

BIOESTRATIGRAFÍA Y GEOCRONOLOGÍA DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA FORMACIÓN VACA MUERTA, CUENCA NEUQUINA

Beatriz Aguirre-Urreta¹, Verónica V. Vennari¹, Marina Lescano¹, Maximiliano Naipauer¹,
Andrea Concheyro¹, Víctor A. Ramos¹

1: Instituto de Estudios Andinos “Don Pablo Groeber” IDEAN (UBA – CONICET), Departamento
de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
aguirre@gl.fcen.uba.ar, vvennari@gl.fcen.uba.ar, lescano@gl.fcen.uba.ar, maxinaipauer@hotmail.com,
andrea@gl.fcen.uba.ar, andes@gl.fcen.uba.ar

Palabras clave: Amonites, Nanofósiles calcáreos, Dataciones U-Pb, Jurásico, Cretácico

ABSTRACT

High Resolution Biostratigraphy and Geochronology of the Vaca Muerta Formation, Neuquén Basin

In this work we present new results from studies of ammonites and calcareous nannofossils in selected surface sections of the Vaca Muerta Formation that have yielded a precise biochronology on this unit. Furthermore, these studies have been correlated with the classical biozonations of the Tethys in the case of the ammonites and have also adjusted events of calcareous nannofossils recognized in the Neuquén Basin with those of the Tethys. Geochronological U-Pb dating performed at both the Vaca Muerta and the underlying Tordillo Formation has provided absolute ages of both lithostratigraphic units. These data contrast markedly with the currently accepted ages for this interval by the International Commission on Stratigraphy (ICS) and the Geological Time Scales (GTS 2012) and are about 5 million years younger. Finally, we stress the importance and need for detailed biostratigraphic studies that detect tectonic disturbances showing as an example the classical locality of La Yesera in northern Neuquén.

INTRODUCCIÓN

Se debe a Weaver (1931) la descripción de una sucesión de lutitas negras de aproximadamente 1.300 m de espesor, con algunas intercalaciones arenosas y calcáreas, que ocupaban el intervalo estratigráfico entre las areniscas de la Formación Tordillo y las de la Formación Mulichinco, en la región central de la provincia de Neuquén. Este autor consideró la división del intervalo mencionado en dos unidades: la Formación Vaca Muerta para la porción estratigráficamente inferior y la Formación Quintuco para la superior. Dicha separación se basaba exclusivamente en el contenido paleontológico de ambas unidades y no en una distinción de carácter litológico, lo cual permitía asignarle una edad jurásica tardía a la primera

unidad y cretácica temprana a la segunda. De esta manera la Formación Vaca Muerta quedó definida como los estratos tithonianos constituidos por lutitas calcáreas grisáceas y oscuras que presentaban una amplia distribución, en las provincias de Mendoza y Neuquén, siendo su localidad tipo la pendiente occidental de la sierra de la Vaca Muerta (38°35' a 38°41'S; Leanza 1973). Fossa-Mancini *et al.* (1938) fueron los encargados de introducir formalmente en la literatura geológica la Formación (de la) Vaca Muerta, de acuerdo a una sugerencia hecha por los integrantes de la Administración de YPF en Plaza Huincul, al describirla como los estratos bituminosos portadores del amonite *Virgatosphinctes* de edad tithoniana. Bajo esta denominación fue utilizada por numerosos geólogos que trabajaban en la cuenca Neuquina en ese momento (*e.g.* Herrero-Ducloux 1946; Groeber 1946, como Vacamuertense dentro de su Ciclo Ándico).

Sin embargo, teniendo en cuenta las reglas establecidas por el Código Estratigráfico Argentino y la continuidad litológica existente entre los depósitos de la Formación Vaca Muerta y los de la Formación Quintuco, Leanza (1973) enmendó el sentido original de la primera unidad y la extendió hasta la base de la Formación Mulichinco en las áreas de depocentro de Neuquén, o hasta la de la Formación Chachao en Mendoza (Leanza *et al.* 1977). Más tarde, Leanza y Zeiss (1990) reconocieron dentro de la sucesión de la Formación Vaca Muerta en la localidad de Zapala, más precisamente en la región de las canteras de Los Catutos, una unidad homogénea compuesta por calizas muy fosilíferas con intercalaciones de margas y pelitas, para la cual instituyeron el nombre de Miembro Los Catutos y señalaron su sección tipo dentro de la cantera El Ministerio. Un nuevo miembro de esta formación fue introducido por Leanza *et al.* (2003); se trata de un paquete de areniscas de espesor reducido pero de extensión areal considerable en el noroeste de Neuquén conocido como Miembro Huncal. Finalmente, Leanza *et al.* (2011) presentan una síntesis actualizada del conocimiento de esta unidad en la provincia del Neuquén.

En este trabajo se presentan nuevos resultados del estudio de amonites y nanofósiles calcáreos de secciones correspondientes a la Formación Vaca Muerta que afloran en el sur de Mendoza y norte de Neuquén (Figura 1) que han permitido establecer una bioestratigrafía de alta resolución para dicha unidad. Asimismo se muestran edades obtenidas sobre la base de dataciones U-Pb en circones y se discuten las discrepancias con aquellas aceptadas por la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS) y publicadas en la última Escala de Tiempo Geológico (GTS 2012). Finalmente se subraya la importancia y necesidad de hacer estudios bioestratigráficos de alta resolución para detectar complicaciones tectónicas, poniéndose como ejemplo la clásica localidad de La Yesera en el norte de Neuquén.



Figura 1. Mapa de la cuenca Neuquina con indicación de los afloramientos del Grupo Mendoza y la ubicación de las localidades estudiadas.

Antecedentes paleontológicos

El estudio de las rocas actualmente asignadas a la Formación Vaca Muerta y su fauna de amonites en nuestro país se remonta a mediados del siglo XIX, a partir de los viajes de exploración y colecciones de algunos ilustres precursores extranjeros, entre los que merece destacarse la figura de Charles Darwin (1846). Dentro del ámbito de la cuenca Neuquina-Aconcagüina, fue fundamental el viaje que realizara Bodenbender (1892) al área comprendida entre los ríos Diamante y Limay

en el verano de 1887-1888. Los amonites recolectados durante esa campaña fueron estudiados por Behrendsen (1891-92) y Steuer (1897). Burckhardt, comisionado por el Museo de la Plata realiza en 1884 una serie de campañas a las provincias de Neuquén y Mendoza, cuyos resultados fueron publicados a principios del siglo XX (Burckhardt 1900a, b; 1903). Estas contribuciones junto con las de Behrendsen y Steuer, permitieron ampliar aun más el conocimiento de los amonites tithoniano-berriasianos, como así también el de la estratigrafía y la tectónica de las sucesiones mesozoicas de la región cordillerana. Posteriormente *Windhausen* (1914) analiza la región del Cerro Lotena, al sur de Zapala, contribuyendo al establecimiento de la distribución vertical de las faunas de amonoideos estudiados por Douvillé (1910). Gerth explora la región entre los ríos Grande y Diamante en el sur de Mendoza entre 1911 y 1913, mapea todo ese territorio y recolecta una gran cantidad de amonites jurásicos y cretácicos; aquellos tithonianos fueron estudiados por Krantz (1926). Aunque Groeber no realizó él mismo publicaciones acerca de los amonites que recolectó a lo largo de sus numerosas campañas a la cuenca Neuquina, éstos fueron fundamentales en sus interpretaciones cronoestratigráficas de las sedimentitas mesozoicas de la Argentina, las cuales fueron cristalizadas en la obra que llevó a cabo más tarde junto con sus discípulos Stipanovic y Mingramm (Groeber *et al.* 1953). Durante largos y exhaustivos trabajos de campo, Weaver visitó numerosas localidades en las cuales no sólo recolectó una gran cantidad de invertebrados fósiles, sino que también realizó mapeos y tomó datos estratigráficos que le permitieron distinguir varias unidades litoestratigráficas que aún permanecen vigentes, tales como las Formaciones Vaca Muerta, Mulichinco y Agrio entre otras (Weaver 1931). Se debe a A. Leanza (1945) una monografía acerca de la fauna de amonites del Jurásico Superior-Cretácico Inferior de la Sierra Azul, Mendoza. En ella describe sistemáticamente decenas de especies a partir de ejemplares recolectados en el campo por Groeber entre 1912 y 1922, realiza además consideraciones de índole paleobiogeográfica y propone un esquema de zonación bioestratigráfica que en esencia continúa vigente. En relación a las faunas de amonoideos del Jurásico Tardío y del Cretácico Temprano de la cuenca Neuquina, H. Leanza, es el autor que más se ha involucrado con esta temática (Leanza 1980; 1981a, b; Leanza 1996) y luego en colaboración con otros autores (Riccardi *et al.* 2000; Zeiss y Leanza 2008, 2010). En los últimos años, Parent (2001, 2003) y Parent *et al.* (2006, 2010, 2011) han propuesto una serie de revisiones sistemáticas de distintos grupos de amonites de edad tithoniana temprana a media de la Formación Vaca Muerta y han aventurado algunas modificaciones en los esquemas bioestratigráficos en uso aunque sin embargo, sus conclusiones han sido desestimadas por algunos autores (Riccardi 2008a, b) y aceptadas parcialmente por otros (Zeiss y Leanza 2008, 2010). Finalmente, en años recientes hemos estudiado las asociaciones de amonoideos tithoniano-berriasianos en distintas localidades de las provincias de Mendoza y Neuquén. En la primera provincia se analizó la fauna de amonoideos de una sección relevada en el Paso Piuquenes (Aguirre-Urreta y Vennari 2009). También se describió una nueva especie del género *Andiceras* en las inmediaciones de la laguna Diamante (Vennari *et al.* 2012), mientras que en Las Loicas, se

estudiaron en particular las asociaciones representadas alrededor del límite Jurásico-Cretácico en correlación con bioeventos de nanofósiles y datos de edades absolutas (Vennari *et al.* 2014).

A diferencia de los trabajos de megafósiles que se extienden por más de una centuria, los estudios publicados de nanofósiles calcáreos de la Formación Vaca Muerta son mucho más recientes. Scasso y Concheyro (1999) analizan muestras del Miembro Los Catutos de esta formación. En ella reconocen la presencia de *Polycostella beckmanni*, una especie biomarcadora del Tithoniano y la correlacionan con la Biozona NJ20B y con la zona de amonites de *Windhausenicerias internispinosum*. Ballent *et al.* (2004) analizan la asociación de microfósiles calcáreos de muestras provenientes de sondeos realizados en el área Entre Lomas. En este trabajo no reconocen bioeventos de nanofósiles calcáreos y solo identifican la presencia de *Polycostella senaria* que conjuntamente con el estudio detallado de foraminíferos y ostrácodos permiten asignar los niveles estudiados al Tithoniano tardío bajo. Kietzmann *et al.* (2011) reconocen especies biomarcadoras de nanofósiles calcáreos y correlacionan los bioeventos identificados con las zonas de amonites definidas para el perfil del arroyo Loncoche en las cercanías de Malargüe. Ballent *et al.* (2011) presentan una síntesis actualizada del conocimiento micropaleontológico de las sedimentitas de superficie y subsuelo del Mesozoico y Cenozoico en Neuquén, teniendo en cuenta las publicaciones previas, como así también la información proveniente de 22 perforaciones y 8 secciones de superficie de Vaca Muerta (Concheyro *et al.* 2007). En Vennari *et al.* (2014) se analizan los bioeventos de varias especies de nanofósiles calcáreos reconocidos en Las Loicas, con especial énfasis en aquellos cercanos al límite Tithoniano-Berriasiano.

En numerosas publicaciones sobre la Formación Vaca Muerta se han estudiado otros grupos de megafósiles tales como bivalvos, gastrópodos, equinodermos o vertebrados marinos y microfósiles, entre ellos: radiolarios, foraminíferos y ostrácodos pero estos temas quedan fuera del objetivo de este trabajo.

SECCIONES DE LA FORMACIÓN VACA MUERTA

Quebrada Maravilla (36°28'S-70°12'O)

Esta localidad se sitúa en el noroeste de la provincia de Neuquén en el departamento Chos Malal (Figura 1). La sección se encuentra en la margen neuquina del río Barrancas, en los alrededores de la localidad de Los Raris y corresponde al flanco oriental del gran Anticlinal Barrancas. En esta localidad afloran sedimentitas de la Formación Vaca Muerta que presentan una potencia de 212 metros. La base del perfil relevado se caracteriza por una monótona alternancia de pelitas grises oscuras a negras, finamente laminadas, intercaladas con bancos tabulares masivos de margas grises oscuras con improntas mal preservadas de amonites, con un

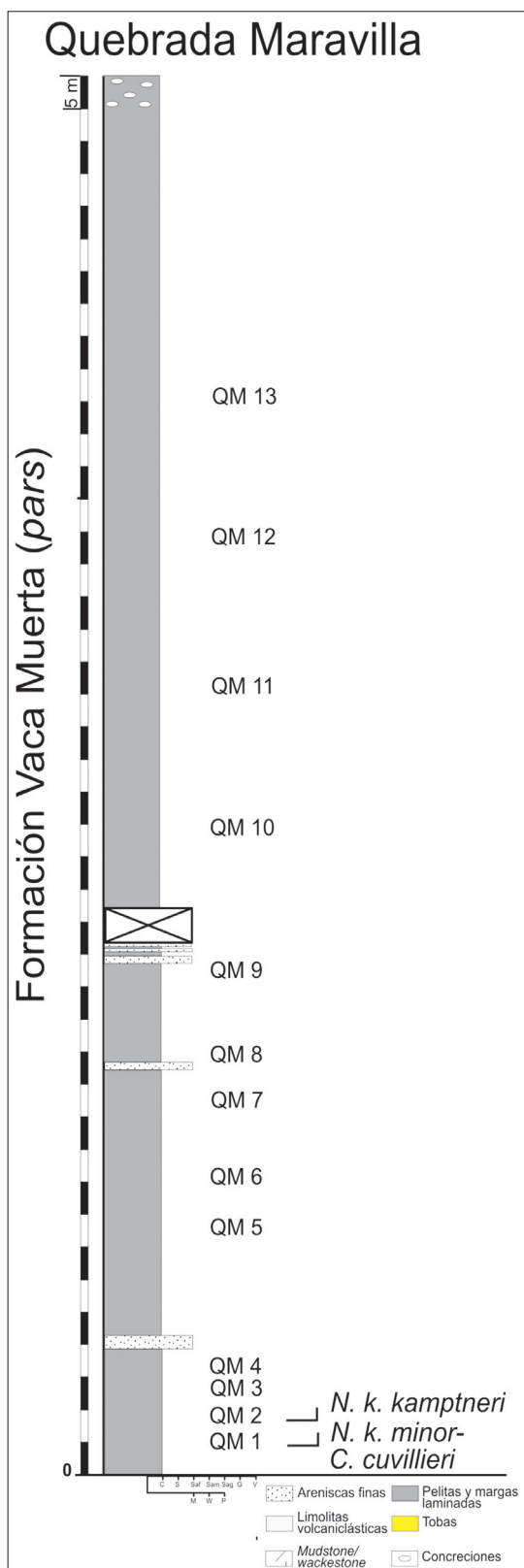


Figura 2. Perfil columnar de la Formación Vaca Muerta en Quebrada Maravilla, NO de Neuquén.

espesor de 79 metros. A los 23 m y 63 m desde la base del perfil, se reconocen delgados niveles de areniscas finas pardas. Se continúa con margas finamente laminadas intercaladas con bancos tabulares de areniscas finas pardas de 20 cm de espesor. A continuación se reconoce un cubierto de aproximadamente 5 m y se continúa con una alternancia cíclica de 125 m de espesor, de pelitas negras masivas con pobres impresiones de amonites, intercaladas con bancos de 50 cm de espesor de pelitas finamente laminadas con improntas de amonoideos y pelecípodos. Le sucede un nivel lenticular de 30 cm de espesor de pelitas grises laminadas con concreciones discoidales gris claro (Gatto 2007) (Figura 2). En esta localidad, los megafósiles resultan escasos, ya que sólo se han reconocido improntas de amonoideos con pobre preservación. Los nanofósiles calcáreos reconocidos en la base de la Formación Vaca Muerta que aflora en la localidad permiten asignarle a éstos una edad berriasiana temprana. Las FOs de *Cruciellipsis cuvillieri*, *Nannoconus kamptneri minor* y *Nannoconus kamptneri kamptneri* son bioeventos situados muy próximos al límite Tithoniano-Berriasiano (Wimbledon *et al.* 2011). Asimismo resulta significativo el hallazgo de *Nannoconus truitti truitti*, especie no identificada previamente en la cuenca Neuquina.

Arroyo Durazno (35°05'S-69°45'O)

Esta sección se sitúa 16 km al oeste de la localidad de El Sosneado (Figura 1). La base del perfil estudiado está representada por el contacto entre el miembro rojo de la Formación Tordillo y la Formación Vaca Muerta. En la sección estudiada

se analizaron los primeros 166 m de la Formación Vaca Muerta, caracterizada por la alternancia de bancos de margas y lutitas castañas a oscuras con niveles de *boundstones* microbianos, *mudstones* y *wackestones* bioclásticos concrecionales, laminares y masivos, *packstones* y algunas intercalaciones delgadas de areniscas medias (Figura 3).

Esta unidad continúa por varios metros más hasta dar paso en forma transicional a los *packstones* de bivalvos de la Formación Chachao. Los amonites identificados comprenden asociaciones desde la zona de *Virgatospinctes mendozanus* (Tithoniano temprano tardío-Tithoniano medio temprano) hasta la zona de *Substeueroceras koeneni* (Tithoniano tardío). A su vez se han identificado cuatro bioeventos de nanofósiles tithonianos: las FOs de *Zeurgrhabdotus embergeri* (Noël) Perch-Nielsen y *Eiffellithus primus* Applegate y Bergen que se corresponde con la zona de *Corongoceras alternans* mientras que las FOs de *Hexalithus noeliae* Loeblich y Tappan y *Rhagodiscus asper* (Stradner) Reinhardt se corresponden con la zona de *Substeueroceras koeneni*.

Las Loicas (35°47'S; 70°09'O)

Esta clásica localidad se sitúa 30 km al oeste de Bardas Blancas, sobre la margen derecha del río Chico (afuente del río Grande), a la vera de la ruta nacional 145 en dirección al paso internacional Pehuenche (Figura 1). En la sección analizada la Formación Vaca Muerta se apoya con un contacto neto sobre la Formación Tordillo y tiene 215 m de espesor (Figura 4). Está representada principalmente por una alternancia de *mudstones* y *wackestones* masivos y concrecionales con intervalos de pelitas, margas y *mudstones* laminados. Estos últimos más conspicuos hacia el tope de la sección. En este perfil se han observado numerosos niveles de tobas intercalados entre los *mudstones*, margas y pelitas, siendo mucho más frecuentes a partir del Berriasiano inferior. No obstante, esta unidad se extiende aún más e incluye niveles de edad valanginiana temprana, hasta su contacto transicional con la Formación Mulichinco. Sobre la base de los amonites registrados se puede determinar que la sucesión comprende desde el Tithoniano temprano alto (zona de *Virgatospinctes mendozanus*) hasta el Berriasiano tardío (zona de *Spiticeras damesi*). En Las Loicas la asociación de nanofósiles estudiada abarca el límite Jurásico/Cretácico y se han identificado tres bioeventos asignados al Tithoniano: las FOs de *Umbria granulosa granulosa* Bralower, *Rhagodiscus asper* (Stradner) Reinhardt y *Nannoconus wintereri* Bralower y Thierstein correlacionables con la zona de *Substeueroceras koeneni* y otros 3 bioeventos del Berriasiano: la FO de *Nannoconus kampneri* minor Bralower y las LOs de *Polycostella senaria* Thierstein y *Nannoconus wintereri* Bralower y Thierstein. Estos últimos son correlacionados en esta sección, y por primera vez, con los niveles cuspidales correspondientes a la zona de *Substeueroceras koeneni*.

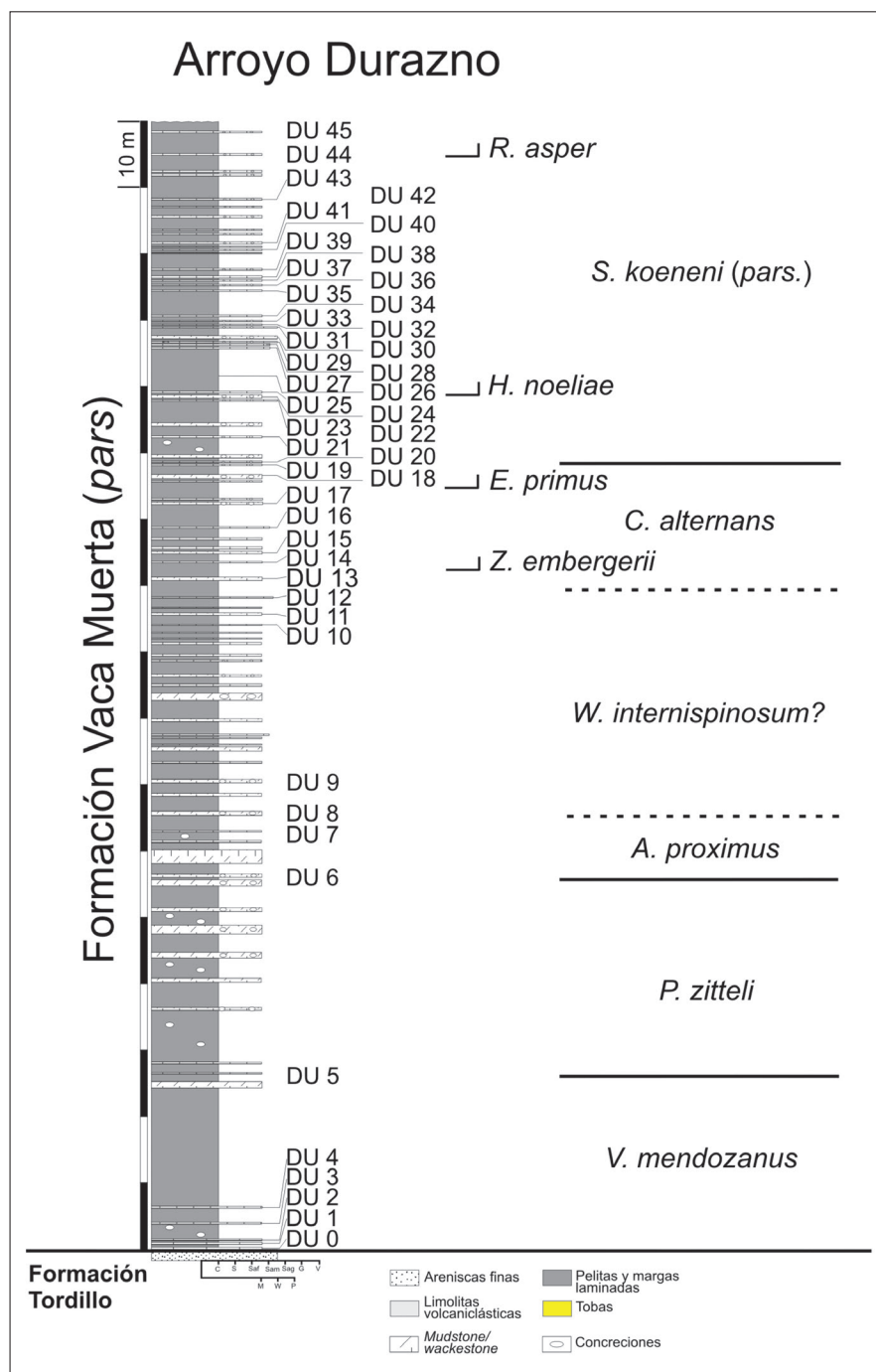


Figura 3. Perfil columnar de la Formación Vaca Muerta en el Arroyo Durazno, sur de Mendoza.

La Yesera (37°18' S; 69°53' O)

Esta clásica localidad se localiza en el noreste de la provincia de Neuquén, en el departamento de Chos Malal (Figura 1). La localidad se encuentra sobre la ruta nacional 40 y forma parte del flanco

oriental del gran anticlinal La Yesera. Aquí afloran sedimentitas de la Formación Vaca Muerta, se reconoce su contacto basal con la infrayacente Formación Tordillo y el suprayacente con la Formación Mulichinco. Las sedimentitas de la Formación Vaca Muerta tienen una potencia superior a 400 metros, pero su espesor real es difícil de definir con precisión dado que presenta fallas de acomodación que repiten en parte la secuencia. Se han medido unos 150 metros de la sección inferior de Vaca Muerta hasta la falla que repite estratos tithonianos tardíos (Figuras 5 y 6). Predominan netamente las pelitas y margas laminadas intercaladas con numerosos niveles de *mudstones* y *wackestones* y delgados niveles de tobas. Los nanofósiles calcáreos recuperados son muy escasos y no se han reconocido especies marcadoras. Los amonites son abundantes y generalmente muy bien preservados. Los amonites identificados en la sucesión medida pueden agruparse desde la zona de *Virgatosphinctes mendozanus* (Tithoniano temprano tardío-Tithoniano medio temprano) hasta la zona de *Substeuerocheras koeneni* (Tithoniano tardío). Por encima de la falla se vuelven a repetir capas del Tithoniano tardío y la sucesión continúa hasta la transición con la Formación Mulichinco, habiéndose identificado las zonas de *Argentiniceras noduliferum* (Berriasiano temprano), *Spiticeras damesi* (Berriasiano tardío) y *Neocomites wichmanni* (Valanginiano temprano).

BIOESTRATIGRAFÍA DE AMONITES

A partir de los primeros intentos de Gerth (1925) de establecer una biozonación basada en amonites para las sedimentitas de edad jurásica tardía-cretácica temprana del centro-oeste de la Argentina, varios esquemas fueron propuestos a lo largo de los años con un grado de refinamiento cada vez mayor hasta que finalmente se consolida el esquema de biozonación propuesto por Leanza (1945), adoptado y perfeccionado más tarde por otros autores, tales como Leanza (1981a, b) y Riccardi (1984, 1988). En este esquema la zona de *Substeuerocheras koeneni* se restringía a la parte más alta del Tithoniano tardío, en tanto que la zona de *Argentiniceras noduliferum* abarcaba la porción inferior del Berriasiano (equivalentes en su conjunto a las zonas tethyanas de Durangites a Jacobis/Grandis). Más tarde sin embargo, un nuevo esquema de zonación fue introducido por Leanza (1996), adoptado luego por Riccardi *et al.* (2000) y Riccardi (2008 a, b). En el mismo, la zona de *S. koeneni* es desplazada hacia arriba abarcando el límite Tithoniano-Berriasiano, extendiéndose hasta el Berriasiano temprano (zonas de Durangites a Jacobis/Grandis y Occitanica inicial). Como resultado de esta modificación la base de la zona de *A. noduliferum* alcanzaría el Berriasiano tardío más temprano (correspondiente a la porción superior de la zona de Occitanica e inferior de Boissieri). Los argumentos en que se sustentan estos desplazamientos se circunscriben alrededor del reconocimiento de dos especies: *Schaireria longae* (Leanza) y "*Spiticeras*" *acutum* Gerth y de correlaciones de tipo indirecto con los esquemas de biozonación establecidos para México, América del Norte y Europa, sobre la base de amonoideos, calpionélidos y bivalvos

(*Buchia* sp.). *Schaireria longaeva* fue creada e incluida por Leanza (1945) en el género *Aspidoceras* y hallada en asociación con especies pertenecientes a la zona de *S. koeneni* del Tithoniano tardío. A partir del estudio de la fauna de aspidoceratiformes de las Cordilleras Béticas, Checa (1985) realiza la nueva combinación y considera que algunos ejemplares del Berriasiano temprano a medio de España pertenecen a la especie de Leanza. Sin embargo, malinterpreta la posición estratigráfica de la especie argentina al considerarla del Berriasiano temprano. Por otra parte, la propuesta

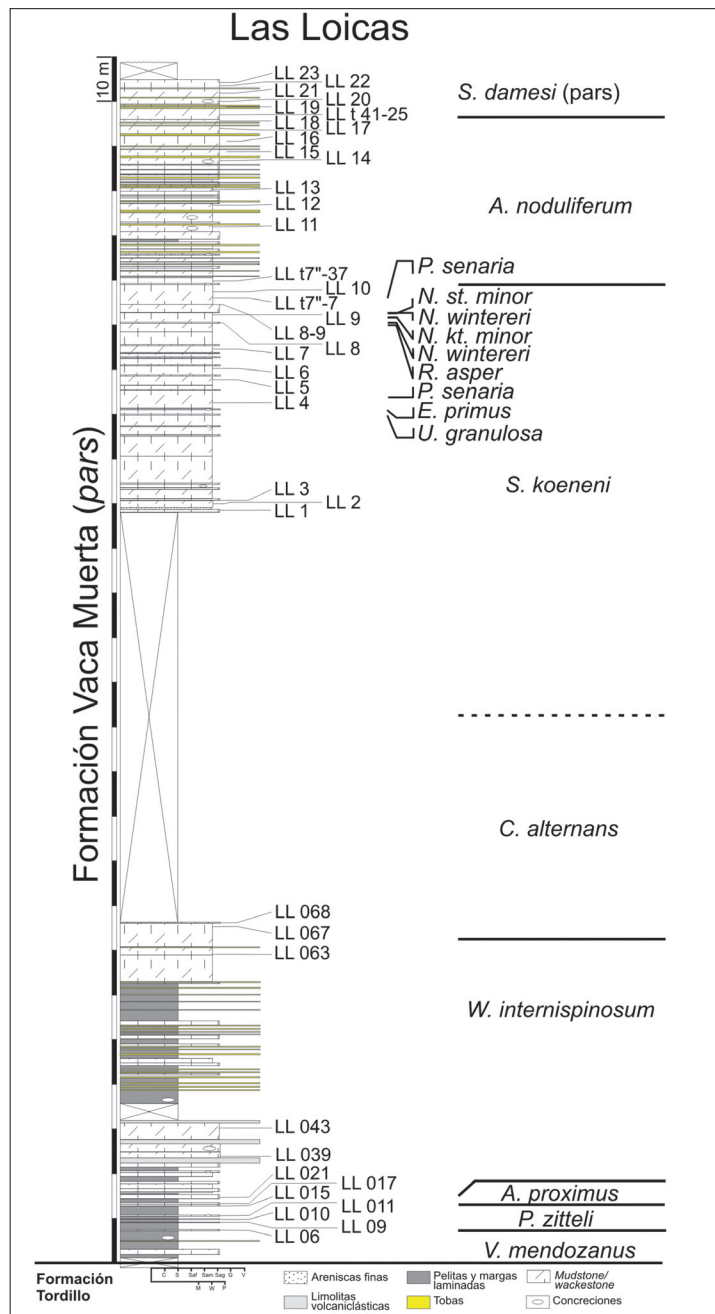


Figura 4. Perfil columnar de la Formación Vaca Muerta en Las Loicas, sur de Mendoza.

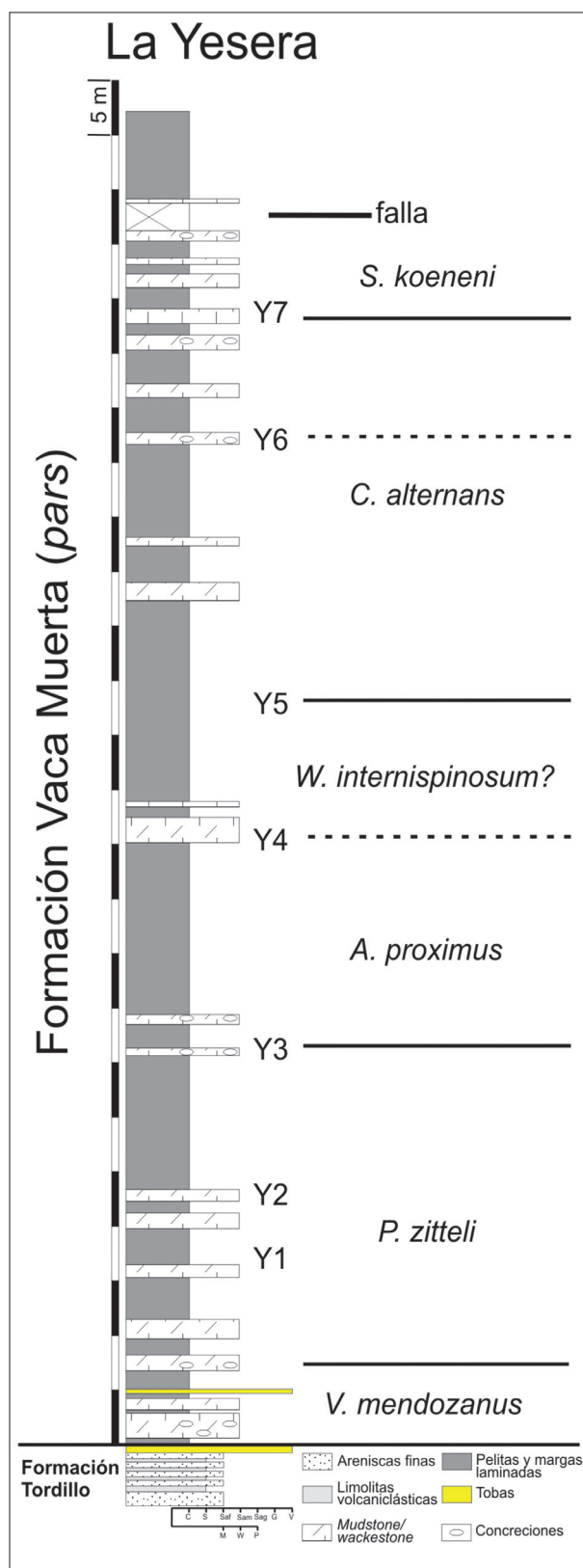


Figura 5. Perfil columnar de la Formación Vaca Muerta en La Yesera, NE de Neuquén.

que “*Spiticeras*” *acutum* pueda constituir una forma antecesora de *Groebericeras* (Leanza 1996), aunque requiere ser comprobada, no implicaría necesariamente que no pueda seguir siendo considerada de edad tithoniana. Por lo tanto, teniendo en cuenta que en la actualidad la definición del límite Tithoniano-Berriasiano en el dominio del Tethys se está llevando a cabo principalmente mediante el estudio conjunto de calpionélidos, nanofósiles calcáreos y magnetoestratigrafía (Wimbledon *et al.* 2011), relegando la importancia de los amonites, se considera que hasta ahora no existen elementos suficientes para refinar la biozonación en este intervalo en nuestro país y se decide continuar aplicando el esquema bioestratigráfico tradicional que se ilustra en la Figura 7, con su correlación con el reino del Tethys. En la Figura 8 se ilustran amonites característicos de la Formación Vaca Muerta reconocidos en las secciones analizadas en este trabajo.

BIOESTRATIGRAFÍA Y BIOEVENTOS DE NANOFÓSILES CALCÁREOS

En los últimos años, diferentes autores han modificado o refinado las zonaciones de nanofósiles definidas para el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano, mediante la calibración de los eventos bioestratigráficos con datos magnetoestratigráficos con el fin de obtener una estratigrafía integrada aplicable a nivel regional, pero esto es inaplicable momentáneamente en nuestro país dada la ausencia de información

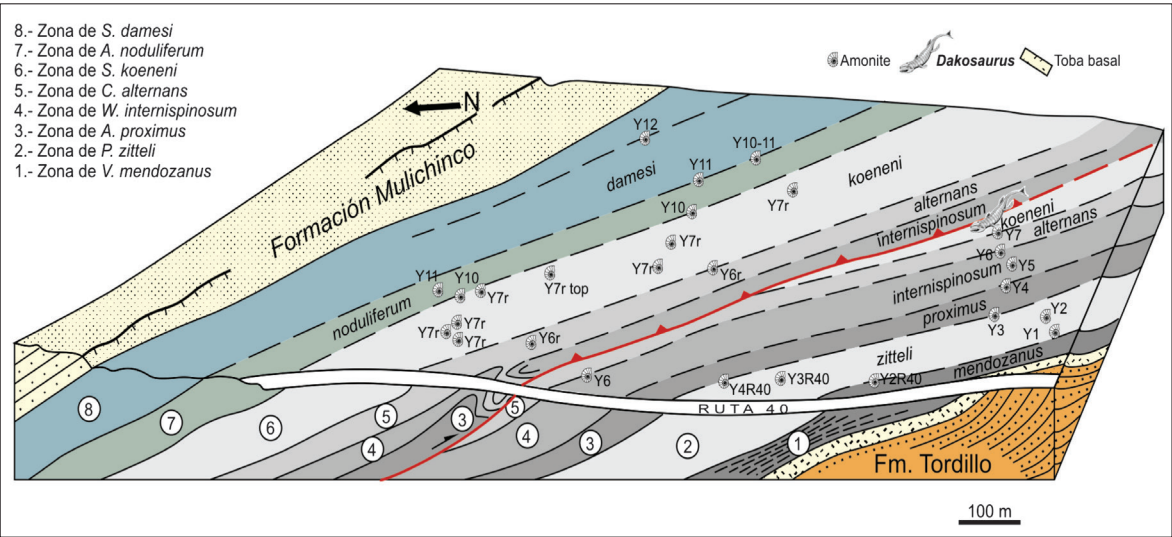


Figura 6. Clásico perfil de la Formación Vaca Muerta en La Yesera. Nótese la repetición tectónica del Tithoniano superior producida por una falla de acomodación del anticlinal La Yesera.

Edad		Zonas Andinas		Zonas del Tethys
VALANGINIANO	Tardío (pars)	O. (O.) atherstoni	O. (<i>Viluceras</i>) <i>permolestus</i>	<i>Neocomites peregrinus</i>
			<i>Karakaschiceras attenuatum</i>	<i>Saynoceras verrucosum</i>
	Tempr.		O. <i>atherstoni</i>	<i>Karakaschiceras inostranzewi</i>
		<i>Lissonia riveroi</i>	<i>Neocomites neocomiensisformis</i>	
		<i>Neocomites wichmanni</i>	<i>Thurmanniceras pertransiens</i>	
BERRIASIANO	Tardío	<i>Spiticeras damesi</i>		<i>Subthurmannia boissieri</i>
	Medio	<i>Argentiniceras noduliferum</i>		<i>Subthurmannia occitanica</i>
	Tempr.	<i>Substeuerocheras koeneni</i>		<i>Berriasella jacobi</i>
Tardío		<i>Corongoceras alternans</i>		<i>Durangites</i>
	<i>Windhauseniceras internispinosum</i>		<i>Micracanthoceras microcanthum</i>	
	Medio	<i>Aulacosphinctes proximus</i>		<i>Micracanthoceras ponti/ Burckhardticerias peroni</i>
<i>Pseudolissoceras zitteli</i>		<i>Semiformiceras fallauxi</i>		
<i>Virgatospinctes mendozanus</i>		<i>Semiformiceras semiforme</i>		
Tempr.			<i>Semiformiceras darwini</i>	
			<i>Hybonoticerias hybonotum</i>	

Figura 7. Cuadro de las biozonas andinas de amonites y su correlación con las biozonas del Tethys para el intervalo Tithoniano-Valanginiano. Datos de Vennari et al. (2014) para el Tithoniano-Berriasiano y de Aguirre-Urreta et al. (2007) y Reboulet et al. (2014) para el Valanginiano temprano.

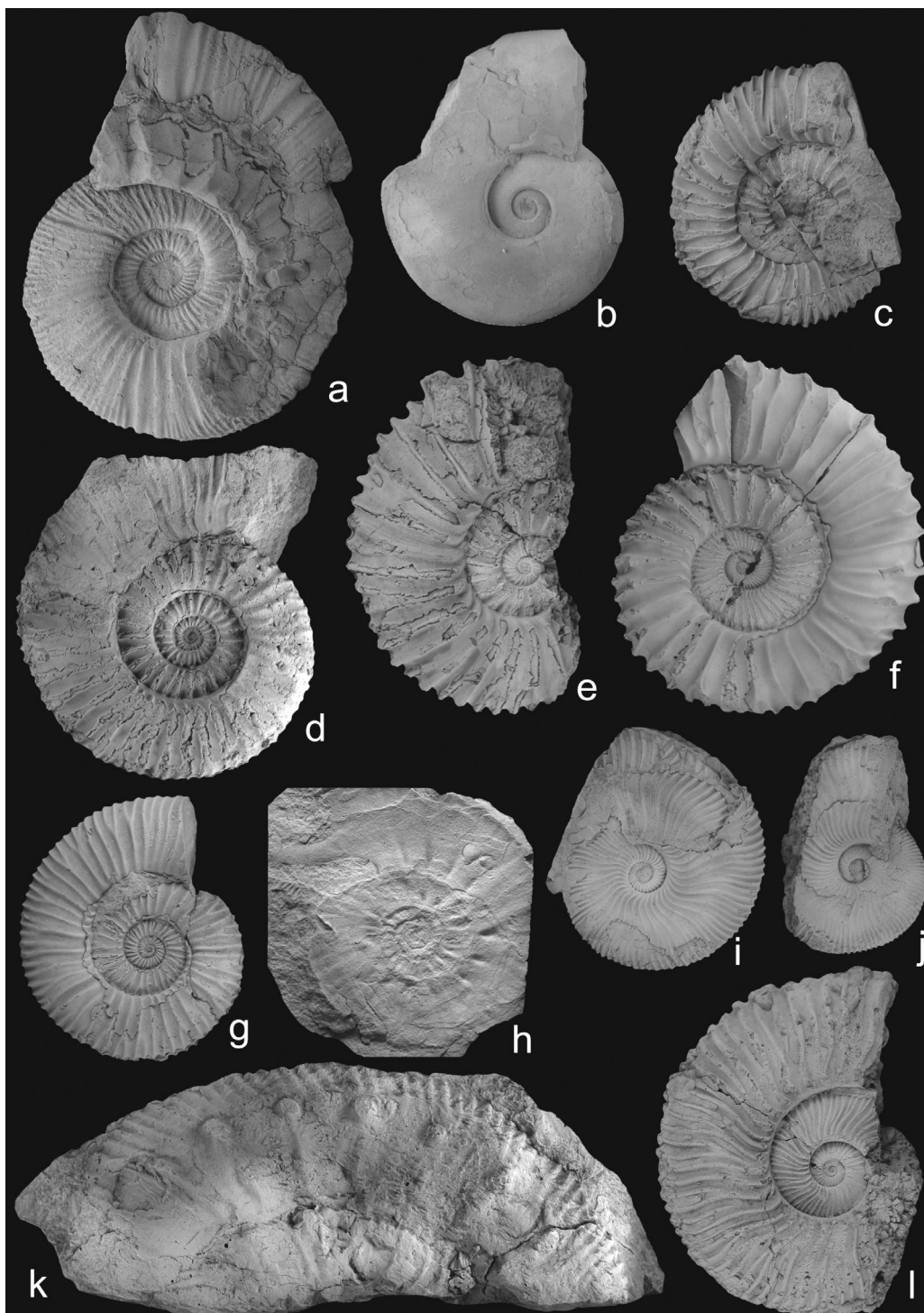


Figura 8. Amonites de la Formación Vaca Muerta. a) *Choicensisphinctes choicensis* MCNAM-PI 24558; b) *Pseudolissoceras zitteli*. CPBA 20779; c) *Aulacosphinctes proximus* CPBA 20782; d) "*Parapallasiceras*" sp., MCNAM-PI 24559; e) *Corongoceras mendozanum*. CPBA 21700; f) *Corongoceras alternans*. CPBA 20785; g) *Aulacosphinctes mangaensis*. CPBA 20787; h) "*Spiticeras*" *acutum*. MCNAM-PI 24552; i) *Parodontoceras calistoides*. CPBA 21701; j) *Substeuoceras koeneni*. CPBA 21702; k) *Argentiniceras* sp. cf. *A. noduliferum*. MCNAM-PI 24556; l) *Cuyanicerias transgrediens*. CPBA 21703. Todos 0,85x excepto figura k (0,65x). CPBA: Área de Paleontología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UBA. MCNAM: Museo de Ciencias Naturales y Antropológicas JC Moyano, Mendoza.

magnetoestratigráfica de los intervalos analizados de la Formación Vaca Muerta. Los nanofósiles calcáreos registrados en los perfiles analizados en este estudio presentan características cosmopolitas o de marcada afinidad con el Reino del Tethys.

Para definir el límite Jurásico-Cretácico en este trabajo, se utiliza el esquema biozonal propuesto por Bralower *et al.* (1989) bajo las siglas NJ (para el Jurásico), NJK (para el límite Tithoniano-Berriasiano) y NK (para el Cretácico). En el cuadro de la Figura 9 se sintetiza la información del esquema bioestratigráfico para el intervalo Tithoniano-Berriasiano, donde se destacan los bioeventos principales utilizados para delimitar las Biozonas y Sub-biozonas identificadas y además se recopila la información de otros bioeventos reconocidos en la literatura para el intervalo estudiado. En las Figuras 10, 11 y 12 se ilustran las especies representativas del Tithoniano, del límite Tithoniano-Berriasiano y del Berriasiano, respectivamente, provenientes de las diferentes secciones analizadas en este trabajo.

EDAD			Bralower <i>et al.</i> (1989; 1995)		Otros trabajos de la región del Tethys	Cuenca Neuquina		
CRETÁCICO	Berriasiano	Tardío	NK-2 <i>Cretarhabdus angustiforatus</i>	NK-2B <i>P. fenestrata</i> FO <i>P. fenestrata</i>	┌ <i>T. verenae</i>			
				NK-2A <i>A. infracretacea</i> FO <i>C. angustiforatus</i>			┌ <i>H. circumradiatus</i>	
		Temprano	NK-1 <i>N. steinmannii steinmannii</i> FO <i>N. steinmannii steinmannii</i>		┌ <i>H. noeliae</i> ┌ <i>N. kamptneri kamptneri</i>			┌ <i>M. hoschulzii</i> ┌ <i>P. senaria</i> ┌ <i>N. steinmannii minor</i> ┌ <i>N. wintereri</i> ┌ <i>N. kamptneri minor</i> ┌ <i>N. wintereri</i>
			NJK <i>Microstaurus chiastius</i>	NJK-D <i>N. steinmannii minor</i> FO <i>N. steinmannii minor</i>			┌ <i>C. cuvillieri</i> ┌ <i>C. octofenestrata</i> ┌ <i>N. kamptneri minor</i>	
Tardío	NJK-C <i>R. laffitei</i> FO <i>R. laffitei</i>	┌ <i>C. octofenestrata</i> ┌ <i>N. kamptneri minor</i> ┌ <i>R. surrirella</i> ┌ <i>S. colligata</i> ┌ <i>N. wintereri</i>			┌ <i>R. asper</i>			
						Temprano		
				NJ-20 <i>Conusphaera mexicana</i>			NJK-A <i>H. noeliae</i> FO <i>Microstaurus chiastius</i>	┌ <i>N. kamptneri minor</i> ┌ <i>R. surrirella</i> ┌ <i>S. colligata</i> ┌ <i>N. wintereri</i> ┌ <i>R. asper</i> ┌ <i>M. permatoidea</i> ┌ <i>P. beckmanni</i> ┌ <i>N. globulus</i> ┌ <i>L. carniolensis</i> ┌ <i>N. puer</i> ┌ <i>M. ellipticus</i> , <i>E. primus</i>
Temprano <td rowspan="2">NJ-20B <i>P. beckmannii</i> FO <i>P. beckmannii</i></td> <td rowspan="2">┌ <i>N. kamptneri minor</i> ┌ <i>R. surrirella</i> ┌ <i>S. colligata</i> ┌ <i>N. wintereri</i> ┌ <i>R. asper</i> ┌ <i>M. permatoidea</i> ┌ <i>P. beckmanni</i> ┌ <i>N. globulus</i> ┌ <i>L. carniolensis</i> ┌ <i>N. puer</i> ┌ <i>M. ellipticus</i>, <i>E. primus</i></td> <td rowspan="2">┌ <i>N. steinmannii minor</i> ┌ <i>N. wintereri</i> ┌ <i>N. kamptneri minor</i> ┌ <i>N. wintereri</i></td>	NJ-20B <i>P. beckmannii</i> FO <i>P. beckmannii</i>	┌ <i>N. kamptneri minor</i> ┌ <i>R. surrirella</i> ┌ <i>S. colligata</i> ┌ <i>N. wintereri</i> ┌ <i>R. asper</i> ┌ <i>M. permatoidea</i> ┌ <i>P. beckmanni</i> ┌ <i>N. globulus</i> ┌ <i>L. carniolensis</i> ┌ <i>N. puer</i> ┌ <i>M. ellipticus</i> , <i>E. primus</i>			┌ <i>N. steinmannii minor</i> ┌ <i>N. wintereri</i> ┌ <i>N. kamptneri minor</i> ┌ <i>N. wintereri</i>			

Figura 9. Esquema cronoestratigráfico del intervalo Tithoniano-Berriasiano, detallando los bioeventos de nanofósiles calcáreos reconocidos en la literatura y en la cuenca Neuquina (modificado de Vennari *et al.* 2014).

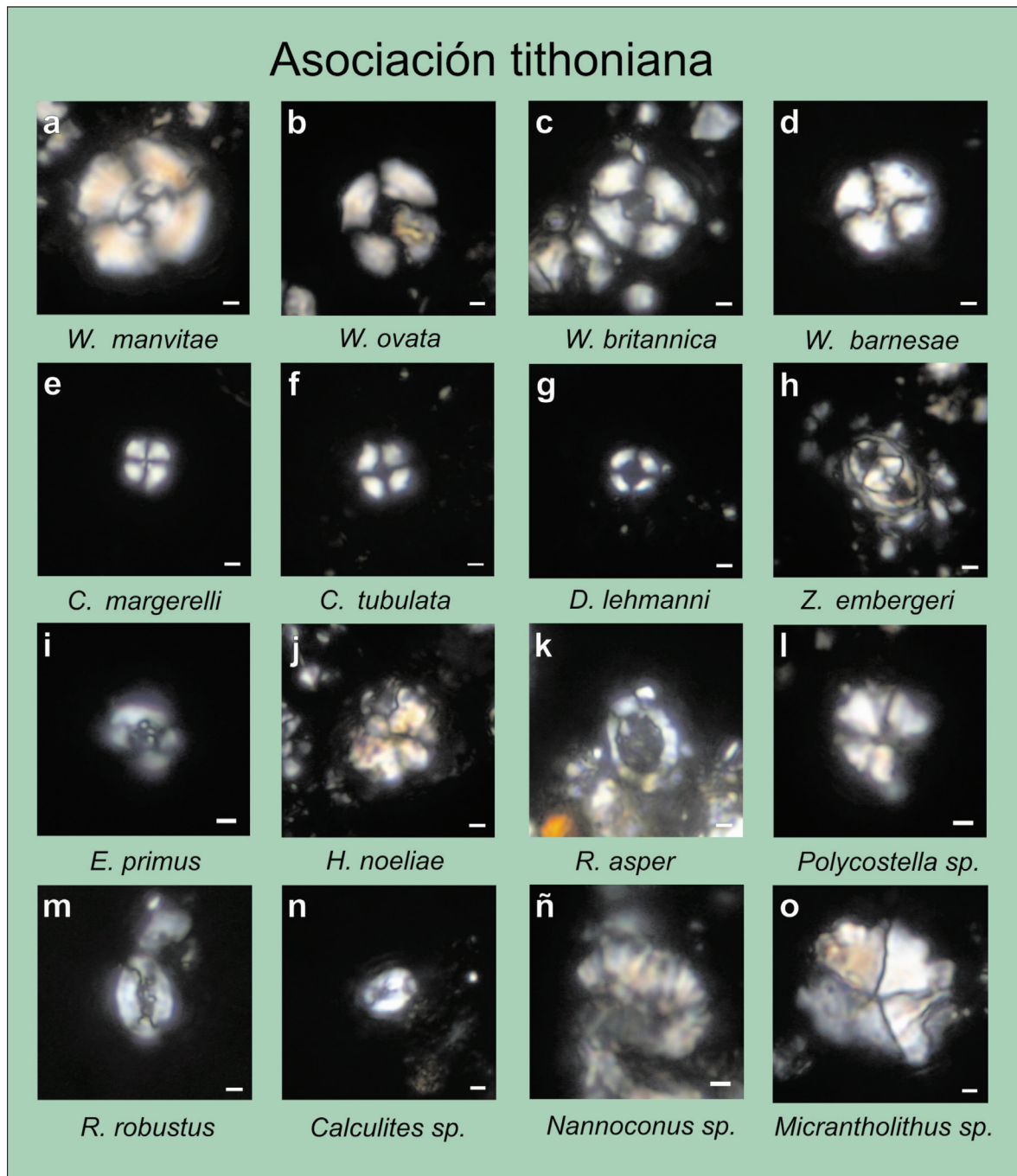


Figura 10. Asociación tithoniana de nanofósiles calcáreos reconocida en la sección de Arroyo Durazno. Las imágenes han sido capturadas con nicols cruzados. La barra indica 1µm. a) *Watznaueria manivittae* Bukry, BAFC-NP 3341; b) *Watznaueria ovata* Bukry, BAFC-NP 3344; c) *Watznaueria britannica* (Stradner) Reinhardt, BAFC-NP 3329; d) *Watznaueria barnesiae* (Black) Perch-Nielsen, BAFC-NP 3344; e) *Cyclagelosphaera margerellii* Noël, BAFC-NP 3342; f) *Cyclagelosphaera tubulata* Grün y Zweili, BAFC-NP 3344; g) *Diazomatolithus lehmanni* Noël, BAFC-NP 3344; h) *Zeugrhabdotus embergeri* (Noël) Perch-Nielsen, BAFC-NP 3333; i) *Eiffellithus primus* Applegate y Bergen, BAFC-NP 3333; j) *Hexalithus noeliae* BAFC-NP 3335; k) *Rhagodiscus asper* (Stradner) Reinhardt, BAFC-NP 3344; l) *Polycostella* sp., BAFC-NP 3339; m) *Rhagodiscus robustus*, BAFC-NP 3345; n) *Calculites* sp., BAFC-NP 3331; ñ) *Nannoconus* sp., BAFC-NP 3339; o) *Micrantholithus* sp., BAFC-NP 3330. BAFC-NP: Área de Paleontología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

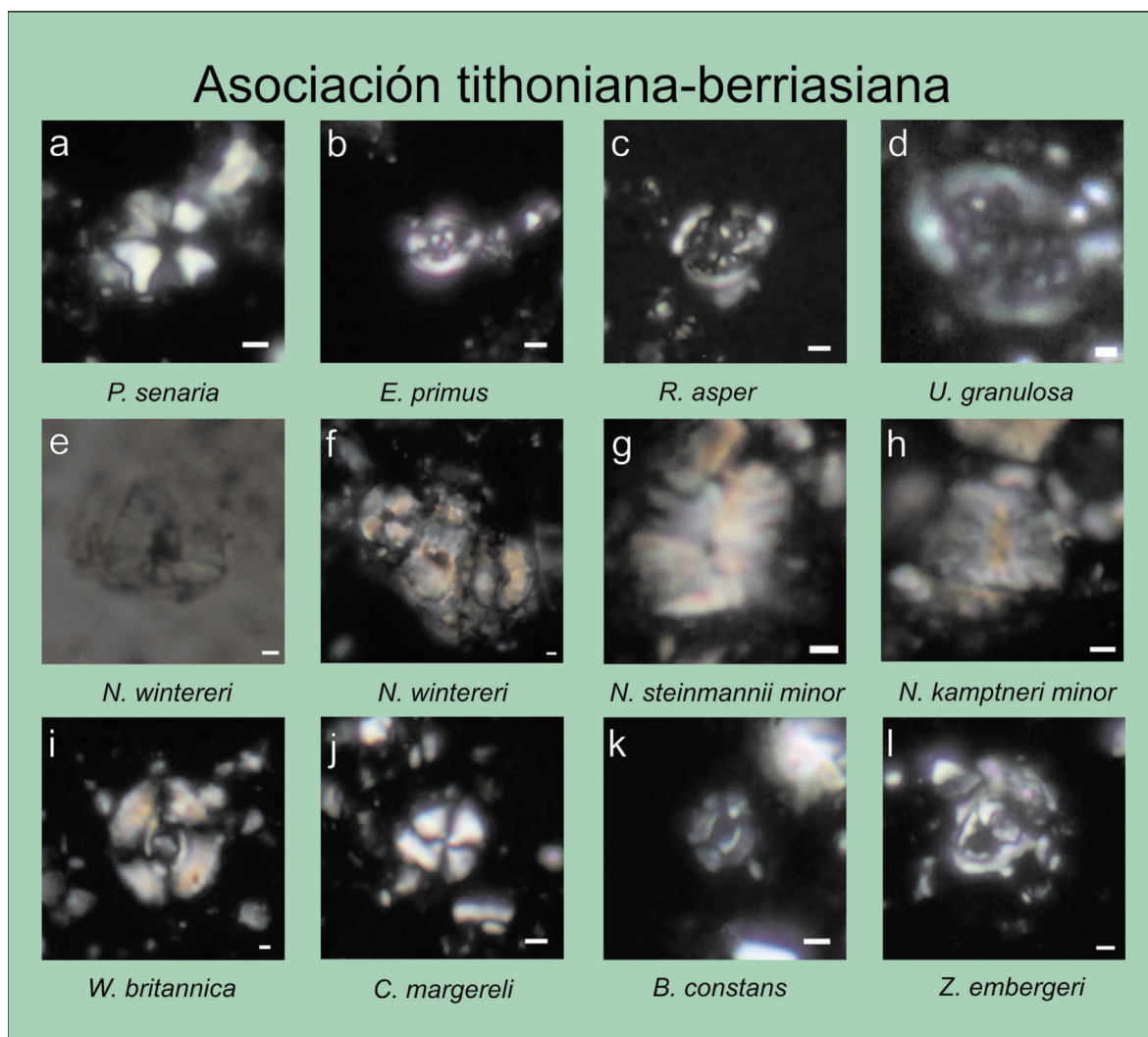


Figura 11. Asociación tithoniana-berriasiana de nanofósiles calcáreos reconocida en la sección Las Loicas. Las imágenes han sido capturadas con nicoles cruzados. La barra indica 1µm. a) *Polycostella senaria* Thierstein, BAFC-NP 3883; b) *Eiffellithus primus* Applegate y Bergen, BAFC-NP 3882; c) *Rhagodiscus asper* (Stradner) Reinhardt, BAFC-NP 3874; d) *Umbria granulosa* Bralower y Thierstein, BAFC-NP 3873; e-f) *Nannoconus wintereri* Bralower y Thierstein, BAFC-NP 3874; g) *Nannoconus steinmannii minor* Deres y Achéritéguy, BAFC-NP 3883; h) *Nannoconus kamptneri minor* Bralower BAFC-NP 3883; i) *Watznaueria britannica* (Stradner) Reinhardt, BAFC-NP3873; j) *Cyclagelosphaera margerelii* Noël, BAFC-NP 3882; k) *Biscutumconstans* (Górka) Black, BAFC-NP 3870; l) *Zeugrhabdotus embergeri* (Noël) Perch-Nielsen, BAFC-NP 3882. BAFC-NP: Área de Paleontología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

DATOS GEOCRONOLÓGICOS

Recientes edades U-Pb (LA-ICP-MS) en circones detríticos, separados de areniscas y conglomerados de la Formación Tordillo, permitieron establecer por primera vez la edad máxima de sedimentación de dicha unidad. Se obtuvieron 237 circones concordantes de seis muestras distribuidas a lo largo de la cuenca Neuquina. Los resultados mostraron un pico prominente y estadísticamente robusto de *ca.* 144 Ma que fue interpretado como la edad máxima de sedimentación

(Naipauer *et al.* 2012, 2014) (Figura 13 c). Si se considera que la edad de la Formación Tordillo es kimmeridgiana-tithoniana temprana, de acuerdo a su posición estratigráfica, las nuevas edades absolutas U-Pb calculadas en ca. 144 Ma indican una discrepancia de al menos 5 Ma más joven, si se compara con las edades absolutas presentadas en la escala de tiempo geológico más moderna (Ogg y Hinnov 2012).

Estos resultados aparentemente anómalos con respecto a la edad de la Formación Tordillo y por consiguiente también de la suprayacente Formación Vaca Muerta motivaron que se analizaran

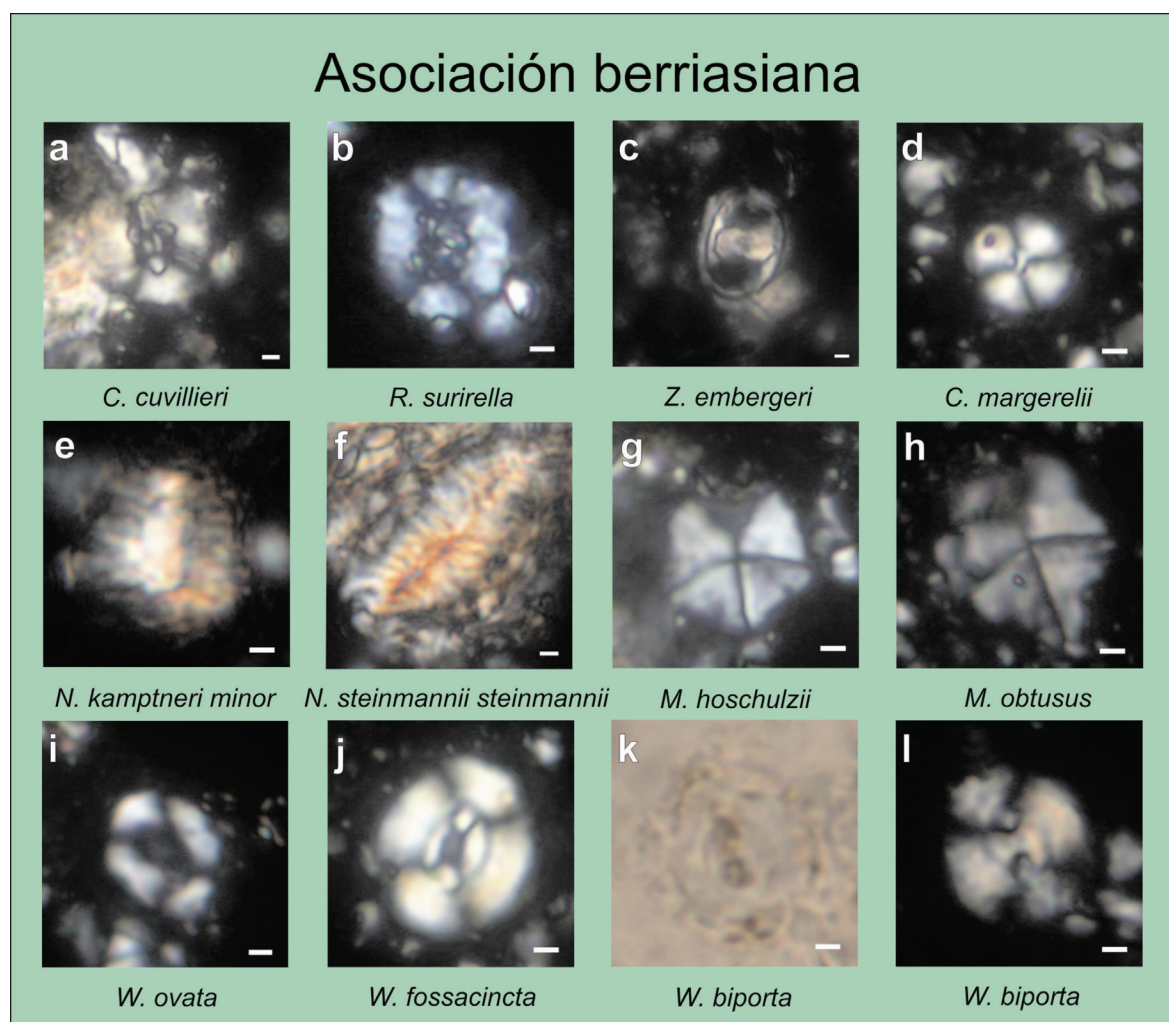


Figura 12. Asociación berriasiana de nanofósiles calcáreos reconocida en la sección Quebrada Maravilla. Las imágenes han sido capturadas con nicols cruzados. La barra indica 1µm. a) *Crucellipsis cuvillieri* (Manivit) Thierstein emend. Wind y Cepek, BAFC-NP 3224; b) *Retecapsa surirella* (Deflandre y Fert) Grün en Grün y Allemann, BAFC-NP 3231; c) *Zeughrabdotus embergeri* (Noël) Perch-Nielsen, BAFC-NP 3224. d) *Cyclagelosphaera margerelii* Noël, BAFC-NP 3224; e) *Nannoconus kamptneri minor* Bralower BAFC-NP 3206; f) *Nannoconus steinmannii steinmannii* (Kamptner) Deres y Achérítéguy, BAFC-NP 3228; g) *Micrantholithus hoschulzii* (Reinhardt) Thierstein, BAFC-NP 3225; h) *Micrantholithus obtusus* Stradner, nicols cruzados, BAFC-NP 3227; i) *Watznaueria ovata* Bukry, BAFC-NP 3223; j) *Watznaueria fossacincta* (Black) Bown, BAFC-NP 3226; k- l) *Watznaueria biporta* Bukry, BAFC-NP 3226. BAFC-NP: Área de Paleontología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

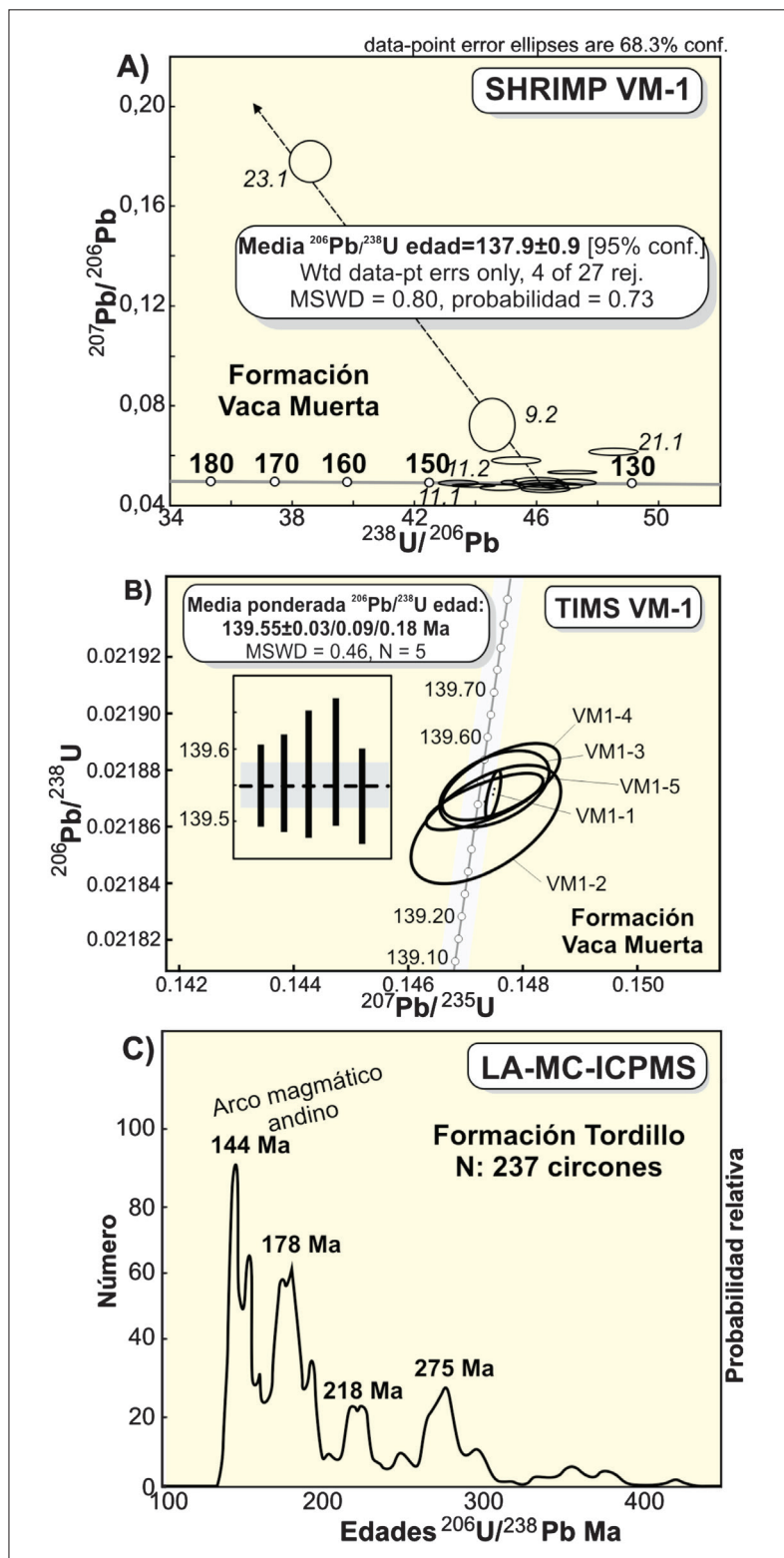


Figura 13. a) Edad U-Pb SHRIMP de circones de la muestra VM-1, Las Loicas; b) Edad U-Pb CA-ID-TIMS de los mismos circones que a); c) Edades U-Pb La-MC-ICPMS de circones detríticos de la Formación Tordillo.

muestras de tobas de esta última unidad en la localidad de Las Loicas. De este modo se dataron circones de una toba de caída de 10 cm de espesor intercalada con pelitas oscuras portadoras de una fauna de amonites de edad berriasiana temprana. Estas dataciones U-Pb fueron realizadas por la metodología SHRIMP dando una edad de $137,9 \pm 0,9$ Ma (Figura 13 a) y luego refinadas por la metodología CA-ID-TIMS obteniéndose una edad de $139,6 \pm 0,09/0,18$ Ma (Figura 13 b) (Vennari *et al.* 2014). Independientemente de los distintos niveles de error de las dos metodologías utilizadas, ambos datos indican una edad entre 139,6 y 138,2 Ma para el Berriasiano temprano en Las Loicas.

Sobre la base de los circones detríticos datados en la Formación Tordillo se puede demostrar que la edad máxima de la Formación Vaca Muerta es de 144 Ma. A su vez, la toba ubicada a 194 m de la base de la Formación Vaca Muerta en Las Loicas, en niveles con amonites de edad berriasiana temprana, tiene una edad precisa de $139,6 \pm 0,2$ Ma.

Si se asume que no hay hiatos importantes en la sucesión se obtiene una tasa de sedimentación de 4,41 cm/ka para el intervalo analizado. Estos datos son cercanos a los presentados por Kietzmann *et al.* (2011) quienes obtuvieron tasas de sedimentación de 4,28 cm/ka sobre la base de estudios de cicloestratigrafía en la Formación Vaca Muerta aflorante en el Arroyo Loncoche del sur de Mendoza. Tomando cualquiera de las dos tasas de sedimentación, obtenidas por metodologías totalmente diferentes, y teniendo en cuenta que la toba datada en $139,6 \pm 0,2$ Ma se encuentra 22 metros por encima de la asociación de nanofósiles calcáreos que indica el límite Jurásico-Cretácico en Las Loicas, se puede estimar una edad de 140 Ma para ese importante límite en la cuenca Neuquina.

Por otro lado, las edades U-Pb de la Formación Tordillo basadas en circones detríticos pueden no ser tan precisas como las obtenidas por SHRIMP o TIMS pero si sirven para restringir la edad de la base del Tithoniano. El límite actual aceptado es de 152,1 Ma, pero la edad máxima de las areniscas de Tordillo es 144 Ma. Estas areniscas subyacen a los depósitos de Vaca Muerta, donde están presentes amonites de la zona de *Virgatosphinctes mendozanus*. La base de esta zona se ha correlacionado con la zona Darwini estándar del Tethys (Riccardi *et al.* 2000), que corresponde a la parte media del Chron M22 (Ogg y Hinnov 2012). Sobre la base de esta correlación, se puede afirmar que la base del Tithoniano debe ser menor a 145 Ma.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los relevamientos y estudios de laboratorio realizados en la Formación Vaca Muerta se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- 1) Resulta muy importante combinar estudios multidisciplinarios donde se analicen resultados paleontológicos, estratigráficos, tectónicos y geocronológicos en conjunto.
- 2) Existe la necesidad de efectuar estudios bioestratigráficos de detalle basados en un

conocimiento ajustado de los amonites y los nanofósiles calcáreos, como queda demostrado en la posibilidad de detectar perturbaciones tectónicas difíciles de observar desde el punto de vista estratigráfico como queda demostrado en la clásica localidad de La Yesera.

- 3) Debe destacarse la trascendencia de obtener dataciones absolutas de alta precisión de tobas de caída que permitan ajustar y precisar modelos y tiempos de depositación de estas sedimentitas tan importantes para el desarrollo de los hidrocarburos, tanto convencionales como no convencionales, en la cuenca Neuquina.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro especial agradecimiento a Leonardo Legarreta por compartir con nosotros su conocimiento de la cuenca Neuquina y en especial de la Formación Vaca Muerta. A Carlos Zavala por su detallada revisión. Ese trabajo contó con el apoyo parcial de los subsidios PIP CONICET 509 a VAR y PICT 0464/10 a BAU. Esta es la contribución C-89 del Instituto de Estudios Andinos “Don Pablo Groeber”.

REFERENCIAS CITADAS

- Aguirre-Urreta, B. y V. Vennari, 2009, On Darwin's footsteps across the Andes: Tithonian-Neocomian fossil invertebrates from the Piuquenes Pass, Revista de la Asociación Geológica Argentina, 64: 32-42.
- Aguirre-Urreta, M.B., F.A. Mourgues, P.F. Rawson, L.G. Bulot y E. Jaillard, 2007, The Lower Cretaceous Chañarcillo and Neuquén Andean basins: ammonoid biostratigraphy and correlations, Geological Journal, 42: 143-173.
- Applegate, J. y J. Bergen, 1988, Cretaceous calcareous nannofossil biostratigraphy of sediments recovered from the Galicia Margin, ODP. Leg. 103, Proceedings of the Ocean Drilling Project, Scientific Results, 103: 293-346.
- Ballent, S.C., D.I. Ronchi y G. Angelozzi, 2004, Microfósiles calcáreos tithonianos (Jurásico superior) en el sector oriental de la Cuenca Neuquina, Argentina, Ameghiniana, 41: 13-24.
- Ballent, S., A. Concheyro, C., Náñez, I., Pujana, M., Lescano, A.P. Carignano, A. Caramés, G. Angelozzi y D. Ronchi, 2011, Microfósiles Mesozoicos y Cenozoicos en H.A. Leanza, C. Arregui, O. Carbone, J.C. Danieli y J.M. Vallés (eds.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, Asociación Geológica Argentina, p. 489-528.
- Behrendsen, O., 1891-1892, Zur Geologie der Ostbanges der argentinischen Cordillere, Deutsche Geologische Gesellschaft, 43 (1891): 369-420; 44 (1892): 1-42.
- Bodenbender, G., 1892, Sobre el terreno Jurásico y Cretáceo en los Andes Argentinos entre el río Diamante y el río Limay, Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, 13: 5-44.

- Bralower, T.J., S. Monechi y H.R. Thierstein, 1989. Calcareous nannofossil zonation of the Jurassic-Cretaceous Boundary Interval and Correlation with the Geomagnetic Polarity Timescale, *Marine Micropaleontology*, 14: 153-235.
- Burckhardt, C. 1900a, Profils géologique transversaux de la Cordillère Argentino-Chilienne. *Stratigraphie et tectonique*, Anales del Museo de La Plata, Sección Geología y Mineralogía, 2: 1-136.
- Burckhardt, C. 1900b, Coupe géologique de la Cordillère entre Las Lajas et Curacautin, Anales del Museo de La Plata, Sección Geología y Mineralogía, 3: 1-100.
- Burckhardt, C. 1903, Beitrage zur Kenntniss der Jura und Kreide formation der Cordillere, *Palaeontographica*, 50: 1-144.
- Concheyro, A., G. Angelozzi y D. Ronchi, 2007, Microfósiles calcáreos del límite Jurásico-Cretácico de la cuenca Neuquina. Tercer Simposio Argentino del Jurásico, Actas, p. 34.
- Checa, A., 1985, Los aspidoceratiformes en Europa (Ammonitina, Fam. Aspidoceratidae: Subfamilias Aspidoceratinae y Physodoceratinae), Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España, 413 p.
- Darwin, C., 1846, Geological observations on South America, being the third part of the geology of the voyage of the Beagle, under the comand of Capt. FitzRoy, RN, during the years 1832 to 1836. Smith, Elder & Co., Londres, 268 p.
- Douvillé, R., 1910, Cephalopodes Argentins, *Mémoires de la Société Géologique de France*, 43: 1-24.
- Fossa-Mancini, E., E. Feruglio y J. C. Yusen de Campana, 1938, Una reunión de geólogos de YPF y el problema de la terminología estratigráfica, *Boletín de Informaciones Petroleras*, 15: 1-67.
- Gatto, A.Y., 2007, Estratigrafía y estructura de la región de Los Raris, alto río Barrancas, provincia del Neuquén. Tesis de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédita), 108 pp., Buenos Aires.
- Gerth, H., 1925, La Fauna Neocomiana de la Cordillera Argentina en la parte meridional de la provincia de Mendoza, *Academia Nacional de Ciencias*, Actas 9: 57-132.
- Groeber, P., 1946, 1. Hoja Chos Malal, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 1: 177-208.
- Groeber, P., P.N. Stipanovic y A. Mingramm, 1953, Jurásico, en *Geografía de la República Argentina*, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 2: 143-347.
- Herrero-Ducloux, A., 1946, Contribución al conocimiento geológico del Neuquén extra andino, *Boletín de Informaciones Petroleras*, n° 266, p. 245-281.
- Kietzmann, D.A., J. Martín-Chivelet, R.M. Palma, J. López-Gómez, M. Lescano y A. Concheyro, 2011, Cyclostratigraphy of a Tithonian carbonate ramp succession (Vaca Muerta Formation), Loncoche Creek, Neuquén Basin, Mendoza Province, Argentina, *American Association Petroleum Geologists, Bulletin*, 95: 1459-1474.
- Krantz, F., 1926, Die Ammoniten des Mittel- und Ober-tithons, *Geologische Rundschau*, 17a: 427-462.
- Leanza, A.F., 1945, Ammonites del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior de la Sierra Azul, en la parte meridional de la provincia de Mendoza, *Anales del Museo de La Plata, Nva Serie*, 1: 1-99.
- Leanza, H.A., 1973, Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes Jurásico-Cretácicos entre Loncopué y Picún Leufú, Prov. del Neuquén, Rep. Argentina, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 18: 97-132.
- Leanza, H.A., 1980, The Lower and Middle Tithonian Ammonite Fauna from Cerro Lotena, Province of Neuquén, Argentina, *Zitteliana*, 5: 3-49.

- Leanza, H.A., 1981a, Faunas de ammonites del Jurásico superior y del Cretácico inferior de América del Sur, con especial consideración de la Argentina, en W. Volkheimer y E. Musacchio (eds.), Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur, 2, p. 559-597.
- Leanza, H.A., 1981b, The Jurassic-Cretaceous boundary beds in west central Argentina and their ammonites zones, *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 161: 62-92.
- Leanza, H.A., 1996, Advances in the ammonite zonation around the Jurassic/Cretaceous boundary in the Andean Realm and correlation with Tethys, *Jost Wiedmann Symposium (Tübingen, 1996)*, Abstracts, p. 215-219.
- Leanza, H.A. y A. Zeiss, 1990, Upper Jurassic lithographic limestones from Argentina (Neuquén Basin): stratigraphy and fossils, *Facies*, 22: 169-186.
- Leanza, H.A., H.G. Marchese y J.C. Riggi, 1977, Estratigrafía del Grupo Mendoza con especial referencia a la Formación Vaca Muerta entre los paralelos 35° y 40° l.s., *Cuenca Neuquina-Mendocina*, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 32: 190-208.
- Leanza, H.A., C.A. Hugo, D. Repol y M. Salvarredy Aranguren, 2003, Miembro Huncal (Berriasiano Inferior): un episodio turbidítico en la Formación Vaca Muerta, cuenca Neuquina, Argentina, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58: 248-254.
- Leanza, H.A., F. Sattler, R.S. Martínez y O. Carbone, 2011, La Formación Vaca Muerta y equivalentes (Jurásico Tardío-Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina, en H.A. Leanza, C. Arregui, O. Carbone, J.C. Danieli y J.M. Vallés (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*, *Asociación Geológica Argentina*, p. 113-130.
- Naipauer, M., E. García Morabito, J.C. Marques, M. Tunik, E.A. Rojas Vera, G.I. Vujovich, M. Pimentel y V.A. Ramos, 2012, Intraplate Late Jurassic deformation and exhumation in western central Argentina: constraints from surface data and U-Pb detrital zircon ages, *Tectonophysics*, 524-525: 59-75.
- Naipauer, M., M. Tunik, J.C. Marques, E.A. Rojas Vera, G.I. Vujovich, M.M. Pimentel y V.A. Ramos, 2014, U-Pb detrital zircon ages of Upper Jurassic continental successions: implications for the provenance and absolute age of the Jurassic-Cretaceous boundary in the Neuquén Basin, en S. Sepúlveda, L. Giambiagi, L. Pinto, S. Moreiras, M. Tunik, G. Hoke y M. Farías, (eds), *Geodynamic Processes in the Andes of Central Chile and Argentina*, *Geological Society, Special Publications 399* (en prensa), London.
- Ogg, J.G. y L.A. Hinnov, 2012, The Jurassic Period, en F. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz y G.M. Ogg, (eds.), *The Geologic Time Scale 2012*, Elsevier, p. 731-791.
- Parent, H., 2001, The Middle Tithonian (Upper Jurassic) ammonoid fauna of Cañadón de los Alazanes, southern Neuquén-Mendoza Basin, Argentina, *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 71: 19-38.
- Parent, H., 2003, The ataxioceratid ammonite fauna of the Tithonian (Upper Jurassic) of Casa Pincheira, Mendoza (Argentina), *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 143-165.
- Parent, H., A. Scherzinger y G. Schweigert, 2006, The earliest ammonite faunas from the Andean Tithonian of the Neuquén-Mendoza Basin, Argentina, *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 241: 253-268.

- Parent, H., R. Myczyski, A. Scherzinger y G. Schweigert, 2010, Cieneguiticeras, a new genus of Tithonian oppelids (Ammonoidea, Late Jurassic), *Geobios*, 43: 453-463.
- Parent, H., A. Scherzinger y G. Schweigert, 2011, The Tithonian-Berriasian ammonite fauna and stratigraphy of Arroyo Cieneguita, Neuquén-Mendoza Basin, Argentina, *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 79-81: 21-94.
- Reboulet, S., O. Szives, B. Aguirre-Urreta, R. Barragán, M. Company, V. Idakieva, M. Ivanov, M.V. Kakabadze, J.A. Moreno-Bedmar, J. Sandoval, E.J. Baraboshkin, M.K. Çağlar, I. Fözy, C. González-Arreola, S. Kenjo, A. Lukeneder, S.N. Raisossadat, P.F. Rawson y J.M. Tavera, 2014, Report on the 5th International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the "Kilian Group" (Ankara, Turkey, 31st August 2013), *Cretaceous Research* 50: 126-137.
- Riccardi, A.C., 1984, Las asociaciones de amonitas del Jurásico y Cretácico de la Argentina. 9º Congreso Geológico Argentino (San Carlos de Bariloche, 1984), *Actas*, p. 559-595.
- Riccardi, A.C., 1988, The Cretaceous System of Southern South America, *Geological Society of America, Memoir* 168, p. 1-161.
- Riccardi, A.C., 2008a, El Jurásico de la Argentina y sus amonites, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63: 625-643.
- Riccardi, A.C., 2008b, The marine Jurassic of Argentina: a biostratigraphic framework, *Episodes*, 31: 326-335.
- Riccardi, A.C., H.A. Leanza, S.E. Damborenea, M.O. Manceñido, S.C. Ballent y A. Zeiss, 2000, Marine Mesozoic Biostratigraphy of the Neuquén Basin, *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, 1: 103-108.
- Scasso, R. y A. Concheyro, 1999, Nanofósiles calcáreos, duración y origen de ciclos caliza-marga (Jurásico tardío de la Cuenca Neuquina), *Revista Asociación Geológica Argentina*, 54: 290-297.
- Steuer, A., 1897, Argentinische Jura - Ablagerungen: Ein Beitrag zur Kenntniss der Geologie und Palaeontologie der argentinischen Anden, *Palaeontologische Abhandlungen*, 7: 127-222.
- Vennari, V.V., P.P. Álvarez y B. Aguirre-Urreta, 2012, A new species of *Andiceras* Krantz (Cephalopoda: Ammonoidea) from the Late Jurassic-Early Cretaceous of the Neuquén Basin, Mendoza, Argentina. *Systematics and Biostratigraphy, Andean Geology*, 39: 92-105.
- Vennari, V.V., M. Lescano, M. Naipauer, B. Aguirre-Urreta, A. Concheyro, U. Schaltegger, R. Armstrong, M. Pimentel y V.A. Ramos, 2014, New constraints on the Jurassic-Cretaceous boundary in the High Andes using high-precision U-Pb data, *Gondwana Research*, 26: 374-385.
- Weaver, C., 1931, Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina, *Memoirs of the University of Washington* 1, p. 1-496.
- Wimbledon, W.A.P., C.E. Casellato, D. Reháková, L.C. Bulot, E. Erba, S. Gardin, R.M. Verreussel, D.K. Munsterman y C.O. Hunt, 2011, Fixing a basal Berriasian and Jurassic-Cretaceous (J-K) boundary - is there perhaps some light at the end of the tunnel?, *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 117: 295-307.
- Windhausen, A., 1914, Contribución al conocimiento geológico de los territorios del Río Negro y Neuquén, con un estudio de la región petrolífera de la parte central del Neuquén (cerros Lotena y Covuncó), Ministerio de Agricultura, Dirección de Minas, Geología e Hidrología, *Anales*, 10: 21-37.

- Zeiss, A. y H.A. Leanza, 2008, Interesting new ammonites from the Upper Jurassic of Argentina and their correlation potential: new possibilities for global correlations at the base of the Upper Tithonian by ammonites, calpionellids and other fossil groups, *Newsletters on Stratigraphy*, 42: 223-247.
- Zeiss, A. y L.H. Leanza, 2010, Upper Jurassic (Tithonian) ammonites from the lithostratigraphic limestones of the Zapala region, Neuquén Basin, Argentina, *Beringeria*, 41: 25-76.