

Caracterización sísmica de la Fm. Mulichinco en el Yacimiento Rincón del Mangrullo.

Autor: Rodrigo A. Cláa, YPF S.A. rodrigo.claa@ypf.com

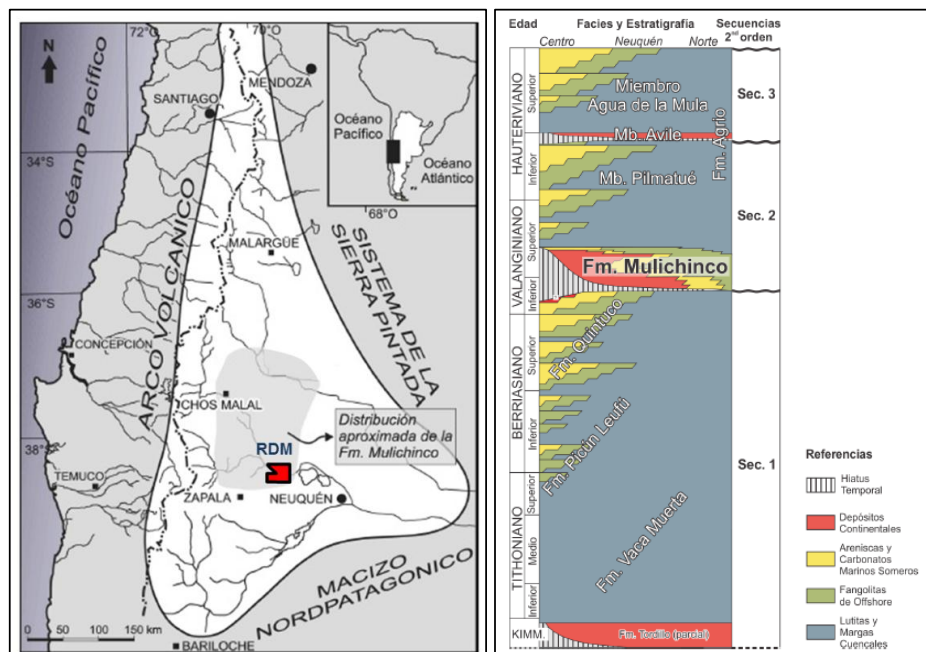
Coautores: Mateo Palacios, YPF S.A. mateo.palacios@ypf.com; Mariela Silka, YPF S.A., mariela.silka@ypf.com; Agustina Santangelo, YPF S.A., agustina.santangelo@ypf.com; Gonzalo Richly, YPF S.A. gonzalo.richly@ypf.com; Pedro Solórzano, YPF S.A., pedro.solorzano@ypf.com

▪ Sinopsis

El yacimiento Rincón del Mangrullo (RDM) fue explorado y delineado en forma discontinua entre los años 1977 y 2006. A partir del año 2012, se convirtió en el activo estratégicamente con mayor potencial de desarrollo de gas de ANC, lo que llevó a una intensa actividad enfocada en el desarrollo de la formación Mulichinco desde el año 2013 a la actualidad, habiéndose perforado a la fecha aproximadamente 90 pozos, en asociación con Petrolera Pampa desde Noviembre del mismo año. A los efectos de realizar la caracterización del reservorio y la propuesta de los pozos, se interpretó el cubo sísmico y se procesó una inversión acústica, soportada en la correlación encontrada entre este atributo y la porosidad observada para la Fm. Mulichinco. En forma paralela, para enmarcar el yacimiento dentro de un contexto regional y cubrir el área Suroeste con información sísmica, se procesaron los cubos de bloques vecinos, encontrándose muy buena correlación entre los diferentes atributos obtenidos. Además se calculó una descomposición espectral con el objetivo de caracterizar los depósitos fluviales asociados al Miembro medio de la formación, encontrándose una respuesta cuya interpretación tiene buena correlación con las realizadas en afloramientos por el Dr. E. Schwartz. Por último se realizó un análisis del comportamiento de producción de los pozos con un modelo de paleoestructura, el cual permite explicar la producción en posiciones estructuralmente bajas dentro del yacimiento. Toda la información interpretada se convirtió a profundidad a partir de un modelo de velocidades construido con superficies sísmicas, topes geológicos y velocidades de pozos, para ser utilizados como input del modelo geológico, obteniéndose una buena correlación tanto para el nivel objetivo como para las formaciones suprayacentes.

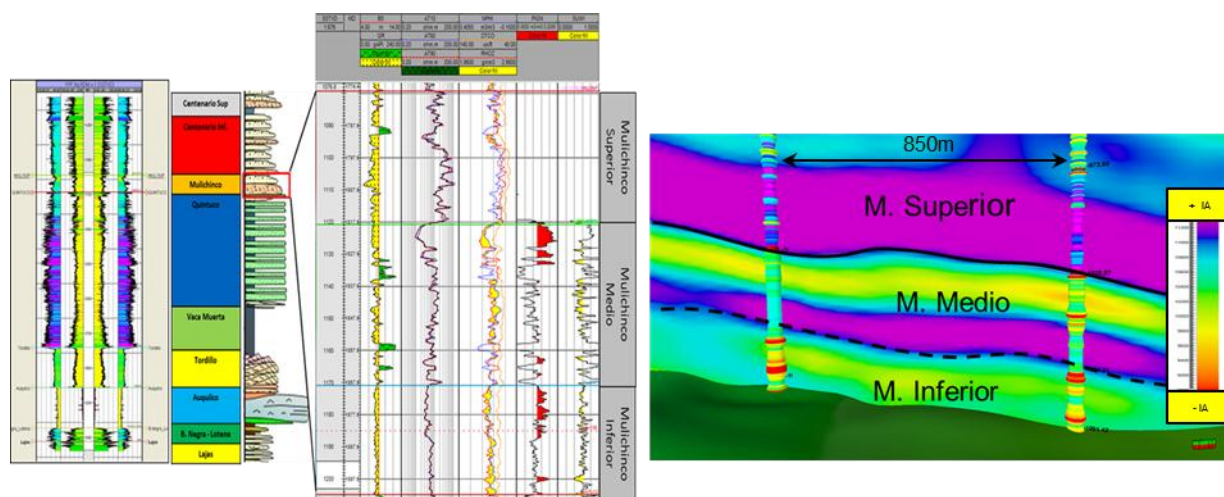
▪ Introducción

El Área Rincón del Mangrullo se encuentra emplazada sobre el eje productivo de la Cuenca Neuquina, a unos 60 km al Oeste de la ciudad de Neuquén. Desde el punto de vista paleogeográfico, esta zona corresponde a la región del engolfamiento neuquino, y se localiza al Sudeste de dos importantes estructuras, el Dorso de los Chihuidos y la estructura El Mangrullo, sobre una estructura homoclinal de rumbo O-E. El siguiente trabajo está enfocado en la Formación Mulichinco cuyos depósitos de edad Cretácica fueron generados durante e inmediatamente después del descenso del mar ocurrido en el Valanginiano Temprano como resultado de un episodio de inversión tectónica registrado en diferentes localidades de la Cuenca Neuquina (Vergani et al., 1995, Schwarz et al., 2006). La base de los depósitos que constituyen la Formación Mulichinco representa un límite de secuencia de baja frecuencia denominado Discordancia Intra- Valanginiana (Gulisano et al., 1984) (figura 1).



El sistema petrolero del área de estudio queda constituido por la Fm. Vaca Muerta como roca madre, las areniscas de la Fm. Mulichinco como reservorio, las calizas y areniscas calcáreas del Mulichinco Superior como sello. La trampa es de tipo estructural-estratigráfica, dada en este último caso por las variaciones petrofísicas laterales observadas en el reservorio.

Geológicamente la Formación Mulichinco está integrado por depósitos clásticos continentales hasta marinos marginales. Se han reconocido tres secciones, denominadas Inferior, Media y Superior (Vottero y González 2002), en las cuales se registra en general una tendencia transgresiva que culmina con la ingresión marina del Hauteriviano Temprano. En el bloque Rincón del Mangrullo, la Fm. Mulichinco está constituida principalmente por areniscas finas a medias, distinguiéndose una sección basal eólica con presencia de facies subácuas, cuya petrofísica tiene una gran variación areal producto de una intensa diagénesis. Continúa con una sección media fluvial, a la que suprayasen, los depósitos costeros a marino somero de la sección superior (figura 2).



Desde el punto de vista estructural, la Fm. Mulichinco se encuentra emplazada en un homoclinal buzante hacia el Este, el cual forma parte de una estructura mayor cuyo eje y ápice se ubican en el bloque vecino Mangrullo (figura 3). El mismo no presenta un fallamiento marcado; a partir de la sísmica se observan suaves cambios de pendiente en los reflectores asociados a fallas profundas, pero que al nivel del reservorio no tienen mayor impacto.

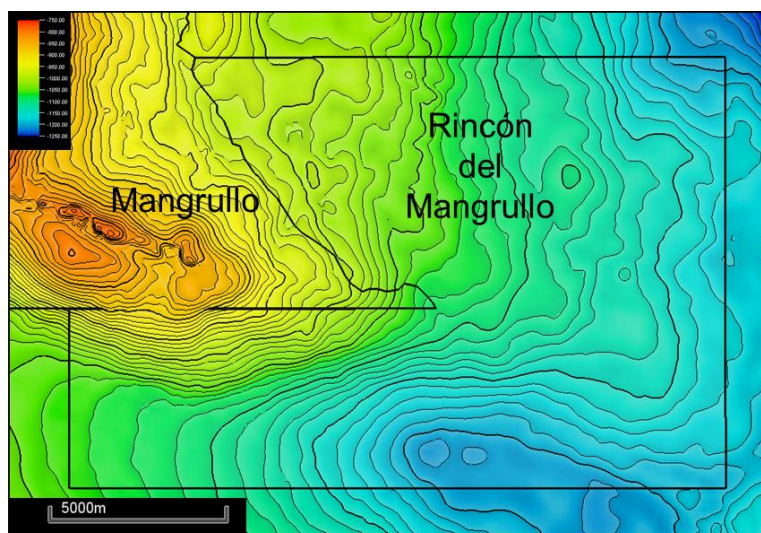


Figura 3: Estructural al tope de Mulichinco Medio.

El presente trabajo tiene como objetivo describir el flujo de trabajo realizado para caracterizar sísmicamente la formación Mulichinco en el yacimiento RDM.

▪ Desarrollo

La sísmica Rincón del Mangrullo 3D fue adquirida en el año 1998 por la compañía Western Geophysical sobre una superficie aproximada de 196 km², cubriendo casi la totalidad del área de YPF, excepto un sector de unos 40 km² ubicados en el Suroeste del yacimiento (figura 4). El diseño utilizado es simétrico con líneas receptoras N-S y fuentes W-E, con un distanciamiento de 50m tanto para estaciones fuente como receptoras, definiendo así un bin de 25x25 con una cobertura nominal de 42.

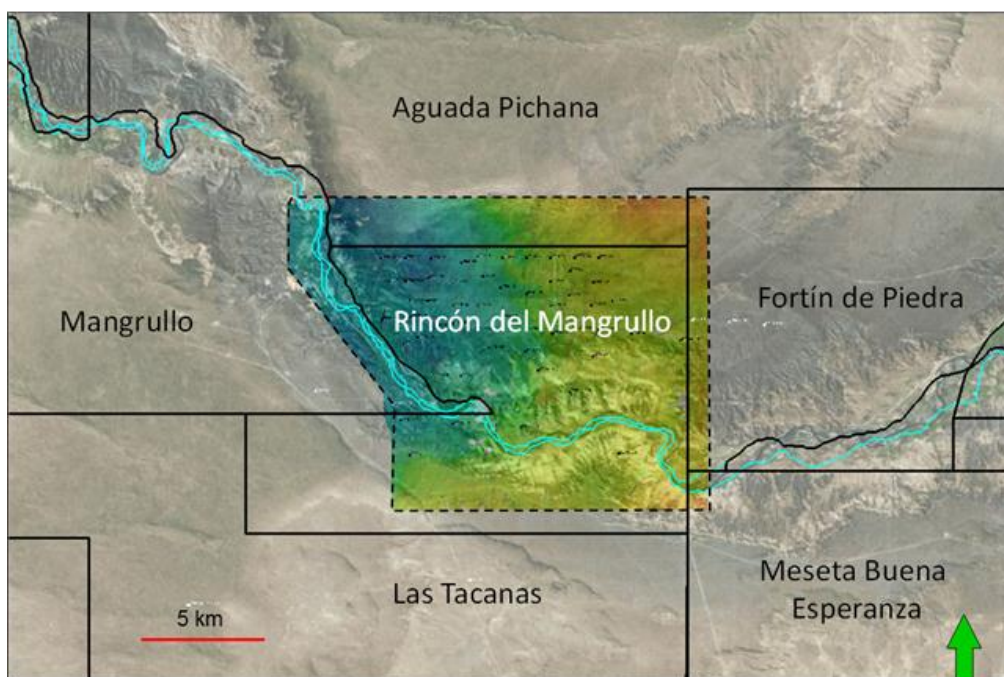


Figura 4: Área de cobertura sísmica 3D en RDM.

La sísmica fue reprocesada durante el año 2009 con una migración pre-apilamiento, con el objetivo de mejorar ciertas franjas de pérdida de amplitud observadas en los gathers procesados en el año 2006. Es importante mencionar que este procesamiento se realizó con objetivo en la Fm. Mulichinco, siendo por tal motivo el seleccionado para el estudio.

La interpretación sísmica realizada para el bloque se dividió en 2 etapas. La primera de ellas consistió en una interpretación estructural y la siguiente en una interpretación estratigráfica la cual contempló un proceso de inversión de traza y uno de descomposición espectral, con el objetivo de obtener la tendencia de calidad de reservorio de la Fm. Mulichinco.

1. Interpretación estructural

El trabajo de interpretación inició con la calibración de los pozos de RDM con el cubo PSTM-2009, usándose como base el único VSP disponible en el área. Se interpretaron 4 reflectores sísmicos correspondientes al Tope de la Fm. Mulichinco, tope del Miembro medio e inferior y tope de la Fm. Quintuco respectivamente (figura 5).

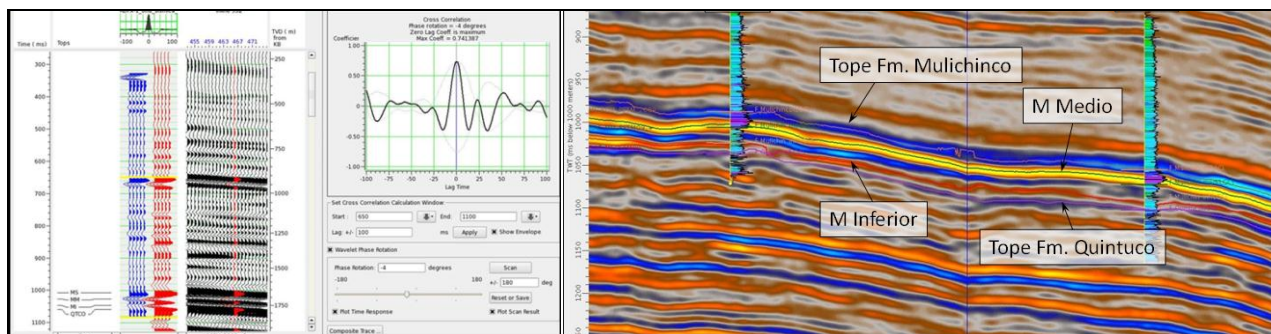


Figura 5: Calibración pozo RDP.x-1 (izquierda) – Reflectores sísmicos (derecha).

Para disponer de un mapa estructural completo para el yacimiento, incluyendo el sector sin registración 3D y comprender su enmarque regional, se interpretaron los surveys de las áreas vecinas Mangrullo, Aguada Pichana, Fortín de Piedra, Meseta Buena Esperanza, Las Tacanas y las líneas 2D existentes (figura 6), obteniéndose el mapa estructural al tope de Mulichinco medio de la figura 7. El yacimiento RDM se ubica en el flanco Este de una estructura cuyo ápice se ubica al Oeste en el bloque Mangrullo. Los buzamientos calculados van desde 1° en el centro y Este del yacimiento, alcanzando los 3° en la porción Sur y Oeste, asociados a la presencia de la falla que da origen a la estructura (figura 7).

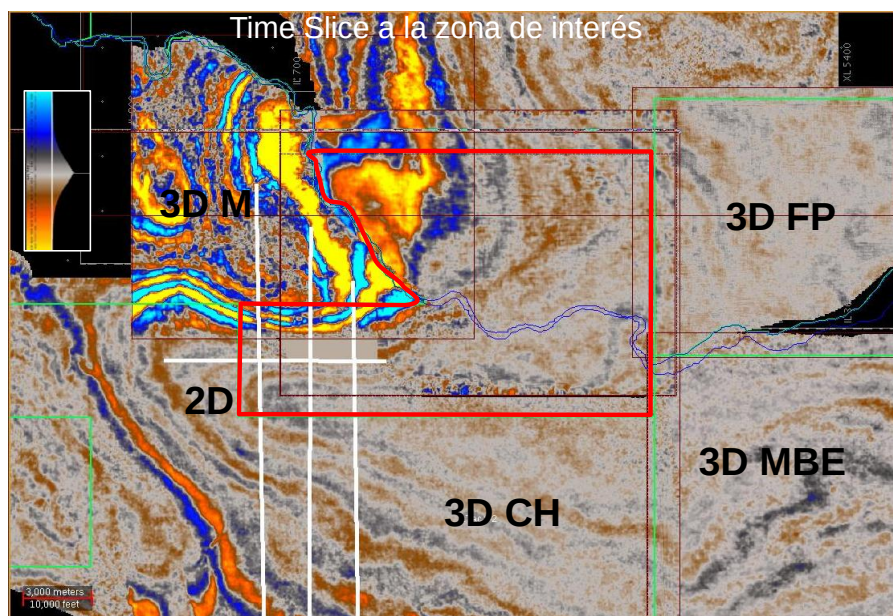


Figura 6: Surveys y líneas 2D interpretadas.

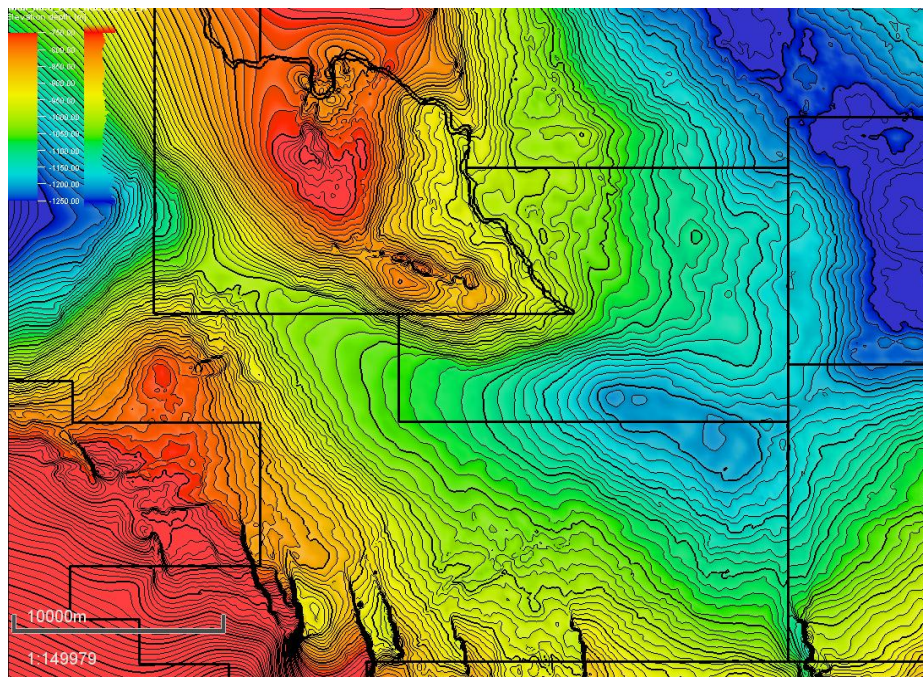


Figura 7: Estructural al tope de Mulichinco medio.

2. Interpretación estratigráfica

Como primer paso se calculó la resolución sísmica vertical del dato disponible, obteniendo un valor de 20m aproximadamente (figura 8), el cual resulta bajo para resolver los espesores de capa presentes en el reservorio (franja roja). Por tal motivo, la caracterización se basó en la detección de los contrastes de impedancia acústica encontrados dentro de la formación, partiendo por el definido por las areniscas carbonáticas suprayacentes a las areniscas reservorio del Miembro medio, como así también por otros definidos por la presencia de areniscas diagenizadas en contacto con areniscas de buena porosidad.

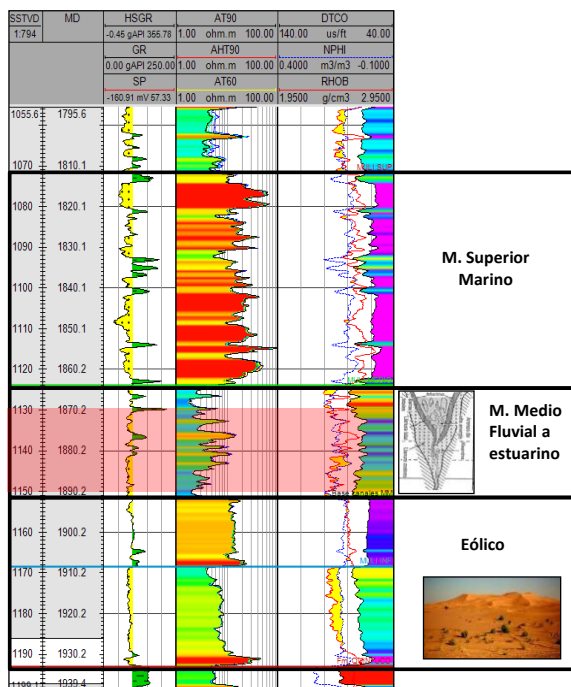


Figura 8: Cálculo de resolución sísmica vertical.

Resolución vertical:

La frecuencia media es 40 Hz

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{3500\text{m/s}}{40} = 87.5\text{m}$$

$$rv = \lambda/4 = \frac{87.5}{4} = 21\text{m}$$

Los procesos aplicados en el estudio sismoestratigráfico tuvieron los siguientes objetivos:

- Inversión acústica: enfocada en poder detectar los cuerpos de mejor calidad como reservorio presente en ambos miembros, basándose en el bajo contenido de arcilla y la correlación obtenida entre Impedancia Acústica (IA) y la porosidad calculada.
- Descomposición espectral: se calculó sobre el reflector asociado a Mulichinco medio con el objetivo de determinar la presencia y orientación de geoformas canalizadas asociadas al ambiente de depositación fluvio-estuarino que caracteriza este miembro.

2.1. Inversión acústica

Como todo proceso de inversión de traza, la primera etapa fue la prefactibilidad. La misma consiste en poder discriminar con los perfiles de pozo y los productos de la inversión de traza, alguna característica a estudiar del reservorio. En este caso la inversión tuvo como objetivo encontrar las tendencias de mejor porosidad de la Fm. Mulichinco, basadas en la relación encontrada entre este parámetro petrofísico y la impedancia acústica IA (figura 9). Cabe mencionar que el volumen de arcilla presente en el reservorio es bajo ($< 10\%$), por lo que se asumió que los valores de impedancia acústica a obtenerse estarán caracterizando las areniscas. Luego se realizó el crossplot con los datos filtrados a la frecuencia de la sísmica para validar la metodología. Como se observa en la figura 9, la correlación se mantiene permitiendo definir los rangos de impedancia acústica en los que encontraremos los valores de porosidad buscados.

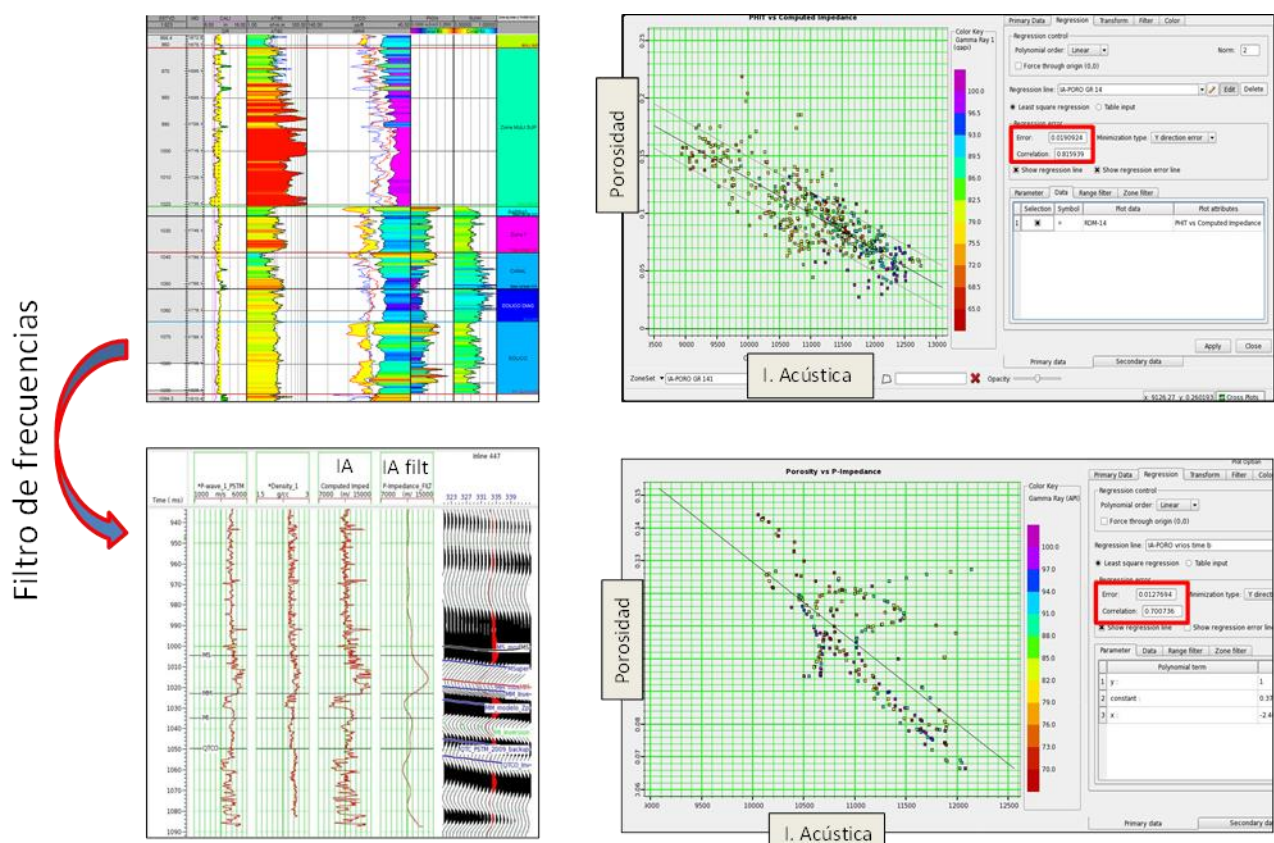
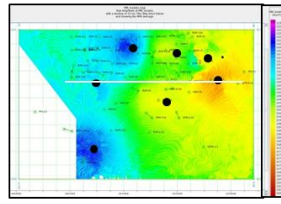
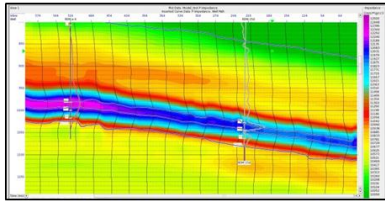


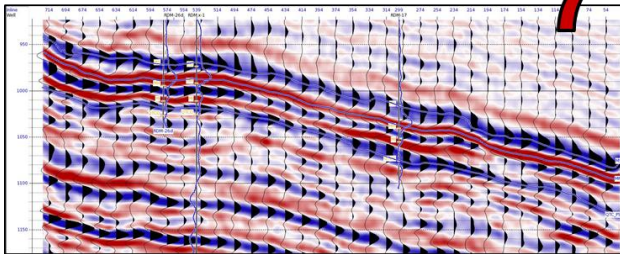
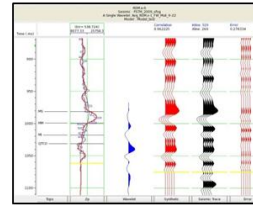
Figura 9: Prefactibilidad de inversión acústica.

Se aplicó una inversión del tipo model base, cuyo flujo de trabajo se resume en la figura 10, utilizando 7 pozos perforados al 2013 y los horizontes interpretados, para la construcción del modelo de baja frecuencia.

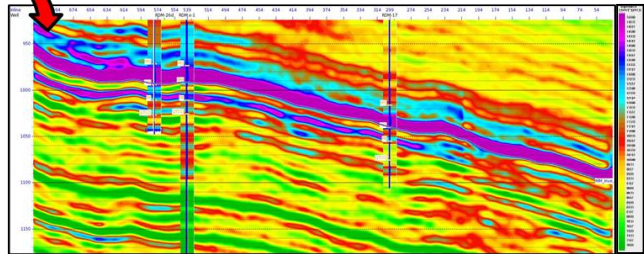
Modelo de IA de baja frecuencia 10-15 hz



Parámetros / ondícula



Sección en amplitud



Sección en impedancia acústica

Figura 10: Flujo de trabajo de inversión acústica.

La predictibilidad del método se demuestra a partir del crossplot entre la IA calculada por la inversión y la de perfil del pozo (figura 11) donde la correlación obtenida es del orden del 70%. La otra metodología de validación utilizada fue a partir de la distribución areal de la impedancia acústica calculada para un nivel del reservorio y su correspondiente mapa de velocidad de pozo. Esto se observa en la 12 que muestra los mapas de distribución de IA de sísmica y velocidad de perfiles, tanto para el tope del Miembro medio como para la base del Miembro inferior, observándose una buena correspondencia en las tendencias obtenidas.

Además se aprecia la correlación entre los cubos de impedancia acústica obtenidos para RDM y Las Tacanas, observándose la continuidad en la tendencia de mejor calidad de reservorio en el sector Suroeste del yacimiento.

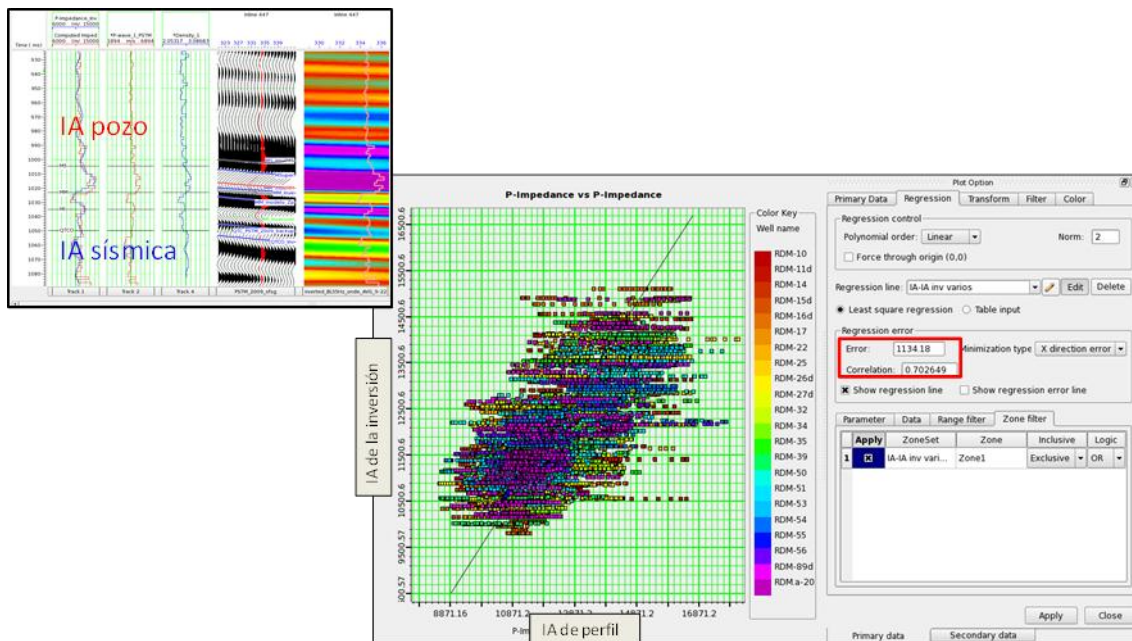


Figura 11: Crossplot IA de pozo vs IA de sísmica.

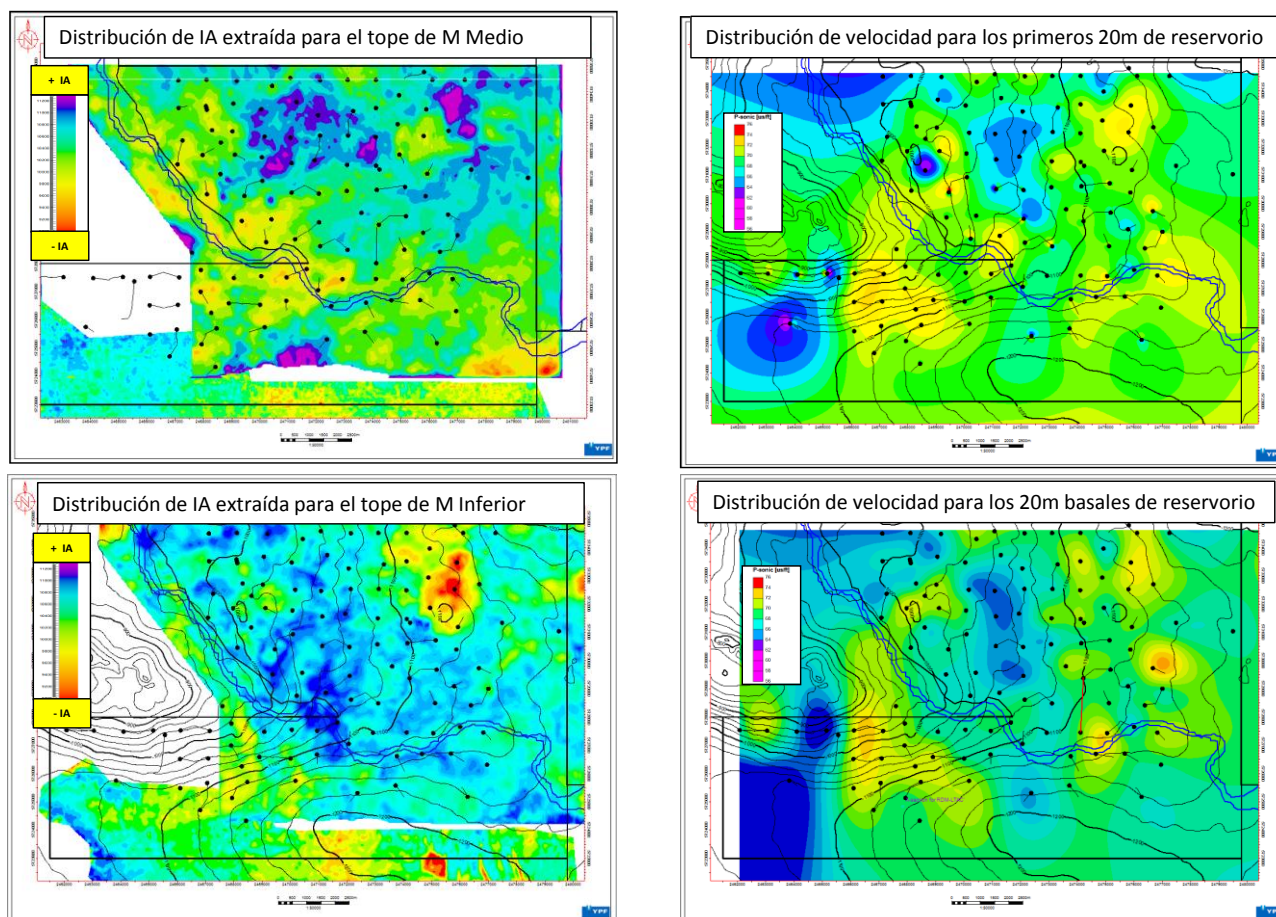


Figura 12: Mapas de tendencia de IA vs Velocidad para M Medio (arriba) y M Inferior (abajo).

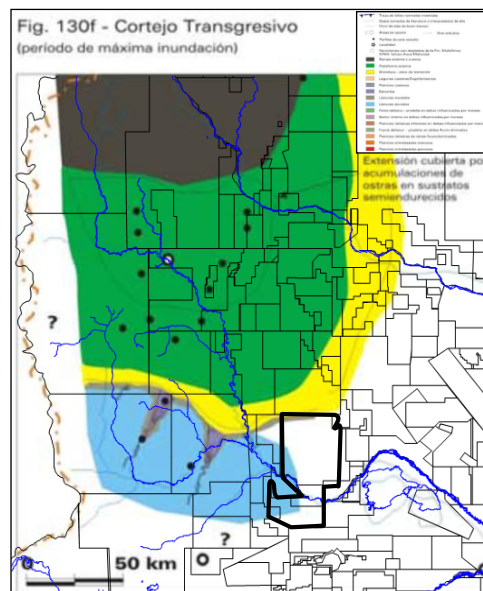
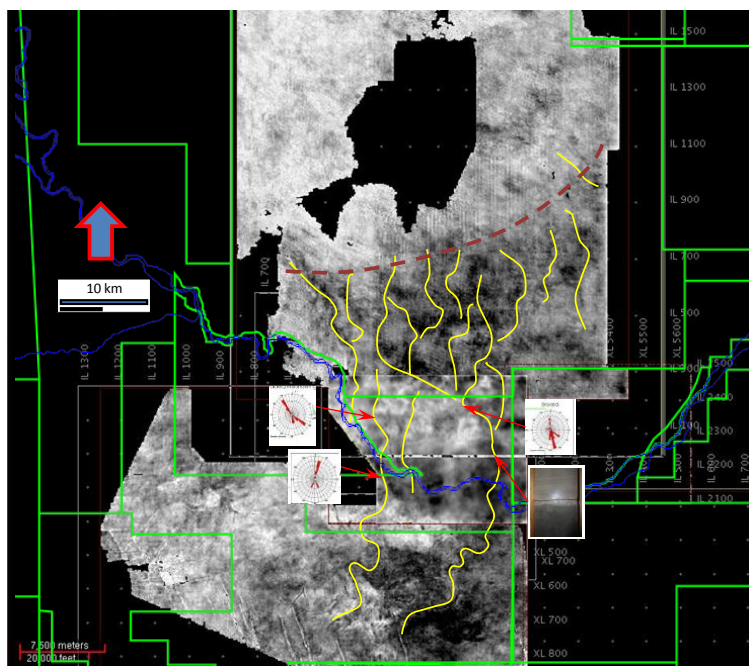
2.2. Descomposición Espectral

El objetivo de la descomposición espectral en este trabajo fue definir la presencia de geoformas canalizadas presentes en el Miembro medio de la Fm. Mulichinco asociadas a su ambiente de depositación fluvial a estuarino, interpretado tanto en perfiles de imagen como en la coronas de pozo.

A los efectos de interpretar dichas geometrías en un marco regional, se realizó el mismo proceso para los cubos del resto de los bloques ubicados en el flanco Este del Dorso de los Chihuidos, permitiendo asociar la interpretación en RDM a un sistema de canales fluviales de cierta sinuosidad que se convierte transicionalmente de Sur a Norte en un sistema con canales más rectilíneos que se bifurcan en el extremo septentrional del área estudiada, posiblemente vinculados al ambiente fluvio estuarino.

Dicha interpretación se correlaciona con lo descripto por el Dr. E. Schwartz, para el complejo transgresivo asociado al período de máxima inundación, en su tesis doctoral “Análisis paleoambiental y estratigrafía secuencial de la Fm. Mulichinco (Valanginiano), en el sector septentrional de la Provincia de Neuquén, Cuenca Neuquina, Argentina” (figura 13), tanto en la orientación de los canales como también en su comportamiento y la ubicación de la línea de costa.

Las geoformas se mapearon para incluirlas en el modelo estático para definir la ocurrencia y orientación de estas fajas de canales.



Tomado de: Tesis Doctoral. Analisis paleoambiental y estratigrafía secuencial de l Fm. Mulichinco (Valanginiano), en el sector septentrional de la Provincia de Neuquen, Cuenca Neuquina, Argentina. Lic. Ernesto Schwartz.

Figura 13: Interpretación de Descomposición Espectral (izquierda) e interpretación paleoambiental (derecha).

3 Relación entre la sísmica y el potencial de pozo

La predicción de la distribución de fluidos a partir de atributos sísmicos es en general un gran desafío, que en RDM se incrementa por la dificultad del reservorio al interpretar la saturación de agua a partir de los perfiles, la baja resolución de la sísmica, y el rango de porosidades observado.

No obstante, se observa un sector de orientación Oeste-Este en el sector Sur del yacimiento en el que el potencial de los pozos, definido a partir de la acumulada al 5to mes, no presenta una relación estrecha ni con la estructura ni con las facies encontradas, ya que a igual IA a una misma cota estructural los potenciales observado varían ampliamente. Esto se puede apreciar en el mapa de la figura 14, el que muestra en contornos la estructura actual con la distribución de impedancia acústica en colores (más cálidos menor IA mayor porosidad, colores fríos mayor IA menor porosidad). Se incluyen además los ensayos de pozos cercanos a este sector que al momento del trabajo no tienen historia de producción. Los datos de producción de bloques vecinos fueron obtenidos del capítulo IV de la Secretaría de Energía (<https://www.se.gob.ar/>).

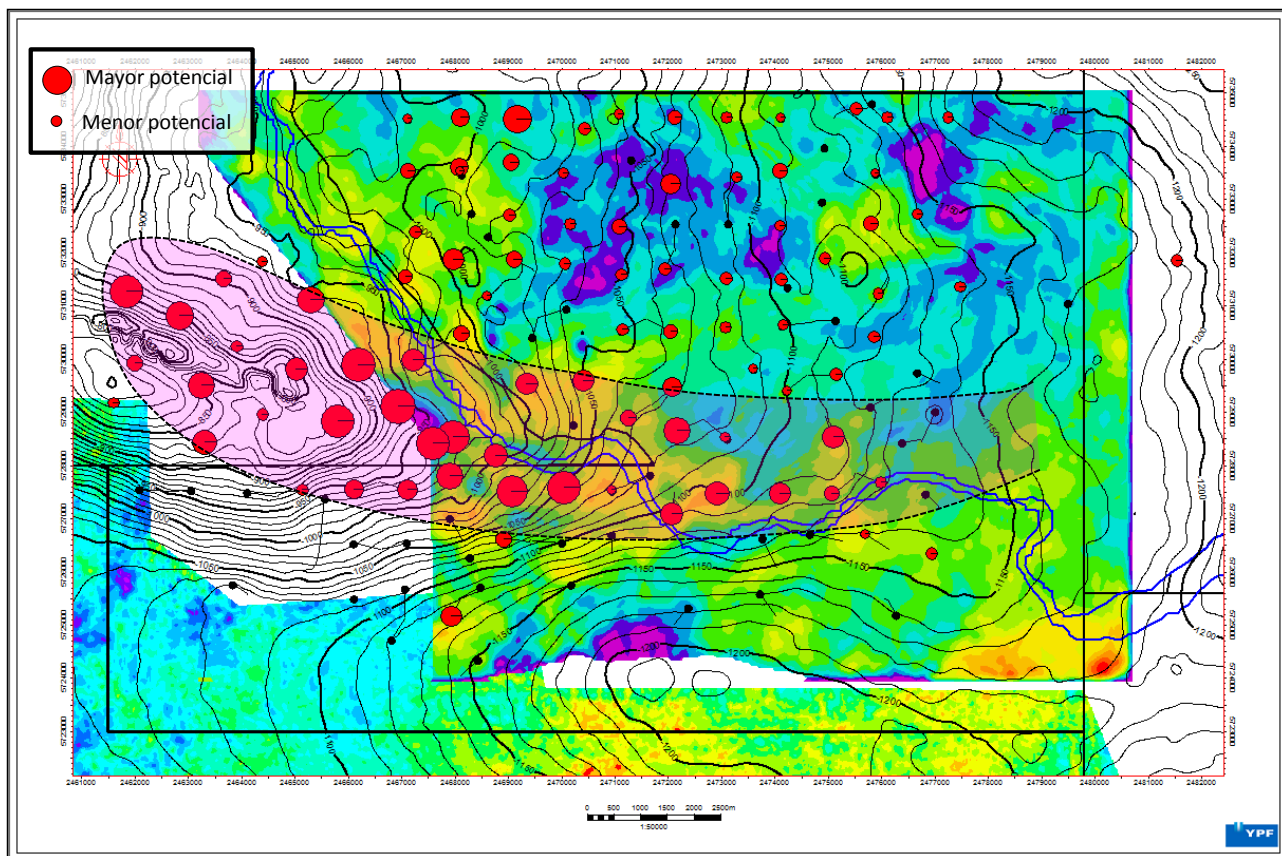


Figura 14: Mapa estructural (contorno), I Acústica (colores) y Potencial de pozo (burbujas).

Una posible explicación de este comportamiento es que la carga del reservorio se produjo con una estructura, la que posteriormente basculó, originando la arquitectura actual. Para que este sistema funcione, debe generarse un sello lateral en las partes altas previo al basculamiento para que los fluidos no sufran una reacomodación total a esta nueva estructura. Este modelo de yacimiento está documentado para la Fm. Sierras Blancas en Loma La Lata y para la Fm. Mulichinco en Aguada Pichana (figura 15).

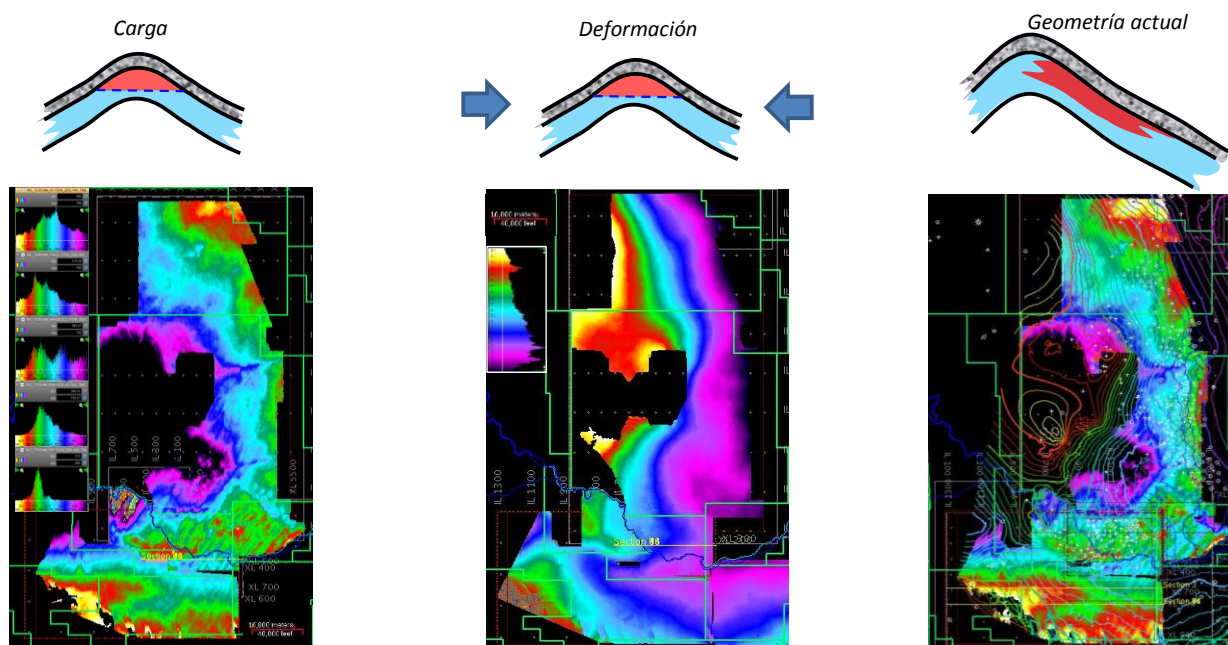


Figura 15: Modelo de paleoestructura.

El mapa de la figura 16 muestra la paleoestructura en colores y la estructura actual en contornos. Se observa que la tendencia obtenida de potencial de pozo podría responder al modelo presentado, explicando el

comportamiento de los ensayos al Este del bloque como así también el del pozo PDI.x-1001 en bloque Fortín de Piedra, con una acumulada importante de gas, ubicado en la parte más baja de la estructura actual. En el mismo sentido, se debe mencionar 2 pozos perforados en RDM en el 2015 con una importante producción de agua, ubicados en un paleobajo y en una cota estructural actual baja, siendo la condición más desfavorable en este modelo.

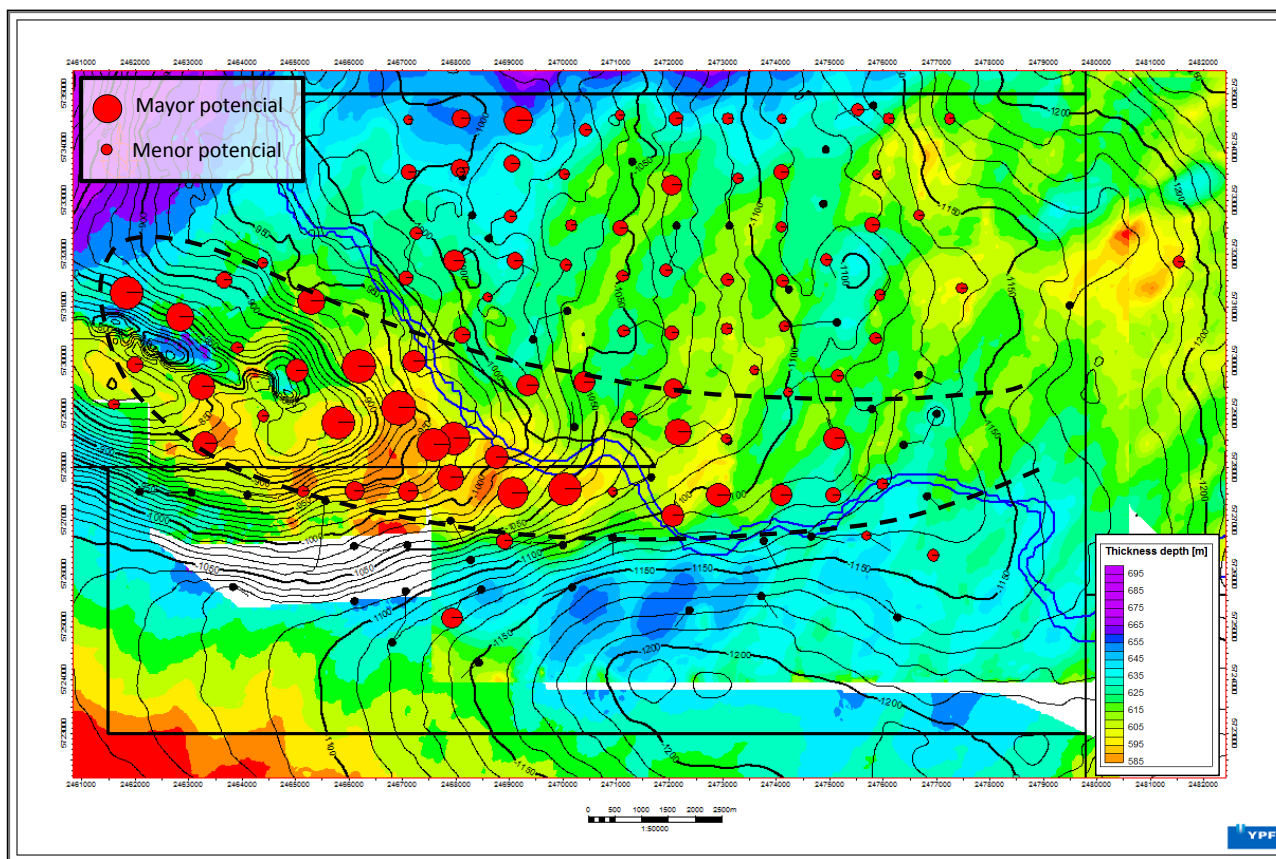


Figura 16: Paleoestructura (color), estructura actual (contornos) y comportamiento de producción.

Por último la figura 17 muestra un mapa regional de paleoestructura con el potencial de pozo calculado con el mismo criterio para los perforados en gran parte del flanco Este del Dorso de los Chihuidos, mostrando la correspondencia entre ambos.

4 Conversión a profundidad

Con el objetivo de utilizar la información sísmica interpretada tanto para la propuesta de pozos, prognosis, guía de correlación o variable secundaria en el poblado de propiedades, se convirtió toda la información (cubos sísmicos, atributos y superficies) a profundidad a partir de un modelo de velocidades utilizando 17 pozos en el área de estudio:

- ✓ Topes geológicos: Fm. Centenario Inferior, Tope Fm. Mulichinco, Tope Fm. Tordillo, Tope Fm. Auquilco y Tope Fm. Lajas
- ✓ Las superficies sísmicas interpretadas para estos topes en 17 pozos del yacimiento
- ✓ Las leyes de velocidad de los 17 pozos calibrados.

Este modelo se puede apreciar en la figura 18. El mismo abarca desde la superficie hasta la Fm. Lajas y en él se distingue claramente los cambios de velocidades presentes en las formaciones asociados a los topes mencionados en el párrafo anterior.

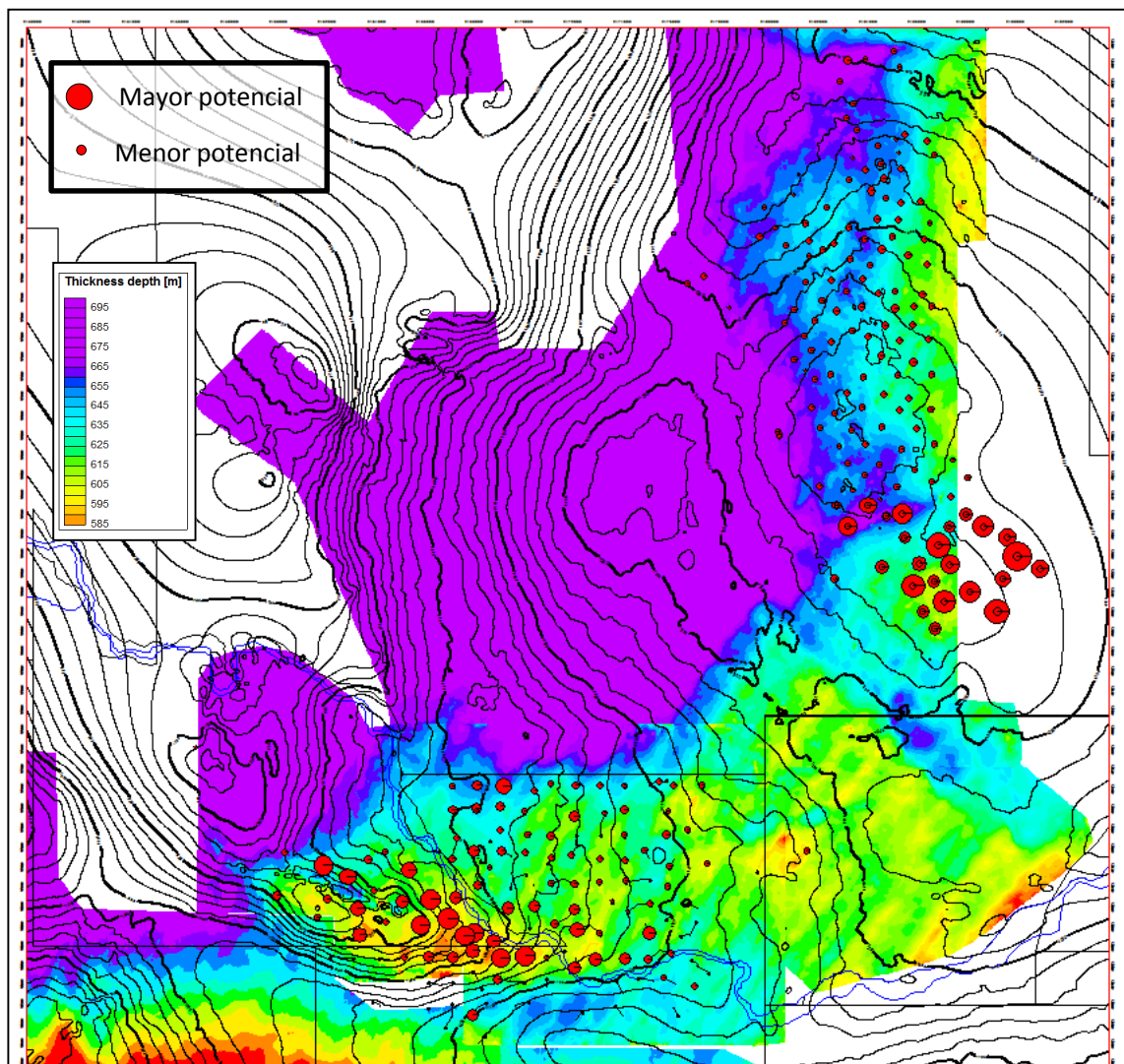


Figura 17: Paleoestructura regional (colores), estructura actual (contornos) y potencial de pozo (burbujas).

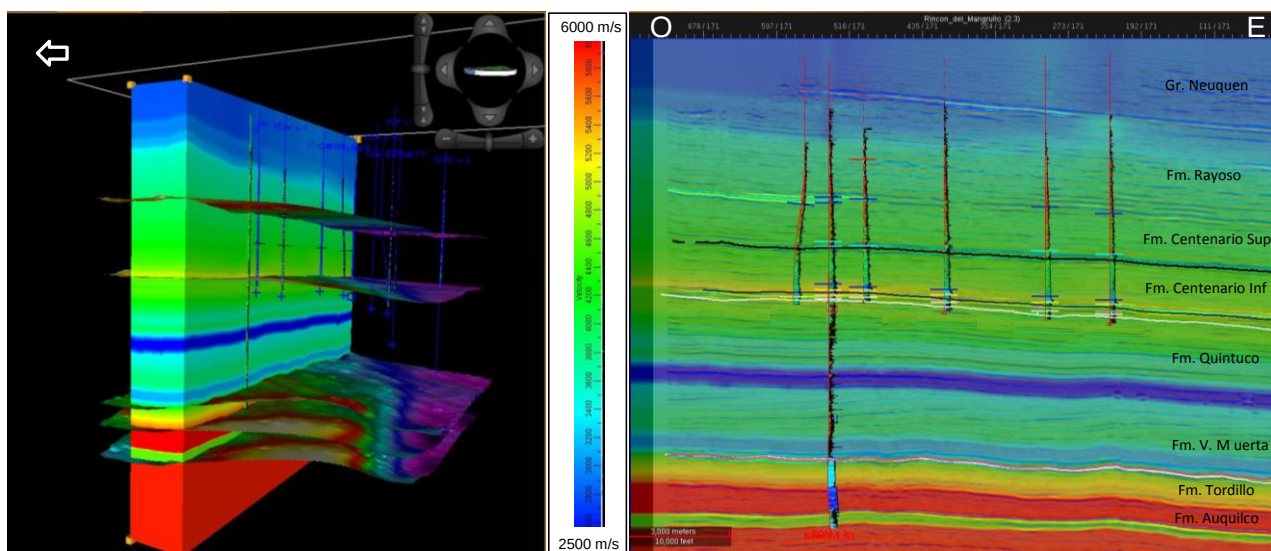


Figura 18: Modelo de velocidad.

La validación del modelo (figura 19) se muestra a partir de la relación obtenida entre la profundidad del pase definido por el perfil (eje x) y el pase obtenido del reflector interpretado en el cubo en profundidad (eje y). Se observa una buena correlación con la excepción de 2 sectores indicados con las elipses. La razón del aumento del error en el cálculo de la profundidad está asociada a que los pozos se ubican en la zona de borde Oeste y

Sur del survey, sectores en los que probablemente la apertura de migración fue ineficiente asociada al menor fold.

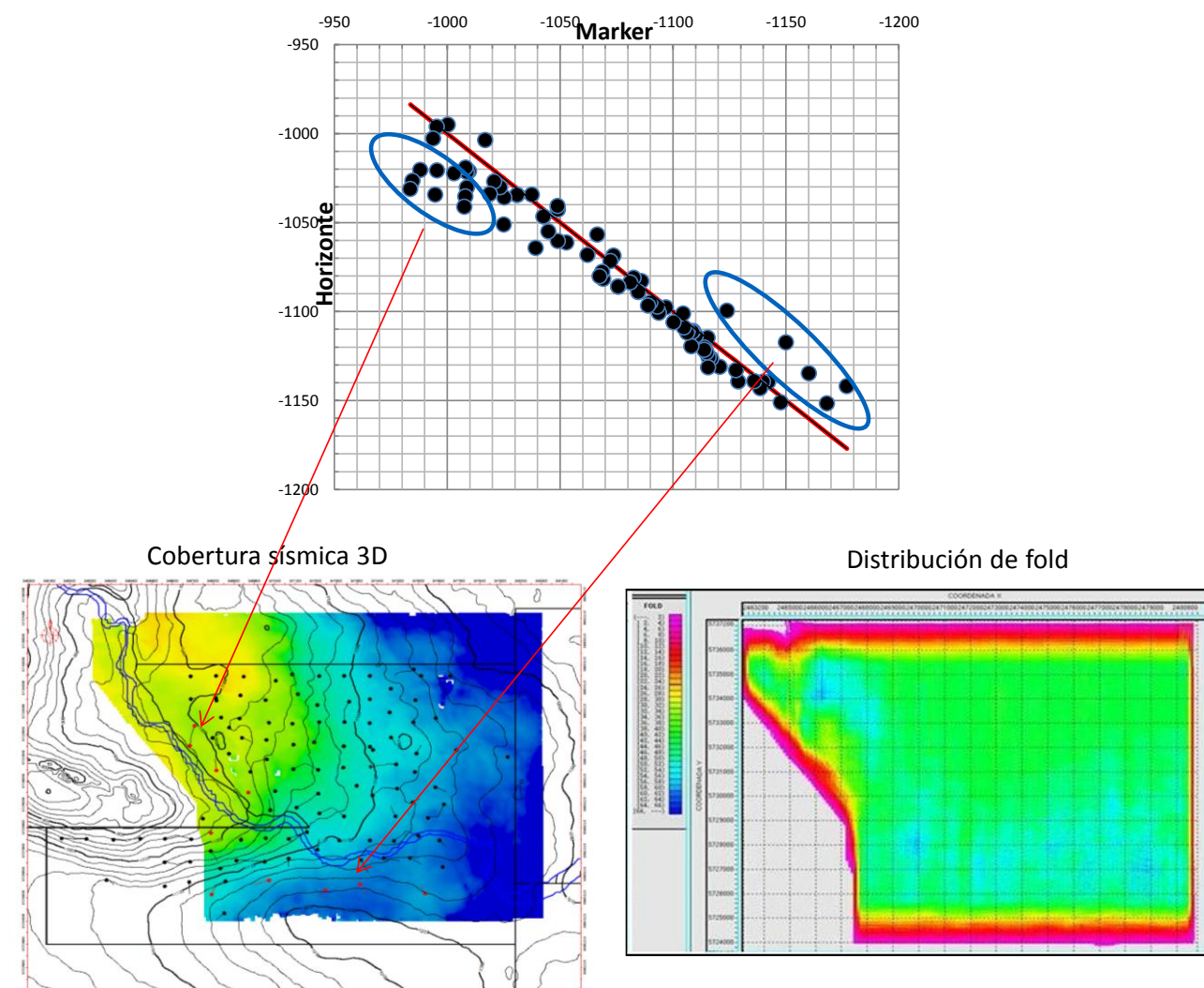


Figura 19: Validación de la conversión a profundidad a partir del modelo de velocidades.

Otra metodología para validar el modelo de velocidades fue a partir de la interpretación del reflector asociado a la Fm. Rayoso en el cubo de amplitud en profundidad. Como se observa en la imagen de la figura 20, en la parte Noroeste del yacimiento está presente el valle del Río Neuquén. Al proyectar la intersección del reflector con el valle, la zona así definida coincide con el afloramiento de la Fm. Rayoso descrito en la carta geológica de Zapala. De esta manera se demuestra la consistencia del modelo no solo para la profundidad de la Fm. Mulichinco, sino para los niveles suprayacentes.

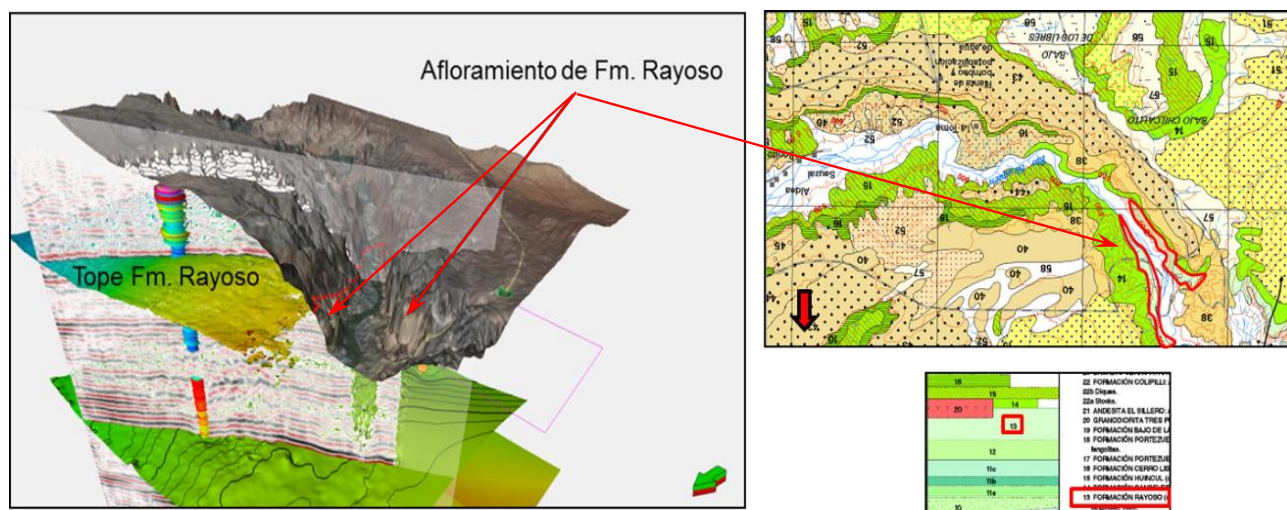


Figura 20: Validación del modelo de velocidad.

■ Conclusiones

- ✓ Se caracterizó la calidad como reservorio de la Fm. Mulichinco a partir de un cubo de impedancia acústica, con una correlación del orden del 70%, siendo esta la herramienta utilizada para las propuestas de desarrollo del campo desde el 2013 a la fecha.
- ✓ La integración de cubos de distintos bloques vecinos permitió definir la estructura en toda el área del yacimiento Rincón del Mangrullo y disponer de la tendencia de las facies porosas del reservorio en el sector Suroeste del yacimiento.
- ✓ A partir de un proceso de descomposición espectral aplicado al cubo de Rincón del Mangrullo y los de áreas vecinas, se interpretaron geoformas canalizadas asociadas a los sistemas fluviales a estuarinos que caracterizan el Miembro Medio de la Fm. Mulichinco, cuya orientación y distribución presentan una buena correspondencia con la interpretación paleoambiental de afloramiento realizada por el Dr. Ernesto Schwartz.
- ✓ Se plantea un modelo de paleoestructura para el yacimiento que habría controlado la distribución inicial de los fluidos, y en consecuencia estar relacionado con el comportamiento de producción de los pozos.
- ✓ Se generó un modelo de velocidades que permitió convertir a profundidad tanto superficies como volúmenes sísmicos, utilizados como dato de entrada y variable secundaria en la construcción del modelado geológico de la formación Mulichinco para el yacimiento.

▪ **Bibliografía**

Los depósitos eólicos de la formación Mulichinco (Valentiniano) en el área Fortín de Piedra – Cuenca Neuquina. C. Zavala et. al.

Revisión integrada de los sistemas generadores, estilos de migración-entrapamiento y volumetría de hidrocarburos en los distritos productivos de la Cuenca Neuquina, Argentina. L. Lagarreta et. al. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas.

La Formación Mulichinco (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. E. Schwarz et. al. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, 2011.

Tesis Doctoral. Análisis paleoambiental y estratigrafía secuencial de la Fm. Mulichinco (Valanginiano), en el sector septentrional de la Provincia del Neuquén, Cuenca Neuquina, Argentina. Lic. Ernesto Schwartz.

Condiciones de entrapamiento en el sector sur del engolfamiento neuquino. Introducción. H. Maretto, et al. Simposio VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, 2005.

The limits of resolution of zero-phase wavelets. R. S. Kallweit and L. C. Wood. Geophysics, VOL. 47, NO. 7 (JULY 1982).

Highlight Volumes: Condensing Spectral Decomposition to Two Volumes. Charles H. Blumentritt FracRock International., and Kurt J. Marfurt, Allied Geophysical Laboratories, University of Houston.

Recoverable Reserve Estimation in a Tight Gas Reservoir During the Exploration Stage, Neuquen, Argentina. Sezai Ucan et.al; SPE 108119. 2007.

Comparison of spectral decomposition methods John P. Castagna. First Break volume 24, March 2006.

▪ **Breve Cv:**

RODRIGO A. CLÁA

Geólogo de la Universidad Nacional de Córdoba.

Trabajó en Geoservices en control geológico.

Ingresa en YPF en el 2007.

Realizó la escuela de geofísica del ISE (2008).

Obtuvo el postgrado en Producción de gas y petróleo del ITBA (2012).

Desde el 2012 es intérprete geofísico del yacimiento Rincón del Mangrullo.

Paralelamente se desempeña como profesor de la Universidad Nacional de Río Negro en la Cátedra de Métodos Geofísicos de la Facultad de Geología.