

LAS CAPAS DE SAN EDUARDO: 130 METROS DE ARENAS EN EL MIEMBRO INFERIOR DE LA FM. AGRIO. CRETÁCICO INFERIOR, CUENCA NEUQUINA

Carlos Zavala¹, Mariano Arcuri, Mariano Di Meglio, Agustín Zorzano

1: GCS Argentina S.H. czavala@gcsargentina.com, marcuri@gcsargentina.com,
mdimeglio@gcsargentina.com, zorzano@gcsargentina.com

ABSTRACT

The Agrio Formation is a very thick (> 1000 m) mainly fine grained clastic unit widely developed in the Lower Cretaceous of the Neuquen Basin. This unit has been considered as accumulated in a relatively shallow sea during times characterized by regional thermal subsidence. Internally, this unit was divided into three members: Lower Member, Avilé Member and the Upper Member. The Lower Member is composed of shales with minor fine grained sandstones and limestones, and was developed after a regional flooding during Late Valanginian. The Avilé Member is a mainly sandstone unit accumulated in different continental environments as a consequence of a relative sea level fall. The upper Member consists of fine-grained clastics and minor bioclastic limestones, accumulated in a prograding shallow shelf. Field survey in the Mina San Eduardo area allowed the recognition of a more than 100 meters thick sandstone unit in the Lower member of the Agrio Formation. This unit, here called "Capas de San Eduardo", is mainly composed of massive fine grained calcareous sandstones, with abundant calcareous nodules, ammonites and mollusks fragments. Due to the dominance of massive beds with intrabasinal components, and the absence of lamination, climbing ripples and lofting rhythmites, these deposits are interpreted as offshore cascades, related to dense water cascading (downwelling) derived from littoral areas. The distribution of this unit coincides with an area where the lower Member has an average thickness of up to 1000 meters. This very thick interval and their associated sandstone units are apparently constrained to the southern edge of the Cortaderas lineament, indicating a differential high subsidence rate south of this boundary during Early Cretaceous.

INTRODUCCIÓN

El esquema estratigráfico vigente para la Cuenca Neuquina considera a la Formación Agrio (Weaver 1931) del Cretácico Inferior, como a una unidad acumulada en un medio marino a continental, durante un período de relativa tranquilidad caracterizado por una subsidencia térmica (SAG). Este contexto en general presupone cambios graduales de espesores y un control eustático en la generación de las principales discontinuidades. De modo convencional, se considera a esta unidad como predominantemente de grano fino, donde se destaca la presencia de un intervalo clástico conocido como Miembro Avilé (Weaver 1931), el cual se compone por depósitos

continentales (fundamentalmente lacustres y eólicos) vinculados a una importante caída eustática acontecida durante el Hauteriviano (Mutti *et al.*, 1994). El Miembro inferior de la Fm. Agrio tiene gran importancia para los sistemas petroleros de la Cuenca Neuquina, ya que contiene uno de los tres intervalos generadores reconocidos para esta cuenca. Relevamientos preliminares efectuados en el área de Mina San Eduardo, permitieron constatar que en esta zona el Miembro Inferior de la Formación Agrio tiene un espesor de casi 1000 metros, esto es aproximadamente el doble del espesor considerado para este miembro en zonas aledañas. Este espesamiento anómalo coincide con el desarrollo de numerosos intervalos arenosos, los cuales intercalan en facies de lutitas negras. De estos intervalos arenosos, el inferior es el más potente, alcanzando un espesor de más de 100 metros. En este trabajo se presentan las principales características de esta unidad junto a una interpretación de su origen y significado.

MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca Neuquina corresponde a una de las principales cuencas petroleras de la Argentina. Esta cuenca se localiza en el centro-oeste de la Argentina (Figura 1) y es actualmente considerada como una cuenca de retroarco multiepisódica, desarrollada en el margen oeste de Sudamérica durante el Triásico-Cenozoico (Ramos y Folguera 2005, Ramos *et al.*, 2008). El relleno de la Cuenca Neuquina se compone por una sucesión predominantemente clástica de hasta 7.000 m. de espesor sedimentario acumulados principalmente durante el Jurásico y Cretácico.

La configuración y relleno de esta cuenca involucra al menos tres etapas evolutivas (Figura 1). Durante la primera etapa (Triásico tardío, Jurásico temprano) se produce la configuración inicial de la cuenca sucedida por la acumulación de materiales volcánicos y volcanoclásticos (Grupo Precuyo) caracterizados por presentar espesores sumamente variables, y con una distribución controlada por la presencia de hemigrábenes (Gulisano, 1981; Gulisano *et al.*, 1984; Franzese y Spalletti, 2001).

La segunda etapa (Jurásico temprano a tardío) se integra por depósitos marinos y continentales progradantes de naturaleza predominantemente clástica (grupos Cuyo y Lotena) acumulados sobre un relieve irregular. Durante esta etapa ocurrieron importantes cambios tectónicos y del nivel de base, que provocaron un marcado control en la distribución de facies y geometría de las unidades (Zavala y González, 2001).

La tercera etapa (Jurásico tardío – Cretácico tardío) se compone por una espesa sucesión marina y continental (Grupo Mendoza y Grupo Bajada del Agrio). Los cambios en el nivel del mar, y en menor medida la actividad tectónica controlaron el desarrollo de los ciclos internos durante esta etapa (Gulisano *et al.*, 1984; Legarreta y Gulisano, 1989; Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1994).

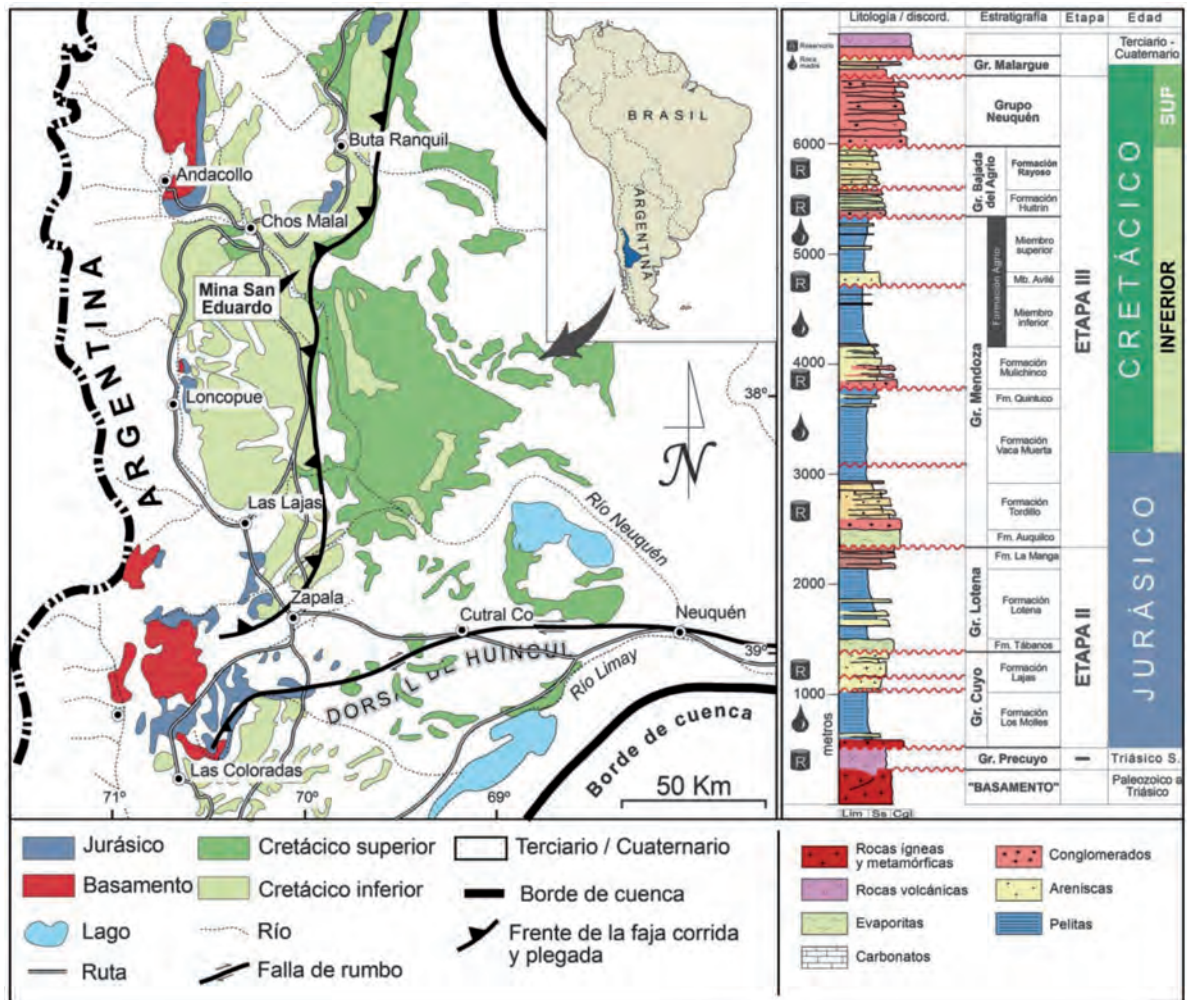


Figura 1: Mapa geológico y columna estratigráfica generalizada para la Cuenca Neuquina. Se indica la ubicación de la localidad de Mina San Eduardo. Modificado de Zavala *et al.*, 2006a.

El Grupo Mendoza constituye uno de los elementos clave para los sistemas petroleros de la Cuenca Neuquina, ya que durante el mismo se acumulan las principales rocas madres (formaciones Vaca Muerta y Agrio) y algunos de los principales reservorios (formaciones Tordillo, Sierras Blancas, Mulichinco, Centenario y Miembro Avilé) de esta cuenca.

La Formación Agrio

La Formación Agrio es una unidad principalmente clástica de grano fino ampliamente distribuida en el Cretácico inferior (Valanginiano superior, Barremiano inferior; Leanza y Hugo, 2001) de la Cuenca Neuquina. Estratigráficamente, esta unidad se localiza por encima de las areniscas continentales a marino marginales de la Fm. Mulichinco (Valanginiano) y es cubierta en discordancia por niveles clásticos y evaporíticos de la Formación Huilín. Weaver (1931)

reconoció dentro de esta unidad la existencia de tres miembros: Inferior, Avilé y Superior. Estos tres miembros se reconocen claramente hacia zonas internas de la cuenca, mientras que hacia zonas marginales, esta unidad grada lateralmente hacia elementos clásticos continentales a litorales asignados a la Formación Centenario (Digregorio, 1972). El miembro inferior de la Formación Agrio se compone por lutitas negras con algunas intercalaciones bioclásticas acumuladas en un medio marino de *offshore*. El Miembro Avilé representa un evento estratigráfico significativo en el que la cuenca pierde drásticamente su conexión marina con el consiguiente desarrollo de depósitos fluviales, lacustres y eólicos (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1988). La vinculación marina se restablece rápidamente luego de este evento de continentalización, y está representada por depósitos marinos clásticos de grano fino correspondientes al Miembro Superior de la Formación Agrio.

Desde el punto de vista estratigráfico-secuencial (Legarreta y Gulisano 1989; Legarreta y Uliana 1999), el Miembro Inferior de la Formación Agrio conforma una megasecuencia Regresiva-Transgresiva junto con la infrayacente Formación Mulichinco, del mismo modo que el Miembro Avilé lo hace con el Miembro Superior de esta unidad.

El miembro inferior (recientemente redominado por Leanza y Hugo [2001] como Miembro Pilmatué) se compone por pelitas y pelitas calcáreas gris verdosas a gris oscuras con intercalaciones bioclásticas. De acuerdo a Leanza y Hugo (2001), esta unidad alcanza en el perfil del río Agrio un espesor de 577 metros. En el año 2005, relevamientos de campo efectuados en el área de Mina San Eduardo dentro de un convenio suscripto entre la **Universidad Nacional del Sur**, **CONICET** y la empresa **PETROBRAS**, permitieron reconocer un espesamiento anómalo del Miembro Inferior de esta unidad, el cual puede alcanzar los 900 metros. Dentro de esta sucesión se reconocen numerosas intercalaciones arenosas de gran espesor, entre las que sobresale la primera de ellas, denominada en este trabajo como *Capas de San Eduardo*.

Las Capas de San Eduardo (Hauteriviano)

Corresponde a una importante unidad estratigráfica reconocida en áreas centrales de la Cuenca Neuquina, dentro del intervalo basal del Miembro inferior de la Formación Agrio. La misma se dispone sobre 40-70 metros de lutitas bituminosas de la base de la Formación Agrio, y es a su vez cubierta por lutitas bituminosas de la misma unidad (Figuras 2, 3 y 4). Este intervalo clástico se compone por bancos tabulares de areniscas finas y muy finas, masivas, en parte calcáreas, cuyos espesores individuales van desde los 20 cm. hasta los 30 metros de potencia. El espesor conjunto de esta unidad a menudo supera los 130 metros. Es común encontrar dentro de estas arenas nódulos calcáreos de grandes dimensiones, amonites y restos de valvas de moluscos. De modo característico, estas areniscas presentan un empaquetamiento cerrado,

asociado a una elevada fracturación. La bioturbación es moderada a alta, con abundantes trazas mayormente de *Thalassinoides* y *Ophiomorpha*.

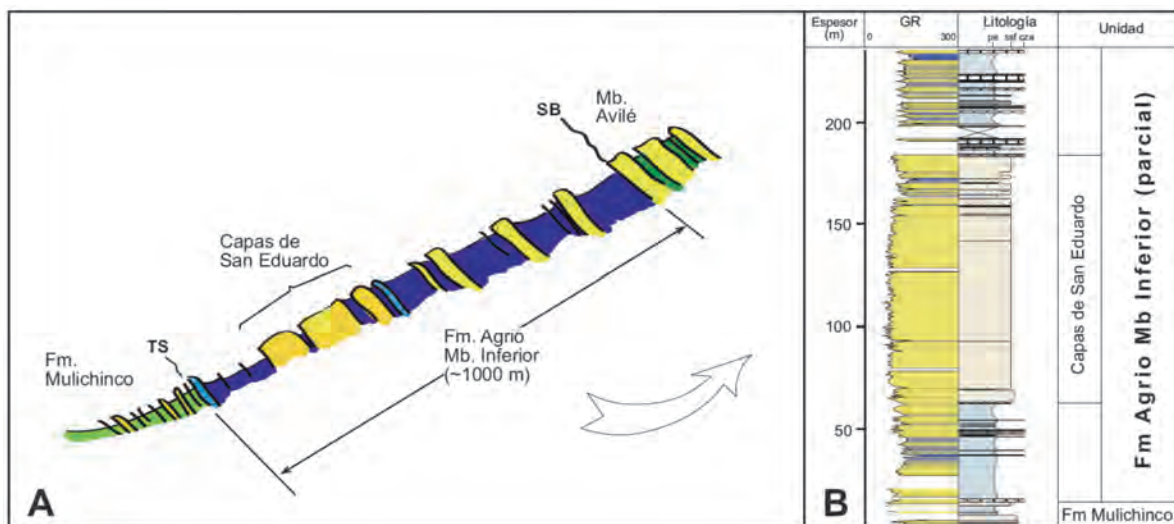


Figura 2: A) Esquema estratigráfico mostrando la posición estratigráfica de las capas de San Eduardo en su localidad tipo. B) Columna estratigráfica (parcial) y *gamma ray* de campo.

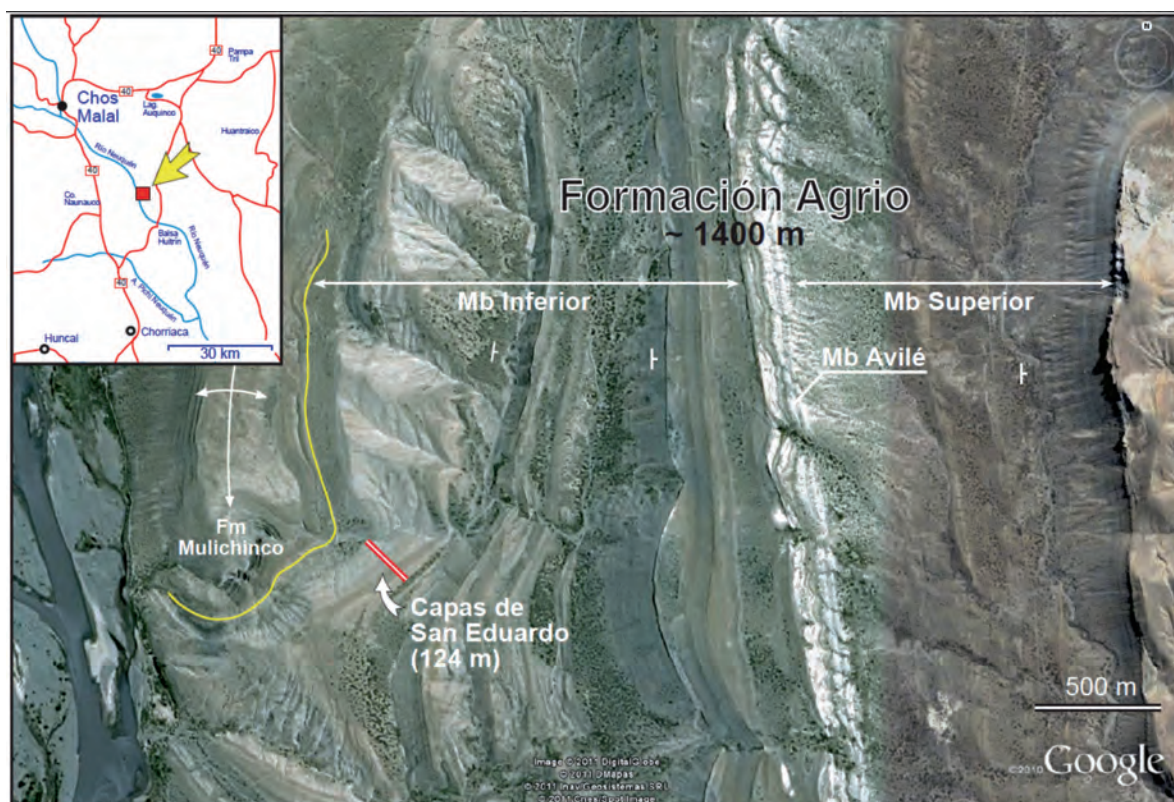


Figura 3: Imagen de Google Earth, mostrando la localización de las Capas de San Eduardo dentro del Miembro Inferior de la Formación Agrio. En esta localidad (Mina San Eduardo) la unidad aparece en el flanco este de una estructura anticlinal con la Fm. Mulichinco en el núcleo. Las capas buzan suavemente hacia el este.

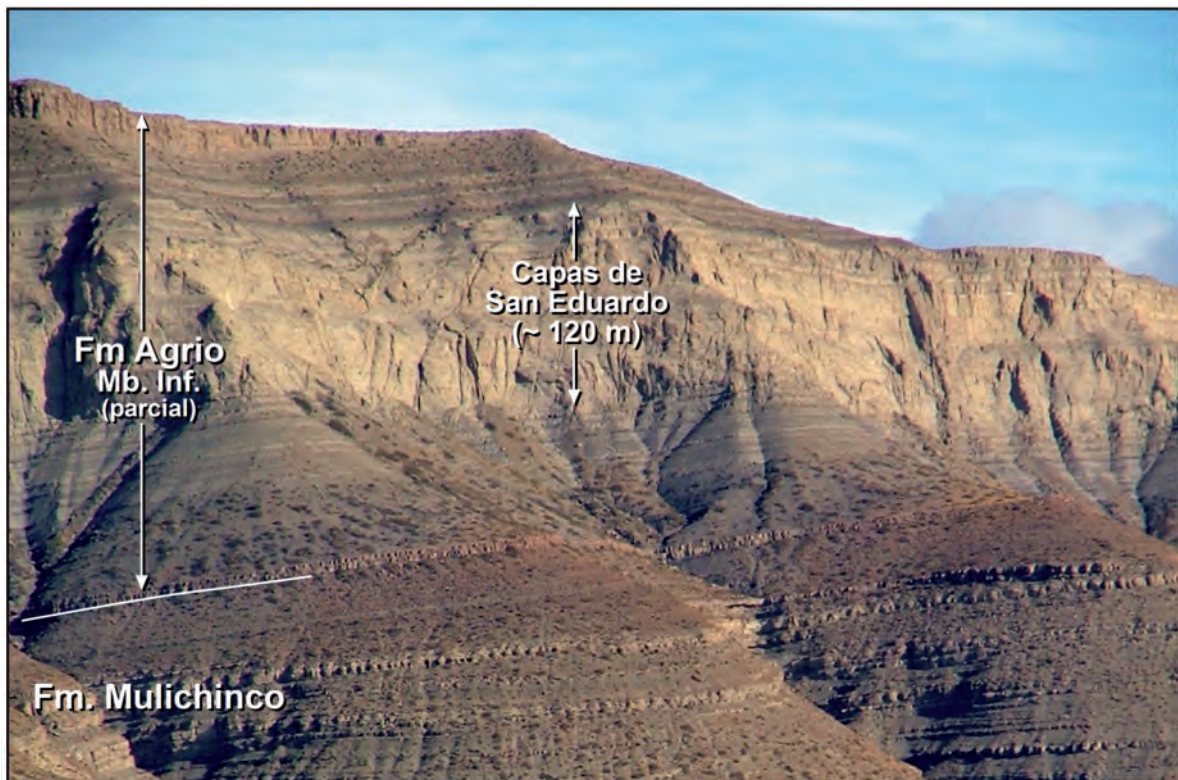


Figura 4: Panorámica mostrando la expresión vertical de las Capas de San Eduardo en la localidad de Anticlinal de las Viseras.

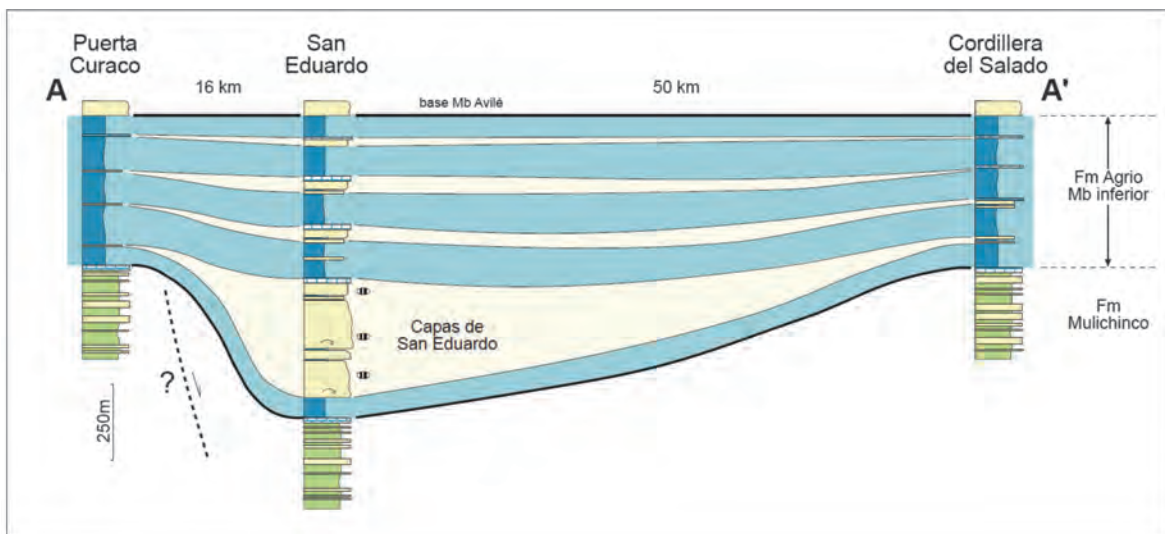


Figura 5: Corte estratigráfico esquemático norte-sur mostrando la distribución y cambios de espesores de las Capas de San Eduardo a lo largo de unos 66 km. El rápido cambio de espesores hacia el norte aparentemente coincide con un lineamiento regional conocido como “lineamiento de Cortaderas” (Ramos 1981; Ramos y Kay, 2006).

Relevamientos de campo permitieron reconocer importantes cambios en el espesor de esta unidad ya que las areniscas se adelgazan rápidamente hacia el norte llegando a desaparecer en la localidad de Puerta Curaco (Figura 5). Asimismo, estas arenas muestran una progresiva disminución

de espesor hacia el sur (Cordillera del Salado), donde están representadas por delgados niveles arenosos de *shoreface*. De modo regional, esta unidad muestra una distribución areal limitada a unos 1200 km², la cual coincide con zonas donde se reconoce un espesamiento anómalo del Miembro Inferior de la Formación Agrio.

INTERPRETACIÓN

Las Capas de San Eduardo se componen mayormente por areniscas muy finas, masivas y levemente calcáreas. A partir de la presencia de arenas masivas, el análisis de facies sugiere para estos depósitos una acumulación a partir de flujos turbulentos (Kneller & Branney 1995; Mulder & Alexander, 2001), en un área de plataforma *offshore* a interior de cuenca. El importante contenido en elementos intrabasinales sugiere por otra parte la erosión y carga de materiales durante el tránsito de estos flujos turbulentos por sobre la plataforma. Si bien el contenido de arena de tamaño muy fino es dominante, la ausencia de estructuras sedimentarias como laminación paralela, *climbing ripples* y ritmitas de *lofting* impide interpretar a estos depósitos como turbiditas, tanto del tipo convencional (resedimentación) como del tipo hiperpícnico (Zavala *et al.*, 2006b). No obstante, es posible que estos depósitos representen el producto final de flujos turbulentos originados en zonas litorales por el hundimiento (*downwelling*) de aguas más densas relacionadas a una intensa evaporación o un enfriamiento por un efecto combinado de vientos fríos y el oleaje “*cascading*”, Shapiro y Hill, (1997); Shapiro *et al.* (2003), Gaudin *et al.* (2006) y Ulses *et al.* (2008) reconocieron en el golfo de Lion la presencia de depósitos actuales de arenas masivas muy finas, fangosas, relacionadas a “*dense water cascading*”, denominadas también como “*cascadites*”. En consecuencia, las Capas de San Eduardo podrían corresponder a los elementos distales (*offshore cascadites*) asociados a sistemas deltaicos dominados por ola (depósitos de *shoreface*) ampliamente reconocidos en zonas litorales de la Fm. Agrio. Dado que las Capas de San Eduardo serían el producto de corrientes de densidad y su distribución coincide con zonas de gran espesor del Miembro Inferior de la Formación Agrio, es posible que su origen este vinculado a bajos topográficos originados por una tasa de subsidencia diferencial durante el Valanginiano tardío – Hauteriviano temprano. La Figura 6 muestra la distribución de estas arenas reconocida mediante Google Earth y controles de campo, sobre el mapa de Ramos y Kay (2006). En la misma podemos observar que el desarrollo reconocible de estas arenas pareciera estar confinado al sector sur del lineamiento Cortaderas (Ramos, 1981, Ramos y Kay, 2006) de norte a sur. El lineamiento de Cortaderas (Figura 6) ha sido interpretado como una importante falla cortical en parte reactivada durante la orogenia andina (Ramos y Kay, 2006).

A modo de síntesis, estas observaciones preliminares sugieren que la estratigrafía de la Formación Agrio, fundamentalmente su Miembro inferior, pareciera presentar cambios importan-

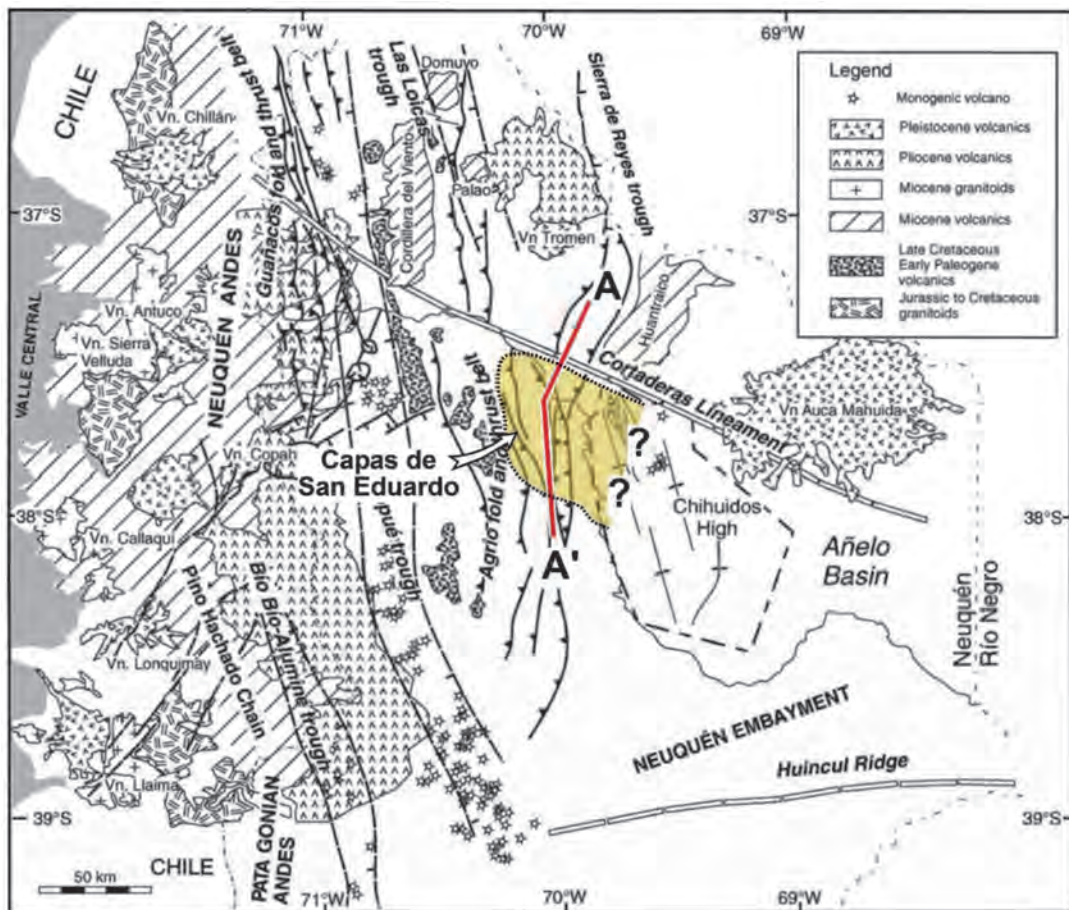


Figura 6: Mapa geológico generalizado del norte de la provincia del Neuquén, mostrando las estructuras principales y el lineamiento de Cortaderas. Tomado de Ramos y Kay, 2006. La línea roja marca la traza del corte esquemático de la Figura 5.

tes en su espesor estratigráfico posiblemente controlado por actividad tectónica sindeposicional (subsistencia diferencial). De este modo, estos nuevos datos e interpretaciones sugieren que el esquema estratigráfico y deposicional de la Formación Agrio debería ser revisado, a fin de evaluar adecuadamente estos nuevos elementos estratigráficos y su impacto en la prospección de hidrocarburos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Petrobras Argentina S.A. y a YPF S.A. por la autorización para publicar estos datos de campo. Asimismo, agradecemos plenamente al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur y al CONICET por el apoyo brindado. La lectura crítica y sugerencias aportadas por Carlos Arregui contribuyeron a mejorar este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Digregorio, J.H., 1972. Neuquén. En: A.F. Leanza (Dir. y Ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias: 439-505, Córdoba.
- Franzese, J.R., y Spalletti, L.A., 2001. Late Triassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences*, 14: 257-270.
- Gaudin, M., Berne, S., Jouanneau, J.-M., Palanques, A., Puig, P., Mulder, T., Cirac, P., Rabineau, M., y Imbert, P., 2006. Massive sand beds attributed to deposition by dense water cascades in the Bourcart canyon head, Gulf of Lions (northwestern Mediterranean Sea). *Marine Geology* Vol. 234, Issues 1-4, 18 Dec. 2006, Pages 111-128.
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R. y Digregorio, R.E. 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia Jurásica del oeste de la provincia del Neuquén. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 236-259, San Carlos de Bariloche.
- Gulisano, C.A. y A.R. Gutierrez Pleimling, 1988. Depósitos eólicos del Miembro Avilé (Formación Agrio, Cretácico inferior) en el norte del Neuquén, Argentina. Segunda Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 120-124, Buenos Aires.
- Gulisano, C.A. y Gutiérrez Pleimling, A.R. 1994. The Jurassic of the Neuquén Basin: Mendoza Province. *Guía de Campo. Asociación Geológica Argentina, Publicación Especial* 159, 103 p.
- Gulisano, C. 1981. El Ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza: 8º Congreso Geológico Argentino, San Luis, Actas 3: 553-577.
- Kneller, B., y M. Branney, 1995. Sustained high-density turbidity currents and the deposition of thick massive sands: *Sedimentology*, v. 42, p. 607-616.
- Leanza, H.A. y Hugo, C.A. 2001. Hoja Geológica Zapala, Hoja 3969-I, 1:250.000, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Boletín 275, 128 p., Buenos Aires.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la cuenca Neuquina (Triásico superior - Terciario inferior), Argentina. *Cuencas sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica*, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán 6: 221-245, Tucumán.
- Legarreta, L. y Uliana, M. A., 1999. El Jurásico y Cretácico del la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. *Geología Argentina. Anales* 29 (16). p. 399-432. Buenos Aires.
- Mulder, T. y Alexander J., 2001. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *International Association of Sedimentologists, Sedimentology*, 48, 269-299.
- Ramos, V.A. 1981. Descripción geológica de la Hoja 33 c Los Chihuidos Norte, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Nacional, Boletín, 182, 1-103.
- Ramos, V.A., Kay, S., 2006. Overview of the tectonic evolution of the Southern Central Andes of Mendoza and Neuquen (35°-38°S). In: Kay, S.M., Ramos, V.A. (Eds.), *Late Cretaceous to Recent magmatism and tectonism of the Southern Andean margin at the latitude of the Neuquen basin (36°-39°S)*. GSA Special paper, pp. 1-17.
- Ramos, V. A., Pimentel, M., y Tunik, M., 2008. Late Cretaceous synorogenic deposits of the Neuquén Basin (36-39°S): Age constraints from U-Pb dating in detrital zircons: 7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts: 423-426.

- Ramos V.A., y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: Constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation In G. Veiga *et al.* (eds.) The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics. The Geological Society, Special Publication 252: 15-35.
- Shapiro, G., and A. Hill, 1997, Dynamics of dense water cascades at the shelf edge, *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 2381–2394.
- Shapiro G.I., Huthnance J.M., Ivanov V.V., 2003. Dense water cascading off the continental shelf. *J. Geophys Res-Oceans*, 108 (C12): art. no. 3390, Dec 30, 2003.
- Ulses, C., Estournel, C., Bonnin, J., Durrieu de Madron, X., and Marsaleix, P., 2008., Impact of storms and dense water cascading on shelf-slope exchanges in the Gulf of Lion (NW Mediterranean).
- Weaver, C.E., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. University of Washington, Memoir 1: Pgs.1-469, Seattle.
- Zavala, C., Gamero H. and Arcuri, M., 2006b. Lofting rhythmites: A diagnostic feature for the recognition of hyperpycnal deposits. 2006 GSA Annual Meeting, 22-25 October, Philadelphia, PA., USA. Topical session T136: River Generated Hyperpycnal Events and Resulted Deposits in Modern and Ancient Environments.
- Zavala y González, 2001. Estratigrafía del Grupo Cuyo (Jurásico inferior-medio) en la Sierra de la Vaca Muerta, Cuenca Neuquina. *Boletín de Informaciones Petroleras*. Tercera Época, año XVII, N° 65 : 52-64.