginian) in Cañadón Amarillo field, northern Neuquén Basin (Argentina). An integrated approach to build more robust exploration and production models. 18th International Sedimentological Congress: Abstracts Volumen: 642. Mendoza.
- Ogg, J.G., Agterberg, F.P., Gradstein, F.M., 2004. The Cretaceous Period. In: Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Smith, A.G. (Eds.): A Geologic Time Scale 2004. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 344–383.
- Pángaro F., Veiga, R. & Vergani, G. 2002. Evolución tecto-sedimentaria del área de Cerro Bandera, Cuenca Neuquina, Argentina. 5º Congreso Argentino de Hidrocarburos: Formato CD Rom. Mar del Plata.
- Quattrocchio, M., Martínez, M., García, V. & Zavala, C. 2003. Palinoestratigrafía del Tithoniano-hauteriviano del centro-oeste de la Cuenca Neuquina, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 35: 51-74.
- Sagasti, G. 2002. Estudio sedimentológico y de estratigrafía secuencial de las sedimentitas carbonáticas de la Formación Agrio (Cretácico Inferior), en el Sector Surmendocino de la Cuenca Neuquina, República Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 280 pp. Inédita.
- Schwarz, E. 1999. Facies sedimentarias y modelo deposicional de la Formación Mulichinco (Valanginiano), Cuenca Neuquina Septentrional. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 6(1-2): 37-59.
- Schwarz, E. 2002. Estratigrafía, bioestratigrafía y secuencias de la Formación Mulichinco (Cretácico Inferior), Cuenca Neuquina, Argentina. ¿Nuevos enfoques? 15º Congreso Geológico Argentino. Formato CD Rom. El Calafate.
- Schwarz, E. 2003. Análisis paleoambiental y estratigrafía secuencial de la Formación Mulichinco en el sector septentrional de la provincia del Neuquén, Cuenca Neuquina, Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 303 pp. Inédita.
- Schwarz, E. 2008. Análisis sedimentológico y estratigráfico de la Formación Mulichinco en el yacimiento Cañadón Amarillo (Provincia de Mendoza). Informe inédito, YPF. 97 pp.
- Schwarz, E., 2010. Mixed carbonate (transgressive) / siliciclastic (regressive) cycles deposited in a shallow-water ramp: the Upper Mulichinco Member (Valanginian), Neuquén Basin, Argentina. 18th International Sedimentological Congress: Abstracts Volumen: 794. Mendoza.
- Schwarz, E. & Howell, J.A. 2005. Sedimentary evolution and depositional architecture of a Lowstand Sequence Set: The Lower Cretaceous Mulichinco Formation, Neuquén Basin, Argentina. En: Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A., Schwarz, E. (Eds.): The Neuquén Basin, Argentina: a Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics. Geological Society, London, Special Publication 252: 109-138.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A. & 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.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A., Sagasti, G. & Veiga, G.D. 2002. Carta cro-  
noestratigráfica-cronoambiental del Neocomiano de la Cuenca Neuquina. XV Congreso Geológico Argentino. Formato CD Rom. El Calafate.
- Schwarz, E., Veiga, G.D., & Álvarez, G. 2009. Esquema secuencial y litoestratigráfico de la sucesión Valanginiana en la región central de la Cuenca Neuquina, República Argentina. XII Congreso Geológico Chileno, Formato Digital, Santiago, Chile.
- Schwarz, E., Veiga, G.D., Vela, R. & Canalis, R. 2008. Paleoambientes y estratigrafía de la Formación Mulichinco en el Yacimiento Volcán Auca Mahuida (Cuenca Neuquina, Argentina). Implicancias para la caracterización de sellos locales. En: Schiuma, M. (Ed.): Trabajos Técnicos del 7º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, p. 1-17. Mar del Plata, Argentina.
- Schwarz, E., Veiga, G.D., Olivo, M., Spalletti, L.A. & Álvarez, G. este congreso. La Discontinuidad Intravalanginiana en la Cuenca Neuquina: caracterización regional de un límite de secuencia.
- Stipanovic, P., Rodrigo, F., Bauliés, O.L. & Martínez, C.G. 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23 (2): 367-388.
- Uliana, M.A., Dellapé, D.A. & Pando, G.A. 1977. Análisis estratigráfico y evaluación del potencial petrolífero de las formaciones Mulichinco, Chachao y Agrio (Cretácico Inferior de las provincias de Neuquén y Mendoza). *Petrotecnia* 31: 31-46.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. & Welsink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En: Tankard, A.J., Suárez Soruco, R. & Welsink, H.J. (Eds.): Petroleum Basins of South America. AAPG Memoir 62: 383-402. Tulsa.
- Vottero, A.J. & González, J.M. 2002. Los reservorios de la Formación Mulichinco. En: Schiuma, M., Hinterwimmer, G. & Vergani, G. (Eds.): Rocas Reservorio de las Cuencas productivas de la Argentina. 5º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 383 – 400. Mar del Plata.
- Weaver, V. 1931. Palaeontology of the Jurassic and Cretaceous central Argentina. University of Washington, Memoir: 496 pp. Seattle.
- Yrigoyen, M. 1979. Cordillera Principal. En: Turner, J.C.M. (Ed.): Geología Regional Argentina, Tomo I, Academia Nacional de Ciencias: 651-694. Córdoba.
- Zardo, E.B., Borgnia, M., Ortíz, A., Patamia, M. & Bender, B. 2008. Caracterización de reservorio a partir de información de pozos y sísmica 3D en la Formación Mulichinco del Yacimiento Rincón del Mangrullo, Neuquén, Argentina. Simposio de Modelado Geológico. 7º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: Formato CD Rom. Mar del Plata. Argentina.
- Zavala, C. 2000. Nuevos avances en la sedimentología y estratigrafía secuencial de la Formación Mulichinco en la Cuenca Neuquina. *Boletín de Informaciones Petroleras* 63: 40-54.
- Zavala, C., Mosquera, A., Joo Kim, H. 2005. Los depósitos eólicos de la Formación Mulichinco (Valanginiano) en el área de Fortín de Piedra-Cuenca Neuquina. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: Formato CD Rom. Mar del Plata. Argentina.
- Zöllner, W. & Amos, A.J. 1973. Descripción geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén. *Boletín* 152, Servicio Geológico Nacional, 90 pp. Buenos Aires.