

10º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos
Sesiones Generales: "Energía y Sociedad, aliados inseparables"

INFLUENCIA DEL BASAMENTO ÍGNEO-METAMÓRFICO EN LA SEDIMENTACIÓN DEL GRUPO CHUBUT: IMPLICANCIAS EN LA CALIDAD DE SUS ROCAS RESERVORIO EN EL FLANCO NORTE Y OFFSHORE DE LA CUENCA DEL GOLFO SAN JORGE

Nicolás Foix¹, José Oscar Allard², María Leonor Ferreira Pittau³, Mario Atencio⁴

1: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco - CONICET, nicofaix@hotmail.com

2: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, joseoallard@yahoo.com.ar

3: YPF S.A. - Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, leonor.ferreira@ypf.com

4: YPF S.A., mario.atencio@ypf.com

Palabras clave: basamento ígneo-metamórfico, flanco norte, offshore, Grupo Chubut, reservorio, Golfo San Jorge

ABSTRACT

Influence of the igneous-metamorphic basement in the sedimentation of the Chubut Group: implications on the quality of reservoir rocks in the North Flank (onshore) y offshore of the Golfo San Jorge basin. The pre-rift basement rocks of the Golfo San Jorge basin can be divided from their nature and seismic signature: 1) igneous-metamorphic rocks (non-stratified basement) and 2) neopaleozoic and liassic sedimentary rocks (stratified basement). On the other hand, the Chubut Group (Cretaceous) is characterized by a main volcanoclastic input from the Andes during cretaceous times. However, when the Chubut Group was deposited over or nearly paleo-highs constituted by igneous-metamorphic basement rocks, their lithological composition was modified. These changes have prospective interest because the reservoir rocks deposited in this geological context have significantly better petrophysical characteristics.

The paleo-high of basement rocks located in the northwest portion of the Northern Flank (Río Chico High) was studied from seismic sections and cutting record. Seismic lines display a 50 km wide (W-E) high non-stratified basement paleo-high. Some studied wells reached the non-stratified basement showing both metamorphic and igneous rocks. The sedimentary units lied over the igneous-metamorphic basement contains variable amounts of quartz and muscovite grains, including the liassic stratified basement, the Volcanosedimentario Complex (CVS) (Jurassic) and the Chubut Group (Cretaceous). This data allows us to infer that the igneous-metamorphic basement remained as a positive relief supplying quartz and muscovite during many millions of years. In addition, the northern portion of the offshore of the CGSJ was studied from the same methodology. Seismic information allows us to recognize a paleo-high of non-stratified basement in this sector. There, the stratigraphic record from the CVS up to cenozoic rocks contains abundance of quartz and muscovite. So, we interpreted that the non-stratified basement in the northeast sector of the offshore is constituted either by igneous-metamorphic rocks. In this case, the basement signal seems to be magnified by the little volcanoclastic input and the lack of neopaleozoic and liassic units covering the basement. In summary, we considered that the influence of the igneous-metamorphic basement in the northern region of the basin (onshore and offshore) represents a main control in the composition of the sedimentary record deposited over or nearly paleo-highs. The scopes of this work are both

methodological as prospective. On the one hand, the basement signal can be recognized from a detailed description of cutting samples. On the other hand, the identification of a sediment supply signal that improve the quality of reservoir rocks in the CGSJ is considered a valuable contribution to understand the oilfields (onshore) and to prospect new exploratory targets (onshore and offshore).

INTRODUCCIÓN

El basamento pre-rift de la cuenca del Golfo San Jorge (CGSJ) se compone de distintas unidades litoestratigráficas, que han sido reconocidas tanto en afloramiento como en el subsuelo de la cuenca. De modo general, Figari *et al.* (1999) divide a estas rocas en metamorfitas paleozoicas, sedimentitas del Grupo Tepuel (Carbonífero-Pérmico) y sedimentitas liásicas (Jurásico Temprano). Desde el punto de vista del reconocimiento sísmico, el basamento se podría dividir en dos grandes grupos: 1) basamento no estratificado (rocas ígneo-metamórficas) y 2) basamento estratificado (rocas sedimentarias).

El basamento no estratificado aflorado al norte de Sierra Cuadrada y Meseta de Canquel, está representado principalmente por dos unidades según Anselmi *et al.* (2005): Fm. La Potranca (gneises y migmatitas) y Granito Sierra Mora (intrusivos graníticos La Rueda, Sierra Mora, entre otros). La Fm. La Potranca fue datada por Halpern *et al.* (1972), con una edad carbonífera-triásica. Este basamento ígneo-metamórfico también fue reconocido en el subsuelo de la cuenca a través de perforaciones resumidas por Ferello y Lesta (1973) y Cortiñas (1996), las cuales se ubican al este y noreste del lago Colhué Huapi (Fig. 1) y su edad fue definida en 263 ± 10 millones de años (Pérmico) por Linares y González (1990). Barcat *et al.* (1989) discriminan un basamento

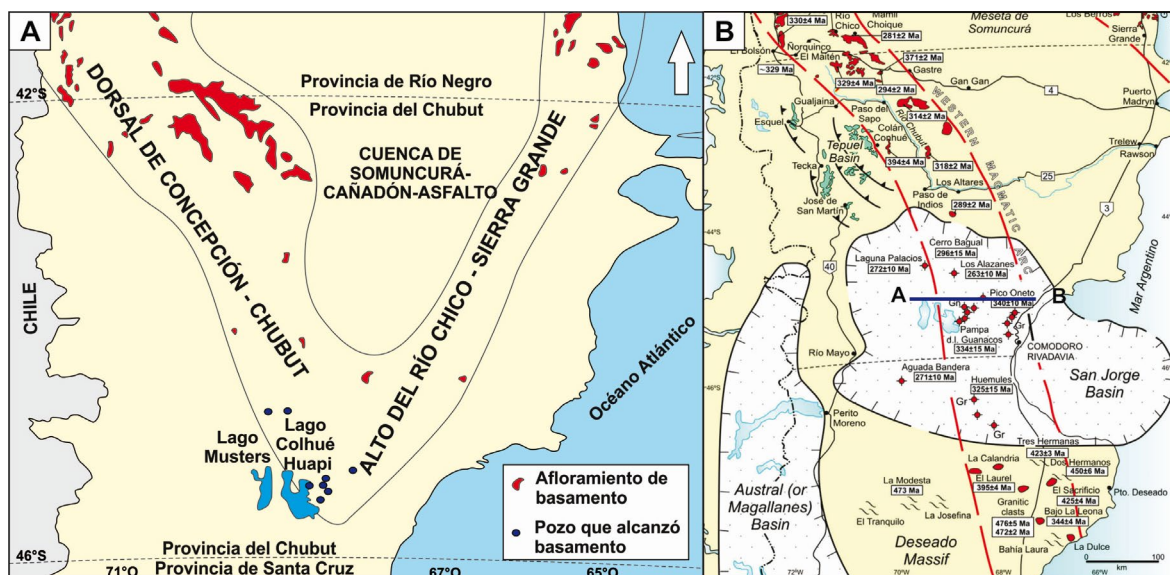


Figura 1. Cinturón de rocas ígneo-metamórficas de edad paleozoica. A) Altos de basamento ígneo-metamórfico en la provincia del Chubut (modificado de Cortiñas 1996). B) Arco magmático NNO-SSE (modificado de Ramos 2008). Ubicación de corte A-B de Fig.2.

metamórfico de edad precámbrica a eopaleozoica e intrusivos graníticos permo-triásicos. Por su parte, Cortiñas (1996) define dos altos de basamento en Chubut que denomina Dorsal de Concepción-Chubut y Alto del Río Chico-Sierra Grande (Fig. 1A). Estas rocas ígneas formarían parte de un arco magmático NNO-SSE de edad carbonífera-pérmica que atraviesa gran parte de la Patagonia (Ramos 2008, 2015) y que es interpretado por algunos autores como límite entre dos bloques alóctonos (Fig. 1B).

Dentro del basamento estratificado, se incluyen los depósitos de la cuenca neopaleozoica de Tepuel o Tepuel Genoa, aflorada cerca del borde noroccidental de la CGSJ al sur de la localidad de Gobernador Costa (localidades de Nueva Lubeka, Lomas Occidentales y Salar de Ferrarotti) (Feruglio 1949; Ugarte 1966; Fernández Garrasino 1977). Al igual que en gran parte de las cuencas sedimentarias del Carbonífero-Pérmico temprano de Argentina, este registro muestra evidencias de la glaciación gondwánica o LPIA (Late Paleozoic Ice Age) (Limarino y Spalletti 2006; Isbell *et al.* 2012).

Se han definido diferentes esquemas litoestratigráficos para la cuenca de Tepuel según las localidades y autores (Suero 1958; Lesta y Ferello 1972; Andreis *et al.* 1987; Taboada y Pagani 2010; entre otros), aunque en general hay consenso en caracterizar al Grupo Tepuel como compuesto

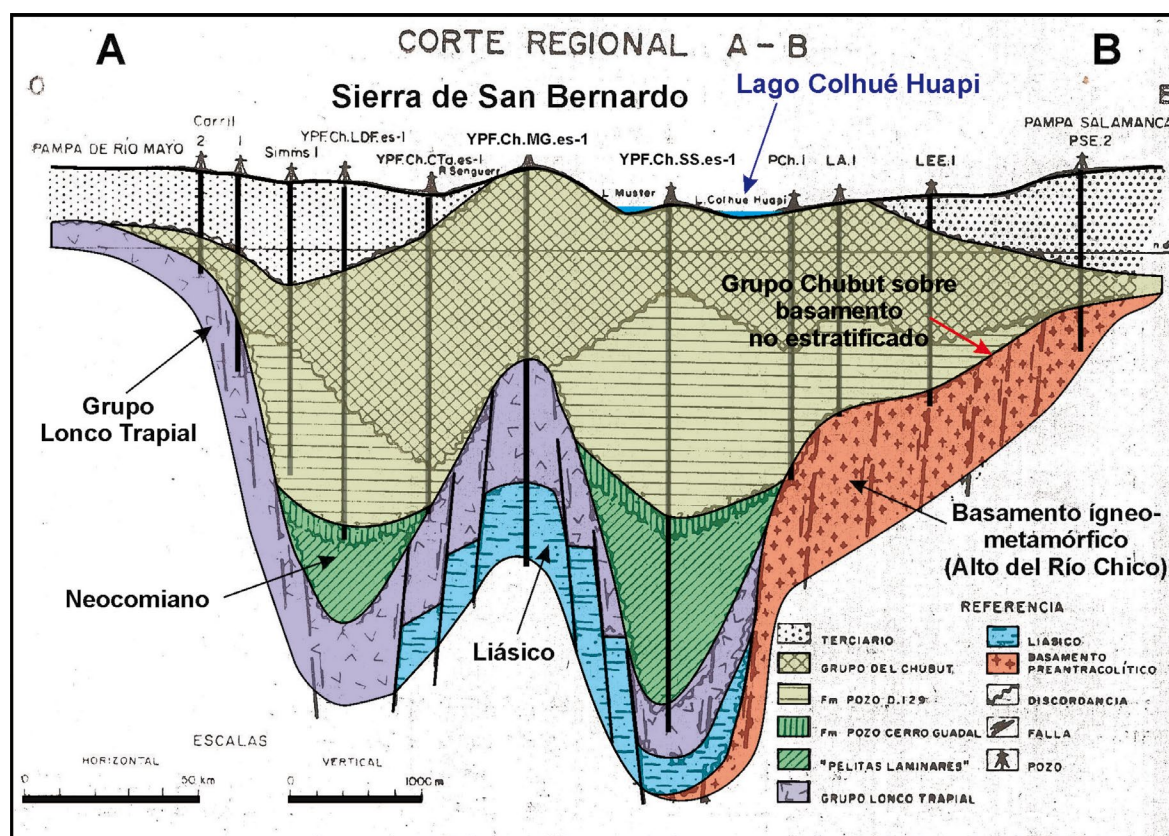


Figura 2. Corte O-E desde Río Mayo hasta Pampa Salamanca, mostrando la presencia de basamento ígneo-metamórfico al este del lago Colhué Huapi (Alto del Río Chico sensu Cortiñas 1996) cubierto por diferentes unidades litoestratigráficas (modificado de Ferello y Lesta 1973).

por tillitas marinas y depósitos costeros. Por encima de la cuenca de Tepuel se dispone una cuenca marina de edad jurásica temprana (liásica), denominada como cuenca de Chubut por Suárez y Márquez (2007), representada por las formaciones Osta Arena en la zona de Pampa de Agnia y Mulanguineu y equivalentes en el Salar de Ferrarotti (Ugarte 1966; Fernández Garrasino 1977). Esta cuenca marina pacífica contiene calizas y tobas (Figari *et al.* 1999) y profundiza hacia el oeste, alcanzando facies de pelitas negras en el sector noroccidental de la provincia del Chubut con la Fm. Piltriquitrón. La extensión hacia el este de estos depósitos alcanza el borde oriental del Alto del Río Chico según Ferello y Lesta (1973) (Fig. 2). La presencia de clastos de composición granítica tanto en el Grupo Tepuel como en el Liásico permiten suponer que el basamento ígneo-metamórfico representaba una zona positiva y de aporte de sedimentos para ese momento, tal como propone Ugarte (1966).

Por otro lado, el Grupo Chubut (Lesta y Ferello 1972) constituye el intervalo estratigráfico mejor estudiado de la CGSJ por su interés hidrocarburífero. Entre sus características más diagnósticas se destaca la elevada proporción de sedimentitas volcánicas provenientes del arco magmático andino (Lesta y Ferello 1972; Clavijo 1986; Sciutto 1981; Umazano *et al.* 2012; Paredes *et al.* 2015; entre otros), independientemente de las variaciones verticales y espaciales en su proporción. Considerando la columna estratigráfica de la cuenca propuesta por Figari *et al.* (1999), entre el basamento no estratificado y el Grupo Chubut se dispone el basamento estratificado de la cuenca de Tepuel y/o la cuenca liásica, el Complejo Volcanosedimentario (sensu Clavijo 1986) incluyendo todas las variantes composicionales de rocas volcánicas y volcánicas (Fm. Lago La Plata, Complejo Marifil, Grupo Lonco Trapial, Grupo Bahía Laura) y el Grupo Las Heras o “Neocomiano”. Sin embargo, en condiciones de borde de cuenca o en caso de altos intracuencales, el Grupo Chubut se ha depositado directamente sobre el basamento ígneo-metamórfico, como el caso del Alto del Río Chico (Fig. 2). En este sector, fueron reconocidos depósitos arenosos en la base de la Fm. Pozo D-129 durante la perforación del pozo LA.x-1 por parte de la empresa Union Oil, que más tarde fueron definidos como Miembro Pozo Los Alazanes-1 o Los Alazanes (Pezzi y Merodi 1972). Más tarde, Barcat *et al.* (1984) proponen elevar a rango de formación al Miembro Los Alazanes y establecer su equivalencia con la Fm. Pozo Cerro Guadal, criterio seguido por Figari *et al.* (1999, 2002). Sin embargo, Sylwan (2001) y Sylwan *et al.* (2011) prefieren mantener a Los Alazanes como un miembro basal de la Fm. Pozo D-129, reconociendo un conglomerado con clastos micáceos provenientes del basamento infrayacente. Recientemente, Casal *et al.* (2015) proponen definir una nueva unidad formacional en la parte más alta del Grupo Chubut denominada Lago Colhué Huapi, caracterizada por planicies de inundación epiclásticas de coloración rojiza.

A pesar que una parte importante de la CGSJ se encuentra en la actual plataforma del mar Argentino (Fig. 1B), hasta el momento es poco lo que se conoce de su constitución geológica

particular y controles en la sedimentación. Baldi y Nevistic (1996) y más tarde Sylwan *et al.* (2011) realizan una descripción de los pozos perforados en el offshore hasta el momento, indicando sus características litológicas generales. Figari *et al.* (2002) indican que la porción offshore de la cuenca continúa con el mismo estilo extensional y un potencial hidrocarburífero análogo aunque sin desarrollo hasta el momento, pero el patrón estructural cambia hacia un tren de orientación OSO-ENE reflejando el fuerte control que ejercen los bordes de bloques basamentales del Macizo Norpatagónico. Sylwan *et al.* (2011) publican una sección sísmica que incluye el offshore de la CGSJ, donde denominan como Costa Afuera y Flanco Este a las regiones de la cuenca en este sector.

El objetivo del trabajo es analizar la influencia del basamento ígneo-metamórfico en la identidad composicional de las rocas que se acumularon por encima de éste, tanto en el onshore como en el offshore de la CGSJ, con especial énfasis en las rocas del Grupo Chubut. Para ello se apeló al uso de información de subsuelo multiescala que permita reconocer desde áreas de aporte sedimentario hasta señales mineralógicas propias de altos basamentales.

METODOLOGÍA

En el marco de un convenio firmado entre la empresa YPF S.A. y la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, se revisó el control geológico de 56 pozos distribuidos en toda la CGSJ, desde la zona de Río Mayo (oeste) hasta el offshore (este) y desde el límite con la cuenca de Cañadón Asfalto (norte) hasta el límite con la Región del Deseado al sur del río homónimo. El objetivo del convenio fue llevar a cabo un trabajo regional que permita reconocer las variaciones estratigráficas espacio-temporales dentro del relleno de la cuenca y mejorar la calibración de transectas sísmicas a partir de los pases formacionales reconocidos. La presente contribución sólo incluye una parte de los pozos descriptos en el trabajo regional, ubicados en el Flanco Norte de la CGSJ y otros en el offshore. Se describió y fotografió el registro de cutting de cada uno de los pozos de interés, agregando la información litológica que se consideró destacada. Se utilizaron secciones sísmicas regionales para caracterizar la respuesta sísmica del basamento no estratificado alcanzado por pozos en el Flanco Norte (Alto de Río Chico), para luego extrapolarlo al offshore y analizar similitudes/diferencias.

RESULTADOS

Onshore

Considerando los antecedentes mencionados se seleccionó un conjunto de seis pozos en el sector cercano al Alto del Río Chico y una sección sísmica regional O-E (Fig. 3).

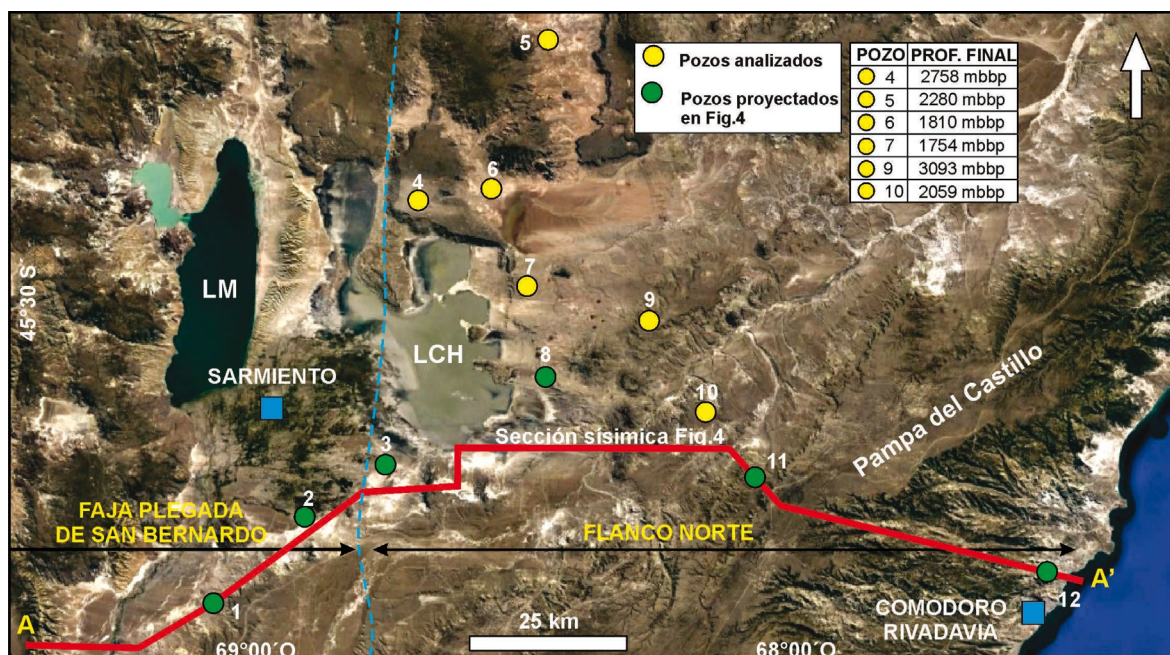


Figura 3. Ubicación de los pozos analizados en el Flanco Norte de la CGSJ (en amarillo) y de la sección sísmica A-A' interpretada en la figura 4. El límite entre Flanco Norte y Faja Plegada de San Bernardo se ubicó según Figari *et al.* (1999). Referencias: 1: YPF.Ch.CGua.x-3. 2: YPF.Ch.ELV.x-1. 3: YPF.Ch.EL.x-2. 4: YPF.Ch.CBo.x-1. 5: YPF.Ch.CVi.es-2. 6: YPF.Ch.CTo.x-1. 7: YPF.Ch.PGS.x-1. 8: YPF.Ch.PO.x-1. 9: YPF.Ch.EMo.x-1. 10: YPF.Ch.CTE.x-1. 11: YPF.Ch.Gr.xp-602. 12: YPF.Ch.CCe.xp-2414. LM: Lago Musters. LCH: Lago Colhué Huapi.

Secciones sísmicas

La sección sísmica analizada (Fig. 4) difiere de los cortes O-E publicados por Figari *et al.* (1999) y Sylwan *et al.* (2011), ya que muestra la configuración de la cuenca en un corte con similar orientación pero ubicado más al norte. La diferencia más notable lo constituye la presencia de un alto de basamento no estratificado (Alto del Río Chico sensu Cortiñas 1996). La información sísmica muestra que el alto basamental presenta una forma general de tipo cómica, distorsionada por las fallas normales que lo han afectado (Fig. 4). Sus dimensiones son variables según la posición y profundidad, pero alcanza unos 50 km de ancho y una diferencia de altura máxima entre su posición más somera y más profunda equivalente a 1.5 segundos en la sección sísmica (aprox. 1600-1700 m). En su sector más elevado, el Grupo Chubut se apoya directamente sobre el alto de basamento, mientras que hacia sus bordes ha sido cubierto parcialmente por unidades más antiguas (Grupo Las Heras, CVS, Liásico, etc.). Esta configuración permite suponer que se ha comportado como un alto relativo (paleorelieve positivo) durante una parte importante de la evolución de la cuenca en este sector.

Descripción de cutting

De los pozos revisados en proximidades del Alto del Río Chico (ver Fig. 3), dos de ellos

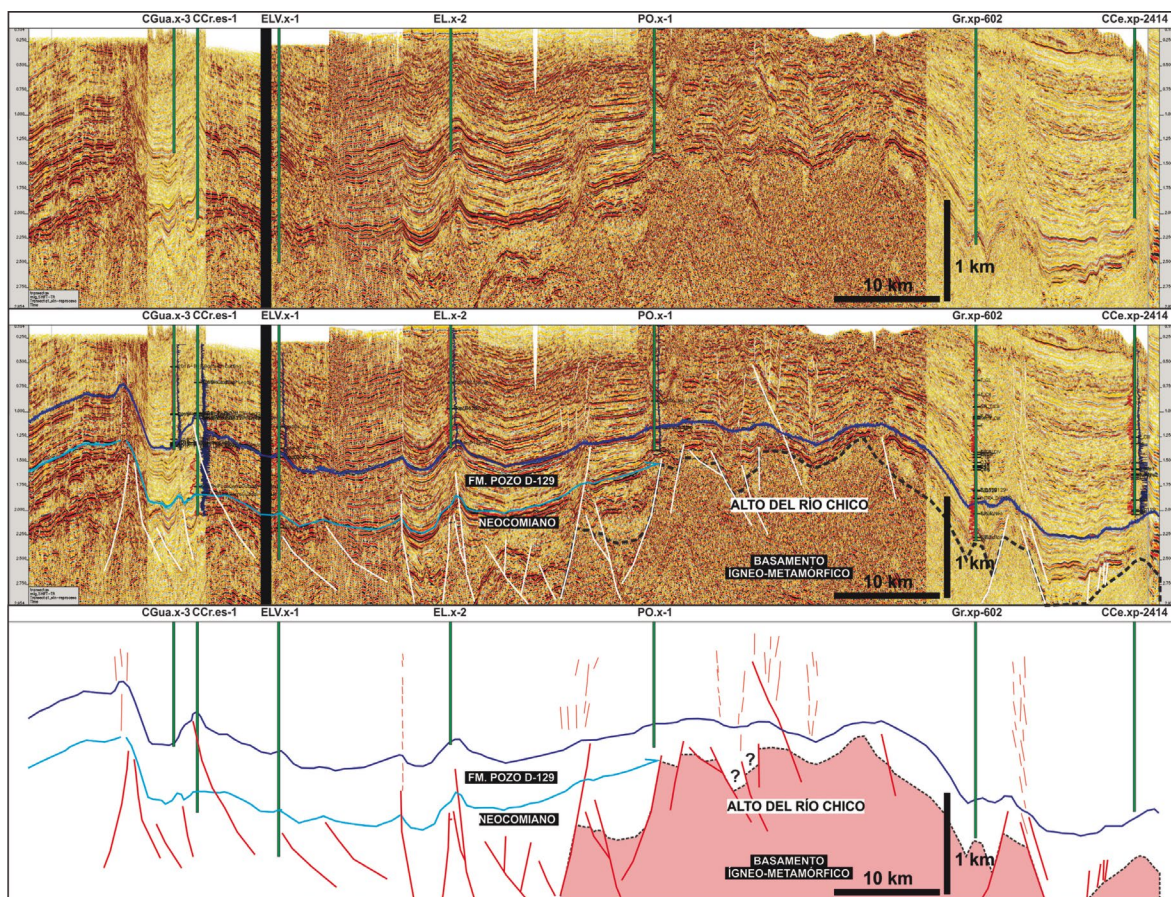


Figura 4. Sección sísmica O-E en la zona del Alto del Río Chico. Notar la respuesta sísmica del basamento ígneo-metamórfico (no estratificado).

alcanzaron el basamento no estratificado (YPF.Ch.EMo.x-1 e YPF.Ch.PGS.x-1). A continuación se detallan algunos de los aspectos más destacados de la descripción de cutting de estos pozos.

YPF.Ch.EMo.x-1 (Estancia Montecarlo): este pozo se encuentra ubicado al este del lago Colhué Huapi, sobre la margen norte del río Chico y alcanzó el basamento no estratificado a los 3030 mbbp (Fig. 3). Las rocas de basamento se presentan de grano mediano con cristales de cuarzo y muscovita (Fig. 5). En algunos casos se puede observar cierta fábrica planar en los recortes



Figura 5. Fotografías de detalle de cutting, pozo YPF.Ch.EMo.x-1. A) Fotografía a lupa binocular de un recorte de basamento no estratificado, mostrando la presencia de cuarzo y muscovita como componentes minerales (3090 mbbp). B) Fotografía a lupa binocular de cristales de muscovita como componente lítico del CVS (2186 mbbp). C) Fotografía de cristales de muscovita en el Liásico (2556 mbbp).

dada por la orientación preferencial de los cristales de las micas. Las características descriptas permiten suponer que corresponde a algún tipo de roca con foliación o bandeo metamórfico. La columna estratigráfica que apoya sobre el basamento ígneo-metamórfico se compone del Liásico (Fm. Mulanguineu y equivalentes), CVS y Grupo Chubut.

La presencia de muscovita en este pozo es muy abundante en todo el Liásico por más de 1300 metros (3028-2386 mbbp) y en la parte basal del CVS (2364-2162 mbbp), para luego desaparecer en el resto de la columna (Fig. 6).

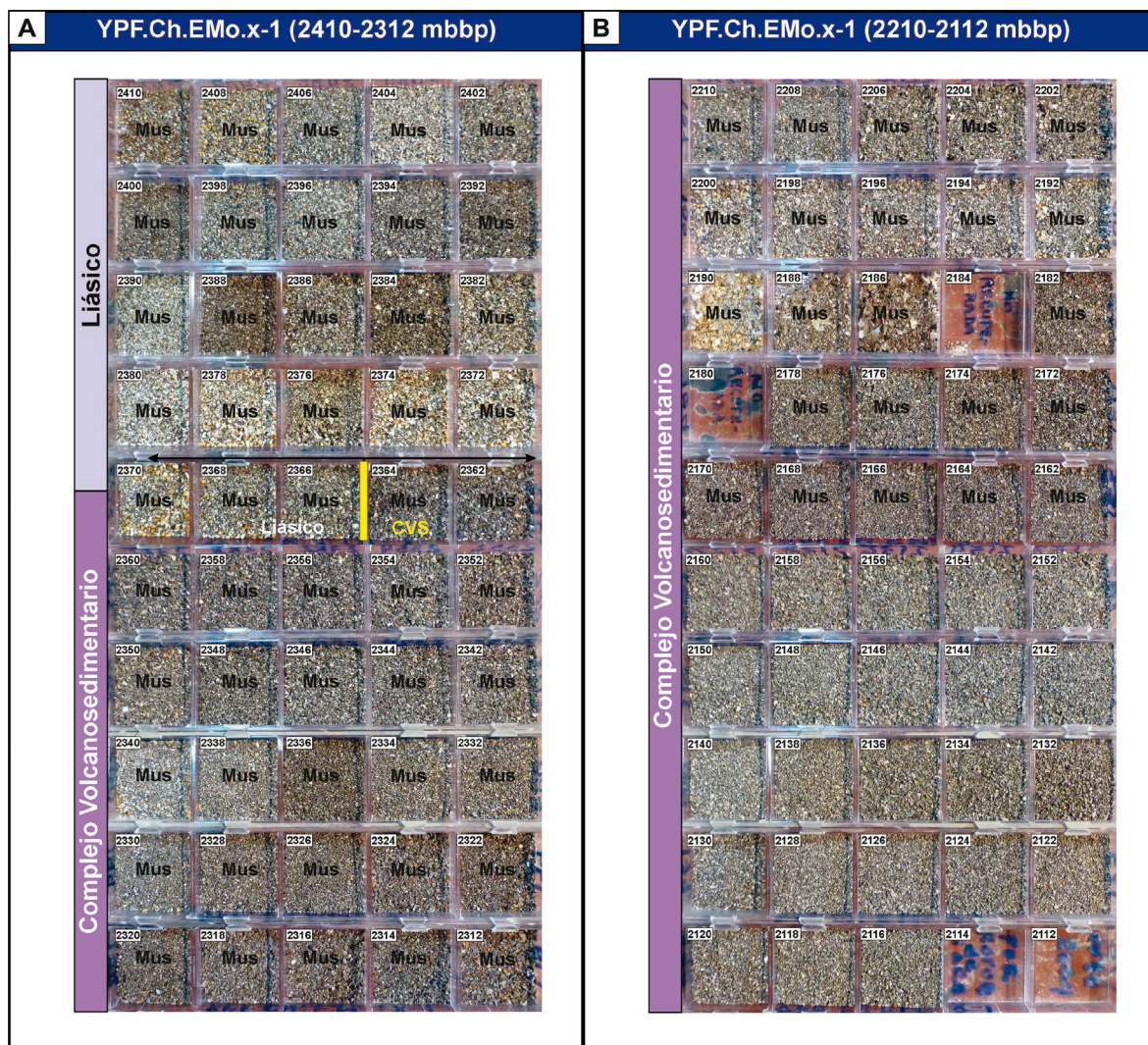


Figura 6. Fotografías del registro de cutting del pozo YPF.Ch.EMo.x-1. A) Intervalo entre 2410-2312 mbbp con presencia de muscovita en la parte alta del Liásico y en el tramo inferior del CVS. B) Intervalo entre 2210-2112 mbbp, mostrando la desaparición de muscovita a partir de los 2160 mbbp. Referencias: Mus: Muscovita.

YPF.Ch.PGS.x-1 (Pampa de los Guanacos Sur): este pozo está ubicado pocos kilómetros al este de la margen oriental del lago Colhué Huapi (ver Fig. 3). El basamento ígneo-metamórfico se registró a partir de los 1732 mbbp. En este caso, el basamento está compuesto por rocas graníticas

con abundante cuarzo (Figs 7A y 7B), feldespato potásico y algunas biotitas. La Fm. Pozo D-129 contiene areniscas cuarzosas en diferentes niveles estratigráficos (Fig. 7C). Esta caracterización se complementó con la medición de Fluorescencia de Rayos X en los recortes de basamento, los resultados arrojaron elevados valores relativos de K (Potasio) y Ca (Calcio) y reducidos de Fe (Hierro) respecto a recortes del CVS (ver detalle en Allard *et al.* 2018).



Figura 7. Fotografías de detalle de cutting, pozo YPF.Ch.PGS.x-1. A) Cutting del basamento no estratificado, mostrando la presencia de rocas de composición granítica (1750 mbbp). B) Detalle a lupa binocular del basamento (1750 mbbp). C) Areniscas cuarzosas en la Fm. Pozo D-129 (1614 mbbp).

El resto de los pozos analizados, a pesar de no haber alcanzado el basamento ígneo-metamórfico, muestran algunos rasgos sedimentarios particulares en su registro de cutting. Por ejemplo, el pozo YPF.Ch.CVi.es-2 ubicado al norte del lago Colhué Huapi contiene areniscas cuarzo-feldespáticas con muscovita en la sección basal de la Fm. Pozo D-129. El pozo YPF.CTo.x-1 contiene abundante presencia de muscovita en recortes de areniscas y limolitas tobáceas de la Fm. Castillo o Mina El Carmen, en el tramo de 1258-1212 mbbp. El Pozo YPF.Ch.CTE.x-1 muestra abundancia de areniscas cuarzosas y presencia de muscovita en la parte alta del Grupo Chubut, en las formaciones equivalentes a Bajo Barreal y Lago Colhué Huapi (Fig. 8); se destaca que en algunos casos los apilamientos de areniscas cuarzosas alcanzan los 150 metros de espesor (Fig. 9A).



Figura 8. Fotografías de detalle de cutting, pozo YPF.Ch.CTE.x-1. A) Areniscas cuarzosas muy gruesas, Fm. Lago Colhué Huapi (888 mbbp). B) Detalle a lupa binocular de areniscas cuarzosas, Fm. Lago Colhué Huapi (1146 mbbp). C) Detalle a lupa binocular de cristales de muscovita, Fm. Lago Colhué Huapi (705 mbbp).

Resulta interesante destacar que en algunos de los pozos descriptos, el Grupo Chubut no comienza con la Fm. Pozo D-129, sino que aparece una sucesión de areniscas, tobas, limolitas tobáceas y limolitas epiclásticas rojizas que permiten interpretar un ambiente continental subaéreo

con influencia volcanoclástica. Siguiendo la propuesta de Clavijo (1986), esta característica composicional se utilizó para asignar esos intervalos al Grupo Chubut. Esta particularidad tiene lugar en los pozos YPF.Ch.CBo.x-1, YPF.Ch.EMo.x-1 y YPF.Ch.PGS.x-1, y se interpreta como la sedimentación fluvial que tuvo lugar sobre el Alto del Río Chico o en sus proximidades antes de la inundación lacustre de la Fm. Pozo D-129.

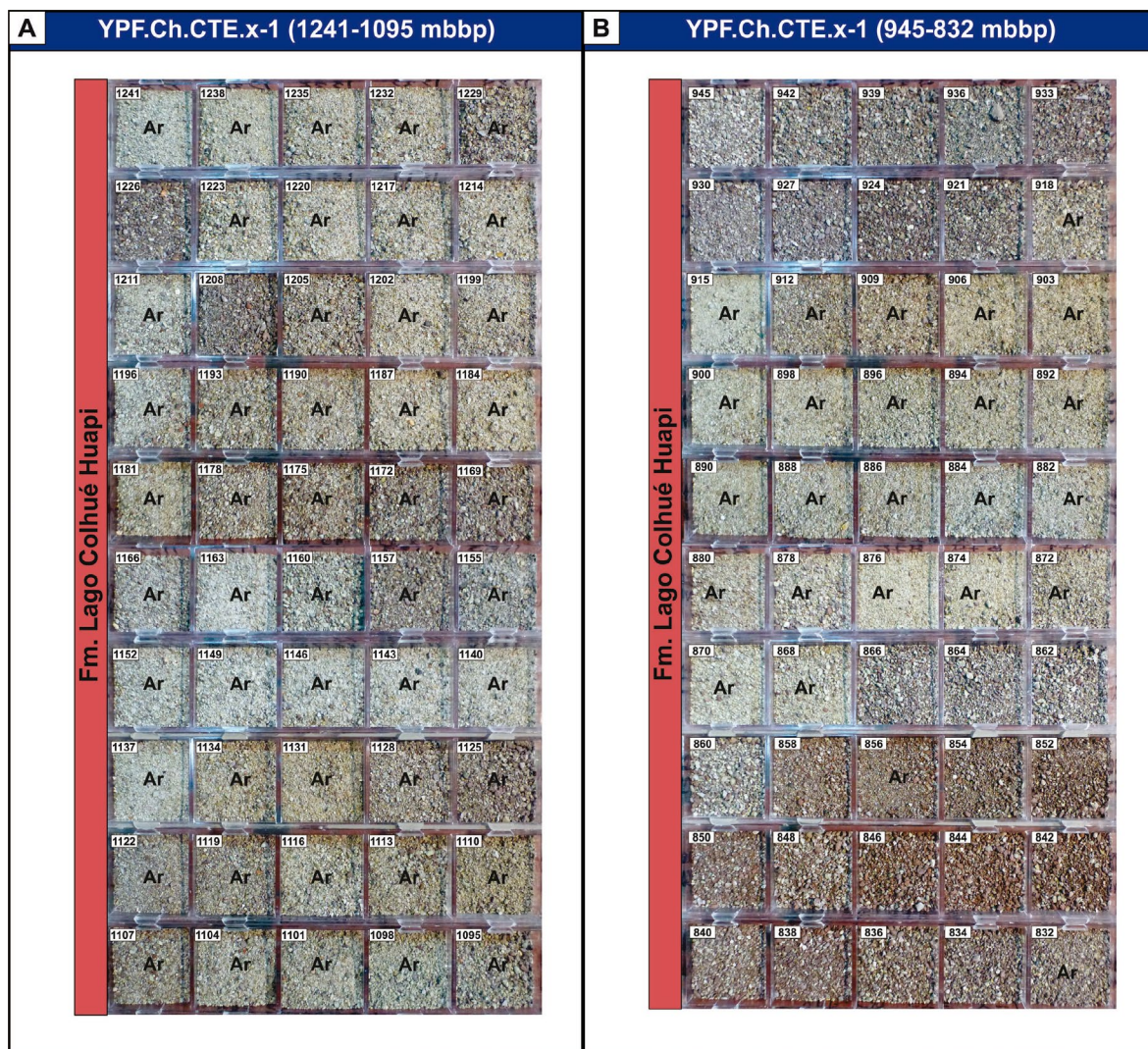


Figura 9. Fotografías del registro de cutting del pozo YPF.Ch.CTE.x-1. A) Intervalo entre 1241-1095 mbbp con predominio de areniscas cuarzosas. B) Intervalo entre 945-832 mbbp con areniscas cuarzosas en 918-868 mbbp. Referencias: Ar: Arenisca.

De manera puntual se describió la presencia de muscovita en al pozo YPF.SC.PDA.x-1 en las formaciones Fm. Pozo D-129 (4004 y 3724 mbbp) y Mina El Carmen (3546, 3430, 2900, 2892-2890, 2886-2884, 2852-2850, 2778 mbbp) y equivalentes a Bajo Barreal (2710 y 2368 mbbp).

OFFSHORE

Secciones sísmicas

Entre las secciones sísmicas regionales analizadas en el offshore de la CGSJ, se destaca la representada en la figura 10A, la cual corta toda la cuenca en sentido N-S a unos 60-80 km desde la zona costera. En la zona central de la cuenca se pueden observar tres grandes depocentros extensionales con sus fallas principales inclinando al sur. Hacia el norte, las fallas son mucho menos importantes y el relleno de la cuenca se apoya sobre un basamento sísmicamente no estratificado (Fig. 10). Es posible reconocer un paleo-alto basamental que representa el borde septentrional de la cuenca en este sector costa afuera. Las unidades del Grupo Chubut van cubriendo con terminaciones onlap paulatinamente a los altos basamentales ubicados hacia el norte. La respuesta

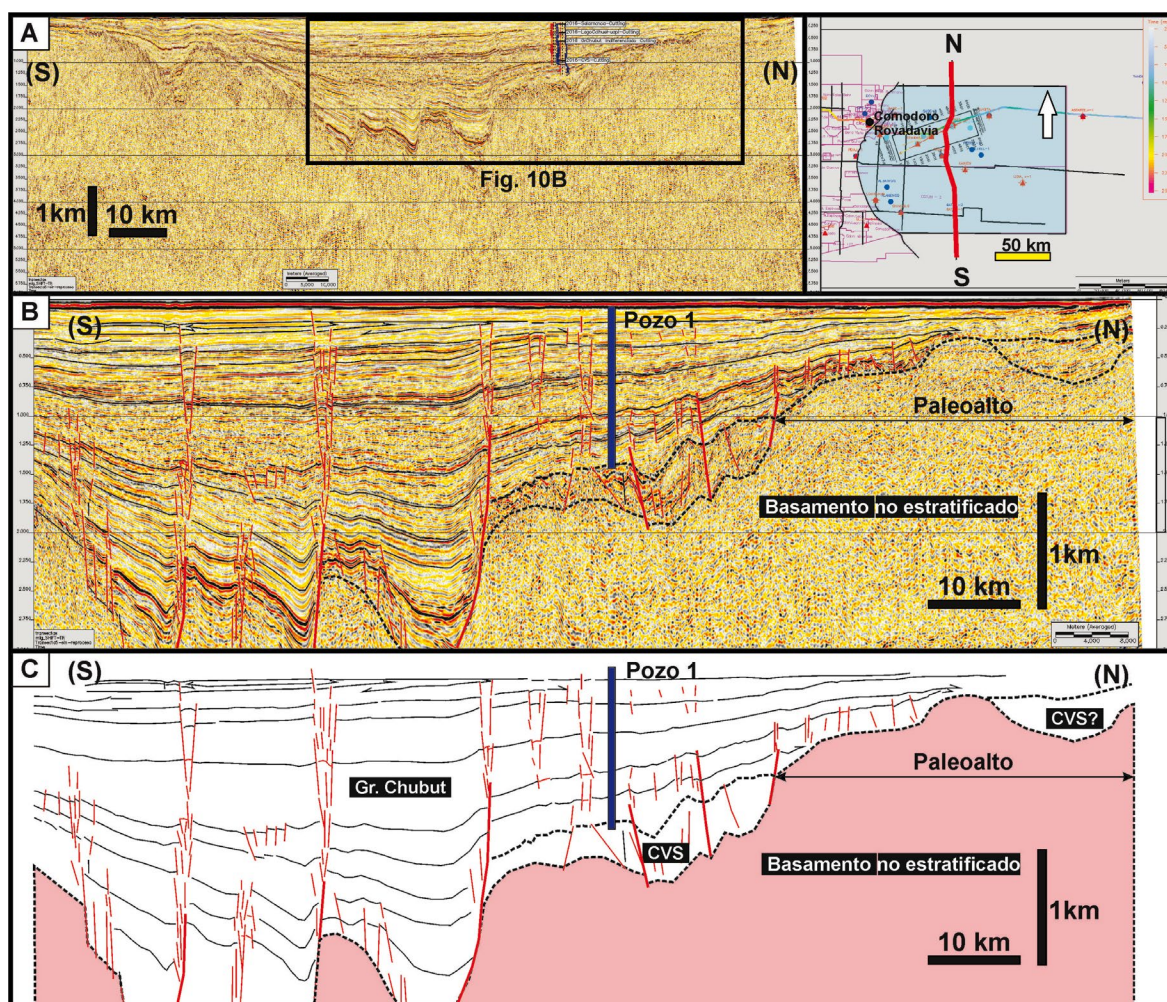


Figura 10. A) Sección sísmica N-S en el offshore de la CGSJ, unos 60-80 km al este de la costa. Ubicación de la Figura 10B. B). Detalle del sector centro-norte del offshore de la cuenca. C) Interpretación de la figura 10B. Notar el relieve del paleoalto ubicado en el sector septentrional y las terminaciones onlap que lo van cubriendo desde el CVS en adelante.

sísmica del basamento no estratificado en el offshore es comparable con la descripta para el Alto del Río Chico, por lo que también podrían corresponder a rocas ígneo-metamórficas.

Descripción de cutting

Se realizó la descripción de cutting de varios pozos perforados en el offshore de la CGSJ, pero se destacan en particular los resultados obtenidos del pozo 1, ubicado unos 20 km al sur de un paleoalto de basamento no estratificado (Fig. 10). Se reconoció la presencia del CVS en la parte inferior del pozo, constituido por rocas volcaniclasticas de composición ácida (Grupo Marifil y equivalentes). Además de muscovita, dentro del CVS se identificaron fragmentos de rocas metamórficas del tipo esquistos micáceos (Figs 11A y 11B). El relleno asignado al Grupo Chubut contiene tal abundancia de areniscas cuarzosas de granulometría mediana a gruesa (Fig. 11C) que no se pudieron diferenciar otras unidades litoestratigráficas dentro del mismo (Fig. 12); esta dificultad se ve magnificada ya que la componente tobácea se encuentra muy subordinada. La presencia de muscovita es un rasgo que está presente en el registro de cutting del pozo 1 desde el CVS hasta las unidades cenozoicas.



Figura 11. A) Detalle a lupa de un cristal de muscovita a 1632 mbbp (CVS). B) Detalle a lupa de un fragmento de una roca metamórfica foliada, posiblemente un esquisto micáceo (1509 mbbp). C) Detalle a lupa binocular de sabulitas cuarzosas, Grupo Chubut indiferenciado (1230 mbbp).

Figura 12. Fotografías del registro de cutting del pozo 1 ubicado en el offshore. A) Intervalo entre 1593-1370 mbbp con presencia de muscovita en el CVS. B) Intervalo entre 1355-970 mbbp definido como Grupo Chubut indiferenciado, caracterizado por la abundancia de areniscas cuarzosas. Referencias: Mus: Muscovita. Ar: Arenisca.

La presencia de clastos de rocas metamórficas y la abundancia de muscovita y cuarzo en toda la columna estratigráfica del pozo 1 (offshore), permiten confirmar que el basamento no estratificado descripto en la sección sísmica de la figura 10 se corresponde con rocas ígneo-metamórficas.

En aquellos pozos del offshore que se encuentran más alejados de los paleorelieves positivos de basamento ígneo-metamórfico, se reconocen diferencias tales como: 1) decrecimiento en el contenido de areniscas en el Grupo Chubut 2) disminución de la granulometría de las areniscas, 3) no se reconoce la presencia de muscovita.

DISCUSIÓN

Tal como surge de las descripciones realizadas, el Alto del Río Chico se presenta como un alto de basamento sísmicamente no estratificado. Las descripciones de cutting permitieron reconocer tanto rocas metamórficas como intrusivas de composición ácida (granitos). Esto representaría la heterogeneidad del basamento no estratificado en distancias de pocos kilómetros, donde las metamorfitas serían equivalentes a la Fm. La Potranca y las rocas graníticas al Granito Sierra Mora, siguiendo el esquema estratigráfico de Anselmi *et al.* (2005). De manera especulativa, se puede imaginar que el basamento ígneo-metamórfico está constituido por rocas metamórficas intruidas por granitos del Paleozoico Superior, tal como propone Barcat *et al.* (1989) en su columna estratigráfica.

Las unidades litoestratigráficas que se disponen por encima del basamento ígneo-metamórfico contienen, de manera singular y poco frecuente en el registro sedimentario, proporciones variables de muscovita como componente detrítico. Se interpreta que la presencia de muscovita es una señal directa del basamento ígneo-metamórfico que funcionó como roca fuente, tal como proponen inicialmente Sylwan (2001) y Sylwan *et al.* (2011) para los conglomerados basales del Miembro Los Alazanes. Sin embargo, en este trabajo se ha reconocido la presencia de muscovita en una gama más amplia de unidades litoestratigráficas, ya no en clastos micáceos sino como componente detrítica de areniscas y limolitas, y no sólo por encima del basamento, sino también en zonas más alejadas (ej. pozo YPF.SC.PDA.x-1). La conservación de los cristales de muscovita en rocas epiclásticas o volcaniclásticas supone que el retrabajo no fue importante y que la roca fuente se encontraba a una distancia de algunos pocos kilómetros. Por lo tanto, la cantidad y tamaño de los cristales de muscovita parece ir decreciendo a medida que nos alejamos del Alto del Río Chico. Por otro lado, la abundancia de areniscas ricas en cuarzo es considerada también una señal local de basamento (ej. YPF.CTE.x-1), ya que por lo general el aporte volcaniclástico es el predominante en el Grupo Chubut.

La posibilidad que las rocas sedimentarias contengan mayor o menor influencia detrítica del basamento ígneo-metamórfico depende de múltiples factores (clima, tectónica, paleogeomorfología, dimensión y forma de redes de drenaje, etc.). Sin embargo, se ha descrito la presencia de muscovita en rocas del basamento liásico, del Complejo Volcanosedimentario y del Grupo Chubut, por lo que es posible suponer que el basamento ígneo-metamórfico permaneció como un paleorelieve positivo por muchas decenas de millones de años. En algunos casos es claro como la señal del basamento desaparece de forma temprana en el CVS (Ej. YPF.Ch.EMo.x-1), permitiendo especular que los altos basamentales que aportaban en ese sitio fueron cubiertos en algún momento del Jurásico o que sus paleoredes de drenaje fueron modificadas; en otros casos permanecieron aportando minerales por mucho más tiempo. Este razonamiento se ilustra en la figura 13 de manera esquemática, donde se propone que la señal mineralógica propia del

basamento no estratificado desaparece una vez que el paleorelieve es cubierto. La relación entre el basamento y el relleno sedimentario puede ser tanto la de un relieve pasivo que es cubierto de forma paulatina (ej. zona de Sierra Mora), como también la de relieves tectónicos asociados a fallamiento normal. En este sentido, la generación de espacio de acomodación a través de pulsos extensionales con depocentros desplazados entre sí, tal como propone Figari *et al.* (1999, 2002 y 2015), genera una diversidad de posibilidades en la relación basamento-cubierta sedimentaria. La rotación de bloques basamentales en el Macizo Nordpatagónico (Genua *et al.* 2000) sería la responsable de la generación espacio disponible para la depositación de la cuenca Chubutiana (Figari *et al.* 2015).

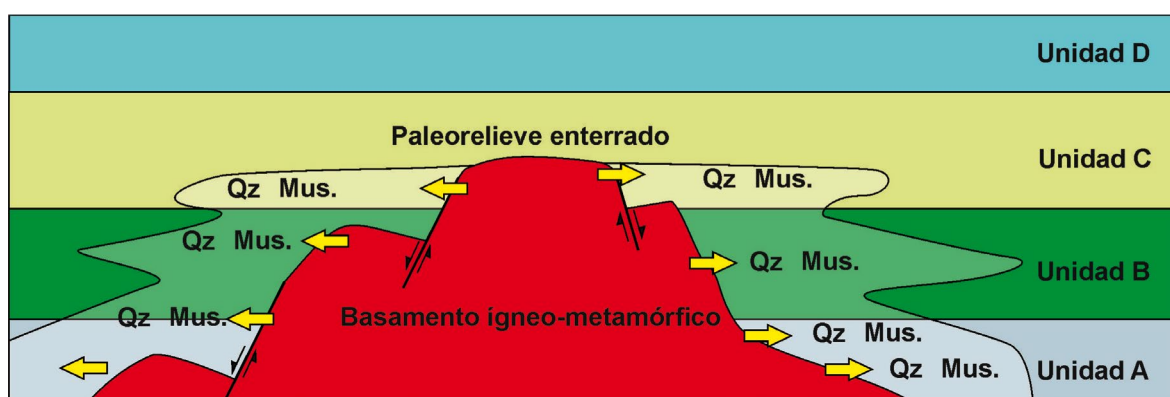


Figura 13. Representación esquemática e idealizada durante el sepultamiento progresivo de un alto de rocas ígneo-metamórficas, con el desarrollo de un halo con mayor proporción de cuarzo y muscovita.

Con esta información, podría decirse que el Miembro Los Alazanes (Fm. Pozo D-129) representa un caso particular de aporte basamental en la base del Grupo Chubut, pero esta situación se replica también en otras unidades litoestratigráficas con diferente grado de intensidad según la distancia a la roca fuente. Por ello, tal vez convenga restringir el uso del término Miembro Los Alazanes para la sección basal del Grupo Chubut no lacustre, con depositación continental subaérea, como se describió en los pozos YPF.Ch.CBo.x-1, YPF.Ch.EMo.x-1 y YPF.Ch.PGS.x-1.

La importancia del basamento ígneo-metamórfico es que introduce una gran cantidad de cuarzo detrítico al medio sedimentario, mejorando así la calidad y cantidad de posibles rocas reservorios. Está de más señalar que la posibilidad de lograr importantes apilamientos de areniscas cuarzosas depende al mismo tiempo de otros factores de control (ej. tectónicos, nivel de base, paleoambientales sedimentarios, etc.). En particular, se considera como un escenario muy favorable la conjunción de corredores sedimentarios con áreas de paleodrenaje de grandes dimensiones y que hayan tenido en sus cabeceras afloramientos del basamento ígneo-metamórfico. La relación entre el basamento no estratificado y la cubierta sedimentaria reconocida en el sector occidental del Flanco Norte de la CGSJ (onshore), resultó de suma utilidad para interpretar el registro de cutting de pozos en la región del offshore. Por un lado, se pudo observar la similitud en la respuesta sísmica

del basamento ígneo-metamórfico del Alto del Río Chico con el basamento no estratificado en el sector norte del offshore. En este sentido, Figari *et al.* (2002) indican que la porción offshore de la cuenca continúa con el mismo estilo extensional y un potencial hidrocarburífero análogo aunque sin desarrollo hasta el momento. A pesar que en el sector costa afuera ninguno de los pozos descriptos alcanzó el basamento ígneo-metamórfico, los fragmentos de rocas metamórficas descriptos y la abundancia de cuarzo-muscovita en la composición de las distintas unidades que se disponen por encima del mismo, permite inferir su presencia. Probablemente la ausencia en el offshore de las rocas sedimentarias marinas del basamento estratificado (Grupo Tepuel y Liásico) permitió que el basamento ígneo-metamórfico estuviera mejor expuesto como roca fuente. Este análisis extiende el ámbito con rocas ígneo-metamórficas bajo la CGSJ varias decenas de kilómetros más al este que lo asumido por Cortiñas (1996) y Ramos (2015), incrementando las posibilidades de encontrar rocas reservorio con mejores calidades petrofísicas que en el resto de la CGSJ.

Los resultados obtenidos permitieron valorar la contribución silicoclástica de las rocas ígneo-metamórficas en distintos sectores y momentos evolutivos de la cuenca, donde la incorporación de grandes cantidades de cuarzo a los sistemas sedimentarios mejoró de manera sustancial la madurez composicional y calidad de las rocas reservorio. Estos resultados se consideran un aporte valioso tanto para el entendimiento de los objetivos productivos actuales (onshore), como en la búsqueda y prospección de nuevos targets exploratorios (onshore y offshore).

CONSIDERACIONES FINALES

- El análisis de información sísmica y registro de cutting permitió reconocer que el alto basamental de rocas ígneo-metamórficas ubicado en el sector noroccidental del Flanco Norte de la CGSJ (Alto del Río Chico), fue una zona positiva que aportó sedimentos silicoclásticos al menos desde el Liásico y hasta la parte alta del Grupo Chubut.
- La incorporación de abundantes cantidades de cuarzo aportadas por basamento ígneo-metamórfico mejora sustancialmente la calidad de las rocas reservorio, distorsionando localmente las características distintivas del Grupo Chubut definidas en afloramientos de la Faja Plegada de San Bernardo.
- La presencia de muscovita como componente clástico en el relleno de la cuenca se considera una señal del aporte de rocas ígneo-metamórficas.
- En el sector norte del offshore se reconoció una importante influencia del aporte del basamento ígneo-metamórfico en la constitución litológica de toda la columna estratigráfica, al punto de hacer desaparecer las características propias de las unidades del Grupo Chubut.
- Se considera que la influencia del basamento ígneo-metamórfico en el sector norte de la CGSJ (onshore y offshore) representa un control de primer orden en la composición de las rocas sedimentarias acumuladas sobre o en cercanías de éste (algunas decenas de kilómetros),

cuya señal se va atenuando a medida que nos alejamos de los altos basamentales.

- Los resultados obtenidos se consideran un aporte valioso tanto para el entendimiento de los objetivos productivos/exploratorios actuales en onshore, como en la búsqueda y prospección de nuevos objetivos exploratorios en el onshore y offshore.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la empresa YPF S.A. por permitir la difusión de los resultados de este estudio interno. Se agradece especialmente al personal de los archivos de km4 (Comodoro Rivadavia) y Avellaneda (Buenos Aires) por la predisposición en la preparación de las muestras durante el trabajo. Se agradece a los revisores del trabajo por sus comentarios y sugerencias que mejoraron sustancialmente la versión original. También un agradecimiento especial para Marcelo Limeres por la revisión detallada y criteriosa del manuscrito.

REFERENCIAS CITADAS

- Allard, J.O., N. Foix, M.L. Ferreira y M. Atencio, 2018, “(Re)visión de secuencias sedimentarias cretácicas en pozos profundos de la cuenca del Golfo San Jorge: litoestratigrafía, quimioestratigrafía y controles estratigráficos externos”. Este Congreso.
- Andreis, R.R., S. Archangelsky, C.R. González, O. López Gamundi y N. Sabbatini, 1987, “Cuenca Tepuel-Genoa”. En: S. Archangelsky (Ed.), El Sistema Carbonífero en la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, p. 169-196.
- Anselmi, G., J.L. Panza, J.M. Cortés y D. Ragona, 2005, “Hoja Geológica 4569-II El Sombrero”. Servicio Geológico Minero, Instituto de Geología y Recursos Minerales. Boletín 271, p. 84. Buenos Aires.
- Baldi, J.E. y V.A. Nevistic, 1996, “Cuenca Costa Afuera del Golfo San Jorge”. En: V.A. Ramos, y M.A. Turic (Eds.) Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. Relatorio XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires, p. 171-192.
- Barcat, C., J.S. Cortiñas, V.A. Nevistic, N.H. Stach y H.E. Zucchi, 1984, “Geología de la región comprendida entre los Lagos Musters – Colhue Huapi y la Sierra Cuadrada, Departamentos Sarmiento y Paso de Indios, Provincia del Chubut”. Actas IX Congreso Geológico Argentino, II: p. 263-282, San Carlos de Bariloche.
- Barcat, C., J.S. Cortiñas, V.A. Nevistic y H.E. Zucchi, 1989, “Cuenca Golfo San Jorge”. En: G. Chebli y L. Spalletti (Eds.) Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica Nro. 6, Universidad Nacional de Tucumán, p. 319-345.
- Casal, G.A., J.O. Allard y N. Foix, 2015, “Análisis estratigráfico y paleontológico del Cretácico superior en la cuenca del Golfo San Jorge: nueva unidad litoestratigráfica para el Grupo Chubut”. Revista de la Asociación Geológica Argentina, vol. 72 (1), p. 81-99.

- Clavijo, R., 1986, "Estratigrafía del cretácico inferior en el sector occidental de la Cuenca Golfo San Jorge". Boletín de Informaciones Petroleras 9, p. 15-32. Buenos Aires.
- Cortiñas, J.S., 1996, "La cuenca de Somuncurá - Cañadón Asfalto: sus límites, ciclos evolutivos del relleno sedimentario y posibilidades exploratorias". 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires, Actas I, p. 147-163.
- Ferello, R. y P. Lesta, 1973, "Acerca de la existencia de una dorsal interior en el sector central de la Serranía de San Bernardo (Chubut)". 5° Congreso Geológico Argentino Actas 4, p. 19-26.
- Fernández Garrasino, C.A., 1977, "Contribución a la estratigrafía de la zona comprendida entre la Estancia Ferrarotti, Cerro Colorado y Cerrito Negro - Departamento de Tehuelches - Provincia de Chubut - Argentina". Revista de la Asociación Geológica Argentina 23, p. 130-144.
- Feruglio, E., 1949, "Descripción Geológica de la Patagonia". Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Vol. 1, p. 1-334. Buenos Aires.
- Figari, E.G., E. Strelkov, G. Laffitte, M.S. Cid de la Paz, S. Courtade, J. Celaya, A. Vottero, S. La-fourcade, R. Martinez y H. Villar, 1999, "Los sistemas petroleros de la Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica". 4° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas, p. 197-237. Buenos Aires.
- Figari, E.G., E. Strelkov, M.S. Cid de la Paz, J. Celaya, G. Laffitte y H. Villar, 2002, "Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica". Relatorio XV Congreso Geológico Argentino, III, p. 571-601. El Calafate
- Figari, E.G., R.A. Scasso, R.N. Cúneo e I. Escapa, 2015, "Estratigrafía y evolución geológica de la cuenca de Cañadón Asfalto, Provincia del Chubut, Argentina". Latin American Journal 22 (2), p. 135-169.
- Geuna, S., R. Somoza, H. Vizan, E.G. Figari y C. Rinaldi, 2000, "Paleomagnetism of Jurassic and Cretaceous rocks in central Patagonia: a key constraint to the timing of rotations during the breakup of southwestern Gondwana?". Earth and Planetary Science Letters 181:145-160.
- Halpern, M., M. Umpierre y E. Linares, 1972, "Radiometric ages of crystalline rocks from South America as related to Gondwana and Andean Geologic Provinces". Actas Conferencia sobre Problemas de la Tierra Sólida, 2, p. 345-356. Buenos Aires.
- Isbell, J.L., L.C. Henry, E.L. Gulbranson, C.O. Limarino, M.L. Fraiser, Z.J. Koch, P.L. Ciccioli y A.A. Dineen, 2012, "Evaluations of glacial paradoxes during the late Paleozoic Ice Age using the concept of the equilibrium line altitude (ELA) as a control on glaciations". Gondwana Research 22, p. 1-19.
- Lesta, P., Ferello, R., 1972, Región Extraandina del Chubut y norte de Santa Cruz. En Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, Leanza, A.F. (Ed.): 601-654. Córdoba.
- Limarino, C. y L.A. Spalletti, 2006, "Paleogeography of the upper Paleozoic basins of southern South America: an overview". Journal of South American Earth Sciences 22, p. 134-155.
- Linares, E. y R.R. González, 1990, "Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina 1957-1987". Asociación Geológica Argentina, Publicaciones Especiales Serie B, Didáctica y Complementaria, vol. 19, p. 628.

- Paredes, J.M., N. Foix, J.O. Allard, F. Colombo y M. Tunik, 2015, "Alluvial architecture of reworked pyroclastic deposits in peri-volcanic basins: Castillo Formation (Albian) in the Golfo San Jorge basin, Argentina". *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72, p. 42-62.
- Pezzi, E.E. y R.M. Medori, 1972, "Proyecto Miembro Pozo LA.1 (Los Alazanes). Área Este Lago Colhué Huapi". *Yacimientos Petrolíferos Fiscales*, informe inédito.
- Ramos, V.A., 2008, "Patagonia: A paleozoic continent adrift?". *Journal of South American Earth Sciences* 26, p. 235-251.
- Ramos, V.A., 2015, "Evolución de la cuenca Golfo San Jorge: su estructuración y régimen tectónico". *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72 (1), p. 16-24.
- Sciutto, J.C., 1981, "Geología del Codo del Río Senguerr, Chubut, Argentina". 8° Congreso Geológico Argentino, vol. 3, p. 203-219. San Luis.
- Suárez, M. y M. Márquez, 2007, "A Toarcian retro-arc basin of Central Patagonia (Chubut), Argentina: Middle Jurassic closure, arc migration and tectonic setting". *Andean Geology* 34 (1), p. 63-79.
- Suero, T., 1958, "Datos Geológicos sobre el Paleozoico superior en la zona de Nueva Lubecka y alrededores (Chubut Extra-andino, Provincia de Chubut)". *Revista del Museo de la Plata* 5 (Geología 30), p. 1-28.
- Sylwan, C.A., 2001, "Geology of the Golfo San Jorge basin, Argentina". *Journal of Iberian Geology*, 27, p. 123-157.
- Sylwan, C., C. Droeven, J. Iñigo, F. Mussel y D. Padva, 2011, "Cuenca del Golfo San Jorge". 8° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Cuencas Argentinas: visión actual, *Actas electrónicas*, 46 p., Buenos Aires.
- Taboada, A.C. y M.A. Pagani, 2010, "The marine upper Palaeozoic in Patagonia (Tepuel-Genoa Basin, Chubut Province, Argentina): 85 years of work and future prospects". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 298, p. 130-151.
- Ugarte, F., 1966, "La cuenca compuesta carbonífera-jurásica de la Patagonia Meridional". *Anales de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco* v.1, p. 37-68.
- Umazano, A.M., E.S. Bellosi, G. Visconti y R.N. Melchor, 2012, "Detecting allocyclic signals in volcanoclastic fluvial successions: facies, architecture and stacking pattern from the Cretaceous of central Patagonia, Argentina". *Journal of South American Earth Science* 40, p. 94-115.