

EXPLORACIÓN DEL GR CUYO (JURÁSICO) EN BLOQUES MADUROS DE LA DORSAL DE HUINCUL – PUESTO TOUQUET Y EL PORVENIR, CUENCA NEUQUINA

Hyung Joo Kim¹, Martín Mallea¹, Raúl Gutiérrez¹, Patricio Malone¹

1: Pluspetrol S.A. pkim@pluspetrol.net, mmallea@pluspetrol.net, rgutierrez@pluspetrol.net, pmalone@pluspetrol.net

Palabras clave: Los Molles, Fosa Challacó, Mb Cutral-Có, Turbiditas, Paleoambientes

ABSTRACT

Exploration of Cuyo Gr (Jurassic) in mature areas of Huincul High – Puesto Touquet and El Porvenir areas, Neuquén Basin

The area of study is located in the central-west part of the Huincul High, involving two exploitation concessions: Puesto Touquet and El Porvenir. Two main fault-zones, trending NE-SW, separate the three main structural features in the area: Puesto Touquet Anticline, Challacó Trench and Challacó High. The inter-relation between these structures and three sequences identified for Los Molles Fm allowed the reconstruction of the geologic evolution from Plienbachian to Bajocian.

The drilling results of two recent exploration wells, Challacó Bajo x-1001 and Fosa Challacó x-1, drove the adjustment of both petroleum system and the paleoenvironmental scheme for Los Molles Fm, which was defined in a regional scale by previous papers.

A sand-rich ramp turbidite system is proposed for Cutral-Có Mb., developed from Challacó High (source area) to Puesto Touquet (deep turbidite deposition zone) along 15~20 km distance. In between, a coastal plain setting and a transition platform zone is suggested for Challacó Bajo and Fosa Challacó depositional environments, respectively.

Geochemical data obtained from FCh.x-1 cuttings reveal that Los Molles Fm in Challacó Trench has reached at least the early gas window, consistent with the humid composition of all the gas samples produced in Puesto Touquet and La Chilca fields, and also Challacó Bajo recent discovery (tested 100 Mm³/d of gas and 20 m³/d of condensates). Considering that the regional Los Molles Fm gas kitchen is located 25 km northwards, Challacó Trench becomes the only local gas kitchen that sourced proven hydrocarbon accumulations and possibly charged still unproven traps as well. Improvement in understanding reservoir distribution and source-migration-charge pathways helped defining new low-risk stratigraphic and combined prospects in a mature area, where previous exploration was focused mainly on shallow structural traps.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se ubica en el sector centro-oeste de la Dorsal de Huincul, a unos 7 km al sudeste de la ciudad de Cutral-Có y a 60 km al oeste de la ciudad de Neuquén. Abarca una superficie aproximada de 350 km², comprendiendo las concesiones de explotación de Puesto

Touquet y El Porvenir (Figura 1).

El bloque El Porvenir tiene superficie total de 238 km² y cuenta con tres yacimientos de petróleo: Challacó, La Esperanza y El Porvenir. El área fue adquirida por Pluspetrol en 1990, y posee una producción acumulada de 8,9 MMm³ de petróleo, 131 MMm³ de gas y 68 MMm³ de agua, con un total de 379 pozos perforados. Se registraron dos cubos sísmicos en el bloque, en los años 1998 y 2006, el primero de ellos abarcando el sector suroeste de Puesto Touquet.

Challacó es el yacimiento más importante del bloque y se ubica sobre el alto de Challacó, la estructura más conspicua del área. Consiste en un pliegue anticlinal de rumbo NE-SO, en donde se halla la mayor parte de las reservas de petróleo, almacenado en las formaciones Tordillo y Challacó. El primer pozo descubridor de petróleo en el bloque fue el NA-4, terminado en el año 1941 por YPF. El desarrollo principal tuvo lugar en la década del 40, alcanzando un pico de producción de 1000 m³/d de petróleo. Posteriormente tuvieron lugar los descubrimientos de los yacimientos La Esperanza y El Porvenir.

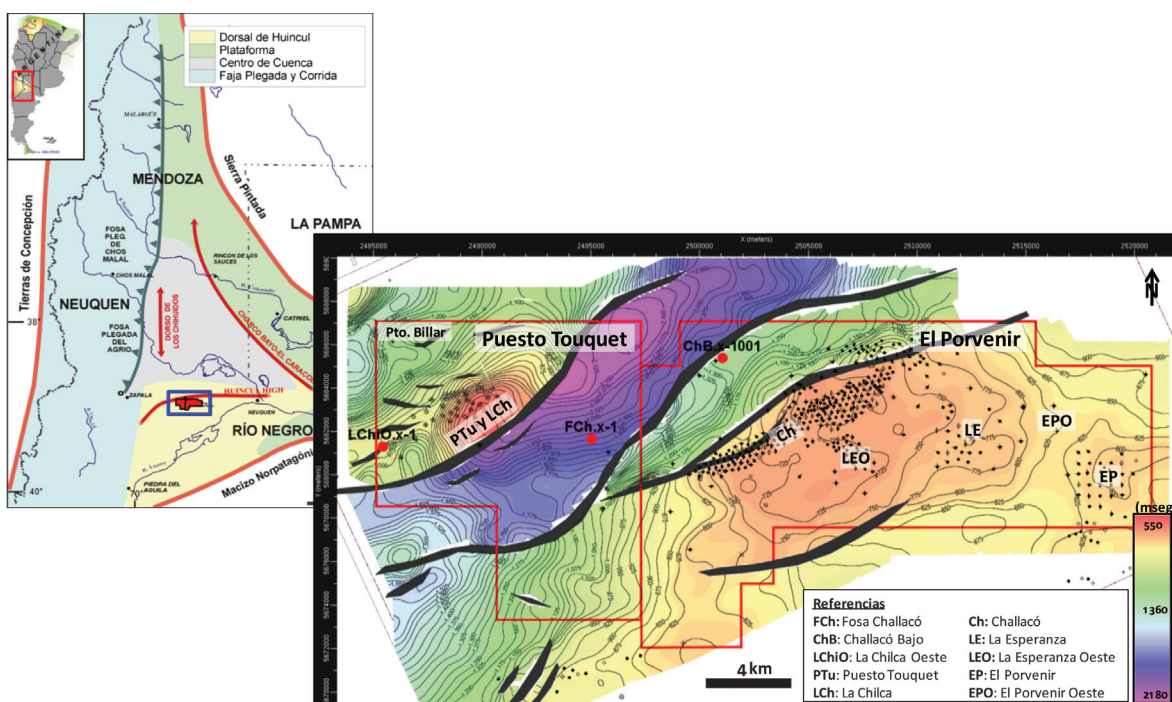


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, mapa en tiempo al techo de la Fm Precuyo, los tres pozos de la última campaña exploratoria y los yacimientos.

El bloque Puesto Touquet tiene una extensión de 138 km² y cuenta con dos yacimientos de gas y condensado que producen de dos unidades distintas: el yacimiento Puesto Touquet (Mb Cutral-Có de la Fm Los Molles) y el yacimiento La Chilca (Gr Precuyo). Ambos yacimientos están localizados en el alto de Puesto Touquet, un anticlinal elongado en dirección SW-NE generado por la inversión de una falla directa de igual orientación. Esta estructura es la responsable de generar el entrapamiento tanto para las unidades más someras del Mb Cutral-Có (profundidad media de 600 mbbp)

como también para los reservorios profundos del Gr Precuyo (profundidad media de 1200 mbbp).

El yacimiento Puesto Touquet fue descubierto por YPF en el año 1983 mediante la perforación del pozo PTu.x-1. Debido a la falta de gasoductos, y al resultado estéril del pozo PTu.x-2, el área no se desarrolló por carecer de valor económico explotable.

El bloque fue adquirido por Pluspetrol en el año 1991. En el año 2001 se registró sísmica 3D que completó la cobertura parcial del cubo de 1998. Desde 1993 hasta 2010 se perforaron 17 pozos de delineación y desarrollo en el yacimiento Puesto Touquet con objetivo en la Fm Los Molles. En el año 2005 se perforó el pozo LChi.x-1001, que descubrió gas en niveles del Grupo Precuyo y petróleo en el Mb Chachil. Posteriormente se perforaron 5 pozos más para su delineación y desarrollo. Actualmente el bloque tiene una producción acumulada de 1224 MMm³ de gas, 3690 m³ de condensado y 24 Mm³ de agua.

De los antecedentes de ambos bloques se desprende que la exploración y el posterior desarrollo de los yacimientos descubiertos antes del 2012 se focalizaron en trampas estructurales con objetivos someros. Una nueva revisión del potencial exploratorio en estos bloques identificó nuevos *plays* y prospectos para la Fm Los Molles en trampas estratigráficas o combinadas en un rango variable de profundidades (~1700 a 3700 mbbp).

La información sísmica utilizada en el presente trabajo proviene de un cubo *merge* del año 2007 que unificó los tres cubos registrados previamente. Esto permite tener una imagen sísmica integrada y completa de los dos bloques en cuestión. Esta información se integró con datos sísmicos regionales a fin de poner en contexto las secuencias depositacionales y los rasgos estructurales observados localmente.

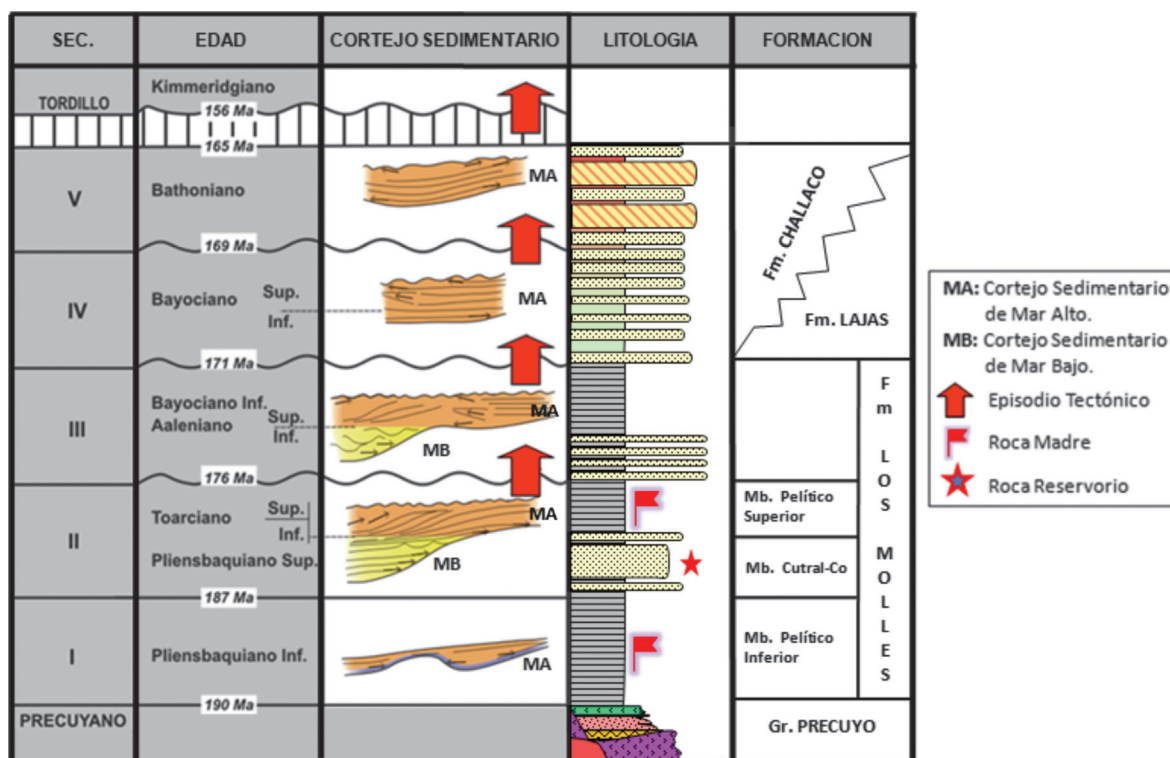


Figura 2. Columna estratigráfica del Gr Cuyo, modificado de Gulisano *et al.* (2007).

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es, en primer lugar, exponer los resultados de la reciente campaña exploratoria en Puesto Touquet y El Porvenir. En segundo lugar se propone, a partir de los nuevos datos de pozos, un esquema paleoambiental del Mb Cutral-Có para el área de estudio, así como una actualización del sistema petrolero de la Fm Los Molles para este sector de la Dorsal de Huincul (Figura 2).

CONSIDERACIONES TECTONO-ESTRATIGRÁFICAS

Marco Estructural

La Dorsal de Huincul es una de las regiones que tuvo mayor movilidad durante el Jurásico y el Cretácico de la cuenca Neuquina. En este período la región estuvo afectada por diferentes eventos distensivos y compresivos (Gómez Omil *et al.*, 2002). La dorsal tiene una extensión de aproximadamente 250 km con una orientación preferencial en sentido E-O. Se caracteriza por la presencia de grandes estructuras anticlinales con rechazos de hasta 2000 m, como ocurre con el alto de California - Puesto Touquet (Figura 3). Dichos anticlinales fueron formados por la inversión tectónica de hemigrábenes de orientación ENE-OSO y E-O formados durante el Triásico al Jurásico temprano. El primer período de inversión ocurrió durante el Toarciano Superior, que sumado a los cambios eustáticos ejercieron un control muy importante en la sedimentación del Grupo Cuyo generando importantes discordancias intraformacionales y variaciones de facies en pocos kilómetros (Vergani *et al.*, 2005).

La Figura 3 muestra un mapa esquemático de los principales rasgos estructurales presentes en la zona de estudio y alrededores que delimitan los principales yacimientos en este sector de la cuenca. Estos se ubican principalmente en anticlinales producto de inversión tectónica de hemigrábenes preexistentes (Puesto Touquet, Ranquil Có, Cutral Có, etc.).

Existen además otros rasgos estructurales en la zona que tuvieron mucha importancia en la deposición del Grupo Cuyo:

- Alto de Basamento de Octógono: es un paleoalto que jugó un rol importante en la distribución de los sedimentos hacia el norte de la zona estudiada.
- Fosa Challacó: se encuentra en una zona delimitada entre las fallas de Divisadero y Ranquil Có, tuvo nulo o muy poco levantamiento tectónico durante el Jurásico. Constituye el depocentro jurásico de mayor sección en la zona de estudio
- Alto de Challacó: fue la principal zona de aporte de sedimentos para el Gr Cuyo.

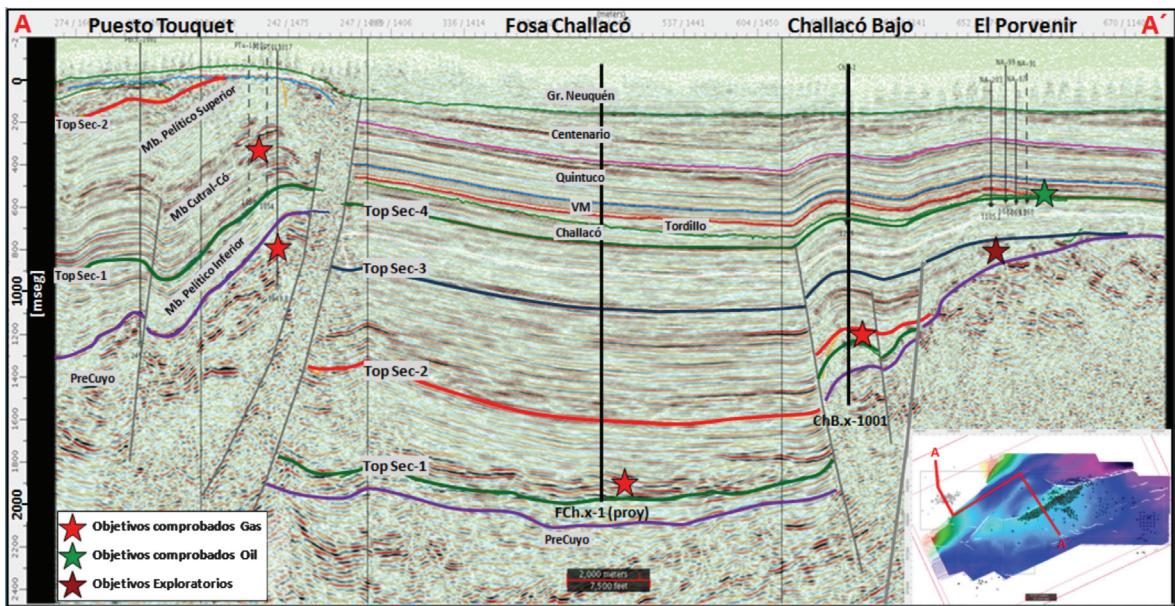


Figura 4. Sección sísmica arbitraria donde se observan las principales estructuras y formaciones, con las secuencias depositacionales jurásicas.

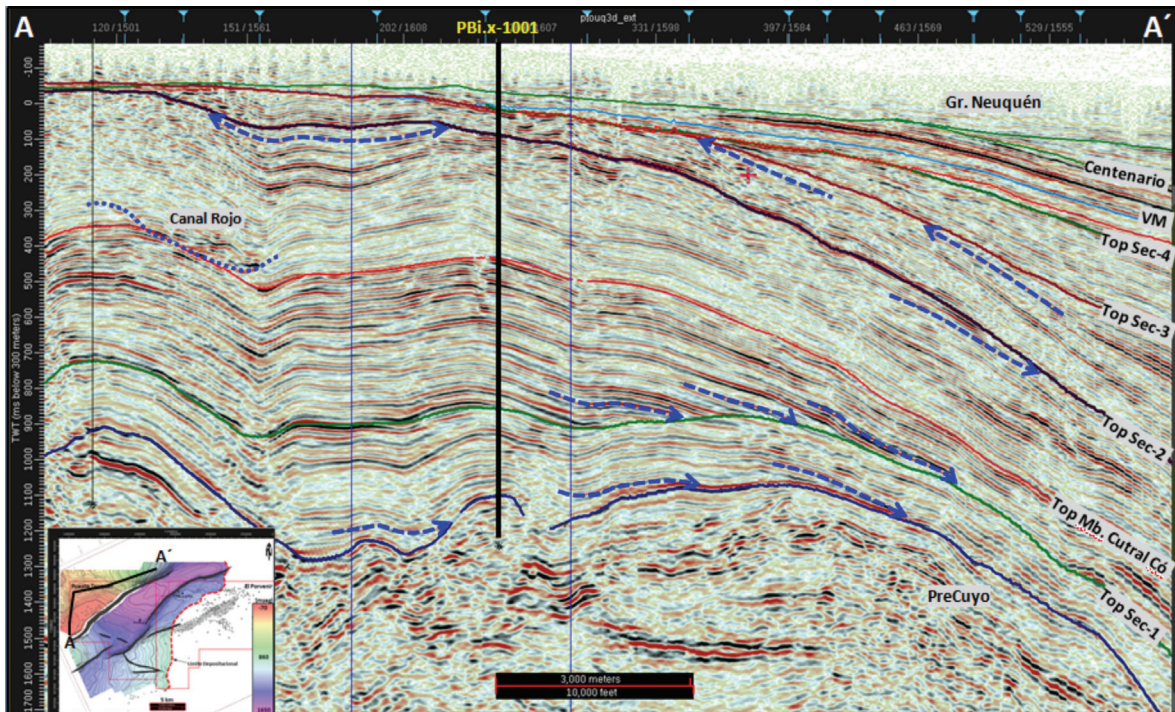


Figura 5. Sección sísmica arbitraria donde se observan geometrías de *onlap* basal (base Sec. I y Sec. II), truncaciones erosivas (Top Sec. II y Sec. III) y canales dentro de la Sec. II (Canal Rojo).

SECUENCIA I

Es la secuencia basal del Grupo Cuyo que fue depositada durante el Pliensbaquiano Inferior (Gulisano *et al.*, 2007). Está constituida principalmente por pelitas negras con fauna marina (amo-

nites) correspondientes a la primera inundación en la zona estudiada (Mb Pelítico Inferior), con buena capacidad de generación de hidrocarburos por su calidad y extensión, que representan a un Cortejo Sedimentario de Mar Alto.

Esta secuencia apoya directamente sobre depósitos volcanoclásticos del Gr Precuyo, y eventualmente sobre la Caliza Chachil, constituido por calizas silicificadas o conglomerados gruesos de facies continentales a marino marginales.

La geometría de *onlaps* basales de este relleno (Figura 5) sobre las unidades antes mencionadas indican el inicio de la transgresión marina del ciclo cuyano sobre un paleorelieve muy irregular; donde la cuenca pasa de un estadio de “*rift*” a uno subsidencia generalizada “*sag*”.

Las Figuras 6a y 6b muestran el mapa estructural y de espesores en tiempo de la secuencia, mostrando claramente un aumento de espesor hacia el noroeste (centro de cuenca). No se observan signos de actividad tectónica en la zona para este tiempo.

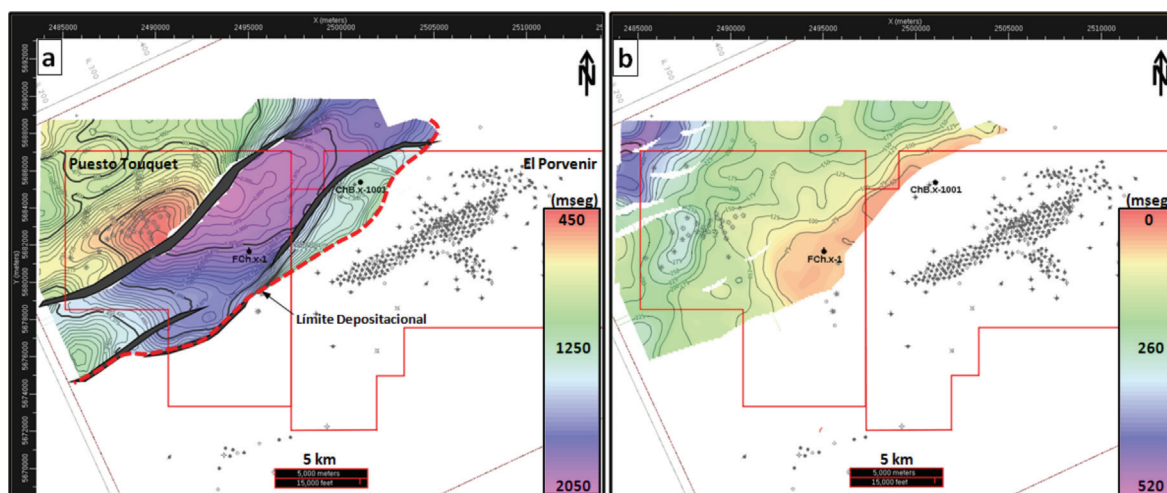


Figura 6. Secuencia I: a) Mapa estructural en tiempo. b) Mapa de espesor en tiempo.

SECUENCIA II

Esta secuencia se caracteriza por ser la de mayor espesor en la zona de estudio. Presenta grandes cambios laterales de facies y dos cortejos sedimentarios a nivel regional: de Mar Bajo (Mb Cutral C6) y de Mar Alto (Mb Pelítico Superior).

La secuencia II apoya directamente sobre la Secuencia I (Mb Pelítico Inferior) o sobre el Gr Precuyo al este y sureste hacia el Alto de Challac6. Se caracteriza por la presencia de *onlap* basales sobre el paleorelieve existente (Figura 5), indicando la existencia de un importante l6mite de secuencia.

Las Figuras 7a y 7b muestran el mapa estructural y de espesores en tiempo de la secuencia II. En el Alto de Puesto Touquet se observa que el techo de dicho intervalo est1 a muy poca profundidad (aprox 200 m) producto del levantamiento y la erosión posterior. La columna litol6gica atra-

vesada por los pozos de este sector muestra solamente al Grupo Neuquén por encima del techo de la secuencia. El espesor de esta secuencia se incrementa hacia el noroeste y oeste relacionado posiblemente a la existencia de fallas extensionales previas (Figura 7b). Hacia el sureste la secuencia se adelgaza y se acuña rápidamente. No hay evidencia de actividad tectónica compresiva en los mapas de espesores para este intervalo.

La secuencia II se divide en dos secciones: un cortejo de mar bajo y un cortejo de mar alto.

La sección inferior o Cortejo Sedimentario de Mar Bajo se caracteriza por la presencia de un sector proximal, con reflectores con geometrías canalizadas (sector de Fosa Challacó, Figura 13), que se interpreta como una zona de erosión y transporte de sedimentos, y un sector distal (sector de Puesto Touquet), donde los reflectores muestran paralelismo y geometrías de *onlap* en una zona de depositación sobre el Mb Pelítico Inferior (Secuencia I, Figura 5). Este conjunto de depósitos se los denomina Mb Cutral Có (Pando *et al.* 1984) y se lo asocia a un sistema turbidítico presente principalmente en la zona limitada hacia el sur por el Alto de Challacó y hacia el norte por el alto de basamento de Octógono (Figura 3). Es el principal intervalo productor del Yacimiento Puesto Touquet. Está compuesto principalmente por areniscas finas de textura homogénea conformando capas con varios metros de espesor intercaladas con pelitas oscuras.

La edad de estos depósitos basada en las biozonas de amonites (Gulisano *et al.*, 2011) ha sido asignada a un lapso de tiempo que involucra el Pliensbaquiano tardío y el Toarciano temprano (Figura 2).

La sección superior o Cortejo Sedimentario de Mar Alto está constituido principalmente por lutitas negras y gris verdosas oscuras de origen marino con espesores de hasta 350 m, denominado Mb Pelítico Superior, depositada durante el Toarciano temprano al Toarciano tardío. En su base se identificaron rasgos de canales aislados marcadamente erosivos de hasta 150 m de espesor, con un relleno irregular en la zona del Yacimiento Puesto Touquet, que se lo denomina informalmente Canal Rojo (Figura 5). Este nivel es productor de gas en varios pozos del Yacimiento Puesto Touquet y está compuesto por areniscas finas de hasta 25% de porosidad.

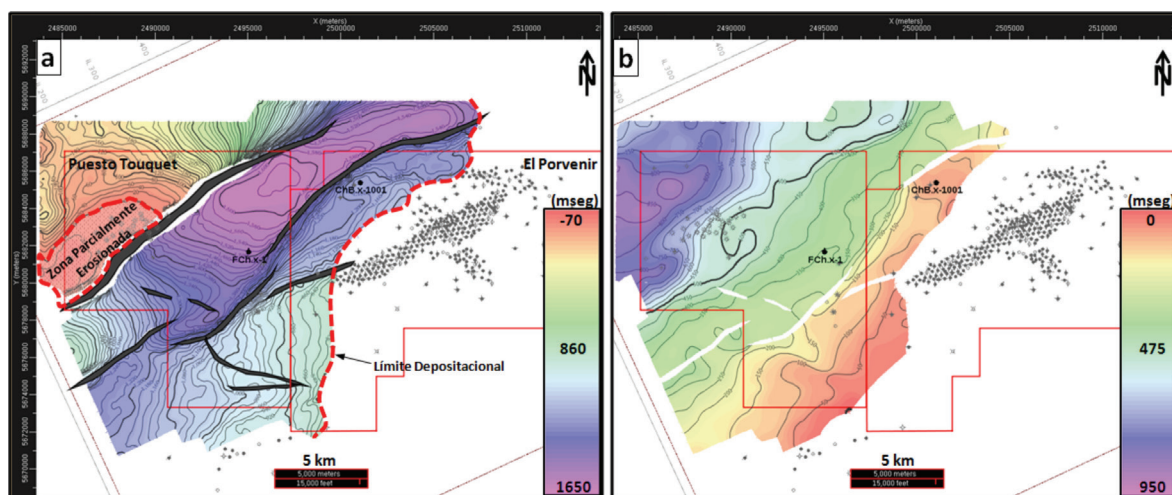


Figura 7. Secuencia II: a) Mapa estructural en tiempo. b) Mapa de espesor en tiempo.

SECUENCIA III

En esta secuencia se reconocen también los cortejos sedimentarios de mar bajo y mar alto. Apoya principalmente sobre la Secuencia II en discordancia regional, es reconocible en la zona de Puesto Touquet por la geometría de *onlap* en los reflectores de la base (Figura 5). En el sector sur, hacia la zona del Alto de Challacó, apoya directamente sobre el Gr Precuyo o el basamento del Gr Choiyoi debido al acuñaamiento de la Secuencia II.

La Secuencia III fue depositada entre el Toarciano Superior o Aaleniano Inferior y el Bayociano Inferior. El límite entre el Cortejo Sedimentario de Mar Bajo y el de Mar Alto se ubica en la parte media del Aaleniano.

Esta secuencia se caracteriza por evidenciar el inicio del primer pulso de actividad tectónica compresiva en la región (Figura 8b), muy notable en la inversión de la falla de Divisadero, que empieza a configurar el anticlinal de Puesto Touquet durante Toarciano Superior.

Las Figuras 8a y 8b muestran el mapa estructural y de espesores en tiempo de la secuencia. A partir de ellos se puede inferir que la secuencia se encuentra totalmente erosionada o no depositada en la zona de Puesto Touquet, ya que como se mencionó anteriormente, al momento de la depositación de este intervalo, la zona fue un alto relativo. El espesor también disminuye hacia el sureste, acuñaándose contra el Alto de Challacó, marcando la existencia de un gran bajo en la zona de Fosa Challacó.

Dentro de la Secuencia III se reconocen dos secciones:

La sección inferior o Cortejo Sedimentario de Mar Bajo fue depositada en el Aaleniano inferior y su distribución areal estuvo restringida a la zona de Fosa Challacó. Está compuesta por conglomerados y areniscas conglomerádicas-polimícticas de mala selección y porosidades bajas a muy bajas intercaladas con limoarcilitas grises. Estos depósitos son atribuibles a zonas proximales que alimentan los depósitos de turbidíticos al noroeste de la zona de estudio.

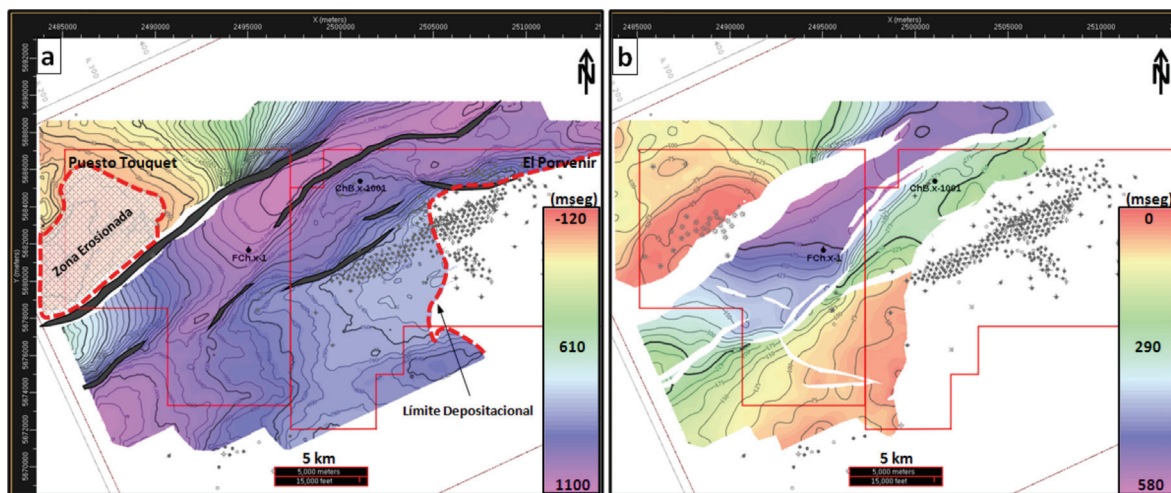


Figura 8. Secuencia III: a) Mapa estructural en tiempo. b) Mapa de espesor en tiempo.

La sección superior o Cortejo Sedimentario de Mar Alto fue depositada durante el Aaleniano tardío, tiempo en el que se incrementa el espacio de acomodación producto de un ascenso del nivel del mar. Este intervalo, en la zona de Fosa Challacó, se caracteriza por un patrón de reflectores paralelos que corresponden a intercalaciones de areniscas y limoarcilitas gris castañas. En la zona de puesto Touquet se pueden observar geometrías de *onlap* y un contacto en discordancia angular sobre la secuencia II, evidenciando la cercanía a una falla activa para este tiempo (Figura 5).

ACTIVIDAD EXPLORATORIA RECIENTE

La campaña exploratoria más reciente consistió en la perforación de tres pozos exploratorios: ChB.x-1001 (Challacó Bajo, 2012), FCh.x-1 (Fosa Challacó, 2012) y LChiO.x-1 (La Chilca Oeste, 2013, Figura 1). Se propuso investigar la sección inferior de la Fm Los Molles y el Gr Precuyo fuera de las dos estructuras principales (alto de Challacó y anticlinal de Puesto Touquet), en zonas más profundas y con cierres combinados o estratigráficos.

Se presentan a continuación los resultados de los dos primeros pozos. Los resultados de LChiO.x-1 no serán analizados dado que su objetivo principal, el Gr Precuyo, no es objeto de estudio del presente trabajo.

Pozo Challacó Bajo x-1001

Este pozo tuvo como objetivo investigar el contenido de hidrocarburos en la Fm Los Molles y el Gr Precuyo en una estructura desarrollada en un bloque intermedio entre el alto de Challacó y la fosa homónima (Figuras 9 y 10). En la sección sísmica puede observarse que, si bien se trata

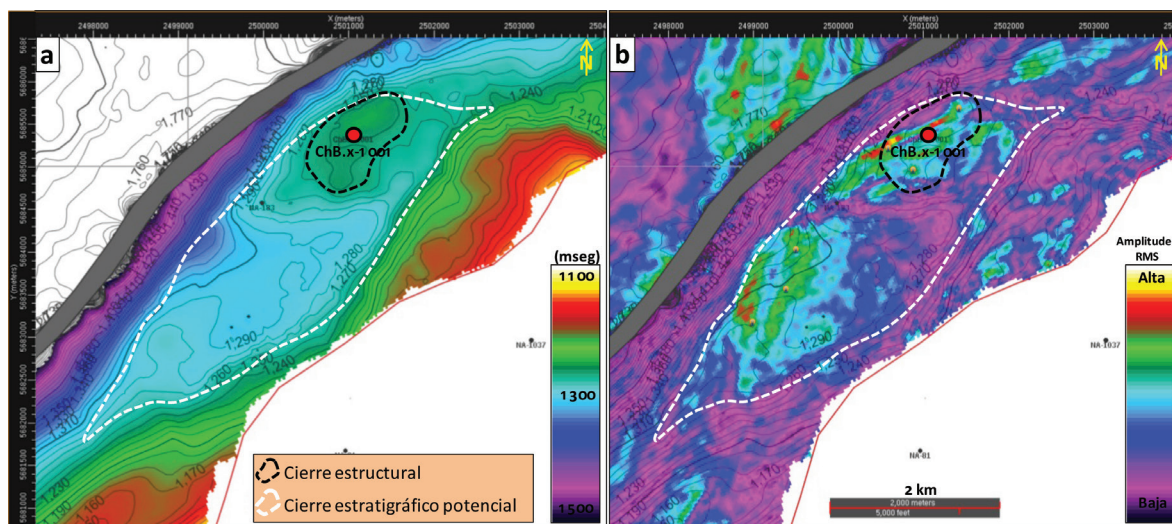


Figura 9. a) Mapa estructural en tiempo al techo del Mb Cutral C6. b) Extracción de amplitudes RMS en una ventana de 20 msec centrada al techo del Mb Cutral C6.

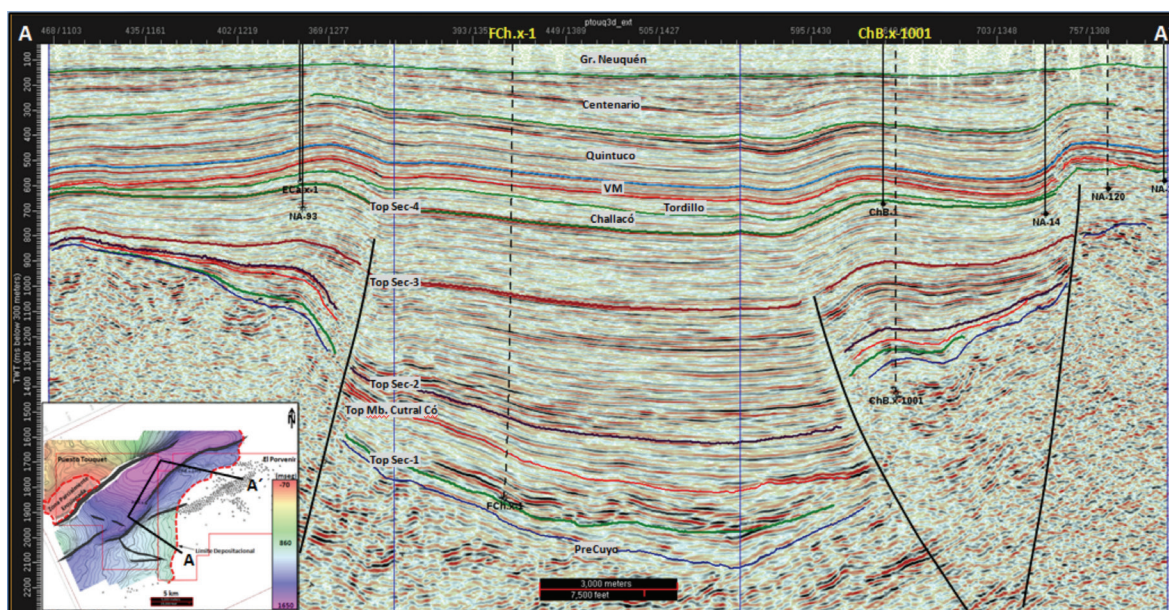


Figura 10. Sección sísmica arbitraria que muestra la posición de los pozos ChB.x-1001 y FCh.x-1.

de una estructura con cierre en cuatro direcciones, existe un marcado acunamiento de la secuencia II hacia el alto de Challacó en sentido sureste. Este rasgo puede eventualmente proporcionar un cierre estratigráfico adicional y extender la posible zona de acumulación de hidrocarburos.

El pozo alcanzó una profundidad final de 2774 mbbp dentro del Gr Precuyo (Figura 11). La Fm Los Molles presentó un espesor de 580 m, distinguiéndose los intervalos equivalentes al Mb Pelítico Superior y Mb Cutral-Co. La detección de gases durante la perforación comenzó a

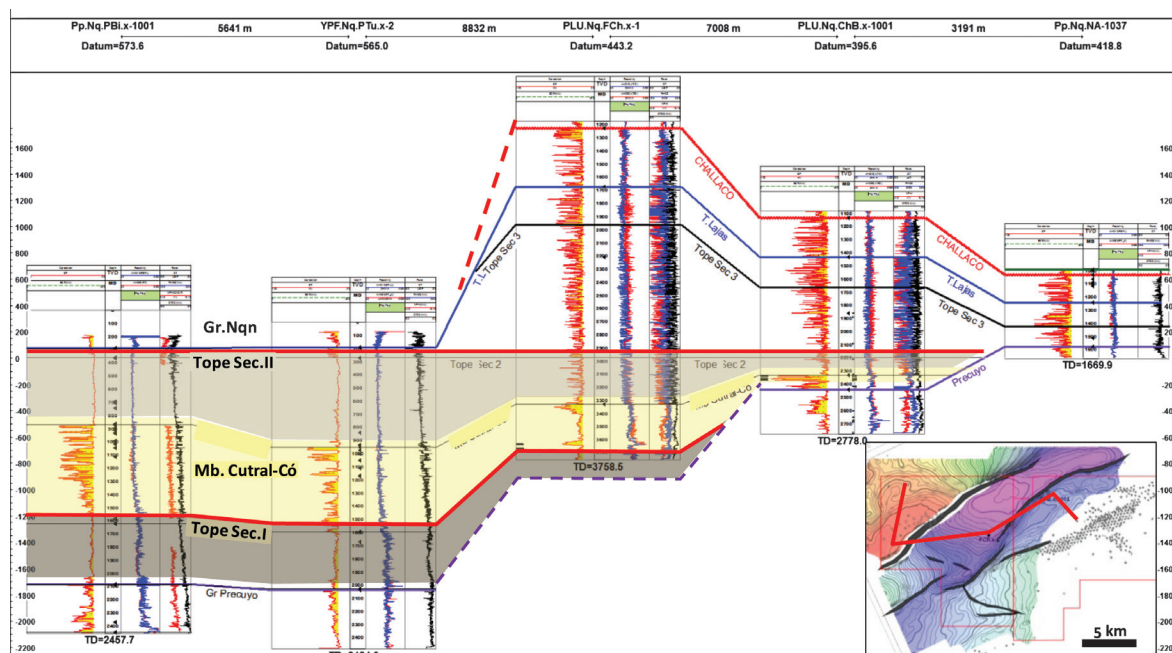


Figura 11. Correlación de pozos nivelada al tope de la secuencia II. Nótese la pérdida de espesor de las secuencias I y II desde Puesto Touquet hacia el Alto de Challacó.

incrementarse a partir del techo del Mb Pelítico Superior (2200 m), con aparición de nC5 en cromatografía. Éste no es un dato menor teniendo en cuenta que es uno de los probados intervalos generadores de gas de la Fm Los Molles. Cuando se atravesó la sección arenosa del Mb Cutral-Có el gas total se incrementó hasta un máximo de 28000 ppm, con cromatografía completa hasta nC5 y rastros secos en el *cutting*.

A partir de los perfiles eléctricos y los testigos laterales obtenidos en el Mb Cutral-Có, se identificaron tres cuerpos arenosos (Figura 12). La arena inferior y la media (2367-2370 m y 2352-2364 m) suman un espesor útil de 14 m, y se componen de areniscas lítico-feldespáticas finas a muy finas, con buena selección. Los valores promedios de porosidad y permeabilidad medidos en testigos laterales son de 11% y 0,01mD respectivamente (condiciones STD). La porosidad proviene principalmente de microporos inter e intragranulares. La capa superior (2336-2346 m) es una arenisca lítico feldespática de grano medio a grueso, con presencia de clastos mayores a 2 mm, intercalada con láminas de arenisca fina-media. Su selección es moderada, y posee una porosidad del 14% y permeabilidad de 0,06 mD. La porosidad es mayormente de tamaño mesoporo y de carácter intergranular.

Las tres capas del Mb Cutral-Có fueron punzadas y ensayadas por separado (Figura 12), obteniéndose un mayor caudal de gas y condensados de la capa superior. Posteriormente se realizó una estimulación mediante fractura hidráulica de las tres capas en conjunto, lo que resultó en un caudal inicial post-fractura de 100 Mm³/d de gas combustible y 20 m³/d de condensado por ori-

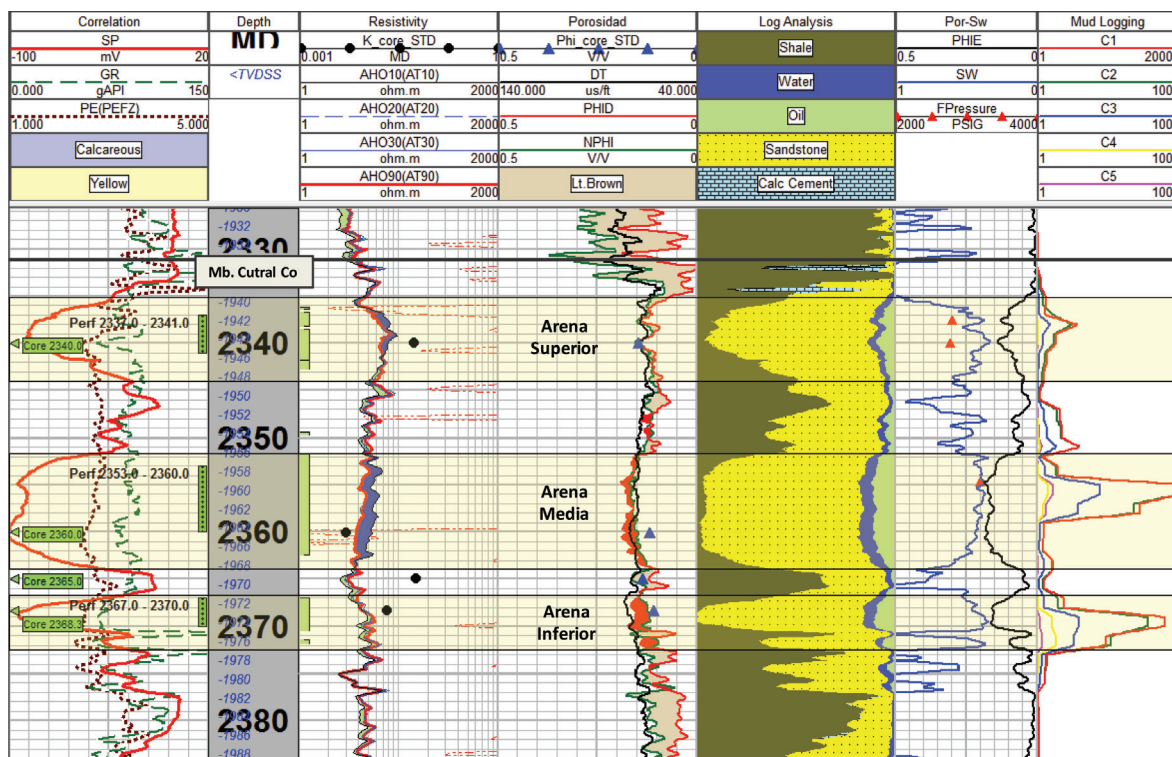


Figura 12. Interpretación petrofísica integrada del pozo ChB.x-1001.

ficio de 8 mm. Durante el ensayo extendido se registró un caudal máximo de 140 Mm³/d de gas y 30 m³/d de condensado por orificio de 12 mm, finalizando con un caudal de 94 Mm³/d de gas, 11 m³/d de condensado y 7 m³ de agua luego de 22 días de fluencia. La permeabilidad horizontal del reservorio estimada a partir del cierre extendido posterior fue de 2,5 mD/m.

El pozo ChB.x-1001 se convirtió de este modo en el primer descubridor de gas del bloque El Porvenir. Los próximos pasos a seguir a partir de este descubrimiento son: confirmar el porcentaje de llenado del anticlinal, y verificar la extensión de la acumulación hacia el sudeste con una posible componente estratigráfica en su trampa. Ésta sería posible por el acunamiento *updip* de la secuencia II, mencionado previamente, y un cambio de facies lateral a lo largo del rumbo de la estructura, sugerido por los contrastes de amplitud que se observan para el Mb Cutral-Có (Figura 9b).

Pozo Fosa Challacó x-1

El objetivo principal de este pozo fue investigar la columna sedimentaria dentro de la Fosa Challacó, y comprobar la presencia de reservorios canalizados equivalentes en tiempo al Mb Cutral-Có de la Fm Los Molles, en una potencial trampa estratigráfica (Figuras 10 y 13). Como objetivo adicional se evaluó el potencial como roca madre de los intervalos pelíticos de la Fm Los Molles.

El pozo alcanzó una profundidad final de 3753 mbbp (Figura 14) y siendo así el sondeo más profundo del bloque Puesto Touquet hasta la fecha. Atravesó cerca de 1800 m de la Fm Los Molles, atravesando una sucesión de pelitas, areniscas y conglomerados correspondientes a las Secuencias II (equivalente a los Mb Pelítico Superior y Mb Cutral-Có) y III. No se logró alcanzar la Secuencia I (Mb Pelítico Inferior), distinguible en esta posición a partir de la interpretación sísmica. El espesamiento de la Fm Los Molles en la Fosa Challacó es muy marcado y demuestra su condición de depocentro a partir del Aaleniano, preservado y no invertido posteriormente. Gran parte de este espesamiento se debe a la preservación de la Secuencia III, que se encuentra adelgazado en la posición de Challacó Bajo y erosionado en los Altos de Challacó y Puesto Touquet (Figuras 4 y 11).

Como ocurrió con el ChB.x-1001, la detección de gases durante la perforación comenzó a incrementarse a partir del techo de la Secuencia II (2980 m), coincidente con la aparición de C2. Las manifestaciones de gas más importantes se dieron en el tramo de 3600 hasta 3712 m, con detección de hasta C5 (Figura 15), coincidentes en profundidad con los rasgos canalizados identificados en la sísmica. Dentro de este tramo se distinguieron dos intervalos arenosos: el inferior de 3665 a 3678 m y el superior de 3610 a 3645 m.

El intervalo inferior está constituido por una alternancia de areniscas finas de poco espesor y pelitas a limolitas gris oscuras. Este intervalo coincidió con el mayor pico de gas detectado en

el pozo, que llegó a saturar el equipo de gas y tuvo presencia de nC5 según la cromatografía. Sin embargo no se evidencian claras condiciones de reservorio en los perfiles eléctricos, y apenas pudo identificarse una fractura conductiva de 60° de inclinación.

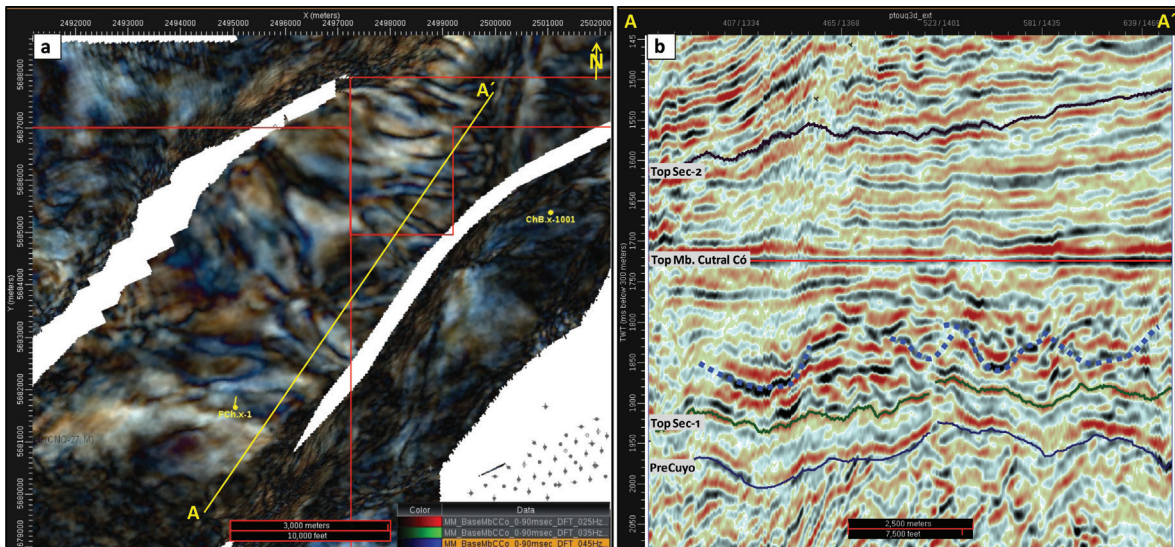


Figura 13. a) Descomposición Espectral en una ventana 90 msec por encima de la base del Mb Cutral C6. RGB Blending con frecuencias de 25, 35 y 45 Hz que muestra los canales con orientación SE-NO. b) Sección sísmica nivelada al techo del Mb Cutral C6 perpendicular a los canales en este intervalo.

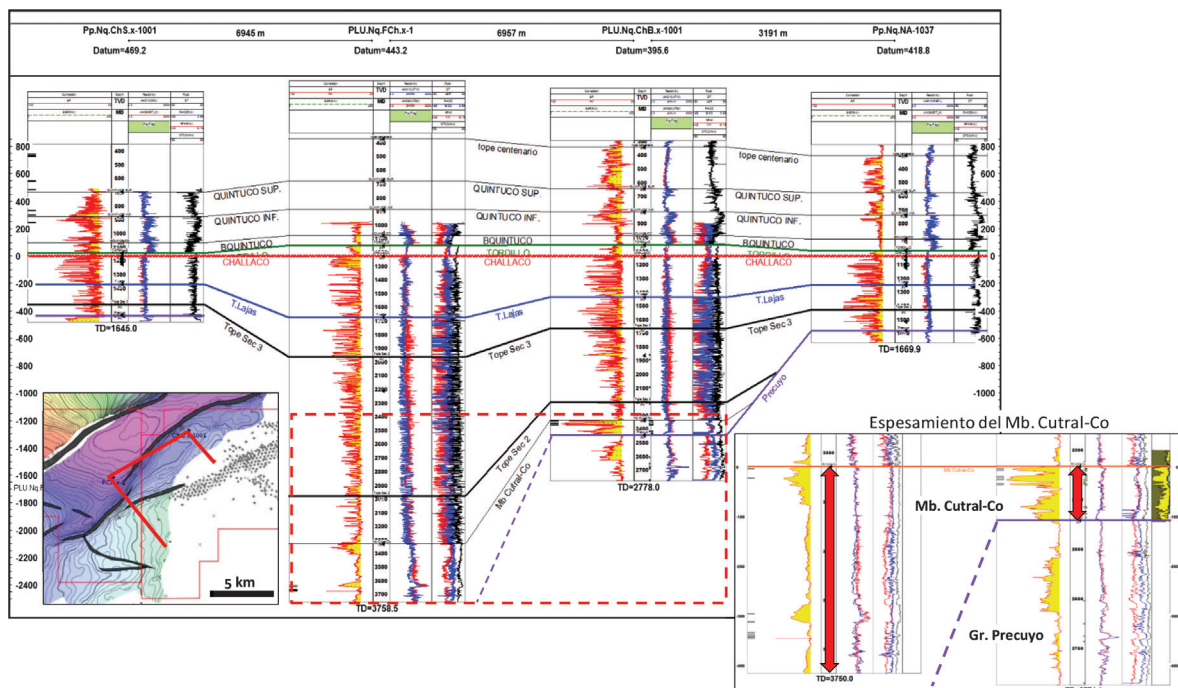


Figura 14. Correlación de pozos nivelada al techo de la Fm Challaco. Se observa un marcado espesamiento de la Fm Los Molles desde ChB.x-1001 hasta FCh.x-1, en particular de la Secuencia III y del Mb Cutral-C6.

El intervalo superior se puede dividir a su vez en dos zonas: la sección I (3620-3645 m) compuesta por arenisca gruesa a conglomerádica, de base neta a erosiva, con intercalaciones arenosas, alguna de ellas con estructuras de licuefacción, y la sección II (3609-3620 m) integrada por areniscas finas masivas a levemente estructuradas con concreciones resistivas. El análisis petrofísico de la zona inferior gruesa se ve claramente mejor con respecto a la zona superior, debido a mayores porosidades y resistividades, lo que deriva en una alta saturación de hidrocarburos calculada (mayor a 80%), y una mayor deflexión de la curva SP. De todos modos, los valores de porosidad estimados son muy bajos, con un promedio de 5%.

Durante la terminación del pozo, los dos intervalos de interés punzados y ensayados por separado, resultando ambos sin entrada. Posteriormente se intentó estimular el intervalo superior (3620-3645 m) mediante fractura hidráulica, alcanzando una presión de 10000 psi sin lograr completar la fractura. Debido a las limitaciones de presión del equipo de *workover* se abandonó la terminación. Durante una intervención en abril de 2013 se midió una presión de boca de pozo de 6400 psi, comprobando el aporte de gas desde la Fm Los Molles. Se prevé realizar una nueva terminación con un equipo de mayor capacidad para realizar la fractura hidráulica, a fin de comprobar la productividad de estos reservorios *tight*.

La visión actual que se tiene de este proyecto se asimila a un modelo de gas de centro de cuenca, caracterizado por reservorios de baja permeabilidad, con presiones anormales y ausencia de contacto gas-agua pendiente abajo.

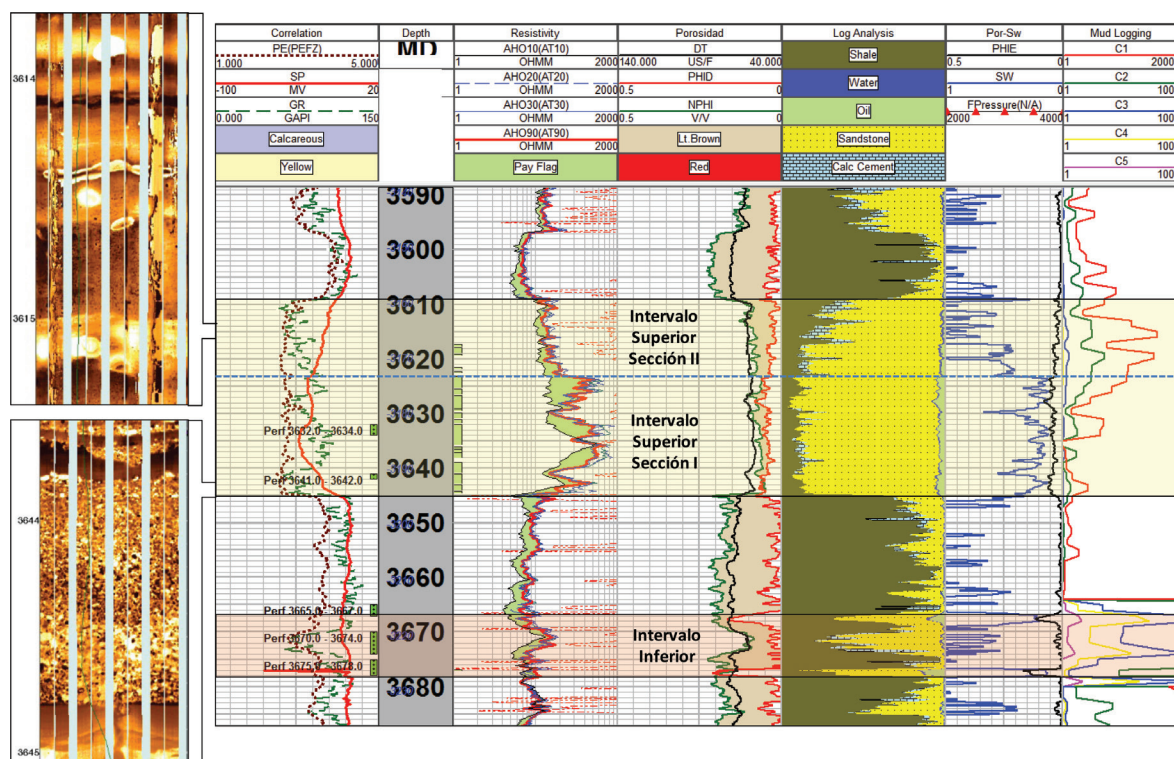


Figura 15. Interpretación petrofísica integrada del pozo FCh.x-1001. Las imágenes resistivas muestran el contacto basal y las texturas del intervalo superior del Mb Cutral-Có.

De acuerdo al diagrama de porosidad vs. profundidad de los reservorios del Gr Cuyo propuesto por Mosquera *et al.*, 2008, Figura 16) los valores de porosidad hallados en FCh.x-1 y ChB.x-1001 se encuentran dentro de la tendencia general esperada. Es interesante observar que dentro del área de estudio existen dos poblaciones de porosidades que representan el extremo más alto (Puesto Touquet) y el más bajo (Fosa Challacó), siendo Challacó Bajo una tercera población con valores intermedios.

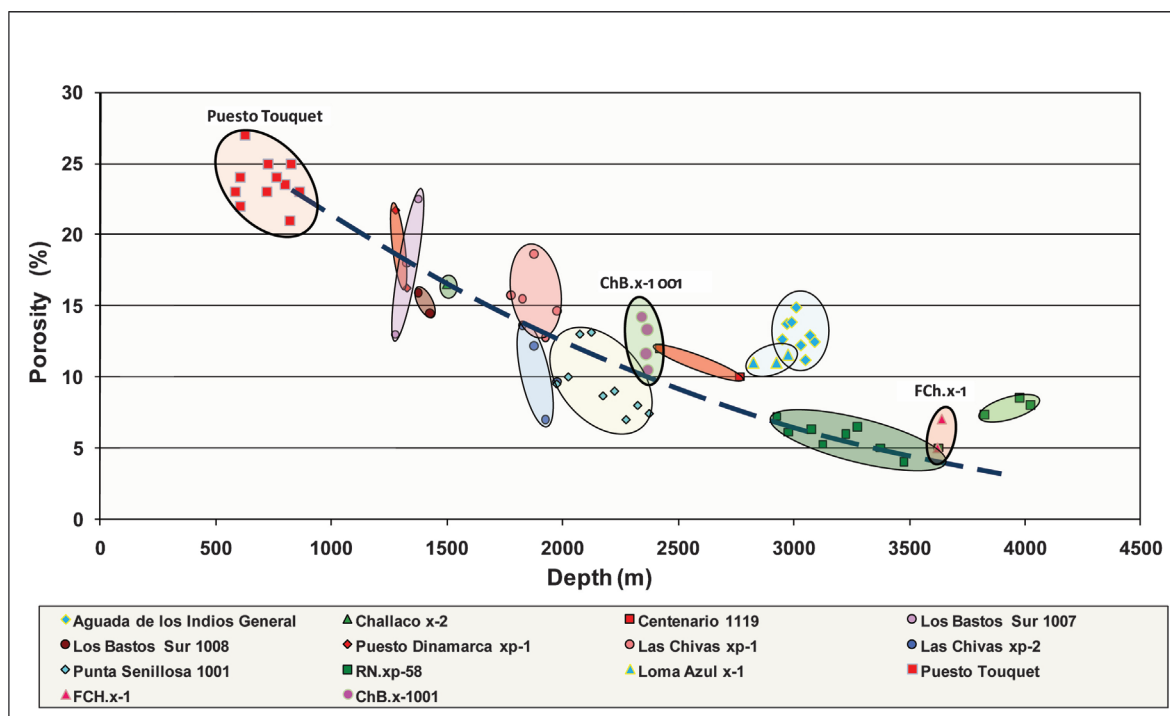


Figura 16. Diagrama de porosidad vs. profundidad para el Gr Cuyo, modificado de Mosquera *et al.*, (2008). Las porosidades de Puesto Touquet y Fosa Challacó representan los extremos opuestos de esta distribución, mientras que Challacó Bajo se ubica en la parte media.

ESQUEMA PALEOAMBIENTAL

Se propone para el área de estudio un esquema paleoambiental para el Mb Cutral-Có de la Fm Los Molles dentro del marco tectono-estratigráfico regional de la Fm Los Molles, y ajustado localmente a partir de los datos obtenidos en las perforaciones recientes. Se pone el foco en esta unidad dada su importancia como reservorio comprobado y como objetivo exploratorio al mismo tiempo. Es también la unidad mejor representada de la Fm Los Molles en la zona de estudio.

El esquema propuesto previamente por Gómez Omil *et al.* (2002) consistía en un modelo de fan-delta para el Mb Cutral-Có en Puesto Touquet, asociado a una zona de aporte adyacente en el Alto de Challacó y un resalto de relieve abrupto al pie de la falla homónima, implicando un escaso transporte de sedimentos. Sin embargo, se reconocieron posteriormente asociaciones de facies

turbidíticas dentro del Mb Cutral-Có en tres coronas de Puesto Touquet (Gulisano *et al.*, 2007). Interpretaron para dicha unidad un sistema deposicional turbidítico con un arreglo vertical agradacional a retrogradacional, con geometrías tabulares en los términos inferiores a lenticulares en los términos superiores. Partiendo de este ambiente marino profundo, se elaboró un esquema que reconstruye los paleoambientes más someros, hasta la zona de aporte.

De acuerdo a la reinterpretación sísmica de las secuencias, un intervalo proximal equivalente al Mb Cutral-Có traslapa parcialmente al alto de Challacó, superando el sistema de fallas de Challacó hacia el sureste (Figura 7b). No se descarta la extensión hacia el SE más allá del límite indicado, debido a la posible deposición y posterior erosión de la secuencia II en posiciones más altas. La restitución al techo de la secuencia II (Figura 17a) indica que el resalto topográfico generado

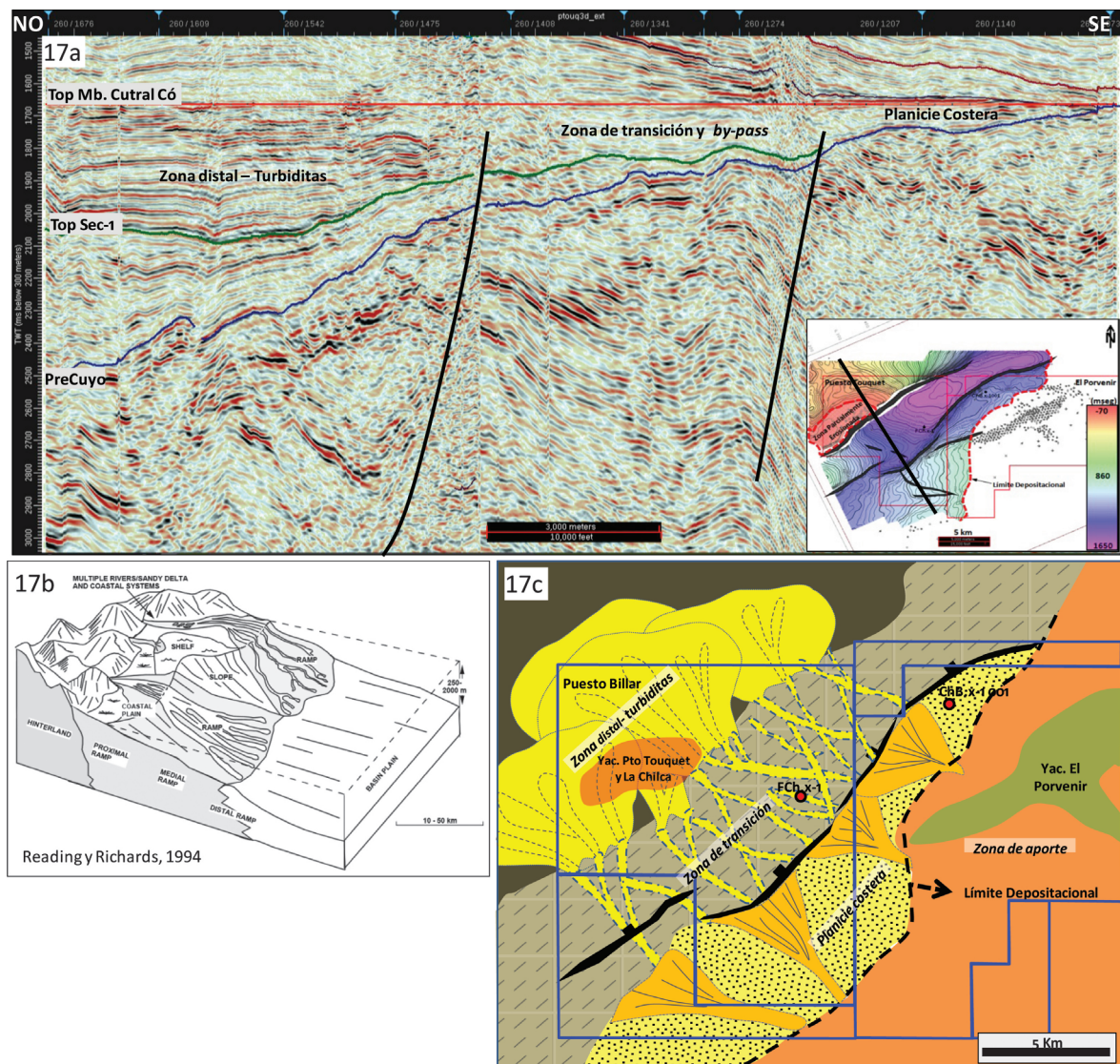


Figura 17. a) Sección sísmica nivelada al tope del Mb Cutral-Có. b) Modelo de sistema turbidítico de rampa arenosa y aportes múltiples según Reading y Richards, (1994). c) Esquema paleoambiental propuesto para el Mb Cutral-Có.

por la falla de Challacó al momento de la depositación del Mb Cutral-Có no es significativo, sino que se observa una geometría de rampa con un incremento de espesor paulatino hacia el NO. Puede verificarse también que, durante el Pliensbaquiano Superior y Toarciano, la Fosa de Challacó no estaba configurada como tal, sino que actuaba como una zona de by-pass marino ubicada entre la zona de aporte continental, y un ambiente marino profundo descrito anteriormente.

La presencia de palinomorfos continentales y materia orgánica marina en las pelitas del Mb Pelítico Superior y Mb Cutral-Có en el pozo FCh.x-1 sugieren también un aporte terrígeno cercano, dentro de un ambiente marino donde predominó la decantación de arcillas.

Los rasgos canalizados identificados en la sísmica 3D (Figura 13) evidencian la implantación de un sistema de canales submarinos de espesor variable, desarrollados posiblemente en un ambiente de plataforma.

Para la zona de Challacó Bajo, se observa en la sísmica una serie de anomalías de amplitud elongadas y subparalelas al rumbo de la estructura. Esto podría sugerir la presencia de cuerpos arenosos paralelos a la línea de costa. En el pozo ChB.x-1001, las dos capas inferiores del Mb Cutral-Có, compuestas por areniscas finas de buena selección, podrían indicar su depositación en un ambiente marino somero. El cuerpo arenoso superior, de grano grueso y base erosiva, indicaría un ambiente depositacional de mayor energía, tentativamente un canal fluvio-deltaico. De acuerdo a estos elementos, un posible modelo ambiental para esta zona podría ser una planicie costera o marino marginal con aporte de sedimentos a través de sistemas fluvio-deltaicos, y un retrabajo y redistribución de los mismos por acción de oleaje o mareas.

El esquema ambiental que se propone en consecuencia es un sistema turbidítico desarrollado en una rampa arenosa con aportes múltiples (Reading y Richards, 1994). Este sistema se caracteriza por el desarrollo de turbiditas alimentadas por un amplio frente deltaico o planicie costera y una plataforma relativamente estrecha (Figura 17b y 17c). De este modo, se definen un área de aporte (Alto de Challacó), una planicie costera con desarrollo de deltas costeros (posición del Challacó Bajo x-1001), una zona marina de *by-pass* y múltiples canalizaciones (Fosa Challacó), y un área de depositación distal donde se desarrollan los abanicos submarinos (Yacimiento Puesto Touquet). En este tipo de sistemas turbidíticos es notable la transición de ambientes litorales a marino profundos en una corta distancia (unos 15 a 20 km), comparada con otros sistemas turbidíticos de centenas de kilómetros de longitud.

SISTEMA PETROLERO ACTUALIZADO

Uno de los objetivos del pozo FCh.x-1 fue dilucidar la capacidad generadora y la madurez de la Fm Los Molles en la Fosa Challacó.

Las características de la Fm Los Molles como roca generadora, principalmente de gas, ha sido

documentada por varios autores a nivel regional (Uliana *et al.*, 1999, Villar *et al.*, 2005 y Legarreta *et al.*, 2008). En el ámbito de la Dorsal de Huincul, Cruz *et al.* (1999) propusieron dos sistemas petroleros para esta unidad: Los Molles Superior – Lajas (!) y Los Molles Inferior-Mb Cutral Có, a partir de muestras de gas de Estación Fernández Oro, Puesto Touquet y Portezuelo y correlaciones petróleo-petróleo y petróleo-roca madre.

El análisis geoquímico realizado sobre muestras de *cutting* de la Fm Los Molles en el pozo FCh.x-1 muestra que los valores más altos de carbono orgánico total (COT) se encuentran en niveles pelíticos intercalados dentro del Mb Cutral-Có (Figura 18). Los mismos presentan valores de COT bajos-regulares a moderados, en un rango completo de 0,11 a 2,06%, con predominio de valores entre aproximadamente 1 a 2%. Sin embargo, sus valores del pico S2 así como del pico S1 son pobres, indicando potencialidad generadora bien limitada. El tipo de querógeno es de baja calidad, de acuerdo con su bajo contenido en hidrógeno, con una mezcla del tipo II y III. El conjunto de datos puede ser consecuencia de la maduración térmica alcanzada por niveles primariamente mediocres que se han convertido parcialmente a hidrocarburos, esencialmente gaseosos.

La asociación orgánica al microscopio muestra querógeno amorfo de regular calidad asociado a relativamente abundante participación húmica (vitrinita e inertinita), con sesgo general gasífero. Los valores mayoritariamente tan altos de Tmax de pirólisis son posiblemente consecuencia de los picos S2 muy bajos originados en el tipo de querógeno pobre y en la madurez relativamente alta y no parecen confiables para asignar madurez térmica. Por otro lado, los valores de Ro reportados sobre las poblaciones interpretadas como vitrinita primaria se encuentran en un rango de 1.1 a 1,47%. Considerando esta madurez, las secciones más profundas de Fosa de Challacó probablemente hayan generado hidrocarburos gaseosos, más aún considerando que puede esperarse una mayor madurez en zonas más profundas de la Fosa en dirección NE. Asimismo, tampoco se puede descartar una posible contribución del Mb Pelítico Inferior, en una profundidad no alcanzada con el pozo pero cuya presencia en la Fosa Challacó se puede inferir a partir de la sísmica.

Las cromatografías de cinco muestras de gases analizados en Puesto Touquet, La Chilca y Challacó Bajo muestran composiciones de hidrocarburos bastante similares, con una composición C2+ significativa (~10%), lo cual clasifica a estos gases como húmedos. La presencia de condensado, como en el caso de ChB.x-1001, puede deberse a una madurez levemente menor, a variaciones en la roca madre, o a procesos de fraccionamiento en el subsuelo. Un estudio isotópico del gas de Puesto Touquet indica una madurez del orden reflectancia de vitrinita equivalente (VRE) de 1.1 a 1.2%, consistente con el rango de madurez de reflectancia de vitrinita (Ro) del pozo FCh.x-1.

La importancia de los datos geoquímicos obtenidos en el pozo FCh.x-1 radica en que se trata del único pozo en este sector de la dorsal que ha probado ser generador de gas. La presencia del alto de basamento de Octógono al norte implica una desvinculación del área de estudio con la principal cocina de gas de la Fm Los Molles, localizado a unos 25 km al norte.

Se propone, por lo tanto, que la Fm Los Molles en la Fosa Challacó ha sido la fuente de gas

para el yacimiento Puesto Touquet y el reciente descubrimiento en Challacó Bajo (Figuras 19a y 19b). Podría explicar a su vez la carga de campos de gas vecinos, como Ranquil-Có. El hecho de tener dentro del área de estudio la roca generadora, disminuye también el riesgo de carga en los prospectos que se encuentran adyacentes a la fosa.

Desde el punto de vista ambiental, los valores moderados de COT de la Fm Los Molles en el pozo FCh.x-1 son coherentes con un ámbito de plataforma que alternaba procesos de decantación de finos con aportes clásticos periódicos desde el continente, provocando una dilución y oxidación parcial de la materia orgánica depositada.

Los análisis de COT realizados sobre los recortes de perforación de ChB.x-1001 mostraron valores muy bajos para la Fm Los Molles, con un promedio de 0,3% y un máximo de 0,63%. Esto

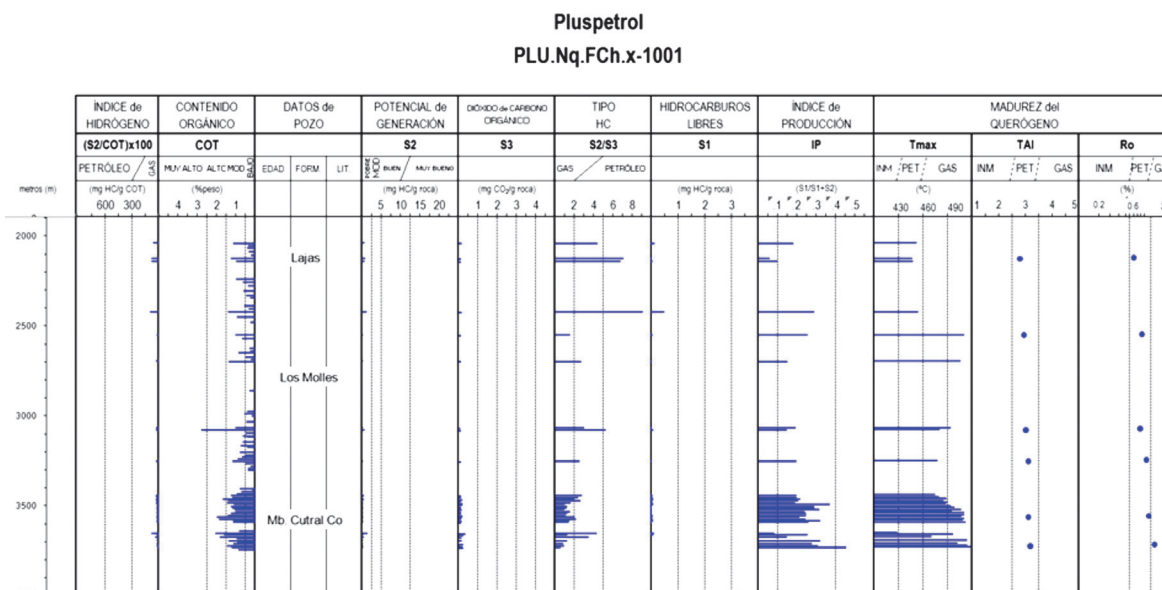


Figura 18. Log geoquímico con datos de COT, pirolisis programada y microscopía del querógeno.

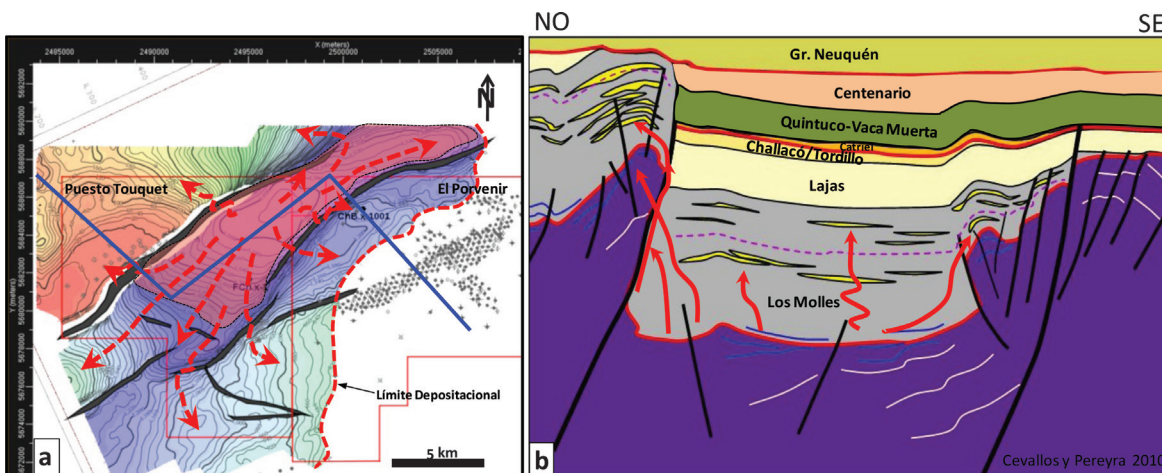


Figura 19. a) Generación y migración desde la Fosa Challacó hacia las estructuras aledañas. b) Sección esquemática de la Fosa Challacó, con la carga de gas desde la sección inferior de Los Molles hacia Puesto Touquet y Challacó Bajo.

también concuerda con el ambiente marino marginal propuesto para la zona de Challacó Bajo, donde no estaban dadas las condiciones ni para el depósito ni la preservación de materia orgánica en cantidades significativas.

CONCLUSIONES

El análisis de las tres secuencias estratigráficas de la Fm Los Molles a través de los mapas de espesores y la restitución sísmica, permitió reconstruir la historia evolutiva de esta unidad en el área de estudio.

La información obtenida a partir de la reciente campaña exploratoria condujo a la generación de un esquema paleoambiental ajustado para el Mb Cutral-Có, así como la actualización del sistema petrolero de Los Molles.

El esquema paleoambiental propuesto para el Mb Cutral-Có implica el pasaje desde una zona de aporte continental (Alto de Challacó) a un ambiente marino profundo (turbiditas en Puesto Touquet) en apenas unos 15~20 km de extensión. Si bien el único ambiente confirmado a partir de coronas es el marino profundo, los rasgos geológicos interpretados en la sísmica 3D y la información de pozos (perfiles convencionales, testigos laterales, imágenes resistivas, *cutting*, etc) permiten inferir los ambientes depositacionales propuestos para la zona de Challacó Bajo (planicie costera) y Fosa Challacó (zona de transición-*by pass* marino).

El análisis de los datos geoquímicos obtenidos del pozo FCh.x-1 indica que la sección inferior de la Fm Los Molles en la Fosa Challacó alcanzó por lo menos la ventana de gas húmedo, ya que existen sectores más profundos que los investigados por el sondeo. Si bien la calidad de sus niveles pelíticos es moderada (COT de ~1-2%), la Fosa Challacó habría sido la fuente local de gas que cargó las trampas aledañas en esta región. La madurez detectada es consistente con las muestras de gases analizadas en los yacimientos de gas de Puesto Touquet y La Chilca, y en el reciente descubrimiento de gas y condensado en el pozo ChB.x-1001, todas con un contenido de C_2^+ cercano al 10%. El valor de este dato es aún mayor si consideramos que no existen otros análisis geoquímicos cercanos que muestren madurez suficiente para haber generado gas, y la gran cocina regional de la Fm Los Molles se encuentra a 25 km al norte, del otro lado del Alto de Octógono.

La mejora en el entendimiento del sistema petrolero y la distribución de los reservorios acorde a un nuevo esquema paleoambiental permitieron la identificación de nuevas oportunidades exploratorias en un área madura donde la exploración se inició hace más de 70 años.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Héctor Villar por su contribución en el análisis de los datos geoquímicos presentados aquí, a Alfredo Disalvo y Gustavo Vergani por la revisión crítica y los comentarios que enriquecieron este trabajo.

Queremos hacer un reconocimiento a Martín Pereira y Martín Cevallos, quienes propusieron la perforación de los pozos ChB.x-1001 y FCh.x-1.

Agradecemos también a Pluspetrol por permitir la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- Cevallos, M. y D.M. Pereira, 2010. Revisión del potencial exploratorio de los bloques operados por Pluspetrol en la Cuenca Neuquina. Informe interno inédito.
- Cruz, C.E., F. Robles, C. Sylwan y H.J. Villar, 1999. Los sistemas petroleros jurásicos de la Dorsal de Huincul. Cuenca Neuquina, Argentina. IV° Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I: 177-195. Mar del Plata.
- Gómez Omil, R. J. Schmithalter, A. Cangini, L. Albariño y A. Corsi, 2002. El Grupo Cuyo en la Dorsal de Huincul, consideraciones estratigráficas, tectónicas y petroleras. Cuenca Neuquina, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, Actas en CD: 22 p.
- Gulisano, C., A. Gutiérrez Pleimling, I. Orchuela y A. Ambrosio, 2007. Modelo Estratigráfico Secuencial del intervalo Triásico-Jurásico entre Centenario y Barda Colorada, Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. Informe inédito por CG Consultora de Petróleo y Gas.
- Gulisano, C., A. Gutiérrez Pleimling, I. Orchuela, A. Ambrosio y P. Malone, 2011. Modelo Estratigráfico Secuencial del Grupo Cuyo en la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. Simposio S11 - Geología de la Dorsal de Huincul: una visión histórica y actual de una región emblemática de la Cuenca Neuquina, XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén.
- Legarreta L., H.J. Villar, C.E. Cruz, G.A. Laffitte y R. Varadé, 2008. Revisión integrada de los sistemas generadores, estilos de migración-entrapamiento y volumetría de hidrocarburos en los distritos productivos de la Cuenca Neuquina, Argentina. Simposio de Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas. VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Ed. C.E. Cruz, J.F. Rodríguez, J.J. Hechem, H.J. Villar), Buenos Aires, pp. 79-108, IAPG.
- Mosquera, A., J. Alonso, A. Boll, M. Alarcón, C. Zabalá, M. Arcuri y H. Villar, 2008. Migración lateral y evidencias de hidrocarburos cuyanos en yacimientos de plataforma de Catriel, Cuenca Neuquina. VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, Noviembre, 2008, p. 491-526.
- Pando, G., S. Del Vo, G. Laffitte y M. Arguijo, 1984. Posibilidades oleogénicas, migración y entrapamiento en las sedimentitas jurásicas (Lias-Dog-

- ger) de la región centro – meridional de la Cuenca Neuquina. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche, Argentina, Actas VII: p. 52-67.
- Reading, H.G. y M. Richards, 1994. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system: AAPG Bulletin, v. 78, p. 792-822.
- Uliana, M., L. Legarreta, G. Laffitte y H.J. Villar, 1999. Estratigrafía y geoquímica de las facies generadoras de hidrocarburos en las cuencas petrolíferas de Argentina. IV° Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I: 1-61. Mar del Plata.
- Vergani, G. D., 2005. Control estructural de la sedimentación jurásica (Grupo Cuyo) en la Dorsal de Huincul, cuenca Neuquina, Argentina. Modelo de falla lístrica rampa-plano, invertida. Boletín de Informaciones Petroleras, 1(1), p. 32-42.
- Villar, H.J., L. Legarreta, C.E. Cruz, G.A. Laffitte y G. Vergani, 2005. Los cinco sistemas petroleros co-existentes en el sector sudeste de la Cuenca Neuquina: definición geoquímica y comparación a lo largo de una transecta de 150 km, VI° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Actas CD-ROM, p. 17, Mar del Plata, Republicado en Boletín de Informaciones Petroleras BIP, Cuarta Época Año 2, N° 3, p. 50-67.