

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOFÍSICA DE RESERVORIOS GASÍFEROS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE AVO Y ATRIBUTOS SÍSMICOS, EN LA FORMACIÓN CENTENARIO DEL ÁREA AGUA DEL CAJÓN, CUENCA NEUQUINA

Abraham Balaguera¹, Ignacio Conci¹, José Luis Capuano¹

1: CAPSA-CAPEX S.A., abraham.balaguera@grupocapsa.com.ar,
 ignacio.conci@grupocapsa.com.ar, jose_luis.capuano@grupocapsa.com.ar

Palabras clave: **Formación Centenario, Dorsal de Huincul. AVO y atributos sísmicos**

ABSTRACT

Geological and Geophysical Characterization of Gas Reservoirs through AVO and Seismic Attributes Analysis in the Centenario Formation of Agua del Cajón Area, Neuquén Basin.

El área Agua del Cajón (ADC), está ubicada en las inmediaciones de la dorsal de Huincul, al sur de la cuenca Neuquina. Este bloque se distingue por producir gas de distintos reservorios, principalmente del Grupo Cuyo. Dada la importancia económica y estratégica del mencionado recurso para la industria energética actualmente, es por lo cual este trabajo propone realizar, una caracterización geológica-geofísica de reservorios gasíferos, enfocada en las arenas someras de la Formación Centenario.

Para ello se realizó una correlación estratigráfica a nivel de pozo, entre el tope de La Fm. Centenario y el tope de la Fm. Rayoso. Esta correlación se vinculó mediante las calibraciones sísmica-pozo con la respuesta acústica del cubo sísmico 3D PSTM, con la intención de generar una interpretación estructural y estratigráfica en toda el área de ADC. Seguidamente se extrajeron sobre dichos horizontes atributos sísmicos de amplitud, se identificaron zonas anómalas y se integraron junto a la evaluación petrofísica y datos de producción de pozos cercanos, para evaluar posibles vínculos entre las anomalías de amplitud y la presencia de gas. Por último con la finalidad de aumentar la certidumbre en dicha relación (amplitud/roca-fluido), se implementó un estudio de amplitud versus offset (AVO), utilizando gathers migrados en profundidad, permitiendo delimitar mejor las arenas gasíferas de la Fm. Centenario.

Esto arrojó como resultado que los depósitos más tardíos de la Fm. Centenario (arenas poco compactas), constituyen la roca reservorio, mientras que las lutitas de la Fm Rayoso (de espesor hasta 30 m) representan el sello respectivo del entrapamiento en ADC. Estas arenas dada las evaluaciones petrofísicas, y los datos de producción de pozo, presentan acumulaciones de gas, las cuales al relacionarlas con los estudios de atributos sísmicos y análisis AVO se concluye que existe un vínculo entre los cambios de la amplitud versus el offset y la presencia de gas, teniendo una importante representación areal al sur de la zona de estudio. Se infiere como mecanismo de carga para estas acumulaciones de hidrocarburo la remigración de gas alojados en los reservorios de la Fm. Los Molles, a través del complejo sistema de fallas de la dorsal de Huincul.

INTRODUCCIÓN

El área Agua del Cajón (ADC), ubicada al sur de la cuenca Neuquina, Argentina (Fig. 1), se distingue por producir gas de distintos reservorios, principalmente del Grupo Cuyo. Sin embargo existen evidencias de producción de gas asociadas a niveles someros desde de la Fm. Centenario desde el año 1971, tal como lo demuestran los pozos A-17, B-18, C-04, D-02, E-13, F-03, G-05, H-89, I-01, entre otros, llegando a acumular hasta 39 MMm³ de Gas (caso pozo I-01).

Este trabajo propone realizar, una caracterización geológica-geofísica de reservorios gasíferos, enfocada en las arenas someras de la Formación Centenario. Para tal fin se plantea un flujo de trabajo que contemple; a) interpretación estratigráfica y estructural; b) extracción de atributos sísmicos sobre un cubo migrado en profundidad y c) análisis de amplitud versus offset (AVO). Esto permitió comprender el posible sistema petrolero asociado a los yacimientos de dicha Fm. Centenario y distinguir cuáles son las áreas más favorables para poder desarrollar en un futuro cercano.

La zona de estudio se ha dividido en dos subbloques, el primero para la caracterización estratigráfica y estructural que abarcar toda el campo ADC, contemplando un total de 350 km² y la segunda para el estudio de atributos sísmicos y análisis AVO, la cual es una fracción de la primera con una extensión de 60 km² (Fig. 1).

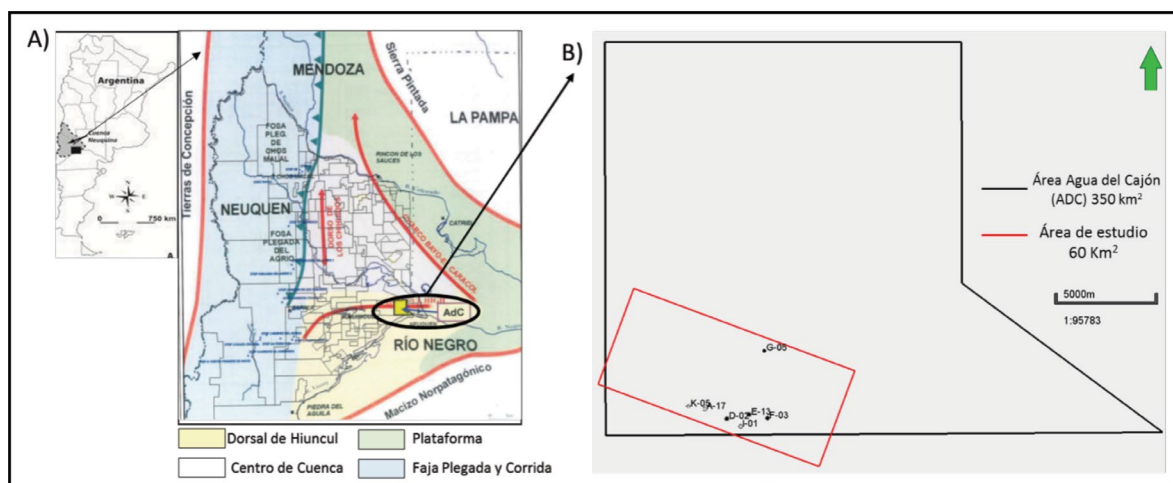


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio; A) ubicación regional (modificado de Gulisano *et al*, 1988 en Ambrosio y Gutierrez Pleimling, 2017) y B) ubicación local, junto a los pozos con producciones de gas.

DATOS DISPONIBLES

La información disponible consistió tanto en información de pozos como de sísmica 3D, registrada en 1996 y reprocesada en 2017.

Del total de los 380 pozos que contaba el bloque Agua del Cajón al momento de la confección de este estudio, solo 67 pozos (18%) poseen información de control geológico en la Fm. Rayoso

y 118 pozos (31%) en la Fm. Centenario, aunque no necesariamente desde su tope. 214 pozos (56 %) tenían con el set básico de perfiles eléctricos (Sp-Resistividad) en la Fm. Rayoso y casi la totalidad de los pozos (368 pozos) contaban con dicho set para la Fm. Centenario, el cual se utilizó para la correlación de todos los pozos del área.

En cuanto a los perfiles “especiales”, principalmente sónico, densidad y neutrón, utilizados para el cálculo de porosidad e identificación de fluidos, la cantidad de registros era muy escasa, como para realizar una caracterización petrofísica de mayor detalle. La información disponible poseía un carácter de tipo fragmentario, es decir pozos que contaban con control geológico no siempre tenían perfiles eléctricos básicos y viceversa. Este carácter se debe a que estas unidades formacionales no fueron consideradas niveles de interés petrolero, no siendo prioritaria para la adquisición de información.

Con respecto a los datos de producción de pozos la siguiente tabla muestra las producciones acumuladas de gas por pozo, proveniente de la Fm. Centenario.

Pozo	Año	Acumulada (MMm ³)
A-17	1971	0,9
B-18	1972	1,5
I-01	1992	39
M-02	1968	60
D-02	1993	30

Tabla 1. Año de perforación y producción acumulada de gas por pozo.

Los datos sísmicos 3D utilizados fueron cubos y gathers PSDM, rescalados a tiempo de regular a buena calidad a nivel de las Fms. Centenario y Rayoso, con alta relación señal/ruido, frecuencias dominantes entre 35 a 45 Hz y con cobertura nominal de más de 25 Traza/bin (Fig. 2). Se destaca la buena calidad de los mismos a pesar que la Fm. Centenario no fue el objetivo principal de la adquisición ni del último reprocesamiento sísmico

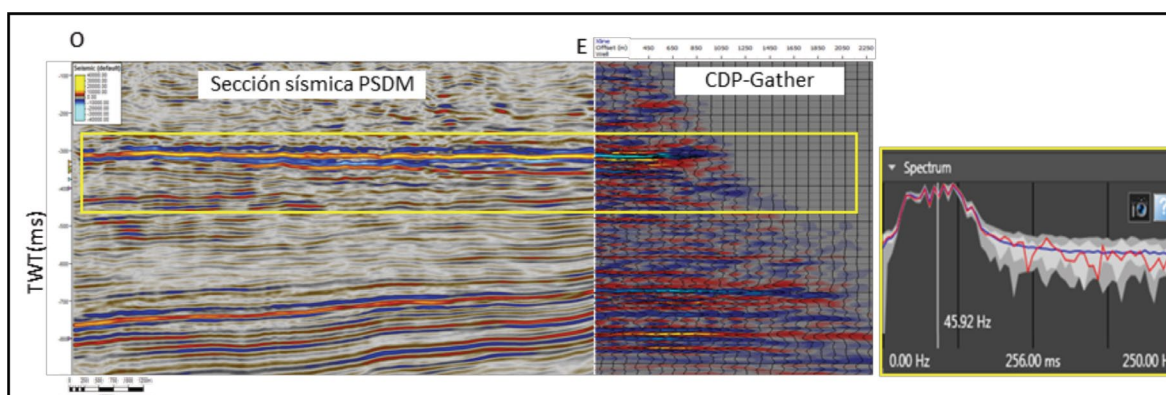


Figura 2. Sección sísmica apilada y CDP-gather sísmico (izquierda). Espectro de frecuencia para el intervalo de interés (derecha).

MARCO GEOLÓGICO

El área Agua del Cajón se ubica en el ámbito de la dorsal de Huincul, siendo atravesada hacia el sur del área por dicho rasgo estructural principal (Figs. 3 y 11).

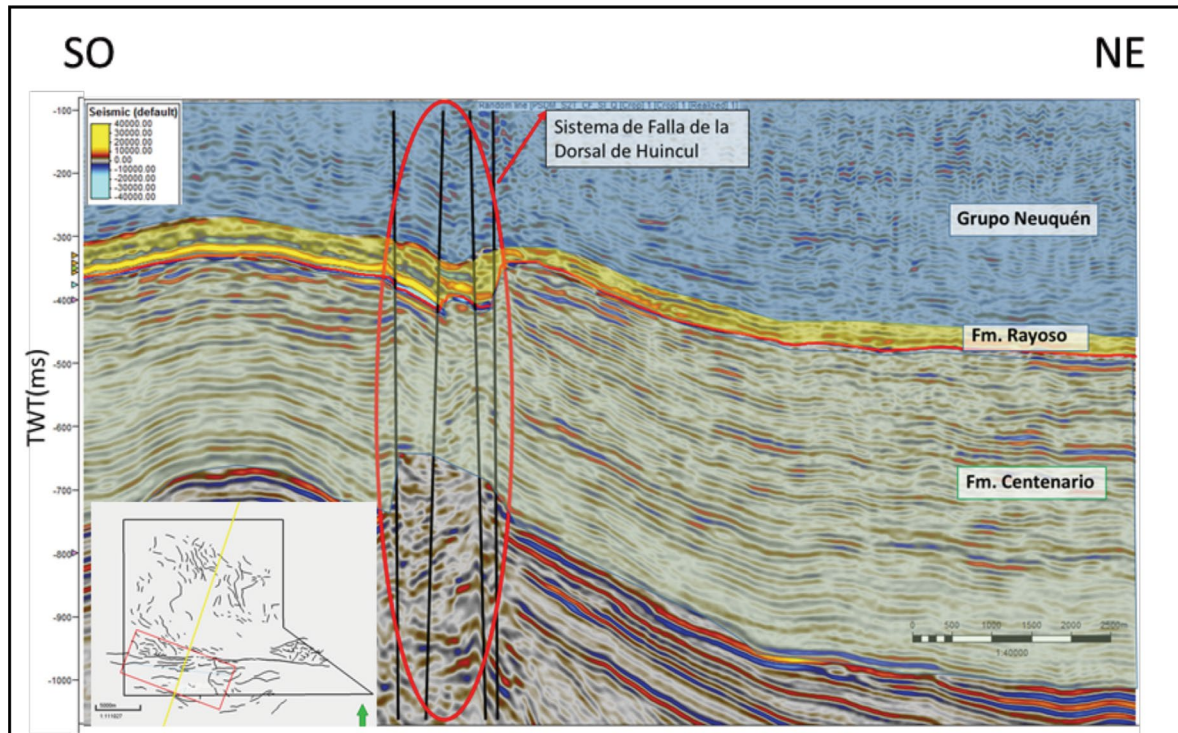


Figura 3. Sección sísmica SO-NE mostrando el levantamiento hacia la zona de la dorsal de Huincul, imprimiendo así una geometría en forma de cuña a las Fms. Centenario y Rayoso.

La unidad objetivo corresponde a las Formaciones Centenario y Rayoso las cuales están ubicadas en la parte superior de la columna estratigráfica del yacimiento (Fig. 4). A continuación se mencionan rasgos característicos de dichas unidades.

La Fm. Centenario está constituida por una alternancia de areniscas y arcilitas de unos 950 m de espesor en posiciones más septentrionales, las cuales se reducen a 750 m hacia el sur por el efecto del levantamiento de la dorsal de Huincul adquiriendo los mismos una geometría en forma de cuña (Fig. 3)

Las areniscas han sido descriptas en muestras de cuttings como de colores claros, variando desde gris claros a gris blanquecinos y poseen granulometría gruesa a muy gruesa que hacia el tope gradan a conglomerados con muy alta porosidad visual, indicando buenas condiciones como roca reservorio. En tanto las arcilitas, mucho menos abundantes, poseen coloraciones castaño rojizo.

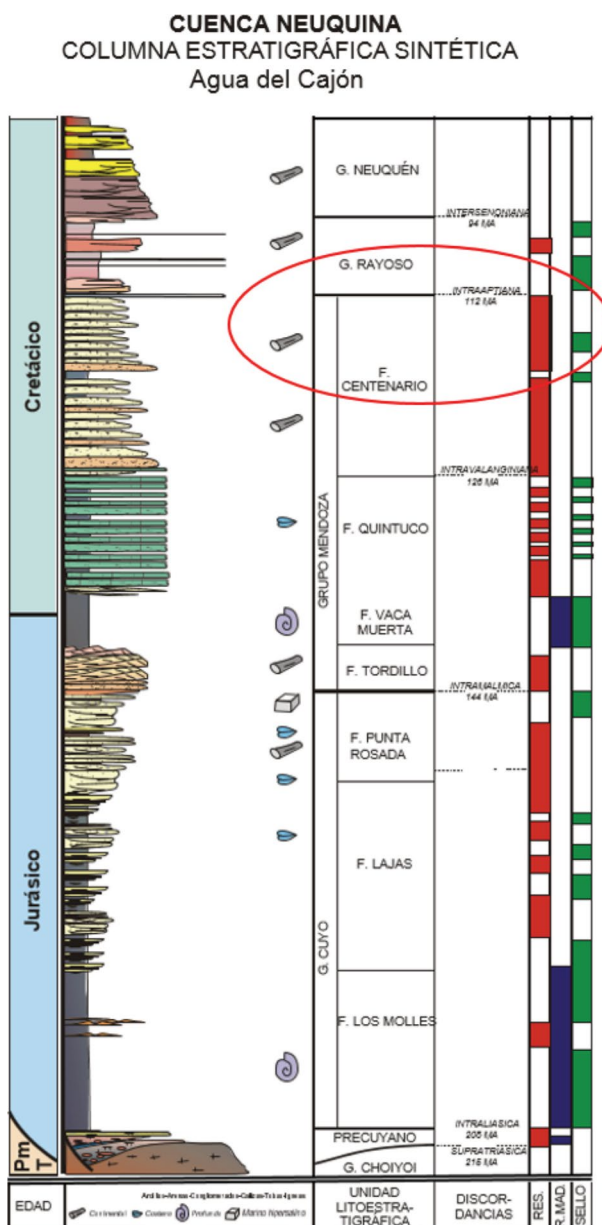


Figura 4. Columna estratigráfica del área Agua del Cajón. Modificada de Cabaleiro, *et al.*, 2002. Se resaltan las unidades de estudio en este trabajo.

El ambiente depositacional para la Fm. Centenario según los mapas paleogeográficos publicados por Cabaleiro, *et al.*, 2002, indican para esta área un ambiente fluvial de tipo proximal.

Por encima de la misma se encuentran los depósitos de la Fm. Rayoso. Al igual que la unidad anterior posee forma de cuña, registrándose los máximos espesores hacia la parte norte del yacimiento, con valores que alcanzan los 50 m de espesor, en tanto que hacia el sur tienden a desaparecer alcanzando en pozos del yacimiento El Salitral valores de tan sólo 12 m de espesor. Este acuñaamiento es consistente con los mapas paleogeográficos de la cuenca presentados por

Marteau, 2002. En base a las terminaciones observadas en secciones sísmicas se infiere una relación de discordancia entre ambas unidades (Fig. 5).

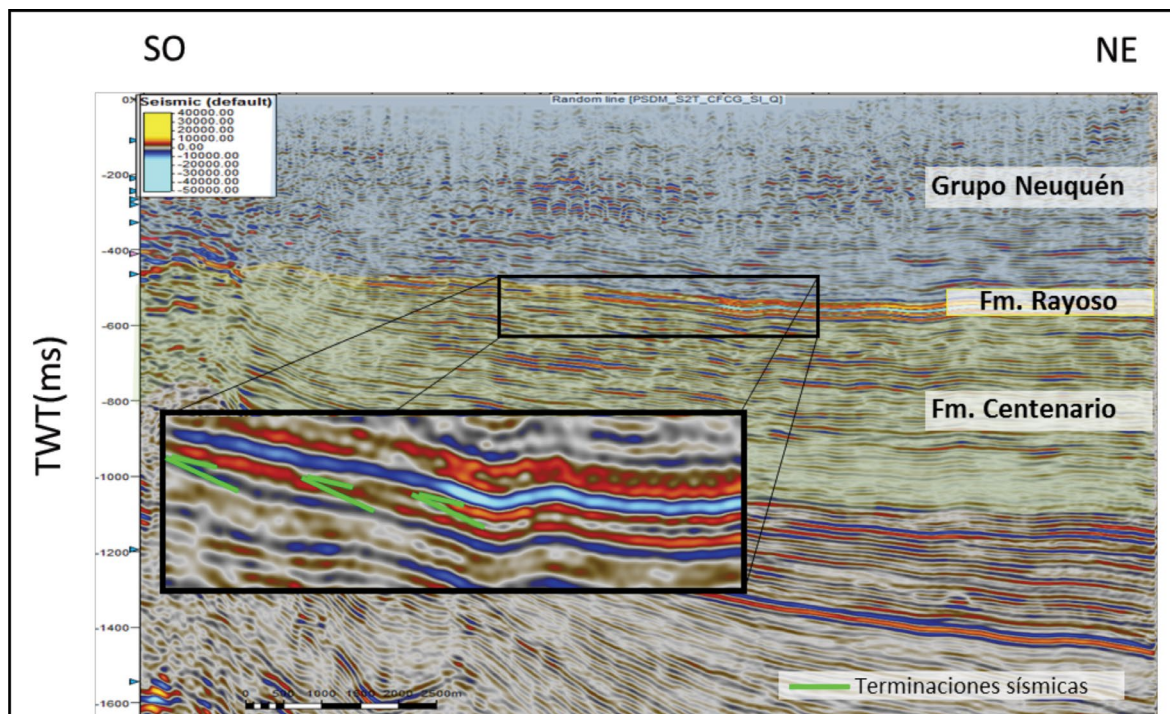


Figura 5. Sección en amplitud mostrando las terminaciones sísmicas de tipo truncación erosional (flecha verde), que permitieron inferir la discordancia entre las Fms. Centenario y Rayoso.

La Fm. Rayoso litológicamente está conformada por arcilitas de colores rojizos entre las cuales se intercalan en algunos pozos niveles de evaporitas de escaso espesor, descriptas en los recortes de perforación como anhidritas y ocasionalmente aparecen delgados bancos de caliza. Las litologías observadas para esta unidad y su sucesión vertical, en el área de Agua del Cajón, se asemejan a la asociación de facies o intervalo de tipo 2 de Ponce *et al*, 2002, quien propone para éstas un ambiente de tipo lacustre no muy profundo desarrollado bajo condiciones de clima árido.

A partir de la integración de los datos sísmicos y de pozos se construyó un modelo geológico conceptual para el área Agua del Cajón (Fig. 6), donde se puede observar la litología presente en el área, así como también la geometría, la dirección de progradación y las relaciones estratigráficas para el intervalo considerado.

FUNDAMENTOS GEOFÍSICOS TEÓRICOS

Dado que el objetivo geológico prospectivo de este trabajo son arenas gasíferas de espesores entre 10 y 40 m, es por lo cual se plantea una caracterización sísmica fundamentada tanto en

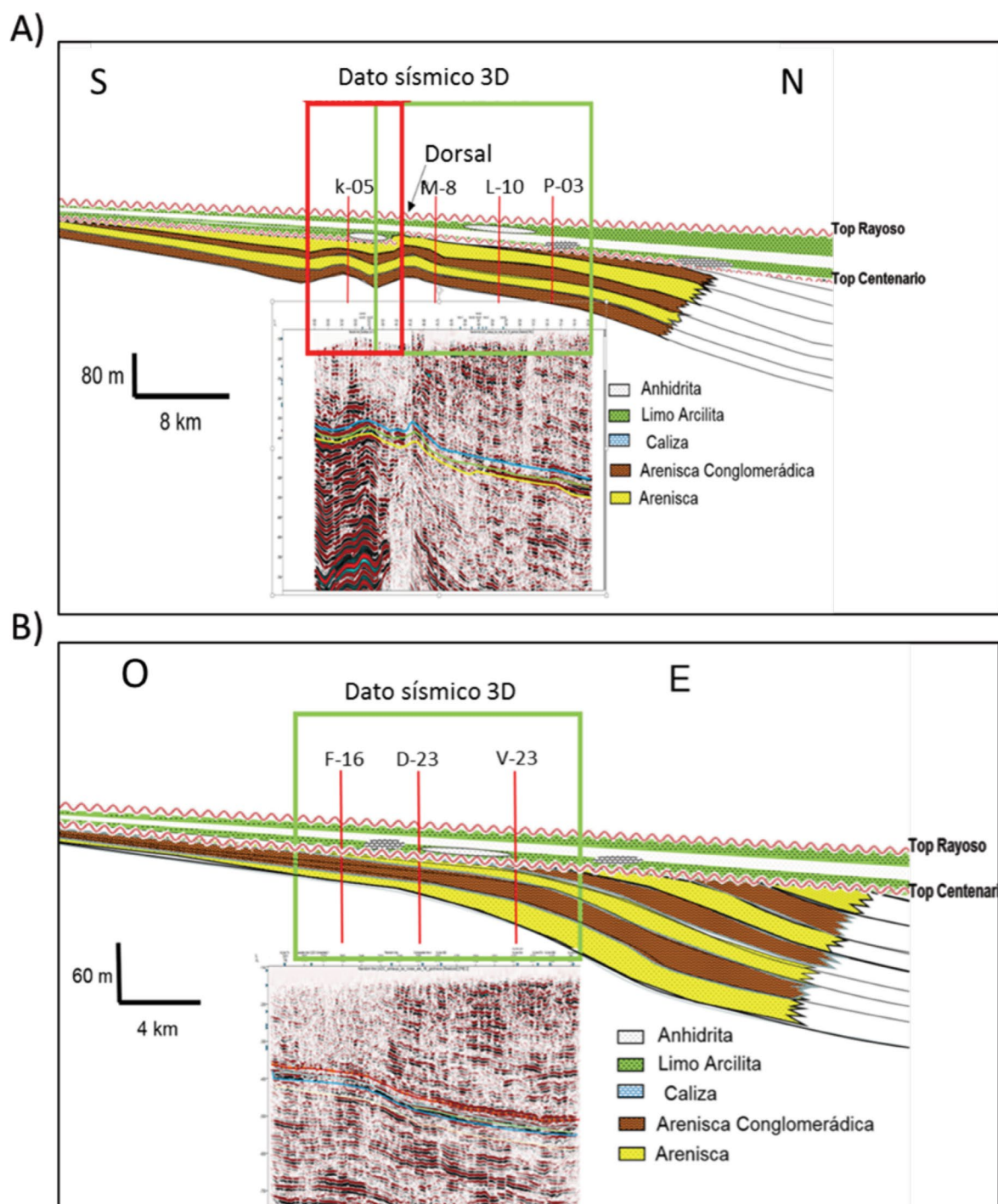


Figura 6. Modelo geológico conceptual de las Fms. Centenario y Rayoso en el área Agua del Cajón. A) Sección Sur-Norte B) Sección Oeste-Este

atributos convencionales como en análisis AVO. Recordando que el atributo de amplitud se puede manifestar tanto con presencia de gas como por características litológicas, para minimizar esta incertidumbre se incluyó el análisis de AVO, siendo el AVO uno de los atributos sísmicos

más eficaz, debido al fuerte contraste de propiedades elásticas-acústicas del medio en presencia de arenas con saturaciones mayores al 5% de gas con respecto a las distintas litologías circundantes (Hampson 2015).

Las diferentes relaciones roca-fluidos están representadas por distintos valores de módulos elásticos, donde dichos parámetros pueden ser definidos como relaciones de velocidades (V_p , V_s) y densidad (ρ) del medio. Gracias a esto es posible utilizar información sísmica de reflexión como herramienta indirecta para entender las propiedades elásticas.

La información de las reflexiones primarias en un CDP-gather es producto de la incidencia de la onda P sobre una interface con un ángulo θ , donde parte de la energía será reflejada como ondas convertidas PS, fenómeno definido por las ecuaciones de Zoeppritz (1919) (Fig. 7).

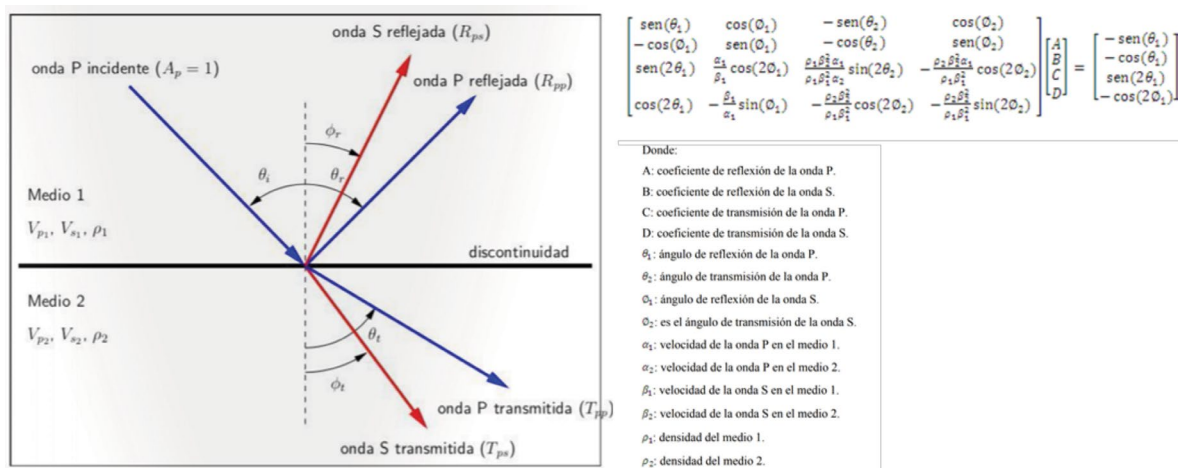


Figura 7. Esquema de rayos de la partición de la energía de onda P incidente en una interface con propiedades elásticas diferentes, donde parte de la energía se refleja como onda PS (Izquierda) y ecuación de Zoeppritz (Derecha)

Seguidamente en 1980 Aki y Richards, aproximan el coeficiente de reflexión P total (R_{pp}) desarrollado en las ecuaciones de Zoeppritz en función de las propiedades de las rocas, la densidad y velocidades de las ondas P y S. Así mismo, Shuey (1985) decide plantear la ecuación de Aki y Richards en función de la relación de Poisson; esta aproximación de Shuey de dos términos será la implementada en este proyecto, la cual es útil para ángulos de reflexión menores a 30° y establece que la amplitud de reflexión (reflectividad) de la onda P incidente en una interface plana varía linealmente con el $\sin^2\theta$ (Ec 1).

$$R_{pp} = R_p + B \sin^2\theta \quad (\text{Ec 1})$$

Donde R_p es el atributo intercepto AVO, el cual representa una medida de la reflectividad de la onda P a incidencia normal, y B es el atributo gradiente AVO, siendo una medida del cambio

de reflectividad de la onda P en función del ángulo de incidencia. El intercepto depende sólo de los contrastes de impedancia acústica, mientras el gradiente de la relación V_p , V_s y ρ a ambos lados de la interfase.

El comportamiento AVO para el tope de una arena con gas, según Rutherford y Williams (1989) se puede clasificar en tres anomalías, con diferentes valores de R_p y B , siendo el gradiente siempre negativo. La Clase 1 con interceptos positivos puede cambiar de polaridad a los 25° de incidencia, mientras la Clase 3 tiene interceptos negativos. La Clase 2 inicia con interceptos cercanos a cero y cambia de polaridad a los 5° . La Clase 4 según Castagna *et al.*, 1998 cambia el signo B con pendiente positiva iniciando y interceptos negativos que aumentan a medida que crece θ . (Fig. 8 A).

Para visualizar mejor estas anomalías AVO, se planteó construir gráficos donde la variable independiente sea R_p y la dependiente sea B . Los puntos que representan amplitudes generadas por lutitas y arenas saturadas con agua se alinean alrededor de una recta que pasa por el origen denominada Background (tendencia de fondo), mientras las poblaciones de datos que se alejan de la tendencia de fondo se asocian a presencia de gas. Según el cuadrante del gráfico donde se ubiquen estas poblaciones anómalas, se asocia a uno de los cuatro tipos de y AVO (Fig. 8 B). La clase 1 en el cuadrante II, la clase 2 en límites del cuadrante III y IV, la clase 3 en el cuadrante III y la clase 4 en el cuadrante IV (Cediel, 2012).

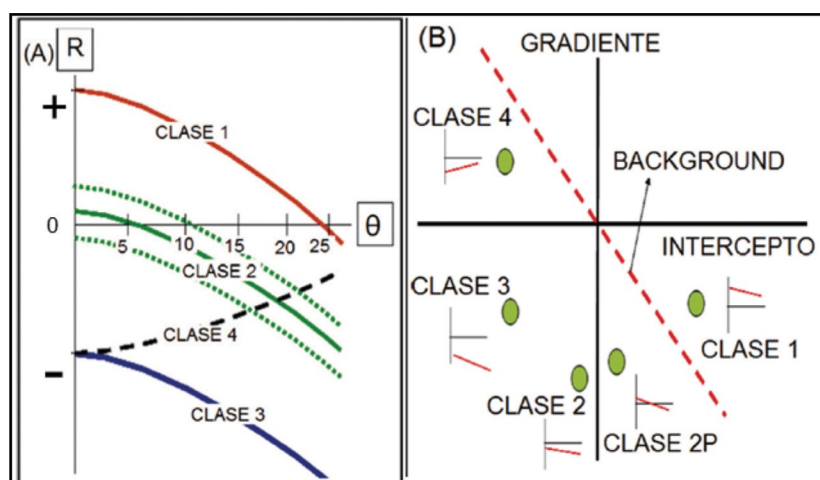


Figura 8. A) Clases de anomalía AVO en Gráfico de R_p Vs ángulo de incidencia (θ) y B) Anomalías AVO en una gráfica Intercepto (R_p) Vs Gradiente (B). (Modificado de Cediel, 2012).

FLUJO DE TRABAJO

Para llevar a cabo esta investigación se acordó dividirla en las siguientes etapas: a) Caracterización estratigráfica y sísmica de la unidad de interés, b) Modelado AVO, c) Análisis AVO y d) Interpretación integrada de datos. Estas cuatro grandes ramas se pueden esquematizar en el siguiente flujo de trabajo. (Fig. 9).

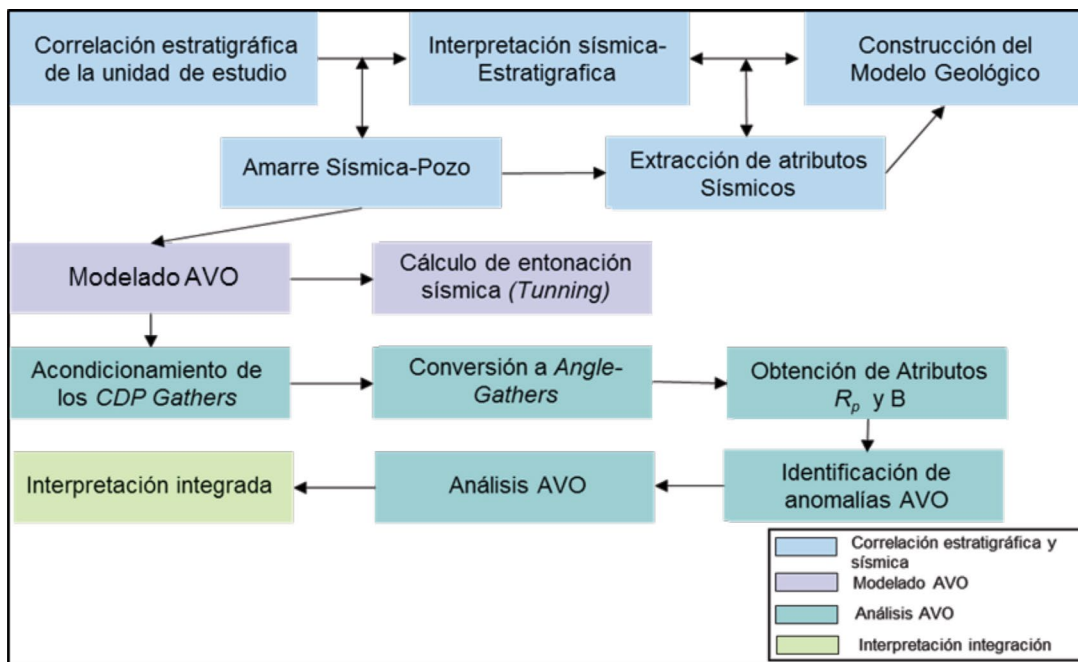


Figura 9. Flujo de trabajo aplicado en la investigación.

RESULTADOS

Concluida la interpretación estratigráfica se calibraron los pozos disponibles con el volumen sísmico PSDM (correlaciones mayores a 78%) (Fig. 10). Posteriormente se interpretaron los horizontes sísmicos asociados a los marcadores estratigráficos del tope de la Fms. Rayoso y Centenario y con ellos se extrajeron distintos atributos sísmicos en volúmenes post apilados, con la finalidad de ayudar a dilucidar la componente estructural, estratigráfica y posibles zonas de interés con anomalías de amplitud

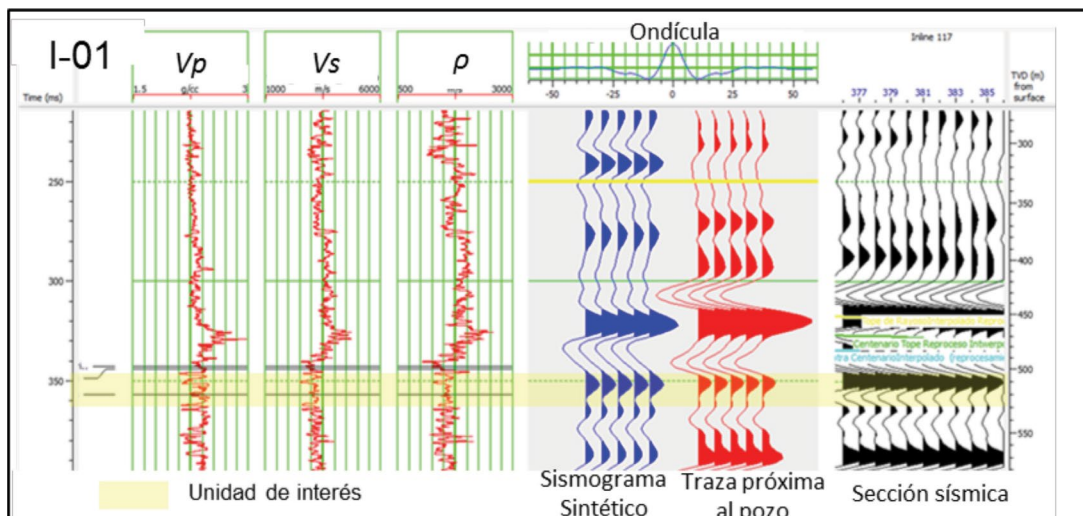


Figura 10. Ejemplo tipo de las calibraciones de pozo para la unidad de estudio

Los atributos de varianza junto con la interpretación estructural arrojaron la existencia de dos rasgos tectónicos; el primero y dominante es el sistema de fallas vinculado a la dorsal de Huincul, de orientación general este-oeste, corta a toda la columna con importantes rechazos. El segundo corresponde a un sistema de fallas normales, en echelon, estrechamente vinculado con la estructuración previa con rechazo desde los 5 a 15 m, siendo mayor en los flancos sur y norte de las estructuras evaluadas (polígono rojo de la Fig. 11). Esta configuración de fallas junto a las características sedimentarias de la roca reservorio (Fm. Centenario) y de la roca sello (Fm. Rayoso), han servido como sistema de entrapamiento de hidrocarburos, para la zona evaluada.

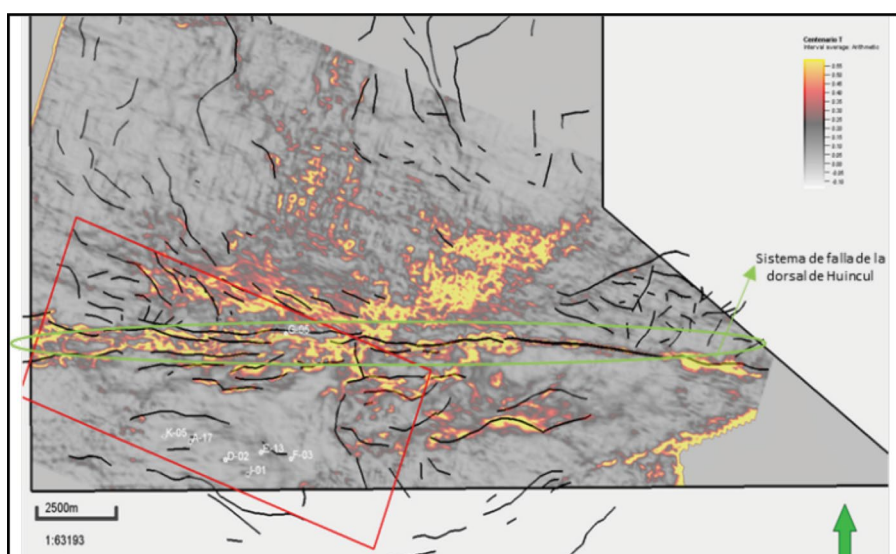


Figura 11. Atributo de varianza para el tope de la Fm. Centenario junto con los polígonos de fallas (color negro).

Al extraer en los cubos apilados PSDM (re-escalados a tiempo) atributos sísmicos de carácter estratigráfico, resultaron ser los más efectivos la envolvente de la señal (ventana de 8 ms por debajo de tope de la Fm. Centenario) y descomposición espectral (en bandas de 15 Hz, 25 Hz y 35 Hz) para el mismo nivel. En forma general no se evidencian claramente rasgos estratigráficos.

En la imagen siguiente (Fig. 12 A) se puede apreciar cualitativamente como el atributo de envolvente de la señal refleja zonas de amplitud anómalas de fuerte contraste, siendo la respuesta al sur de la Dorsal Neuquina mucho más continua que al norte. Se puede vincular a priori estas reflexiones muy negativas a la heterogeneidad litológica que existe en la interface Rayoso-Centenario y/o alguna respuesta indirecta en la relación roca-fluido (presencia de AVO clase 1 y clase 3). Sin embargo esta ambigüedad no se puede resolver con este tipo de atributo sísmico de amplitud por tratarse de un volumen apilado.

El atributo de descomposición espectral (Fig. 12 B) muestra en la mayoría de las ubicaciones de las anomalías de amplitud correspondientes a la envolvente de la señal, la confluencia de altas,

medias y bajas frecuencias (colores más claros), pudiendo interpretarse posibles zonas de buen espesor con litologías similares (polígono amarillo). Estos cuerpos poseen una tendencia hacia el noreste, dominada por la dirección del sistema de fallas y limitados al norte por la Dorsal de Huincul. Al comparar esta tendencia con los mapas estructurales del tope de la Fm. Centenario, se infieren algunos depocentros o posibles canalizaciones, coincidentes con el mismo sentido del máximo buzamiento de la estructura, pudiendo sugerir que dichos depósitos contengan intervalos arenosos importantes. En base a los antecedentes encontrados (perfiles de pozo, control geológico y respuestas sísmicas) se podría sospechar la posibilidad de presencia de hidrocarburos.

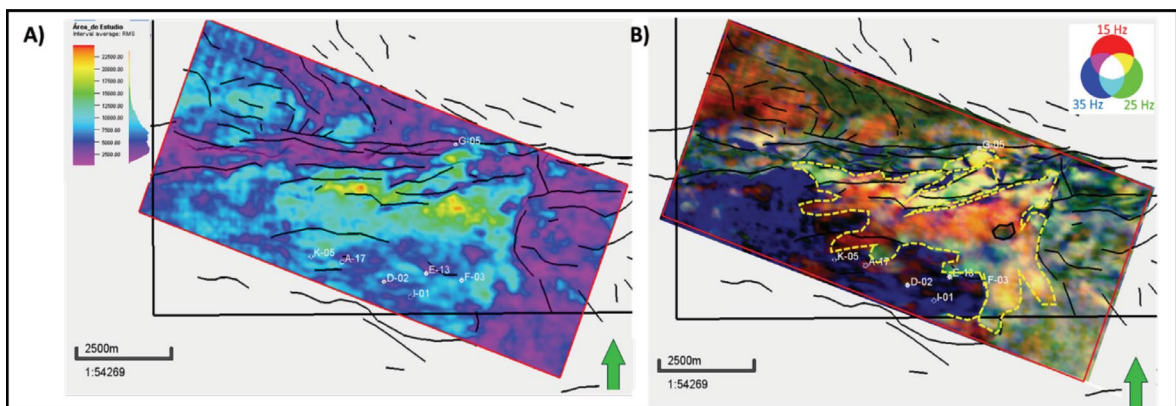


Figura 12. A) Atributos de envolvente de la señal. B) Descomposición espectral, extraída en 8 ms por debajo del tope de la Fm. Centenario, señalando posibles trenes sedimentarios (polígonos amarillos). Ambas muestran polígonos de falla para el tope de la Fm. Centenario (líneas negras).

Con el propósito de aumentar la certeza en saber cuáles de las anomalías de amplitud podrían corresponder a presencia de gas y cuál sería su distribución areal, se procedió a realizar un modelado AVO en los pozos I-01 (caso gas) y K-05 (caso agua), dado que ambos intervalos geológicos se encuentran en la misma unidad estratigráfica. Para ello se generaron en cada pozo gathers sintéticos (reflectividades para distintos offsets), utilizando la ecuación de Zoeppritz, con el fin de conocer sintéticamente las posibles variaciones AVO de acuerdo a las saturaciones de los distintos fluidos. (Fig. 13)

Los resultados en el pozo I-01 (productor de gas) mostrados en la figura 14 evidencian el efecto AVO que producen las saturaciones de gas reales en el gather sintético, evidenciando una disminución de la amplitud con el offset, llegando a cambiar su polaridad con ángulos de incidencia mayores a 25 grados, típico de una curva AVO clase I. De igual forma al evaluar la respuesta de amplitud en el pozo K-05 (100 % saturado en agua), se determinó la no existencia de cambios en la amplitud entre las distintas trazas.

Seguidamente al visualizar el angle-gather real perteneciente al CDP más próximo al pozo I-01, se pueden notar cambios de AVO igual a los estimados sintéticamente (curva clase 1) (Fig. 14). Sabiendo esto y con las aproximaciones de Shuey se calcularon los volúmenes de datos

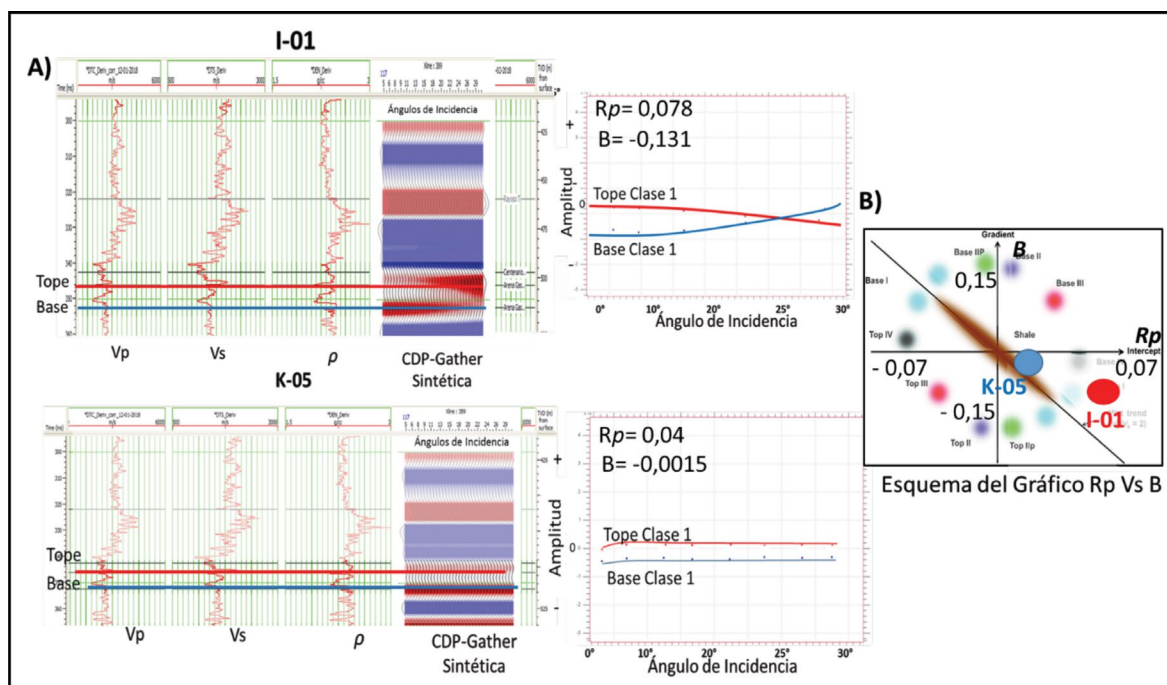


Figura 13. A) Gathers sintéticos del pozo I-01 y k-05, a nivel de la unidad objetivo, junto a los gráficos amplitud Vs ángulo de incidencia para el tope y la base de la unidad. B). Esquema del gráfico Rp Vs B para el tope de la unidad de interés, donde se ubican los puntos con saturaciones de agua pozo K-05 y gas pozo I-01.

Rp y B , involucrando todos los CDP-gathers del subbloque de estudio. Vale decir que los mismos ya habían sido acondicionados aplicándoles a nivel del objetivo estáticas TRIM para la horizontalización de los reflectores de interés y un enmudecimiento de las trazas para ángulos mayores a 35 grados de incidencia.

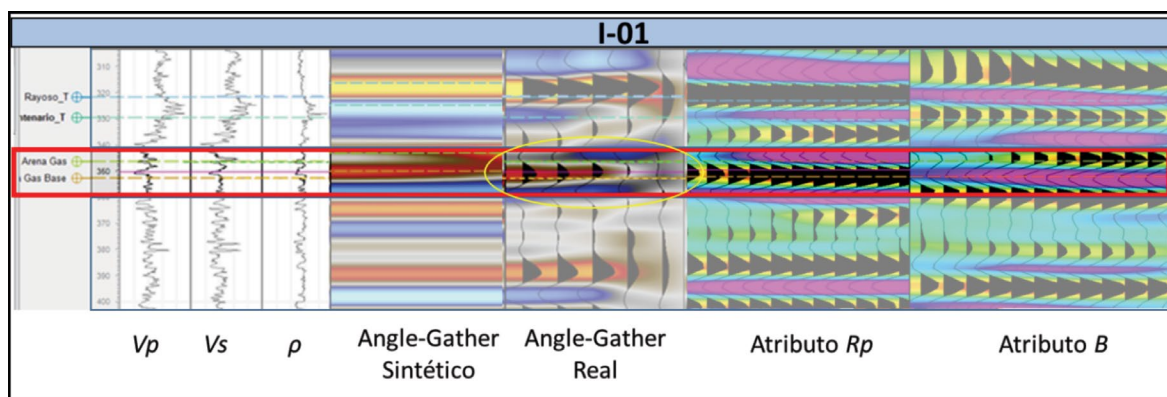


Figura 14. Comparación entre el angle-gather real vs sintético, junto a los volúmenes Rp y B calculados en la unidad de estudio (recuadro rojo) en el pozo I-01. Ambos gathers muestran una anomalía AVO Clase 1.

Se elaboraron gráficos intercepto vs gradiente en las cercanías de los pozos de control, donde se evidencian poblaciones de datos que se logran separar de la tendencia de fondo en el caso del pozo I-01 y no en el pozo K-05 (Fig. 15), dichas anomalías corresponden a los intervalos

productores de gas. Lo que permite decir que las anomalías AVO clase 1 tienen expresión tanto en los registros sísmicos como en los gráficos Rp Vs B.

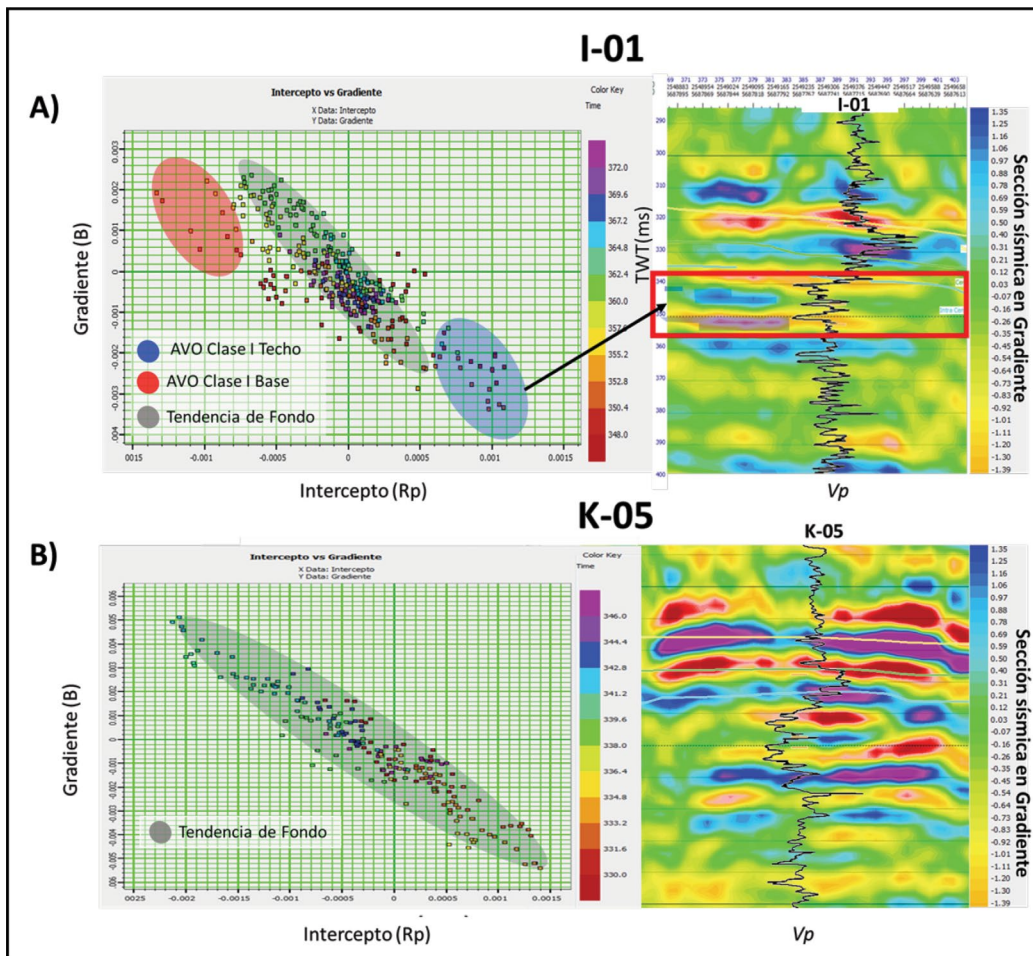


Figura 15. Gráficos de Rp Vs B junto a la sección sísmica en valores de gradiente, señalando el techo y la base de las anomalías AVO Clase 1 al lado del intervalo productor del pozo. A) Pozo I-01, B) Pozo K-05

Una vez validadas las respuestas AVO reales en las inmediaciones de los pozos evaluados, se procedió a involucrar mayor cantidad de datos para la construcción de gráficos Rp Vs B representativos de toda el área de estudio (60 Km²) y saber si en los mismos se logran identificar tendencias anómalas. La ventana espacial seleccionada fue de 50 Inline x 50 X-line, con muestreo cada 2 líneas en ambas direcciones y el intervalo vertical fue de 60 ms, centrado en 10 ms por debajo del tope de la Fm. Centenario. (Fig. 16)

La figura anterior muestra una clara tendencia a separarse las nubes de las anomalías clase 1 de la tendencia de fondo, identificando tanto el techo (en el segundo cuadrante, color azul) y la base del reservorio (cuarto cuadrante, color rojo), permitiendo vincular dicha respuesta a la posible presencia de saturaciones de gas mayores al 5% en las rocas más jóvenes, porosas y permeables de la Fm. Centenario.

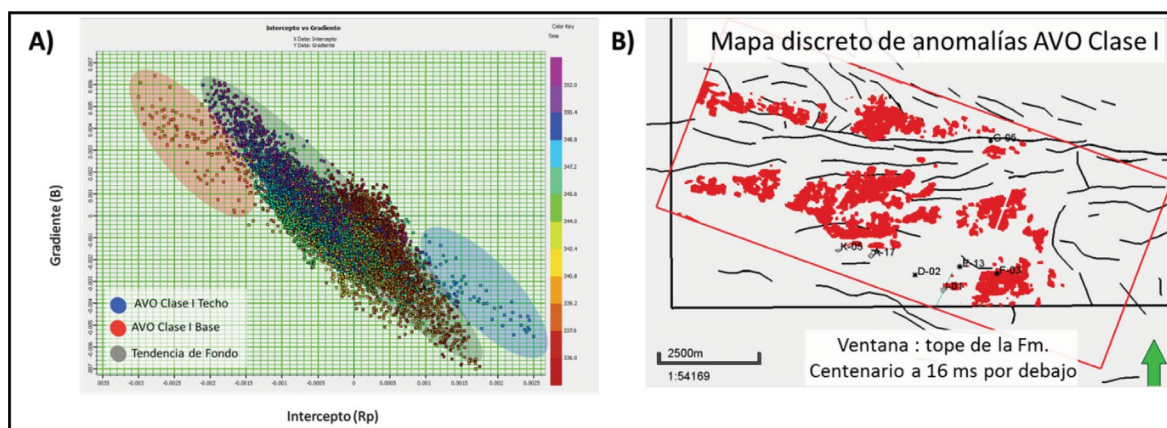


Figura 16. A) Gráfico Intercepto vs Gradiente para los datos de la zona de estudio B). Mapa discreto de la distribución de puntos clase I señalados, tomado en una ventana de 16 ms a partir del tope de la Fm. Centenario.

Al sobreponer las anomalías extraídas de los gráficos anteriores junto a las secciones sísmicas de apilado total, se puede notar que las mismas coinciden con zonas de alta energía, sin embargo no todos los valores altos en amplitud corresponden a respuestas AVO clase 1 (Fig. 17), mostrando así que existe sólo una pequeña parte de estas que contienen saturaciones de gas.

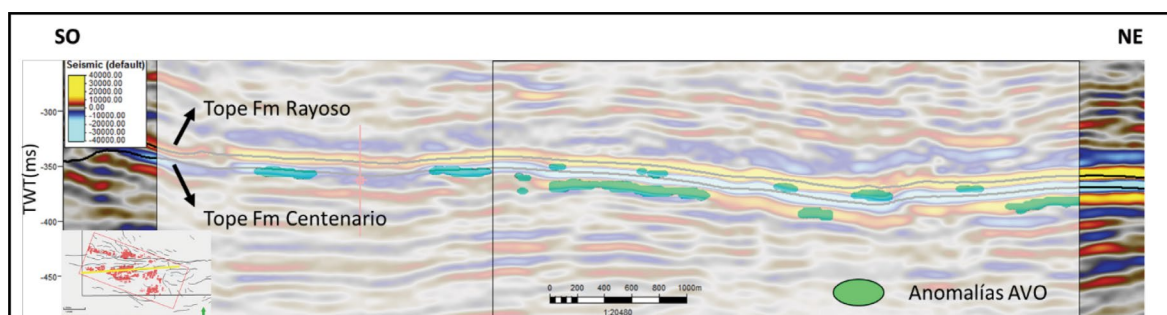


Figura 17. Puntos anómalos AVO sobrepuestos en una sección sísmica postapilada mostrando que solo una parte del total de las máximas amplitudes es la que representa las saturaciones de gas.

INTERPRETACIÓN INTEGRADA

Al integrar los resultados de las distintas etapas del proyecto se puede concluir que las areniscas más jóvenes de la Fm. Centenario tienen espesores y propiedades petrofísicas favorables para constituir rocas reservorios, mientras que las lutitas de la Fm. Rayoso presentan buenas características para conformar una roca sello. Sin embargo esta última formación no es la única barrera impermeable, pues dentro de la misma Fm. Centenario existen variaciones laterales de litofacies las cuales producen que los hidrocarburos tengan depósitos preferenciales de almacenamiento.

Aunado a las características estratigráficas, están presentes dos sistemas de fallas, uno incipiente donde su rechazo puede favorecer en menor medida la acumulación de gas en los bloques de techo, y el segundo más relevante, relacionado con la Dorsal de Huincul, el cual se asocia a una posible vía de migración vertical de hidrocarburos. Se postula como mecanismo de carga para las acumulaciones de gas en la Fm. Centenario, la remigración de gas alojado en los reservorios de la Fm. Los Molles, a través del complejo sistema de fallas de la dorsal de Huincul, actuando la Fm. Rayoso como sello.

Al solapar los mapas de anomalías AVO junto a los atributos de envolvente de la señal y descomposición espectral calculados, se puede apreciar que existe una alta correlación, dado que los puntos clase I del AVO, se ubican en los más fuertes contrastes de energía y también sobre los posibles canales señalados por la descomposición espectral, destacando en principio tres zonas prospectivas (Fig. 18).

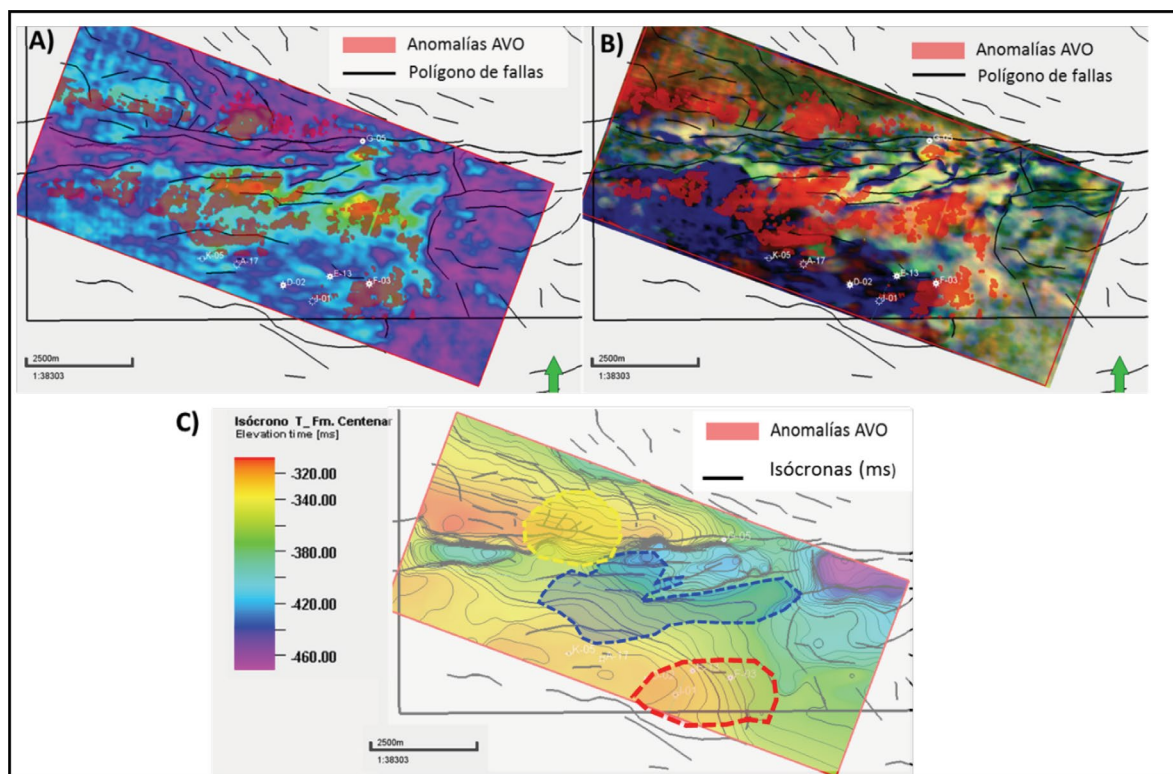


Figura 18. Anomalías AVO sobrepuestas con: A) Atributo de envolvente de la señal B), Descomposición espectral, C) Mapa isócrono al tope de la Fm. Centenario, resaltando las tres zonas de interés, identificadas por polígonos de color.

La primera se ubica al extremo noroeste (polígono amarillo), posiblemente corresponda a una trampa de tipo estructural con cierre en tres direcciones contra falla, limitada al sur por el sistema de la Dorsal de Huincul y al noreste y noroeste el sistema menor de fallas normales. La segunda se encuentra en la zona sureste del área de estudio (polígono rojo), en donde las anomalías AVO coinciden tanto con los mapas de envolvente de la señal, descomposición espectral y con el pozo I-01 el cual acumuló un total de 39 MMm³. Al ya existir en esta zona pozos con producción de

gas, sería de interés para estudios futuros evaluar esta zona desde el punto de vista de dinámica de fluidos, con el propósito de estimar cuales serían las reservas de gas remanentes. La tercera zona en el centro del área de estudio (polígono azul), muestra la mayor distribución de puntos contrastantes de AVO, los cuales se solapan tanto con las anomalías del atributo envolvente de la señal y de descomposición espectral. Estas tendencias tienen dirección noreste, dibujando la depresión local mostrada en las curvas isócronas del tope de la Fm. Centenario. Dicha tendencia tiene un cierre en ambos extremos de su extensión, al norte, la Dorsal de Huincul y al sur el antiforme erosionado en su cresta. Así mismo vale mencionar que la ubicación estructural de estas anomalías coincide con el nivel estructural en los cuales los pozos perforados han aportado gas.

Por todas estas razones, se concluye que las tres zonas de interés poseen altas posibilidades de presentar reservorios con saturaciones de gas.

CONCLUSIONES

Se elaboró un modelo geológico correspondiente a las Fms. Centenario y Rayoso en el área Agua del Cajón, el cual fue soportado con datos de pozo e información sísmica.

La existencia y combinación entre las areniscas más jóvenes de la Fm. Centenario, las lutitas de la Fm. Rayoso y el sistema de falla profundo de la dorsal Neuquina, son las responsables de las acumulaciones gasíferas existentes en la zona de estudio. Las cuales pudieran repetirse a lo largo de todo el ámbito de la dorsal de Huincul, en áreas similares a ADC.

Se comprueba que el uso de atributos sísmicos y análisis AVO enfocados en la caracterización de los reservorios gasíferos de la Fm. Centenario, resulta un flujo de trabajo eficaz, capaz de aumentar la certidumbre en cuanto a la ubicación de áreas con saturaciones de gas.

Los mapas de atributo de envolvente de la señal calculados, evidencian múltiples zonas de alto contraste negativo, pero no todas estas se correlacionan con respuestas AVO clase 1, posiblemente se deba a la presencia de pequeños cuerpos localizados de anhidrita y bancos de caliza de la Fm. Rayoso, ocasionando fuertes respuestas negativas de amplitud. Por ello no se recomienda ubicar pozos en esta zona sin antes realizar estudios de tipo AVO o inversión elástica.

El análisis AVO implementando en los angle-gathers reales en el pozo I-01 y en su cercanía, muestran anomalías tipo clase 1, las cuales son predichas por la respuesta modeladas sintéticamente, arrojando una buena confiabilidad en los datos interpretados.

Los atributos sísmicos de envolvente de la señal y de descomposición espectral, evidencian zonas anómalas coincidentes espacialmente con los resultados del análisis AVO, demostrando que el área sur de la dorsal Neuquina (dentro de la zona de estudio) presenta un posible deprocentro o faja de canales, con trenes de areniscas que contienen saturaciones de gas mayor al 5%.

El análisis integrado permitió establecer tres zonas prospectivas, la primera ubicada al norte de la dorsal de Huincul, con un tipo de trampa de hidrocarburos estructural y dos más al sur

de este sistema fallas, de tipo combinadas. Estas zonas gasíferas se encuentran en los flancos de las estructuras positivas y no en las cúspide de estas, debido a que existe una degradación del reservorio hacia el tope, dada la existencia de una posible discordancia erosiva entre las Fms. Centenario y Rayoso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su agradecimiento a la compañía CAPEX S.A por permitir el uso de los datos del proyecto, al equipo de geología de esta empresa en especial a José María González y a Carlos Gómez. Así mismo le hacemos un especial reconocimiento a Marcelo Giusso de la empresa Geoenergía Boliviana S.A. y a Marcela Branca de la empresa Schlumberger por su dedicación y entusiasmo para con este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambrosio, A. y Gutierrez Pleimling, A., 2017. Gira de Campo Capex. Análisis estratigráfico y paleoambiental del Grupo Cuyo entre Picún Leufú y Chacabuco. Neuquén Argentina.
- Aki, K.T., and Richards, P.G., 1980. Quantitative Seismology: Theory and Methods: Vol. 1, W.H. Freeman and Co.
- Cabaleiro, A., Cazau, L., Lasalle, D., Penna, E. y Robles, D., 2002. Los Reservorios de La Formación Centenario. Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas de La Argentina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, 407-425. Mar del Plata.
- Castagna, J., Swan, H., Foster, D., 1998. Framework for AVO gradient and intercept interpretation. Geophysics, 63: 948-956.
- Cediel, M., Almanza, O., Montes, L., 2012. Análisis AVO en el yacimiento de alta impedancia del campo Chuchupa.
- Hampson, D., Rosuell, B., 2015. Guide to AVO Modeling, 51p
- Marteau, V.M., 2002. Los Reservorios de La Formación Rayoso. Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas de La Argentina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, 511-528. Mar del Plata.
- Ponce, J. J., Zavala, C., Marteau, V. y Drittanti, D., 2002. Análisis Estratigráfico y Modelo Depositional para la Formación Rayoso (Cretácico inferior) en la Cuenca Neuquina, Provincia del Neuquén. XV Congreso Geológico Argentino. Actas CD-ROM, Artículo 235, 6 págs. El Calafate.
- Rutherford, S., and Williams, R., 1989. Amplitude versus Offset variations in Gas Sands. Geophysics, 54: 680-688.
- Shuey, R., 1985. A Simplification of the Zoeppritz Equation. Geophysics, 50: 609-614.
- Zoeppritz, K., 1919. On the Reflection and Propagation of Seismic Waves. Gottinger Nachrichten, I: 66-84.