

EXPANDIENDO LOS LÍMITES DE LA FORMACIÓN VACA MUERTA EN ÁREAS DE ALTO RIESGO EXPLORATORIO-CHIHUIDO DE LA SIERRA NEGRA

Cintia V. Ponce¹, Lucrecia Álvarez¹, Juan M. Martínez Lampe¹

1: YPF S.A. cintia.ponce@ypf.com, lucrecia.alvarez@ypf.com, juan.martinez.l@ypf.com

Palabras clave: Vaca Muerta, intrusivos, atributos sísmicos

ABSTRACT

The study area is located in the northern part of the Neuquén province, within the platform area of the Neuquén Basin. The western part of this sector remains unexplored due to its complex topography, lack of seismic information and presence of sills along the entire stratigraphic column.

The main objective of this work is to identify and delimit an area with potential for unconventional development, outside the area of influence of the igneous bodies recognized through the seismic interpretation of the Vaca Muerta Formation

In this sector of the basin the Vaca Muerta Formation is in the oil generation window, it presents an average thickness of 350 m, Total Organic Carbon (TOC) > 2%, total porosity > 8%, water saturation < 50% and moderate vertical heterogeneity, and presents several stratigraphic intervals with potential to be evaluated with horizontal wells.

At the end of 2016, a 3D seismic was recorded in this topographically complex area, this required a specific strategy in the selection of seismic sources where a combination of vibroseis and explosives operations was necessary to acquire subsurface information. On this new cube, emphasis was placed on the identification and characterization of seismic amplitude anomalies associated with the presence of sills.

Detailed mapping of the sills using different seismic attributes and the addition of data from wells drilled in the area, made possible to delimit an area with lower risk of igneous activity and adequate geological, geochemical and geomechanical properties to evaluate the Vaca Muerta Formation in this underexplored area of the Neuquén Basin.

INTRODUCCIÓN

El bloque Chihuido de la Sierra Negra se ubica en el norte de la provincia del Neuquén, en el ámbito de la plataforma de la cuenca Neuquina, al este del Dorso de Los Chihuidos, a unos 45 km al noroeste de la localidad de Rincón de los Sauces (Fig. 1). Este sector de la cuenca fue el mayor productor de petróleo de reservorios convencionales como el Miembro Troncoso Inferior, Miembro Chorreado y Miembro Avilé, aunque en la actualidad el mismo se encuentra en un estado de madurez avanzado. En lo que respecta a antecedentes no convencionales, hacia el

extremo este del bloque se cuenta con escasos datos, hoy en día en evaluación desconociendo aún el potencial de la Fm. Vaca Muerta en esta zona.

La parte occidental del área Chihuido de la Sierra Negra permanece inexplorado debido a su compleja topografía, la falta de información sísmica y la presencia de cuerpos intrusivos en toda la columna estratigráfica. Estos cuerpos se asocian al centro magmático Cerro Bayo de la Sierra Negra (Fig. 2), fuente de donde se propagan un enjambre de filones capa, diques radiales y diques concéntricos que en su conjunto forman un lacolito tipo “árbol de Navidad” (González y Aragón 2000; Alvarez *et al.* 2019).

Los cuerpos intrusivos actúan como barreras mecánicas al momento de la terminación de los pozos no permitiendo evaluar correctamente los niveles deseados, además de aumentar el riesgo de CO₂ asociado a los mismos en la producción de los pozos, por lo que debe prestarse especial atención a su distribución espacial a través de una detallada interpretación del subsuelo.

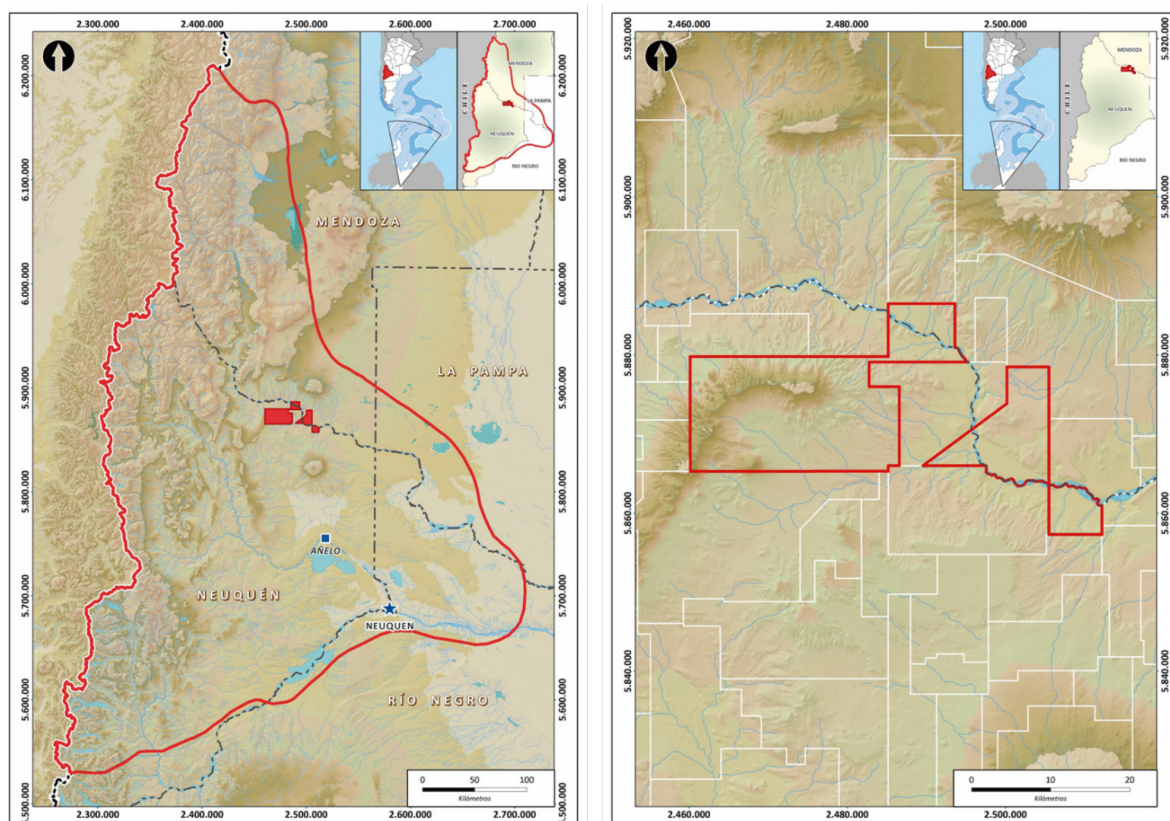


Figura 1. a) Ubicación del bloque Chihuido de la Sierra Negra. b) Detalle de la imagen a.

A fines del año 2016 y principios 2017 se registraron 238 km² de sísmica 3D en el sector noroeste del bloque donde solo se disponía de sísmica 2D. El proyecto involucró dos tipos de fuente, explosivos y vibradores; con esta registración el bloque queda cubierto casi 100% por sísmica 3D (Fig. 2).

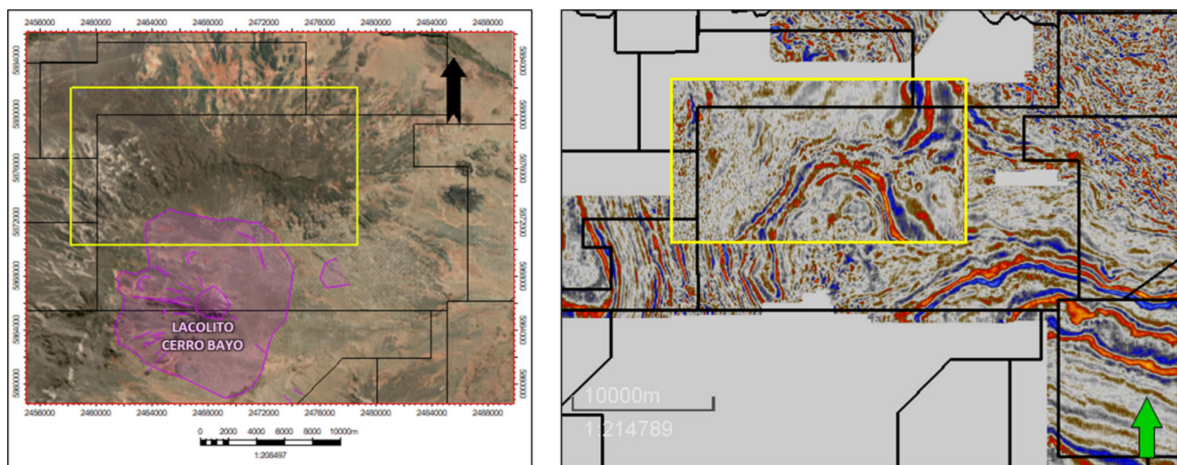


Figura 2. Ubicación del proyecto de adquisición sísmica (rectángulo amarillo) donde se puede observar la topografía en el área, ubicación del Lacolito de Cerro Bayo y cobertura 3D actual en el bloque mostrado a partir de un *time slice*.

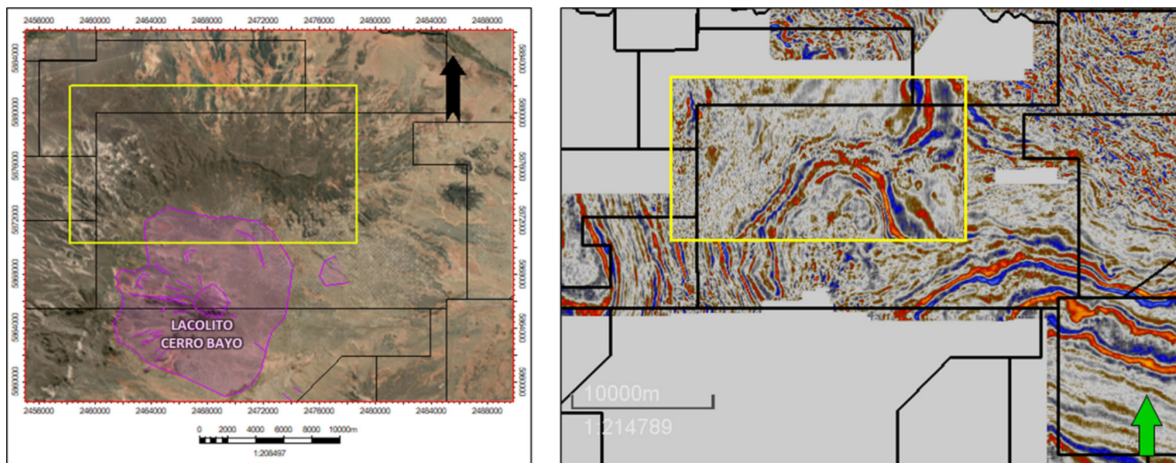
La principal dificultad del proyecto se originó en la topografía del área y la presencia de basalto aflorando en la parte somera, siendo el desnivel de cota del orden de 700 m. Dada esta complejidad presente en el área se debió prestar una mayor atención a dos puntos principales en la adquisición y procesamiento: la relación señal ruido y el contenido de frecuencias a recuperar.

CARACTERIZACIÓN DEL RESERVORIO

La Fm. Vaca Muerta en la zona de estudio muestra un patrón de sedimentación y por ende de reflectores sísmicos, paralelos a divergente dominante (Fig. 3). Este tipo de sedimentación divergente o de tipo rampa, donde no se dan los quiebres de clinoformas tradicionales, generan una distribución de facies más homogénea entre zonas proximales y distales de la cuenca. Esto queda representado por importantes espesores de facies margosas con altos valores de Carbono Orgánico Total (COT) y escasas intercalaciones carbonáticas, tal como se esperaría en las secciones condensadas de *bottomset*, pero en este caso también presentes en zonas proximales del sistema. Esto, sumado a la ubicación dentro de la cuenca del bloque Chihuido de la Sierra Negra, hace que se tengan varios intervalos de interés desde el punto de vista no convencional en la Fm. Vaca Muerta.

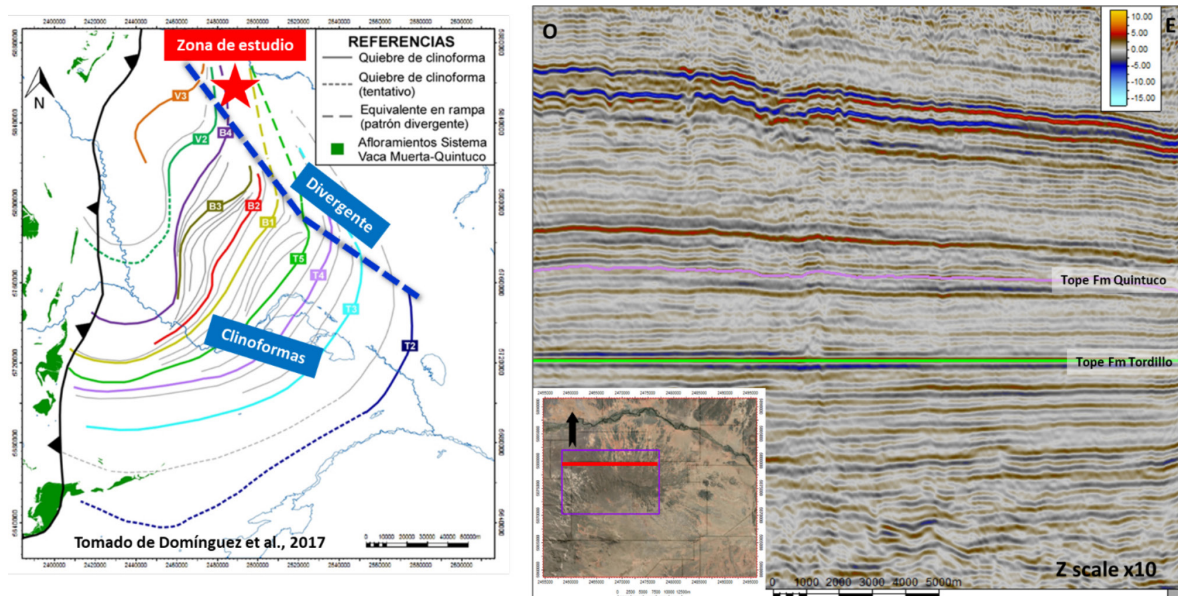
Con la información de registros de pozos y geoquímica que se dispone, se identificaron niveles con buenas propiedades de roca desde el nivel denominado “Cocina” hacia la base de la Fm. Vaca Muerta hasta el nivel denominado “Segunda Cocina” (Fig. 4). En este sector de la cuenca hay muy poco desarrollo de niveles carbonáticos equivalentes a la Fm. Quintuco, por lo que prácticamente la totalidad del sistema Quintuco-Vaca Muerta corresponde a litologías tipo marga.

En el noroeste de Chihuido de la Sierra Negra se infieren en promedio 200 m de reservorio neto con valores de COT mayor al 2%, *cut off* establecido para reservorios *shale*, siendo el promedio



4% de COT, llegando a valores máximos de casi 10% hacia los niveles basales de dicha formación (niveles orgánicos y cocina, Fig. 4c). Desde el punto de vista petrofísico se esperan valores de porosidad del 9% y saturación de agua del 35% en promedio. En cuanto a la madurez térmica, según datos de reflectancia de vitrinita (%Ro) e índice de hidrógeno (IH) se espera que la ventana corresponda a petróleo negro a liviano (Utgé *et al.* 2022).

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, el reservorio reuniría todas las condiciones de un *shale oil* con potencial productivo. Sin embargo, el mismo se encuentra atravesado por cuerpos intrusivos debido a que se localiza en una zona donde hubo vulcanismo activo, reduciendo los intervalos útiles a navegar, además de aumentar el riesgo de CO₂ y/o mayores porcentajes de



agua durante las etapas de ensayo y producción. Esto hace necesario un mapeo detallado de estos cuerpos a fin de predecir zonas con menor o nula presencia de los mismos (Fig. 5).

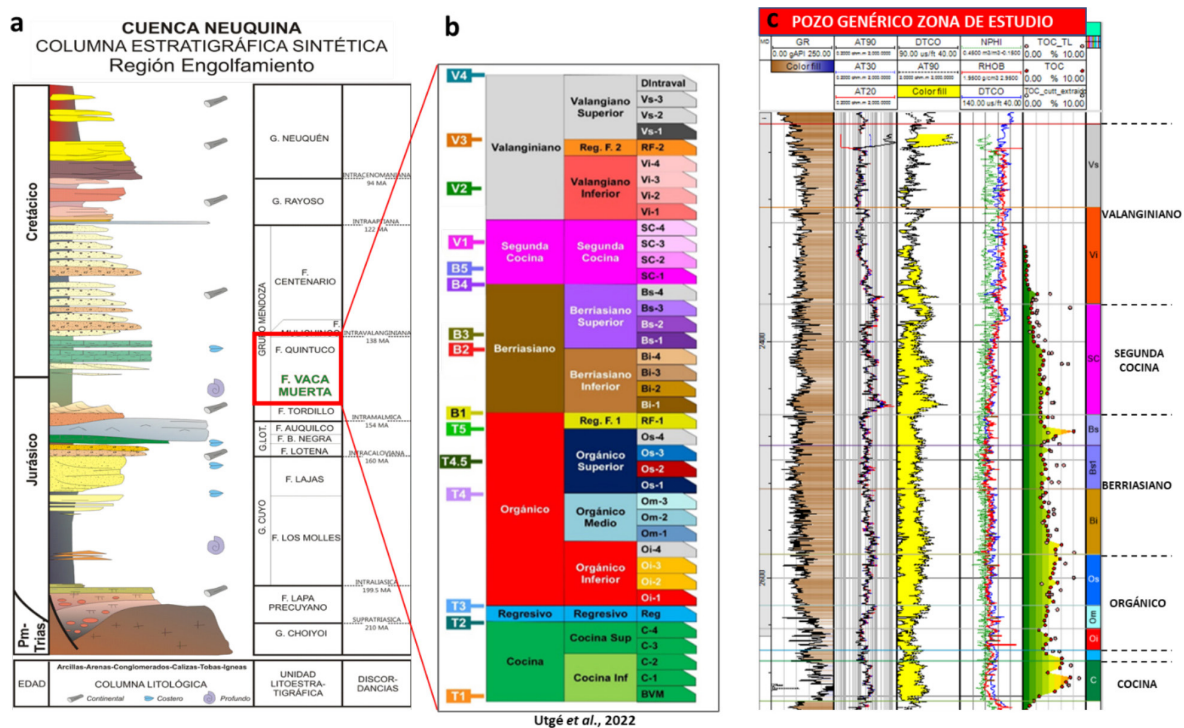


Figura 5. Corte regional oeste-este por los bloques Filo Morado (FM), Corralera (Corr), Chihuido de la Sierra Negra (ChSN) y Narambuena (N), resaltando en rojo los intrusivos atravesados por los diferentes pozos en el ciclo Quintuco-Vaca Muerta. En la correlación se observa en el primer track el perfil gamma ray y en el tercer track cruce de Passey et al. 1990.

METODOLOGÍA

A partir de la registración de la nueva sísmica 3D se puso énfasis en la identificación de anomalías de amplitud sísmica asociadas a la presencia de filones capa. Debido a la composición litológica de estos cuerpos, los valores de densidad y velocidad respecto de la roca de caja, generan un alto contraste de impedancia acústica pudiendo reconocerse en el volumen de amplitud.

Los filones capa son aquellas rocas ígneas planares que se encuentran concordantes o levemente discordantes respecto a la estratificación. El espesor de estos cuerpos es variable en la zona de estudio encontrándose desde 37 m a 1 m, estos últimos por debajo de la resolución sísmica, que es del orden de 15 m para el volumen sísmico analizado.

Para la identificación de los filones se interpretaron todos los datos de perfiles de pozos disponibles y se combinaron los mismos con la información detallada de control geológico, así se pudo diferenciar con mayor certidumbre litologías ígneas con respuestas de perfil gamma ray bajas correspondientes a los intervalos carbonáticos; además esto ayuda a diferenciar filones con

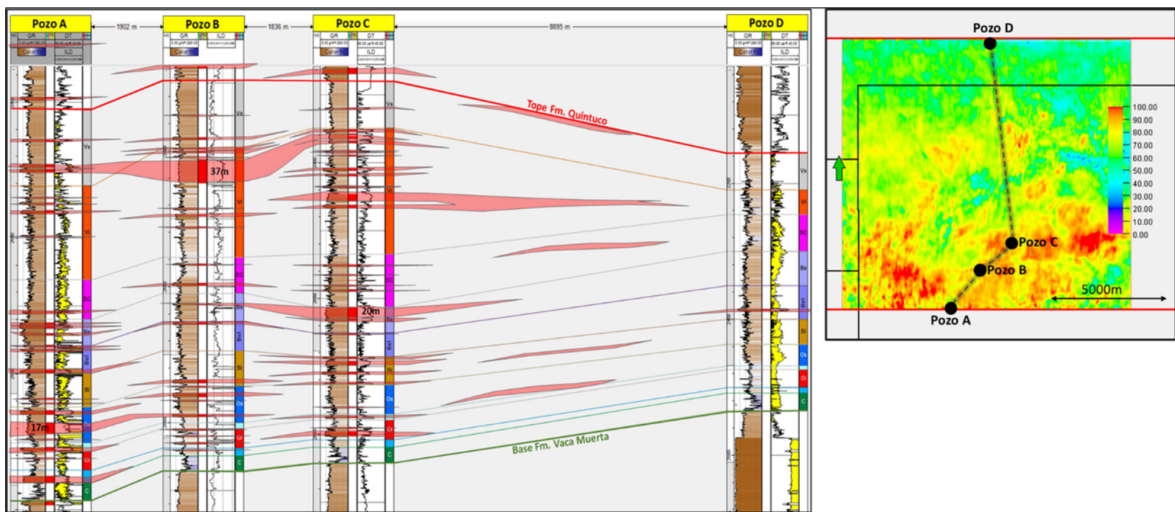


Figura 6. Detalle de los cuerpos intrusivos resaltados en rojo presentes en el intervalo Quintuco Vaca Muerta en los pozos cercanos a la zona de interés. En la correlación se observa en el primer *track* el perfil *gamma ray* y en el tercero el cruce de Passey. En el mapa en planta se observa la suma de las amplitudes positivas, donde el color rojo indica mayor presencia de intrusivos.

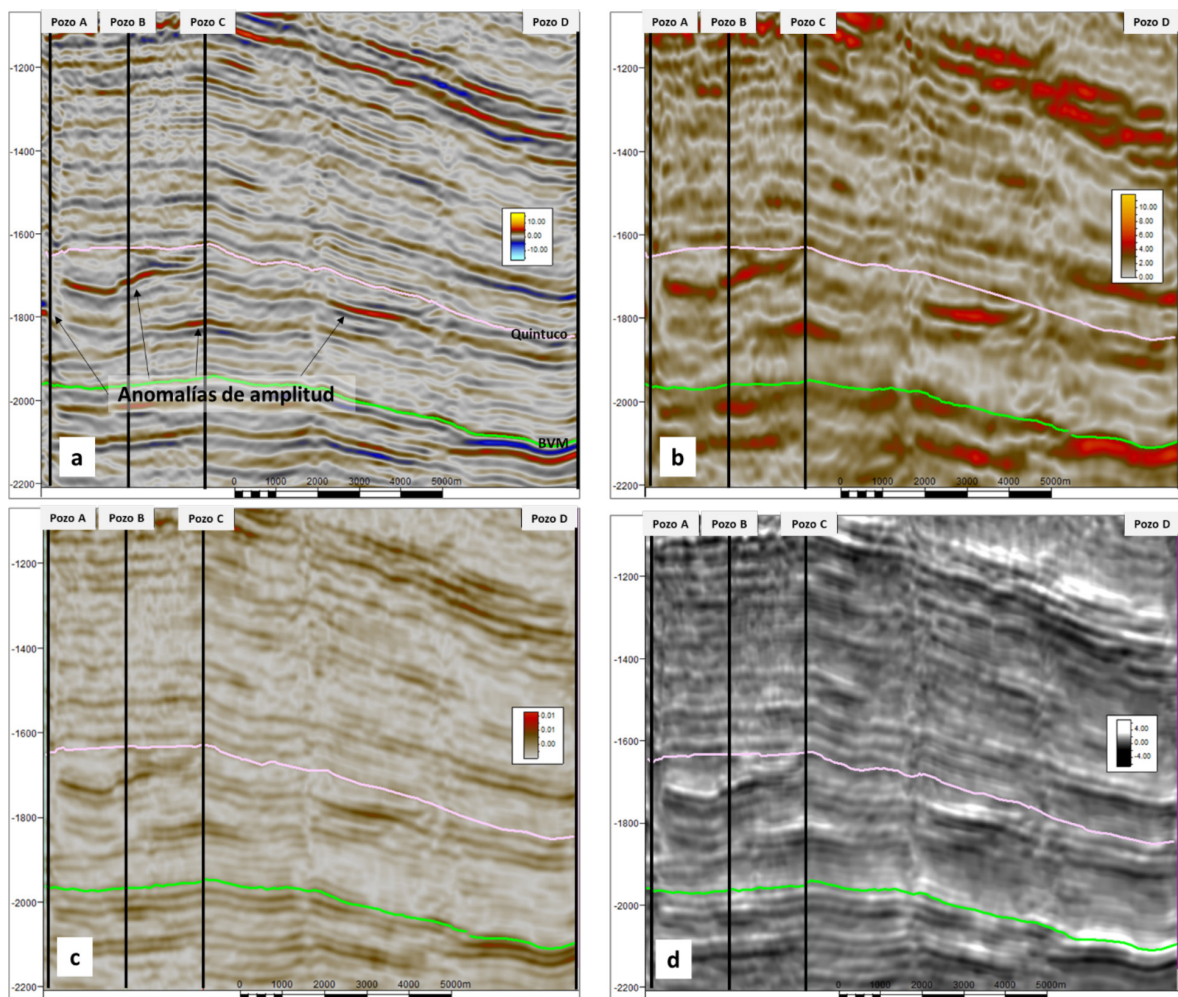


Figura 7. Secciones sísmicas en tiempo que pasan por los mismos pozos de la Figura 6, donde se resaltan las anomalías de amplitud asociadas con intrusivos que atravesaron los pozos en el ciclo Quintuco-Vaca Muerta y aquellas que se pueden inferir por el mismo comportamiento de las amplitudes. a) Amplitud sísmica. b) Envelope. c) Reflection intensity. d) TecVA.

respuesta de perfil *gamma ray* alto respecto de litologías tipo margas. También se usaron para la identificación los perfiles de resistividades, los cuales presentan valores muy altos y/o bajos respecto de la roca de caja, en especial en los contactos filón-roca de caja, y el perfil sísmico, el cual frente a los cuerpos intrusivos presenta una disminución de los valores de tiempo de tránsito

A partir del colgado de los pozos que atravesaron cuerpos intrusivos dentro del ciclo Quintuco-Vaca Muerta en el área de estudio (Fig. 6) se pudo identificar y calibrar la respuesta sísmica asociada a dicho cuerpos intrusivos. Adicionalmente, se calcularon diferentes atributos sobre las amplitudes sísmicas: *Envelope*, *Reflection intensity* y Técnica de Volumen de Amplitudes (TecVA – Bulhões 2005) permitiendo resaltar los altos contrastes de impedancia (Fig. 7).

RESULTADOS

En base a lo descripto anteriormente fue posible delimitar un área sin presencia de intrusivos a resolución sísmica dentro del ciclo Quintuco-Vaca Muerta y proponer pozos exploratorios donde están presentes todas las características como reservorio no convencional en esta zona inexplorada de la Cuenca Neuquina (Fig. 8 y Fig. 9).

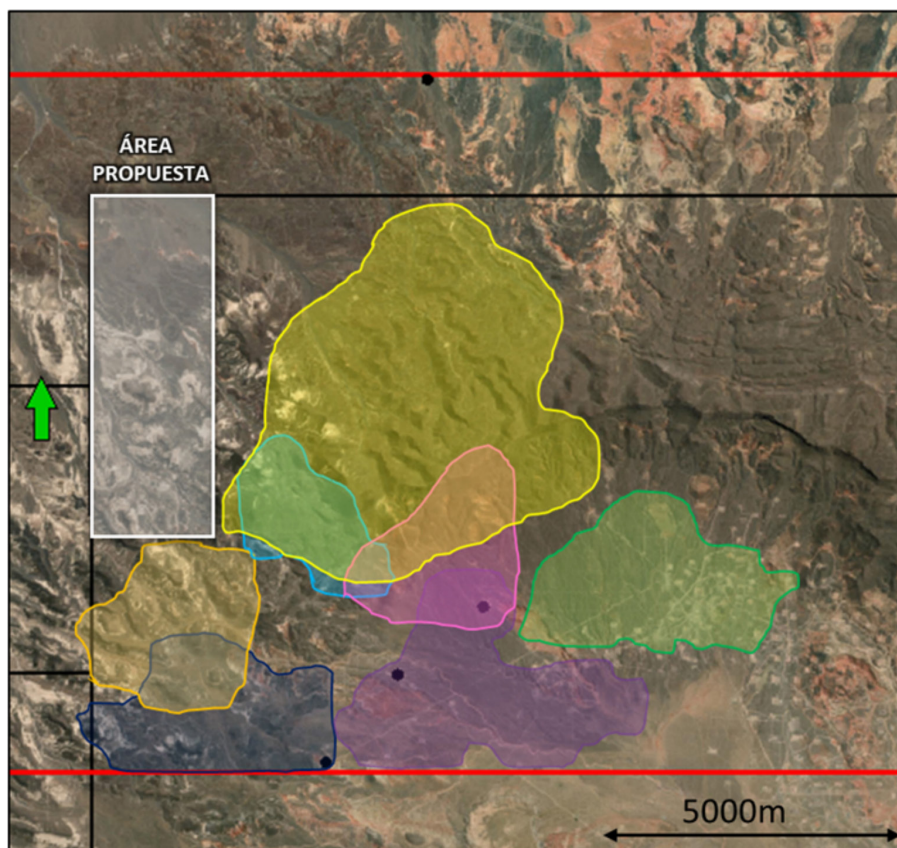


Figura 8. Distribución areal de los intrusivos identificados en el ciclo Quintuco-Vaca Muerta en diferentes colores y en blanco el área identificada sin estos cuerpos para las propuestas de pozos.

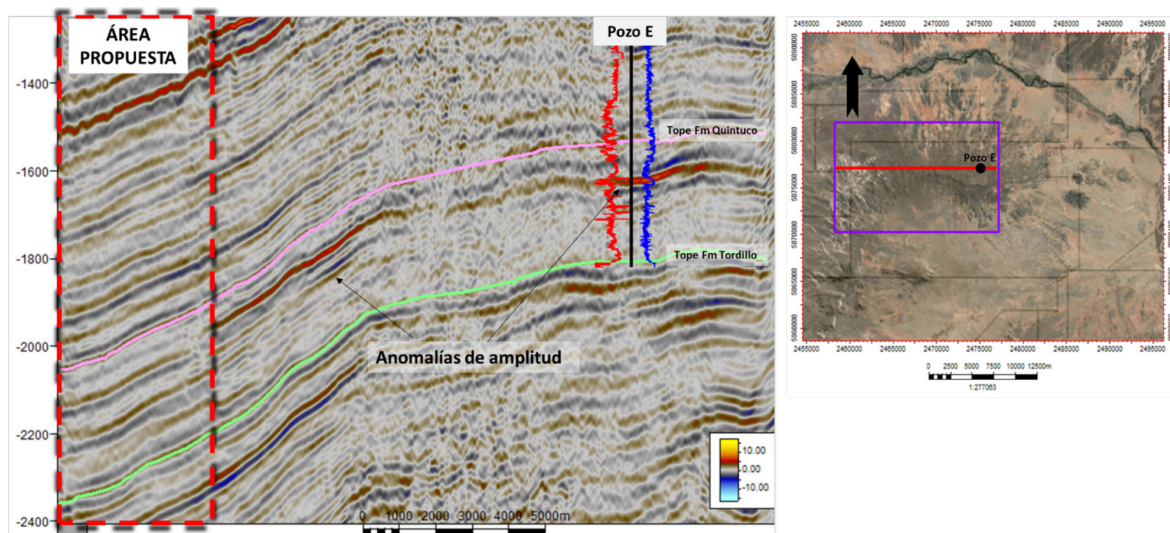


Figura 9. Sección sísmica oeste-este, con la zona identificada sin cuerpos intrusivos en el ciclo Quintuco-Vaca Muerta y respuesta de los perfiles en el Pozo E, resistividad en color rojo y sónico en color azul, frente a estos cuerpos.

CONCLUSIONES

El área de estudio se caracteriza por la presencia de cuerpos intrusivos los cuales fueron atravesados por varios pozos a lo largo de toda la columna estratigráfica. Mediante un análisis detallado de los registros de pozos, control geológico y mapeo de las anomalías de amplitud, a partir de diferentes atributos sísmicos, fue posible delimitar un área con menor riesgo de presencia de cuerpos ígneos y adecuadas propiedades de roca, geoquímicas y geomecánicas para evaluar la Fm. Vaca Muerta en este sector de la cuenca.

El flujo de trabajo presentado permite redefinir estrategias para analizar los riesgos presentes en el área, proponer la ubicación de pozos pilotos con el objetivo de recopilar datos necesarios para la definición de posibles zonas de interés a navegar con pozos horizontales, comprobar productividad y definir alternativas de delineación y escenarios de desarrollo no convencional en esta área inexplorada de la Cuenca Neuquina.

En base a los primeros resultados obtenidos se llevará a cabo un nuevo reproceso sísmico que focalizará más en la detección de anomalías de amplitud y fallas que preservan las amplitudes relativas y que principalmente esté enfocado en la atenuación de ruidos en zonas de mala relación señal ruido, especialmente debajo del basalto en superficie (altas elevaciones) y en un nuevo cálculo de estáticas y análisis de velocidades que generen una imagen de mayor calidad. El reproceso sísmico permitirá optimizar la resolución sísmica de cubo 3D y en una próxima etapa sumar un cubo de impedancia acústica y/o descomposición espectral para sumar al análisis de identificación de los cuerpos ígneos.

Durante los últimos meses otras operadoras perforaron pozos exploratorios en áreas vecinas con el mismo nivel de incertidumbre y riesgo geológico asociado a los cuerpos intrusivos que se

encuentran en evaluación, lo que nos permite seguir considerando el área de estudio con potencial interés exploratorio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a YPF S.A. por permitirnos compartir este trabajo. A nuestros colegas que de alguna u otra forma nos brindaron sus aportes y a los revisores por sus correcciones, comentarios y sugerencias.

REFERENCIAS CITADAS

- Alvarez, P., Licitra, D., Ruderman, G., Bidondo, J. y D'Angiola, M., 2019. Influence of Cerro Bayo igneous intrusions in the development of an unconventional *shale* type field in the Vaca Muerta Formation. LASI VI Conference.
- Bulhões, É., 2005. Princípio da SismoCamada Elementar e sua aplicação à Técnica Volume de Amplitudes (tecVA). Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Domínguez, F., Reijestein, H., Köhler, G., Sattler, F., Moreno M., Gomez Rivarola L. y Borgnia, M., 2017. Distribución regional de quiebres de clinoformas del Sistema Vaca Muerta-Quintuco. XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán.
- Gonzalez, P. y Aragón, E., 2000. El Cerro Bayo de la Sierra Negra, Neuquén: ejemplo de lacolito tipo Árbol de Navidad. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 55 (4). pp. 363-377
- Passey, Q. R., Creaney, S., Kulla, J. B., Moretti, F. J., Stroud, J. D., 1990. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. Vol. 74, No. 12. Diciembre 1990. pp: 1777-1794.
- Utgé, S., Dominguez, F., Fasola, M., Ponce, C., Bernhardt, C., Sagasti, G., 2022 Caracterización integral a escala de cuenca de la Formación Vaca Muerta como reservorio no convencional. XI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.

