

PROPUESTA DE UN MODELO GEOLÓGICO APLICABLE A LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LA SERIE TOBÍFERA, CUENCA AUSTRAL, ISLA GRANDE DE TIERRA DEL FUEGO, ARGENTINA

Karina Mykietiuik¹, Leonardo Simonetto¹, Guillermo Azpiroz¹, Graciela Covellone¹, Iván Petrinovic²

1: YPF S.A. karina.mykietiuik@ypf.com, leonardo.simonetto@ypf.com, guillermo.azpiroz@ypf.com,
graciela.covellone@ypf.com, karina.mykietiuik@ypf.com

2: CONICET. ipetrinovic@conicet.gov.ar

Palabras clave: Cuenca Austral, Serie Tobífera, Facies Volcánicas y Volcaniclasticas, Fracturas Naturales, Reservorio, Modelo Prospectivo

ABSTRACT

The Austral Basin is in the southernmost region of South America. The sedimentation of the basin began with effusive and explosive volcanic eruptions of the Serie Tobífera synrift succession. During the last few years, YPF drilled several wells with the Serie Tobífera as an exploratory target, with variable results. During 2018, YPF drilled 4 such wells in the Argentinean sector of Tierra del Fuego Island. The aim of this paper is to show the integration of data from 3D seismic, cores, logs, etc., of these wells, and the resulting geological model, and a proposal integration with the data from the Chilean side (Covellone 2016; Azpiroz *et al.* 2018; Atencio *et al.* 2018).

The Serie Tobífera was historically considered as the economic basement of the basin; however, in the 1970s and 1990s some hydrocarbon accumulations were found in Santa Cruz Province, Argentina, and Magallanes Province, Chile. Based on a facies model, we tried to minimize uncertainty in exploration; thus, the facies described in the cores are: lava flow with and without hydrothermal alteration, peperites, block and ash deposits, all phenoandesites and phenodacites. From 2D and 3D seismic analysis, an irregular half graben is construed, which results in a strong variation in the thickness of the volcanic facies of the Serie Tobífera. We interpretate as a graben-caldera setting, a combination of tectonic and volcanic events as an eruption model.

There is a strong correlation between oil production and natural fractures, so is fundamental found the relationship between facies and open fractures. The observation of the data shows that there is a tendency of acid rocks to have cooling fractures open, while the basic rocks have their fractures filling with silicic cement. The tectonic fractures are related with tectonics events and go through all facies. From the correlation of facies in cuttings and cores with the seismic interpretation, it is observed that ignimbrites tend to predominate when the Serie Tobífera is thicker and lavas when it is thinner, towards the basement shoulders.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Austral se encuentra ubicada en el extremo sur de Argentina y Chile y comienza la historia del relleno con rocas volcánicas y volcaniclasticas de la Serie Tobífera (Thomas 1949)

asociadas a una etapa *syn-rift* (Fig. 1). En los últimos años YPF S.A. perforó numerosos pozos con este objetivo, en la Isla Grande de Tierra del Fuego, dando resultados variados en cuanto a la producción de hidrocarburos.

Los pozos exploratorios, de acuerdo al modelo prospectivo usado entonces, se perforaron en los altos paleotopográficos de la Serie Tobífera en los cuales no se reconoce la Fm Springhill (principal reservorio de la cuenca) o bien, en donde ésta se encontraba con malas condiciones petrofísicas. Los resultados de los ensayos generaron la necesidad de una revisión de este modelo exploratorio, ya que no todos los altos perforados fueron productivos (Azpiroz *et al.* 2018).

Durante esta campaña de perforación se tomaron numerosos datos: coronas, perfiles eléctricos, datos del control geológico (descripción de cutting, gas, ROP, shows de hidrocarburos). A partir de estos datos se construyó para cada pozo la interpretación geológica, que posteriormente junto con la interpretación de la sísmica 3D, fueron integradas en un modelo geológico general prospectivo. Para la construcción del modelo geológico también se integraron los datos colectados en las perforaciones realizadas por YPF del lado chileno (Covellone 2016; Azpiroz *et al.* 2018; Atencio *et al.* 2018).

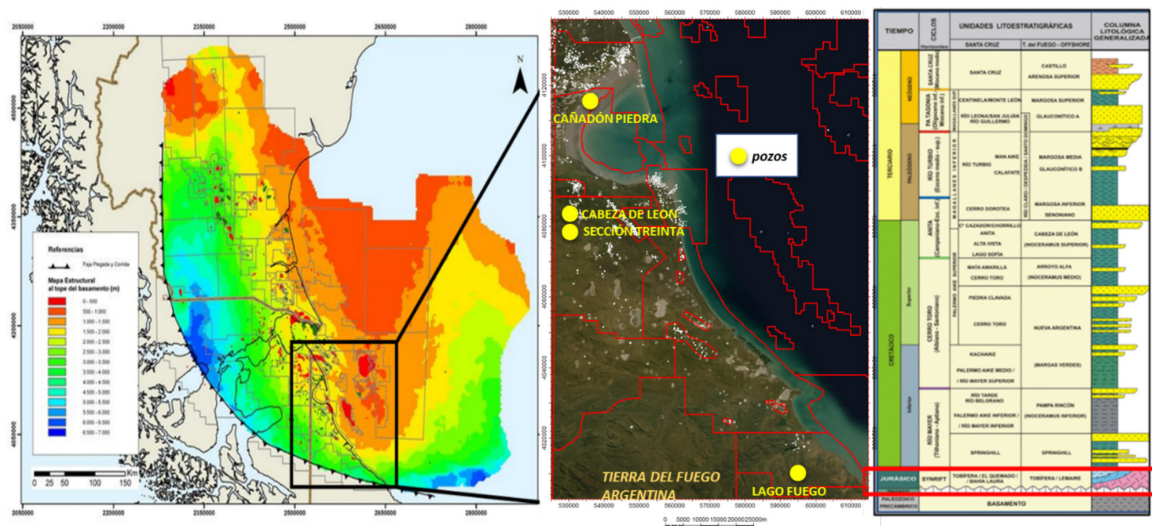


Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca Austral (Covellone *et al.* 2012), ubicación de los pozos utilizados para este estudio y columna estratigráfica esquemática con la ubicación de la Serie Tobífera.

DESAFÍOS DE LOS RESERVORIOS VOLCÁNICOS Y VOLCANICLÁSTICOS

A diferencia de los reservorios convencionales en rocas clásticas o carbonáticas, los reservorios en rocas volcánicas y volcanoclásticas tienen asociaciones de facies particulares y una fuerte heterogeneidad poral, con notables cambios laterales y verticales que requieren modelos integradores.

El desarrollo de la porosidad y permeabilidad generalmente se da por asociaciones poros-fracturas, ya que usualmente presentan porosidad mixta, aunque también existen los de porosidad primaria (Ran *et al.* 2014; Sruoga y Rubinstein 2002; Hinterwimmer 2002). La arquitectura de los depósitos también es variada, y dependiente de su estilo de formación y de la paleogeografía. La geometría de una colada de lava y la de un domo intrusivo son muy diferentes, y solamente con la descripción de cutting pueden ser confundidas.

Debido a esto, el estudio de este tipo de reservorios tiene que ser abordado en diferentes escalas para comprender la arquitectura definida por el tipo de depositación, el desarrollo de la porosidad definido por los procesos durante la depositación y post depositación, la presencia de fracturas naturales y su origen.

METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Se analizaron aproximadamente 127 metros de coronas de 5 pozos, imágenes resistivas y sónicas y 20 testigos laterales de dos pozos. Además, se revisaron las descripciones de cutting de 80 pozos distribuidos en los bloques donde YPF S.A. es operador. Toda esta información fue integrada con la sísmica 2D y 3D que estaba disponible.

Debido a la complejidad de este tipo de reservorios, y a la distribución espacial de los testigos coronas utilizados (Fig. 1), en una primera etapa se procedió al estudio de las facies y las fracturas por separado (Fig. 2) para posteriormente relacionarlas.

Durante la observación de las coronas se interpretaron distintas facies: tobas, peperitas, lavas fenoandesíticas, lavas fenodasíticas, brechas hidrotermales, *block and ash*, entre otras. Sobre la roca volcánica o volcanoclástica original muchas veces se vio alteración hidrotermal superpuesta en

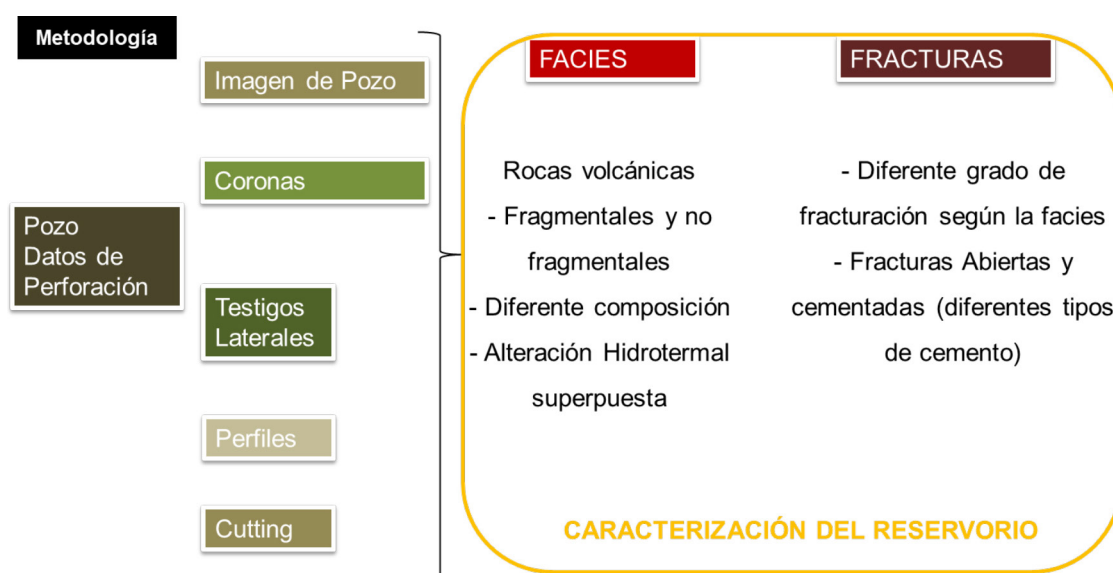


Figura 2. Cuadro sinóptico de la metodología de estudio

distintos grados de intensidad, lo que a veces dificultó la determinación de la facies original (Fig. 3, arriba).

La necesidad de contar con coronas para este tipo de reservorios es fundamental, debido a que el cutting no alcanza para determinar las texturas presentes en estas litologías y muchas veces puede confundirse con otras facies. Para extrapolar lo observado en las coronas al *cutting* y al set de perfiles, tener una interpretación de imágenes de pozo resistivas y sínicas es clave, ya que en la misma puede observarse las texturas y estructuras; y de esta manera, la integración entre ambos permite construir la génesis de la roca (Simonetto y D'Angiola, en este congreso). Entonces así, se puede interpretar mejor las geometrías de los cuerpos, y así entender la variabilidad vertical y lateral.

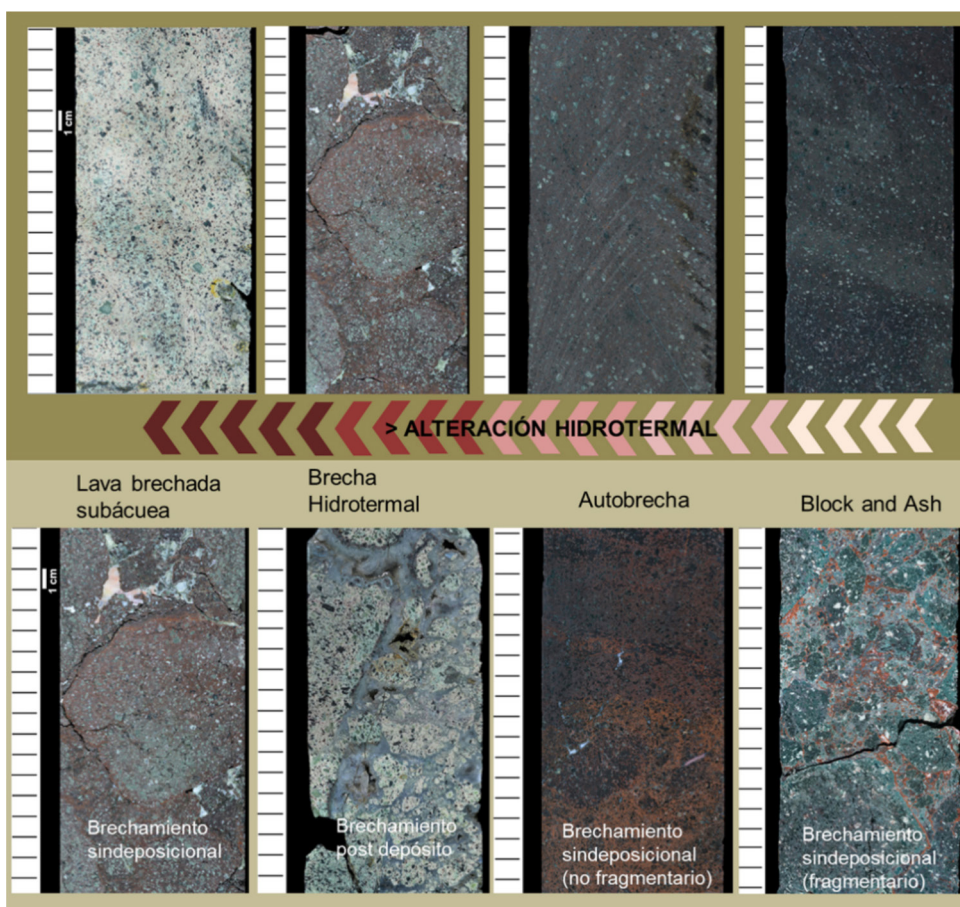


Figura 3. Arriba, Facies fenoandesíticas con variados grados de alteración hidrotermal superpuesta. Abajo, diferentes tipos de brechas reconocidas en las coronas.

Teniendo en cuenta que la productividad de fluido de los ensayos tiene una correlación lineal con la presencia de fracturas abiertas, se realizó un análisis de las fracturas siguiendo la metodología de López *et al.* (2018), describiendo las fracturas en las coronas y en las imágenes

eléctricas y sónicas de pozos. En aquellos pozos que presentaron sus fracturas completamente cementadas, los ensayos resultaron sin entrada.

Se determinaron dos tipos principales de fracturas: fracturas térmicas (por contracción por enfriamiento) y fracturas estructurales. Ambas presentan distintos orígenes y deben ser trabajadas de manera independiente. También se analizaron los rellenos de las fracturas (Fig. 4), definiendo el tipo de relleno y su porcentaje, para poder determinar su capacidad como reservorio.



Figura 4. Diferentes fracturas rellenas y parcialmente rellenas y distintos tipos de rellenos observados.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO

Teniendo en cuenta que los testigos corona corresponden a distintos depocentros de la etapa de rift, se integró toda la información registrada en las coronas, el cutting, los perfiles eléctricos y las imágenes de pozo, para construir la interpretación geológica para cada perforación. De esta manera, en la Figura 5 se muestran las diferentes interpretaciones geológicas distribuidas en los bloques de la Isla Grande de Tierra del Fuego.

Posteriormente se relacionaron las fracturas analizadas con las facies descriptas. De esta correlación, la conclusión más importante es que se observó que las facies con mayor tendencia a tener las fracturas térmicas, aquellas formadas por contracción térmica por enfriamiento, con menor porcentaje de relleno y por ende, estar abiertas, eran aquellas facies correspondientes a rocas volcánicas y volcanoclásticas más ácidas en su composición (Fig. 6). Mientras que, aquellas facies menos ácidas, sus fracturas térmicas tendían a estar completamente cementadas por sílice amorfa más óxidos; interpretados como los fluidos residuales de la cristalización. Las facies con fracturas abiertas eran lavas fenoríolíticas, lavas fenodacíticas e ignimbritas fenoríolíticas, mientras que las lavas fenoandesíticas presentaban las fracturas completamente cementadas.

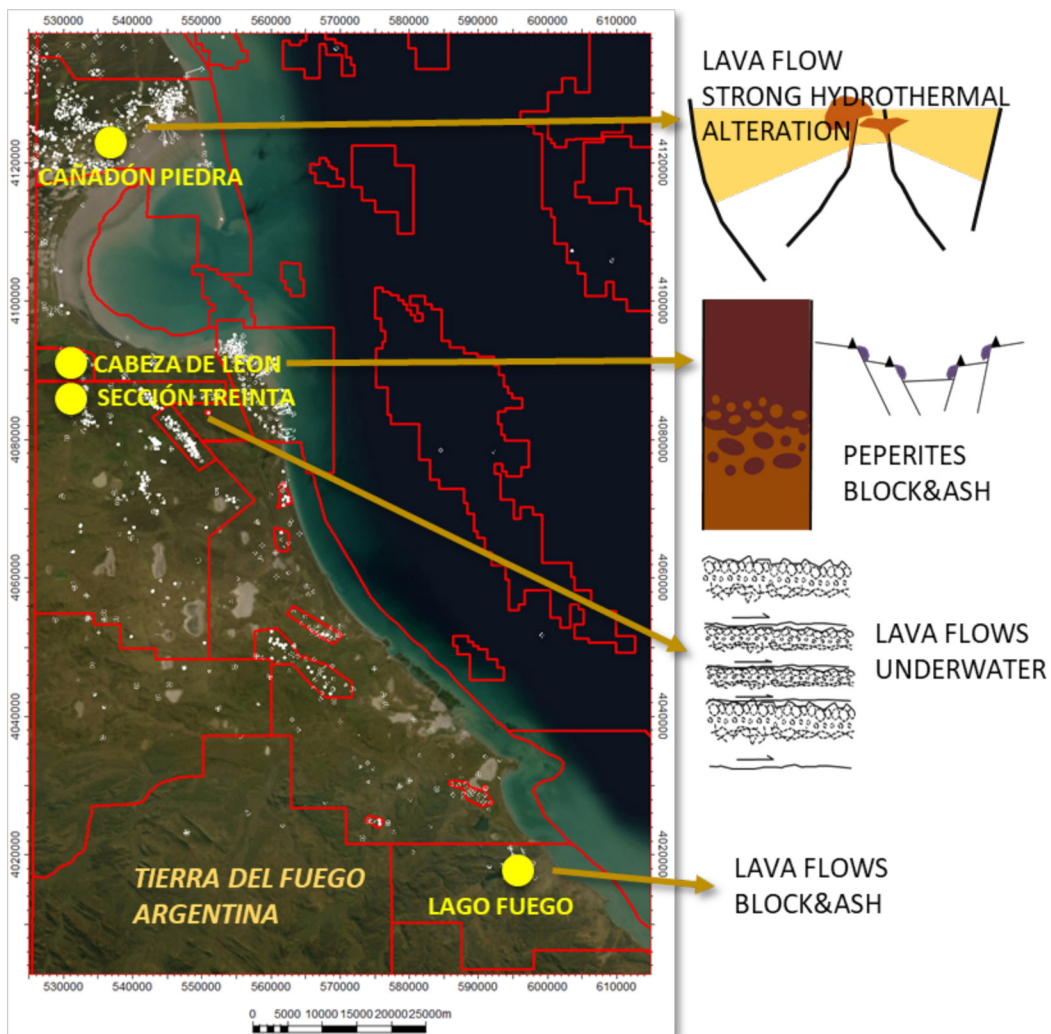


Figura 5. Ubicación de los distintos pozos analizados y la interpretación paleoambiental de lo observado en las coronas y cutting.

Domos Riolíticos	Ignimbritas riolíticas	Lavas Dacíticas	Lavas andesíticas
YPF CHILE	YPF CHILE	YPF Lago Fuego ARGENTINA	YPF CP ST ARGENTINA

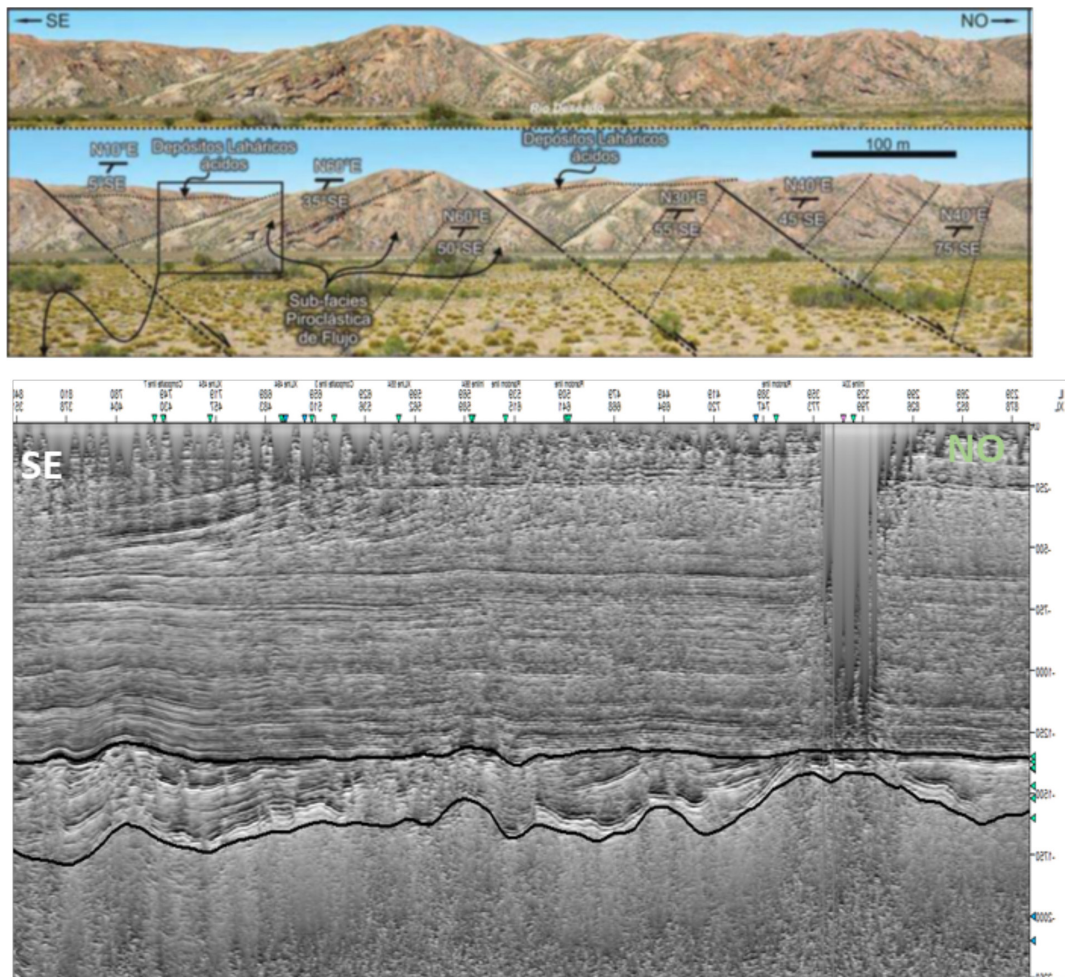


Figura 6. Gráfico esquemático donde se relacionan la acidez de las rocas volcánicas y volcanoclásticas, fracturas cementadas y ubicación de las coronas.

Las fracturas tectónicas por otro lado se relacionan con su posición respecto a los diferentes eventos tectónicos, y deben ser analizadas según su ubicación.

INTEGRACIÓN CON LA SÍSMICA Y MODELO GEOLÓGICO DE ERUPCIÓN

Una de las megageometría destacables observadas en la sísmica, es la presencia de hemigrábenes, donde sus rellenos están casi en su totalidad compuestos por rocas volcánicas y volcaniclásticas (en esta cuenca producto de la ruptura de Gondwana). Una comparación de lo que se observa en la sísmica y el análisis de afloramientos en el Macizo del Deseado realizado por Navarrete y Márquez (2017), muestra notables similitudes (Fig. 7). Estos autores proponen como mecanismo eruptivo la presencia de graben-calderas (mecanismo fisural) controlada por estructuras extensionales.



Este trabajo propone un mecanismo eruptivo similar para la génesis de los hemigrábenes y su relleno durante la etapa inicial de rift cuando se genera la cuenca.

Al observar internamente los hemigrábenes se detectan otras geometrías de menor magnitud que fueron descriptas en el trabajo de Atencio *et al.* (2018), donde se han interpretado conductos, domos y otras estructuras volcánicas. En la Figura 8 se muestran diferentes cuerpos volcánicos interpretados en la sísmica, donde los domos se observan representados por conos invertidos de baja a nula amplitud sin reflectividades internas, mientras que las ignimbritas y las lavas se ven con amplitudes medias a bajas con yacencias de reflectividades estratificadas y paralelas (*op. cit.*).

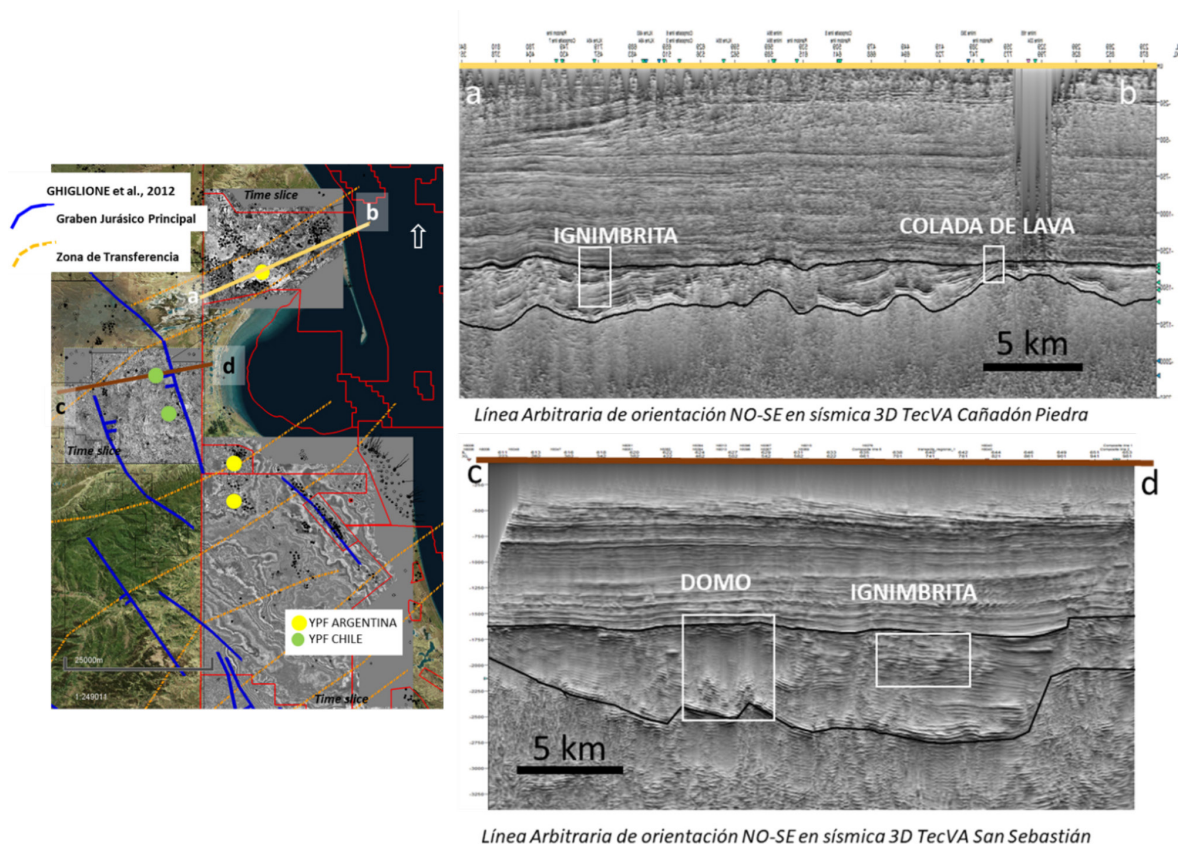


Figura 8. Líneas sísmicas arbitrarias donde se señalan las interpretaciones de los cuerpos volcánicos en el relleno de los diferentes hemigrábenes.

PROPUESTA DE MODELO PREDICTIVO

Habiendo entendido que las facies más ácidas (lavas fenoriotíticas, lavas fenodacíticas e ignimbritas) son las facies que presentan tendencia a tener las fracturas por contracción térmica abiertas y a su vez fueron las facies con mejores producciones en los pozos realizados por YPF, fue necesario comprender su distribución espacial en los rellenos de los graben-calderas.

Como ejercicio se definió un área en la cual sobre un mapa de basamento se volcaron los datos de las facies ya sea de corona como de descripción de cutting (Fig. 9), y se observó que en los mayores espesores las rocas eran facies más ácidas, mientras que hacia los límites de los hemigrábenes las rocas tendían a ser facies menos ácidas.

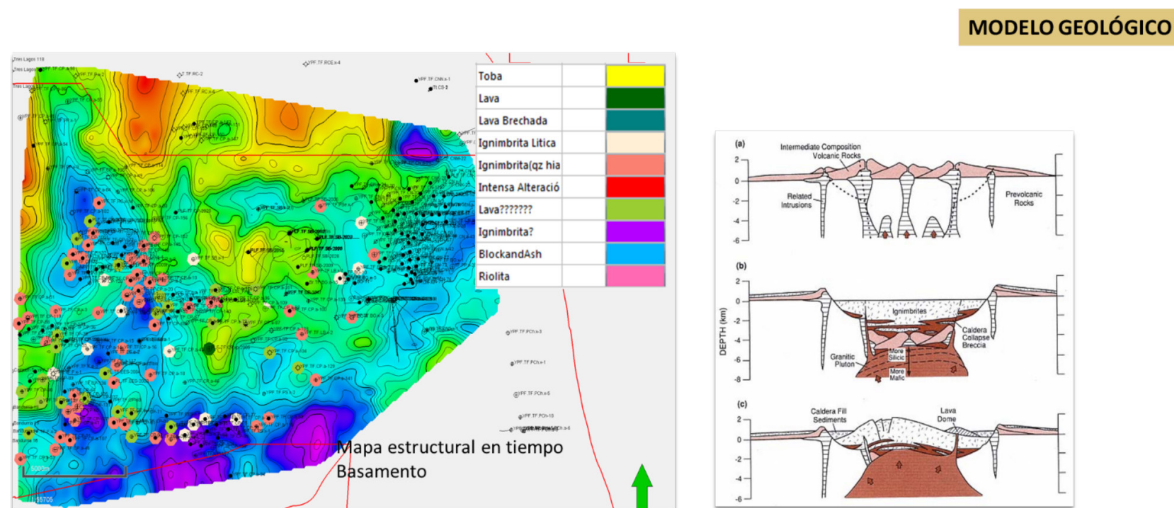


Figura 9. Izquierda Mapa estructural de basamento, en colores las facies interpretadas en el cutting. Derecha, modelo esquemático de una caldera (tomado de internet s/a).

Así, se interpreta que las facies de material volcánico mayormente fragmentado (rocas piroclásticas), ocurren donde mayor es el espesor de relleno de los hemigrábenes, mientras que las facies más lávicas ocurrían en los altos de basamento. Los domos riolíticos productivos del lado chileno, también se observa que intruyen adonde los rellenos de los depocentros son más espesos.

Por lo que como conclusión cabe esperar que adonde exista mayor espesor en los rellenos de los graben- calderas, mayor es la posibilidad de encontrar rocas ácidas y como consecuencia mayor la probabilidad de encontrar fracturas por contracción térmica no cementadas. Las fracturas tectónicas deben ser estudiadas teniendo en cuenta los eventos tectónicos soportados (Continanzia *et al.*, en este congreso).

CONCLUSIONES

En un principio se interpretó que el play de la Serie Tobífera estaba conformado por “altos fracturados”, identificados en la sísmica, donde la Fm Springhill se encuentra en malas condiciones petrofísicas o no se depositó. La presencia de fracturas completamente cementadas en perforaciones realizadas por YPF S.A, hizo necesaria la revisión de este concepto.

Con toda la información recolectada en los pozos perforados, se observó que las rocas de composición más ácida tenían tendencia a presentar fracturas abiertas por lo que serían mejores

reservorios; mientras que las lavas más básicas tenían sus fracturas completamente rellenas por sílice y óxidos, y por lo tanto no eran reservorios.

El ambiente geológico definido, a partir del estudio de las coronas, es un complejo volcánico dominado por estructuras de graben-calderas, que es una combinación de procesos volcánicos y estructurales. En este tipo de estructuras se observa que donde existen mayores espesores hay una mayor posibilidad de que se depositen rocas más ácidas, mientras que cercano a los conductos efusivos podrían desarrollarse rocas volcánicas más básicas. Esta definición permitiría ser más predictivo sobre la distribución de facies en este tipo de ambientes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a YPF S.A. por permitir la publicación del trabajo. También agradecemos a N. Seoane, Y. Ruiz y J. Continanzia por la lectura crítica de trabajo y sus aportes que ayudaron a mejorar la calidad técnica de esta presentación.

Agradecemos también la revisión de Hernán de la Cal, Enrique Feinstein y Diego Lenge, cuyos comentarios ayudaron a mejorar esta publicación.

REFERENCIAS CITADAS

- Atencio, M., Späth, F. y Azpiroz, G., 2018. Caracterización sísmica de reservorios complejos: Serie Tobífera. 10º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. IAPG. Simposio de Geofísica: La Geofísica como vínculo entre el conocimiento de la tierra y la sociedad, pp. 291-300.
- Azpiroz, G., G. Covellone, K. Mykietiuks, L. Simonetto, M. Atencio, L. Tórtora, D. Ancheta, V. Meissinger, E. Pedro, 2018. Exploración del Play Serie Tobífera en el ámbito de Tierra del Fuego, Cuenca Austral, Argentina y Chile. X Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, trabajos técnicos
- Continanzia, M.J.; Seoane, F.; Feinstein, M.A; Mykietiuks, K.; Lopez R.G. y Atencio, M.; 2022. Caracterización de la Serie Tobífera en el ámbito del Bloque Lago Fuego, Tierra del Fuego, Argentina. XI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. IAPG, Mendoza, Argentina.
- Covellone, G., Continanzia, J. y Micucci P., 2012. Evaluación preliminar de Recursos No Convencionales, Cuenca Austral. Informe Inédito YPF S.A.
- Covellone, G., 2016. Evaluación Recursos Serie Tobífera Bloque San Sebastián. Informe interno YPF.
- Ghiglione, M.C., Navarrete-Rodríguez, A.T., González-Guillot, M. y Bujalesky, G., 2012. The opening of the Magellan Strait and its geodynamic implications. Terra Nova, pp 1-8.
- Hinterwimmer, G., 2002. Los reservorios de la Serie Tobífera. En: Schiuma, M., Hinterwimmer, G., Vergani, G. (eds.), Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas Argentinas, Simposio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, pp. 27-47.
- Lopez, R., Ruiz, R., Spacapan, J., Hryb D., Mancada, R., Santiago E. y Montagna, A., 2018. Por qué y cómo hacer un modelo conceptual de fracturas naturales, el ejemplo de la Fm. Cupén Mahuida.

- 10° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mendoza, Argentina. pp. 971-985.
- Navarrete, C. y Marquez, M., 2017. Caldera del Deseado: Una graben Caldera multiepisódica Jurásica del Sector Nor-Oriental del Macizo del Deseado. XX Congreso Geológico Argentino.
- Ran Qiquan, Yongjun Wan, Yuanhui Sun, Lin Yan y Min Tong, 2014. Volcanic Gas Reservoir Characterization. First edition. Elsevier.
- Simonetto, L. y D'Angiola, M., 2022. Identificación y descripción de Rocas Igneas a partir del análisis de Registros de imágenes de Pozo. XI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. IAPG, Mendoza, Argentina.
- Sruoga, P., y Rubinstein, N., 2002. Procesos deutéricos y diagenéticos en volcanitas de la provincia de Chon Aike, Santa Cruz, Argentina. Implicancias en el desarrollo de la porosidad y permeabilidad: XV Congreso Geológico Argentino, V2, pp. 9-14.
- Thomas, C.R., 1949. Geology and petroleum exploration in Magallanes Province, Chile. AAPG Bulletin, 33: pp. 1553-1578.

