

CARACTERIZACIÓN SISMO-ESTRATIGRÁFICA Y SEDIMENTOLÓGICA DEL INTERVALO AGRIO-CENTENARIO EN EL SECTOR CENTRAL DE LA CUENCA NEUQUINA

Colaboradores principales del Grupo Transecta 2: **C. Echevarría¹, E. Schwarz², M. Suárez³,
S. Montenegro⁴, R. Ferreyro³, B. Giménez⁴, A. Montagna³, F. Martín³**

1: Pampa Energía S.A. carlosechevarria@pampaenergia.com

2: Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET). eschwarz@cig.museo.unlp.edu.ar

3: YPF S.A. mirta.suarez@ypf.com, rayen.ferreyroelizondo@ypf.com, aldo.montagna@ypf.com,
franco.martin@ypf.com

4: Pluspetrol S.A. mmontenegro@pluspetrol.net, bgimenez@pluspetrol.net

Palabras clave: Intervalo Agrio-Centenario, Integración y correlación regional, Reservorios Convencionales y No Convencionales, Cuenca Neuquina

ABSTRACT

Seismic stratigraphic and sedimentological characterization of the Agrio-Centenario chronostratigraphic interval across the central sector of the Neuquén Basin.

This contribution promoted by IAPG presents an integration and analysis of different datasets (wells, seismic data, cuttings, cores, outcrops) across the central Neuquén Basin aiming at updating and refining the chronostratigraphic and paleoenvironmental relationships of the Agrio-Centenario interval. The study area covers 280 km from western outcrops near Zapala to Villa Regina in the east. Firstly, this regional analysis allowed discriminating three main continental successions within the original Centenario Formation defined in the basin eastern sector. Those three intervals are here ascribed chronostratigraphically to Loma Montosa Formation (uppermost Lower Mendoza Group), Centenario Formation (upper Mendoza Group) and Rayoso Formation, respectively. Secondly, within the re-defined Centenario Formation in the eastern sector, two different members were separated, which directly correlate with the Lower and Upper Agrio Members recognized in the western sector. In this way, the sandy and amalgamated deposits of the Lower Centenario Member (mostly up to coarse-grained sandstones) are inferred to represent the fluvial systems developed up-dip of the western sandy deltaic deposits. In turn, the relatively coarser sediments of the Upper Centenario Member (up to pebbly sandstones) interbedded with abundant fine-grained deposits are also attributed to fluvial systems but with a significant change in available material, nature of transfer system and/or location of source areas. The results of this contribution can be used to improve production strategies in tight deltaic reservoirs, to build more robust exploration models in frontiers areas, and to better characterize mature hydrocarbon reservoirs that are presently considered as storage for natural gas.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo resulta de una iniciativa impulsada por el IAPG destinada a generar una actualización del conocimiento sobre el intervalo Agrio-Centenario de la Cuenca Neuquina. Para cumplir dicho objetivo se delinearon tres transectas principales (Fig. 1) sobre las cuales posteriormente geocientistas de distintas empresas y universidades se dedicaron a recolectar y analizar la información de subsuelo disponible. La región comprendida por la Transecta 2, foco de este trabajo, abarca unos 280 km en el sector central de la cuenca desde la Sierra de la Vaca Muerta por el oeste hasta cercanías de Villa Regina por el este.

La sucesión sedimentaria denominada Formación Agrio (Valanginiano tardío-Hauteriviano tardío) consta de tres miembros claramente definidos en afloramiento desde los estudios pioneros (Inferior o Pilmatué, Medio o Avilé y Superior o Agua de la Mula). La Formación Centenario surgió en los 70' como una unidad conformada mayormente por depósitos clásticos continentales, que abarcaba cronológicamente un intervalo más amplio que la Formación Agrio, incluyendo desde facies más antiguas que ésta, hasta depósitos más jóvenes equivalentes a la Formación Rayoso. Estudios de subsuelo posteriores intentaron acotar la Formación Centenario a un intervalo de tiempo equivalente a la Formación Agrio, pero esta definición se volvía dificultosa en los sectores donde la sucesión se encontraba conformada ampliamente por clásticos continentales.

En este trabajo de colaboración se presenta por primera vez un análisis de información sísmica, perfiles de pozo, cuttings, coronas, y otros datos disponibles del intervalo Agrio-Centenario, que permitieron construir un esquema de correlación más ajustado y consensuado para toda el área involucrada en la transecta. De este modo, se han podido definir *markers* sísmo-estratigráficos equivalentes tanto de la base como del tope de lo que se conoce como Agrio Inferior en el oeste, así como del tope del Agrio Superior y su deslinde con lo que serían facies equivalentes de la Formación Rayoso. Mediante este nuevo esquema estratigráfico es posible subdividir al intervalo en dos unidades principales (Agrio-Centenario Inferior y Agrio-Centenario Superior) y así caracterizar los atributos sísmicos, sedimentológicos, y paleoambientales de ambas unidades a lo largo de la transecta. Los resultados de este trabajo permiten resolver un problema estratigráfico de larga data en la Cuenca Neuquina con un esquema integrado más robusto. Además, estos nuevos modelos estratigráficos y paleoambientales pueden servir de base para mejorar tareas exploratorias y de producción de hidrocarburos en el intervalo Agrio-Centenario, así como para comprender la naturaleza de los acuíferos presentes o actividades relacionadas con el almacenamiento de gas.

MARCO GEOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO

La Cuenca Neuquina (Fig. 1) es considerada una cuenca de retroarco, desarrollada en el centro-oeste de la Argentina, cuyo relleno pertenece principalmente al lapso Jurásico-Cretácico

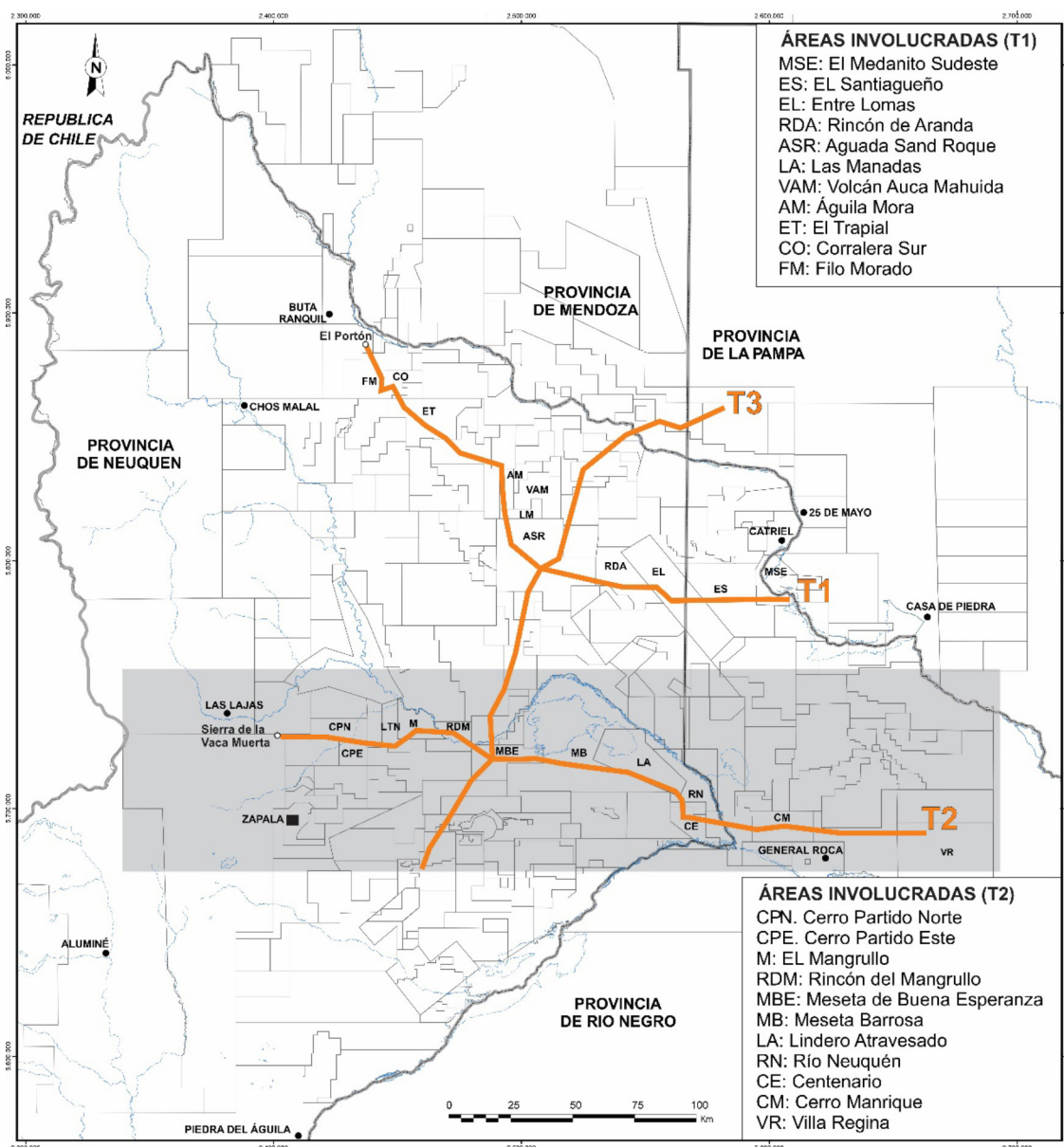


Figura 1. Mapa de ubicación. Se indican las trazas aproximadas de las tres transectas de correlación. Este trabajo describe los resultados de la transecta T2. Se indican los bloques mencionados en el texto y sus abreviaturas. Recuadro gris indica ubicación de Figura 4. Para descripción de la transecta T1 véase Masarik *et al.* (2022).

(Howell *et al.* 2005). Está limitada al oeste por el cordón andino y al este por el Bloque de la Sierra Pintada (noreste) y el Macizo Nordpatagónico. La Cuenca Neuquina se ha desarrollado como un depocentro sedimentario desde el Triásico superior al Paleoceno (Howell *et al.* 2005).

La Formación Agrio (denominación introducida por Weaver 1931) constituye la más joven de las unidades del Mendociano o Grupo Mendoza (Fig. 2). Se apoya mediante una importante superficie transgresiva de desarrollo regional sobre los términos clásticos (continentales, transicionales y marinos) de la Formación Mulichinco (Schwarz *et al.* 2006), y es cubierta por los depósitos

carbonáticos, clásticos y evaporíticos de la Formación Huitrín (Fig. 2). El mayor desarrollo vertical y sus afloramientos característicos se registran a lo largo del sector andino (occidental) de la Cuenca Neuquina, en donde el espesor de la unidad puede alcanzar los 1200 m.

La Formación Agrio suele dividirse en tres miembros: Inferior, Avilé y Superior (Fig. 2). Los miembros inferior y superior en afloramiento están conformados mayoritariamente por potentes sucesiones de fangolitas silicoclásticas oscuras, con proporciones menores de margas y fangolitas calcáreas, acumuladas en ambientes marinos (Spalletti *et al.* 2011). Estas dos unidades han sido red denominadas formalmente como miembros Pilmatué y Agua de la Mula, respectivamente (Leanza y Hugo 2001). Como se tratará en este trabajo, si bien los depósitos finos dominan en amplios sectores de afloramientos, para ambas unidades se registra un rápido incremento hacia el este de depósitos arenosos (Fig. 2), mayormente acumulados en ambientes marinos con distintas características (Schwarz *et al.* 2021).

En la parte media de la Formación Agrio aparece un intervalo distintivo conocido como Miembro Avilé o Arenisca Avilé (Weaver 1931). Esta unidad silicoclástica está compuesta principalmente por depósitos de origen continental, caracterizada por la acumulación de depósitos fluviales, eólicos y lacustres (Rossi 2001; Veiga *et al.* 2002; Veiga *et al.* 2011). En afloramientos su espesor varía desde pocos metros en el sur (cerca de su borde deposicional) hasta más de 180 m en regiones más septentrionales. Se apoya con un contacto neto y erosivo sobre depósitos marinos profundos del Miembro Pilmatué. Posee un contacto neto y abrupto con los depósitos marinos profundos del Miembro Agua de La Mula (Veiga *et al.* 2011). En términos de la evolución neocomiana de la cuenca, el Miembro Avilé (al igual que otras unidades como la Formación Mulichinco y el Miembro Troncoso Inferior de la Formación Huitrín, Fig. 2) constituye una unidad acumulada durante un estadio de mar bajo y se relaciona con un descenso relativo del nivel del mar de baja frecuencia (2º orden, Veiga *et al.* 2011).

La Formación Centenario surgió en los 80' como una unidad conformada mayormente por depósitos clásticos continentales, que abarcaba cronológicamente un intervalo más amplio que la Formación Agrio (Digregorio, 1972; Uliana *et al.* 1977). Digregorio y Uliana (1980) sugieren que la unidad en sectores marginales (por ejemplo, sector Catriel y Centenario) se apoyaba mayormente sobre facies marino-marginales de la Formación Loma Montosa y era temporalmente equivalente a la sucesión integrada por las unidades Mulichinco, Agrio y Rayoso desarrolladas hacia el oeste (Fig. 3). Trabajos posteriores comienzan a limitar el alcance de la Formación Centenario, proponiendo una directa correlación con los Miembros Agrio Inferior y Agrio Superior de la Formación Agrio (Vergani *et al.* 2001) (Fig. 2). Sin embargo, la precisa correlación entre la sucesión continental contemporánea de la Formación Agrio (Valanginiano tardío – Hauteriviano tardío), y aquella posiblemente contemporánea de la Formación Rayoso (Aptiano-Albiano?) no había sido hasta el momento claramente identificada en amplias áreas del sector de subsuelo de la Cuenca Neuquina.

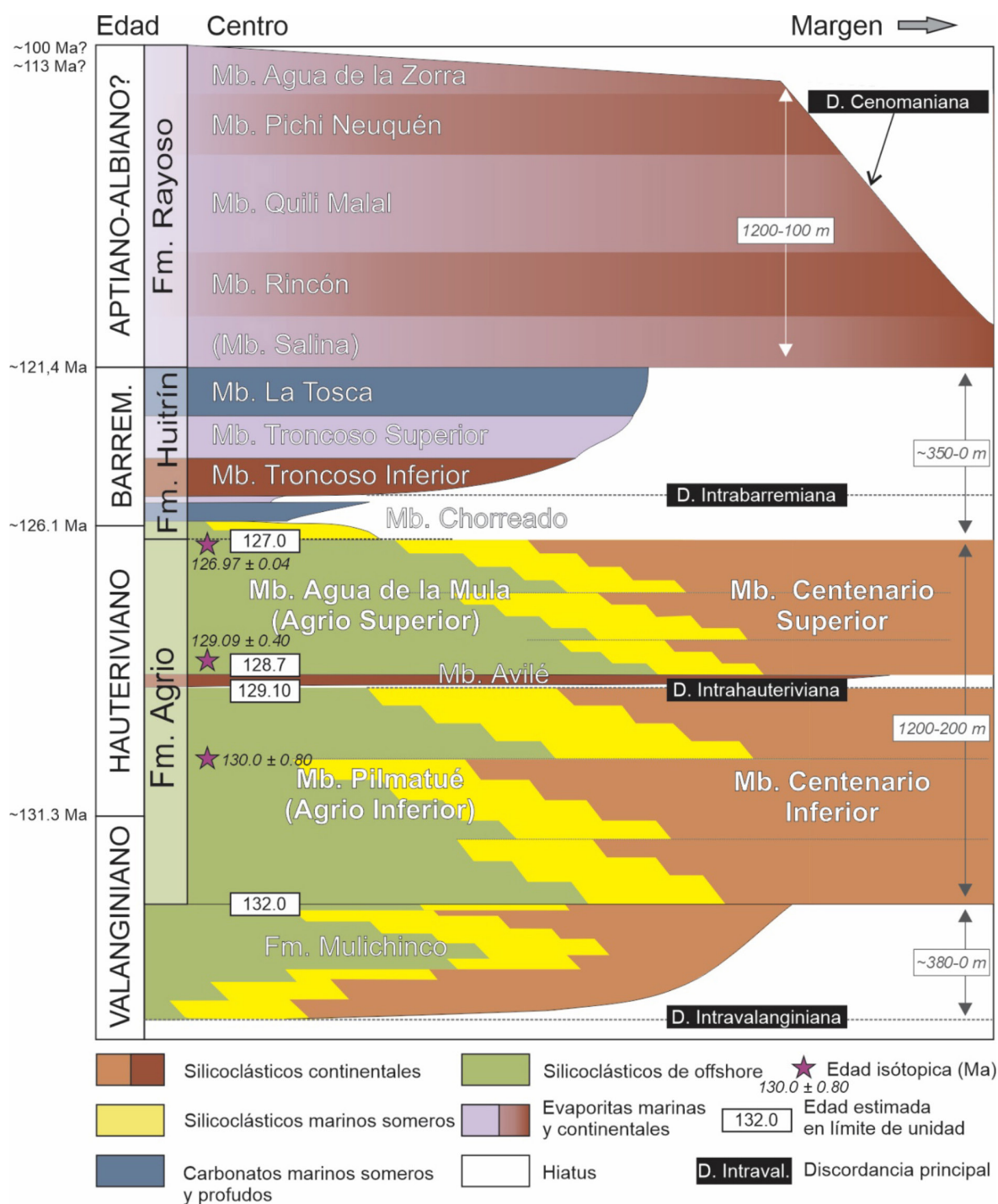


Figura 2. Esquema cronoestratigráfico para las formaciones Mulichinco, Agrio, Huitrín y Rayoso (y sus respectivas unidades internas) modificado de Schwarz *et al.* (2021). El Miembro Salina se incluye dentro de Rayoso (Zavala y Ponce 2011). Se indican también las principales discontinuidades (edad según Leanza, 2009) y una estimación de espesores máximos en centro de cuenca y su reducción hacia los márgenes. La Formación Agrio posee una muy buena resolución temporal (detalles de edades radimétricas en Schwarz *et al.* 2021), que contrasta con la baja resolución de la Formación Rayoso. Edades límites de Valanginiano y Hauteriviano según Aguirre-Urreta *et al.* (2019).

La integración regional reportada en esta contribución pretende echar luz sobre las relaciones cronoestratigráficas más probables entre sucesiones sedimentarias ubicadas a lo largo de una transecta de correlación de unos 280 km de extensión desde los afloramientos hasta la localidad de Villa Regina en Río Negro (Fig. 1). De esta manera se incluyen dentro del análisis sismo-estratigráfico y sedimentológico las unidades que son el foco de este estudio, las Formaciones Agrio y Centenario (con sus miembros), así también como las relaciones verticales con unidades más antiguas (Formaciones Mulichinco, Loma Montosa y Quintuco) y más jóvenes (Formaciones Huitrín y Rayoso). En este contexto cabe destacar un trabajo regional previo (Suárez *et al.* 2019) que, si bien se focaliza en la sucesión equivalente a la Formación Rayoso, sienta un precedente sobre criterios sismo-estratigráficos de cómo distinguir entre estas unidades en la parte central del área de estudio.

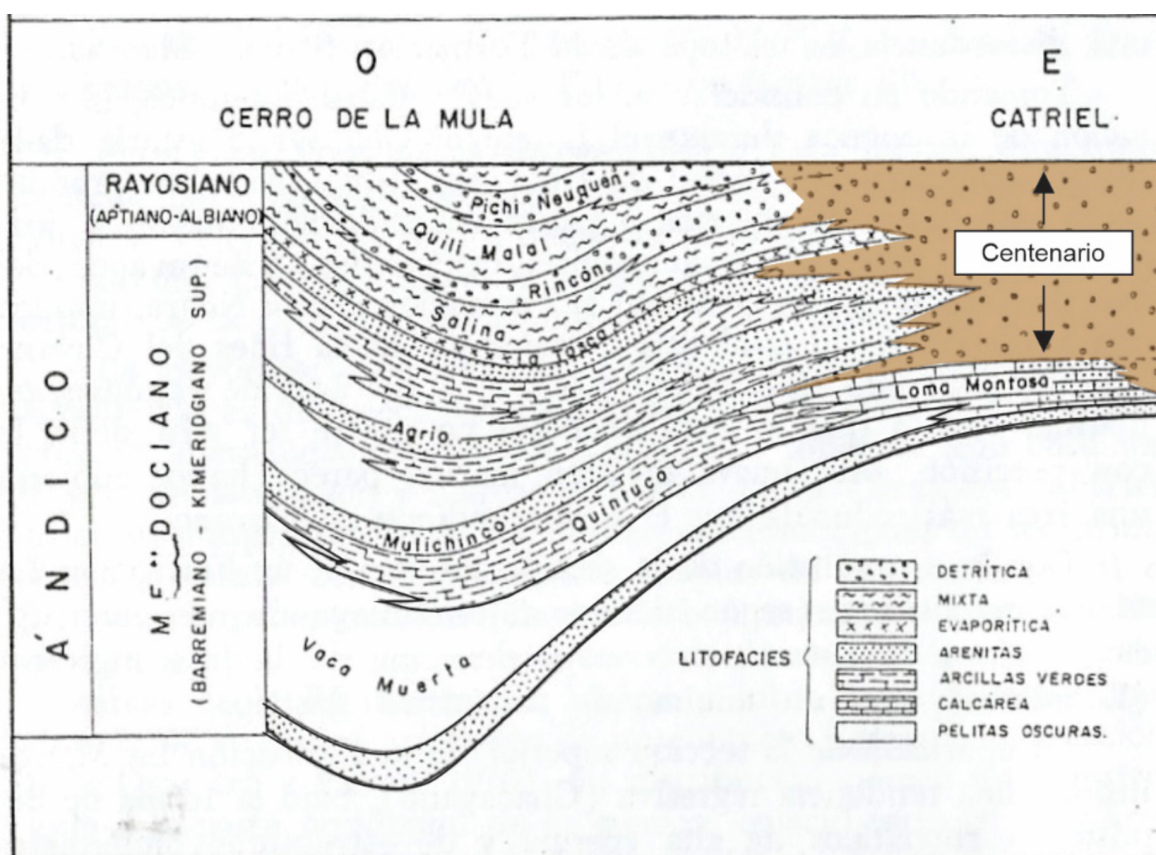


Figura 3. Esquema estratigráfico propuesto por Digregorio y Uliana (1980) en el cual la sucesión “detritica” de la Formación Centenario era equivalente a gran parte del Ciclo Ándico y por lo tanto incluía desde depósitos tan antiguos como el actual Grupo Mendoza Inferior (Fm. Loma Montosa y equivalentes) hasta tan jóvenes como la Formación Rayoso.

ESTUDIOS SEDIMENTOLÓGICOS PREVIOS

Las unidades sedimentarias aquí estudiadas se extienden por todo el sector aflorante y de subsuelo de la Cuenca Neuquina y por lo tanto presentan una amplia variabilidad de facies y contextos de sedimentación tanto en sentido vertical como lateral. Dado que no es el objetivo de este trabajo hacer una pormenorizada descripción sedimentológica y paleoambiental, en este trabajo se harán menciones generales sobre las características de cada sector de subsuelo. Para que los lectores interesados puedan ahondar en sus características particulares aquí se presenta una breve síntesis de estudios específicos.

Actualmente son numerosos los estudios sedimentológicos y estratigráficos de detalle disponibles sobre afloramientos del Miembro Inferior o Pilmatué, tanto en sucesiones predominantemente pelíticas (Sagasti, 2002; Lazo, 2007; Moore *et al.* 2021; Remírez *et al.* 2020, 2022, entre otros), como en sucesiones que incluyen depósitos arenosos de shoreface (Schwarz *et al.* 2018; Isla *et al.* 2018, 2021a,b,c) y depósitos deltaicos (Schwarz *et al.* 2021), así como de paquetes bioclásticos acumulados por corrientes mareales en condiciones de *offshore* (Veiga y Schwarz 2016). El Miembro Pilmatué o su equivalente Miembro Centenario Inferior también ha sido descrito en subsuelo, aunque de manera más local. Merece mencionarse especialmente el yacimiento El Mangrullo (Echevarria y Canosa 2017; Schwarz *et al.* 2018) que se encuentra en el área estudiada y será tratado en detalle, pero también se cuenta con estudios sedimentológicos y reconstrucciones paleoambientales para los yacimientos Volcán Auca Mahuida y Señal Cerro Bayo (Cabaleiro *et al.* 2002; Shchepetkina *et al.* 2020), y en el extremo sur Mendoza donde la unidad es muy delgada (Iñigo *et al.* 2019).

Por su parte, también para el Miembro Agrio Superior o Agua de La Mula se cuenta con estudios sedimentológicos de detalle en distintos sectores de afloramientos, tanto de la región sur cercana a su localidad tipo en el Río Agrio (Spalletti *et al.* 2001a, Lazo *et al.* 2009), como del sector norte (Spalletti *et al.*, 2001b; Comerio *et al.* 2018; Omarini *et al.* 2020). En subsuelo, esta unidad o su equivalente Miembro Centenario Superior ha sido descrita en el yacimiento de Puesto Hernández y alrededores (Vergani *et al.* 2001; Barrionuevo 2002), como en el extremo sur de Mendoza (Pazos *et al.* 2021). Los estudios en subsuelo de Río Negro no son muy abundantes, pero vale mencionar un trabajo que reporta sobre la sucesión cretácica inferior en la zona de Lago Pellegrini (Scazzioti 2012).

Finalmente, el Miembro Avilé también ha sido fruto de numerosos estudios tanto de afloramiento (Rossi 2001; Veiga *et al.* 2002, 2007), como de subsuelo (Rossi y Masarik, 2002, entre otros). Para el área considerada en este trabajo, el escaso desarrollo y poco interés económico no han contribuido a contar con abundante información de material rocoso. No obstante, esta unidad, pero especialmente en conjunto con el intervalo pelítico basal del Miembro Agrio Superior, constituyen un nivel guía de correlación en gran parte de la región de subsuelo que es utilizado en el marco de este trabajo.

METODOLOGÍA

Al igual que en otras transectas regionales impulsadas por el IAPG, aquí se puso en práctica el concepto de “Coopetición”, es decir una combinación de cooperación y competencia (*Co-opetition* en inglés, Brandenburger y Nalebuff, 1996) que permite el trabajo en conjunto de un numeroso grupo técnico que logra acuerdos para la integración y normalización de los datos, implementación de un lenguaje común e interpretación de datos a partir de las distintas experiencias, entre otras cosas. En este caso se contó con la colaboración de una decena de geocientistas de distintas empresas y del ámbito científico que compartieron información de distinta índole y llegaron a un consenso sobre el análisis a grandes rasgos de esa información.

La información sísmica compilada y analizada proviene de surveys sísmicos 3D que cubren total o parcialmente a los bloques El Mangrullo, Rincón del Mangrullo, Meseta Buena Esperanza, Aguada Toledo, Lindero Atravesado, Centenario y Río Neuquén. Además, también se utilizaron líneas sísmicas 2D de Cerro Partido por el oeste y de Río Neuquén, Barda del Medio, Cerro Manrique, Cervantes y Villa Regina por el este (Fig. 4). Para lograr la mejor integración posible de la información sísmica y definir finalmente la traza de la transecta se tuvieron en cuenta distintas circunstancias como disponibilidad de datos, zonas de menor deformación y participación de empresas. La transecta sísmica resultante se muestra en la figura 5.

De la misma manera, para analizar las unidades presentes en cada sector y sus características litológicas, faciales y tipos de contactos estratigráficos se consideraron más de 50 pozos que se encuentran en el ámbito de estudio. Luego se seleccionaron unos 20 pozos clave que contaban con el mejor set de información de perfiles eléctricos, descripción litológica y/o coronas (Fig. 4). En la medida de lo posible la información de perfiles eléctricos fue normalizada para su mejor análisis.

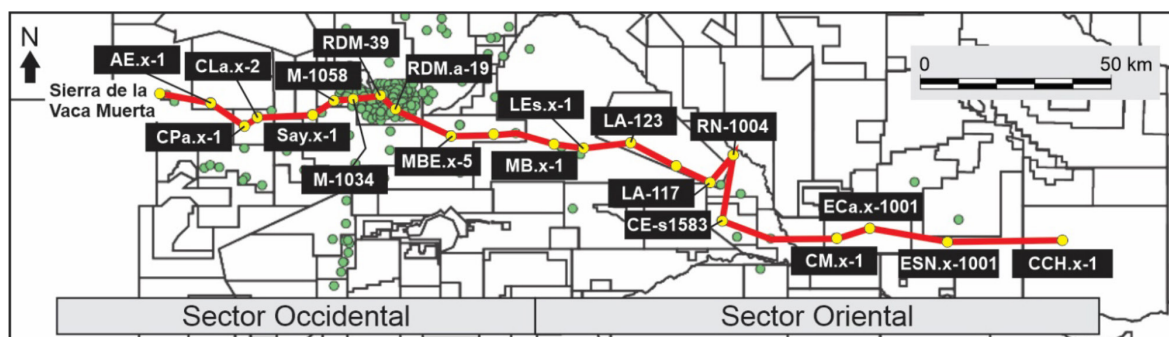


Figura 4. Mapa de ubicación de la traza de la transecta y la mayoría de los pozos clave empleados en este trabajo. Además, se indica la subdivisión en dos regiones principales para la caracterización del intervalo de estudio.

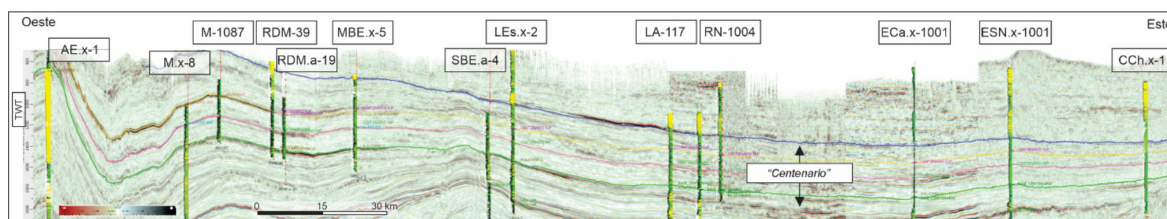


Figura 5. Corte sísmico en tiempo con la configuración de deformación actual. Se indican los principales horizontes sísmicos identificados. El intervalo “Centenario” se correspondería aproximadamente con la definición amplia original (ver Fig. 3). La paleta de colores indica rojo para valores negativos y negro para valores positivos (aplica también para figuras 6, 7 y 10). En el Anexo I se presenta esta figura en formato ampliado.

RESULTADOS

Mediante la integración de pozos, sísmica, cutting, y material de coronas disponible se pudieron individualizar marcadores (*markers*/horizontes sísmicos) estratigráficos clave. Algunos de estos horizontes sísmicos son posibles de trazar en amplias extensiones del área considerada, sentando las bases para la propuesta de correlación de esta contribución (Figs. 5, 6). En particular, mediante este trabajo fue posible comenzar a limitar el alcance de la Formación Centenario y equipararlo con mayor aproximación al intervalo de Agrio definido al oeste (Fig. 6). Más aún, el horizonte sísmico identificado como la base de Agrio Superior (o próximo a ésta) es posible de extender hacia el este permitiendo subdividir a la Formación Centenario en dos intervalos estratigráficos equivalentes a los miembros Agrio Inferior y Superior. Si bien esta subdivisión es fácil de realizar mediante perfiles en otras regiones de subsuelo del noreste (por ej. Vergani *et al.* 2001) no resultaba sencillo en esta región central de la cuenca y constituye un primer aporte fundamental de este estudio. En forma adicional, la base de Agrio Superior (y su extensión como base de Centenario Superior) puede ser utilizado como datum regional (Fig. 6) dado que se asocia con una transgresión marina sobre una paleogeografía de bajo relieve relativo.

Luego de definido el armazón sísmo-estratigráfico general se procedió a analizar las variaciones laterales. A lo largo de la extensión del área considerada es posible observar variaciones sustanciales tanto de relaciones estratigráficas de la unidad Agrio/Centenario con unidades infrayacentes (Fms. Mulichinco o Loma Montosa) y suprayacentes (Fms. Huitrín o Rayoso), así como de las principales litologías, facies sedimentarias y patrones de apilamiento que caracterizan al intervalo de estudio. De esta manera, es posible definir dos sectores principales a lo largo de la transecta con características distintivas: Sector Occidental y Sector Oriental (Figs. 4 y 6).

Para cada uno de estos sectores se presenta una breve descripción de los caracteres diagnósticos asociados a los distintos límites, así también como una caracterización de las distintas unidades involucradas en este análisis, utilizando principalmente criterios sísmicos, de perfiles, por cutting, y geométricos. Para los intervalos de interés se mencionan además las posibles facies y paleoambientes interpretados (cuando se cuenta con registro de coronas) o posibles (cuando no hay información suficiente).

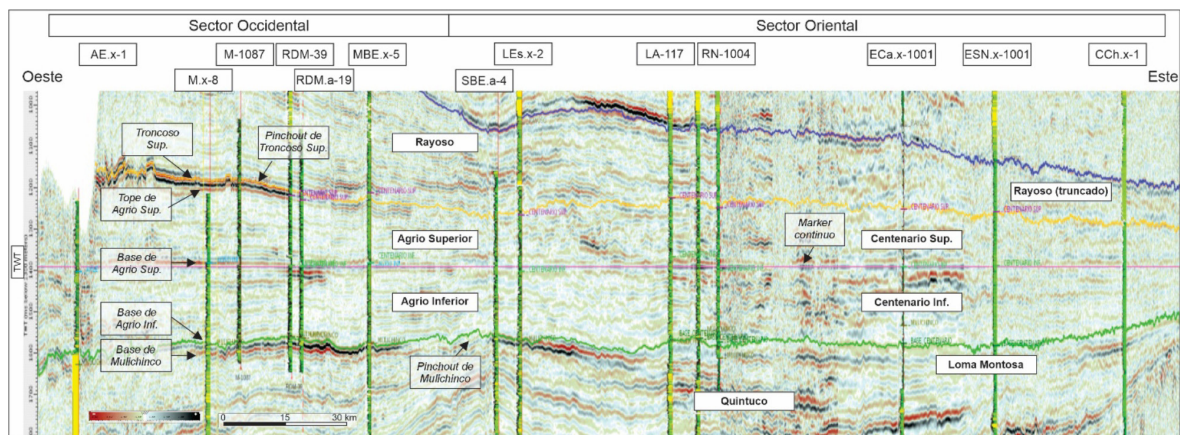


Figura 6. Corte sísmico en tiempo nivelado al horizonte sísmico que representa la base del Miembro Agrio Superior y su correlación al este mediante la cual se definen unidades específicas dentro de Centenario.

1. Sector Occidental

El área comprendida en este sector abarca desde los afloramientos hasta los bloques Cerro Partido (Norte y Este), Las Tacanas Norte, El Mangrullo, Rincón del Mangrullo, Fortín de Piedra, Meseta de Buena Esperanza y Sierra Barrosa cubriendo unos 100 km sobre la traza de la transecta (Fig. 4).

1.2. Límite entre Mulichinco y Agrio Inferior

Sísmica. Reflector positivo de amplitud variable acompañado por un negativo fuerte inferior y otro superior, ambos bastante continuos (Fig. 7). En general la amplitud de estos reflectores disminuye hacia el este.

Perfiles. De una firma típica de calizas, verticalmente se pasa a respuestas variable según la posición relativa del sondeo (Fig. 8). Hacia el oeste se define una firma de arcillas (*R. Gamma* alto, resistividad baja, alto valor de perfil acústico y sin deflexión de SP), mientras que hacia el este en los pozos de El Mangrullo, Rincón del Mangrullo y Meseta de Buena Esperanza, la firma es de arenas cementadas, similar a las calizas pero con valores más atenuados.

Litología. Pasaje de calizas bioclásticas a arcilitas o areniscas cementadas con carbonato de calcio. Este pasaje representa parte de la evolución de inundación generalizada de la cuenca desde facies marino-marginales previas a facies puramente marinas de *offshore* (Schwarz *et al.* 2006; Schwarz *et al.* 2011).

1.3. Miembro Agrio Inferior

Sísmica. Reflectores bien definidos, paralelos de buena continuidad lateral que pierden contraste hacia el sector oriental (Fig. 7). La sección suele presentar angularidades y reflectores

truncados en la zona central. Algunos de estos reflectores han servido para mapear superficies internas dentro de la unidad (Echevarria y Schwarz 2021).

Perfiles. Muy buena definición de arreglos típicos “Arena-Arcilla” (Fig. 8), con niveles de *R. Gamma* alto muy continuos. En la base perfiles acústicos y resistivos con respuesta de “duros”. Testigos de corona de la base de la unidad en El Mangrullo muestran areniscas y fangolitas bioclásticas.

Litología, espesor y geometría. Alternancia de areniscas finas y muy finas y arcilitas castaño verdosas y negras, con niveles carbonáticos o mayor cementación carbonática en la base del intervalo. En el extremo oriental de esta región (pozos MBE) se define un claro dominio de areniscas finas hasta medianas (Fig. 8). El espesor de esta unidad en la Sierra de la Vaca Muerta y alrededores es de entre 600 a 670 m (Schwarz *et al.* 2021). En el sector más cercano del subsuelo se reduce rápidamente a 450 m, para luego disminuir gradualmente hacia el este hasta valores de 375 m en el extremo este del Sector Occidental (MBE, Figs. 8, 9A). Consistente con la respuesta sísmica se nota una muy buena continuidad lateral de los grupos de arreglos de facies (secuencias). Hacia el oeste un claro dominio pelítico mientras que hacia el este el dominio es psamítico (Fig. 9C). De un net-to-gross (NG) menor a 0,1 en Cerro Ladrillo, se pasa a valores promedio de NG:0,65 en El Mangrullo, para alcanzar valores máximos de NG:0,9-0,8 en RDM y MBE.

Facies y paleoambientes. El registro de testigos de corona en El Mangrullo (unos 500 m de material) permitió identificar e interpretar facies pelíticas asociadas a ambientes de *offshore* y prodelta, facies arenosas de frente deltaico (que conforman alrededor del 50% de la sucesión), así como facies arenosas de canales distributarios intercaladas entre facies pelíticas de planicies deltaicas (Schwarz *et al.* 2018a, 2021). Hacia el oeste se hacen dominantes las facies de *offshore* a prodelta, pero en el tercio inferior se desarrolla un paquete de areniscas bioclásticas y fangolitas (Fig. 8). Este último se correlaciona con facies similares en los afloramientos, y fueron interpretados como la representación de un sistema de dunas de *offshore* construidas por corrientes mareales (Veiga y Schwarz 2016). En cualquier caso, en esta unidad se comprueba un claro arreglo de sistemas de acumulación más proximales al este (dominio de frente deltaico y planicie deltaica) y más distales al oeste (prodelta y *offshore*, Schwarz *et al.* 2021).

1.4. Miembro Avilé

El Miembro Avilé, aunque puede reconocerse a través de testigos de corona (Schwarz *et al.* 2018a), no tiene suficiente contraste litológico ni espesor como para poder detectarse por cutting, perfiles o sísmica por lo tanto no se incluye en el análisis. Su espesor en El Mangrullo no supera los 5 m y está compuesto por areniscas medianas a gruesas con estratificación entrecruzada que se interpretan como de origen fluvial (Schwarz *et al.* 2018a).

1.5. Límite entre Agrio Inferior (o Avilé) y Agrio Superior

Sísmica. Reflector continuo positivo variable en amplitud (Fig. 7), por encima reflector negativo grueso con geometrías de downlap muy extendidas.

Perfiles. Una clara firma en casi todos los perfiles que varía abruptamente de una respuesta típica de “arenas” a una típica de “arcillas”. Este paquete posee alrededor de 60 m en el oeste y se reduce gradualmente a 15 m de potencia hacia el este del sector (Figs. 7, 8). En la mayoría de los casos el paquete de arcilitas (de ambiente marino) grada rápidamente a una sucesión arenosa que sugieren un arreglo progradante.

Litología. Consistentemente se pasa de areniscas muy finas a un extenso cuerpo de pelitas negras con materia orgánica preservada. Esta sucesión corresponde a la inundación generalizada de la cuenca luego del período de desconexión marina entre el depocentro neuquino y el océano adyacente (Spalletti *et al.* 2011).

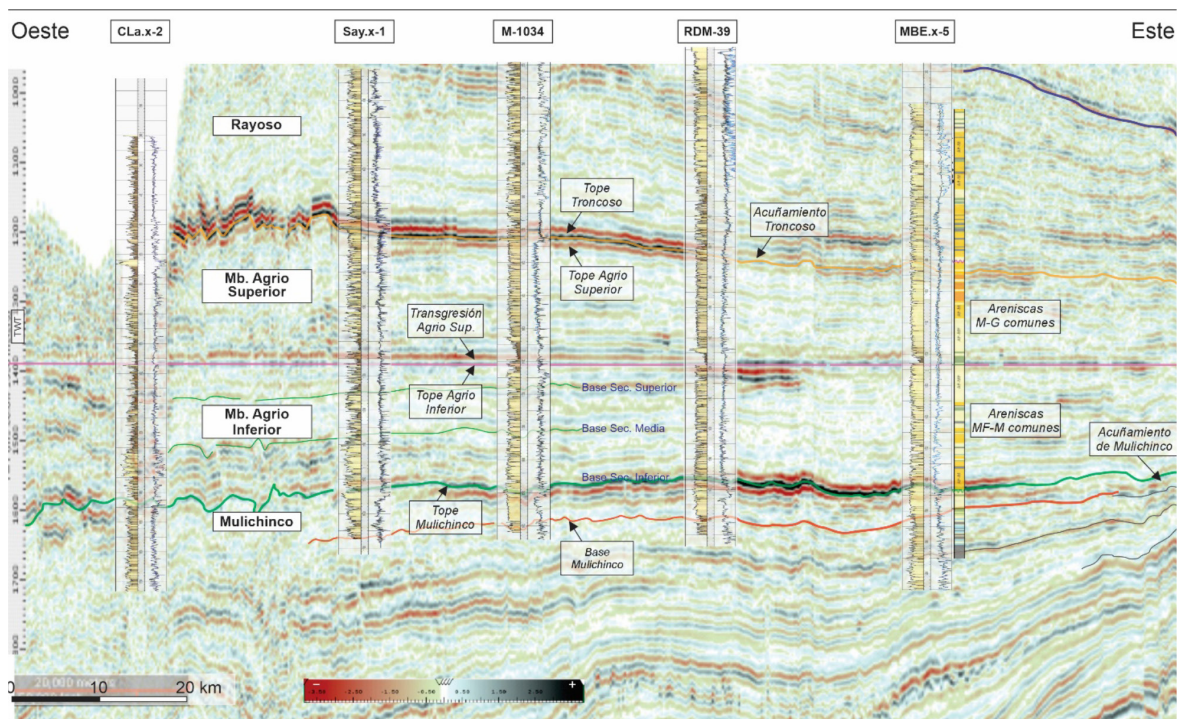


Figura 7. Corte sísmico en tiempo de detalle del Sector Occidental (nivelado a la base del Miembro Agrio Superior) con superposición de perfiles e información de cutting. Se indica también posición de los límites de las secuencias (Sec.) definidas para Agrio Inferior (según Schwarz *et al.* 2021; Schwarz y Veiga 2022).

1.6. Miembro Agrio Superior

Sísmica. Reflectores bien definidos, paralelos y con bajo contraste (Fig. 7).

Perfiles. Hacia el oeste se registran valores altos de *R. Gamma* con escasos niveles “limpios” de

calizas o arenas cementadas, mientras que en la zona central (El Mangrullo y Rincón del Mangrullo) tiene firma característica con dominio de *R. Gamma* bajo e intercalaciones subordinadas de valores altos. Hacia el oeste se incrementan las intercalaciones pelíticas (Fig. 8).

Litología, espesor y geometrías. En la zona oeste se registra un predominio de sucesiones pelíticas potentes con escasas intercalaciones de calizas y arenas cementadas y un bajo net-to-gross (0,2). En el centro y este de esta región se registra una sucesión con dominio de areniscas finas y muy finas en la sección inferior, con intercalaciones delgadas de arcilitas, pero que hacia la mitad superior se vuelve más arenosa y con preponderancia de areniscas medianas y finas (Fig. 8). Los valores NG varían entre ~0,6 en El Mangrullo hasta 0,8 en el extremo oriental de este sector (Fig. 9D). El espesor de esta unidad en la Sierra de la Vaca Muerta y exposiciones sobre el Río Agrio es de unos 450 m (Lazo *et al.* 2009). En el sector más cercano del subsuelo (Cerro Partido) la unidad posee unos 330 m de espesor, alcanza máximos valores en El Mangrullo (380-350 m) para luego volver a disminuir hacia el este hasta valores de unos 320 m de potencia (MBE, Figs. 8, 9B). El incremento en la zona de El Mangrullo podría deberse a la preservación de depósitos más jóvenes

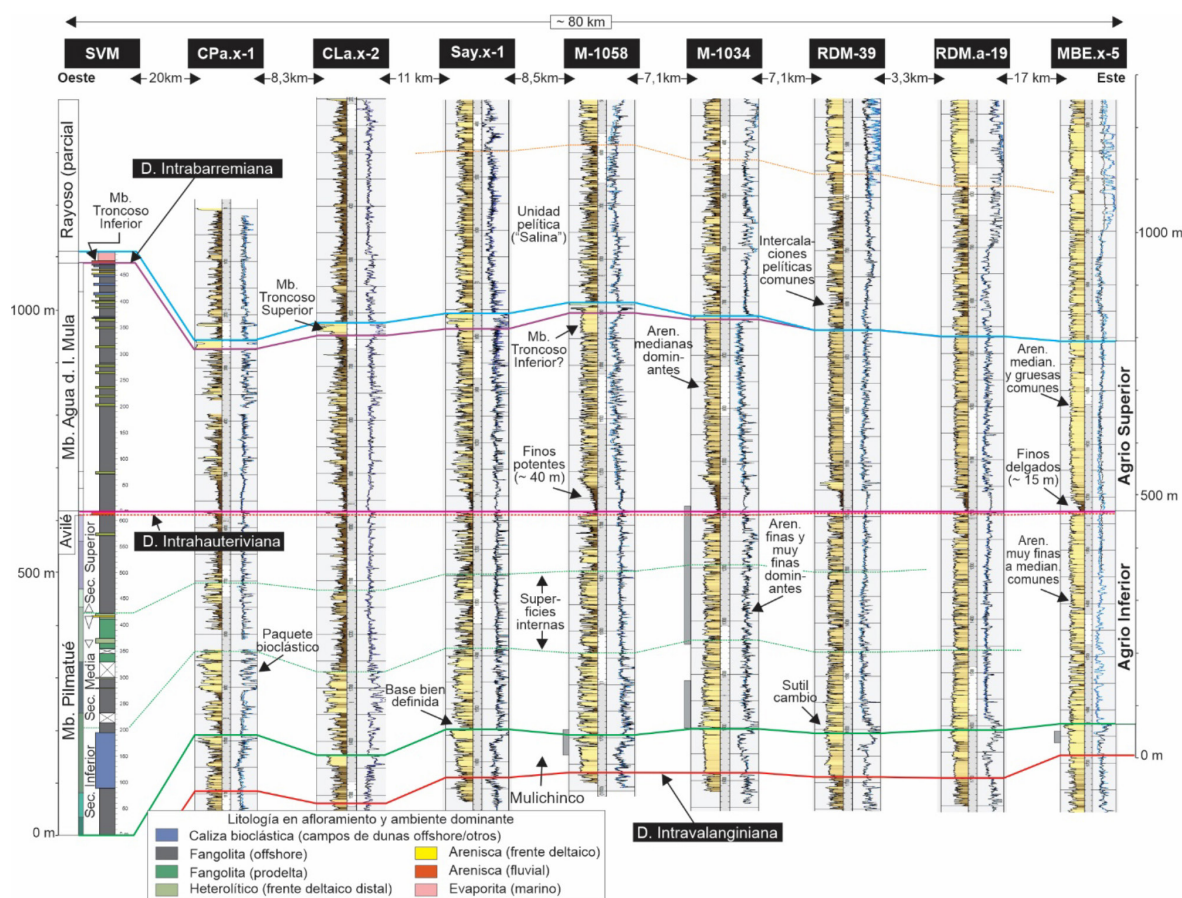


Figura 8. Panel de correlación del Sector Occidental, con perfiles de subsuelo y principales límites estratigráficos. Se agregan perfiles esquemáticos de afloramiento del Mb. Pilmatué (Schwarz *et al.* 2022) y del Mb. Agua de la Mula (Lazo *et al.* 2009) relevados entre la Sierra de la Vaca Muerta (SVM) y Bajada del Agrio, respectivamente. Aren: areniscas; med.: medianas. Se indica también la ubicación aproximada de testigos de corona (rectángulos grises).

de Agrio Superior. Sin embargo, considerando que en la porción cuspidal aparecen en el tope unos 10 a 15 m de areniscas gruesas a conglomerádicas, estas podrían ser atribuidas al Miembro Troncoso Inferior de la Formación Huitrín (Fig. 8). Dado que la respuesta de perfiles y sísmica no es distinguible de aquella observada en el Miembro Agrio Superior (o Agua de la Mula), a fines prácticos se optó por integrar este espesor a la unidad infrayacente.

Facies y paleoambientes. En los afloramientos sobre el Río Agrio y Bajada del Agrio la mayor parte de la unidad está conformada por potentes sucesiones de facies pelíticas silicoclásticas de *offshore* hasta prodelta, con delgadas intercalaciones de areniscas atribuidas a ambientes de shoreface o inclusive a frentes deltaicos de deltas dominados por olas (Spalletti *et al.* 2001b, Lazo *et al.* 2009). La sucesión cuspidal de la unidad (unos 70 m) en estos afloramientos se distingue por intercalaciones de areniscas, fangolitas, calizas oolíticas, y calizas bioclásticas, que se habrían generado en un ambiente desde marino a marino marginal, con desarrollo de planicies mareales (Fernández y Pazos 2012). No se disponen de testigos de corona para el área adyacente de subsuelo y por lo tanto una interpretación paleoambiental ajustada como la presentada para el Mb. Agrio Inferior no es factible. No obstante, considerando el amplio dominio de facies arenosas silicoclásticas (Fig. 8) es posible especular con la presencia de depósitos probablemente asociados a frentes deltaicos, tal vez con subordinados niveles de planicie deltaica y prodelta. Con todo, llama la atención que no se registra en subsuelo un intervalo cuspidal con intercalaciones de facies carbonáticas como las observadas en afloramiento. Esto podría deberse o bien a un fuerte cambio lateral de facies, o a la no preservación de un intervalo equivalente, en este caso probablemente debido a erosión asociada a la discontinuidad intra-Barremiana (base del Mb. Troncoso Inferior, Fig. 8).

1.7. Límite entre Agrio Superior y Fm. Huitrín

Sísmica. Una muy fuerte y continua reflexión de amplitud negativa, marca el fuerte contraste de impedancias entre las evaporitas del Miembro Troncoso Superior de Huitrín y las arenas porosas superiores de Agrio/Centenario Superior (o Mb. Troncoso Inferior) (Fig. 7). Inmediatamente por encima y con diseño paralelo al anterior se registra otro continuo y muy fuerte reflector positivo, que marca el tope del delgado paquete de evaporitas de la Fm. Huitrín. Hacia el este la pérdida de espesor y eventualmente la desaparición de los depósitos evaporíticos (por ej. en Rincón del Mangrullo) se traduce en una atenuación de las amplitudes, pero no de la firma sísmica característica (Fig. 7).

Perfiles. En la zona en donde están presentes las evaporitas la respuesta de perfiles es muy evidente ya que los yesos tienen una respuesta de *R. Gamma* cercana a cero, resistividades altas y muy bajo tiempo de tránsito acústico (Fig. 8). Esto contrasta con cualquier otro tipo litológico adyacente. Hacia el este no se distingue una firma característica que permita definir el pase a no ser

por correlación de arreglos litológicos característicos por encima y debajo (correlación de pozos). Mediante este criterio es posible reconocer el límite en donde la sucesión comienza a presentar abundantes intercalaciones de facies pelíticas (Fig. 8).

Litología. En la zona oeste el pasaje contrastante de pelitas oscuras a niveles de yeso blanquecino marca el pase formacional. En la zona central el cambio se da entre areniscas gruesas (presumiblemente Mb. Troncoso Inferior) a paquete de yesos y calizas subordinadas. Por su parte en RDM y hacia el este ya no se distingue un contraste litológico evidente, pero sí un cambio en la proporción de facies finas por arriba (Fig. 8).

1.8. Formación Huitrín (Miembros Troncoso Inferior y Superior)

Como se explica en párrafos anteriores, el Miembro Troncoso Inferior se ha incorporado a los términos arenosos de la Fm. Agrio Superior ya que hasta el momento no hay evidencia clara como para desarrollar un criterio que permita marcar la base de estas arenas en numerosos pozos o en la información sísmica. De cualquier manera, el hecho de que la unidad sea muy delgada en los afloramientos de la Sierra de Vaca Muerta, donde puede variar de 10 m hasta no estar presente (Veiga y Vergani 2011), hace difícil su existencia con significativo desarrollo vertical en estas regiones. Por su parte el Miembro Troncoso Superior o “evaporitas de Huitrín” se destaca por su contraste litológico y fue descrito en un apartado anterior.

A partir del área RDM y hacia el este (Fig. 8) desaparecen las evaporitas quedando en su reemplazo únicamente delgados niveles de areniscas y arcilitas, que son indistinguibles de los elementos hallados en la sucesión suprayacente correspondiente a la Formación Rayoso.

1.9. Formación Rayoso

Si bien esta unidad no es el objeto de estudio de la transecta aquí analizada, es necesario delinearlas para poder marcar el límite con la unidad inferior, particularmente en la zona oriental de este sector (Figs. 7 y 8). Información sísmica e interpretación paleoambiental para este sector se encuentra en Suárez *et al.* (2019).

Sísmica. Son reflectores continuos, pero de poca intensidad. Se distingue cierta linearidad que permite detectar convergencia hacia la zona oriental (Fig. 7).

Perfiles. En el sector oeste se observan patrones verticales en las curvas de rayos gamma y resistividad que permiten con relativa claridad definir intervalos dominados por sucesiones pelíticas y otros dominados por sucesiones arenosas (Fig. 8). Esto permite postular posibles equivalencias con los miembros formales Salina, Rincón, Quili Malal y Pichi Neuquén definidos en afloramientos (Zavala y Ponce, 2011). No obstante, vale la pena resaltar la fuerte variación lateral en proporción de arena-arcilla que se aprecia en sentido este-oeste para los distintos intervalos

estratigráficos (Fig. 8). Por su parte desde el sector de RDM y hacia el este se debe recurrir a la correlación entre pozos para lograr interpretar la continuidad de las distintas unidades. En este caso se ha dado particular importancia a los patrones de apilamiento (por ej., dominio de *R. Gamma* alto o bajo) y su persistencia lateral para identificar cada unidad interna de la Formación Rayoso.

Litología y espesor. A lo largo del área considerada la unidad basal se distingue por una relativa alta proporción de paquetes de arcilitas con un relativo bajo NG (Fig. 8). De cualquier manera, de este estudio se desprende la necesidad de caracterizar más en detalle la Formación Rayoso, en particular en la zona en dónde no hay registro de las evaporitas de Troncoso que sirven de claro límite inferior de esta unidad. En este contexto se postula la necesidad de utilizar otras herramientas distintivas (por ej. geoquímica, quimioestratigrafía) para generar criterios adicionales de diferenciación entre las areniscas y fangolitas del tope del Miembro Agrio Superior y base de la Formación Rayoso. El espesor de esta unidad en la región varía de un máximo de 700 m en El Mangrullo hasta valores de 580 m en MBE (Fig. 7).

Facies y paleoambientes. La mitad superior de esta unidad aflora extensamente en la Barda de El Mangrullo y se compone mayormente de fangolitas hasta areniscas medianas acumuladas en sistemas fluviales efímeros. La escasa información de testigos corona de esta unidad en la región ha permitido identificar facies de fangolitas, areniscas muy finas a finas, y de areniscas medianas hasta conglomerádicas, que fueron interpretadas como generadas en ambientes deltaicos fluvio-lacustres.

1.10. Discordancia Cenomaniana y base del Gr. Neuquén

Si bien esta discordancia erosiva de primer orden (Leanza 2009) y la unidad suprayacente tampoco son el foco de este trabajo, este horizonte estratigráfico se utiliza a lo largo de la transecta (Figs. 5 y 6). A partir de la caracterización en la Barda de El Mangrullo y RDM, se ha correlacionado y extendido el pase y caracterización de la Formación Candeleros a otros sectores de esta región (Echevarria y Canosa 2017; Echevarria y Schwarz 2021).

2. Sector Oriental

Este sector del área de estudio abarca Meseta Barrosa, Lindero Atravesado, Centenario y Río Neuquén en la región más oriental de la provincia de Neuquén y se extiende a los bloques Cerro Manrique y Villa Regina en la Provincia de Río Negro (Fig. 4), totalizando unos 150 km en línea recta. La densidad y calidad de información de pozos disminuye en la región rionegrense, pero aun así es posible trazar reflectores sísmicos claves que permiten una integración con los otros dos sectores (Figs. 6, 10).

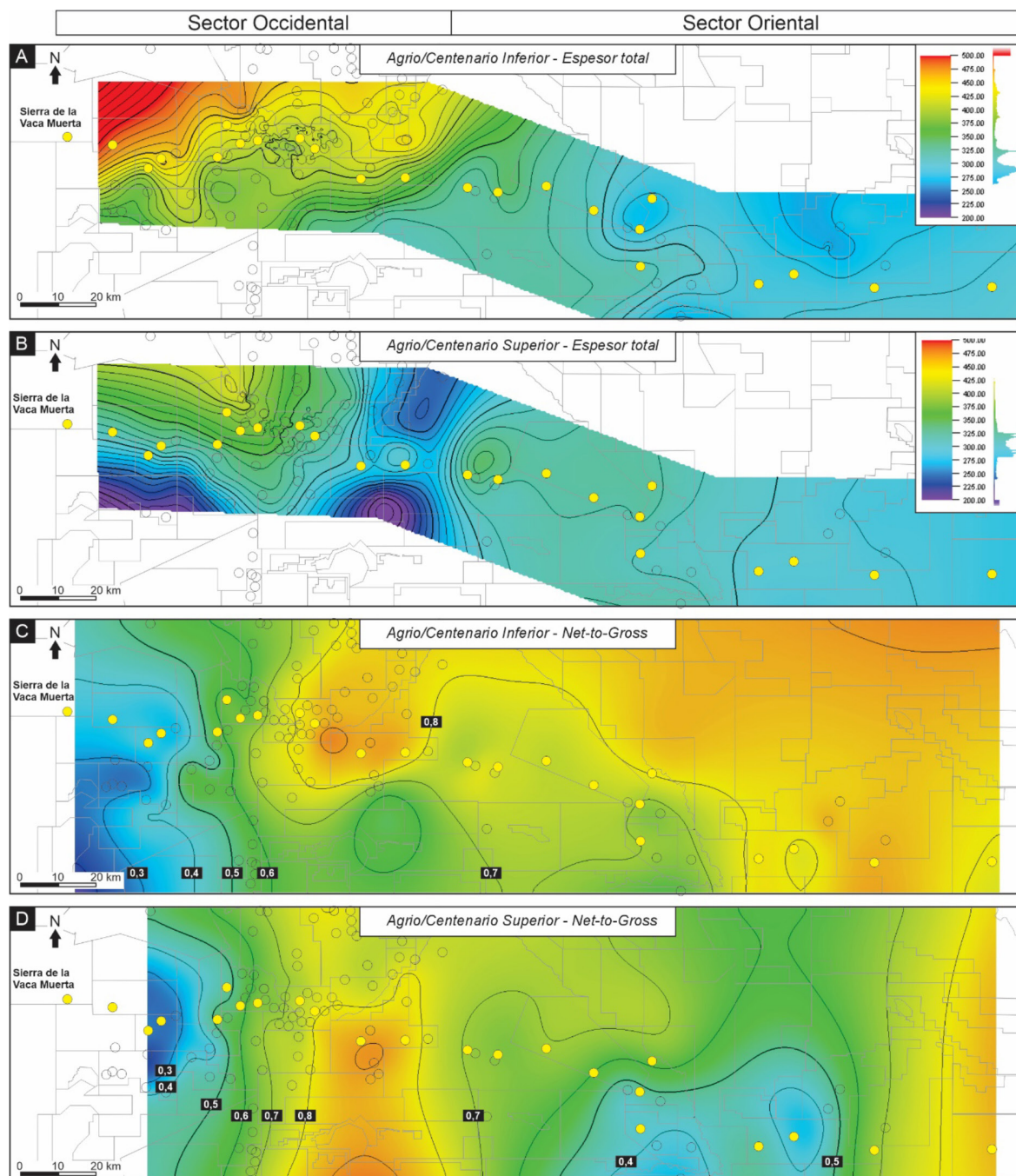


Figura 9. A) y B) Mapas de espesores y estimaciones de relación net-to-gross para Agrio/Centenario Inferior (A y C) y Agrio/Centenario Superior (B y D), respectivamente. En el sector oeste, la proporción de areniscas es aún menor (llega a 0,1) pero el NG está influenciado por la presencia de calizas intercaladas entre la sucesión dominante de fangolitas.

2.1. Sección superior de Loma Montosa/Quintuco y límite con Centenario

Sísmica. En la zona de Sierra Barrosa el límite sísmico entre Centenario y las unidades infrayacentes está marcado por reflector continuo, fuerte negativo (de calizas a areniscas porosas) y por encima un reflector positivo continuo, pero de menor amplitud (Fig. 10). En la zona de

Lindero Atravesado y hacia el este en amplios sectores de Río Negro este límite se adjudica en un reflector negativo más difuso y discontinuo. La diferente respuesta sísmica se encuentra probablemente relacionada con el cambio de facies por debajo de dicho límite. Por su parte, el diseño que se genera en la zona de Sierra Barrosa con reflectores conformando una estructura de anticlinal se debe a la expresión del Alto de Cupén (Fig. 10), ubicado algo más al sur de la traza de la transecta (Suárez *et al.* 2019).

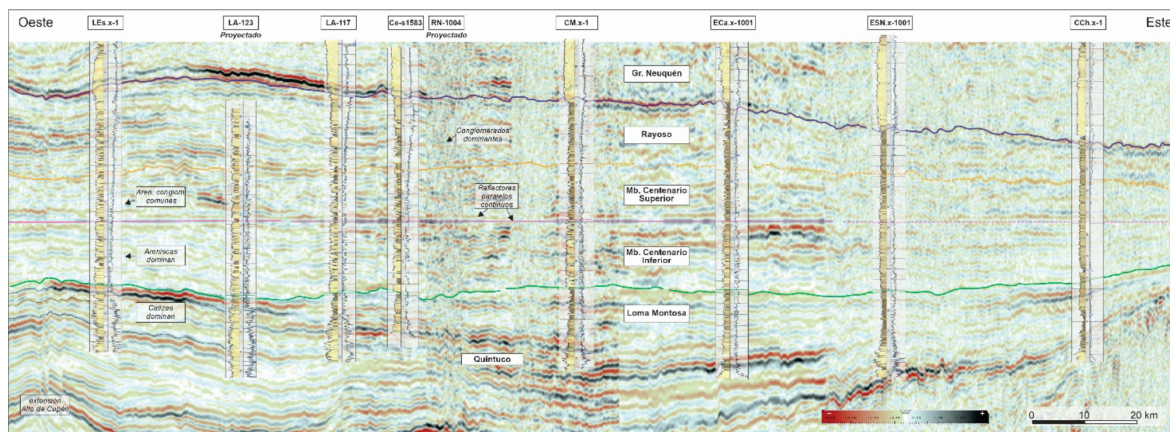


Figura 10. Corte sísmico en tiempo de detalle del Sector Oriental (nivelado a la base del Miembro Agrio/Centenario Superior) con superposición de perfiles e información de cutting. Ubicación de traza en figura 4.

Perfiles. La sección superior por debajo de la Fm. Centenario (considerando los último 100 m), muestra valores de *R. Gamma* bajo en el sector de Sierra Barrosa, que gradúa al este a valores altos, con escasas intercalaciones de valores bajos (Fig. 11). En estos sectores la resistividad es predominantemente baja. Por su parte, el límite basal en amplios sectores de esta región posee una firma clara, desde la sucesión inferior con valores altos de *R. Gamma* a paquetes amalgamados de areniscas con *R. Gamma* “limpio” (Fig. 11).

Litología. Según sugieren los perfiles y el registro de cutting disponible, en la zona de Sierra Barrosa la sección estratigráfica por debajo de Fm. Centenario presenta litologías dominantes de areniscas calcáreas, fangolitas y subordinadas calizas, que incrementan participación hacia la base (Fig. 10, 11). Por lo tanto, en conjunto esta sucesión podría ser asignable a la Formación Quintuco. Por su parte hacia el este, la sección cuspidal está dominada por fangolitas y areniscas silicoclásticas, con subordinadas areniscas calcáreas y calizas oolíticas, que en conjunto podrían ser consideradas como facies de la Formación Loma Montosa (Figs. 10, 11).

2.2. Miembro Centenario Inferior

Sísmica. Reflectores bien definidos, paralelos entre sí, pero no planos sino más bien ondulados y con variable continuidad lateral (Fig. 10).

Perfiles. Muy buena definición de arreglos típicos “Arena-Arcilla” (Fig. 11), con niveles de *R. Gamma* alto poco continuos.

Litología, espesor y geometrías. Predominio de paquetes de areniscas medianas a gruesas, con intercalaciones delgadas de arcilitas y muy subordinadas niveles de areniscas conglomerádicas, principalmente cerca del tope de la unidad (Fig. 11). Es decir que se registra un ligero incremento de granulometría dominante con respecto a Sector Occidental. El espesor del Mb. Centenario Inferior varía entre 310 y 370 m a lo largo de la región, pero no muestra un claro patrón espacial (Fig. 9A). Por su parte, los valores de NG son relativamente más bajos en la región de Sierra Barrosa y Lindero Atravesado que en la región de RDM y MBE del sector Occidental, promediando un NG:0,7 (Fig. 9C). En el extremo oriental de la zona de estudio (Cerro Manrique, Villa Regina), los valores son ligeramente más altos (NG:0,8).

Facies y paleoambientes. Si bien no se ha podido acceder a información de testigos de corona, la integración con el Sector Occidental y los diseños de perfiles permiten hacer algunas especulaciones sobre facies y paleoambientes. En primer lugar, el ligero aumento de tamaño de grano

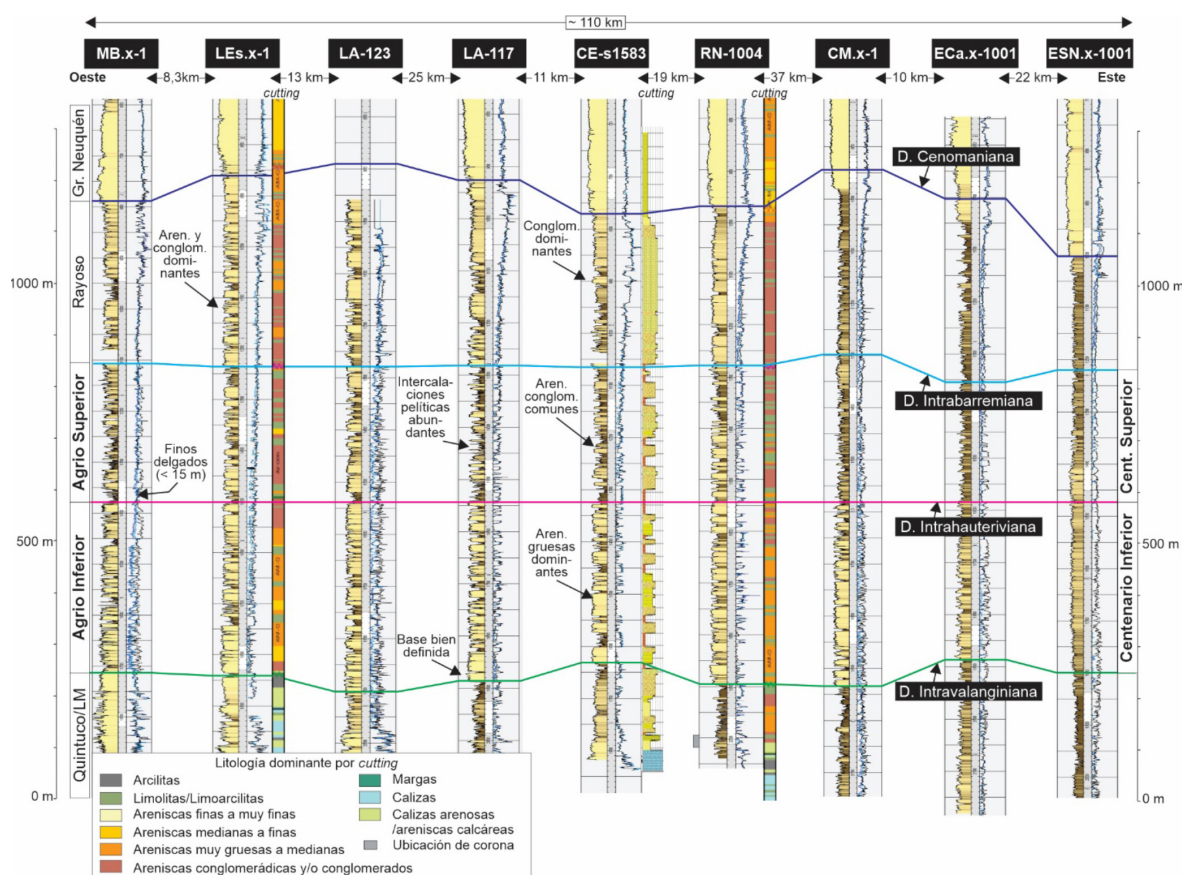


Figura 11. Panel de correlación del Sector Oriental, con perfiles y principales límites estratigráficos. La incertidumbre en la ubicación de éstos últimos se incrementa de Cerro Manrique hacia el este. Las discordancias Intravalanginiana, Intrahauteriviana e Intrabarremiana se vuelven coplanares con las superficies basales del Mb. Centenario Inferior, Mb. Centenario Superior y Fm Rayoso, respectivamente.

sugiere la posibilidad de sistemas ubicados en condiciones más proximales que las facies de frente deltaico y canales distributarios descriptas para El Mangrullo. Más aún, Schwarz *et al.* (2022) analizaron las tendencias verticales de perfiles como *R. Gamma* y resistividad en conjunto con el cutting, reconociendo paquetes arenosos con base neta gradando a depósitos finos. De esta manera, es posible especular que gran parte de las sucesiones arenosas reconocidas en el Miembro Inferior pueden corresponder a rellenos de canales ya netamente fluviales o porciones bien proximales de las planicies deltaicas, en tanto los intervalos finos podrían corresponder a depósitos de planicies fluviales de inundación.

2.3. Límite entre Centenario Inferior y Centenario Superior

Sísmica. Reflector continuo positivo variable en amplitud, acompañado por otro reflector negativo algo más grueso, pero más difuso por sectores. Este par de reflectores es claramente trazable desde Sierra Barrosa hasta Cerro Manrique, y con menor amplitud puede continuarse hasta la zona de Villa Regina (Fig. 10).

Perfiles. Una firma en casi todos los perfiles que varía de una respuesta típica de “arenas” a una en donde se hacen comunes los paquetes de arcilitas (Fig. 11). Si bien en el sector de Sierra Barrosa este nivel de pelitas podría ser también de origen marina, esa situación no puede trasladarse hacia los sectores orientales de Lindero Atravesado, Centenario o aún más al este. En esos casos es probable que las facies finas equivalentes representan depósitos marinos marginales o netamente continentales.

Litología. Consistentemente se pasa de paquetes de areniscas o areniscas conglomerádicas a un intervalo de fangolitas o de intercalaciones de éstas con areniscas (Fig. 11).

2.4. Miembro Centenario Superior

Sísmica. Reflectores parcialmente bien definidos, paralelos entre sí, pero no planos sino más bien ondulados y con variable continuidad lateral (Fig. 10).

Perfiles. Muy buena definición de paquetes con bajos valores de *R. Gamma* alternando con intervalos de altos valores (Fig. 11). Sin embargo, la presencia de abundantes niveles de areniscas conglomerádicas y conglomerados dificulta su directa interpretación litológica.

Litología, espesor y geometrías. Las descripciones de cutting permiten apreciar un incremento significativo del tamaño de grano máximo con respecto al Sector Occidental. Desde Sierra Barrosa hacia el este se reconocen paquetes de areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados intercalando con sucesiones pelíticas abundantes (Fig. 11), y si bien es difícil poder cuantificar, pareciera que se registra un incremento de los depósitos conglomerádicos al este. En forma simultánea, también se registra hacia el este un incremento en la proporción de depósitos pelíticos, generando valores cercanos a NG:0,7 en Meseta Barrosa y valores mínimos de 0,4 a 0,5

en las zonas de Centenario, Río Neuquén y Cerro Manrique (Fig. 9D). Por su parte, el espesor de Centenario Superior en este sector es ligeramente menor que en el Sector Occidental, pero sin registrarse grandes variaciones. Por lo general la unidad varía entre 280 y 240 m y no muestra un claro patrón espacial (Fig. 9B).

Facies y paleoambientes. El grado de incertidumbre sobre las características de los sistemas de acumulación asociados a esta región es aún mayor que para la unidad anterior en esta región. Sin embargo, puede indicarse que el amplio dominio de facies gruesas (areniscas conglomerádicas y conglomerados) y el bajo NG observado plantea una diferencia significativa con las posibles condiciones de acumulación de los sistemas fluviales interpretados para el Miembro Centenario Inferior. En este caso parecería que los controles sobre su desarrollo se habrían modificado sustancialmente (pendientes regionales, tipos y distribución de descargas aluviales, cercanía de áreas fuentes, entre otros) para disparar la generación de sistemas aluviales con mayor disponibilidad, o posibilidad de transportar y acumular, material gravoso.

2.5. Límite entre Centenario Superior y Rayoso

Sísmica. El límite entre estas dos unidades está constituido por un par de reflectores (positivo inferior y positivo superior) que se continúan desde el Sector Occidental (Figs. 6, 8). Dentro del Sector Oriental pueden continuarse casi ininterrumpidamente desde Sierra Barrosa hasta Río Neuquén, e inclusive dentro del sector oeste de Cerro Manrique (Fig. 9). Luego la calidad de la información sísmica disminuye, pero es posible extrapolarlo, aunque con mayor incertidumbre hasta la región de Villa Regina.

Perfiles. La firma de este límite por perfiles no es muy distintiva en algunos sectores, sobre todo hacia la parte oeste (Sierra Barrosa). No obstante, de Lindero Atravesado hacia el este se produce un aumento considerable de paquetes pelíticos por debajo (Centenario Superior), que contrasta con el *R. Gamma* limpio que se registra del límite para arriba (por ej., LA-117 y RN-1004 en Fig. 10). En otras palabras, la firma se invierte con la expresión consignada para regiones del Sector Occidental (comparar por ej. con límite en RDM-39, Fig. 8).

Litología. La litología dominante no se modifica sustancialmente a través de este límite, por lo tanto es posible que no sea sencillo de reconocer a escala de pozos individuales. Esto refuerza la necesidad de avanzar con otros estudios (composicionales, geoquímicos, etc.) para lograr nuevos criterios de delimitación.

2.6. Formación Rayoso

En comparación con lo observado en el Sector Occidental, el intervalo basal de esta unidad (primeros 100 m) posee en esta región un incremento de facies conglomerádicas y una menor pro-

porción de intervalos pelíticos (Fig. 11). En cambio el diseño sísmico resulta similar, con reflectores continuos y paralelos por extensas regiones (Fig. 10). Por otra parte, el espesor total se reduce considerablemente con respecto al oeste, registrado valores de 400 a 280 m. Si bien, se observa un diseño convergente de reflectores que podrían explicar parte de la reducción de espesor, también se insinúan relaciones de truncación en el tope (asociado a la Discordancia Cenomaniana) que podrían sugerir erosión de un significativo volumen de sedimentos asignables a la Formación Rayoso. De cualquier manera, estas especulaciones van más allá del objetivo de este trabajo.

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

Este trabajo, mediante la integración de un gran cúmulo de información de subsuelo y su análisis por un grupo de geocientistas de distintas operadoras y del ámbito académico, permite refinar el esquema estratigráfico existente para la sucesión cretácica inferior en el sector central de la Cuenca Neuquina.

En primer lugar, se logró delimitar en amplios sectores de esta región cuál es el registro estratigráfico detrítico continental que corresponde al tope del Grupo Mendoza Inferior (Loma Montosa), cuál se correlaciona temporalmente con la Formación Agrio (para el cual se reserva la denominación Formación Centenario en su nuevo alcance más limitado) y cuál sería equivalente a la Formación Rayoso, según la denominación lito y cronoestratigráfica bien establecida en los afloramientos del sector andino.

En segundo término, a lo largo del todo el Sector Oriental se logró subdividir a la Formación Centenario en dos unidades que correlacionan directamente con los Miembros Agrio Inferior (o Pilmatué, Valanginiano tardío- Hauteriviano temprano) y Agrio Superior (o Agua de la Mula, Hauteriviano Tardío) definidos hacia el oeste. Esto permite extender a los sistemas deposicionales activos durante el Valanginiano tardío y Hauteriviano hasta los márgenes mismos de la cuenca. De esta manera, pueden integrarse sistemas netamente fluviales con los sistemas deltaicos interpretados para Agrio Inferior en las regiones de El Mangrullo y RDM, así como para los sistemas deltaicos inferidos (con mayor incertidumbre) para Agrio Superior de la misma región.

Al comparar las sucesiones de los Mbs. Centenario Inferior y Superior en el Sector Occidental surgen claras diferencias litológicas, faciales y de amalgamación, que pueden ser utilizadas como criterios generales de delimitación de ambas unidades, por ejemplo cuando sólo se dispone de información local (escala de yacimiento). En particular para el Mb. Centenario Superior se reconoce un incremento general del tamaño de grano (gravas comunes) y un incremento de paquetes pelíticos, lo que podría sugerir variaciones significativas en los tipos de sistemas de transferencia y/o proximidad de las áreas fuente de materiales detríticos. De la misma manera, también se aprecia una distintiva firma litológica y facial para la sucesión correspondiente a la Formación Rayoso, dominada en el sector más oriental por facies gravosas.

Los resultados de este trabajo de integración regional permiten resolver un problema estratigráfico de larga data en la Cuenca Neuquina con un esquema sísmo-estratigráfico integrado más robusto. En forma adicional, los nuevos modelos estratigráficos y paleoambientales pueden servir de base para mejorar tareas exploratorias y de producción de hidrocarburos en el intervalo Agrio-Centenario, así como para comprender la naturaleza de los acuíferos presentes o actividades relacionadas con el almacenamiento de gas. En el primer caso, el significativo desarrollo que posee la explotación de las arenas deltaicas tight del Mb. Agrio Inferior en El Mangrullo (Echevarria y Schwarz 2021) abre perspectivas para actividades exploratorias en facies similares de otras regiones utilizando como guía la distribución paleoambiental planteada en este trabajo. De la misma manera, los resultados de este trabajo mejoran el conocimiento sobre la distribución litológica y caracterización de reservorios maduros en la Formación Rayoso (por ej. yacimiento Cupén), que hoy se analizan como posibles contenedores de gas natural (Suárez *et al.* 2019). Así mismo, la nueva definición cronoestratigráfica y facial de la sucesión cretácica temprana puede ser utilizada en tareas exploratorias llevadas adelante en áreas de frontera del noreste de la provincia de Río Negro (por ej. Rodríguez Raising *et al.* 2019).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las empresas participantes Pampa Energía S.A., Pluspetrol S.A y YPF S.A. por la autorización de publicar este trabajo. Se agradece a F. Domínguez, M. Asensio y G. Corona por los comentarios vertidos que mejoraron la presentación de este trabajo. ES agradece a la Universidad Nacional de La Plata y al CONICET por el financiamiento parcial de sus investigaciones.

REFERENCIAS CITADAS

- 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., Noclinh, N., Frederichs, T., Nickl, A., Pálke, H., 2019. Interhemispheric radio-astrochronological calibration of the time scales from the Andean and the Tethyan areas in the Valanginian–Hauterivian (Early Cretaceous), *Gondwana Research*, N° 70, p. 104-132.
- Barrionuevo, M., 2002. Reservorios del Miembro Agrio Superior de la Formación Agrio. En: Schiuma M., Hinterwimmer G., Vergani G. (eds.) *Reservorio de las Cuencas Productivas de la Argentina*. IAPG, Mar del Plata, Argentina. Pp. 447–456.
- Brandenburger, A.M. y Nalebuff, B., 1996. *Co-opetition*, Harper Collins Business, London, pp. 373.
- Cabaleiro, A., Cazau, L., Lasalle, D., Penna, E., Robles, D., 2002. Los reservorios de la Formación Centenario. En *Simpósio de Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, p. 407-426. Mar del Plata, Argentina.
- Comerio, M., Fernández, D. y Pazos, P.J., 2018. *Sedi-*

- mentological and ichnological characterization of muddy storm related deposits: The upper Hauterivian ramp of the Agrio Formation in the Neuquén Basin, Argentina, *Cretaceous Research*, N° 85, p. 78-94.
- Digregorio, J.H., 1972, Neuquén. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, p. 139-505.
- Digregorio J.H. y M.A. Uliana, 1980. Cuenca Neuquina. En: J.C.M. Turner (ed.), Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 2: 985-1032. Córdoba
- Echevarria, C. y C. Canosa, 2017, Hallazgo de hidrocarburos en campos maduros: Miembro Pilmatué, Formación Agrio, yacimiento Mangrullo, Cuenca Neuquina, XX Congreso Geológico Argentino, Simposio 4 Prospección y desarrollo de yacimientos convencionales y no convencionales y desarrollo en campos maduros, p. 25-26, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Echevarria, C. y Schwarz, E., 2021, Los reservorios del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio en el Yacimiento El Mangrullo, Cuenca Neuquina. VIII Latin American Congress of Sedimentology y XVII Reunión Argentina de Sedimentología, p. 63. Paraná, Argentina.
- Fernández, D.E. y Pazos P.J., 2012, Ichnology of marginal marine facies of the Agrio Formation (Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina) in its type locality, Ameghiniana, N°, p. 505-524.
- 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*, N° 92, 598-608.
- Howell, J.A., E. Schwarz, L.A. Spalletti y G.D. Veiga, 2005. The Neuquén Basin: an Overview. en G. Veiga, L., Spalletti, J.A., Howell y E. Schwarz (eds.), *The Neuquén Basin, Argentina: a case study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*, Geological Society of London, Special Publications 252, p. 1-14.
- Isla, M.F., Schwarz, E. y Veiga, G.D., 2018. Bedset characterization within a wave-dominated shallow-marine succession: an evolutionary model related to sediment imbalances, *Sedimentary Geology*, N° 374, p. 36-52.
- Isla, M.F., Coronel, M.D., Schwarz, E., y Veiga, G.D., 2020a. Depositional architecture of a wave-dominated clastic shoreline (Pilmatué Member, Argentina): Improving knowledge about the stratigraphic record of bar-trough systems, *Marine and Petroleum Geology*, N° 118, 104417.
- Isla, M.F., Ramirez, M.N., Schwarz, E., y Veiga, G.D., 2020b. Vertical changes in shoreline morphology at intra-parasequence scale, *Latin American Journal of Sedimentary and Basin Analysis*, N° 27, p. 85-106.
- Isla, M.F., Schwarz, E., y Veiga, G.D., 2020c. Record of a nonbarred clastic shoreline. *Geology*, N° 48, p. 338-342.
- Lazo, D.G., 2007. Análisis de biofacies y cambios relativos del nivel del mar en el Miembro Pilmatué de la Formación Agrio, Cretácico Inferior de cuenca Neuquina, Argentina, *Ameghiniana*, N° 44, p. 73-89.
- Lazo, D.G., A. Concheyro, E.G. Ottone, M.V. Guler y M.B. Aguirre-Urreta, 2009. Bioestratigrafía integrada de la Formación Agrio en su localidad tipo, Cretácico Temprano de la Cuenca Neuquina, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, N° 65, p. 322-341.
- Leanza, H.A., 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según obser-

- vacaciones de superficie. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales (nueva serie)* 11, p. 145-184.
- Leanza, H.A., Hugo, C., 2001. Hoja Geológica Zapala, Hoja 3969-I, 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Boletín 275, p. 1-128.
- Masarik, C., Schwarz, E., Suárez, M., Cervera, F.M., Sales, T., Lazzari, V., Echevarria, C. y otros, 2022. Reservorios convencionales a reservorios shale: Caracterización sismo-estratigráfica y sedimentológica del intervalo Agrio-Centenario en el sector norte de la Cuenca Neuquina. Este congreso.
- 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*, N° 90, p. 533-570.
- Omarini, J., Lescano, M., Odino-Barreto, A.L., Campetella, D., Tunik, M., Garbane, G., Breag, F., Errag, G., Aguirre-Urreta, M.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*, N° 120, 104469.
- Pazos, P.J., Novara, M.E., Iñigo, J.F.P. 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*, N° 108, #103203.
- 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.
- Remírez, M., Spalletti, L.A., Isla, M.F., y Schwarz, E., 2022, Fine-grained distal deposits of a mixed siliciclastic-carbonate marine system: origin of mud and implications on mixing processes, *Journal of Sedimentary Research*, N° 92, p. 210-231.
- Rodríguez Raising, M., Mendez, M., Martínez Lampe, J.M., 2019. Methodology used in the exploration of a frontier area located in the Northeast of the Rio Negro Province, Argentina. En: AAPG International Conference and Exhibition 2019. Buenos Aires, Argentina.
- Rossi, G.R., 2001. Arenisca Avilé: Facies, ambientes sedimentarios y estratigrafía de una regresión forzada del Hauteriviano inferior de la Cuenca Neuquina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Vol. I: 231 pp. Vol. II: 101 pp.
- Rossi, G. y Masarik, C. 2002. Acumulaciones de hidrocarburos en areniscas eólicas. Un ejemplo del hauteriviano de la Cuenca Neuquina, V Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas en CD. Mar del Plata, Argentina.
- Scazzioti, F., 2012. Geología, estructura y análisis del potencial exploratorio en el bloque Lago Pellegrini, cuenca Neuquina, Río Negro, *Petrotecnica*, p. 17-36.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A. y Howell, J.A. 2006. Sedimentary response to a tectonically induced sea-level fall in a shallow back-arc basin: the Mulichinco Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina, *Sedimentology*, N° 53, p 55-81.
- Schwarz, E., L.A. Spalletti y G.D. Veiga, 2011, La Formación Mulichinco (Valanginiano). En:

- H. Leanza, J. Vallés, C. Arregui, y J.C. Danieli (eds.), *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, pp. 131-144.
- Schwarz, E., Echevarria, C., and Veiga, G.D., 2018a. Sedimentología y estratigrafía secuencial de alta resolución de reservorios no convencionales de origen deltaico del Miembro Pilmatué (Formación Agrio, Cuenca Neuquina), En: Santiago, M., Fantín, M., Vallejo, M.D., González Tomasini, F., Estrada, S., Marchal, D., Aguirre, H., and López, S. (eds.), *Simposio Reservorios No Convencionales. X Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, Mendoza, Argentina: Instituto Argentino del Petróleo, pp. 363-385.
- Schwarz, E., G.D. Veiga, G. Álvarez Trentini, M.F. Isla, y L.A. Spalletti, L.A., 2018b. Expanding the spectrum of shallow-marine, mixed carbonate-siliciclastic systems: processes, facies distribution, and depositional controls of a siliciclastic-dominated example., *Sedimentology*, *Sedimentology*, N° 65, p. 1558-1589.
- Schwarz, E., Finzel, E.S., Veiga, G.D., Rapela, C.W., Echevarria, C. y Spalletti, L.A., 2021. U-Pb geochronology and paleogeography of the Valanginian-Hauterivian Neuquén Basin: Implications for Gondwana-scale source áreas, *Geosphere*, N° 17, p. 244-270.
- Schwarz, E, M. Remírez, D.G. Lazo, G.D. Veiga, M.I. Isla, C. Echevarria, A.G. Toscano, R.M. Garberoglio, 2022, A review on depositional systems, bioevents and paleogeography of the Valanginian-Hauterivian Neuquén Sea: Refining sedimentary and biological signals linked to the dynamics of epeiric seas. *Earth-Sciences Reviews*. En revisión.
- Shchepetkina, A., Ponce, J.J., Carmona, N.B., Mángano, M.G., Buatois, L.A., Ribas, S., 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*, N° 119, #104471.
- Spalletti, L. A., Poiré, D. G., Schwarz, E. y Veiga, G.D., 2001a. Sedimentologic and sequence stratigraphic model of a Neocomian marine carbonate siliciclastic ramp: Neuquén Basin, Argentina, *Journal of South American Earth Sciences*, N° 14, p. 609-624.
- Spalletti, L., Poiré, D., Pirrie, D., Matheos, S. y Doyle, P., 2001b. Respuesta sedimentológica a cambios de nivel de base en una secuencia mixta clástica – carbonática del Cretácico de la Cuenca Neuquina, Argentina, *Revista de la Sociedad Geológica de España*, N° 14, p. 57-74.
- Spalletti, L.A., G.D. Veiga y E. Schwarz, 2011. La Formación Agrio (Cretácico Temprano). En: H. Leanza, J. Vallés, C. Arregui, y J.C. Danieli (eds.), *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, pp. 145-160.
- Suarez, M. Ferreyro, R., Buchanan, G, Pose, A., David, M.V., 2019. Characterization of Rayoso Formation for underground gas storage. AAPG International Convention and Exhibition, Buenos Aires, Argentina, Abstracts (digital format). Search and Discovery Article #51618.
- Uliana, M.A., Dellapé, D.A. y Pando, G.A., 1977. Análisis estratigráfico y evaluación del potencial petrolífero de las formaciones Mulichinco, Chachao y Agrio (Cretácico Inferior de las Provincias de Neuquén y Mendoza), *Petrotecnia*, N° 31, p. 31-46.

- Veiga, G.D. y E. Schwarz, 2016. Facies characterization and sequential evolution of an ancient *off-shore* dunefield in a semi-enclosed sea: Neuquén Basin, Argentina. *Geo-Marine Letters* 37, p. 411-426.
- Veiga, G.D., and Vergani, G.D., 2011. El Miembro Troncoso Inferior de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J.C., and Vallés, J.M. (eds.), *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, pp. 181-188.
- Veiga, G.D., Spalletti, L.A. y Flint, S. 2002. Aeolian/fluvial interactions and high resolution sequence stratigraphy of a non-marine lowstand wedge: The Avilé Member of the Agrio Formation (Lower Cretaceous) in central Neuquén Basin, Argentina, *Sedimentology*, N° 49, p. 1001-1019.
- Veiga, G.D., Spalletti, L.A. y Flint, S.S. 2007. Anatomy of a fluvial lowstand wedge: the Avilé Member of the Agrio Formation (Hauterivian) in central Neuquén Basin (NW Neuquén province), Argentina. En: Nichols, G., Williams, E. & Paola, C. (eds.): *Sedimentary Environments, Processes and Basins. A tribute to Peter Friend. Special Publication International Association of Sedimentologists*, 38, pp. 341-365.
- Veiga, G.D., Spalletti, L.A. and Schwarz, E., 2011. El Miembro Avilé de la Formación Agrio (Cretácico Temprano). En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J.C., and Vallés, J.M. (eds) *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. 18° Congreso Geológico Argentino*, pp. 161-173.
- Vergani, G., Barrionuevo, M., Sosa, H. y Pedrazzini, M. 2001. Análisis estratigráfico secuencial de alta resolución en las formaciones Agrio y Huitrín del Yacimiento Puesto Hernández, Cuenca Neuquina, Argentina, *Boletín de Informaciones Petroleras* 3°, N° 67, p. 76-87.
- Weaver, V., 1931. *Palaeontology of the Jurassic and Cretaceous central Argentina*. University of Washington, Memoir, Seattle, 496 p.
- Zavala, C., y Ponce, J., 2011. La Formación Rayoso (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J.C., y Vallés, J.M. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, 18° Congreso Geológico Argentino*, Argentina, pp. 205-222.

Anexo I

