

EL CICLO ÁNDICO DE GROEBER EN LA CUENCA NEUQUINA, UNA REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN

Beatriz Aguirre-Urreta¹, Andrea Caramés¹, Cecilia S. Cataldo¹, Andrea Concheyro^{1,2}, Yanina Herrera³,
Darío G. Lazo¹, Marina Lescano¹, Rafael López-Martínez⁴, Leticia Luci¹, Luciana S. Marín¹,
Mathieu Martínez⁵, Maximiliano Naipauer⁶, Pierre Pellenard⁷, Diego A. Pino⁸, Victor A. Ramos¹,
Maisa Tunik⁸, Verónica Vennari⁹

1: Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber (UBA-CONICET), Buenos Aires. aguirre@gl.fcen.uba.ar, carames@gl.fcen.uba.ar, ceciliacataldo@gl.fcen.uba.ar, andrea@gl.fcen.uba.ar, dlazo@gl.fcen.uba.ar, lescano@gl.fcen.uba.ar, leticialuci@gl.fcen.uba.ar, andes@gl.fcen.uba.ar

2: Instituto Antártico Argentino, Buenos Aires.

3: División Paleontología Vertebrados, UNLP y CONICET, La Plata, yaninah@fcnym.unlp.edu.ar

4: Instituto de Geología, UNAM México DF, ralopezm@geologia.unam.mx

5: Géosciences Rennes, UMR CNRS 6118, Université Rennes 1, Francia. mathieu.martinez@univ-rennes1.fr

6: Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (UBA-CONICET). maxinaipauer@ingeis.uba.ar

7: Biogéosciences, UMR CNRS 6282/uB, Université Bourgogne Franche-Comté, F-21000, Dijon, Francia. pierre.pellenard@u-bourgogne.fr

8: Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (UNRN-CONICET), Roca. dapino@unrn.edu.ar, mtunik@unrn.edu.ar

9: Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente (UTN-CONICET). San Rafael. vvennari@mendoza-conicet.gob.ar

Palabras clave: Mesozoico, Andes, Paleontología, Estratigrafía, Geocronología

ABSTRACT

A state of the knowledge of the Andean cycle is presented, mainly based on our recent works, but also on highlights of recent research of many colleagues. This synthesis allowed us to update the geochronology of its different units. New absolute ages through U-Pb analysis in zircons by different methods complement those previously carried out and made possible to accurately limit the age of these units. We have been able to define the boundary between the Tordillo and Vaca Muerta Formations very precisely between 147 and 146 Ma; the age of the Agrío Formation between 132 and 126 Ma, and to present the first absolute ages of the Huitrín Formation. All these data are screened through precise biostratigraphy, sequence stratigraphy and astrochronology. The Troncoso Member of the Huitrín Formation yielded an age of 123 Ma that placed it in the Barremian. This is partially corroborated by the finding of fossils in the La Tosca Member with trigonoids and foraminifera of undoubted marine origin, dated with nannofossils of early Barremian age indicating the permanence of communication with the Pacific during the deposition of the Huitrín Formation.

INTRODUCCIÓN

Como parte de su monumental obra sobre la geología andina, Groeber (1946) decidió elaborar una nomenclatura que se ajustase a las reglas internacionales y uno de sus principales problemas lo constituía el ciclo sedimentario de edad mayormente cretácica pero que comenzaba con el Tithoniano y concluía en el Coniaciano. Así nació el concepto de Ciclo Ándico, que abarcaba un conjunto de estratos distribuidos a lo largo de toda América del Sur. En el ámbito de la cuenca Neuquina a este ciclo lo dividió en Mendociano, Huitriniano y Diamantiano. Numerosísimas contribuciones posteriores fueron adaptando y modificando este concepto original de Ciclo Ándico de Groeber y hoy día se reconoce su desarrollo entre el Kimmeridgiano y el Albiano. Comprende así a los grupos Mendoza y Bajada del Agrio (previamente conocido como Grupo Rayoso) y es equivalente a la Supersecuencia Media de Legarreta y Gulisano (1989).

En esta contribución tratamos de presentar una actualización y puesta al día del conocimiento de distintas unidades que conforman dicho ciclo. En el caso de las unidades continentales/transicionales como las formaciones Tordillo y Huitrín se refiere principalmente a estudios de análisis de procedencia y geocronología, mientras que en las unidades marinas como las formaciones Vaca Muerta y Agrio se cuenta con análisis de cicloestratigrafía, estratigrafía, paleontología, bioestratigrafía y geocronología de alta resolución. Esta base de datos en constante desarrollo ha permitido mejorar la comprensión de la evolución de la cuenca Neuquina en el lapso kimmeridgiano-albiano, precisar sus edades absolutas y su bioestratigrafía.

A continuación, presentamos un breve análisis de distintas unidades ordenadas estratigráficamente (Fig. 1) y dada la estricta disponibilidad de espacio, nos centramos solo en aquellas que han recibido mayores actualizaciones recientemente.

GRUPO MENDOZA

Formación Tordillo: Groeber (1929, 1946) fue el primero en denominar Tordillense a la potente sucesión de areniscas rojas del Malm (kimmeridgianas) expuestas en las provincias de Mendoza y Neuquén. Originalmente, este autor las incluyó en el subciclo Chacayano dentro del Ciclo Jurásico; más tarde, Stipanovic y Mingramm (en Groeber *et al.* 1953) las ubican en la base del Ciclo Ándico por estar encima de la discordancia Araucánica. Actualmente, se utiliza el nombre de Formación Tordillo (Stipanovic 1966) para integrar las típicas capas rojas compuestas por facies arenosas y conglomerádicas continentales de ambiente fluvial, abanico aluvial y en menor proporción eólicas (Spalletti y Colombo Piñol 2005; Spalletti *et al.* 2011). No contienen fósiles pero por su posición estratigráfica son asignadas relativamente al Kimmeridgiano-Tithoniano temprano. La edad de la base está indicada por su relación de discordancia sobre el Grupo Lotena, que incluye a la Formación La Manga portadora de una fauna de amonoides del Oxfordiano

(Stipanovic 1951; Leanza 1992). El techo o edad mínima de la unidad está muy bien acotado por la depositación paraconcordante de las pelitas negras y margas marinas de la Formación Vaca Muerta (véase más adelante).

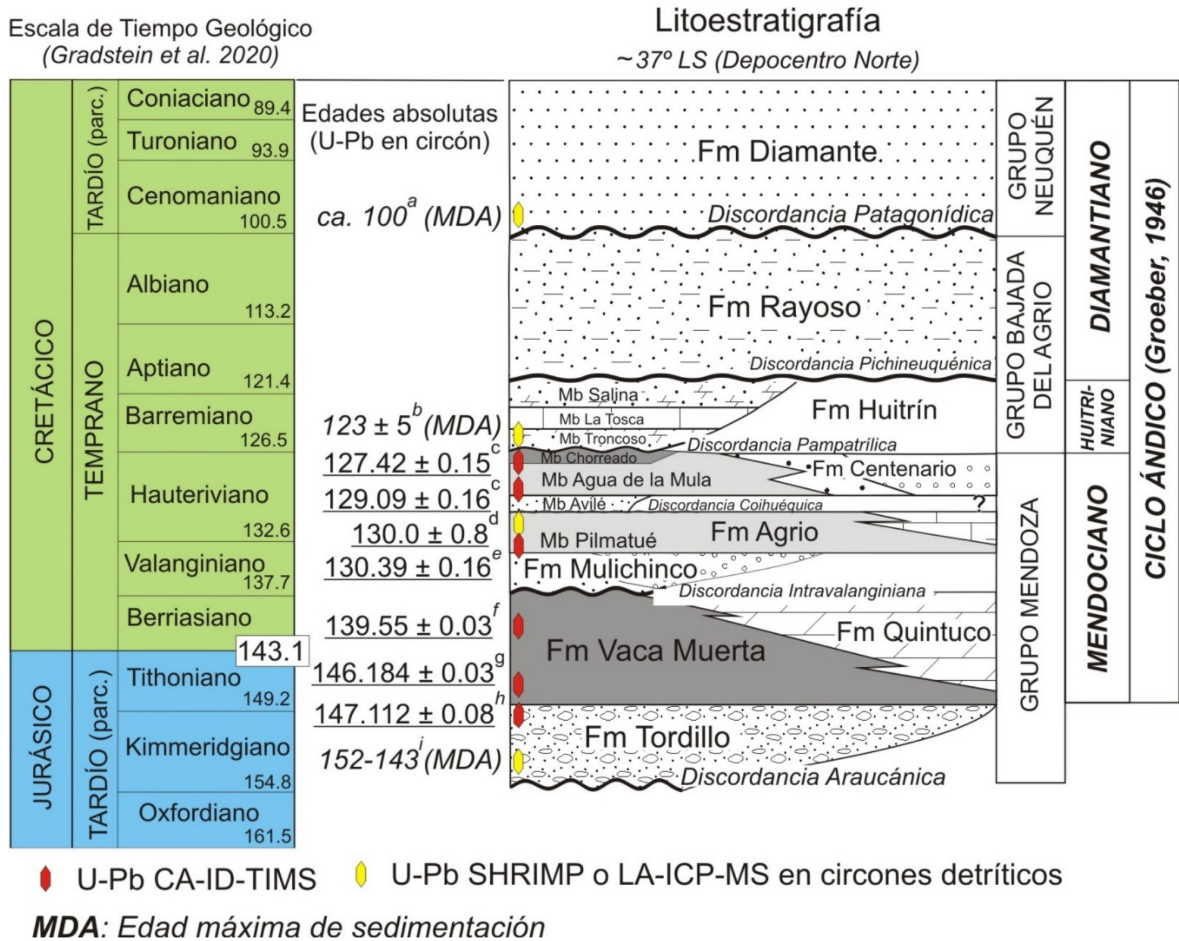


Figura 1. Esquema litoestratigráfico de los Grupos Mendoza y Bajada del Agrio del Ciclo Ándico, con indicación de las principales discordancias y las edades absolutas U-Pb en circón y su comparación con los pisos del Jurásico Superior y parte del Cretácico, según la escala de tiempo geológico de Gradstein et al. (2020). Las edades absolutas U-Pb son de (a) Tunik et al. 2010; (b) Naipauer et al. 2022; (c) Aguirre-Urreta et al. 2015; (d) Schwarz et al. 2016a; (e) Aguirre-Urreta et al. 2017; (f) Vennari et al. 2014; (g) Pellenard et al. 2022; (h) Lena et al. 2019 e (i) Naipauer 2016.

Además de los trabajos litoestratigráficos mencionados, posteriormente los estudios se basaron en descripciones detalladas y de carácter sedimentológico como los trabajos de Marchese (1971), Legarreta y Gulisano (1989), Legarreta y Uliana (1999), Zavala et al. (2005a), Spalletti y Colombo (2005), Veiga y Spalletti (2007), Spalletti et al. (2008) y López-Gómez et al. (2009). En los últimos años, el conocimiento de la Formación Tordillo avanzó con la publicación de numerosos trabajos sobre dataciones U-Pb en circones detríticos y volcánicos. Los sectores de muestreos se distribuyen

principalmente en afloramientos de las fajas plegadas y corridas del Agrio y de Malargüe (Naipauer *et al.* 2012; 2015 a, b; Horton *et al.* 2016; Lena *et al.* 2019), aunque también se han datado muestras del subsuelo, provenientes del Engolfamiento Neuquino (Naipauer *et al.* 2017). Los objetivos principales de este tipo de trabajo son determinar las áreas fuente de aporte sedimentario y definir la edad máxima de depositación. Este último valor es muy útil en sucesiones carentes de fósiles como la Formación Tordillo.

Una conclusión común en los trabajos clásicos de procedencia es que la fuente principal de aporte sedimentario está relacionada con el arco volcánico andino (Marchese 1971; Gulisano 1988). Evidencias directas de la actividad de este arco se observan en la Formación Río Damas en la Cordillera Principal de Chile, donde las areniscas de la Formación Tordillo se intercalan con volcanitas básicas (Charrier *et al.* 2007). Los estudios petrográficos y geoquímicos coinciden en que las áreas de aporte sedimentario incluyen al arco Andino pero también sectores de basamento integrado por volcanitas ácidas del Grupo Choiyoi (Spalletti *et al.* 2008; Mescua *et al.* 2008). El patrón de procedencia establecido por las edades U-Pb de los circones detríticos, indica que la región de origen más importante de aporte de sedimentos fue el arco magmático del Jurásico. Los máximos picos de edades detríticas a los ~178 Ma, 153 Ma y 144 Ma coinciden con los pulsos de mayor actividad magmática y volcánica de los Andes para este período. También se pueden diferenciar dos áreas de origen secundario de acuerdo con los picos de máxima frecuencia del Triásico y Pérmico. Estos picos concuerdan con las edades del volcanismo de sinrift representado en el Ciclo Precuyano y con la Provincia Magmática del Choiyoi. Por último aparecen picos muy subordinados con edades del Mesoproterozoico Tardío (Grenville) y Paleozoico Temprano, que representan las áreas de basamento metamórfico de la cuenca.

Si se analizan detalladamente tanto la distribución de edades detríticas en cada muestra como su ubicación geográfica en la cuenca, se puede diferenciar bien como en los patrones de edades en el sector norte (Mendoza) predomina notoriamente una procedencia desde el arco magmático, con una participación menor de circones Grenvilianos provenientes desde el Bloque de San Rafael, localizado hacia el este. Mientras que en las muestras del sector sur (Neuquén) predominan los picos con edades relacionadas a un basamento devónico-carbonífero, que estaría de acuerdo con una participación del área de la dorsal de Huincul como elemento positivo y área fuente durante el Jurásico Tardío (Naipauer *et al.* 2012).

Por otro lado, las dataciones U-Pb en la Formación Tordillo arrojaron valores de edades máximas de depositación más jóvenes de lo esperado. Todas las muestras analizadas presentan picos de máxima frecuencia con valores jóvenes entre los ca. 152 Ma y 143 Ma. Se destaca el patrón de edades de una arenisca volcanoclástica que presenta una distribución unimodal a los ca. 144 Ma. Estos valores de edades máximas de depositación ubican temporalmente a esta unidad dentro de los pisos Kimmeridgiano y Tithoniano de acuerdo con la escala de tiempo geológico (GTS 2020) de Gradstein *et al.* (2020). Los valores obtenidos en torno a los ca. 143 Ma en varias

de las muestras analizadas se acercan al límite J/K (143,1 Ma) establecido en la GTS 2020. Sin embargo, como se describió más arriba, la Formación Tordillo no puede ser más joven que Tithoniano temprano porque está cubierta por las típicas facies marinas de la Formación Vaca Muerta, que contienen biozonas andinas de amonites del Tithoniano temprano alto y edades U-Pb en circones de tobas intercaladas de ca. 146 Ma para su base (Lena *et al.* 2019; Pellenard *et al.* 2022). Las primeras edades absolutas U-Pb obtenidas en la Formación Tordillo pusieron por primera vez en evidencia esta discrepancia temporal del límite J/K. Si bien actualmente es difícil de compatibilizar las edades más jóvenes cercanas a los 143 Ma, estos resultados motivaron nuevos estudios geocronológicos con métodos de alta resolución (CA-ID-TIMS) en circones provenientes de tobas, pero intercaladas en las facies marinas de la Formación Vaca Muerta con alta resolución bioestratigráfica. Los nuevos valores obtenidos a partir de tobas y por métodos de alta resolución muestran las dificultades de establecer la edad absoluta del límite J/K.

Formación Vaca Muerta: Entre las unidades litoestratigráficas que componen al Grupo Mendoza, la Formación Vaca Muerta (Tithoniano temprano-Valanginiano temprano) destaca por su amplia extensión geográfica en superficie y subsuelo, su espesor, la calidad de su registro fósil, su alto contenido de materia orgánica (TOC máximo de 12%, Legarreta y Villar 2015) y el nivel de madurez termal y composición mineralógica. Esto la coloca como la principal unidad generadora de hidrocarburos de la cuenca Neuquina y en tercer lugar a nivel global por su potencial técnico de extracción de shale-oil y shale-gas por métodos no convencionales (Fernández Badessich *et al.* 2016).

En la última década, el interés que despierta la Formación Vaca Muerta se reflejó en una serie de publicaciones centradas en su estudio. En el marco del simposio de recursos no convencionales del 9° CONEXPLO (2014), en un trabajo conjunto entre la academia y la industria, se presentó una transecta regional para esta formación sobre la base del análisis de numerosas secciones de pozo y superficie y su correlación sismo-estratigráfica. Esta transecta se publicó luego formalmente en una contribución especial del Instituto Argentino del Petróleo y el Gas y la Asociación Geológica Argentina (González *et al.* 2016). Un año después se concretó un simposio sobre la geología de la Formación Vaca Muerta en el marco del 20° Congreso Geológico Argentino (Desjardins *et al.* 2017) y una selección de las contribuciones allí presentadas comprende un volumen especial de la Revista de la Asociación Geológica Argentina (Marchal *et al.* 2018). Dos años más tarde, se concretó la publicación de la Memoria 121 de la American Association of Petroleum Geologists la que reunió en veinte capítulos los avances de la última década en el conocimiento y exploración del Play Vaca Muerta (Minisini *et al.* 2020). A partir de este último hito se continúan registrando publicaciones sobre distintos aspectos de la unidad, tales como sus propiedades geomecánicas y estructurales (e.g. Espinoza 2020), procesos diagenéticos (e.g. Lanz *et al.* 2020; Rodríguez Blanco *et al.* 2022), dinámicas depositacionales y áreas de procedencia (e.g. Naipauer *et al.* 2020;

Otharán *et al.* 2020; Capelli *et al.* 2021; Paz *et al.* 2021, 2022). La Formación Vaca Muerta incluye además la transición entre los sistemas Jurásico y Cretácico (TJK), un intervalo de relevancia internacional ya que es el único límite entre sistemas del Fanerozoico para el que aún no se ha definido un golden spike o sección de referencia global pese a propuestas recientes internacionales (e.g. Wimbledon *et al.* 2020). La combinación de marcadores bioestratigráficos en las sucesiones carbonáticas intercaladas con niveles volcánoclasticos de la Formación Vaca Muerta, ofrecieron la posibilidad de avanzar en la construcción de un esquema cronoestratigráfico de edades relativas y absolutas de mayor precisión para la cuenca Neuquina, y de brindar datos de importancia que desde el hemisferio sur contribuyan a caracterizar el intervalo Tithoniano-Valanginiano. En consecuencia, en los siguientes párrafos se hará foco en los avances sobre la paleontología, bioestratigrafía, cicloestratigrafía y geocronología de la Formación Vaca Muerta que han tenido lugar en los últimos años.

Recientemente, Leanza *et al.* (2020) publicaron una revisión sobre los marcadores paleobiológicos más relevantes de esta unidad, los que incluyen amonites, nanofósiles calcáreos, calciesferas, calpionélidos, coprolitos, dinoflagelados, radiolarios, microcrinoideos sacocómidos y trazas fósiles. Entre ellos, los amonites son los restos fósiles megascópicos más abundantes y diversos a lo largo de toda la columna, por lo que constituyen la base del esquema bioestratigráfico andino. La identificación de formas de distribución paleobiogeográfica amplia o con afinidades con aquellas identificadas en la región del Tethys ha permitido establecer correlaciones con la zonación estándar mediterránea (e.g. Leanza *et al.* 2020 y referencias allí citadas). No obstante, la sistemática y distribución estratigráfica de los amonites de la Formación Vaca Muerta se encuentra en proceso de actualización, y en los últimos años se han publicado avances con respecto a la composición y correlación de la zona de *Virgatospinctes andensis* (antes *V. mendozanus*) en distintas secciones de la cuenca y se ha delimitado con mayor precisión la riqueza taxonómica, relaciones paleobiogeográficas e implicancias bioestratigráficas de grupos de amonites jurásicos tardíos (Vennari y Aguirre-Urreta 2017, 2019) y cretácicos tempranos (Parent *et al.* 2015; Marin *et al.* 2021; Leanza *et al.* 2020 y referencias allí citadas). Entre estos últimos se destaca el primer registro de *Bochianites neocomiensis* en la cuenca, en niveles del Valanginiano inferior asignables a la Biozona CC3-B de nanofósiles, lo que permite reafirmar la correlación de la biozona andina de *Lissonia riveroi* con la biozona estándar de *Neocomites neocomiensiformis* (Marin *et al.* 2022). Vennari *et al.* (2017) dieron a conocer una integración de información bioestratigráfica provista por amonites y nanofósiles en secciones de superficie y sondeos de pozo analizados en colaboración con distintas operadoras (YPF, Chevron, Shell). Mientras que también se logró acotar la edad del Miembro Huncal al Berriasiano tardío en su localidad tipo (Naipauer *et al.* 2020).

Los estudios de nanofósiles calcáreos que comprenden el intervalo Tithoniano-Valanginiano se han centrado principalmente en su bioestratigrafía y han permitido la correlación a nivel local y regional de distintas secciones de la Formación Vaca Muerta (e.g. Concheyro *et al.* 2007;

Kietzmann *et al.* 2011; Lescano y Concheyro 2014). La presencia de especies consideradas como biomarcadoras ha permitido ajustar la edad de la unidad, en tanto que las asociaciones halladas presentan características cosmopolitas y sugieren fuertes afinidades tethyanas. Los bioeventos reconocidos se han correlacionado tradicionalmente con el esquema biostratigráfico propuesto por Bralower *et al.* (1989). Sin embargo, Casellato y Erba (2021) han afinado la edad de las zonaciones para el Tithoniano-Berriasiano proponiendo un nuevo y ajustado esquema para este intervalo, lo que permitió actualizar los estudios bioestratigráficos locales. En la Formación Vaca Muerta se han reconocido bioeventos asignados al Tithoniano temprano que correlacionan con la Biozona NJT15 y bioeventos definidos como próximos al límite Tithoniano temprano/tardío que correlacionan con la Biozona NJT16. Además, se ha definido la Biozona NJT17 y la Subzona NC0a en niveles asignados al Tithoniano tardío, la base del límite J/K se ha definido con el límite inferior de la Subzona NC0b y para el Cretácico se han reconocido las Biozonas CC1 a CC3. Los bioeventos para delimitar estas biozonas son las primeras ocurrencias (FO) de *Conusphaera mexicana minor*, *Helenea chiastia*, *Nannoconus globulus minor*, *N. wintereri*, *N. steinmannii minor*, *N. steinmannii steinmannii* y *Eiffelithus windii*.

Los calpionélidos se consideran los marcadores primarios del límite J/K, en coincidencia con el acmé de formas pequeñas y globulares asignables a *Calpionella alpina* (Wimbledon *et al.* 2020). En la cuenca Neuquina este grupo ha sido reconocido desde fines de los '90 (Leanza *et al.* 2020 y referencias allí citadas) y se ha avanzado con la definición de las Biozonas de *Chitinoidea*, *Crassicollaria* y *Calpionella* (Kietzmann 2017; López Martínez *et al.* 2017) y, más recientemente, con las Biozonas de *Calpionellopsis* y *Calpionellites* (Kietzmann *et al.* 2021). En la actualidad quedan varios puntos por esclarecer para poder aprovechar su potencial bioestratigráfico y afinar su correlación con el Tethys. Por ejemplo, dentro de la Biozona de *Chitinoidea*, la subzona Dobeni no se encuentra claramente definida, aunque existen marcadores que permiten su identificación (Kietzmann 2017), en tanto que la subzona Bonetti presenta un mejor registro pudiendo ser definida con mejor precisión. Sin embargo, el registro del género *Chitinoidea*, que en el Tethys no se extiende más allá de la Biozona de *Crassicollaria* con la aparición de los calpionélidos hialinos, parece ser más extenso en secciones mexicanas y de la Formación Vaca Muerta (e.g. Kietzmann 2017). Estos registros deben ser estudiados con más detalle y, en el ámbito de la cuenca Neuquina, han sido atribuidos a procesos de erosión y retrabajo, y posibles alteraciones diagenéticas (Kietzmann *et al.* 2021). Por otra parte, la mala preservación de los ejemplares de la Biozona de *Crassicollaria* representa un reto para su estudio. Kietzmann *et al.* (2021) han subdividido esta biozona en las subzonas Remanei y Massutiniana, mientras otros autores como López-Martínez *et al.* (2017) han optado por un enfoque más clásico, definiendo la última parte de la biozona como la subzona Colomi.

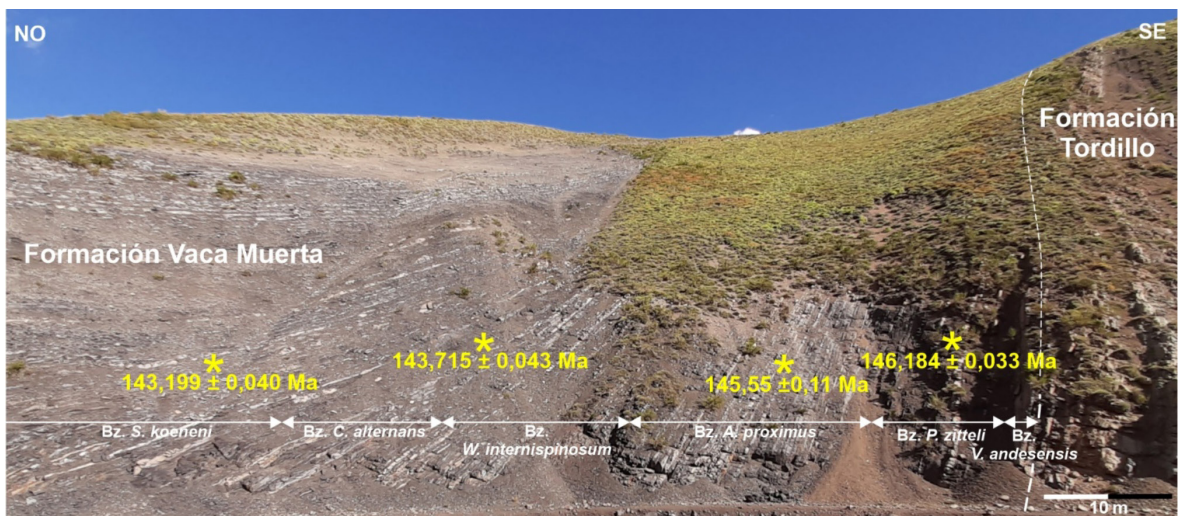


Figura 2. Vista panorámica de la Formación Vaca Muerta en la localidad Las Alcantarillas, alta cordillera de Mendoza, con las biozonas de amonites y las nuevas dataciones U-Pb Ca-ID-TIMS (Pellenard *et al.* 2022).

El registro bioestratigráfico integrado de amonites, nanofósiles calcáreos y calpionélidos, y su calibración con edades U-Pb mediante SHRIMP y CA-ID-TIMS permitió avanzar en el ajuste de la TJK para la localidad de Las Loicas, Mendoza, obteniendo edades desde $142,040 \pm 0,058$ Ma en la Biozona de *Substeueroceras koeneni* del Tithoniano tardío-Berriasiano temprano, a $139,55 \pm 0,18$ Ma en la Biozona de *Argentinceras noduliferum* del Berriasiano temprano a medio (Aguirre-Urreta *et al.* 2019a y referencias allí citadas). Recientemente, Pellenard *et al.* (2022) aportaron nuevas edades U-Pb Ca-ID-TIMS para Las Alcantarillas, una localidad cercana a Las Loicas, desde $146,147 \pm 0,036$ Ma en la Biozona de *Pseudolissoceras zitteli* del Tithoniano temprano a $143,199 \pm 0,040$ Ma en la de *S. koeneni* (Fig. 2). En paralelo se tomaron muestras de roca cada 6 cm para medir la susceptibilidad magnética y llevar a cabo un análisis espectral que permita obtener un esquema astrocronológico detallado y anclado a las edades absolutas y relativas provistas por los distintos indicadores fósiles. Este esquema complementarían los estudios cicloestratigráficos de otros colegas como Sagasti (2005) y Kietzmann *et al.* (2011, 2015) quienes han analizado la alternancia de ciclos elementales caliza/marga y definido conjuntos (bundles) y superconjuntos (superbundles) de ciclos elementales con distintas frecuencias de periodicidad que responderían a ciclos astronómicos de precesión y oblicuidad del eje y excentricidad de la órbita terrestre. Kietzmann *et al.* (2018) propusieron anclar esta escala temporal astronómica flotante a la escala de tiempo geológica global sobre la base de datos bioestratigráficos y magnetoestratigráficos. Esta calibración fue, sin embargo, reconsiderada por Ogg (2020) quien para la GTS 2020 propuso fusionar la interpretación del intervalo M19n-M18n de Kietzmann *et al.* (2018) como el M19n, lo que situaría la TJK propuesta por Wimbledon *et al.* (2020) en la mitad del M19n, es decir, algo por debajo de la mitad de la Biozona de *S. koeneni*.

Pellenard *et al.* (2022) también dieron a conocer una curva isotópica de alta resolución de $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ para el Tithoniano de Las Alcantarillas, en donde se observa una disminución neta de los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ desde ~ -25 ‰ en la Biozona de P. Zitteli a ~ -30 ‰ cerca de la base de la Biozona de S. koeneni, para luego de un plateau incrementarse a valores comprendidos entre -26 ‰ y -28 ‰ hacia el tope de la Biozona de S. koeneni. Estos resultados, que continúan siendo elaborados, se suman a la contribución de Capelli *et al.* (2021) quienes describieron dos excursiones positivas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ en Chacay Melehue, Neuquén, la primera de ellas, con valores de ~ -25 ‰ entre las Biozonas de *V. andesensis* y *A. proximus* del Tithoniano inferior, y la segunda con valores de $\sim -24,5$ ‰ en niveles asignados al Valanginiano inferior alto (Biozona de Lissonia riveroi) en la Formación Quintuco. Adicionalmente, Gómez-Dacal *et al.* (2018) analizaron valvas de ostras de secciones de la Formación Vaca Muerta en el sur de Mendoza, y obtuvieron valores de $\delta^{13}\text{C}$ de entre 0 y -3 ‰ VPDB para el Tithoniano-Berriasiano y de $\sim -2,4-2,7$ ‰ VPDB para el Valanginiano en niveles de la Formación Chachao (Biozona de Olcostephanus (O). atherstoni). Los mismos autores estimaron paleotemperaturas de ~ 25 °C en promedio para la plataforma mendocina a partir de valores $\delta^{18}\text{O}$. Alberti *et al.* (2020) obtuvieron resultados similares para localidades de Neuquén.

Además de los grupos fósiles mencionados, en los últimos años se ha revisado la taxonomía y afinidades paleobiogeográficas de otros moluscos registrados en la Formación Vaca Muerta, tales como pectínidos asignados al género Huncalotis y preservados en pavimentos o *beefs* (Damborenea y Leanza 2016); acumulaciones masivas de ostras (Toscano y Lazo 2020); gastrópodos asignables a más de quince familias diferentes y registrados en forma aislada o en pavimentos (Cataldo y Vennari 2021) y belemnites tithonianos asignables al género Belemnopsis (Vennari *et al.* 2021).

Finalmente, las exploraciones paleontológicas sistemáticas con foco en los vertebrados marinos de la Formación Vaca Muerta datan de poco más de 30 años. Estas exploraciones, y los estudios vinculados, dan cuenta de una fauna de vertebrados marinos conformada por peces óseos y cartilaginosos, ictiosaurios, plesiosaurios, tortugas y cocodrilos metriorrínquidos (e.g. Gasparini y Fernández 2011). La mayor parte de estos registros provienen de niveles del Jurásico Tardío, siendo los registros del Cretácico Temprano mucho menos abundantes (e.g. Herrera *et al.* 2021). Estudios realizados en la última década muestran que la diversidad taxonómica y morfológica de, al menos, los ictiosaurios y los cocodrilos metriorrínquidos, es mayor a la estimada anteriormente. En la actualidad se reconocen las siguientes especies nominales: *Pliosaurus patagonicus* y *P. almanzaensis* (plesiosaurios pliosauroideos), *Notoemys neuquina* y *Neustycemys neuquina* (tortugas), *Cricosaurus araucanensis*, *C. lithographicus*, *C. puelchorum*, *Purranisaurus potens* y *Dakosaurus andiniensis* (cocodrilos metriorrínquidos), *Caypullisaurus bonapartei*, *Sumpalla argentina*, *Arthropterygius thalassonotus* y *Catutosaurus gasparinae* (ictiosaurios) y *Notodectes argentinus*, *Lepidotes maximus*, *Jonoichthys challwa*, *Catutoichthys olsacheri*, *Leedsichthys* y *Kaykay lafke* (peces) (e.g. Gasparini *et al.* 2015; Gouiric-Cavalli y Cione 2015; Fernández *et al.*

2019; Campos *et al.* 2021; Gouiric-Cavalli y Arratia 2022 y referencias citadas en todos estos trabajos).

Formación Mulichinco: La Formación Mulichinco (Weaver 1931) es una unidad sedimentaria que se extiende por más de 150 km en sentido norte sur en el centro oeste de la cuenca Neuquina. En los estudios pioneros de Groeber (1946) fue incluida en su Ciclo Ándico y Subciclo Mendociano y años después en el Grupo Mendoza propuesto por Stipanovic *et al.* (1968). Se ubica estratigráficamente por encima de la Formación Vaca Muerta o bien de la Formación Quintuco y es cubierta por la Formación Agrío. Los espesores de la unidad son muy variables, siendo de 700 m en el centro de la cuenca y 70-40 m en sus bordes, registrándose a su vez, espesores muy diferentes en diversas localidades de la cuenca. La edad de esta unidad, al menos sus términos marinos, está establecida por las zonas de amonites de *Lissonia riveroi* y *Olcostephanus (Olcostephanus) atherstoni* en el Valanginiano temprano al Valanginiano tardío temprano (Aguirre-Urreta *et al.* 2005 y trabajos allí citados).

Su depositación se vincula al descenso del nivel del mar ocurrido en el Valanginiano temprano probablemente relacionado con una etapa de inversión tectónica reconocida en la cuenca Neuquina (Vergani *et al.* 1995; Schwarz *et al.* 2006). De esta manera los conglomerados, areniscas, pelitas y calizas asignados a la Formación Mulichinco se generaron durante la caída del nivel del mar y continuaron depositándose después de la misma provocando una amplia variabilidad en sus facies y ambientes sedimentarios por encima de la discordancia Intravalanginiana (Gulisano *et al.* 1984). La alta variabilidad de facies tanto laterales como verticales fueron reconocidas a grandes rasgos ya por Weaver (1931) y le siguieron numerosos autores entre los que se destaca la tesis doctoral de Schwarz (2003) quien analizó el relleno sedimentario con un enfoque paleoambiental y secuencial a nivel cuenca, diferenciando tres regiones: Austral, Central y Septentrional, que abarcan desde la Sierra de la Vaca Muerta hasta la localidad de Buta Ranquil y diferenciando facies continentales, de transición y marinas. Dentro de las facies continentales se identificaron y estudiaron en detalle sistemas fluviales y de transición (Schwarz 2003; Schwarz *et al.* 2013; Olivo *et al.* 2019; Olivo *et al.* 2020; Pino 2022, entre otros) y depósitos de origen eólico costanero, que tuvieron una precisa caracterización de las dunas, interdunas y los depósitos en manto tanto eólicos como fluviales (Zavala *et al.* 2005 b; Buatois y Echevarria 2019) tanto en subsuelo como en superficie. Hacia el norte de Neuquén y sur de Mendoza comienzan a reconocerse sucesiones de origen marino, cuya variabilidad de ambientes se ve reflejada también en la presencia de cuerpos y trazas fósiles de la unidad y en la continua aparición de trabajos de detalle describiendo los hallazgos y contribuyendo al conocimiento detallado de los diferentes subambientes. La intercalación de depósitos marinos (e.g. Echevarría *et al.* 2012; Luci y Lazo 2012; Lazo *et al.* 2016; Wesolowski *et al.* 2018; Giachetti *et al.* 2020; Kietzmann y Olivo 2020) con depósitos de tormenta (Schwarz y Howell 2005), asociados con depósitos mareales y estuáricos (e.g. Olivo *et al.* 2019;

Olivo *et al.* 2020) y deltaicos (e.g. Schwarz *et al.* 2016b; Zavala *et al.* 2022) con diferentes agentes predominantes se debe probablemente al efecto del oleaje y las corrientes a lo largo de una costa irregular (Sleveland *et al.* 2020).

Con respecto a los vertebrados, se han reportado esqueletos articulados o semiarticulados de saurópodos, ornitópodos y terópodos (Coria *et al.* 2020 y referencias allí citadas) realizándose también estudios tafonómicos y paleoambientales de detalle (Pino *et al.* 2021) que llevaron al reconocimiento de varios niveles con huellas de dinosaurios en las facies fluviales en las cercanías de Las Lajas (Pino *et al.* 2022). Asociados con los restos de dinosaurios, se han reconocido restos de troncos en los canales y planicies fluviales (Gnaedinger *et al.* 2017) y unos kilómetros al este, también en niveles superiores de la Formación Mulichinco, Martínez y Olivo (2015) describieron la presencia de restos vegetales en paleoambientes pantanosos y de áreas costaneras.

Los estudios de palinomorfos (Olivo *et al.* 2019 y referencias allí citadas) avalan la edad valanginiana tardía para la unidad e indican un clima húmedo templado a cálido. Mientras que la presencia de sistemas fluviales efímeros con depósitos eólicos subordinados sugiere un clima semiárido. Estas aparentes discrepancias en los climas imperantes durante la depositación de las sedimentitas de la Formación Mulichinco también son reflejo de la compleja paleogeografía que debió existir en la cuenca Neuquina para el Valanginiano.

Inicialmente Schwarz (2003) dividió a la unidad en tres miembros de acuerdo con sus características regresivas, transgresivas y de mar alto y estudios posteriores agregaron detalles a este esquema (Schwarz 2012; Schwarz *et al.* 2013, 2016), considerado una cuña de mar bajo y una secuencia de tercer orden en la que internamente se reconocen tres cortejos. Uno de mar bajo (LST) donde se identifican sistemas fluviales y planicies aluviales que hacia el norte de la cuenca pasan a depósitos marinos costeros. Un sistema transgresivo (TST) que está registrado en depósitos de rampa carbonática con parasecuencias ricas en ostras y otros bivalvos con fauna de amonites y finalmente uno de mar alto (HST) con carácter retrogradante reflejado en sistemas depositacionales de rellenos de bahías y depósitos marinos someros hacia el norte; muchos de estos paquetes tienen acumulaciones en masa de ostras reflejando períodos de baja sedimentación. Por encima ocurrió la transgresión que depositó el miembro inferior de la Formación Agrio.

Formación Agrio: Esta unidad definida por Weaver (1931) ha sido clásicamente dividida en tres miembros, inferior o Pilmatué, medio o Avilé y superior o Agua de la Mula (Leanza y Hugo 2001), aunque posteriormente Leanza (2003) incluyó al Chorreado como su miembro cuspidal. Mientras que el Miembro Pilmatué integra la Mesosecuencia Mendoza Media, los miembros Avilé, Agua de la Mula y Chorreado integran la Mesosecuencia Mendoza Superior de acuerdo con Legarreta y Gulisano (1989).

Hay distintas propuestas e interpretaciones en lo referente a los límites de esta unidad. En el Engolfamiento Neuquino la Formación Agrio se apoya sobre la Formación Mulichinco mientras

que, hacia el norte, ya en el ámbito de Mendoza lo hace sobre la Formación Chachao. La edad asignada a la transición con la Formación Mulichinco varía; para algunos autores ésta es diacrónica y abarca entre el Valanginiano inferior alto hasta el Valanginiano superior sobre la base de datos bioestratigráficos (Aguirre-Urreta y Rawson 1997), mientras que para otros ésta es abrupta, isócrona y definida en el Valanginiano superior sobre la base de estudios sedimentológicos (Schwarz 2002). Con respecto a la relación con la Formación Chachao, los datos bioestratigráficos provistos por amonites en Mendoza indicarían un posible hiato entre ambas unidades que abarcaría parte del Valanginiano tardío.

Con respecto a su límite superior, es sobreyacida por la Formación Huitrín en el centro-norte de Neuquén y Mendoza, pero en este caso la discusión se centra en si el Miembro Chorreado es la unidad cuspidal de la Formación Agrio o la unidad basal de la Formación Huitrín. El Chorreadense de Groeber (1946) comprendía una sucesión de unos 80 m de espesor de arcillas rojas, verdes y amarillentas, muy deleznable con yeso en lentes chicos aflorantes al norte y oeste de Buta Ranquil. Sin embargo, en el cerro Michi-có, su localidad tipo, estas arcilitas varicolores son suprayacidas por calizas del Miembro Agua de la Mula con característicos amonoideos crioceratítidos. Pazos *et al.* (2008) interpretaron a estas rocas como un equivalente al Miembro Avilé. De este modo, el Chorreadense de Groeber no tendría validez, aunque el Miembro Chorreado en el sentido que es ampliamente citado por geólogos petroleros, se halla compuesto por calizas con intercalaciones pelíticas y evaporitas y es siempre cubierto en contacto erosivo por el Miembro Troncoso de la Formación Huitrín (véase Gutiérrez Pleimling *et al.* 2011). Legarreta y Gulisano (1989) ubicaron al Miembro Chorreado en su Mesosecuencia Mendoza Superior y de este modo se lo relaciona más a una restricción del mar del Miembro Agua de la Mula de la Formación Agrio que a los depósitos continentales de la suprayacente Mesosecuencia Huitrín. Leanza (2003) incluyó al Miembro Chorreado como el término cuspidal de la Formación Agrio, criterio que es compartido acá, de manera análoga a la reciente interpretación de Pazos *et al.* (2020) sobre la base de su análisis estratigráfico secuencial.

Las relaciones laterales de la Formación Agrio con la Formación Centenario que comprende a los depósitos contemporáneos del borde este de la cuenca Neuquina han sido tratados recientemente por Iñigo *et al.* (2019), mientras que Shchepetkina *et al.* (2020) analizan en especial su miembro inferior y Pazos *et al.* (2021) quienes se refieren al miembro superior.

Trabajos modernos en la Formación Agrio involucran tanto la combinación de diferentes especialidades como paleontología, bioestratigrafía, cicloestratigrafía y geocronología de alta resolución como detallados estudios de estratigrafía, sedimentología, geoquímica orgánica, geología estructural, etc. en secciones clásicas del Engolfamiento Neuquino. Aguirre-Urreta *et al.* (2019b) estudiaron la sucesión aflorante en la localidad El Portón reconociendo las biozonas de amonites y los bioeventos de nanofósiles calcáreos lo que permitió datar relativamente la sucesión entre el Valanginiano tardío y el Hauteriviano tardío. A estos datos se sumaron valores

absolutos provistos por dos niveles de tobas de caída. También obtuvieron muestras cada 25 cm que, analizada su susceptibilidad magnética, permitieron establecer la primera astrocronología del Cretácico Temprano directamente ajustada con precisos datos U-Pb. Estos datos, junto con una curva de isótopos de C ajustada con el Tethys, ha permitido cuantificar la edad de las distintas asociaciones de amonoides que se reconocen a lo largo de toda la cuenca Neuquina.

Moore *et al.* (2020) trabajando también en clásicas secciones de la formación en el Engolfamiento Neuquino realizaron estudios de pirólisis, difracción de rayos X y secciones delgadas que utilizaron para desarrollar un esquema integrado de macrofacies y microfacies de alta resolución. Los resultados obtenidos les permitieron categorizar la variabilidad de facies en la parte distal del sistema Agrio y establecer la fuente potencial de estos depósitos distales en el contexto de facies y marco estratigráfico.

Pazos *et al.* (2020) realizaron un estudio sedimentológico y de estratigrafía secuencial de la Formación Agrio, al norte de la dorsal de Huincul. En esta unidad reconocieron que el Miembro de Pilmatué contiene cinco secuencias de tercer orden controladas eustáticamente, mientras que el Miembro de Avilé se depositó por encima de una discordancia regional, resultado de erosión y bypass sedimentario durante un período de calma tectónica. El Miembro Agua de la Mula comenzó con una inundación isócrona y geológicamente instantánea que para estos autores se explica mejor por subsidencia tectónica que por cambios eustáticos globales. Contiene cuatro secuencias de cuarto orden y muestra aportes sedimentarios desde el este en algunas regiones. Al Miembro Chorreado, desde el punto de vista de estratigrafía secuencial, lo relacionaron con el Grupo Mendoza ya que no representa una expansión de la cuenca después de una pequeña discordancia durante el Barremiano sino que, por el contrario, la discordancia que marca la base del Miembro Troncoso de la Formación Huitrín sería una prueba de la intensa reorganización regional de la cuenca.

Varias contribuciones se refieren al Miembro Pilmatué, tratado en detalle con estudios cicloestratigráficos (Kietzmann y Paulin 2019), con análisis geoquímicos, mineralógicos y petrográficos (Remírez *et al.* 2020), con análisis icnológicos de hardgrounds y su valor en estratigrafía secuencial (Richiano *et al.* 2019) así como en trabajos enfocados principalmente a la sedimentología (Schwarz *et al.* 2020 y referencias citadas allí).

Por otra parte, otros estudios (e.g. Spalletti *et al.* 2001) se han enfocado específicamente al Miembro Agua de la Mula. Omarini *et al.* (2020) realizan un estudio multi-proxy que incluye datos sedimentológicos, geoquímicos y paleobiológicos para el Miembro Agua de la Mula en la clásica localidad de El Portón en el noreste de Neuquén que aporta interesante información paleoambiental y paleo-oceanográfica. En la sucesión analizada se reconocen dos grandes ciclos sedimentarios (TST-HST) reflejando la posición de sedimentos proximales y distales dentro del sistema depositacional. Así, los depósitos de rampa externa distal comprenden mudstones carbonáticos con contenido de TOC de hasta 4,43 wt% (con un promedio de 1,62 wt%) y materia

orgánica amorfa de origen marino de tipo II. Este alto contenido de TOC podría estar reflejando una bioproduktividad resaltada por períodos de salinidad reducida como lo indican los picos del nanofósil *Micrantholithus* y dilución reducida por material siliciclástico en un escenario distal. Por otra parte, los depósitos de rampa externa proximal muestran un patrón más silicoclástico y materia orgánica de origen continental representada por kerógeno de tipo II-III y un contenido de TOC de aproximadamente 1 wt% (con un promedio de 1.05 wt%). En este intervalo la producción primaria se relaciona con condiciones más estables y aguas estratificadas, como queda reflejado por los picos del nanofósil *Nannoconus*.

Comerio *et al.* (2018, 2019, 2020) analizaron las facies de mudstones del Miembro Agua de la Mula del Hauteriviano superior, en secciones clásicas de Neuquén, integrando detallados análisis sedimentológicos e icnológicos de afloramientos, con estudios de microscopía óptica y electrónica, difracción de rayos X y datos mineralógicos y de geoquímica orgánica. Sobre esta base definieron cuatro cinturones de facies en la cuenca Neuquina central: (1) facies marinas y deltaicas someras a depósitos fluviales documentados en el subsuelo (principalmente siliciclásticos); (2) rampa intermedia a rampa interior con ajustes de rampa exterior subordinados (principalmente siliciclásticos); (3) configuración de rampa externa a rampa media distal con clinofomas subacuáticas fangosas (siliciclástico-carbonato mixto) y (4) áreas de la cuenca a la rampa exterior (dominadas por carbonatos). Además del principal aporte de sedimentos del margen sur y sureste de la cuenca, estos autores sugieren un suministro de sedimentos de las regiones este y noreste. Asimismo, la presencia de depósitos de caída de ceniza indica que el arco magmático occidental coetáneo estaba activo. El esquema de estratigráfica secuencial propuesto incluye cuatro secuencias, organizadas en secuencias transgresivas finas (TST-I a TST-IV) y regresivas gruesas (HST-I a HST-IV) que pueden ser correlacionadas con cuatro secuencias (de cuarto orden) definidas previamente en entornos proximales, sobre la base de las asociaciones de amonoides presentes. Las observaciones sugieren que los cambios del nivel del mar fueron eventos relativamente sincrónicos y habrían estado controlados no solo por mecanismos orbitales sino también por tectonismo.

El contenido microfósilífero de la Formación Agrio es sumamente rico y diverso e incluye restos de vertebrados e invertebrados marinos. En los últimos años se ha avanzado en el conocimiento de los vertebrados destacándose nuevos registros de peces (Gouiric-Cavalli *et al.* 2018; 2019), plesiosaurios (O’Gorman *et al.* 2015) e ictiosaurios (Lazo *et al.* 2018). Con respecto a los invertebrados bentónicos se han revisado recientemente las faunas de gastrópodos (Cataldo y Lazo 2016; Cataldo 2017), bivalvos (Milla Carmona *et al.* 2016, 2017, 2018, en prensa; Toscano *et al.* 2018), ofiuroides (Fernández *et al.* 2019a), crinoideos (Lazo *et al.* 2020), decápodos (Andrada *et al.* 2020, 2021), corales escleractínidos (Garberoglio *et al.* 2020, 2021, 2022) e incrustantes (Luci *et al.* 2019, 2021). Finalmente, las trazas fósiles también han sido objeto de recientes revisiones (Fernández y Pazos 2015, Fernández *et al.* 2018, 2019b).

GRUPO BAJADA DEL AGRIO - FORMACIÓN HUITRÍN

En la concepción original de Groeber (1946) el Huitriniano estaba compuesto por cinco pisos: Chorreadense, Troncosense, Tosquense, Salinense y Rinconense. Ya hemos discutido la validez del Chorreadense y la inclusión del Miembro Chorreado en la Formación Agrio. Con respecto al Miembro Rincón, si bien su ubicación ha variado a lo largo del tiempo, se concuerda aquí con Leanza (2003) quien interpretó que éste constituye la unidad basal de la Formación Rayoso, compuesto por areniscas rojizas de ambientes fluviales, de fuerte expresión morfológica, que cubren paraconcordantemente al Miembro Salina.

Miembro Troncoso: Tradicionalmente el Miembro Troncoso ha sido dividido en una unidad inferior clásica de origen continental compuesta por depósitos fluviales y eólicos (Veiga y Vergani 2011; Argüello Scotti y Veiga 2015 y referencias allí citadas) y una superior que comprende una espesa secuencia evaporítica (Gómez Figueroa *et al.* 2011; Gabrielle 2016 y referencias allí citadas). Leanza (2003) indicó que en la parte cuspidal de este miembro se desarrolla un tramo terrígeno de fangolitas de color oliva claro a verde oscuro, en general mal aflorado y posiblemente ausente en las secciones de Mendoza.

Recientemente fue presentada la primera edad absoluta U-Pb (LA-ICP-MS) en circones detríticos procedentes de areniscas de la Formación Huitrín, aflorantes en la provincia de Mendoza (Naipauer *et al.* 2022). El objetivo principal de ese trabajo fue determinar las áreas de aporte sedimentario y definir la edad máxima de depositación, para establecer con mayor precisión la edad de la transición marino-continental registrada en el Grupo Bajada del Agrio. La muestra analizada se tomó de un perfil ubicado en las cercanías del Puesto Agua de Cabrera, en el sector noroeste de la sierra de Cara Cura (Fig. 3).

Las edades U-Pb se obtuvieron de una litoarenita feldespática del Miembro Troncoso clásico. Los líticos más comunes son de origen volcánico, especialmente de rocas silíceas, destacándose la presencia de fragmentos de rocas metamórficas, cuarzo policristalino e intraclastos de rocas carbonáticas. El patrón de edades obtenido es multimodal con valores entre ca. 123 Ma y 2599 Ma, con picos de máxima frecuencia a los ca. 189, 242, 285, 476, 523 y 998 Ma. En el diagrama de frecuencia relativa se puede observar claramente que está dominado por circones del Precámbrico y Paleozoico (82%), que indican un aporte sedimentario desde el basamento ubicado en el margen oriental y sur de la cuenca, donde afloran rocas ígneas y metamórficas gondwánicas, famatinianas, pampeanas y grenvillianas (Bloques de San Rafael-Las Matras y Macizo Nordpatagónico). Las edades mesozoicas están subordinadas (18%), aparecen circones del Jurásico Inferior (ca. 189 Ma) que podrían provenir desde Macizo Nordpatagónico (Complejo Volcánico Marifil).

El circón más joven de 123 ± 5 Ma es interpretado como la edad máxima de sedimentación, indicando una posible edad barremiana (GTS, Gradstein *et al.* 2020). Este valor debe ser tomado

con precaución ya que es un solo cristal con un error elevado, sin embargo, es coherente con los nanofósiles identificados en el Miembro La Tosca en una localidad muy cercana que indican una edad barremiana temprana (Lescano *et al.* 2021).

Miembro La Tosca: Este fue descrito originalmente como Tosquense por Groeber (1946) en la sección del Arroyo Agua de La Tosca, al sur de la sierra de Cara Cura en Mendoza. Este miembro se distribuye ampliamente en la cuenca por más de 550 km en sentido norte-sur, desde la latitud de Río Palomares en Mendoza hasta la latitud del Arroyo Covunco en Neuquén. Presenta un espesor promedio de 30 m y constituye una unidad litoestratigráfica de notable uniformidad litológica, de naturaleza carbonática de grano fino incluyendo wackestones, packstones esqueléticos, grainstones oolíticos y dolomías alternando con margas y lutitas yesíferas (Ramos 1981; Legarreta 1985; Cabaleri y Armella 1993; Leanza 2003; Lazo *et al.* 2017). Sin embargo, se reconocen diferentes subambientes en un contexto de clima árido y semiárido. Los depósitos del Miembro La Tosca han sido interpretados como un cortejo de mar alto de tercer orden, conformado por dos ciclos de somerización de cuarto orden apilados con un arreglo retrogradacional (Olea *et al.* 2011).

El contenido fosilífero de la unidad es abundante y relativamente diverso, sin embargo, hasta hace unos años, no había sido objeto de estudios taxonómicos de detalle que permitiesen acotar su edad y caracterizar los paleoambientes. Desde hace unos 15 años nuevas investigaciones de campo incluyendo levantamiento de secciones de detalle y colecta de ejemplares banco por banco han permitido avanzar significativamente en el estado del conocimiento de las macro y microfaunas.

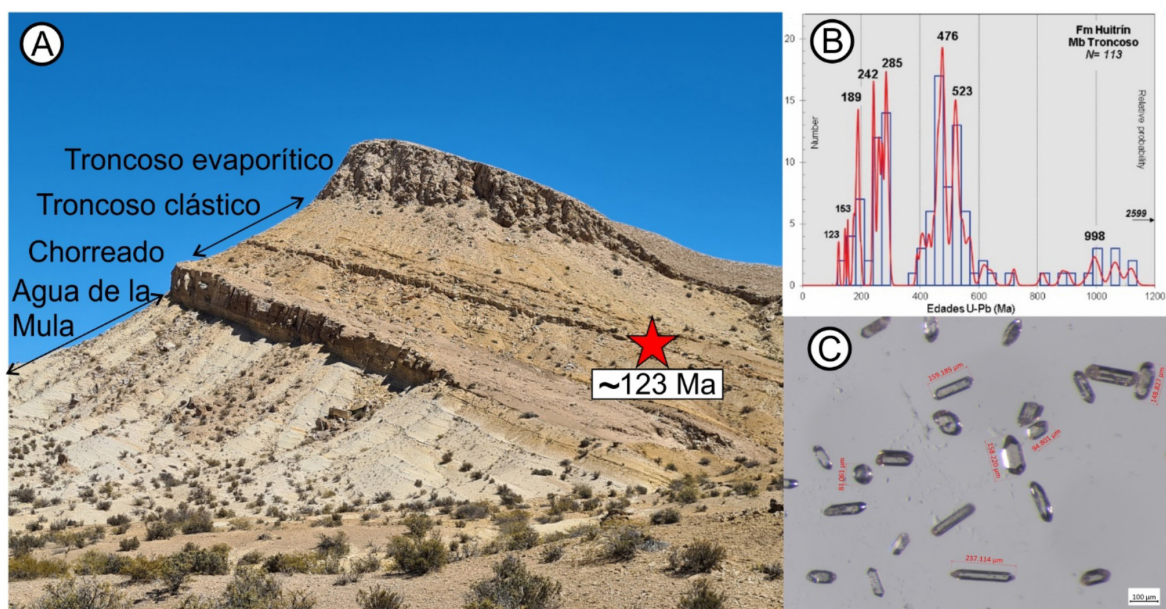


Figura 3. A, Afloramientos de las Formaciones Agrio y Huitrín en las cercanías del puesto Agua de Cabrera, sierra de Cara Cura, Mendoza, con indicación del nivel muestreado del Miembro Troncoso inferior clástico. B, Histograma y curvas de frecuencia relativa de las edades U-Pb de la muestra analizada del Miembro Troncoso inferior. C, Imagen de algunos de los circones analizados (véase Naipauer *et al.* 2022).

Las regiones analizadas hasta el momento incluyen gran parte del centro-norte de Neuquén (Caepe Malal, Puerta Curaco, Pichi Neuquén, Mina La Continental, Arroyo Coihueco, Agua de la Mula, Agrío del Medio, Bajada del Agrío, Bajada Vieja, Mina km 34) y el sur de Mendoza (Sierra de la Cara Cura y Ranquil 1).

A partir del hallazgo de foraminíferos bentónicos, ostrácodos, bivalvos cavadores, tubos de serpúlidos y gastrópodos en secciones situadas en el sector centro-norte de la provincia de Neuquén se ha inferido para el Miembro La Tosca un ambiente marino marginal somero, sujeto a variaciones en la salinidad y que en ocasiones señalaría cambios en la energía y registraría, al menos en forma temporaria, un importante estrés ambiental (Ballent *et al.* 2006). Esta información es coincidente con los análisis de microfacies realizados por Cabaleri y Armella (1993) en afloramientos del Miembro La Tosca en un área próxima a Zapala. Posteriormente, sobre la base de la fauna de bivalvos hallada en diez localidades donde afloran las sedimentitas del Miembro La Tosca en Neuquén, se advirtió que dichos moluscos presentan afinidades marinas y no de agua dulce como previamente se había sostenido (Lazo y Damborenea 2011).

A partir del trabajo de Lazo *et al.* (2015) se dieron a conocer las macrofaunas bentónicas de nuevas secciones (Quebrada del Gastrópodo y Ranquil 1) iniciando una serie de estudios paleontológicos del Miembro La Tosca en el sur de Mendoza. Es en una de estas localidades donde se destaca el primer registro de nanofósiles calcáreos (Lescano *et al.* 2015) (Fig. 4).

Lazo *et al.* (2017) realizaron un análisis de las controversias paleontológicas asociadas a esta unidad y describieron el recorrido histórico del estudio de los invertebrados fósiles del Miembro La Tosca sobre la base de una exhaustiva revisión bibliográfica. Los autores señalaron que algunas de las controversias paleontológicas mencionadas se deben a determinaciones taxonómicas erróneas, con consecuentes equivocaciones en la interpretación paleoambiental, o bien, confusión en la procedencia del material asignado a diferentes unidades litoestratigráficas. Además, reconocieron la presencia de bivalvos, gastrópodos, serpúlidos y briozoos en las mencionadas localidades del sur de Mendoza, que incluyen el primer registro de trigonias y briozoos cyclostomados, concluyendo que la composición taxonómica y la abundancia relativa de la fauna difieren fuertemente de aquellas localidades situadas en Neuquén, donde los bivalvos son mucho más abundantes y diversos que los gastrópodos, y están ausentes las trigonias y los serpúlidos.

Los foraminíferos bentónicos de la sección Quebrada del Gastrópodo fueron dados a conocer en Caramés *et al.* (2019), mientras que Cataldo *et al.* (2019) analizaron la abundante fauna macrobentónica de las secciones Quebrada del Gastrópodo y Ranquil 1, escasa o ausente en los afloramientos de Neuquén. En este último trabajo se proporcionaron revisiones y descripciones de nuevas especies de gastrópodos, bivalvos y serpúlidos. Asimismo, con el fin de evaluar los cambios observados en el contenido faunístico, se realizó un análisis paleoecológico combinando estimaciones de diversidad y se evaluó la paleoautoecología de la fauna, diferenciándose tres asociaciones macrobentónicas. Los autores sugieren una reducción del estrés ambiental de

base a techo y mientras que las dos primeras asociaciones indicarían ambientes con parámetros fluctuantes, la tercera sugeriría una mayor estabilidad. Los taxones eurihalinos dominan sobre los estenohalinos, que son escasos o no son reconocidos en los dos tercios inferiores de la sucesión estratigráfica. El estrés ambiental se vincularía con variaciones de salinidad de alta frecuencia, especialmente para las dos primeras asociaciones en los cuales se postulan desviaciones temporales del régimen eurihalino hacia condiciones meso-braquihalinas y braquihalinas.

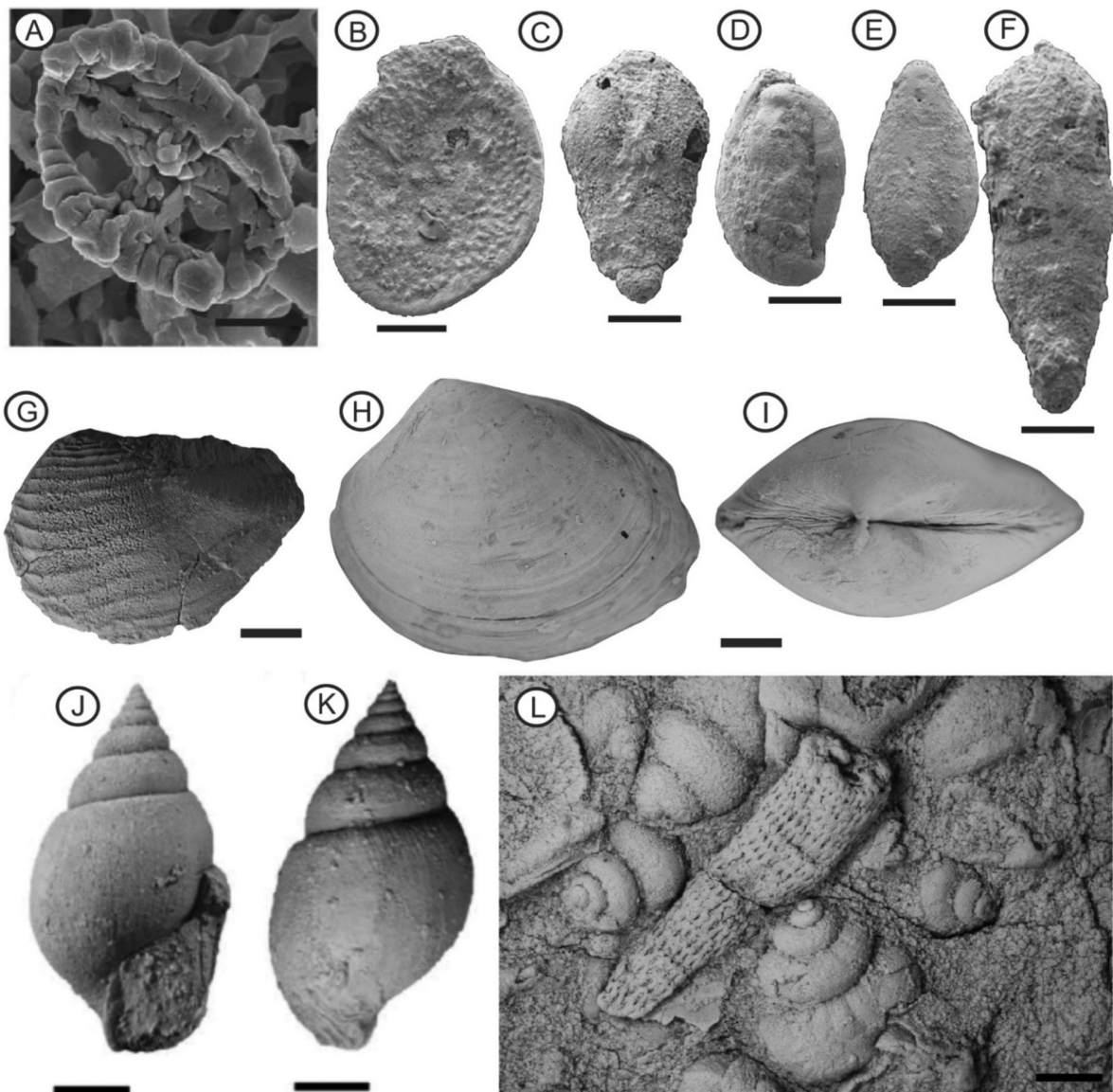


Figura 4. Nano, micro y megafósiles del Miembro La Tosca. A. Nanofósil calcáreo: *Diloma galiciense* Bergen, imagen SEM, escala 1 μ m. B-F, Foraminíferos: B, *Patellina subcretacea* Cushman y Alexander. C, *Lingulina* cf. *loryi* (Berthelin). D, *Quinqueloculina* sp. E, *Eoguttulina anglica* Cushman y Ozawa. F, *Lingulina* sp., escalas 100 μ m. G-I: Bivalvos: G, *Rutitrigonia cintarojensis* Cataldo *et al.* H-I, *Argenticyprina mulensis* Lazo y Damborenea. escalas 5 mm. J-L: Gastrópodos: J-K, *Paleoanculosa macrochilinoides* (Doello Jurado), escalas 5 mm. L, *Provalvata minor* Cataldo *et al.* junto a un fragmento de briozoo, escala 1 mm (para más detalles véase Cataldo *et al.* 2019; Lazo y Damborenea 2011; Lescano *et al.* 2021).

Recientemente, Lescano *et al.* (2021) describieron en detalle los nanofósiles calcáreos y foraminíferos encontrados en las dos secciones de Mendoza previamente mencionadas. Sobre la base de este estudio, y en particular por la presencia de *Diloma galiciense* se acotó la edad del Miembro La Tosca al Barremiano temprano. Además, teniendo en cuenta un conjunto de foraminíferos bentónicos calcáreos hallados en un nivel de margas de la sección Quebrada del Gastrópodo se interpretó un paleoambiente de rampa interna-media de alta energía, aguas superficiales mesotróficas, agua de fondo con cantidades suficientes de oxígeno que permitieron la existencia de foraminíferos epifaunales, infaunales potencialmente profundos e infaunales someros, y un nivel redox cercano a la interfaz agua-sedimento. Considerando la interpretación ambiental previa para esta facies como un lagoon marino de baja energía, y que los foraminíferos exhiben señales de abrasión y rotura de las últimas cámaras que apuntarían a un transporte lateral, el escenario mencionado no correspondería a un ambiente completamente restringido, sino que habría existido alguna comunicación con el ambiente marino normal abierto.

La ausencia de otros fósiles guías típicos del Cretácico, tales como amonoideos o inocerámidos, conjuntamente con la carencia de dataciones absolutas en esta unidad, impiden definir con precisión la edad de la regresión final del Océano Pacífico en la cuenca. Sin embargo, la presencia de nanofósiles biomarcadores permite inferir que hasta el Barremiano temprano habría persistido una conexión con el Paleo-Pacífico. Futuros estudios que incorporen nuevas secciones del Miembro La Tosca, especialmente en Mendoza, permitirán avanzar y comprender mejor las variaciones que presenta la unidad en términos de facies y contenido paleontológico, a la vez que facilitarán una reconstrucción paleoambiental de mayor fidelidad de esta importante unidad marina de la cuenca Neuquina.

Miembro Salina y Formación Rayoso: Estas unidades no se tratan en esta contribución a la espera de datos en proceso por nuestro grupo de trabajo y quedan para futuras actualizaciones.

CONCLUSIONES

Esta síntesis del ciclo Ándico presentó las novedades geocronológicas relacionadas con sus diferentes unidades. Estas edades U-Pb en circones mediante diferentes métodos han permitido datar con precisión las secuencias, en especial el límite entre las Formaciones Tordillo y Vaca Muerta en 147 y 146 Ma; la Formación Agrío que queda comprendida entre 132 y 126 Ma, y el Miembro Troncoso de la Formación Huitrín con una edad de 123 Ma, complementadas mediante estudios bioestratigráficos y astrocronológicos. La edad barremiana de esta unidad se ve parcialmente corroborada por los fósiles indudablemente marinos del Miembro La Tosca con trigónidos y foraminíferos y con nanofósiles barremianos tempranos. Las conexiones pacíficas

han permanecido hasta la depositación de la Formación Huitrín. Nuevas investigaciones que actualmente se encuentran en proceso en el Grupo Bajada del Agrío permitirán obtener precisiones sobre estas correlaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Pedro Kress la posibilidad de presentar este trabajo en la sección Estratigrafía y Análisis de Cuencas, al Dr. Ernesto Schwarz por su labor editorial y a los revisores Luis Spalletti y Carlos Arregui por sus valiosos comentarios. Esta es la contribución C-189 del Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber.

REFERENCIAS CITADAS

- Aguirre-Urreta, M.B. y Rawson, P.F., 1997. The ammonite sequence in the Agrío Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina. *Geological Magazine* 134, p. 449-458.
- Aguirre-Urreta, M.B., Rawson, P.F., Concheyro, G.A., Bown, P.R. y Ottone, E.G., 2005. Lower Cretaceous Biostratigraphy of the Neuquén Basin. En Veiga, G.D. *et al.* (eds.), *The Neuquén basin: a case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. Geological Society London, Special Publication 252, p. 57-81.
- Aguirre-Urreta, B., Lescano, M., Schmitz, M.D., Tunik, M., Concheyro, A., Rawson, P.F. y Ramos, V.A., 2015. Filling the gap: new precise Early Cretaceous radioisotopic ages from the Andes. *Geological Magazine* 152, p. 557-564.
- Aguirre-Urreta, B., Schmitz, M., Lescano, M., Tunik, M., Rawson, P.F., Concheyro, A., Buhler, M. y Ramos, V.A., 2017. A high precision U-Pb radioisotopic age for the Agrío Formation, Neuquén Basin, Argentina: implications for the chronology of the Hauterivian Stage. *Cretaceous Research* 75, p. 193-204.
- Aguirre-Urreta, B., Naipauer, M., Lescano, M., López-Martínez, R., Pujana, I., Vennari, V., Concheyro, A., De Lena, L.F. y Ramos, V.A., 2019a. The Tithonian chrono-biostratigraphy of the Neuquén Basin and related Andean areas: a review and update. *Journal of South American Earth Sciences* 92, p. 350-367.
- Aguirre-Urreta, B., Martinez, M., Schmitz, M., Lescano, M., Omarini, J., Tunik, M., Kuhnert, H., Concheyro, A., Rawson, P.F., Ramos, V.A., Reboulet, S., Noclin, N., Frederichs, T., Nickl, A.-L. y Pálike, H., 2019b. Interhemispheric radio-astrochronological calibration of the time scales from the Andean and the Tethyan areas in the Valanginian–Hauterivian (Early Cretaceous). *Gondwana Research* 70, p. 104-132.
- Alberti, M., Parent, H., Garrido, A.C., Andersen, N., Garbe-Schönberg, D. y Danise, S., 2020. Stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) and element ratios (Mg/Ca, Sr/Ca) of Jurassic belemnites, bivalves and brachiopods from the Neuquén Basin (Argentina): challenges and opportunities for palaeoenvironmental reconstructions. *Journal of the Geological Society* 178, JGS2020-163.

- Andrada, A.M., Bressan, G.S. y Lazo, D.G., 2020. Taxonomic analysis of decapod-bearing concretions and their associated trace fossils from the Agrio Formation (Lower Cretaceous, Neuquén Basin), with paleobiological implications for axiid shrimps. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 77, p. 366-383.
- Andrada, A.M., Lazo, D.G., Bressan, G.S. y Aguirre-Urreta, M.B., 2021. Revision of the genus *Protaxius* (Decapoda, Axiidea, Axiidae), with description of a new species from the Lower Cretaceous of west-central Argentina. *Cretaceous Research* 130, 105053.
- Argüello Scotti, A. y Veiga, G.D., 2015. Morphological characterization of an exceptionally preserved eolian system: The Cretaceous Troncoso Inferior Member in the Neuquén Basin (Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 22, p. 29-46.
- Ballent, S., Lazo, D.G., Pazos, P.J. y Concheyro, A., 2006. Avances en la paleontología del Miembro La Tosca de la Formación Huitrín (Cretácico Inferior), Cuenca Neuquina, Argentina. 9º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía (Córdoba), Actas, p. 213.
- Bralower, T.J., Monechi, S. y Thierstein, H.R., 1989. Calcareous nannofossil zonation of the Jurassic-Cretaceous boundary interval and correlation with the geomagnetic polarity timescale. *Marine Micropaleontology* 14, p. 153-235.
- Buatois, L. y Echevarría, C., 2019. Ichnofabrics from a Cretaceous eolian system of western Argentina: expanding the application of core ichnology to desert environments. *Palaios* 34, p. 190-211.
- Cabaleri, N. y Armella, C., 1993. Microfacies y modelo deposicional del miembro La Tosca (Albiano), Formación Huitrín, en el área de Pampa de la Cueva y cerro Campana, Zapala, provincia del Neuquén. 12º Congreso Geológico Argentino, 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1, p. 241-248.
- Campos, L., Fernández, M.S., Herrera, Y. y Garrido A., 2021. Morphological disparity in the evolution of the ophthalmosaurid forefin: new clues from the Upper Jurassic of Argentina, *Papers in Palaeontology* 7, p. 1995-2020.
- Capelli, I.A., Scasso, R.A., Spangenberg, J.E., Kietzmann, D.A., Cravero, F., Duperrón, M. y Adatte, T., 2021. Mineralogy and geochemistry of deeply-buried marine sediments of the Vaca Muerta-Quintuco system in the Neuquén Basin (Chacay Melehue section), Argentina: Paleoclimatic and paleoenvironmental implications for the global Tithonian-Valanginian reconstructions, *Journal of South American Earth Sciences* 107, 103103.
- Caramés, A., Cataldo, C.S., Lazo, D.G., Luci, L., Lescano, M. y Aguirre-Urreta, M.B., 2019. Nuevos hallazgos de foraminíferos bentónicos en el Miembro La Tosca de la Formación Huitrín (Barremiano, Cuenca Neuquina) en el sur de Mendoza y su significado paleoambiental. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 19R, p. R39.
- Casellato, C.E. y Erba, E., 2021. Reliability of calcareous nannofossil events in the Tithonian-early Berriasian time interval: Implications for a revised high-resolution zonation. *Cretaceous Research* 117, 104611.
- Cataldo, C.S., 2017. New records of marine gastropods from the Lower Cretaceous of west-central Argentina. *Ameghiniana* 54, p. 405-440.

- Cataldo, C.S. y Lazo, D.G., 2016. Taxonomy and paleoecology of a new gastropod fauna from dysoxic outer ramp facies of the Lower Cretaceous Agrio Formation, Neuquén Basin, west-central Argentina. *Cretaceous Research* 57, p. 165-189.
- Cataldo, C.S. y Vennari, V.V., 2021. Nuevos datos sobre la fauna de gastrópodos tithoniano-berriasianos de la Formación Vaca Muerta en el sur de Mendoza. 12° Congreso de la Asociación Paleontológica Argentina (Buenos Aires), Resúmenes, R144.
- Cataldo, C., Lazo, D.G., Luci, L. y Aguirre-Urreta, B., 2019. New Barremian macroinvertebrates associations from the Huitrín Formation, Mendoza Province (Argentina) and their paleoecological implications. *Ameghiniana* 56, p. 441-470.
- Charrier, R., Pinto, L. y Rodríguez, M., 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En Gibbonds, W. y Moreno, T. (eds.), *The Geology of Chile*. Geological Society London, Special Publication, pp. 21-116.
- Comerio, M., Fernández, D.E. y Pazos, P.J., 2018. Sedimentological and ichnological characterization of muddy storm related deposits: The upper Hauterivian ramp of the Agrio Formation in the Neuquén Basin, Argentina. *Cretaceous Research* 85, p. 78-94.
- Comerio, M., Fernández, D.E., Gutiérrez, Ballivián Justiniano, C., González Estebenet, M.C. y Pazos, P.J., 2019. Sedimentary evolution of the marine Agua de la Mula Member (Agrio Formation, Lower Cretaceous) in the central Neuquén Basin: Source areas and paleogeographic considerations from a distal setting. *Journal of South American Earth Sciences* 96, 102259.
- Comerio, M., Fernández, D.E., Rendtorff, N., Cipollone, M., Zalba, P.E. y Pazos, P.J. 2020. Depositional and postdepositional processes of an oil-shale analog at the microstructure scale: The Lower Cretaceous Agrio Formation, Neuquén Basin, northern Patagonia. *AAPG Bulletin* 104, p. 1679-1705.
- Concheyro, A.G., Angelozzi, G. y Ronchi, D., 2007. Microfósiles calcáreos del límite Jurásico-Cretácico de la cuenca Neuquina, 3° Simposio Argentino Jurásico, Ameghiniana (suplemento resúmenes) 44, p. 55R.
- Coria, R., Currie, P., Ortega, F. y Baiano, M., 2020. An Early Cretaceous, medium-sized carcharodontosaurid theropod (Dinosauria, Saurischia) from the Mulichinco Formation (upper Valanginian), Neuquén Province, Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research* 111, 104319.
- Damborenea, S.E. y Leanza, H., 2016. Huncalotis, an enigmatic new pectinoid genus (Bivalvia, Late Jurassic) from South America, *Paläontologische Zeitschrift* 2016, p. 1-20.
- Desjardins, P., Leanza, H., Fantín, M., Kietzmann, D., Marchal, D., Reijenstein, H., González Tomassini, F., Rodríguez Schelotto, M., Domínguez, R., Wegner, R. y Vallejo, M., 2017. Geología de la Formación Vaca Muerta, 20° Congreso Geológico Argentino (San Miguel de Tucumán), Simposio 5, p. 1-190.
- Echevarría, J., Damborenea, S.E. y Manceñido, M.O., 2012. Palaeodemecological Analysis of infaunal bivalves "Lebensspuren" from the Mulichinco Formation, Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina. *Ameghiniana* 49, p. 47-59.
- Espinoza, D.N., 2020. Geomechanical properties of the Vaca Muerta Formation. 2° International Conference on Energy Geotechnics, E3S Web of Conferences, Volumen 205, artículo 03013, p. 1-5.

- Fernández, D.E. y Pazos, P.J., 2015. Ichnological research in Lower Cretaceous marginal-marine facies from Patagonia: outcrop studies, SEM examinations and paleontological/sedimentological integration. *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaontologie-Abhandlungen* 277, p. 177-188.
- Fernández, D.E., Comerio, M. y Pazos, P.J., 2018. Nereites in Lower Cretaceous marginal-marine facies from Patagonia: Ichnotaxonomic and ethological implications. *Cretaceous Research* 81, p. 51-63.
- Fernández, D.E., Comerio, M., Giachetti, L.M., Pazos, P.J. y Wetzel, A., 2019b. Asteroid trace fossils from Lower Cretaceous shallow-to marginal-marine deposits in Patagonia. *Cretaceous Research* 93, p.120-128.
- Fernández, D.E., Giachetti, L.M., Stöhr, S., Thuy, B., Pérez, D.E., Comerio, M. y Pazos, P.J., 2019a. Brittle stars from the Lower Cretaceous of Patagonia: first ophiuroid articulated remains for the Mesozoic of South America. *Andean Geology* 46, p. 421-432.
- Fernández, M.S., Herrera, Y., Vennari, V.V., Campos, L., de la Fuente, M., Talevi, M. y Aguirre-Urreta, B., 2019. Marine reptiles from the Jurassic/Cretaceous transition at the High Andes, Mendoza, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 92, p. 658-673.
- Fernández Badessich, M., Hryb, D.E., Suarez, M., Mosse, L., Palermo, N., Pichon, S. y Reynolds, L., 2016. Vaca Muerta shale - Taming a giant. *Oilfield Review* 28, p. 26-39.
- Gabrielle, N.A., 2016. Evapofacies del Miembro Troncoso Superior de la Formación Huitrín (Cretácico Inferior, Cuenca Neuquina, Argentina): paleoambientes, evolución y controles. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 23, p. 35-69.
- Garberoglio, R.M., Löser, H. y Lazo, D.G., 2020. Lower Cretaceous corals from the Agrio Formation, Neuquén Basin, west-central Argentina: Family Actinastreaeidae. *Cretaceous Research* 114, 104503.
- Garberoglio, R.M., Löser, H. y Lazo, D.G., 2021. Lower Cretaceous corals from the Agrio Formation, Neuquén Basin, west-central Argentina: Family Columastraeeidae. *Cretaceous Research* 124, 104817.
- Garberoglio, R.M., Löser, H. y Lazo, D.G., 2022. Lower Cretaceous corals from the Agrio Formation, Neuquén Basin, west-central Argentina: Families Latomeandridae, Madreporidae, Thamnasteriidae, and Holocoenia Group. *Cretaceous Research* 135, 105195.
- Gasparini, Z. y Fernández, M.S., 2011. Reptiles marinos mesozoicos. En Leanza, H.A. *et al.* (eds.), *Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina*, pp. 529-538.
- Gasparini, Z., Fernández, M., de la Fuente, M., Herrera, Y., Cordoniu, L. y Garrido, A., 2015, Reptiles from lithographic limestones of the Los Catutos Member (middle-upper Tithonian), Neuquén Province, Argentina: an essay on its taxonomic composition and preservation in an environmental and geographic context. *Ameghiniana* 52, p.1-28.
- Giachetti, L.M., Fernández, D.E. y Comerio, M., 2020. Analysis of Asteriacites von Schlotheim 1820 from Mulichinco Formation (Lower Cretaceous, Neuquén Basin) and ichnotaxonomic implications. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 77, p. 384-401.
- Gnaedinger, S., Coria, R., Koppelhus, E., Casadío, S., Tunik, M. y Currie, P., 2017. First Lower Cretaceous record of Podocarpaceae wood associated with dinosaur remains from Patagonia, Neuquén Province, Argentina. *Cretaceous Research* 78, p. 228-239.

- Gómez Dacal, A.R., Gómez Peral, L.E., Spalletti, L.A., Sial, A.N., Siccardi, A. y Poiré, D.G., 2018. First record of the Valanginian positive carbon isotope anomaly in the Mendoza shelf, Neuquén Basin, Argentina: Palaeoclimatic implications. *Andean Geology* 45, p.111-129.
- Gómez Figueroa, J., Monardez, Ch. y Balod, M. 2011. El Miembro Troncoso Superior de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En Leanza, H.A. *et al.* (eds.), Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina, pp. 189-198.
- González, G., Vallejo, D., Kietzmann, D.A., Marchal, D., Desjardins, P., Gonzalez Tomassini, F., Gomez Rivarola, L. y Dominguez, F., 2016. Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta, Integración de sísmica, registros de pozos, coronas y afloramientos. IAPG-AGA, 252 pp.
- Gouiric-Cavalli, S. y Arratia, G., 2022. A new †Pachycormiformes (Actinopterygii) from the Upper Jurassic of Gondwana sheds light on the evolutionary history of the group. *Journal of Systematic Palaeontology*, DOI: 10.1080/14772019.2022.2049382
- Gouiric-Cavalli, S. y Cione, A.L., 2015. Fish faunas from the Late Jurassic (Tithonian) Vaca Muerta Formation of Argentina: one of the most important Jurassic marine ichthyofaunas of Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 63, p. 114-124.
- Gouiric-Cavalli, S., Cione, A.L., Lazo, D.G., Cataldo, C.S. y Aguirre-Urreta, M.B., 2018. First record of elasmobranchs of the Lower Cretaceous of Argentina (Neuquén Basin). *Cretaceous Research* 81, p. 1-8.
- Gouiric-Cavalli, S., Remírez, M. y Kriwet, J., 2019. New pycnodontiform fishes (Actinopterygii, Neopterygii) from the Early Cretaceous of the Argentinian Patagonia. *Cretaceous Research* 94, p. 45-58.
- Gradstein, F.M, Ogg, J.G., Schmitz, M.D. y Ogg, G.M., 2020. *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier, 1357 pp.
- Groeber, P., 1929. Líneas fundamentales de la geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dirección Nacional de Geología y Minería, Publicación 58, p. 1-109.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70, 1, Hoja Chos Malal. *Revista de la Sociedad Geológica Argentina* 1, p. 177-208.
- Groeber, P., Stipanovic, P.N. y Mingramm, A.G., 1953. Jurásico. En *Geografía de la Argentina*. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA 2, p. 143-347.
- Gulisano, C.A., 1988. Análisis estratigráfico y sedimentológico de la Formación Tordillo en el oeste de la provincia del Neuquén, Cuenca Neuquina, Argentina. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (inédita), 119 p.
- Gulisano, C.A., Gutierrez Pleimling, A.R., y Digregorio, R.E., 1984. Análisis estratigráfico del intervalo Tithoniano-Valanginiano (Formaciones Vaca Muerta, Quintuco y Mulichinco) en el suroeste de la provincia de Neuquén. IX Congreso Geológico Argentino (Bariloche), Actas 1, p. 221-235.
- Gutiérrez Pleimling, A., Olea, G. Suárez, M. y Valenzuela, M., 2011. El Miembro Chorreado de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En Leanza, H.A. *et al.* (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*, Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina, pp.175-180.

- Herrera, Y., Fernández, M.S. y Vennari, V.V., 2021. *Cricosaurus* (Thalattosuchia, Metriorhynchidae) survival across the J/K boundary in the High Andes (Mendoza Province, Argentina). *Cretaceous Research* 118, 104673.
- Horton, B.K., Fuentes, F., Boll, A., Starck, D., Ramirez, S.G. y Stockli, D.F., 2016. Andean stratigraphic record of the transition from backarc extension to orogenic shortening: A case study from the northern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 71, p. 17-40.
- Iñigo, J.F.P., Pazos, P.J., Novara, M.E. y Comerio, M., 2019. The Lower Cretaceous Centenario Formation: A subsurface unit in the northeastern border of the Neuquén Basin revisited. *Journal of South American Earth Sciences* 92, p. 598-608.
- Kietzmann, D.A., 2017. Chitinoidellids from the Tithonian-Valanginian Vaca Muerta Formation, Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 76, p. 152-164.
- Kietzmann, D.A. y Paulin, S.M., 2019. Cyclostratigraphy of an upper Valanginian - lower Hauterivian mixed siliciclastic-carbonate ramp succession (Pilmatué Member of the Agrio Formation), Loma La Torre section, northern Neuquén Basin, Argentina. *Cretaceous Research* 98, p. 26-46.
- Kietzmann, D.A. y Olivo, M.S. 2020. *Palaxius chomalalensis* n. sp., a new crustacean microcoprolite from the Lower Cretaceous of Argentina and new criteria for the classification of *Palaxius* ichnospecies. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 77, p. 353-365.
- Kietzmann, D., Martín Chivelet, J., Palma, R., López Gómez, J., Lescano, M. y Concheyro, A., 2011. Evidence of precessional and eccentricity orbital cycles in a Tithonian source rock: the mid-outer carbonate ramp of the Vaca Muerta Formation, northern Neuquén Basin, Argentina. *AAPG Bulletin* 95, p. 1459-1474.
- Kietzmann, D.A., Palma, R.M. e Iglesia Llanos, M.P., 2015. Cyclostratigraphy of an orbitally-driven Tithonian-Valanginian carbonate ramp succession, Southern Mendoza, Argentina: Implications for the Jurassic-Cretaceous boundary in the Neuquén Basin. *Sedimentary Geology* 315, p. 29-46.
- Kietzmann, D.A., Iglesia-Llanos, M.P. y Kohan Martínez, M., 2018. Astronomical calibration of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous in the Neuquén Basin, Argentina: a contribution from the Southern Hemisphere to the Geologic Time Scale. En Montenari, M. (ed.), *Stratigraphy & Timescales* 3. Elsevier, pp. 328-355.
- Kietzmann, D.A., Iglesia Llanos, M.P., Tomassini, F.G., Noguera, I.L., Vallejo, D. y Reijenstein, H., 2021. Upper Jurassic-Lower Cretaceous calpionellid zones in the Neuquén Basin (Southern Andes, Argentina): correlation with ammonite zones and biostratigraphic synthesis. *Cretaceous Research* 127, 104950.
- Lanz, M., Azmy, K., Cesaretti, N. y Fortunatti, N., 2020. Diagenesis of the Vaca Muerta Formation, Neuquén Basin: evidence from petrography, microthermometry and geochemistry. *Marine and Petroleum Geology* 124, 104769.
- Lazo, D.G., Bressan, G.S., Schwarz, E. y Veiga, G.D., 2020. First articulated stalked crinoids from the Mesozoic of South America: two new species from the Lower Cretaceous of the Neuquén Basin, west-central Argentina. *Journal of Paleontology* 94, p. 716-733.
- Lazo, D.G. y Damborenea, S.E., 2011. Barremian bivalves from the Huitrín Formation, west central Argentina: taxonomy and paleoecology of a restricted marine association. *Journal of Paleontology* 85, p. 721-749.

- Lazo, D.G., Cataldo, C.S., Luci, L. y Aguirre-Urreta, M.B., 2015. Quebrada del Gastrópodo: una nueva localidad fosilífera del Miembro La Tosca de la Formación Huitrín en la Sierra de Cara Cura, Mendoza. Reunión de Comunicaciones de la APA (Mar del Plata), Actas, p. 2.
- Lazo, D.G., Cataldo, C.S., Luci, L., Vennari, V., Toscano, A.G., Aguirre-Urreta, M.B., 2016. Macrofaunas bentónicas del Berriasiano-Valanginiano inferior de la Sierra de Cara Cura, Mendoza. 11° Congreso de la Asociación Paleontológica Argentina (Roca), Ameghiniana 54 (4R), p. 30.
- Lazo, D.G., Cataldo, C.S., Luci, L. y Aguirre-Urreta, B., 2017. Groeber y los invertebrados fósiles del Miembro La Tosca, Cretácico Inferior de la Cuenca Neuquina: una historia de controversias paleontológicas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 74, p. 19-39.
- Lazo, D.G., Talevi, M., Cataldo, C.S., Aguirre-Urreta, M.B. y Fernández, M.S., 2018. Description of ichthyosaur remains from the Lower Cretaceous Agrio Formation (Neuquén Basin, west-central Argentina) and their paleobiological implications. Cretaceous Research 89, p. 8-21.
- Leanza, H.A., 1992. Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a los Movimientos Intermálmicos en la comarca del Cerro Chachil, provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 45, p. 272-299.
- Leanza, H.A., 2003. Las sedimentitas huitrinianas y rayosianas (Cretácico inferior) en el ámbito central y meridional de la cuenca Neuquina, Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Serie de Contribuciones Técnicas - Geología 2, p. 1-31.
- Leanza, H.A. y Hugo, C.A., 2001. Hoja Geológica Zapala, Hoja 3969-I. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín, p. 1-128.
- Leanza, H.A., Vennari, V.V., Aguirre-Urreta, B., Concheyro, A., Lescano, M., Ivanova, D., Kietzmann, D.A., López-Martínez, R., Martz, P.A., Paolillo, M.A., Guler, V., Pujana, I. y Paz, M., 2020. Relevant marine paleobiological markers of the Vaca Muerta Formation. AAPG Memoir 121, p. 61-98.
- Legarreta, L., 1985. Análisis estratigráfico de la Formación Huitrín (Cretácico Inferior). Provincia de Mendoza. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Buenos Aires, 197 pp. Inédita.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A., 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior, Argentina). En Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.), Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica 6, pp. 221-243.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A., 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. En Caminos, R. (ed.), Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29, p. 399-432.
- Legarreta, L. y Villar, H.J., 2015. The Vaca Muerta Formation (Late Jurassic - Early Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina: Sequences, Facies and Source Rock Characteristics. URTEC 2015, p. 1-15, Texas.
- Lena, L., López-Martínez, R., Lescano, M., Aguirre-Urreta, B., Concheyro, A., Vennari, V., Naipauer, M., Samankassou, E., Pimentel, M., Ramos, V.A. y Schaltegger, U., 2019. High-precision U-Pb ages in the early Tithonian to early Berriasian and implications for the numerical age of the Jurassic-Cretaceous boundary. Solid Earth 10, p. 1-14.
- Lescano, M. y Concheyro, A., 2014. Nanocónidos del Grupo Mendoza (Cretácico Inferior) en la Pro-

- vincia del Neuquén, República Argentina: Taxonomía, Cronoestratigrafía e Implicancias Paleogeográficas, *Ameghiniana* 51, p. 466-499.
- Lescano, M.A., Lazo, D.G., Cataldo, C.S., Aguirre-Urreta, M.B. y Concheyro, A., 2015. Primer hallazgo de nanofósiles calcáreos en el Miembro La Tosca, Formación Huitrín, Sierra de Cara Cura, Mendoza. Reunión de Comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina (Mar del Plata), Resúmenes, p. 71-72.
- Lescano, M.A., Caramés, A. Concheyro, A., Cataldo, C.S., Lazo, D.G., Luci, L. y Aguirre-Urreta, M.B., 2021. Early Cretaceous calcareous nannofossils and foraminifera from the Huitrín Formation (La Tosca Member), Neuquén Basin, Argentina, and their biostratigraphic and paleoecological implications. *Journal of South American Earth Sciences* 112, 103538
- López-Gómez, J., Martín Chivelet, J. y Palma Durán, R., 2009. Architecture and development of the alluvial sediments of the Upper Jurassic Tordillo Formation in the Cañada Ancha Valley, northern Neuquén Basin, Argentina. *Sedimentary Geology* 219, p. 180-195.
- López-Martínez, R., Aguirre-Urreta, B., Lescano, M., Concheyro, A., Vennari, V. y Ramos, V.A., 2017. Tethyan calpionellids in the Neuquén Basin (Argentine Andes), their significance in defining the Jurassic/Cretaceous boundary and pathways for Tethyan-Eastern Pacific connections. *Journal of South American Earth Sciences* 78, p. 1-10.
- Luci, L. y Lazo, D.G., 2012. The genus *Steinmanella* Crickmay (Bivalvia) in the transition between the Vaca Muerta and Mulichinco formations, early Valanginian. Neuquén Basin, Argentina. *Ameghiniana* 49, 96-117.
- Luci, L. y Lazo, D.G., 2015. Living on an island: characterization of the encrusting fauna of large pectinid bivalves from the Lower Cretaceous of the Neuquén Basin, west-central Argentina. *Lethaia* 48, p. 205-226.
- Luci, L., Toscano, A.G. y Lazo, D.G., 2019. Palaeoecological analysis of a sclerobiont fauna on a single basibiont across the Valanginian of the Neuquén Basin, west-central Argentina. *Lethaia* 52, p. 523-549.
- Luci, L., Garberoglio, R.M., Lazo, D.G. y Manceñido, M.O., 2021. Sclerobionts on soft-bottom, free-living *Stylomaeandra* Fromentel corals from the Lower Cretaceous Agrio Formation, Neuquén Basin, Argentina: paleobiological. implications for umbrella-shaped colonies. *Historical Biology* 33, p. 3542-3560.
- Marchal, D., Domínguez, R. F., Leanza, H. A. y Kietzmann, D., 2018. Geología de la Formación Vaca Muerta, *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75, p. 175-295.
- Marchese, H.G., 1971. Litoestratigrafía y variaciones faciales de las sedimentitas mesozoicas de la Cuenca Neuquina, Prov. de Neuquén, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26, p. 343-410
- Marin, L.S., Vennari, V.V., Lescano, M., Aguirre-Urreta, B., 2022. First record of *Bochianites* *neocomiensis* (D'Orbigny) in Argentina and associated calcareous nannofossils bioevents: strengthening the early Valanginian correlation of the Andes with the Mediterranean Tethys, 11° Cretaceous Symposium, Varsovia.
- Marin, L.S., Vennari, V.V. y Aguirre-Urreta, B., 2021. El género *Cuyaniceras* (Ammonoidea, Neocomitidae) en la cuenca Neuquina: análisis de la variabilidad intraespecífica y el dimorfismo sexual.

- Publicación Electrónica de la APA 22, R1, p. R148-R149.
- Martínez, L. y Olivo, M., 2015. Tempskyia in the Valanginian of South America (Mulichinco Formation, Neuquén Basin, Argentina) – Systematics, palaeoclimatology and palaeoecology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 219, p. 116-131.
- Mescua, J.F., Giambiagi, L.B. y Bechis, F., 2008. Evidencias de tectónica extensional en el Jurásico Tardío (Kimmeridgiano) del suroeste de la provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63, p. 512-519.
- Milla Carmona, P.S., Lazo, D.G. y Soto, I., 2016. Giving taxonomic significance to morphological variability in the bivalve *Ptychomya Agassiz*. *Palaeontology* 59, p. 139-154.
- Milla Carmona, P.S., Lazo, D.G. y Soto, I., 2017. Taxonomy of the bivalve *Ptychomya* in the Lower Cretaceous of the Neuquén Basin (west-central Argentina). *Papers in Palaeontology* 3, p. 219-240.
- Milla Carmona, P.S., Lazo, D.G. y Soto, I., 2018. Morphological evolution of the bivalve *Ptychomya* through the Lower Cretaceous of Argentina. *Paleobiology* 44, p. 1-17.
- Milla Carmona, P.S., Lazo, D.G. y Soto, I., 2022. Ontogeny in the steinmanellines (*Bivalvia*: *Trigoniida*): an intra- and interspecific appraisal using the Early Cretaceous faunas from the Neuquén Basin as a case study. *Paleobiology* 48, p. 261-283.
- Minisini, D., Fantín, M., Lanusse Noguera, I. y Leanza, H.A., 2020. Integrated geology of unconventional: The case of the Vaca Muerta Play, Argentina. *AAPG Memoir* 121, pp. 5-54.
- Moore, S.A., Birgenheier, L.P., Greb, M.D., Minisini, D., Tunik, M. y Omarini, J. 2020. Facies heterogeneity and source potential of carbonate-mudstone-dominated distal ramp deposits, Agrio Formation, Neuquén Basin, Argentina. *Journal of Sedimentary Research* 90, p. 533-560.
- Naipauer, M., 2016. Edades U-Pb en circones detríticos de la Formación Tordillo en la cuenca Neuquina, centro-oeste de Argentina: implicancias en la edad absoluta del límite Jurásico-Cretácico. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Buenos Aires* 68, p. 73-84.
- Naipauer, M., García Morabito, E., Marques, J.C., Tunik, V., Rojas Vera, E., Vujovich, G.I., Pimentel, M.P. y Ramos, V.A., 2012. Intraplate Late Jurassic deformation and exhumation in western central Argentina: Constraints from surface data and U-Pb detrital zircon ages. *Tectonophysics* 524-525, p. 59-75.
- Naipauer, M., Tunik, M., Marques, J.C., Rojas Vera, E.A., Vujovich, G.I., Pimentel, M. y Ramos, V.A., 2015a. 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 Sepúlveda, S. *et al.* (eds.), *Geodynamic Processes in the Andes of Central Chile and Argentina*. Geological Society London, Special Publication 399, pp.131-154.
- Naipauer, M., Tapia, F., Mescua, J., Farias, M., Pimentel, M. y Ramos, V.A., 2015 b. Detrital and volcanic zircon U-Pb ages from southern Mendoza (Argentina): an insight on the source regions in the northern part of the Neuquén Basin. *Journal of South American Earth Sciences* 64, p. 434-451.
- Naipauer, M., Brinkworth, W., Loss, L., Vocaturro, G., Giunta, D. y Mortaloni, E., 2017. Estudio integral de datos geocronológicos (edades U-Pb) y sísmicos en el subsuelo del Engolfamiento Neuquino: edades máximas de sedimentación y áreas de aporte para el Grupo Cuyo. XX Congreso Geológico Argentino (Tucumán), Actas S15, p. 85-90.

- Naipauer, M., Comerio, M., Lescano, M., Vennari, V., Aguirre-Urreta, M.B., Pimentel, M. y Ramos, V.A., 2020. The Huncal Member of the Vaca Muerta Formation, Neuquén Basin of Argentina: insight into biostratigraphy, structure, U-Pb detrital zircon, ages and provenance. *Journal of South American Earth Sciences* 100, 102567.
- Naipauer, M., Fennell, L., Tunik, M.A., Lazo, D.G., Aguirre-Urreta, B. y Ramos, V.A., 2022. Nuevas edades U-Pb en circones detríticos de los grupos Bajada del Agrio y Neuquén: cambios en el área de aporte sedimentario durante el Cretácico en la cuenca Neuquina. XXI Congreso Geológico Argentino (Puerto Madryn), Actas, p.1363-1364.
- Ogg, J.G., 2020. Geomagnetic polarity time scale. En Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D. y Ogg, G.M. (eds.), *Geological Time Scale 2020*, vol. 1, pp. 159-193.
- O’Gorman, J.P., Lazo, D.G., Luci, L., Cataldo, C.S., Schwarz, E., Lescano, M. y Aguirre-Urreta, M.B., 2015. New plesiosaur records from the Lower Cretaceous of the Neuquén Basin, west-central Argentina: an updated picture of occurrences and facies relationships. *Cretaceous Research* 52, p. 372-387.
- Olea, G., Suárez, M. y Valenzuela, M., 2011. El Miembro La Tosca de la Formación Huitrín (Cretácico temprano). En Leanza, H.A. *et al.* (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*, Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina, pp. 199–203.
- Olivo, M., Rombola, C., Perez Loinaze, V., y Kietzmann, D., 2019. Integrated sedimentological and palynological analysis from Early Cretaceous estuarine deposits in the southern-central Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 92, p. 246–264.
- Olivo, M.S., Kietzmann, D.A., Schencman, L.J., Minisini, D., Espínola, J. y Waldmann, N.D., 2020. Characterizing scales of sedimentary heterogeneity in a fluvial-estuarine reservoir analog: An example from the Mulichinco Formation, Neuquén Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 121, 104604.
- Omarini, J., Lescano, M., Odino-Barreto, A.L., Campetella, D., Tunik, M., Garbán, G., Brea, F., Erra, G., Aguirre-Urreta, B. y Martínez, M., 2020. Palaeoenvironmental conditions for the preservation of organic matter during the late Hauterivian in the Neuquén Basin (Western Argentina). *Marine and Petroleum Geology* 120, 104469.
- Otharán, G., Zavala, C., Arcuri, M., Di Meglio, M., Zorzano, A., Marchal, D. y Köhler, G., 2020. Análisis de facies en depósitos de grano fino asociados a flujos de fango. Formación Vaca Muerta (Tithoniano-Valanginiano), Cuenca Neuquina central, Argentina. *Andean Geology* 47, p. 384-417.
- Parent, H., Garrido, A.C., Scherzinger, A., Schweigert, G. y Fozy, I., 2015. The Tithonian–lower Valanginian stratigraphy and ammonite fauna of the Vaca Muerta Formation in Pampa Tril, Neuquén Basin, Argentina. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 86, p. 1-96.
- Paz, M., Ponce, J.J., Mángano, G., Buatois, L.A., Carmona, B.C., Wetzel, A., Pereira, E. y Rodríguez, M.N., 2021. The Vaca Muerta transgression (Upper Jurassic), Neuquén Basin, Argentina: Insights into the evolution and timing of aeolian–marine transitions. *Sedimentology* 68, p. 2732-2764.
- Paz, M., Buatois, L.A., Mángano, M.A., Desjardins, P.R., Notta, R., González Tomassini, F., Carmona, N.B., y Minisini, D. 2022. Organic-rich, fine-grained contourites in an epicontinental ba-

- sin: The Upper Jurassic-Lower Cretaceous Vaca Muerta Formation, Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 142, 105757
- Pazos, P.J., Ottone, G. y Aguirre-Urreta, M.B., 2008. Del Chorreadense de Groeber al Miembro Chorreado: consecuencias estratigráficas. XVII° Congreso Geológico Argentino (Jujuy), Actas 2, p. 793-794.
- Pazos, P.J., Comerio, M., Fernández, D.E., Gutiérrez, C., González Estebenet, M.C. y Heredia, A.M., 2020. Sedimentology and sequence stratigraphy of the Agrio Formation (late Valanginian–earliest Barremian) and the closure of the Mendoza Group to the north of the Huincul high. En Kitzmann, D. y Folguera, A. (eds.) *Opening and Closure of the Neuquén Basin in the Southern Andes*, Springer, pp. 237–265.
- Pazos, P.J., Novara, M.E., Iñigo, J. y Comerio, M., 2021. Sedimentology and sequence stratigraphy of the Early Cretaceous Centenario Formation (upper member) in the north-eastern border of the Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 108, 103203.
- Pellenard, P., Martinez, M., Londero, A., Colon, D., Aguirre-Urreta, B., Vennari, V., Lescano, M., López-Martínez, R., Schnyder, J. y Schaltegger, U., 2022. Carbon cycle, cyclostratigraphy and U/Pb ages of the Tithonian from the Neuquén Basin, Argentina. 11° International Congress Jurassic System. Budapest.
- Pino, D.A., Coria, R.A., Díaz-Martínez, I. y Tunik, M.A., 2021. An accumulation of dinosaur remains in fluvial deposits of Mulichinco Formation (lower Valanginian, Neuquén Basin), Patagonia, Argentina: Taphonomic and paleoenvironmental inferences. *Journal of South American Earth Sciences* 105, 102979.
- Pino, D., 2022. Taponomía de los depósitos con vertebrados y leños fósiles en los niveles continentales de la Formación Mulichinco (Valanginiano) Cuenca Neuquina, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Negro. 199 pp. Inédita.
- Ramos, V.A., 1981. Descripción geológica de la Hoja 33 c Los Chihuidos Norte, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Nacional, Boletín 182, p. 1-103.
- Remírez, M.N., Spalletti, L.A. e Isla, M.F., 2020. Petrographic, mineralogical and geochemical characterization of fine-grained rocks of the Pilmatué Member (Upper Valanginian-lower Hauterivian) of the Neuquén Basin (Argentina): Implications for siliciclastic input, carbonate productivity and redox conditions. *Journal of South American Earth Sciences* 102, 102663.
- Richiano, S., Schwarz, E., Veiga, G.D., Álvarez Trentini, G., 2019. Non-depositional and erosional “offshore” bioeroded hardgrounds from the Lower Cretaceous of the Neuquén Basin, Argentina: Insights into their sequence-stratigraphic implications and controls. *Marine and Petroleum Geology* 104, p. 1-10.
- Rodríguez Blanco, L., Eberli, G.P., Wegner, R., McNeill, D.F. y Swart, P.K., 2022. Quantifying concretion distribution in shales of the Vaca Muerta-Quintuco system, Neuquén Basin, Argentina. *AAPG Bulletin* 106, p. 409-436.
- Sagasti, G., 2005. Hemipelagic record of orbitally-induced dilution cycles in Lower Cretaceous sediments of the Neuquén Basin. En Veiga, G.D. *et al.* (eds.), *The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. Geological Society London, Special Publication 252, pp. 231-250.

- Schwarz, E., 2002. Estratigrafía, bioestratigrafía y secuencias de la Formación Mulichinco (Cretácico inferior), cuenca Neuquina, Argentina. ¿nuevos enfoques?. XV Congreso Geológico Argentino (El Calafate), Actas
- 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, 303 pp. Inédita.
- Schwarz, E., 2012. Sharp-based marine sandstone bodies in the Mulichinco Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina: Remnants of transgressive offshore sand ridges. *Sedimentology* 59, p. 1478-1508.
- Schwarz, E. y Howell, J., 2005. Sedimentary evolution and depositional architecture of a Lowstand Sequence Set: The Lower Cretaceous Mulichinco Formation, Neuquén Basin, Argentina. En Veiga, G.D. *et al.* (eds.), *The Neuquén Basin, Argentina: a Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. Geological Society London, Special Publication 252, pp. 109-138.
- Schwarz, E., Spalletti, L. y Howell, J., 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, p. 55-81.
- Schwarz, E., Veiga, G.D. y 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 (Santiago), S10_035, p. 1-5.
- Schwarz, E., Spalletti, L. y Veiga, G., 2011. La Formación Mulichinco (Cretácico Temprano) en la cuenca Neuquina. En Leanza, H.A. *et al.* (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino*. Asociación Geológica Argentina, pp. 131-144.
- Schwarz, E., Álvarez Trentini, G. y Valenzuela, M.E. 2013. Ciclos mixtos carbonáticos/silicoclásticos en el Miembro Superior de la Formación Mulichinco (yacimiento Cañadón Amarillo, Cuenca Neuquina central): Implicancias secuenciales y para caracterización de reservorios. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 20, p. 21-49.
- Schwarz, E., Veiga, G.D., Álvarez Trentini, G. y Spalletti, L., 2016. Climatically versus eustatically controlled, sediment-supply-driven cycles: Carbonate-siliciclastic, high-frequency sequences in the valanginian of the Neuquén Basin (Argentina). *Journal of Sedimentary Research* 86, p. 312-335.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A., Veiga, G.D. y Fanning, M., 2016a. First U-Pb SHRIMP Age for the Pilmatué Member (Agrido Formation) of the Neuquén Basin, Argentina: Implications for the Hauterivian lower Boundary. *Cretaceous Research* 58, p. 223-233.
- Schwarz, E., Finzel, E.S., Veiga, G.D., Rapela, C.W., Echevarria, C. y Spalletti, L.A., 2020. U-Pb geochronology and paleogeography of the Valanginian-Hauterivian Neuquén Basin: implications for Gondwana-scale source areas. *Geosphere* 17, p. 244-270.
- Shchepetkina, A., Ponce, J.J., Carmona, N.B., Mángano, M.G., Buatois, L.A., Ribas, S. y Benvenuto, M.C.V., 2020. Sedimentological and ichnological analyses of the continental to marginal-marine Centenario Formation (Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina. *Reservoir Implications*.

- Marine and Petroleum Geology 119, 104471.
- Sleveland, A.R.N., Midtkandal, I., Galland, O. y Leanza, H.A., 2020. Sedimentary architecture of storm-influenced tidal flat deposits of the Upper Mulichinco Formation, Neuquén Basin, Argentina. *Frontiers in Earth Sciences* 8, 219, p.1-24.
- Spalletti, L. y Colombo Piñol, F., 2005. From alluvial fan to playa: an Upper Jurassic ephemeral fluvial system, Neuquén Basin, Argentina. *Gondwana Research* 8, p. 363-383.
- Spalletti, L.A., Poiré, D.G., Schwarz, E. y Veiga, G.D., 2001. Sedimentologic and sequence stratigraphic model of a Neocomian marine carbonate-siliciclastic ramp: Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 14, p. 609-624.
- Spalletti, L., Queralt, I., Matheos, S., Colombo, F. y Maggi, J., 2008. Sedimentary petrology and geochemistry of siliciclastic rocks from the Upper Jurassic Tordillo Formation (Neuquén Basin, western Argentina): implications for provenance and tectonic setting. *Journal of South American Earth Sciences* 25, p. 440-463.
- Spalletti, L.A., Arregui, C.A. y Veiga, G.A., 2011. La Formación Tordillo y equivalentes (Jurásico Tardío) en la Cuenca Neuquina. En Leanza, H.A. *et al.* (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*, Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina, pp. 99-111.
- Stipanovic, P.N., 1951. Sobre la presencia del Oxfordense superior en el arroyo de La Manga. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, p. 213-239.
- Stipanovic, P.N., 1966. El Jurásico en Vega de la Veranada (Neuquén), el Oxfordense y el diastrofismo Divesiano (Agassiz-Yaila) en Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20, p. 403-478.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F. y Baulies, O.L., 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23, p. 67-98.
- Toscano, A.G. y Lazo, D.G., 2020. Taxonomic revision and paleobiogeographical affinities of Berrisian-Valanginian oysters from the Vaca Muerta and Mulichinco formations, southern Mendoza, Neuquén Basin, Argentina. *Cretaceous Research* 109, 104358.
- Toscano, A.G., Lazo, D.G. y Luci, L., 2018. Taphonomy and Paleocology of Lower Cretaceous oyster mass occurrences from west-central Argentina and evolutionary paleoecology of gregariousness in oysters. *Palaios* 33, p. 237-255.
- Tunik, M., Folguera, A. Naipauer, M., Pimentel, M. y Ramos, V.A., 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén basin: constraints on the Andean uplift from U-Pb and Hf isotopic data of detrital zircons. *Tectonophysics* 489, p. 258-273.
- Veiga, G.D. y Spalletti, L.A., 2007. The Upper Jurassic (Kimmeridgian) fluvial/aeolian systems of the southern Neuquén Basin, Argentina. *Gondwana Research* 11, p. 286-302.
- Veiga, G.D. y Vergani, G.D., 2011. El Miembro Troncoso Inferior de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En Leanza, H.A. *et al.* (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*, Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina, pp.181-188.
- Vennari, V.V. y Aguirre-Urreta, B., 2017. Earliest records of the genus *Spiticeras* Uhlig in the Neuquén Basin, Argentina: systematic and biostratigraphic implications. *Ameghiniana* 54, p. 83-106.

- Vennari, V.V. y Aguirre-Urreta, B., 2019. Intraspecific variability, biostratigraphy and paleobiological significance of the Southern Gondwana ammonoid genus *Lytrochoplites* Spath. *Journal of Paleontology* 93, p. 702-726.
- Vennari, V.V., Lescano, M., Naipauer, M., Aguirre-Urreta, B., Concheyro, A., Schaltegger, U., Armstrong, R., Pimentel, M. y Ramos, V.A., 2014. New constraints on the Jurassic-Cretaceous boundary in the High Andes using high-precision U-Pb data. *Gondwana Research* 26, p. 374-385.
- Vennari, V., Lescano, M., Aguirre-Urreta, B., Concheyro, A., Fantín, M., Vallejo, M.D., Depine, G., Sagasti, G. y Ambrosio, A., 2017. Bioestratigrafía de alta resolución de la Formación Vaca Muerta: amonites y nanofósiles calcáreos integrando datos de subsuelo y afloramientos. 20° Congreso Geológico Argentino (San Miguel de Tucumán), Actas S5, p. 168-172.
- Vennari, V.V., Aguirre-Urreta, M.B., Marin, L.S., Pellenard, P. y Martínez, M., 2021. Belemnopsis en el Jurásico Superior (Tithoniano superior) de la cuenca Neuquina. *Publicación Electrónica de la APA* 22, R1, p. R151.
- Vergani, G., Tankard, A., Belotti, H. y Welsink, H., 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. *Petroleum basins of South America. AAPG, Memoir* 62, p. 383-402.
- Weaver, Ch., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. *University of Washington, Memoir* 1, p. 1-469.
- Wesolowski, L.J.N., Buatois, L.A., Mángano, M.G., Ponce, J.J. y Carmona, N.B., 2018. Trace fossils, sedimentary facies and parasequence architecture from the lower cretaceous mulichinco formation of argentina: the role of fairweather waves in shoreface deposits. *Sedimentary Geology* 367, p. 146-163.
- Wimbledon, W.A.P., Reháková, D., Svobodová, A., Elbra, T., Schnabl, P., Pruner, P., Šifnerová, K., Kdýr, Š., Dzyuba, O., Schnyder, J., Galbrun, B., Košák, M., Vaňková, L., Copestake, P., Hunt, C.O., Riccardi, A., Poulton, T.P., Bulot, J.G., Frau, C. y De Lena, L., 2020. The proposal of a GSSP for the Berriasian Stage (Cretaceous System): Part 1. *Volumina Jurassica* 18, p. 53-106.
- Zavala, C., 2022. Los deltas litorales hiperpícnicos de la Formación Mulichinco (Valanginiano), cuenca Neuquina. XXI Congreso Geológico Argentino (Puerto Madryn), Actas, p. 92.
- Zavala, C., Maretto, H. y Di Meglio, M., 2005a. Hierarchy of bounding surfaces in aeolian sandstones of the Jurassic Tordillo Formation (Neuquén Basin, Argentina). *Geologica Acta* 3, p. 133-145.
- Zavala, C., Mosquera, A. y Kim, H., 2005b. Los depósitos eólicos de la Formación Mulichinco (Valanginiano) en el área Fortín de Piedra, Cuenca Neuquina. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mar del Plata), Actas, 14 pp.

