

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DE RESERVORIOS COMPLEJOS: SERIE TOBÍFERA

Mario R. Atencio¹, Federico G. E. Späth¹, Guillermo M. Azpiroz¹

1: YPF S.A., mario.atencio@ypf.com, federico.spath@ypf.com, guillermo.m.azpiroz@ypf.com

Palabras clave: serie tobífera, atributos sísmicos, segmentos

ABSTRACT

Seismic characterization of complex reservoirs: Tobífera series

Nowadays Tobífera series is one of the main exploratory objectives in Austral Basin, Isla Grande de Tierra del Fuego (Argentina and Chile island). It corresponds to Jurassic deposits conformed by volcanic and volcanoclastic bodies. High variability in emplacement and mineralization represents the main actual challenge regarding geological and geophysical characterization of this complex. In the present work we introduce and describe a first approach for seismic characterization for Tobífera series in fields belonging to YPF in Isla Grande de Tierra del Fuego from recent well data acquired during the last drilling campaigns (2016-2018).

Examination, selection and analysis of different seismic attributes was conditioned to the problematic of volcanoclastic reservoirs, focusing on those which allow finding a seismic model of deposition patterns.

INTRODUCCIÓN

La Formación Serie Tobífera está conformada por un conjunto de rocas volcánicas de edad Jurásica media a superior desarrolladas en la etapa de rift de la cuenca Austral. La principal hipótesis que sustenta los hallazgos de hidrocarburos presentes en esta Formación es el fracturamiento observado en los testigos coronas recolectados en las últimas campañas de perforación. Otra hipótesis en estudio se enfoca en los procesos de alteración o meteorización desarrollados en los diferentes ciclos de la Fm. Serie Tobífera (Schiuma *et al.*, 2002; Covellone *et al.*, 2016). Estas dos hipótesis sustentan la distribución aleatoria de la mineralización investigada hasta este momento. Estas dos hipótesis están sustentadas en las referencias previas que consideran y describen a la Serie Tobífera como reservorios de dos tipos, uno resultante de la fracturación tectónica y otro de origen primario a partir de los mismos procesos volcánicos.

El desafío para la caracterización geofísica de la Fm. Serie Tobífera está guiada por la problemática dada por el complejo conjunto litológico que la conforma y por la variabilidad de

los procesos volcánicos que definen diferentes eventos de depositación volcanoclásticos, sumado a los procesos tectónicos que la afectaron.

En el presente trabajo se muestran resultados preliminares de la caracterización sísmica cualitativa por atributos realizándose la descripción sísmica, combinación de atributos y asociaciones de patrones que ayuden a reconocer el modelo sísmico de depositación de la Serie Tobífera.

Consideraciones geológicas Fm. Serie Tobífera

La descripción general de la Serie Tobífera corresponde a variaciones faciales de un complejo volcánico junto con alteraciones hidrotermales superpuestas. Las observaciones litológicas preliminares de las coronas dividen a la Serie en dos grandes grupos: lavas, de composición andesítica con estructura fluidal o autobrecha (coladas), y de composición riolítica (domos -Chile); y otro grupo de rocas piroclásticas donde predominan las ignimbritas (Estancia San Martín).

En la Fig. 1 se muestra la Columna estratigráfica modificada de YPF y como ejemplo la respuesta de distintas herramientas de perfilaje registradas en la Serie Tobífera, junto con la interpretación de los registros de imagen de pozo y los datos obtenidos del control geológico. En esta imagen combinada se observa, de izquierda a derecha, la siguiente información: calibre-diámetro del trepano, rayos gama-tasa de penetración (ROP), profundidad, formación, imagen micro resistiva estática (CMI), texturas interpretadas manualmente a partir de la imagen de pozo, imagen ultrasónica de amplitud (UBI), buzamientos interpretados manualmente a partir de la

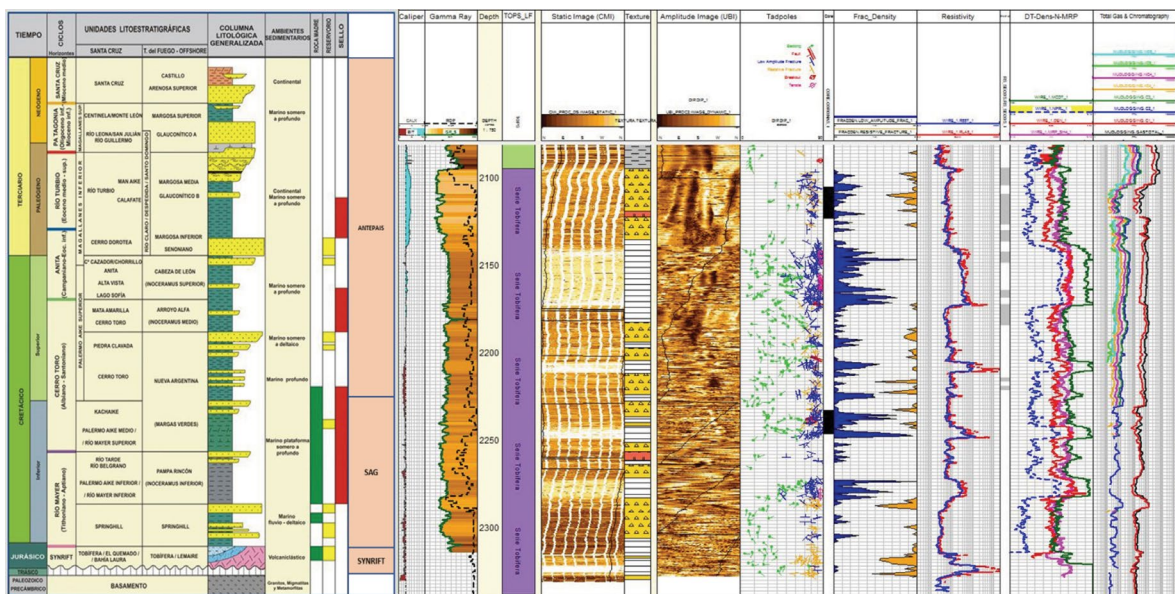


Figura 1. Columna estratigráfica y respuesta de distintas herramientas de perfilaje registradas en la Serie Tobífera, interpretación de los registros de imagen de pozo y datos obtenidos del control geológico (Simonetto, 2018).

imagen de pozo (tadpoles), ubicación de las coronas obtenidas, densidad de fracturas conductivas/ baja amplitud-fracturas resistivas, resistividad, neutrón, -densidad-delta T sónico compresional-densidad-porosidad de resonancia magnética nuclear, rastros de hidrocarburo, finalmente curvas de gas total y cromatografías.

Como primera conclusión para este ejemplo podemos decir que a grandes rasgos existe una correlación entre los cuerpos que registran mayor resistividad, menor tiempo de tránsito, mayor densidad de fracturas conductivas, menor ROP asociados a una textura “laminada/ estratificada” de la roca volcánica. Por otro lado, los cuerpos de menor resistividad están asociados a mayor tiempo de tránsito, menor densidad de fracturas conductivas y presencia de fracturas resistivas, aumento de ROP y textura de brecha. La relación de estos cuerpos volcánicos con las manifestaciones de hidrocarburos es algo compleja ya que podemos tener incremento en las lecturas de gas en zonas de brechas como en este ejemplo o asociado a zonas laminadas (“banding”) como en otros casos. Ambos responden a fracturación: fracturas irregulares asociadas a las brechas y fracturas planares asociadas a los cuerpos laminados.

Consideraciones geofísicas de la Serie Tobífera

Para entender el comportamiento sísmico de la serie Tobífera, y con el objeto de evaluar si es posible extraer información de las amplitudes sísmicas a través del proceso de inversión de trazas, se analizaron en diferentes pozos los perfiles, el sismograma sintético y la sísmica.

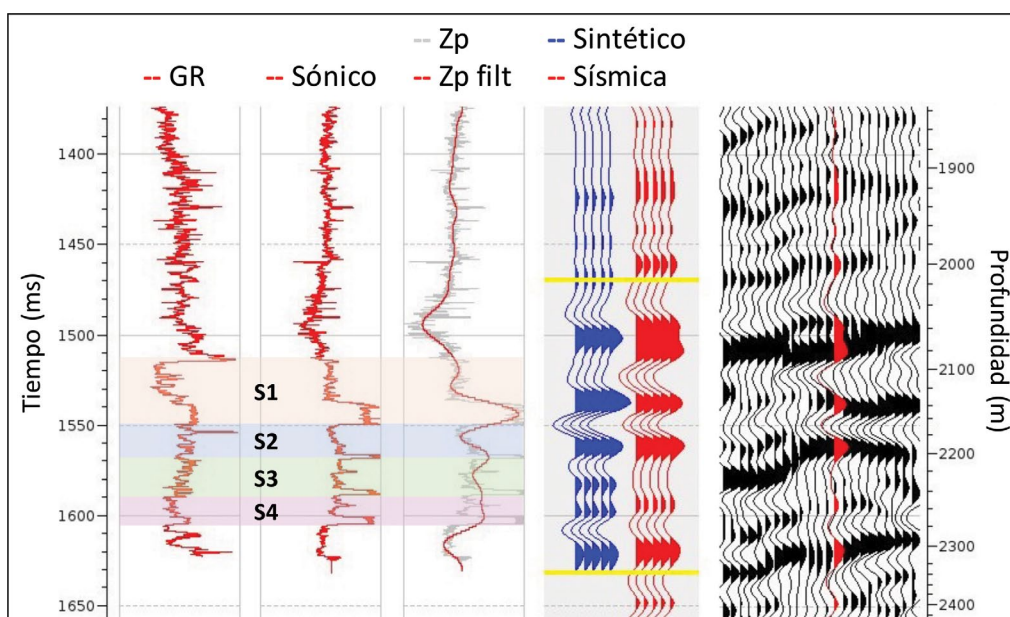


Figura 2. Perfiles y sísmica sintética de un pozo tipo que atravesó cuatro segmentos de la serie tobífera.

En la Fig. 2 se muestran para un pozo representativo: los perfiles GR, sónico e Impedancia Acústica; la sísmica sintética generada con una ondícula Ricker de fase cero y frecuencia dominante 30 Hz; y la sísmica apilada con migración pre apilado en tiempo. En el pozo se identifican cuatro segmentos (S1 a S4), cada uno de los cuales está conformado por una parte superior de baja impedancia relativa y una parte inferior de alta impedancia relativa. La variación de la impedancia entre la parte superior e inferior llega a ser del 50% lo cual genera coeficientes de reflexión (CR) de gran magnitud en el tope y base del intervalo de altas impedancias ($0.1 < CR < 0.2$). La resolución sísmica para este intervalo, empleando el criterio de Rayleigh ($\lambda_{dom}/4$), es del orden de 40 m. Esto implica que, para espesores inferiores a este valor, eventos sísmicos generados en el tope y la base harán interferencia entre sí (efecto de tuning). Dado que los espesores medidos en diferentes pozos varían entre 40 y 5 m se concluye que siempre se encuentran por debajo del espesor de tuning. Para espesores como el registrado en el segmento 1, la interferencia es constructiva, mientras que en otras situaciones es destructiva (S2, S3 y S4). Además, también se produce interferencia entre los diferentes segmentos, y dentro de cada segmento son esperables variaciones espaciales del espesor del intervalo de altas impedancias lo cual modulará las amplitudes sísmicas asociadas a las mismas. Todos estos efectos sobre las amplitudes se manifiestan en la dificultad de realizar caracterización del reservorio a través del proceso de inversión acústica siendo los resultados obtenidos hasta la fecha limitados. Debe tenerse en cuenta que la Serie Tobífera no fue un objetivo al momento de definir los parámetros de adquisición y de procesar los datos sísmicos, lo cual constituye una limitación para la caracterización sísmica cuantitativa de la Serie.

METODOLOGÍA

La caracterización sísmica de la Serie Tobífera se realizó a partir de cálculo de atributos sísmicos, identificación de patrones sísmicos y visualización multiatributos 3D.

Descripción de atributos

Los atributos geométricos que aportaron información para la caracterización de los cuerpos volcanoclásticos de la Serie Tobífera fueron: Dip Steered Enhancement (DSE), coseno instantáneo de la fase aplicado sobre volumen con DSE y el atributo de amplitud TecVa. Todos fueron visualizados en conjunto y con diferentes rangos de opacidades para optimizar su aporte individual. A continuación, se describe brevemente cada uno de estos atributos:

DSE es un atributo empleado para remover ruido aleatorio y mejorar la continuidad lateral de eventos sísmicos. Emplea información de los atributos Dip y Azimuth (Chopra y Marfurt, 2007) para filtrar el dato en la dirección de los eventos sísmicos.

La fase instantánea es un atributo sísmico independiente de la intensidad de las reflexiones,

que enfatiza la continuidad de los eventos (Taner *et al.*, 1979). Este atributo es efectivo para resaltar discontinuidades, fallas, pinchouts, límites de secuencias, etc. Sobre este atributo se aplicó la función coseno para darle una mayor continuidad.

Una forma de identificar discontinuidades en el dato sísmico consiste en analizar el efecto de la discontinuidad sobre las amplitudes de las trazas sísmicas. Un atributo que permite resaltar este efecto es el atributo TecVA, propuesto por Bulhões (1999). Este atributo consiste en calcular la media cuadrática en una ventana deslizante sobre cada traza (definida en función de la resolución sísmica) y luego realizar una rotación de la fase del cubo de -90° . De esta forma se resaltan los altos contrastes de amplitudes presentes en la sísmica

Identificación de patrones sísmicos

La primera aproximación de la caracterización sísmica de la Serie Tobífera parte de la descripción por textura dada por datos de pozos (Fig. 1) y la hipótesis de presencia de fracturas como principal interés para que éste sea reservorio. La identificación de patrones sísmicos, por lo tanto, fue el primer elemento de descripción en la caracterización sísmica.

Los atributos sísmicos geométricos son la principal fuente para el reconocimiento de geometrías de cuerpos volcánicos y sus depósitos asociados. Estos atributos nos muestran posibles correlaciones de morfologías y distribución que pueden ser asociados a su génesis y textura (Guoping *et al.*, 2011). Nuestro caso de estudio presenta las particularidades de un reservorio condicionado por la fuerte variabilidad vertical y horizontal de los cuerpos volcanoclásticos. Esta condición fue parcialmente resuelta por la caracterización sísmica a partir del reconocimiento de patrones sísmicos que identificaron tres elementos principalmente. Rocas volcánicas masivas definidos por cuerpos riolíticos representados en la sísmica por conos de baja a nula amplitud dados por zonas de transparencia sísmica sin reflectividades internas. Rocas volcánicas con texturas de brecha, definidas genéticamente como lavas, en general con altas a medias amplitudes y con pendientes altas a medias de las reflectividades sísmicas y frecuencias medias a bajas y las rocas volcánicas con laminación o estratificación que presentan amplitudes medias a bajas con yacencias de reflectividades estratificadas y paralelas de frecuencia altas a medias. El resumen se presenta en la Fig. 3 con los diferentes elementos identificados en los pozos y las características de estos en su respuesta sísmica.

Caracterización sísmica geométrica de los Cuerpos identificados

Rocas Volcánicas con textura masiva (Fig. 4): están representados por conos de amplitudes bajas a transparentes con alta discontinuidad que interceptan cortando y/o modificando reflectividades. La expresión en planta está restringida a áreas semicirculares a circulares de media a

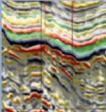
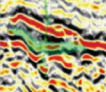
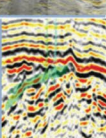
Características de la respuesta sísmica según su textura									
Elemento identificado según Textura	Imagen Patrón sísmico	Amplitud	Frecuencia	Fase	Forma de Onda	Impedancia	Patrón sísmico de reflectividad	Continuidad	Coherencia
Areniscas		Media	Media	Débil	Completa	Alta	Continuo	Alta	Alta
Rocas volcánicas Con Laminación o Estratificación		Media/alta	Media	--	Incompleta	Alta	Horizontal/continuo medio	Media	Media
Roca volcánica Con Textura Masiva		Baja	Baja	--	Incompleta	Alta	Transparente	Muy baja	Ausente
Roca volcánica Con Textura Aspecto de Brecha		Media/baja	Baja	--	Incompleta	Alta	Pendiente/discontinuo medio a bajo	Baja	Baja

Figura 3. Características de la respuesta sísmica en función de la textura de las rocas.

poca extensión y con fuertes discontinuidades para las áreas estudiadas. La siguiente figura muestra ejemplos de estos cuerpos visualizados en secciones 2D y 3D con trabajo de superposición de multi-volumenes y opacidades. También se muestra la impronta de este tipo de cuerpos sobre los mapas estructurales que resultan en altos acotados y circunscriptos bajo los cuales yacen los cuerpos dómicos masivos, estando algunos de ellos a la vez relacionados a fallas.

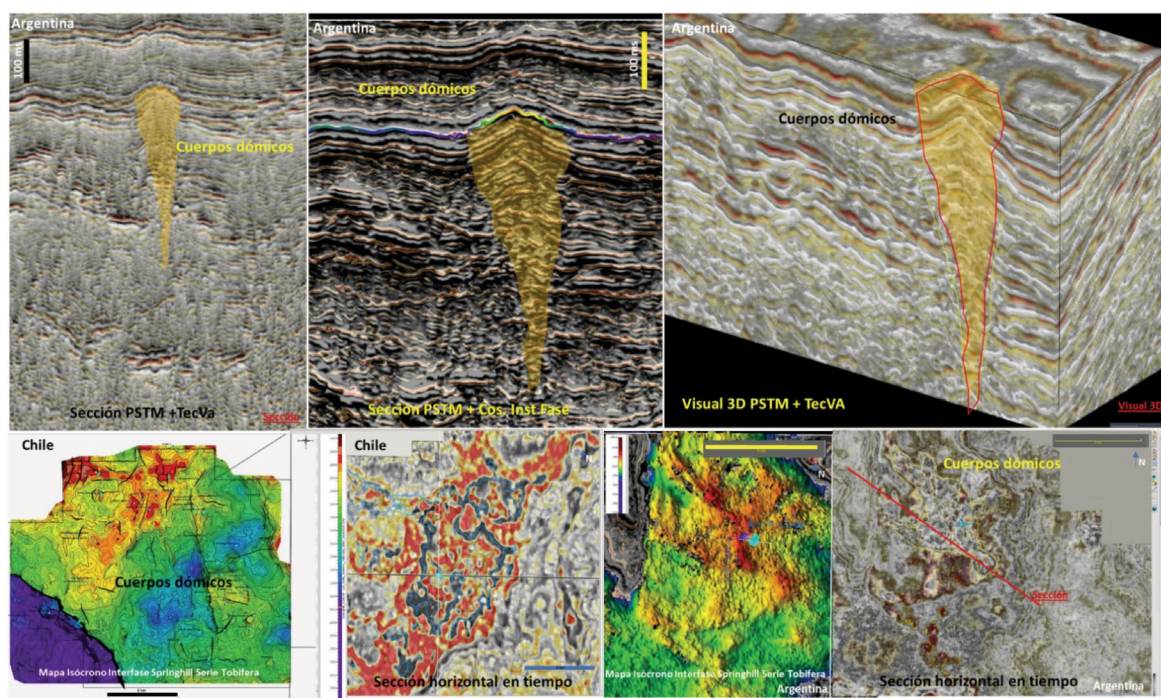


Figura 4. Ejemplos esquemáticos de patrones sísmicos de Rocas Volcánicas con textura masiva en Argentina y Chile.

Rocas Volcánicas con textura aspecto de brecha (Fig. 5): estos cuerpos poseen mayor extensión lateral, caracterizados por amplitudes de medias a fuertes y con pendientes mayores en su yacencia. No están asociados a zonas silencio sísmico en amplitud sino a conos angostos y de gran longitud en la vertical. No poseen evidencia marcada de su yacencia en los mapas estructurales al tope de la Serie Tobífera como es el caso de los cuerpos masivos. Presentan distribución de amplitudes discontinuas debido a sus mayores pendientes (ver mapa time slice)

Rocas Volcánicas con texturas laminadas o estratificadas (Fig. 6): poseen menor extensión lateral y con mayor incidencia de discontinuidades, están mayormente dentro de la resolución sísmica por lo que su caracterización es limitada y presentan menores pendientes. Presentan patrones sísmicos más paralelos. Presentan en las visualizaciones 3D cuerpos asociados a zonas de fracturas y con extensiones limitadas.

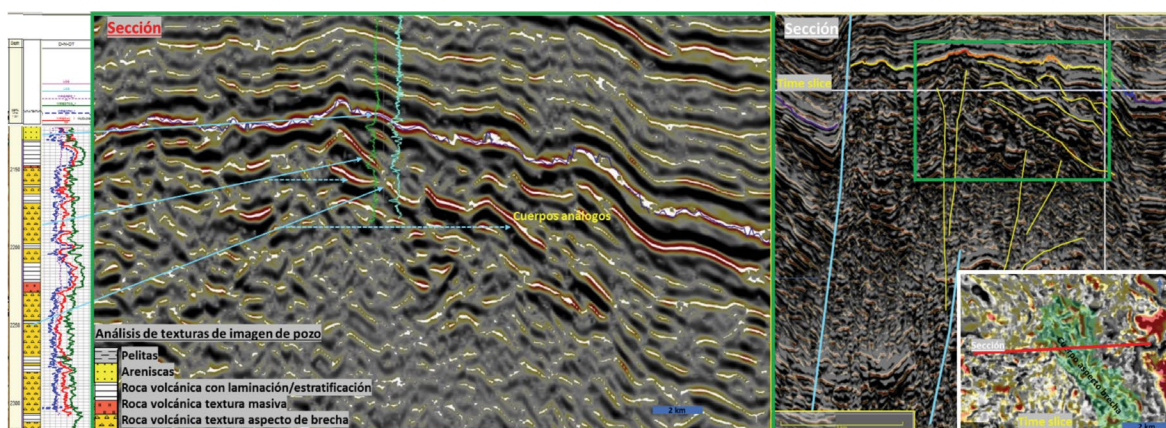


Figura 5. Esquema de Rocas Volcánicas con textura aspecto de brecha.

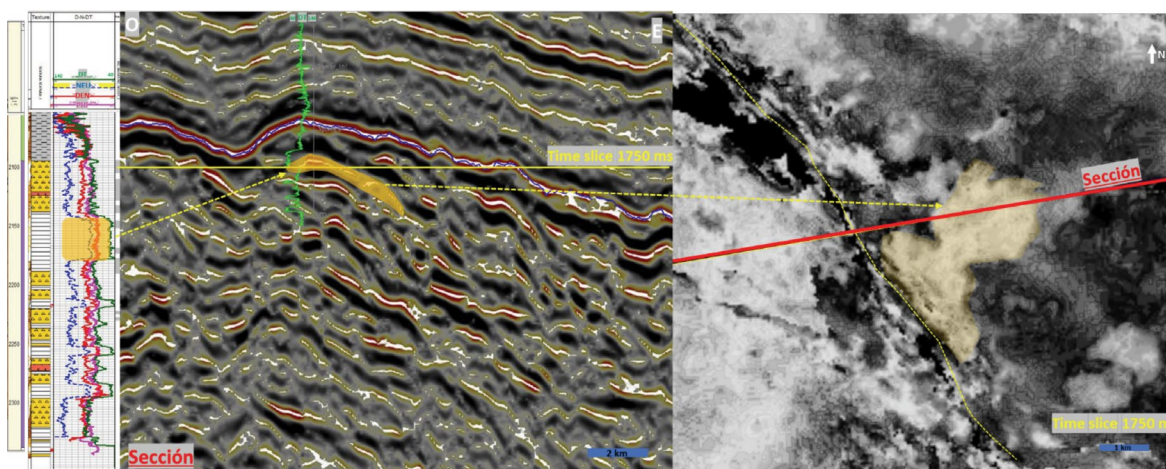


Figura 6. Esquema probable de Rocas Volcánicas con texturas laminadas o estratificadas.

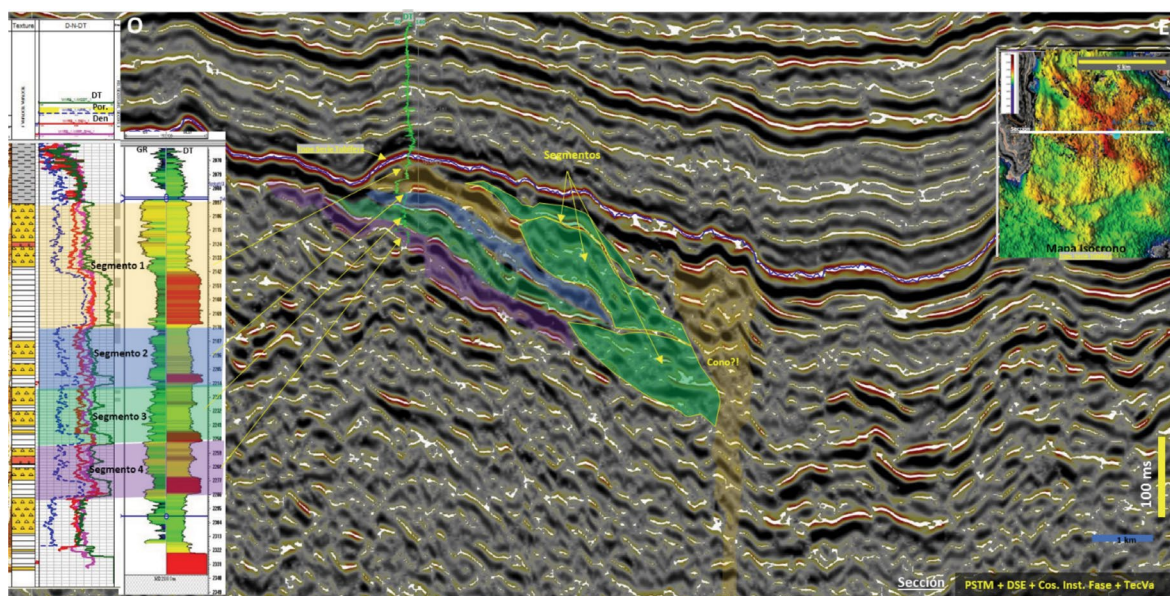


Figura 7. Interpretación sísmica y asociación pozo/sísmica.

INTERPRETACIÓN CUALITATIVA

Actualmente se está trabajando en base a los datos recopilados de curvas, de coronas y de análisis de laboratorio en la identificación de las facies volcanoclásticas presentes en los pozos perforados. Estos resultados arrojarán una separación de la secuencia de la serie Tobífera que podría en el futuro ser dividida, con estos nuevos datos de pozo, en ciclos o períodos de depositación. Desde la sísmica puede realizarse una división preliminar a partir de un pozo de referencia que posee una característica particular, dada por la presencia de dos segmentos representados por una parte inferior de alta velocidad y una superior de baja velocidad. Esta sucesión cíclica fue asociada cualitativamente al dato sísmico resultante de la superposición de amplitud, coseno instantáneo de la fase y TecVa. El resultado de esta interpretación y asociación pozo/sísmica se presenta en la Fig. 7. La definición sísmica utilizada divide al pozo en segmentos limitados y superpuestos, con extensión lateral dada por las variaciones de amplitud y las discontinuidades aportadas por el TecVa. Como puede observarse en la Fig. 7, se definen en la ubicación del pozo por sísmica cuatro segmentos, y lateralmente se asocian otros segmentos interpretados con los mismos criterios. También se interpreta un posible cono angosto que secciona a los segmentos y produce una flexura en las reflectividades producto de su yacencia e intrusión.

En un esquema más regional, cuando se observan las yacencias de los patrones sísmicos que se están interpretando para la Serie Tobífera, éstos pueden ser delimitados en áreas definidas, lo cual indicaría ámbitos de depositación diferentes. La Fig. 8 muestra un ejemplo de cuerpos con una clara definición por curvas con diagramas en bloque dada por altos valores de GR y bajos tiempos de tránsito en intervalos constante entre 150 m hasta 300 m (sector oeste de la sección

sísmica), y diagramas en ciclos o segmentos dados por una alternancia relativamente constante de valores altos a medios en GR y valores bajos y medios intercalados de tiempos de tránsito (sector este de la sección sísmica).

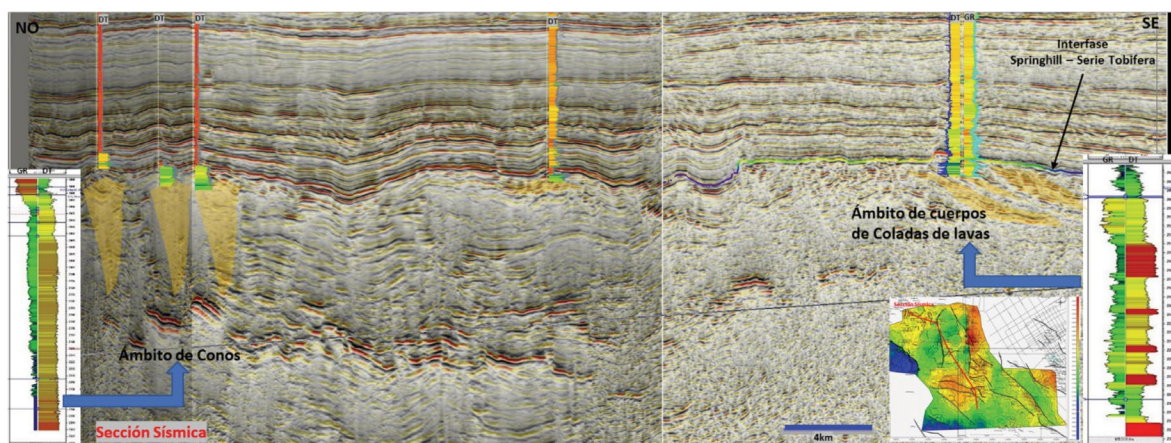


Figura 8. Ejemplo de cuerpos con clara definición por curvas con diagramas en bloque dada por altos valores de GR y bajos tiempos de tránsito en intervalos constante entre 150 m hasta 300 m (sector oeste) y diagramas en segmentos dados por una alternancia relativamente constante de valores altos a medios en GR y valores bajos y medios intercalados de tiempos de tránsito (sector este).

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron resultados preliminares de interpretación sísmica cualitativa descriptiva de la Serie Tobífera. La caracterización sísmica de la Serie Tobífera está condicionada a su variabilidad de geometrías y deyacencia.

Se realizó una primera aproximación cualitativa de interpretación sísmica de tres elementos la Serie Tobífera definidos por su textura: Rocas Volcánicas con textura masiva, Rocas Volcánicas con textura aspecto de brecha y Rocas Volcánicas con texturas laminadas o estratificadas.

Se reconocieron y asociaron patrones sísmicos a estos tres elementos texturales definidos utilizando los atributos post-stack: Dip Steered Enhancement, coseno instantáneo de la fase aplicado sobre volumen con DSE y el atributo de amplitud TecVa.

La hipótesis de la serie Tobífera fracturada es la principal fuente de caracterización sísmica definida por atributos geométricos que magnifican la alta discontinuidad vertical y areal de estos reservorios.

La visualización sísmica de superposición de atributos con opacidad es la principal herramienta de interpretación utilizada para el reconocimiento de la Serie.

La interpretación sísmica preliminar propone dividir a la Serie en segmentos que corresponderían a ciclos de depositación dentro de la secuencia de cuerpos volcanoclásticos pertenecientes a la Serie.

AGRADECIMIENTOS

A las gerencias de Exploración Cuenca Austral, Tierra del Fuego y de Geofísica de la dirección de Upstream de YPF S.A.

REFERENCIAS CITADAS

- Bulhões, É. M., 1999, "Técnica "Volume De Amplitude" Para Mapeamento De Feições Estruturais". 6th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Chopra, S. y K. J. Marfurt, 2007, "Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization". SEG Geophysical Developments Series No. 11.
- Covellone, G, A. Salinas y A. Gavarrino, 2016. Exploración Internacional. Desafío y Éxito Exploratorio. Cuenca Magallanes. Chile. Informe Interno YPF S. A.
- Guoping Zuo y Guozhang Fan, 2011, "A Study of Volcanic Rocks Identification by Seismic Methods in Subei Basin, Jiangsu Province, China". AAPG Annual Convention and Exhibition.
- Schiuma M., G. Hinterwimmer y G. Vergani (editores), 2002, "Rocas Reservorios de las Cuencas Productivas de la Argentina". IAPG.
- Simonetto, L, 2018. Interpretación de imágenes de pozo Serie Tobífera, Tierra del Fuego, Cuenca Austral, Argentina. Informe Interno YPF. S.A.
- Taner, M. T., F. Koehler y R. E. Sheriff, 1979, "Complex seismic trace analysis". Geophysics, Vol. 44, No. 6, pp. 1041-1063.