

EXPLORACIÓN DEL PLAY SERIE TOBÍFERA EN EL ÁMBITO DE TIERRA DEL FUEGO. CUENCA AUSTRAL. ARGENTINA Y CHILE

Guillermo Azpiroz¹, Graciela Covellone¹, Karina Mykietiuk¹, Leonardo Simonetto¹, Mario Atencio¹,
Leonardo Tórtora², Daniela Ancheta¹, Viviana Meissinger¹, Estefanía Pedro²

1: YPF S.A., guillermo.m.azpiroz@ypf.com, graciela.covellone@ypf.com, karina.mykietiuk@ypf.com,
leonardo.simonetto@ypf.com, mario.atencio@ypf.com, maria.ancheta@ypf.com, viviana.meissinger@ypf.com

2: YTEC, leonardo.tortora@ypftecnologia.com, estefania.pedro@ypftecnologia.com

Palabras clave: reservorio fracturado, facies volcánicas, Serie Tobífera

ABSTRACT

Exploration of the Serie Tobífera Play (Austral Basin) in Tierra del Fuego Province, Argentina

The evolution of the Austral Basin includes an early rifting stage (Jurassic- Early Cretaceous) related with Gondwanan break out, filled with volcanic and volcanoclastic rocks, known as "Bahia Laura Group" in the Deseado Massif; "El Quemado Complex" in the Patagonian Andes and "Lemaire Fm." in Tierra del Fuego Province; all of these stratigraphic units are englobed in the subsurface denomination "Serie Tobífera" (Cortinas *et al.*, 2005).

This "Serie Tobífera" was historically considered the economic basement of the basin; however, in the 70s' and the 90s' some hydrocarbon accumulations were found in the Santa Cruz province (Ea. Dos Lagunas, Punta Loyola) Argentina, and in Magallanes province (Gaviota, Gaviota Norte, Flamenco) Chile. The discoveries continue in Chile, in the 2010 by Geopark. In the 2015, YPF resume the exploration of this play drilling four wells in the San Sebastian Block (Chile), with initial flow rates from 30 to 153 m³/d of oil and 160K m³/d of gas. Exploration discoveries continues in Argentina, in Lago Fuego Block, with production rates between 40K and 80K m³/d of gas.

This paper describes the main characteristics of this play including the follows items: 1) Strong compositional heterogeneity defined by Rx fluorescence, plus an interpretation of thin section of cuttings, latter applied to individualize volcanic events. 2) Fractured structural Highs, identified with 3D seismic and attributes. 3) Fractured reservoirs characterized by borehole images, side well cores and well tests.

INTRODUCCIÓN

El área de trabajo abarca la Isla de Tierra del Fuego y se centra fundamentalmente en los Bloques San Sebastián (Chile) y Fracción A, Fracción C, Los Chorrillos y Lago Fuego (Argentina) (Fig. 1).

La Serie Tobífera fue considerada un objetivo secundario en la exploración hidrocarburífera hasta hace poco tiempo atrás. El presente trabajo intenta resaltar la importancia de reevaluar los recursos asociados a esta secuencia volcánica en el ámbito de la isla de Tierra del Fuego, en

Bloques de Explotación ya maduros exploratoriamente para la Fm. Springhill, reservorio clásico de la cuenca.

En el año 2015, YPF perforó 4 pozos en el Bloque San Sebastián (Chile) con el objetivo de investigar la Serie Tobífera, los que resultaron exitosos. Los ensayos de terminación arrojaron producciones iniciales que van desde 30 a 150 m³/d de petróleo y 160 km³/d de gas. Estos descubrimientos impulsaron a retomar la exploración de la Serie Tobífera en territorio argentino.

La Serie Tobífera es una compleja secuencia conformada por rocas volcánicas jurásicas (Sruoga y Rubinstein, 2002). Los complejos volcánicos están formados por muchos tipos litológicos con una gran variabilidad lateral, que hace difícil su correlación regional. El estudio de estas rocas como reservorio de hidrocarburos se aleja de las prácticas convencionales.

Se propone un flujo de trabajo que contemple la integración de los datos obtenidos (testigos laterales rotados, coronas, perfiles eléctricos, ensayos) junto con la sísmica 3D.

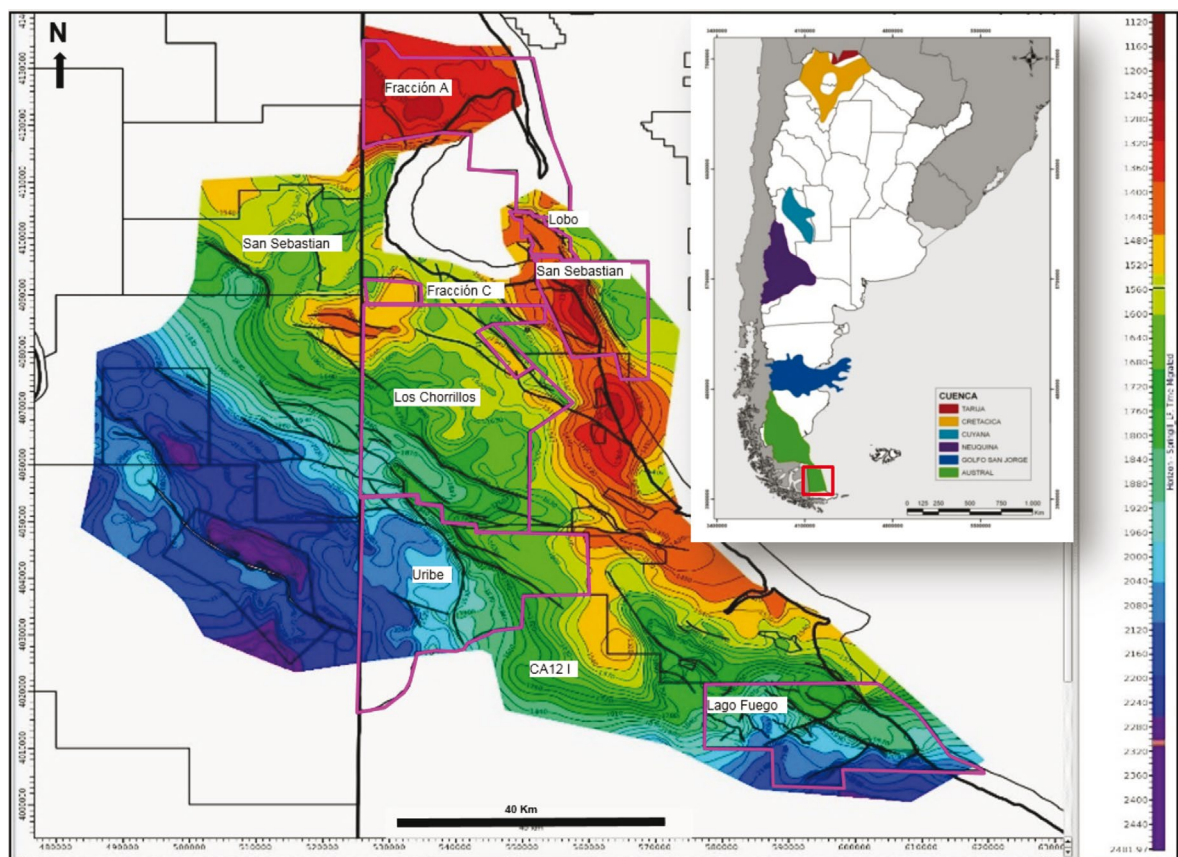


Figura 1. Mapa de ubicación, Bloques y mapa estructural al tope de la Serie Tobífera

MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca Austral se encuentra ubicada en la región más austral de Sudamérica y está limitada en el Oeste por los Andes Patagónicos Meridionales y hacia el Este por el Macizo del Deseado (Biddle *et al.*, 1986); cuya prolongación en la plataforma continental se denomina Alto de Río Chico que la separa de la Cuenca de Malvinas (Robbiano *et al.*, 1996). Su registro sedimentario abarca desde el Jurásico (medio?) Tardío al Cenozoico y comprende más de 8000 m de espesor (Schwarz *et al.*, 2010).

La evolución de la cuenta puede ser dividida en 3 etapas (Biddle *et al.*, 1986):

- 1- Etapa de Rift: de edad Jurásico Medio a Tardío, con depositación de rocas volcánicas y volcanoclásticas, alojadas en grábenes y hemigrábenes. Se subdivide en dos, una representada por el denominado Complejo El Quemado o denominado informalmente en subsuelo como Serie Tobífera, constituido por potentes espesores de dacitas y andesitas controlados por fallas directas; y la otra fase relacionada a términos volcánicos más ácidos y probablemente asociada a la instauración de una cuenca marginal (Rodríguez *et al.*, 2002).
- 2- Etapa de Sag: de edad Cretácico Inferior, lapso en el cual se depositan los sedimentos de la Fm. Springhill representando un ciclo transgresivo de largo término controlado por fluctuaciones del nivel de mar de baja frecuencia (Schwarz *et al.*, 2010).
- 3- Etapa de antepaís: esta etapa presenta varias fases de deformación que dan origen a múltiples cuencas de antepaís. Las numerosas megasecuencias transgresivas – regresivas desarrollada durante el Cretácico fueron controladas principalmente por tectónica regional y/o eustacia global (Arbe and Fernandez Bell Fano, 2002).

En la zona de estudio, el rift jurásico posee un sistema de fallas principales que actualmente se dispone en dirección principal NW-SE con volcanismo sintectónico asociado.

Como efecto de la deformación inducida por el desplazamiento de fallas normales e inversión tectónica, se desarrollaron reservorios naturalmente fracturados en rocas piroclásticas y lavas de composición intermedia a ácida, afectadas por distinto grado de diagénesis e hidrotermalismo.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Caracterización de la Roca

La caracterización de la Serie Tobífera en el ámbito de Tierra Fuego, Cuenca Austral, se basó en la integración de los datos a diferentes escalas de trabajo, obtenida a partir de interpretación sísmica, perfiles eléctricos, cuttings, coronas, testigos laterales, fluorescencia de Rayos X y cortes delgados. La toma de datos e información fue avanzando con el desarrollo del proyecto, lo que

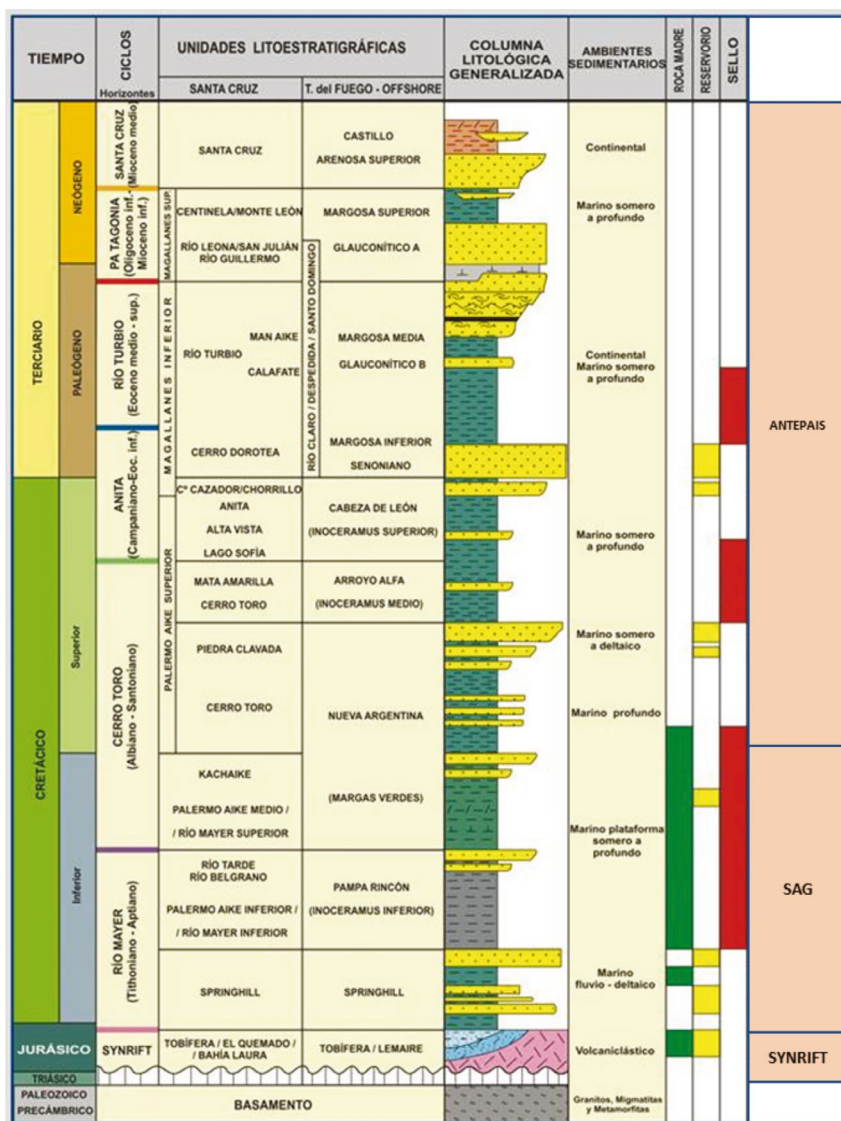


Figura 2. Columna estratigráfica modificada de YPF (informes internos).

permitió ir ajustando la interpretación del modelo conceptual exploratorio.

El estudio comenzó en el Bloque San Sebastián, sector chileno, a partir de testigos laterales de las diferentes litologías, donde se realizó una descripción macroscópica y el análisis de secciones delgadas. Esto permitió clasificar y extrapolar al resto de los datos del pozo (cutting y perfiles eléctricos). Fig. 3

Del análisis petrográfico se caracterizaron las rocas por la composición y las texturas definiendo las siguientes facies:

- Andesitas: lavas porfíricas, integradas por pastas afaníticas y fenocristales de plagioclasas y mafitos.
- Andesitas Alteradas: misma litología anterior, pero con una alteración hidrotermal superpuesta, a veces brechamiento hidrotermal con relleno de cuarzo.



Figura 3. Testigos laterales, cutting, cortes delgados.

- Riolitas: lavas porfíricas con fenocristales de cuarzos y plagioclasas en pasta afanítica
- Ignimbritas y Tobas: fueron reconocidas por la participación de flammes y restos de trizas vítreas, líticos y cristaloclastos
- Vitrofiro: integrada exclusivamente por vidrio volcánico con fracturas perlíticas y presencia de esferulitas por devitrificación

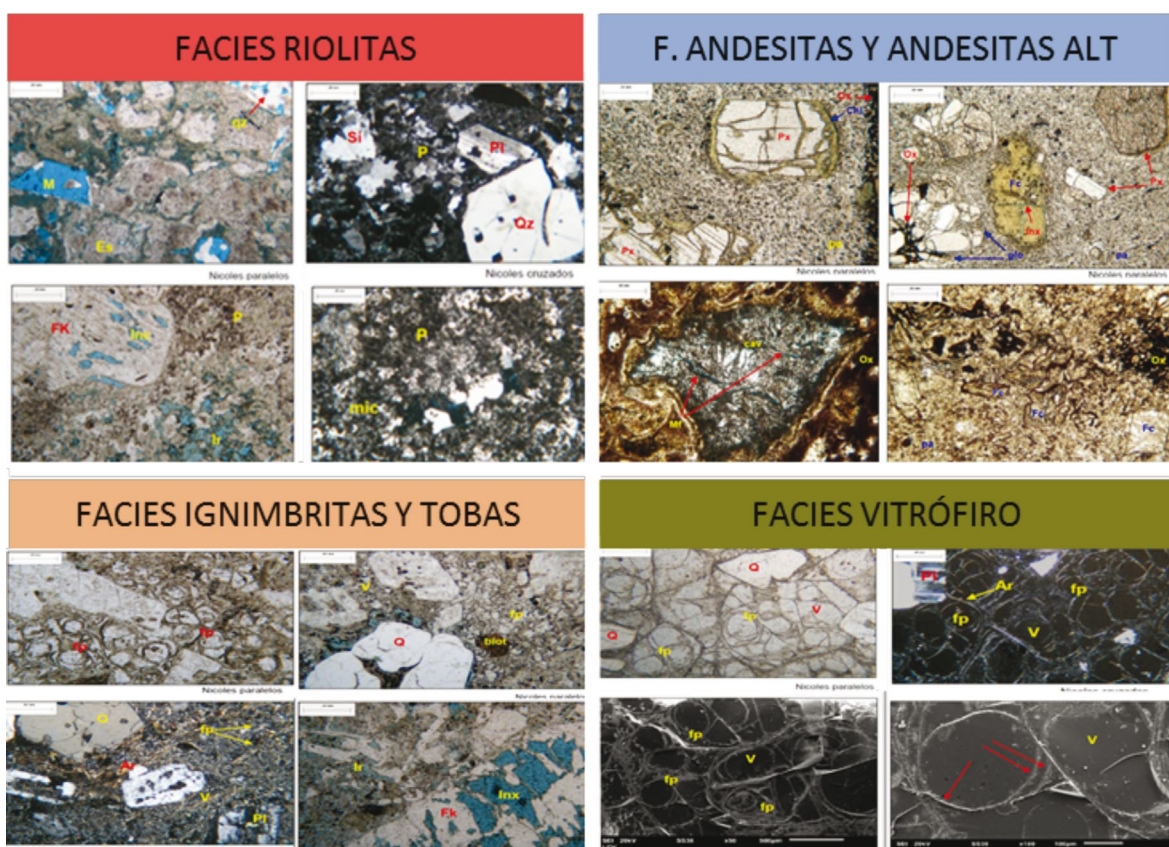


Figura 4. Caracterización de facies según los cortes delgados.

Dichas facies fueron calibradas y ajustadas a los registros eléctricos de los pozos, con el objeto de encontrar patrones de roca-perfil. Esta calibración se realizó generando crossplot de GR vs DT y GR vs NPHI (Fig. 4 y 5). De los gráficos se desprende que existe una buena correlación para identificar litologías a través de perfiles. Para rocas Andesíticas tienen un GR < a 75°API y para Riolitas un GR > a 180°API.

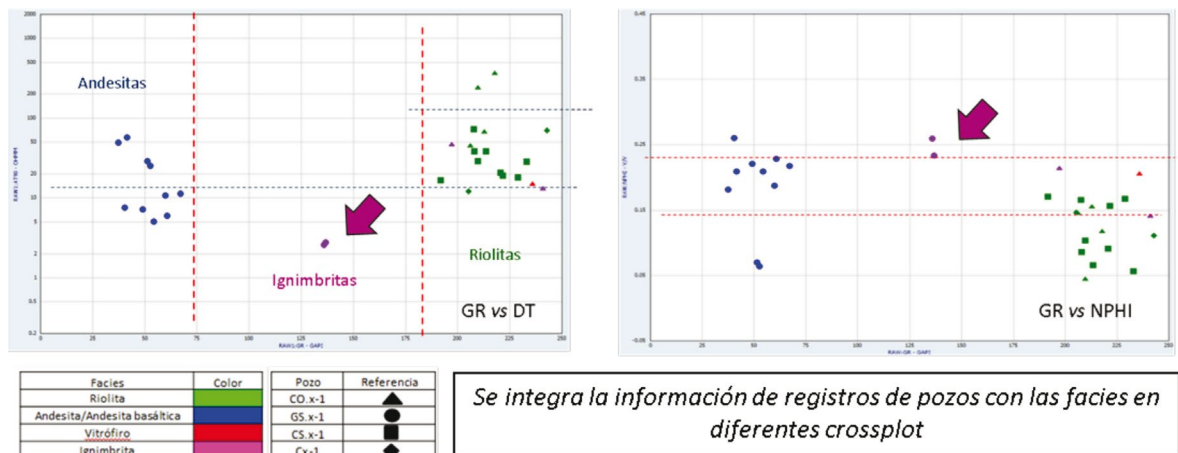


Figura 5. Crossplot de facies y perfiles.

Además, se realizó Fluorescencia de Rayos X (FRx) del cutting de varios pozos, en conjunto con descripciones petrográficas, para también de esta manera extrapolar las facies definidas con los testigos laterales. Se utilizó K-Means Cluster Analysis para poder diferenciar las facies según los resultados de la FRx, técnica que permitió diferenciar con mayor precisión las variaciones composicionales (Fig. 6).

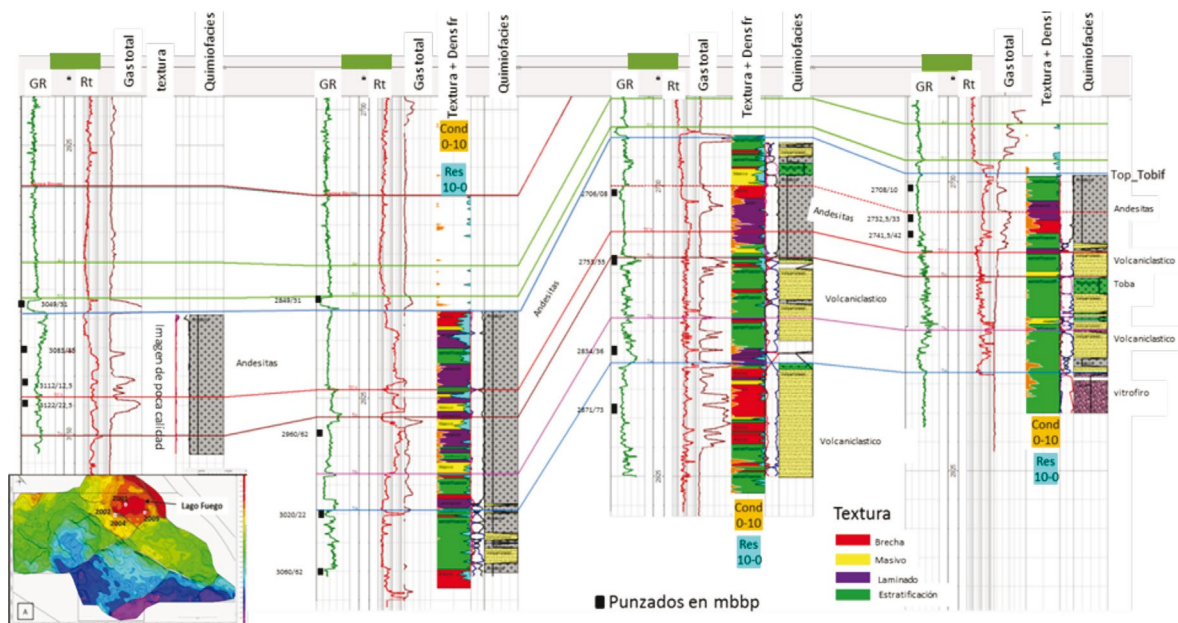


Figura 6. Corte estructural con las facies y subfacies identificadas. (E vertical: 1:1000 – E horizontal: equidistante.)

Debido a que, para la clasificación de este tipo de rocas, también es importante la estructura, y que la misma no puede ser definida por composición o cortes delgados, se utilizaron las imágenes de pozo para definir estratificación en las Tobas, fluidalidad en ignimbritas y lavas y brechas en lavas. En la Fig. 7 se muestran diferentes ejemplos de las estructuras observadas

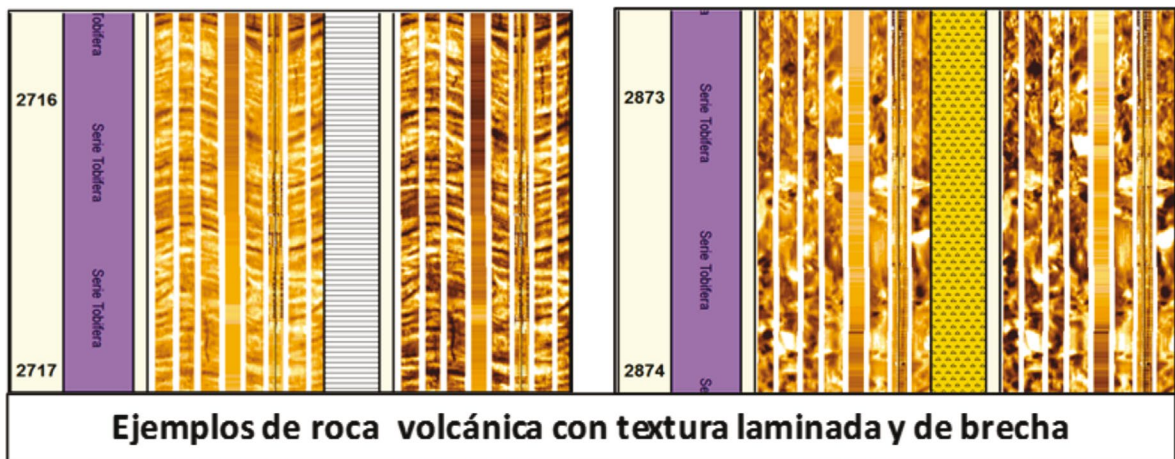


Figura 7. Ejemplos de imagen de pozo donde se muestran diferentes estructuras.

De esta manera a partir del análisis de los cortes delgados en testigos laterales, se definieron las facies, las cuales fueron propagadas a los pozos con los perfiles y con FRx del cutting, y fueron caracterizadas con mayor detalle con las imágenes de pozo.

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA

El registro de sísmica 3D, y la aplicación de atributos, fundamentalmente TecVA (atributo geométrico utiliza la técnica de volúmenes de amplitud) (Bulhoes M, 1999) y Semblance, permitió

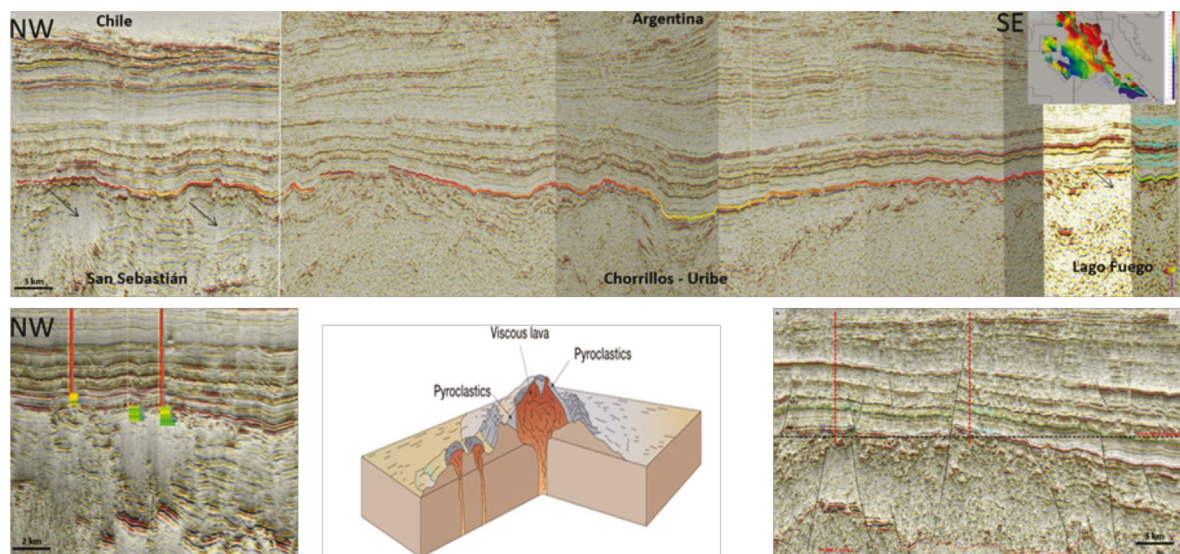


Figura 8. Esquema de asociación de los principales patrones observados en la Serie Tobífera.

visualizar los lineamientos estructurales mayores, el grado de fracturamiento y la naturaleza dómica de los cuerpos riolíticos en Chile, y altos fracturados por reactivación de sistemas de fallas normales asociadas a la etapa de apertura de la cuenca, en los bloques Los Chorrillos, Cabeza de León, Cañadón Piedras y Lago Fuego, en Argentina.

La visualización multiatributo con opacidades en ambientes de interpretación 3D permitió el reconocimiento de patrones sísmicos que fueron asociados cualitativamente a cuerpos volcaniclásticos (Fig. 8).

Para más información sobre este tema ver Atencio *et al*, 2018, donde se desarrolla los atributos sísmicos que permiten reconocer las variaciones observadas en la Serie Tobífera.

RESERVORIOS

En los numerosos testigos laterales y coronas que se estudiaron hasta el momento, se pueden ver valores de permeabilidad muy bajos, con rangos entre 0.00002 md y 1 md de permeabilidad (Fig. 9).

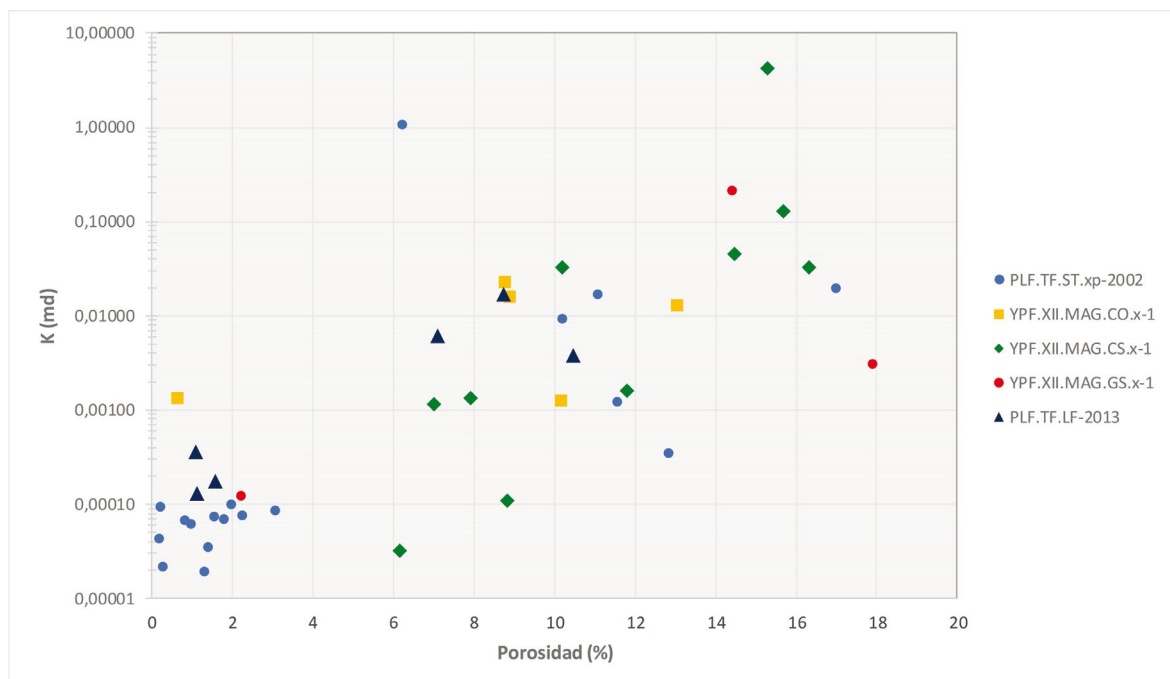


Figura 9. Crossplot Porosidad vs Permeabilidad.

Con los datos obtenidos hasta el momento, se observa que la participación de la matriz en el almacenaje de HC es mínima. Por lo que se deduce que la participación de las fracturas naturales son las que aportan permeabilidad y transmisibilidad.

De esta manera, el modelo de reservorio de la Serie Tobífera en las zonas estudiadas en este trabajo, se ajusta a la definición de Nelson (1985) donde el reservorio es interpretado como naturalmente fracturado, considerando que la presencia de fracturas tiene un significativo efecto en el flujo de fluidos del reservorio ya sea incrementando la permeabilidad del reservorio y/o la porosidad, e incrementando la anisotropía de la permeabilidad

Para la determinación de fracturas naturales se utilizaron la combinación de imágenes resistivas y acústicas (Fig. 10). En las imágenes de pozo (registradas con lodo base agua), se puede realizar una estimación de la apertura hidráulica de los planos de fracturas naturales. Para ello se realiza un escalado de la imagen micro resistiva con una curva de resistividad somera como SFL, AT10, 20, M2RX (Paauwe, 1994). En este caso se consideran los planos de fracturas naturales interpretados como “conductivos”, asumiendo que los planos de fracturas estén rellenos de lodo conductivo, es sumamente necesario calibrar con datos corona para confirmar esta afirmación. Al momento de esta publicación se estaban analizando los rellenos de las fracturas observados en las coronas, definidos macroscópicamente como óxido de hierro, calcita, cuarzo y cemento indiferenciado, los mismos están en proceso de análisis a través de cortes delgados y DRX.

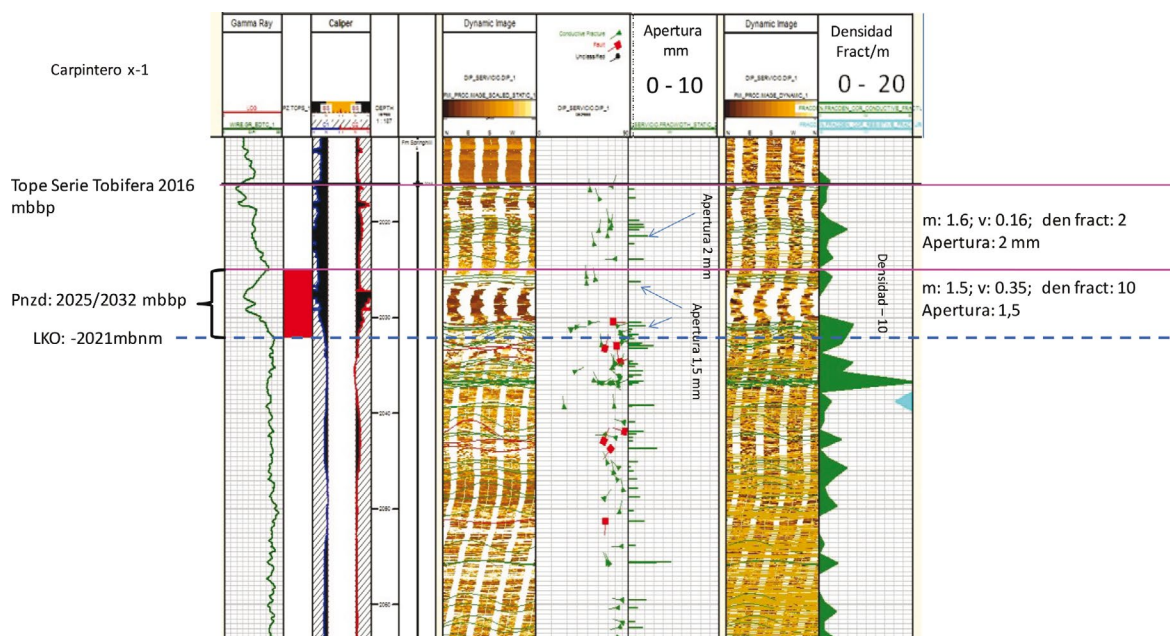


Figura 10. Imagen de pozo

Teniendo en cuenta que no en todos los sondeos se cuentan con registro de imágenes pozo, se utilizaron también a modo de confirmación de fracturas naturales abiertas, los datos obtenidos durante la perforación, como pérdidas de lodo, manifestaciones de gas y ROP; además de perfiles de tiempo de tránsito onda compresional y Stoneley.

En la figura 11 se muestra un ejemplo de la selección de las zonas de interés identificadas a partir de la integración de los datos mencionados.

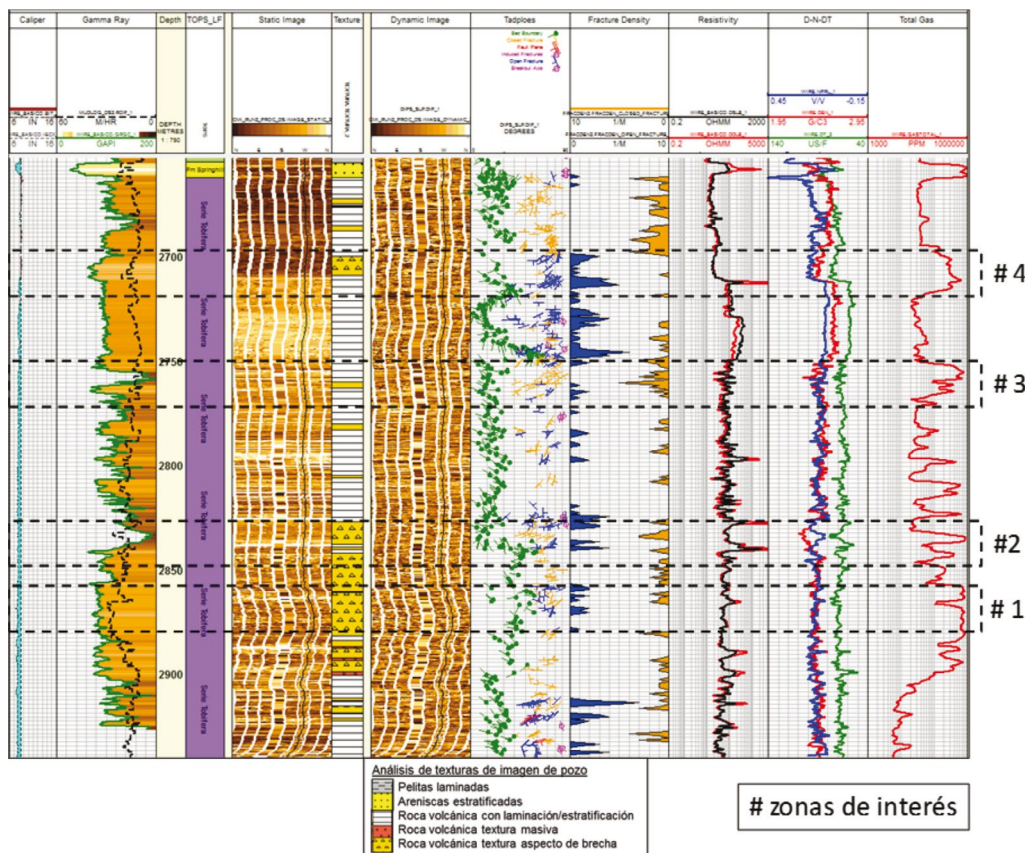


Figura 11. Integración de interpretación de imagen de pozo y datos de la perforación.

MODELO CONCEPTUAL

La presencia de altos estructurales fracturados, junto con la ausencia y/o pérdida de condiciones petrofísicas de la Fm. Springhill, favorece la carga de hidrocarburos en los reservorios fracturados de la Serie Tobífera. En los casos estudiados en el presente trabajo el contacto “agua-petróleo” de la Serie Tobífera es neto, y poseen la misma cota que los reservorios de la Fm Springhill (Fig. 12 a y b).

Esta relación de contactos “agua-Petróleo” entre los dos reservorios ya fue descripta por Hinterwimmer G. (2002).

La principal vía de migración para la carga de estos reservorios es la Fm. Springhill, donde la principal roca madre pertenece al Cretácico Inferior (Inoceramus Inferior y equivalentes).

A partir de la caracterización sísmica, la caracterización de la roca, la caracterización de las

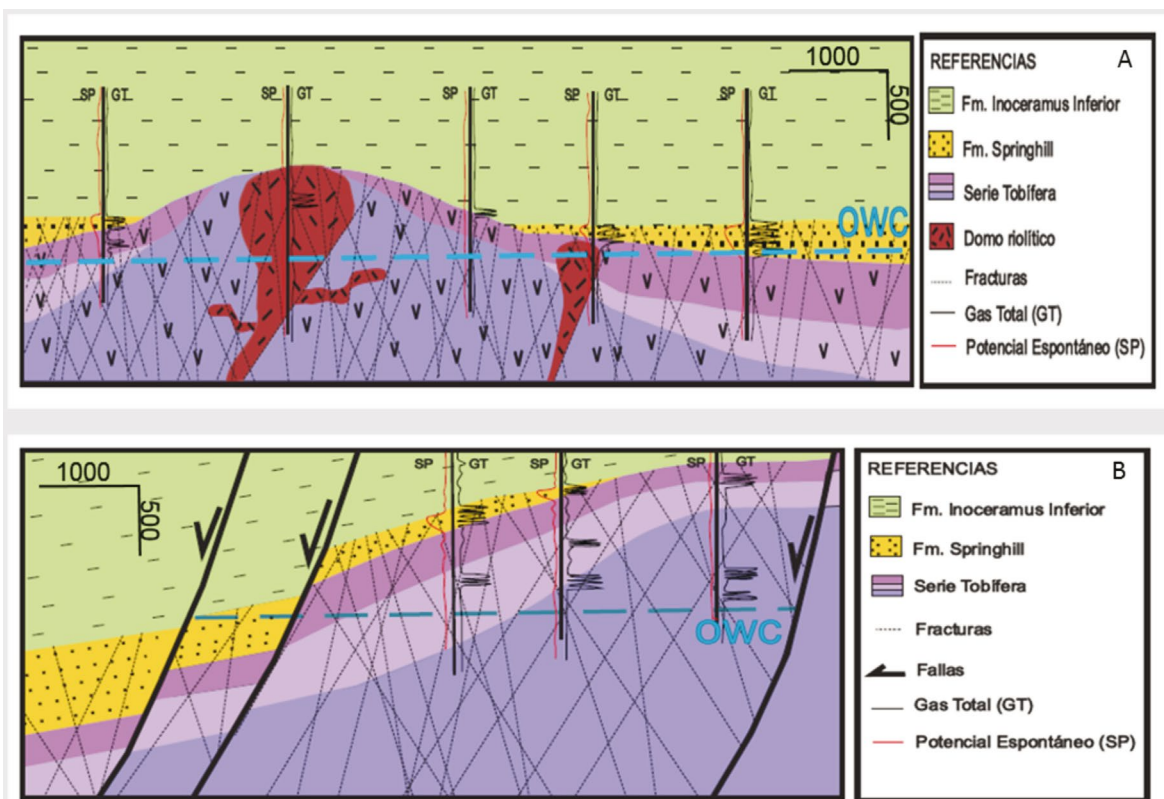


Figura 12. A). Esquema Tipo domos riolíticos: San Sebastián – Chile; B) Esquema Tipo Altos estructurales: Lago Fuego; Sección Treinta, Cabeza de León.

fracturas y de la información de los ensayos de pozo, se definen dos principales modelos geológicos conceptuales para este tipo de play. Las variaciones de los datos entre la Serie Tobífera presente en Chile, define la presencia de domos riolíticos, que no han sido observados, hasta ahora en el lado Argentino.

En la Figura 12 se muestran los esquemas simplificados de los modelos utilizados para la Serie Tobífera.

El tamaño de las acumulaciones (OOIP) u (OGIP) varían entre 3 (P10) y 8 (Pmean) MBOE; la superficie de las mismos entre los 5 y 20 km².

Las producciones son muy recientes: Lago Fuego es el yacimiento de gas con mayor historia de producción de la Serie Tobífera en Tierra del Fuego, en la actualidad posee 10 pozos en producción, de los cuales 7 fueron perforados en los años 2016 y 2017. Las EUR oscilan entre 50 y 70 MMm³.

El yacimiento Lago Fuego fue descubierto en 1989, y alcanzó en los primeros años picos de producción de hasta 180000 m³/d solamente de la Fm Springhill. Actualmente con la incorporación del reservorio volcánico, la producción es de 300000 m³/d de gas, siendo el aporte de la Serie Tobífera significativo, aportándole un potencial a la provincia hasta hace 2 años no considerado.

Los descubrimientos de Chile todavía no poseen historia de producción. Los caudales iniciales han alcanzado los 150 m³/d de petróleo y 160000 m³/d de gas.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista litológico se han determinado cinco facies principales, las cuales están definidas por su origen y composición, y fueron subdivididas por su estructura; de esta manera se logró una buena correlación entre pozos utilizando los datos de cutting, registros eléctricos, testigos laterales e imágenes de pozo. En el sector argentino de la cuenca no ha sido posible hasta el presente comprobar la existencia de domos riolíticos. Con información sísmica 3D y el análisis de sus atributos, se reconocieron características litológicas y zonas fracturadas, y se definieron estructuras mayores.

Para la determinación de las fracturas naturales se utilizaron principalmente las imágenes y los datos tomados durante la perforación de los pozos.

El modelo conceptual utilizado para estas áreas fue ajustándose a medida que se agregaban nuevos datos de pozos y en la actualidad se continúa mejorando.

Se interpreta que los reservorios de la Serie Tobífera y los de la Fm. Springhill conforman una única unidad hidráulica.

Se considera que el play Serie Tobífera en la isla Tierra del Fuego se encuentra en un estadio exploratorio inmaduro y presenta un gran potencial fundamentalmente en zonas donde existe disponibilidad de instalaciones de superficie (bloques de explotación para Springhill).

La metodología presentada en este trabajo está en continua mejora a medida que se va incorporando información, y ha permitido reevaluar zonas maduras para el reservorio clásico (Fm. Springhill) con una nueva perspectiva exploratoria.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|---|---|
| <p>Arbe, H., Fernández Bell Fano, F., 2002. Formación Springhill en el área costa afuera. In: Schiuma, M., Hinterwimmer, G., Vergani, G. (Eds.), Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas Argentinas, pp.</p> <p>Biddle, K., Uliana, M., Mitchum jr, R., Fitzgerald, M., Wright, R., 1986. The stratigraphic and structural evolution of central and eastern Magallanes Basin, Southern America. International Association of Sedimentologists, Special Publication 8.</p> | <p>In: Allen, P., Homewood, P. (Eds.), Foreland Basins. Blackwell, Oxford, pp. 41e61.</p> <p>Bulhões, É. M., 1999, "Técnica "Volume De Amplitude" Para Mapeamento De Feições Estruturais". 6th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.</p> <p>Hinterwimmer, G. 2002. Los reservorios de la Serie Tobífera. Schiuma, M., Hinterwimmer, G., Vergani, G. (Eds.), Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas Argentinas, 27 – 47.</p> |
|---|---|

- Paauwe, E. Fracture Analysis. Geological Applications of Dipmeter and Borehole Imaging. Schlumberger of Canada Short Course. 1994
- Robbiano, J. A., Arbe, H.A. and Gangui, A. 1996. En Plataforma Continental Argentina, XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Plataforma Continental Argentina, Relatorio 17: pp 323-341, AGA, IAPG, Buenos Aires.
- Schwarz, E., Veiga, G.D., Spalletti, L.A., y Massaf-erro J.L., 2010. The transgressive infill of an inherited-valley system: The Springhill Formation (lower Cretaceous) in southern Austral Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 1-24.
- Rodriguez, J.F., M. Miller y M. J. Cargnolatti, 2002. Sistemas Petroleros de Cuenca Austral, Argentina y Chile. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas. Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas. 75e89. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Sruoga, P; y Rubinstein, N; 2002, Procesos deutericos y diagenéticos en volcanitas de la provincia de Chon Aike, Santa Cruz, Argentina. Implicancias en el desarrollo de la porosidad y permeabilidad: 15° Congreso Geológico Argentino, V2, p.9-14

