

APLICACIÓN DE SÍSMICA E INVERSIÓN ACÚSTICA DE ALTA FRECUENCIA PARA EL DESARROLLO DE UN YACIMIENTO ANTIGUO EN LA CUENCA NEUQUINA

Julián Stein¹, Santiago Juranovic², John Castagna³

1: Medanito S.A., Buenos Aires. julianstein@medanito.com.ar

2: DataSeismic S.A., Buenos Aires. sjuranovic@dataseismic.com

3: LuminaGeophysical, LLC, Houston, TX. john.castagna@luminageo.com

Palabras clave: **geofísica, alta frecuencia, impedancia acústica**

ABSTRACT

Application of seismic and acoustic inversion of high-frequency for the development of an ancient deposit in the Neuquén Basin

This paper presents the use of a technique (Sparse Layer algorithm) to increase the frequency of seismic cubes with the aim of improving vertical resolution and help understanding reservoir characteristics (lateral and vertical changes) and to define new areas to drill in Aguada del Chivato / Aguada Bocarey field. High frequency cubes were generated and used as input to calculate different high frequency attributes cubes. The work was done on deposits of the Mulichinco Formation, which is one of the most prolific reservoirs in the Neuquén Basin.

The results show a good relationship between low impedance values and good reservoir conditions (Z_p vs PHIE) and the possibility of using the impedance as a prospective guide.

It is important to notice that the use of this methodology generates more work for the geophysical interpreter, due to the increasing seismic resolution and the new events to interpret. It is necessary to establish a geological criterion to define which is the maximum frequency accepted to interpret.

OBJETIVO

Con el objetivo de aumentar la producción y desarrollar nuevas áreas en un yacimiento antiguo, con casi 50 años de historia, iniciamos la búsqueda de una metodología que permita orientar con mayor certeza el desarrollo del mismo. Teniendo en cuenta que la principal formación productora presenta una importante heterogeneidad litológica y espesores relativamente pequeños, la idea fue intentar aumentar la resolución vertical de la información sísmica y realizar procesos especiales sobre esta nueva sísmica de alta frecuencia, potenciando de esta manera los diferentes métodos de extracción de atributos usualmente utilizados.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se corresponde con el Yacimiento Aguada del Chivato / Aguada Bocarey dentro del sector nororiental de la Cuenca Neuquina. Esta importante cuenca productora se encuentra limitada al sur por el Macizo Norpatagónico, por el Sistema de la Piedra Pintada hacia el noreste, y el eje cordillerano andino en el oeste. Tiene una forma triangular, abarcando más de 160.000 km² y contiene una sucesión sedimentaria Mesozoica-Cenozoica de 7.000 metros de espesor (Figura 1).



Figura 1. Ubicación y límites de la cuenca neuquina.

En forma resumida, podemos decir que la historia de la cuenca comienza con el inicio de un *rift* en el Triásico tardío que fue provocado por un colapso extensional de orientación sudoeste-noreste, e influenciado por heterogeneidades estructurales inherentes al sustrato (Mpodozis y Ramos, 1989). Esta subsidencia controlada por fallas fue reemplazada por una subsidencia regional.

Varios episodios de inversión tectónica modificaron la forma del depocentro y rejuvenecieron las áreas de aporte sedimentario. La Cuenca Neuquina presenta entonces, una evolución tectónica compleja con al menos tres intervalos de roca generadora de hidrocarburos y numerosas rocas reservorios. Para profundizar sobre el tema existe

una variada literatura que cubre los aspectos depositacionales y tectónicos de la cuenca, como los trabajos de Vergani *et al.*, (1995), Legarreta *et al.* (1989), o Gulisano *et al.*, (1995).

El trabajo aquí presentado se focalizó sobre la Formación Mulichinco (Weaver 1931) que es uno de los principales reservorios de hidrocarburos en la Cuenca Neuquina (Figura 2). Podemos encontrar afloramientos de la misma desarrollados en el centro y oeste de la cuenca, representados por depósitos clásticos, fluviales y marino marginales (Zabala 1999). Dependiendo de la zona, se apoya discordantemente sobre las pelitas *off-shore* de la Formación Vaca Muerta o los depósitos marino-marginales de la Formación Quintuco y en el tope es cubierta por la Formación Agrio y sus pelitas negras de indudable origen marino. Gulisano *et al.* (1984) relacionan a la Formación Mulichinco con depósitos de mar bajo (*lowstand*) con los que se iniciaría el ciclo marino correspondiente al tramo superior del Grupo Mendoza. Debido a su amplia distribución en el subsuelo y sus buenas condiciones de roca reservorio es objeto de innumerables investigaciones (Schwarz *et al.*, 2005, 2006, 2011). Existe un consenso general en dividirla en tres secciones principales, denominadas

Desde el punto de vista del reservorio, la Formación Mulichinco constituye un reservorio multicapa formado por areniscas de grano fino, limpias, de buenas condiciones petrofísicas, aunque con delgadas gargantas porales. Las permeabilidades y porosidades determinadas son muy variables (5-20%). Los geólogos de Medanito S.A., a partir de la información de perfiles, dividen a la Formación Mulichinco en tres secciones denominadas M1 (superior), M2 (media) y M3 (inferior). Recientemente se está estudiando un nuevo esquema de división interna basado en trabajos de estratigrafía secuencial (Schwartz y Veiga, 2012). Esta nueva división contiene distintas asociaciones de facies, depositadas en condiciones muy diferentes, incluyendo ambientes continentales, de transición y netamente marinos.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Etapa 1: Primer test sobre un cubo de alta frecuencia

Como fue mencionado previamente, existía una necesidad de buscar alguna herramienta geofísica que permitiera abordar el problema de la resolución sísmica vertical en un área con niveles productores que se encuentran por debajo del límite de resolución de una sísmica convencional. Zhang y Castagna (2011), propusieron el método de “*Sparse Layer*” como algoritmo para generar un modelo de capas de alta resolución en el cual no existe discriminación de capas delgadas, resultando en un volumen sísmico de series de reflectividad. El algoritmo intenta resolver un modelo geológico con el mínimo número de capas que puedan representar la traza sísmica sin el uso de modelos previos, ni información de pozos. Este modelo de capas es restringido de acuerdo a la respuesta espectral de los datos sísmicos de entrada, mostrando mejor resolución y estabilidad lateral comparado con otros métodos de inversión espectral. El proceso de “*Sparse Layer*” es un proceso traza a traza, por lo que las discontinuidades laterales vienen dadas por variaciones en la forma de la respuesta sísmica para un evento determinado. Una modificación de este algoritmo, para calcular un volumen sísmico de alta frecuencia con banda limitada, fue utilizada en el presente estudio.

El uso de esta metodología no ha sido reportado en la literatura para el área de estudio, motivo por el cual los resultados presentados pueden servir como punto de partida para generar un debate con respecto al uso de este método de inversión para resolver problemas geológicos en la Cuenca Neuquina.

En el año 2011, Medanito decide contratar a las compañías Dataseismic/Lumina para realizar una prueba sobre un cubo sísmico (*PreStack Time Migration*) que cubre toda el área del yacimiento. Como producto de esta prueba se obtuvieron volúmenes sísmicos de alta frecuencia con frecuencias máximas de 80 Hz, 140 Hz, 200 Hz y 260 Hz los cuales fueron evaluados para

determinar su validez y aplicabilidad en la caracterización de los yacimientos presentes en la Formación Mulichinco.

Los datos utilizados para la prueba fueron 19 pozos, 4 horizontes sísmicos y el cubo sísmico PSTM. Sobre la información sísmica se aplicó un proceso de acondicionamiento para mejorar la relación señal/ruido dentro del ancho de banda de los datos y eliminar ruido de alta frecuencia, posteriormente se realizó la calibración sísmica utilizando el nuevo cubo PSTM acondicionado. Este volumen PSTM acondicionado y calibrado fue utilizado como volumen de entrada para el proceso de inversión espectral. La Figura 4 muestra un esquema simplificado del flujo de trabajo realizado.

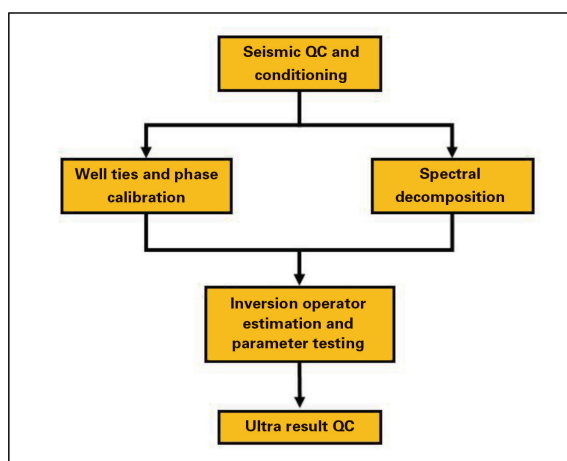


Figura 4. Esquema del flujo de trabajo aplicado.

El primer paso del análisis de los resultados de la sismica de alta frecuencia fue “entrenar” al intérprete a mirar los nuevos cubos sísmicos que mostraban una elevada cantidad de reflectores y pequeños detalles que con la sismica “convencional” o de baja frecuencia no era posible observar.

A partir de un examen visual comparativo entre los diferentes volúmenes de alta frecuencia y revisión de las correlaciones con los pozos, se concluyó que el cubo Ultra 140Hz mostraba la mejor correlación con los eventos observados en los pozos, con una buena calidad de imagen

sísmica, continuidad lateral e interpretabilidad de los eventos.

Los valores de frecuencias mencionados corresponden al extremo del ancho de banda involucrado en el cubo generado. En la Figura 5 se puede observar el espectro de la PSTM y el espectro correspondiente para el cubo Ultra140Hz, donde los máximos valores de amplitud alcanzan los 80 Hz y a partir de allí comienzan a disminuir hasta los 140 Hz. La ventana de análisis de los espectros mostrados va desde 1 segundo hasta 1.5 segundos cubriendo por completo a la Formación Mulichinco.

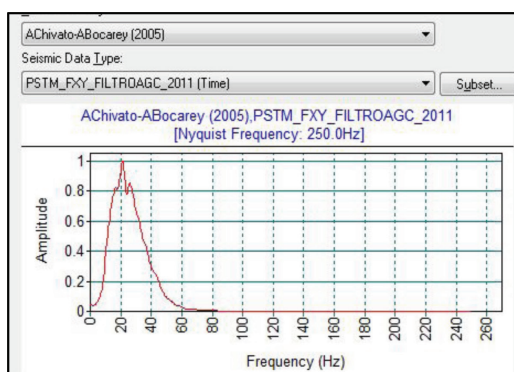
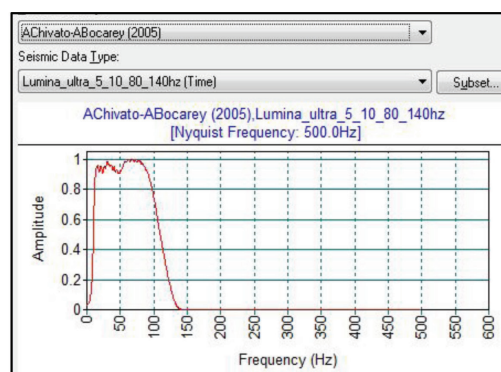


Figura 5. Espectro de frecuencias PSTM



Espectro de frecuencias Ultra 140Hz

Las Figuras 6, 7 y 8 muestran una comparación entre secciones verticales del cubo PSTM y del cubo Ultra 140Hz, en donde se puede observar la preservación de la imagen estructural del área con una mejora considerable en la definición de eventos estratigráficos en el cubo Ultra 140Hz. También se puede observar la buena correlación (Figura 8) que existe entre los eventos sísmicos del PSTM y los eventos sísmicos observados en la sección de alta resolución luego de la inversión espectral, así como la preservación de las amplitudes relativas en la sección sísmica.

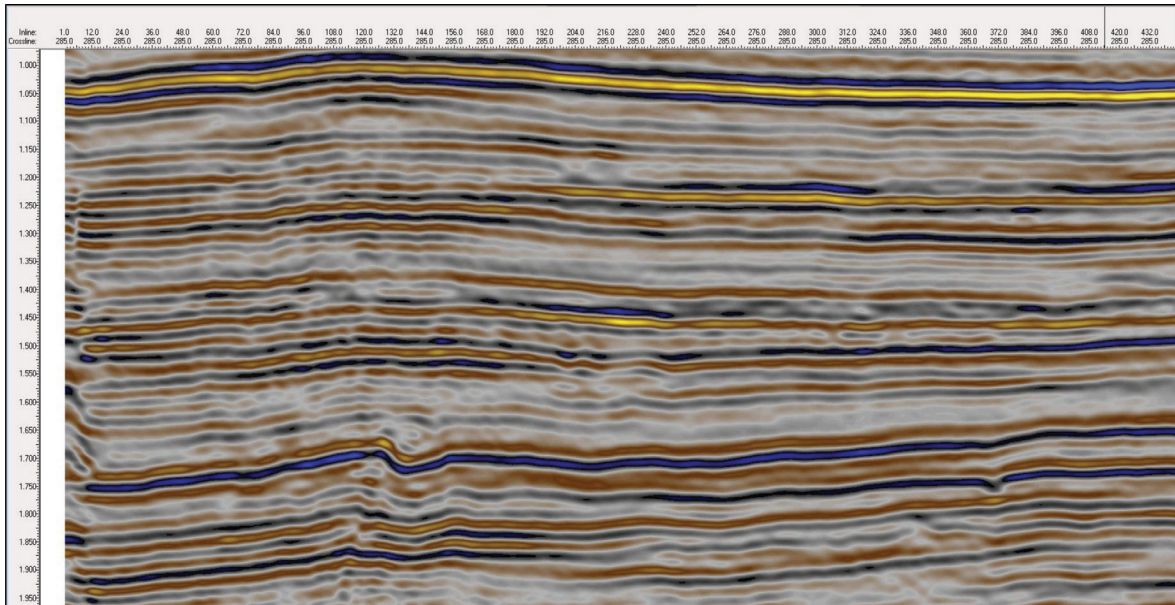


Figura 6. Imagen de una línea sísmica del cubo PSTM (2011) XL 285 dirección Oeste_Este

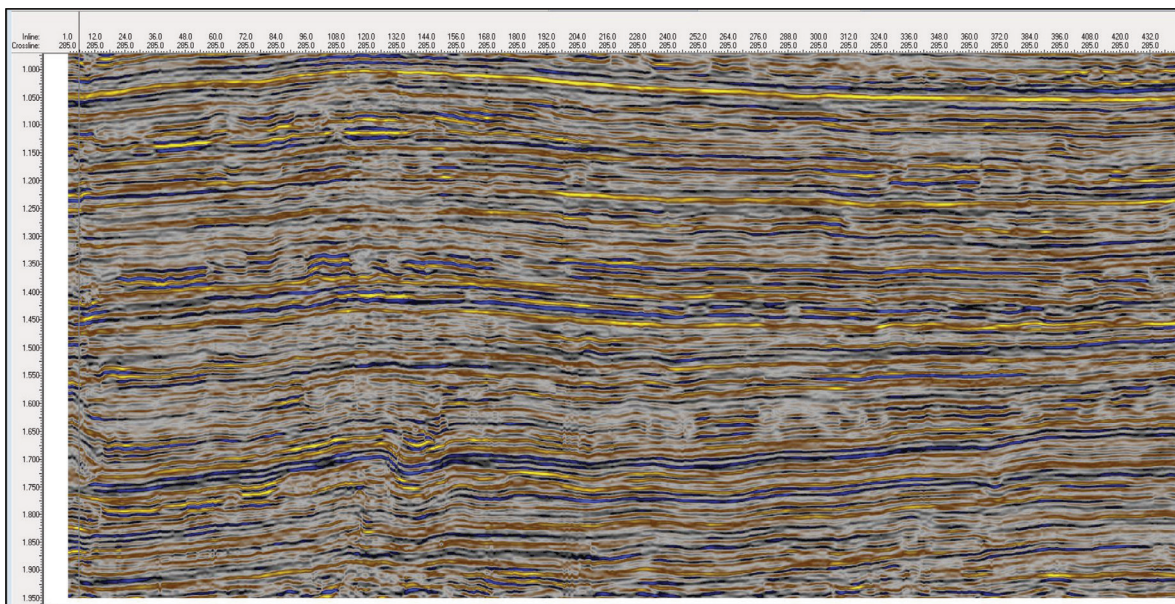


Figura 7. Imagen de una línea sísmica del cubo de alta frecuencia Ultra 140Hz XL 285 dirección Oeste_Este.

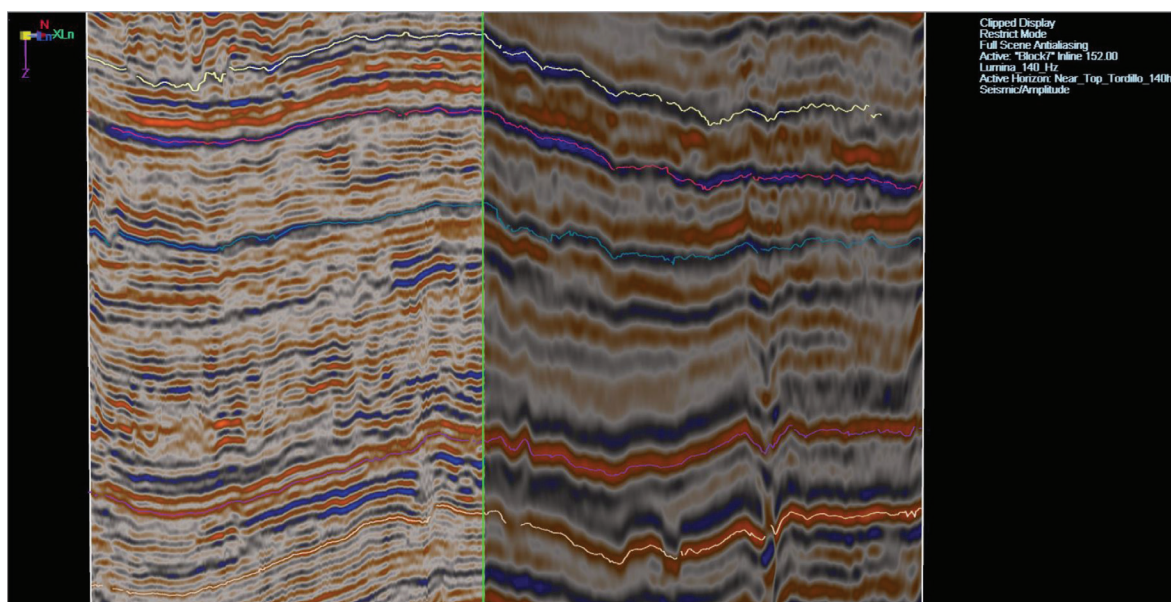


Figura 8. Comparación entre cubo Ultra 140Hz (izquierda) y cubo PSTM (derecha).

Durante el proceso de interpretación del cubo Ultra 140Hz, fue necesario ajustar los parámetros del “picado” de horizontes (y los del grillado también) para poder preservar las estructuras de alta frecuencia al momento de generar los mapas estructurales. Se trata de mayor trabajo para el intérprete, pero entendemos que la posibilidad de identificar pequeños rasgos geológicos justifica dicho esfuerzo. En estructuras simples y con reflectores continuos los parámetros de grillado no difieren de los utilizados con una sísmica convencional. En la Figura 9 mostramos un mapa en tiempo al tope de la Formación Mulichinco interpretado semi-automáticamente en el cubo Ultra140Hz y posteriormente grillado con un espaciamiento de 50 m x 50 m.

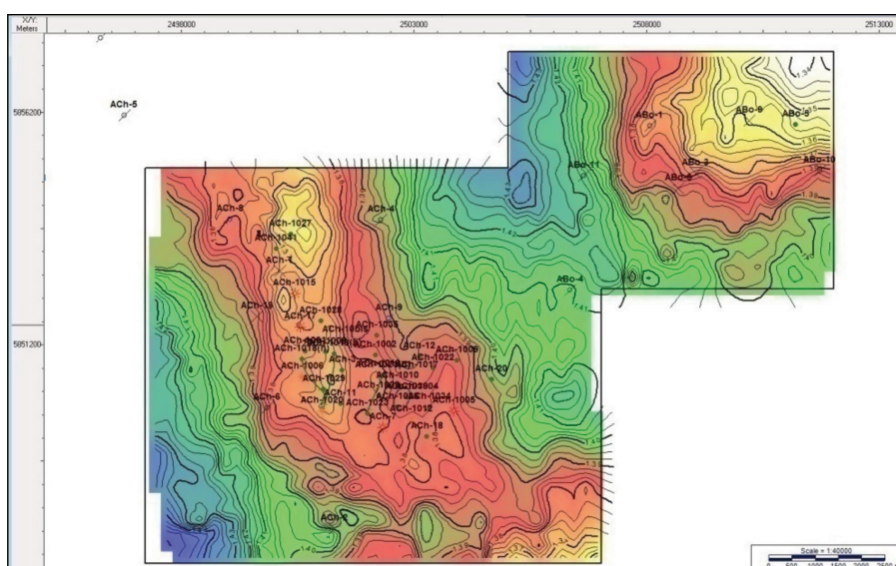


Figura 9. Mapa en tiempo para el tope de la Fm Mulichinco interpretado en el cubo sísmico Ultra140Hz y con una grilla de 50 m x 50 m.

El segundo paso consistió en comparar la respuesta sísmica con los datos de pozo. El cubo Ultra 140Hz muestra una mejor correspondencia de eventos con los pozos comparado con el PSTM, dado el incremento de resolución vertical. En la Figura 10 se observa la correlación de los perfiles de pozo con la sísmica PSTM y se hace difícil correlacionar los cambios en los perfiles con las correspondientes reflexiones sísmicas. Por otro lado, cuando observamos la Figura 11 vemos que la sísmica de alta frecuencia muestra pequeñas capas que varían lateralmente, obteniendo así un mejor ajuste al comportamiento diferente de los perfiles en cada pozo. Es importante destacar que los pozos analizados no fueron utilizados para el cálculo del cubo de alta frecuencia, por lo tanto, una aceptable correlación entre el pozo y la sísmica de alta frecuencia da mayor confianza al procesamiento realizado.

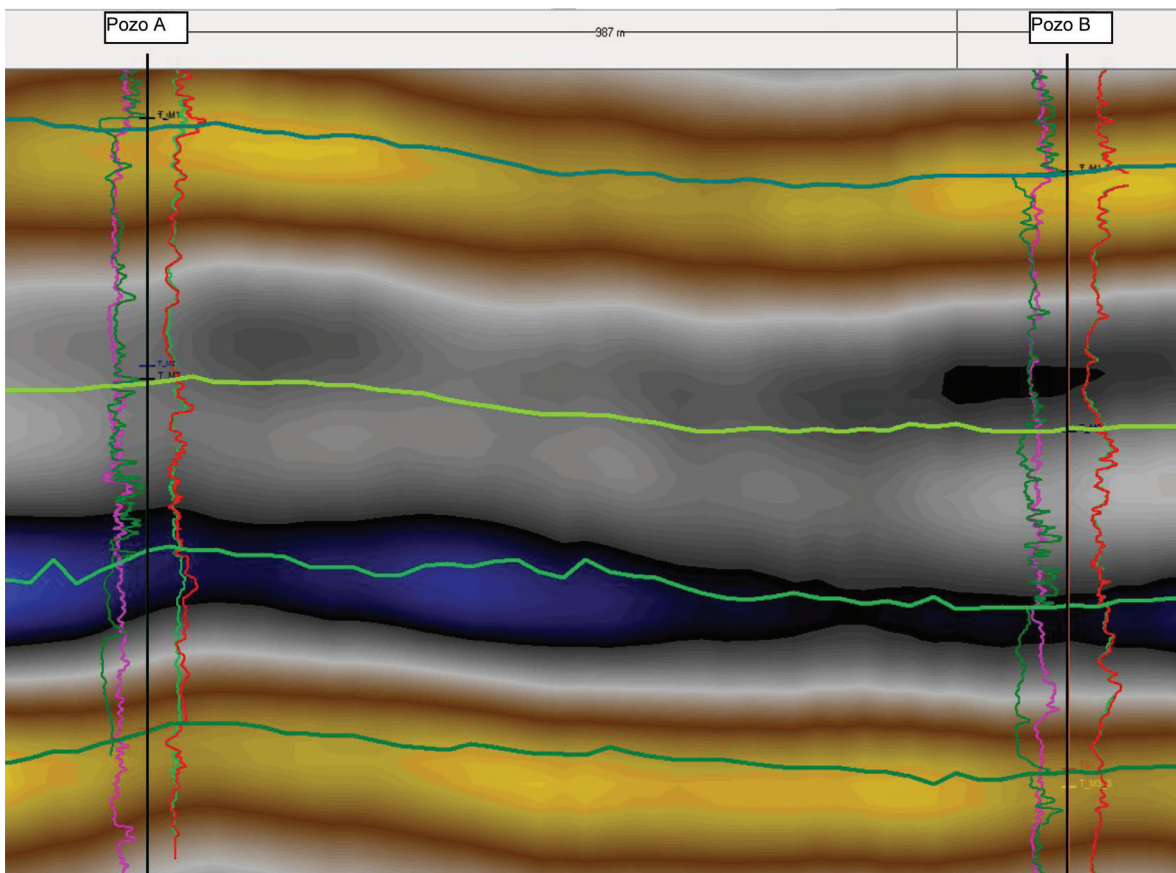


Figura 10. Correlación de la información de pozo con la PSTM. En verde los horizontes interpretados en el cubo Ultra 140Hz. A la izquierda de la trayectoria del pozo los perfiles GR y PEFy a la derecha los perfiles resistivos (AHT90y AHT20).

Una vez finalizado el *test* y observando que era posible utilizar estos cubos de alta frecuencia en el trabajo cotidiano del intérprete, se decidió calcular un cubo de Impedancia Acústica utilizando como *input* el cubo sísmico Ultra 140Hz. La inversión se realizó con el *software* Jason 8.3. Se tomaron los pozos que fueron calibrados en el cubo PSTM (35 en total) y la extracción de ondícula se realizó sobre el cubo sísmico Ultra 140Hz.

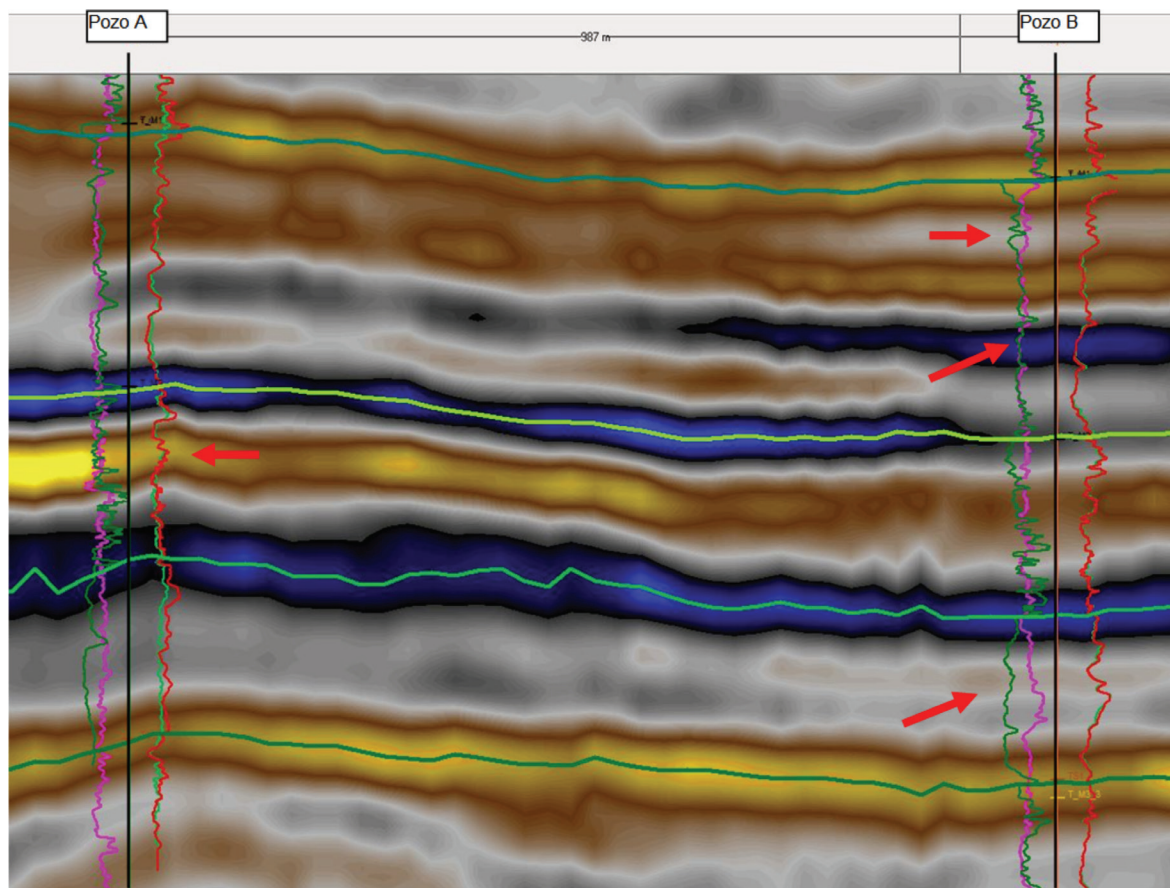


Figura 11. En el cubo Ultra 140Hz pueden observarse pequeñas capas que explican la respuesta diferente de los perfiles a igual nivel estratigráfico (ver las zonas indicadas con flechas)

El resultado de la inversión se muestra en las Figuras 13 y 14, donde se destaca el aumento en la resolución vertical si se la compara con la inversión realizada sobre el cubo PSTM (Figura 12). En cada posición de pozo se extrajo un *pseudo-log* de impedancia y se lo comparó con el perfil de impedancia del pozo, filtrado a la frecuencia del Ultra 140Hz. El *crossplot* de ambas impedancias puede observarse en la Figura 15 y a pesar de cierta dispersión, se obtuvieron valores de correlación cercanos a 0.7.

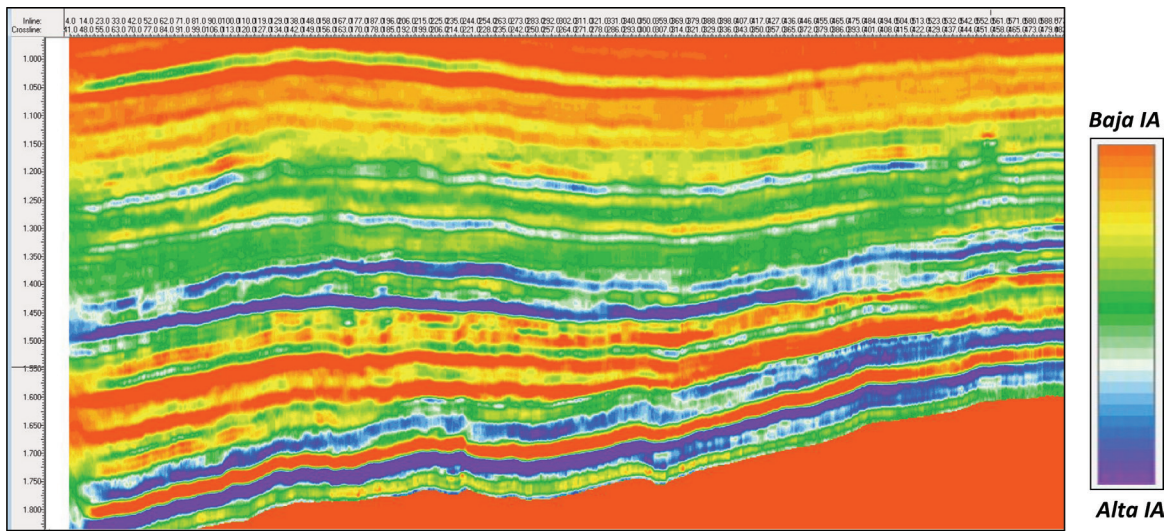


Figura 12. Línea de Impedancia Acústica regional (SW-NE) calculada con el cubo PSTM

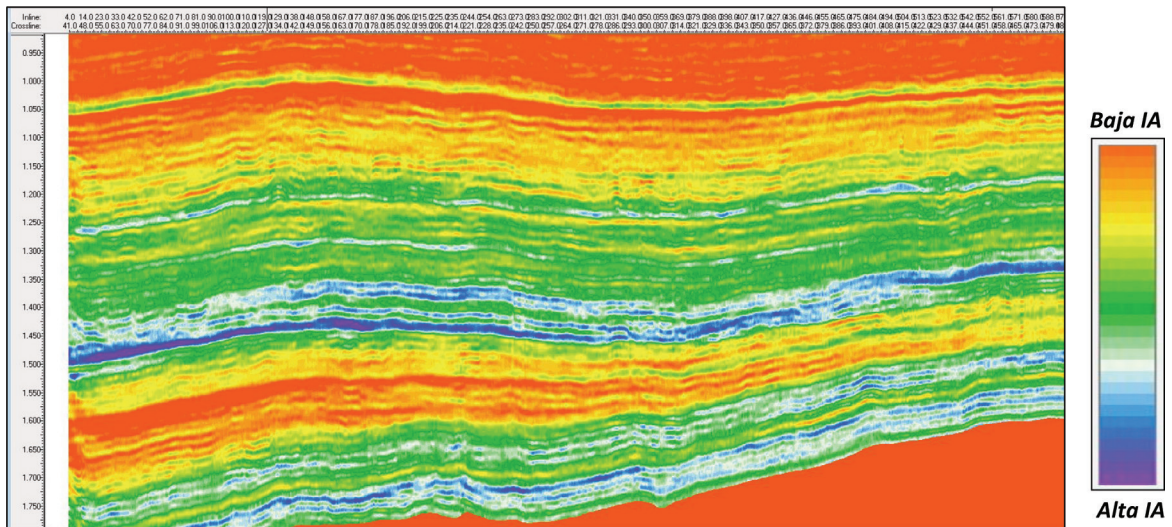


Figura 13. Línea de Impedancia Acústica regional (SW-NE) calculada con el cubo Ultra 140Hz

En la Figura 14 se observa un detalle de la sección regional mostrada en la Figura 13.

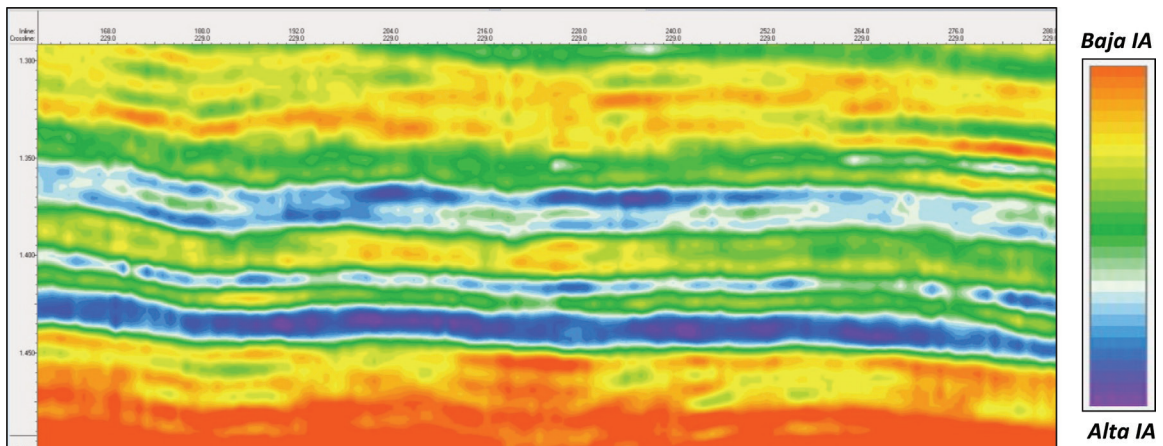


Figura 14. Detalle del cubo de Impedancia Acústica de alta frecuencia. Se observan las variaciones internas dentro de la Formación Mulichinco.

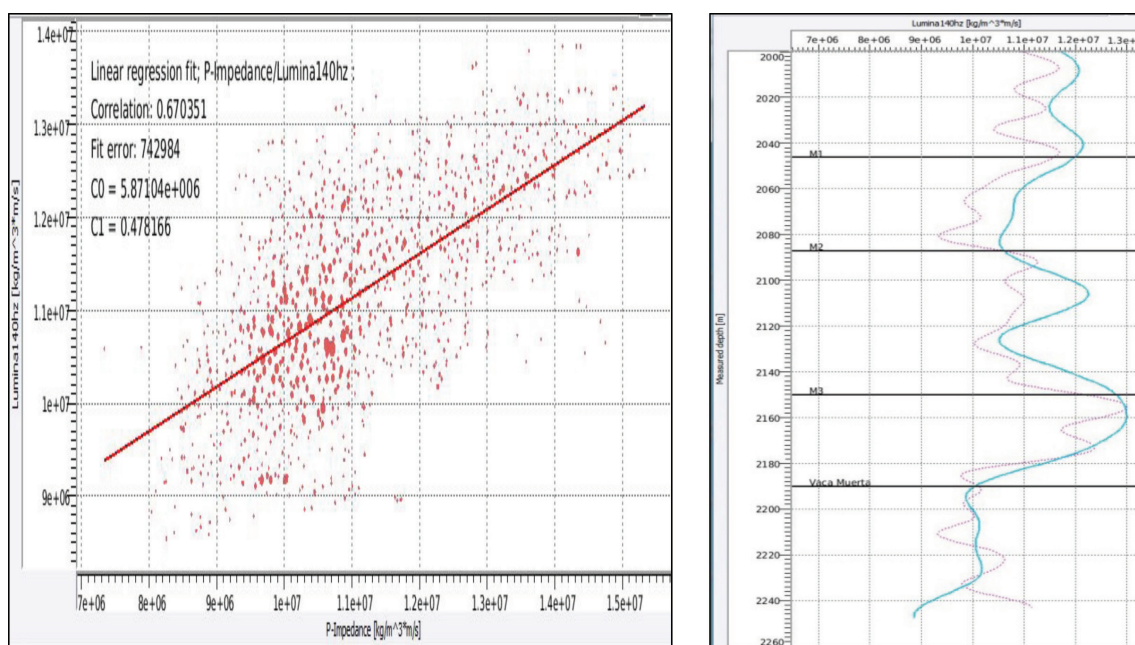


Figura 15. Crossplot de Impedancia Acústica obtenida de logs vs. Impedancia Acústica calculada con el Ultra 140Hz.

A la derecha de la Figura 15 se muestra la correlación entre la impedancia de pozo filtrada (curva magenta) y la impedancia calculada a partir del cubo Ultra 140Hz (curva celeste).

En un contexto de alta impedancia acústica para la Formación Mulichinco, se buscaron dentro de la misma las zonas de baja impedancia que mostraban una buena correlación con las zonas del reservorio de mejor calidad. Como se observa en la Figura 16 la imagen de detalle del cubo de Impedancia Acústica muestra a la izquierda de la trayectoria del pozo la porosidad efectiva (azul) coloreada con un *cut off* mayor del 10% y a la derecha la combinación de GR (verde) y PEF (magenta), que permite identificar las zonas con aporte carbonático.

Se realizaron *crossplots* entre los registros de impedancia de pozo filtrada y la impedancia calculada a partir del cubo Ultra 140Hz para los intervalos M1 y M3 separadamente (Figuras 17 y 18). En ambos niveles se observaron coeficientes de correlación de 0.73. En el intervalo M3 basal (Figura 18) la dispersión es mayor ya que el tramo superior de dicho intervalo tiene una componente carbonática importante. En el caso del intervalo M1 los valores que se “escapan” de la nube hacia la izquierda están asociados a pequeños niveles arcillosos (Figura 17).

En las Figuras 19 y 20 se muestran dos ejemplos más de correlación para el nivel M1 en pozos ubicados en el sur del desarrollo en los cuales se observa un patrón de correlación similar al observado previamente (Figura 17).

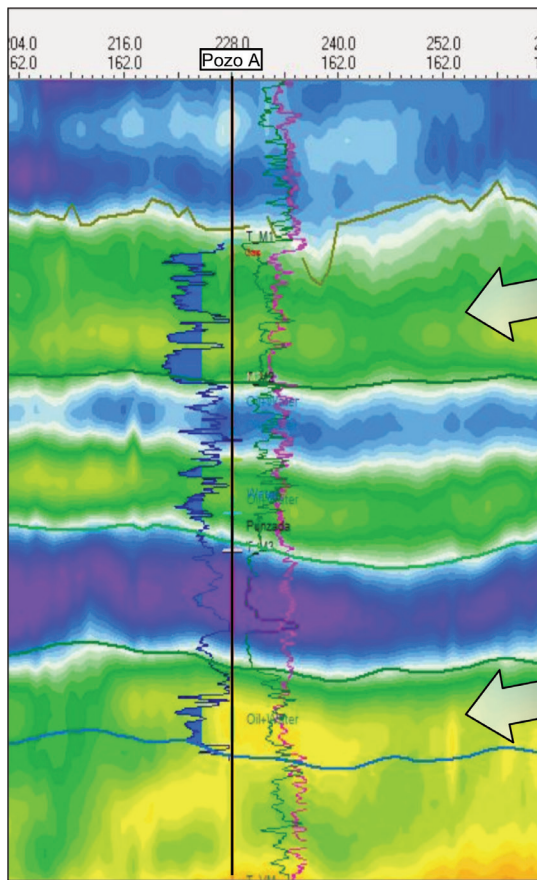


Figura 16. Relación entre Zp y PHIE

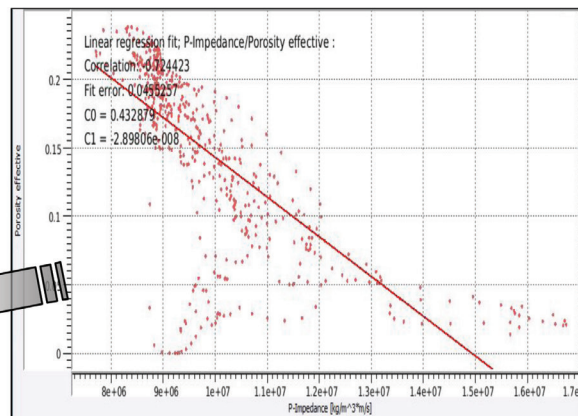


Figura 17. Crossplot de Porosidad efectiva vs. Impedancia para el intervalo M1.

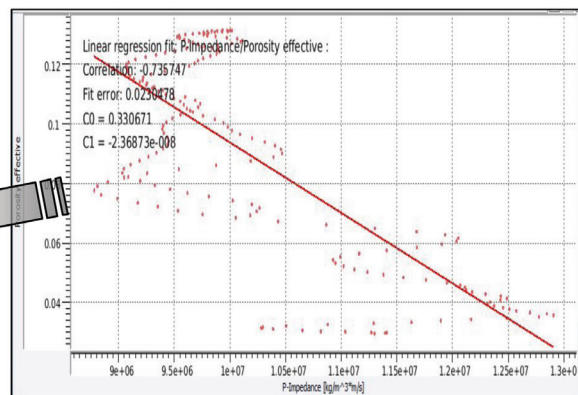


Figura 18. Crossplot de Porosidad efectiva vs. Impedancia para el intervalo M3 basal.

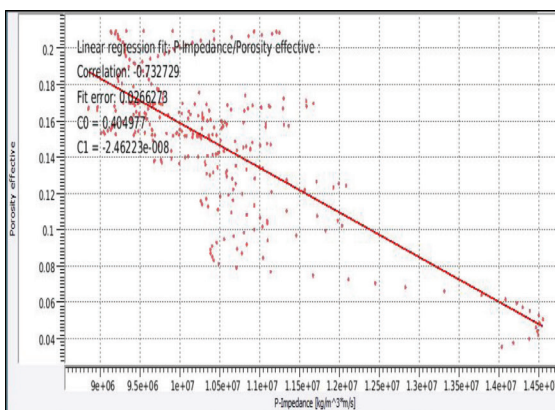


Figura 19. Crossplot de Porosidad efectiva vs. Impedancia para el intervalo M1.

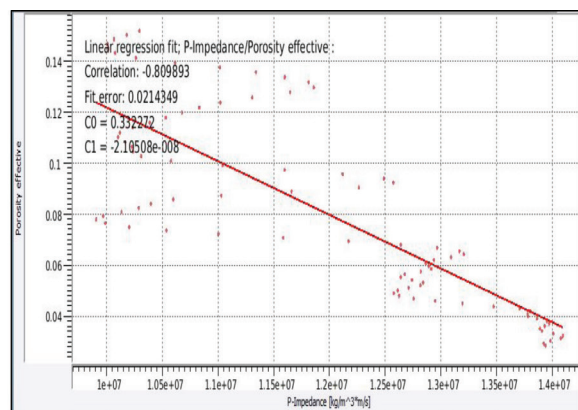


Figura 20. Crossplot de Porosidad efectiva vs. Impedancia para el intervalo M1.

Los cubos de impedancia acústica fueron interpretados y se utilizaron para definir nuevas propuestas de perforación. Para los distintos intervalos y sub intervalos se realizaron extracciones de valores de impedancia acústica y se generaron los mapas que muestran las Figuras 21, 22 y 23.

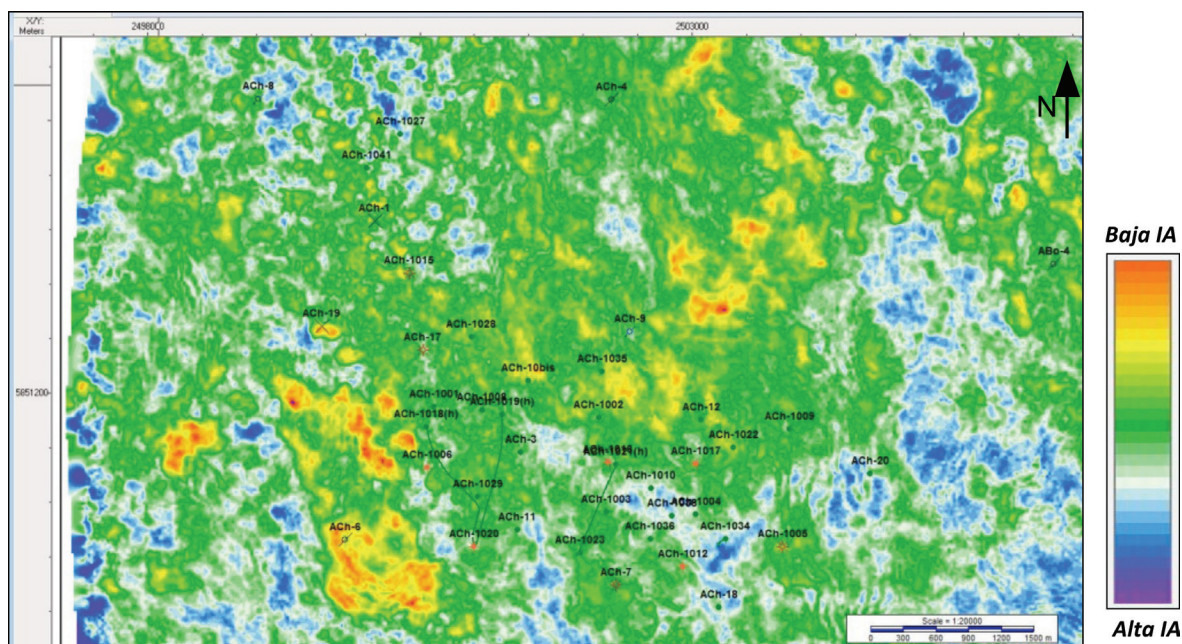


Figura 21. Mapa de distribución de impedancias acústicas (Z_p) para el intervalo M1.

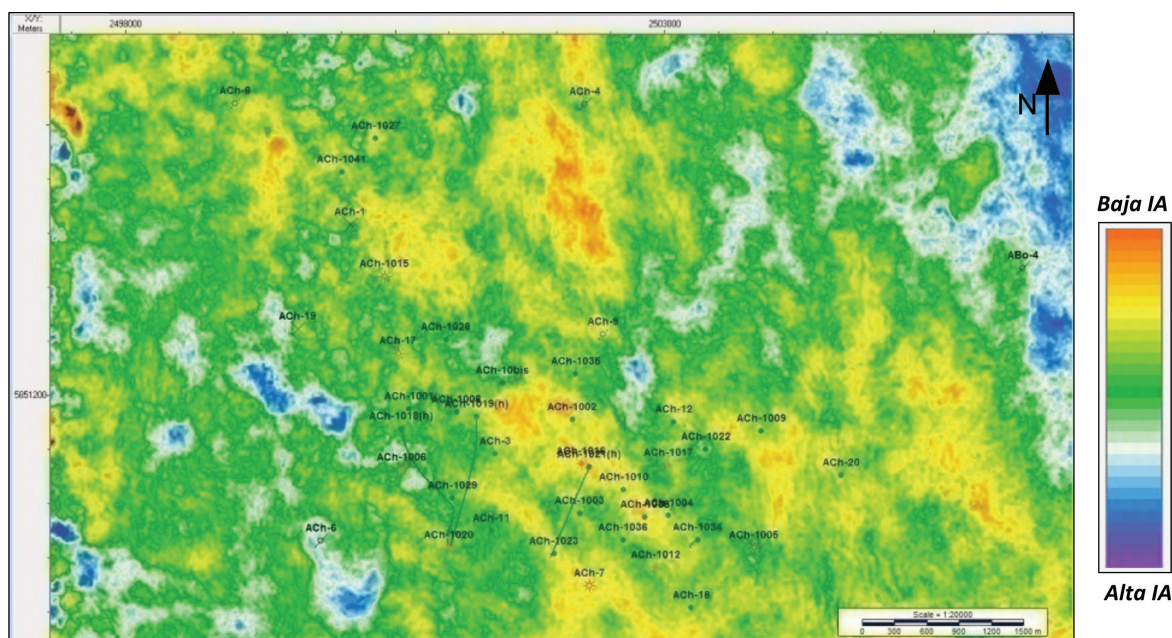


Figura 22. Mapa de distribución de impedancias acústicas (Z_p) para la base del intervalo M2.



En un marco de resultados promisorios, quedaban zonas e intervalos del reservorio donde el ajuste no era bueno. Sabíamos de las variaciones internas dentro del intervalo M1 y especialmente de la influencia que ejerce la componente carbonática en la respuesta del reservorio. Nuevos diseños de fracturas estaban mejorando la producción y debíamos mejorar la comprensión del reservorio. Por otro lado, el nuevo esquema de división interna, basado en los conceptos de estratigrafía secuencial que se quiere aplicar sobre el reservorio define un mayor número de superficies a correlacionar. Estos hechos nos impulsaron a realizar un nuevo procesamiento y generar un conjunto de cubos de atributos sísmicos de alta frecuencia a partir del nuevo cubo sísmico de alta frecuencia.

116

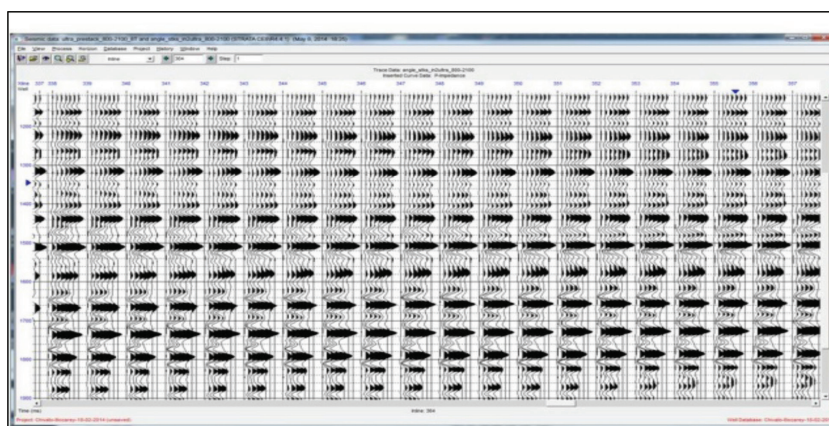
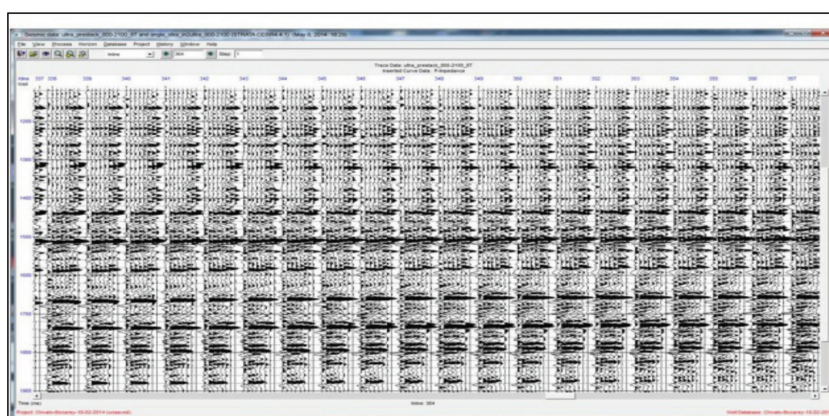


Figura 24. *Gather* Acondicionado - *Input* para la inversión espectral.



Gather luego de aplicar inversión espectral usado para generar el cubo Ultra 150Hz.

La metodología de inversión espectral de datos pre-apilamiento es similar a la citada previamente. Dado la mejora en la calidad de los datos como producto del re-procesamiento de los mismos, se pudo obtener un cubo *pre-stack* Ultra de 150Hz (Figura 25).

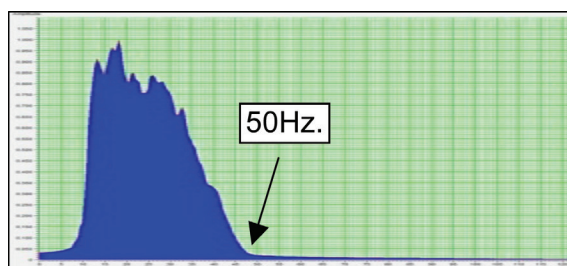
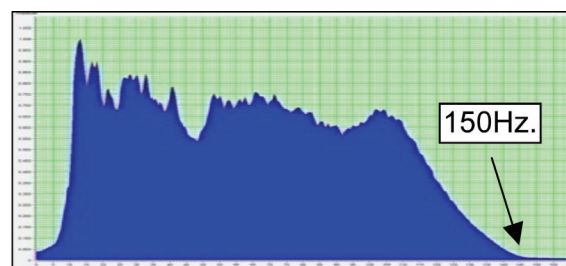


Figura 25. Espectro de frecuencia de los datos sísmicos de entrada



Espectro de frecuencias del cubo sísmico Ultra 150Hz.

Se realizó un atado de pozos con el cubo Ultra 150Hz, donde los coeficientes de correlación, para la ventana de análisis seleccionada, oscilaron entre 0.58 y 0.7 (Figura 26).

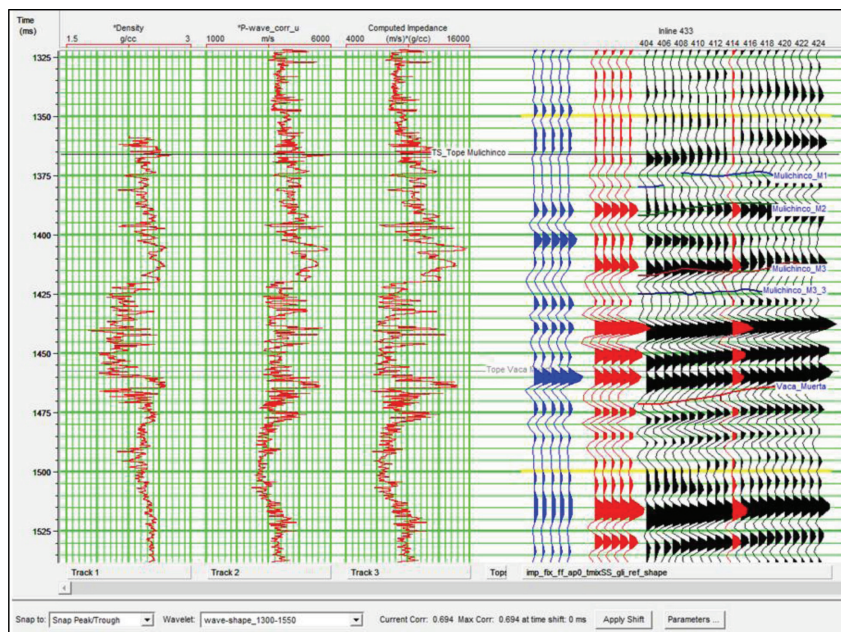
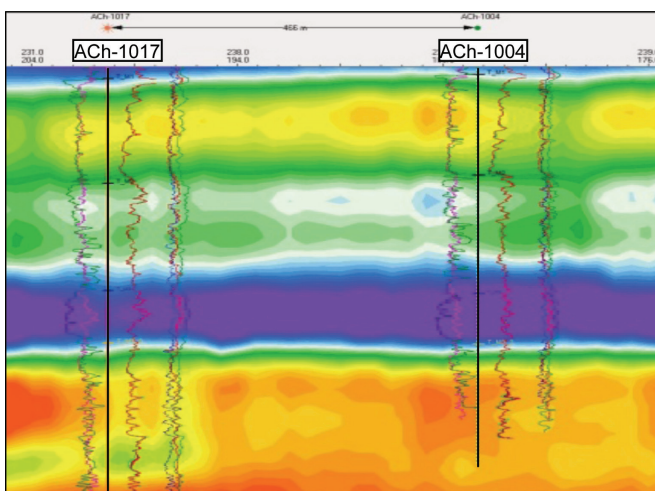


Figura 26. Ejemplo de correlación del sismograma sintético (azul) y el cubo Ultra 150Hz.

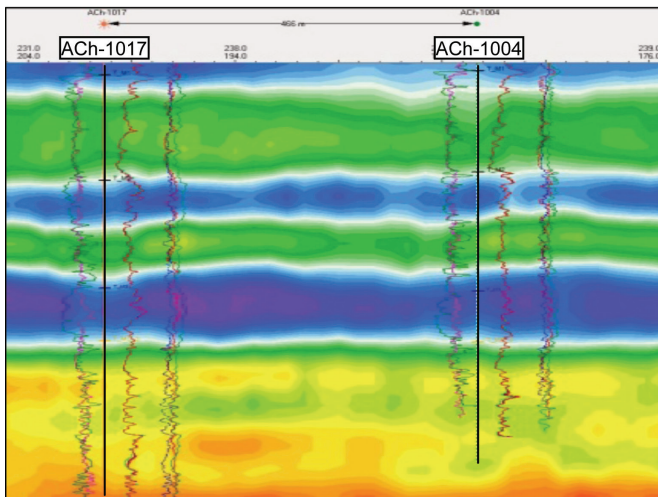
Sobre un total de 50 pozos finalmente fueron seleccionados 13 para continuar con los trabajos previstos, debido a la calidad y disponibilidad de registros, cinco de los cuales atraviesan la columna estratigráfica hasta alcanzar la Formación Tordillo.

En la Figura 27 pueden compararse los cubos Z_p calculados con distintos cubos sísmicos usados como dato de entrada para la inversión. En primer lugar tenemos un cubo de impedancias calculado con la PSTM (2011), en el centro tenemos la Z_p calculada a partir del primer cubo de alta frecuencia procesado (Ultra 140Hz) y que se obtuvo a partir de la inversión espectral directa sobre el cubo PSTM y finalmente la impedancia calculada con el cubo Ultra 150Hz que se calculó en la segunda etapa del trabajo, procesando directamente los gathers de la sísmica, generando los gathers de alta frecuencia para luego obtener el cubo final Ultra 150Hz.

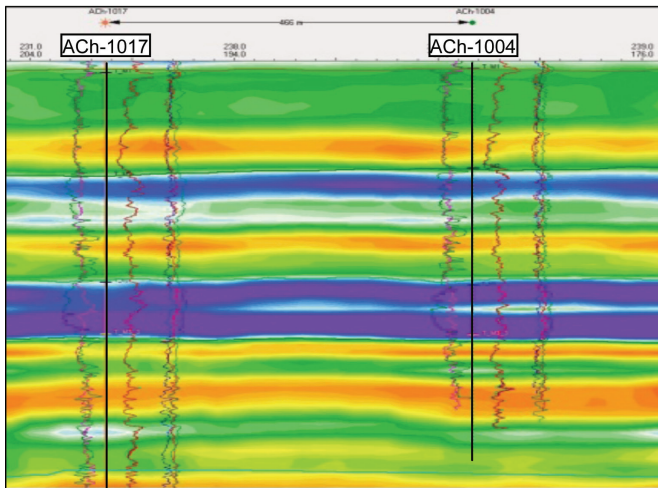


La Figura 28 muestra el *crossplot* entre el cubo Z_p calculado a partir de la PSTM original y la impedancia Z_p calculada con el cubo Ultra_150Hz. El coeficiente de correlación es de 0.87. Entendemos que este valor de correlación le da solidez al proceso de inversión realizado utilizando el cubo sísmico de alta frecuencia, como al resto de los procesos

Figura 27. Comparación entre: Z_p calculada con PSTM (2011)



Zp calculada con Ultra 140Hz (1ª etapa).



Zp calculada con Ultra150Hz (2ª etapa gathers acondicionados).

que se llevaron adelante.

Junto con el cubo Zp se calcularon Zs, Vp/Vs ratio, Density, Lambda-Mbhu, Mbhu-Ro, Poisson ratio, Fracability, Ductibility y Brittleness Index. Los tres últimos cubos son productos de un estudio más integral de análisis mineral y petrofísico realizado con datos de coronas y testigos rotados, que incluye modelado de física de rocas y AVO.

Al momento de escribir este trabajo estamos recibiendo el conjunto de cubos sísmicos mencionados motivo por el cual no contamos con el tiempo suficiente para analizarlos. Se decidió mostrar parte del trabajo realizado y el resultado del cubo Zp para poder compararlo con la información ya existente.

CONCLUSIONES

Consideramos que los resultados obtenidos de los cubos de alta frecuencia en amplitud e impedancia acústica (Zp) son satisfactorios. Los mismos nos ayudaron a definir nuevas propuestas de pozos, los cuales se perforaron y se obtuvieron los resultados esperados.

El uso de cubos Ultra (140 y 150 Hz) para mejorar la resolución de los

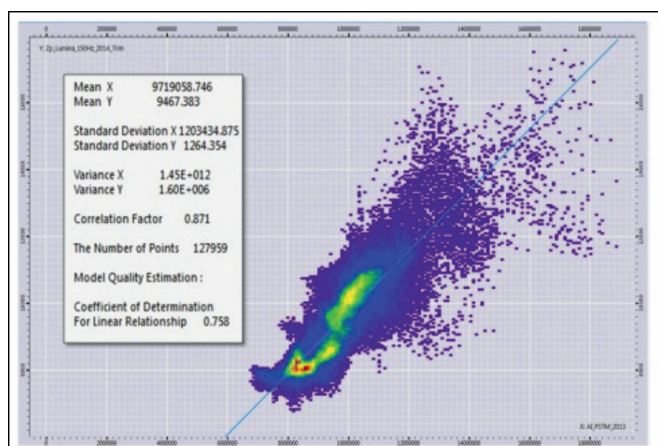


Figura 28. Crossplot entre Zp (PSTM) vs Zp (Ultra_150HZ)

datos sísmicos permitió detectar eventos delgados no observables en la sísmica convencional que presentan buena correlación con los registros de pozos y muestran discontinuidades laterales consistentes con la geología local. El volumen de impedancia acústica resultante de la inversión del volumen Ultra 140Hz, muestra una buena correlación con la impedancia de los pozos, permitiendo hacer una caracterización detallada de los diferentes intervalos de interés dentro de la Formación Mulichinco.

El uso de esta metodología genera mayor trabajo para el intérprete geofísico, debido al aumento de la resolución sísmica y la “aparición” de nuevos eventos para interpretar. Es necesario establecer un criterio para definir cuál es la frecuencia máxima aceptada para poder interpretar la información generada y que dicha información sea geológicamente consistente.

Sabemos de lo controvertida que es esta técnica y creemos que este estudio puede ayudar a abrir un debate en nuestra comunidad de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Medanito S.A. por permitir publicar este trabajo.

A Daniel Soubies por haber compartido sus opiniones durante los primeros pasos de este trabajo.

A Alejandro Liberman, geólogo y compañero de trabajo, con quien compartimos el día a día del yacimiento.

A Marcelo Botti y Silvia Sicilia por el aporte de figuras, el diseño y la compaginación de este trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|--|---|
| <p>Alonso, J. Giusiano, A. E., Chebli G. y Ibáñez G., 2011. “Shale Gas en la Provincia de Neuquén” Secretaría de Hidrocarburos, Energía y Minería Neuquén & Phoenix Oil&Gas, S.A.</p> <p>Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R., Digregorio, R.E., 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la Provincia de Neuquén. IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche. Actas 1: 236-259.</p> <p>Gulisano C.A. y Gutierrez Pleimling A.R., 1995. The</p> | <p>Jurassic of the Neuquen Basin. a) Neuquen Province. Secretaria de Minería de la Nación. Publicación N° 158: 1-111.</p> <p>Legarreta L. y Gulisano C.A. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior. En Cuencas sedimentarias argentinas. Chebli, G.A. y Spalletti, L.A. eds. Serie Correlación Geológica N°6: 221-243. Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad de Tucumán.</p> |
|--|---|

- Mpodozis, C. y Ramos, V., 1989. The Andes of Chile and Argentina. Ericksen, G.E., Cañas Pinochet, M.T. y Reimund, J.A. eds. *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences series v.11, Houston, Texas, USA.
- Schwarz, E. y Howell, J.A., 2005. Sedimentary evolution and depositional architecture of a Lowstand Sequence Set: Lower Cretaceous Mulichinco Formation, Neuquén Basin, Argentina. In: *The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics* (Eds G. Veiga, L. Spalletti, H. Howell and E. Schwarz), Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 252: 109–138.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A., Howell, J.A., 2006. Sedimentary response to a tectonically-induced sea-level fall in a shallow back-arc basin: The Mulichinco Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina. *Sedimentology*, Volumen 53: 55-81.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A., Veiga, G.D., 2011. La Formación Mulichinco (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. XVIII Congreso Geológico Argentino.
- Schwarz, E. y Veiga, G., 2012. Análisis estratigráfico y sedimentológico de la Formación Mulichinco en el Yacimiento Aguada del Chivato (Provincia de Neuquén). Informe preparado para Medanito S.A., Grupo de Sedimentología de Alta Resolución Centro de Investigaciones Geológicas, UNLP-CONICET, La Plata.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J., 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén basin, Argentina. En: A.J. Tankard, R. Suárez S., y H.J. Welsink, *Petroleum basins of South America*. AAPG Memoir 62: 383-402.
- Weaver, C.E., 1931. *Palaeontology of the Jurassic and Cretaceous central Argentina*. University of Washington, Memoir, Seattle, 496 pp.
- Zabala, C. 1999. Análisis estratigráfico de la Formación Mulichinco (Valanginiano) en el centro-oeste de la Cuenca Neuquina, Provincia de Neuquén. XIV Congreso Geológico Argentino. Actas 1, pp 77.
- Zhang, R. y Castagna, J., 2011. Seismic sparse-layer reflectivity inversion using basis pursuit decomposition. *Geophysics*, Volume 76, No 6: R147-R158.