

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE SISMOFACIES COMO METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DE PALEOAMBIENTES EN EL CRETÁCICO INFERIOR DE LA CUENCA DE MALVINAS

Ramsis Guerrero¹, Mariano Ragazzi¹, Estefania Tudisca¹

1: Pluspetrol S.A. rguerrero@pluspetrol.net, mragazzi@pluspetrol.net, etudisca@pluspetrol.net

Palabras clave: Cuenca Malvinas, Sismofacies, Paleoambientes

ABSTRACT

The Malvinas Basin is located at the southern tip of South America, broadening between Malvinas platform to the east and the Rio Chico structural high (also called the Dungeness Arch) to the west. Its configuration is triangular and has a column of more than 9000 m of sedimentary fill that ranges from Jurassic to Cenozoic.

The main reservoir of this offshore basin, composed mainly of siliciclastic sediments, is part of a transgressive sequence of early Cretaceous age. This interval has been the focus of study by several authors for decades. 22 wells have been drilled in the basin and proved the existence of an active petroleum system. The exploration historically focused on traps associated to structural highs located at the north and west margins of the basin, while the zone towards the southeast and centre of the basin, which corresponds to the basin depocenter, remains practically unexplored. The objective of this study was to reconstruct the depositional environments of the Lower Cretaceous interval, and thus give more insight into the hydrocarbon prospectivity of this part of the basin.

For the 2018 Argentina Offshore Bidding Round, the Ministry of Energy collected and provided a large amount of data, including 2D seismic acquired between 1970 and 1998. Using the highest quality seismic data from this set, a workflow combining various seismic attributes and innovative neural network technology was generated. This workflow allowed us to establish a relationship between lithologies and changes in the seismic signal or clustering of the response of the seismic data.

As a result of this study, seismic facies maps were obtained which allowed for the identification of seismic geoshapes, which were calibrated with well data, facilitating the understanding of the depositional environments of the Lower Cretaceous sequence.

INTRODUCCIÓN

La cuenca de Malvinas Oeste se encuentra ubicada sobre el margen austral de América del Sur y abarca un área de alrededor de 188.000 km². Forma parte de un conjunto de cuencas genéticamente relacionadas, formadas a partir de la apertura del océano Atlántico. Limita al SE

con el banco Burdwood, al E con el plateau de Malvinas, al NO con el alto estructural de Río Chico y al SO con la cuenca Austral (Fig. 1).

La Figura 1 muestra la ubicación de la cuenca, junto con los pozos perforados y la información sísmica 2D y 3D existente. Para la realización de este trabajo se utilizó información sísmica 2D recolectada y proporcionada por la Secretaría de Energía durante la licitación de los bloques *offshore* – Argentina (2018), líneas 2D adquiridas y procesadas por TGS 2018 e información de pozos recopilada y analizada por Corelab (2021). Además, se cuenta con sísmica 3D recientemente adquirida y procesada con tecnología de alta calidad de imagen por TGS (adquisiciones 2020-2021).

Es importante mencionar que 21 de los 22 pozos exploratorios perforados en la cuenca se encuentran ubicados en el margen O de la misma (Fig. 1), en su parte somera y sobre altos estructurales (Figs. 2 y 3), dejando el sector SE más profundo de la cuenca inexplorado. Cabe destacar que varios de estos pozos han comprobado la existencia de un sistema petrolero activo. A su vez, es posible observar un rasgo muy común de la sísmica marina asociado con escape de fluidos, como zonas verticalmente elongadas con una señal sísmica deteriorada, las cuales podrían estar relacionadas con posibles chimeneas de gas, estos rasgos se encuentran ubicados al Sur Este de la cuenca y se encuentran relacionados con quiebres estructurales los cuales generan fallas desde el basamento hasta el mioceno (Baristean *et al.* 2012, Cartwright *et al.* 2007).

El relleno de la cuenca está conformado por 5 estadios tectónicos bien definidos, los cuales se encuentran representados en una sección NO-SE ubicada en el centro de la cuenca (Fig. 2) creada a partir de la interpretación regional de líneas sísmicas 2D, estudios previos de la cuenca, y datos de pozos:

- el *pre-rift*, compuesto por rocas metamórficas que constituyen el basamento de edad Paleozoica a Mesozoica (Galeazzi, 1996).
- el *syn-rift* (Jurásico Inferior a Medio), cuyo depósito ha sido diferenciado en dos tipos de rellenos sedimentarios, el primero volcánico-lástico, compuesto por riolitas y arcilitas negras lacustres, las cuales guardan importancia por su potencial de roca generadora, y el segundo, fácilmente identificable en las secciones sísmicas por su carácter transparente, en el cual abundan tobos, depósitos continentales y riolitas.
- el *sag* (Jurásico Medio-Cretácico Inferior), estadio en el cual el espacio de acomodación de la cuenca se incrementa debido a la subsidencia termal combinada con un aumento relativo del nivel del mar, es el foco de este estudio. Se identifican sísmicamente las primeras ingresiones-regresiones marinas en una secuencia genéricamente transgresiva y relacionada con los depósitos siliciclásticos de la formación Springhill (Cayo *et al.* 2017). Esta formación ha sido el principal objetivo de exploración de las cuencas Austral y Malvinas Oeste.

- el margen pasivo (Cretácico Superior), compuesto por depósitos de arcillitas, lutitas, margas y limolitas de plataforma-talud y que se manifiesta sísmicamente en progradaciones NE-SE de gran escala (Raggio *et al.* 2011).
- la etapa de foredeep durante el Cenozoico, relacionada con el levantamiento del *plateau* de Malvinas hacia el E y la implantación de un régimen transcurrente-transpresivo hacia el S, generando grandes discordancias (destacando la discordancia del Eoceno medio) y el basculamiento y profundización de la cuenca (Ghiglione *et al.* 2010; Lovecchio *et al.* 2019).

La Figura 3 muestra una línea sísmica NO-SE ubicada en el sector central de la cuenca, en la cual se identifican eventos de alta amplitud en la secuencia *sag*. El principal objetivo de este trabajo fue integrar la información sísmica 2D y de pozos disponibles, con la finalidad de crear mapas de sismo-facies que permitan caracterizar y entender el ambiente deposicional de este intervalo en el sector SE inexplorado de la cuenca y que comprende desde el Jurásico Medio hasta el Aptiano/Albiano, y así generar mapas paleogeográficos que ayuden en la predicción de potenciales reservorios y rocas madres.

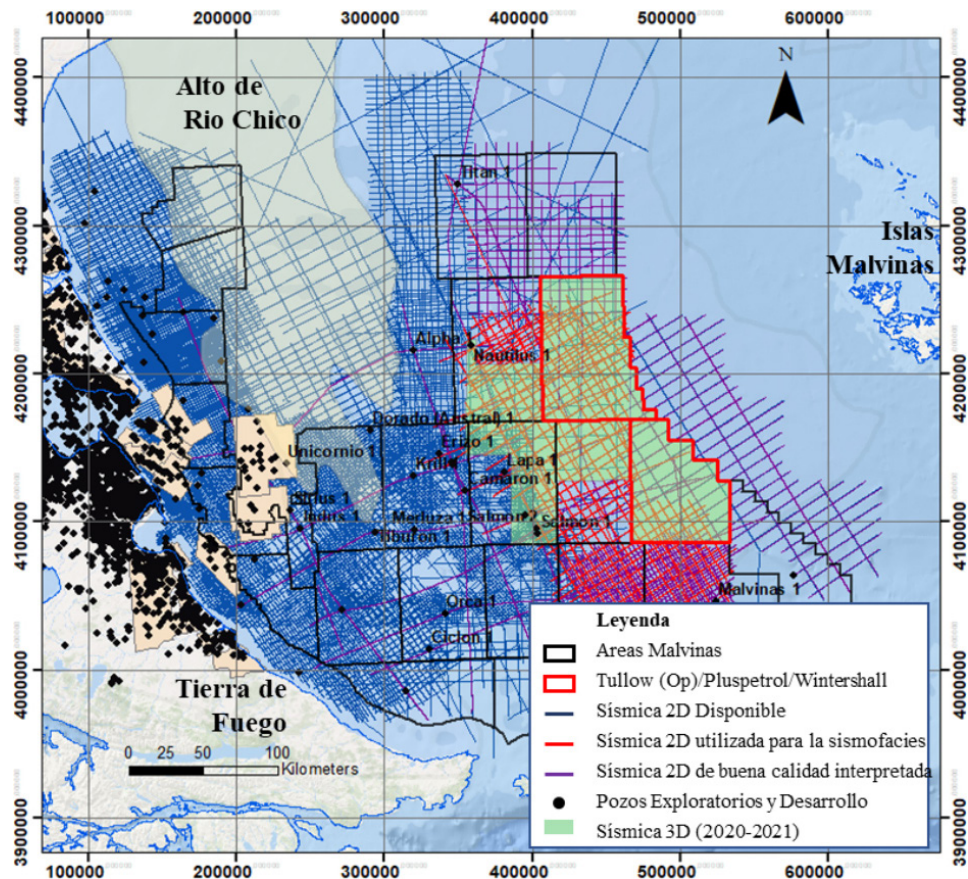


Figura 1. Mapa de ubicación e información sísmica 2D-3D y pozos disponibles en la cuenca Malvinas.

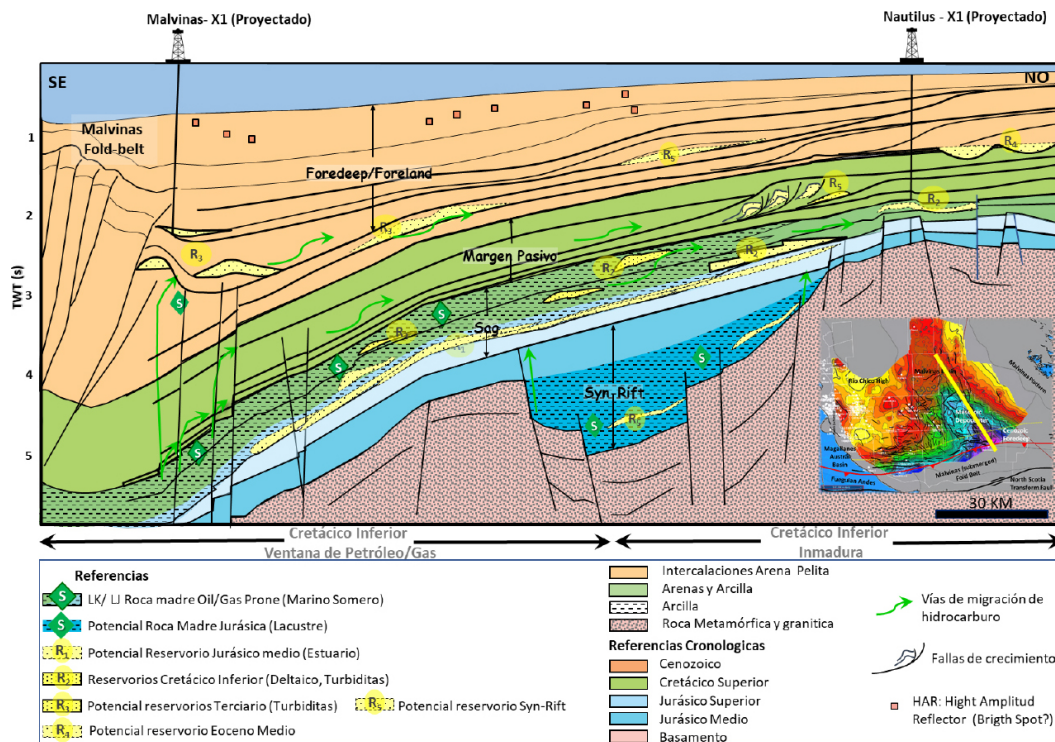


Figura 2. Corte esquemático NO-SE de los 5 estadios tectónicos de la cuenca Malvinas, donde se detallan las posibles vías de migración desde las cocinas propuestas hacia los principales plays. Mapa estructural en tiempo cercano al tope del basamento.

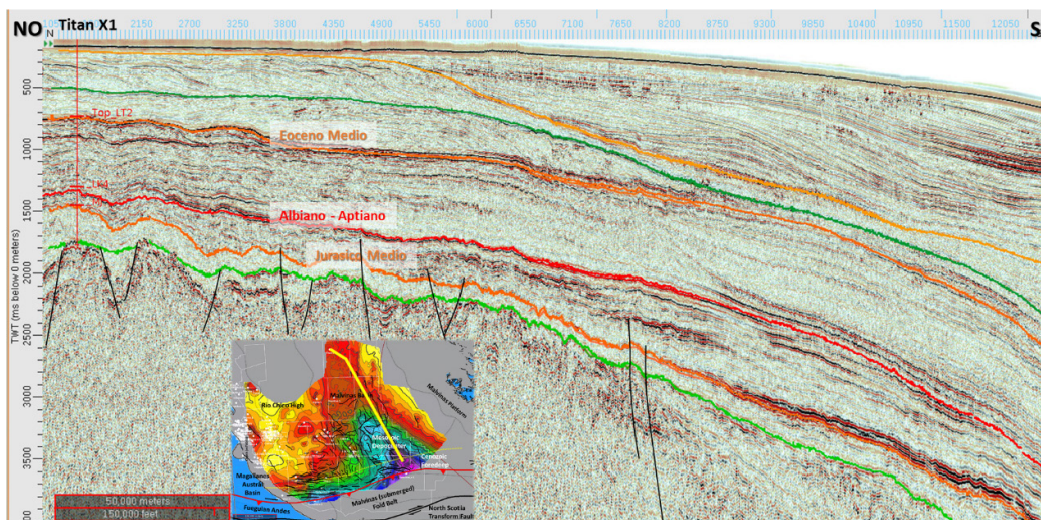


Figura 3. Línea 2D NO-SE regional. En el nivel Jurásico Medio – Aptiano (sag) se puede identificar un arreglo sísmico de backstepping con presencia de altas amplitudes. Mapa estructural en tiempo cercano al tope del basamento.

METODOLOGÍA

Una sísmofacies puede estar definida por sus variaciones de amplitud, fase y frecuencia, en un intervalo definido y en un conjunto de datos sísmicos (Mitchum *et al.* 1977). Es decir, las

facies sísmicas se pueden definir como un grupo de respuestas sísmicas con características que difieren claramente de otra facies (John *et al.* 2008). El principal objetivo de la clasificación de facies sísmicas es reconocer y agrupar eventos similares que representen determinadas litologías, propiedades de las rocas o contenido de fluidos, en un determinado intervalo de una secuencia geológica.

En este estudio de identificación de facies sísmicas, se partió de la información disponible en el pozo Nautilus.x-1 y de las líneas sísmicas 2D que lo atraviesan (Fig. 1). El Cretácico Inferior (secuencia de la Fm. Springhill) se manifiesta en el pozo como intercalaciones de arenas, pelitas y carbón depositadas en un ambiente deltaico (Corelab, 2021). Es posible identificar una atenuación de las amplitudes sísmicas en dicha formación, intervalo que constituye uno de los paquetes arenosos mejor desarrollados de la cuenca (Fig. 4). A partir de estos datos, se planteó una hipótesis que permitió predecir intervalos arenosos: las zonas de bajas amplitudes en sísmica corresponderían a depósitos constituidos mayormente por areniscas (potenciales rellenos de canales) mientras que los eventos de altas amplitudes podrían representar zonas compuestas por litologías más finas y con mayor contenido carbonoso (potencial planicie deltaica) (Fig. 4).

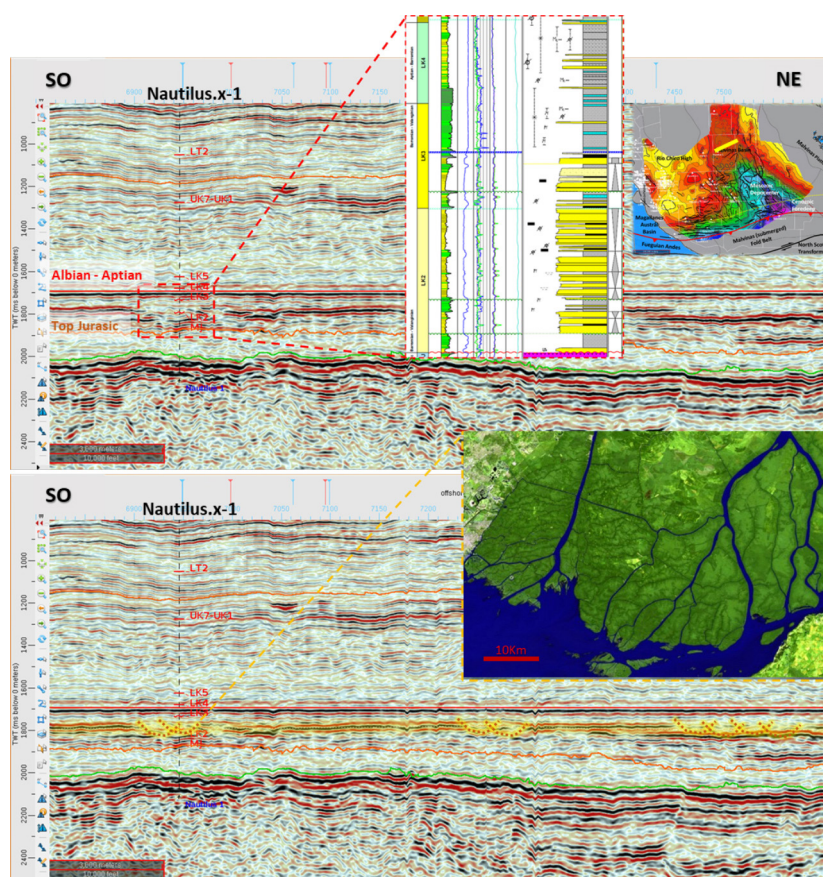


Figura 4. Línea sísmica 2D O-E que atraviesa la posición del pozo Nautilus.x-1 horizontalizada al tope del Aptiano/Albiano. Se muestra la descripción litológica realizada por Corelab (2021) y su interpretación paleoambiental, constituida por un patrón de canales de baja amplitud en un sistema deltaico (posible análogo: Delta del Paraná).

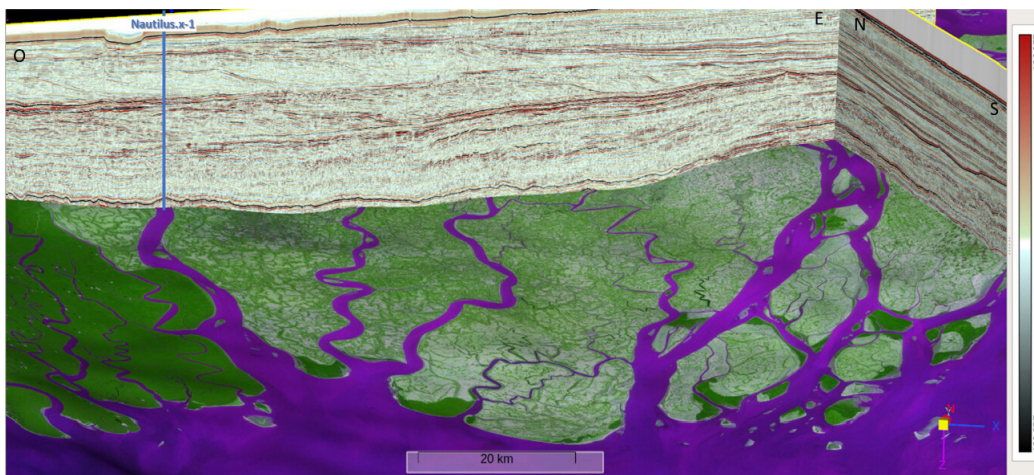


Figura 5. Líneas sísmicas 2D O-E y N-S. Se ilustra otro posible análogo actual (Delta del Ganges) de lo que se podría encontrar en la Fm. Springhill.

La Figura 5 muestra una vista 3D con líneas sísmicas 2D N-S y E-O y un potencial análogo actual, el delta del Ganges localizado en la costa meridional de Asia, ubicado en India y Bangladés. De esta manera, la paleogeografía en el intervalo superior de la Fm. Springhill cercana al pozo Nautilus.x-1 se podría representar como una gran planicie deltaica dominada por mareas con orientación N-S, conformada por una vasta área de manglares pantanosos con gran vegetación en un clima húmedo.

La Figura 6 muestra un *crossplot* empírico entre impedancia acústica y coeficiente de Poisson (basado en datos de Castagna *et al.* 1993), donde se ilustra cómo estos parámetros varían en diferentes rocas sedimentarias. Algunas litologías se diferencian claramente, como lo es el caso del carbón, el cual posee muy baja densidad y alto coeficiente de Poisson. Cabe destacar en este caso que la presencia de carbón suele causar altos contrastes de amplitudes con entradas negativas (*soft* SEG normal, el centro de una ondícula simétrica positiva es un pico), las cuales pueden confundirse con arenas gasíferas. Cuando estas últimas muestran AVO clase III, se pueden diferenciar de los intervalos con altos contenidos carbonosos ya que estos últimos tienden a generar respuestas AVO Clase IV.

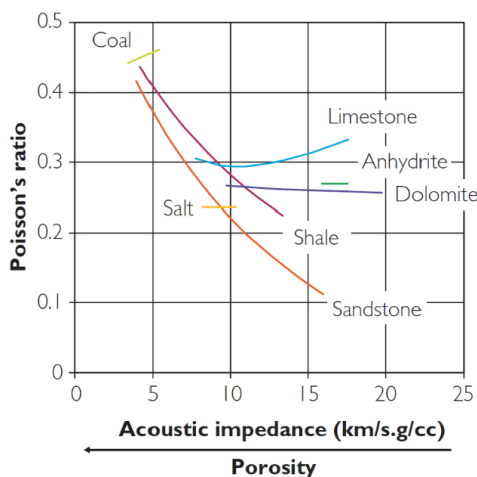


Figura 6. Rangos de impedancia acústica versus coeficiente de Poisson, basados en datos de Castagna *et al.* (1993). Tomado de Seismic Amplitude an Interpreters Handbook 2014.

Las areniscas y las lutitas, en cambio, exhiben tendencias sub-paralelas de alta pendiente, de tal manera que la relación de Poisson en ambas litologías disminuye con las porosidades bajas (IA superior). En contraste, las calizas y dolomitas tienen tendencias planas (relación de Poisson constante).

Teniendo en cuenta el marco teórico expuesto y los datos de partida, este estudio se basó en el siguiente diagrama metodológico:

1.- Interpretación y generación de atributos:

Con la utilización del software Stratimagic (Emerson), se crearon sismofacies sobre una línea sísmica 2D que atraviesa el pozo Nautilus.x-1, con el fin de ajustar la interpretación sísmica a datos de pozo.

Para ello, se interpretaron el tope y la base del intervalo Barremiano, de aproximadamente 70 m de espesor, y se seleccionaron el número de clases a utilizar, las cuales se encuentran relacionadas a la cantidad de litofacies que podrían existir en el nivel de interés y que se discriminan sísmicamente. Se identificaron, entonces, cuatro tipos de facies: 1.- Facies arenisca, 2.- Facies mixta (arenisca - pelitas) 3.- Pelitas con carbón y 4.- Pelitas.

Además, se generaron distintos atributos sísmicos como ser; coherencia, análisis espectral, Sweetness, RMS, envolvente y semblanza que se clasificaron y agruparon por orden de jerarquía.

2.- Análisis de los componentes principales PCA.

El PCA (Principal Component Analysis), originalmente desarrollado por Pearson (1901) y Hotelling (1933), es un método estadístico utilizado en varias disciplinas científicas que genera un reordenamiento y reducción de dimensiones, en el que se identifican las relaciones importantes del dato de estudio, se transforma el mismo según estas relaciones y luego se cuantifica la jerarquía para identificar cuáles son las relaciones más significativas y así descartar las menos importantes (Camargo, 2021). En el gráfico de la Figura 7 se muestra una matriz de análisis de PCA para los datos sísmicos 2D y atributos generados en este trabajo. Se observa que los valores cercanos a 1 (recuadros de color rojo en la Fig. 7) son los datos que tienen mayor similitud y que corresponden a los atributos relacionados con la amplitud sísmica, por ende, son los que tienen mayor importancia PCA y los que tendrán mayor contribución (55%).

La PSTM con filtro y ganancia y su atributo de coherencia quedan separados en distintos PCA, que tendrán menor aporte en la clasificación de las sismofacies (20% y 15% respectivamente) (Fig. 7).

La Figura 8 muestra los resultados de los PCA proyectados por encima del intervalo de estudio. Se puede observar que los PCA del 1 al 3 son los que más resaltan las variaciones de los eventos

de bajas y altas amplitudes, y el PCA 4 es más uniforme sobre la línea, dando menos aporte a la creación de facies, con lo cual es descartado del análisis.

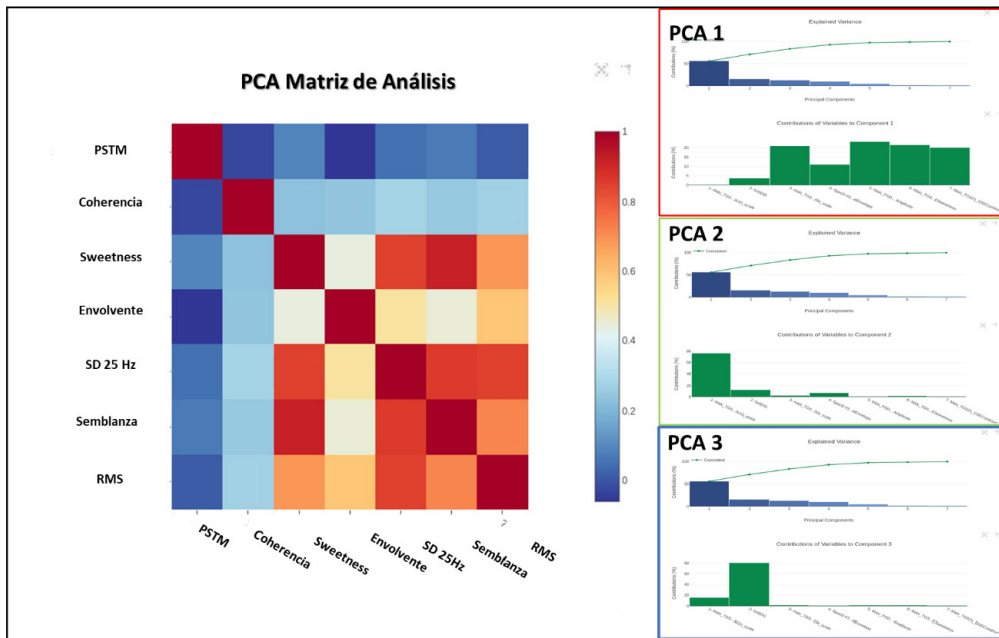


Figura 7. Matriz de análisis PCA para los atributos sísmicos utilizados para la clasificación de facies.

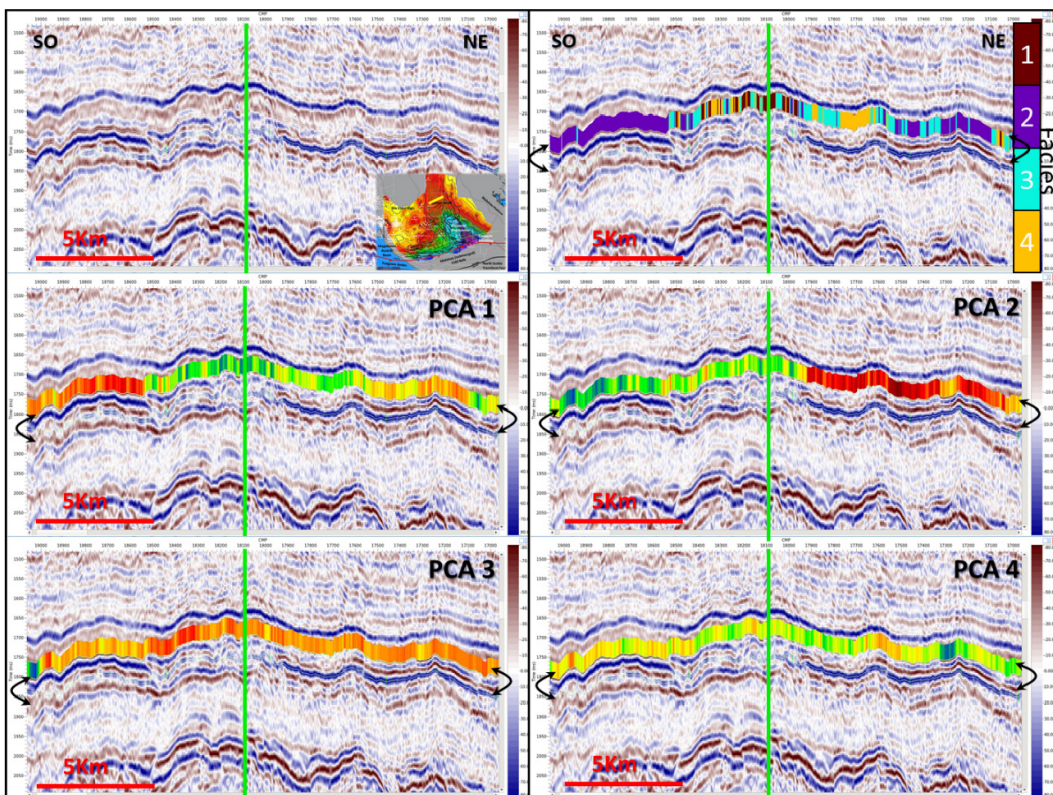


Figura 8. Línea Sísmica W-E 2D sobre el pozo. El intervalo de color representa el resultado de los PCA en el intervalo de estudio, el cual se encuentra desplazado al tope de la secuencia para una mejor visualización. Los PCA 1, 2 y 3 darán más aporte a los resultados de la clasificación ya que resaltan mejor los eventos de altas y bajas amplitudes.

3.- Clasificación de Facies:

Con posterioridad al análisis PCA, se compara cada una de las trazas de la sísmica en el intervalo interpretado y se organizan según sus similitudes. Como se mencionó anteriormente, en este caso se trabajó sólo hasta el PCA 3, y con 4 sismo-clases.

La Figura 9 muestra la línea sísmica 2D y el pozo estudiados y se proyecta por encima del intervalo de interés (tope-base en líneas verdes) la sismo-clasificación en 4 colores. A partir de la misma se puede interpretar que la clase 1 podría estar representando areniscas (potenciales rellenos de canales), mientras que el resto de las clases podrían estar caracterizadas por litologías finas con alto contenido carbonoso.

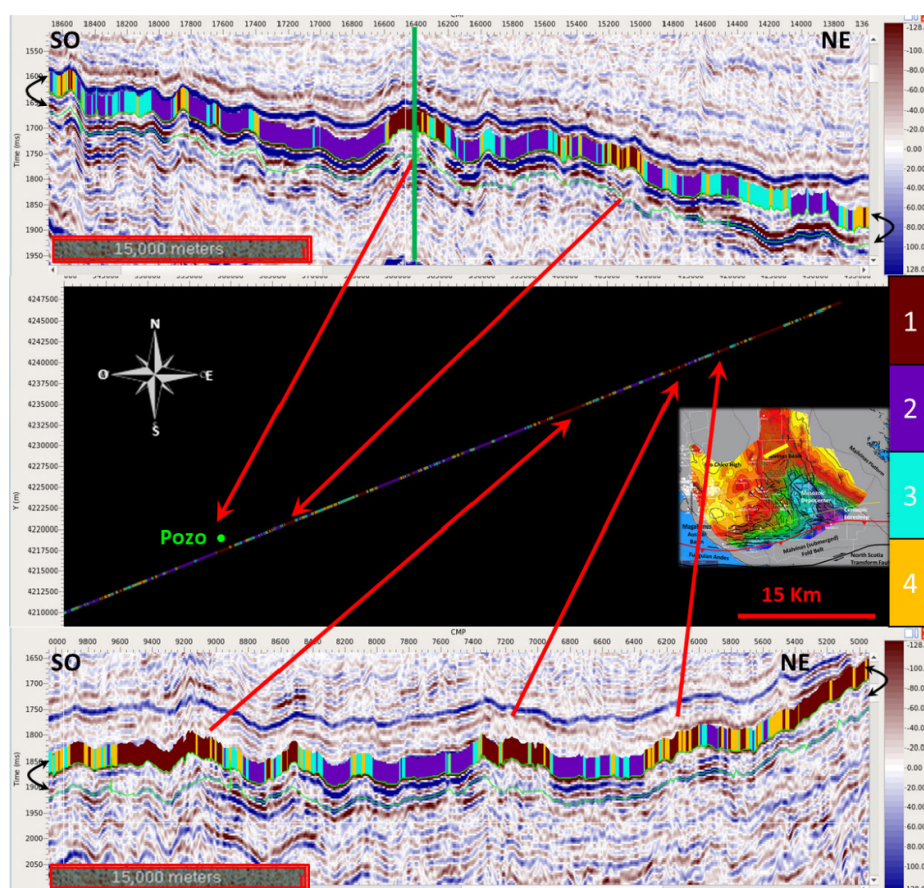


Figura 9. Línea sísmica 2D sobre el pozo de estudio. El intervalo de color representa el resultado de las 4 sismofacies en el intervalo de estudio, se encuentra desplazado al tope de la secuencia para una mejor visualización.

Una vez calibrado el flujo de trabajo a partir de la línea sísmica 2D que atraviesa el pozo Nautilus.x-1, teniendo en cuenta la interpretación del intervalo, atributos sísmicos, selección del número de PCA y clases, se procede a generar las clasificaciones sobre las restantes líneas sísmicas elegidas (Fig. 1, líneas 2D en color rojo).

4.- Aplicación del método sobre los sets de líneas sísmicas 2D:

Se utilizaron dos sets de datos sísmicos: un set de datos migrados *post-stack* proporcionados por la Secretaría de Energía adquiridos y procesados en el 1998 y otro set de datos migrados *pre-stack* adquiridos y procesados por Spectrum en el 2018. Ambos sets de datos son de alta calidad.

Para la correcta ejecución del método, se debe tener en cuenta que las líneas sísmicas deben estar en la misma fase y deben estar bien ajustadas las diferencias en tiempo entre ellas. Además, es importante mantener el espesor entre el tope y base de la secuencia, ya que el flujo requiere del análisis y la comparación traza a traza para realizar la clasificación.

En este caso de estudio, previo a la generación de los distintos atributos, fue necesario aplicar un filtro para la eliminación de ruido, ya que podría afectar la comparación de las trazas. También se aplicó un balance de amplitudes.

Una vez realizada la interpretación sobre cada una de las líneas de los dos sets de datos, se procede a calcular los atributos para poder generar los PCA y posteriormente la clasificación de facies.

A continuación, se muestra el resultado de la clasificación de facies de los dos sets de datos que se utilizaron finalmente para la interpretación geológica regional del intervalo de estudio (Fig. 10).

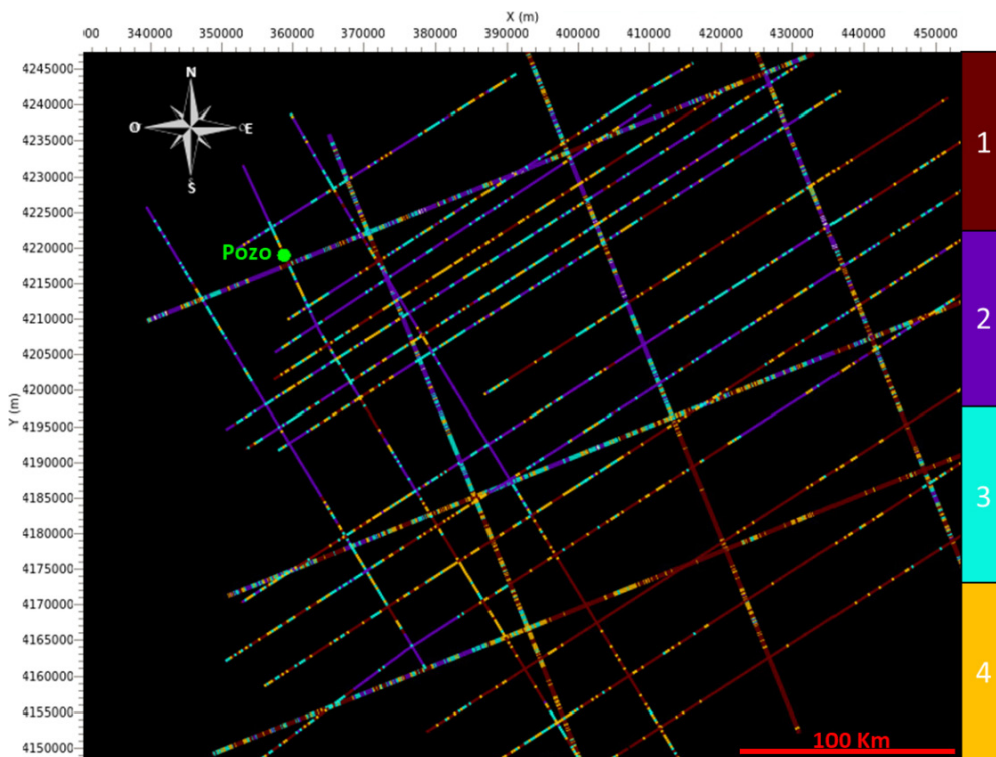


Figura 10. Resultado de la clasificación de sismofacies sobre todas las líneas sísmicas 2D analizadas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A partir de la metodología anteriormente expuesta, se observa que las intercalaciones de la clase 1 podrían ser correlacionables con las litofacies de areniscas descritas en el pozo Nautilus.x-1 para el intervalo analizado, las que se interpretan como rellenos de complejos de canales en un ambiente deltaico.

Teniendo en cuenta que la sismofacies 1 corresponde a zonas transparentes en el dato sísmico, como se observa en la posición del pozo Nautilus.x-1 (Fig. 11), se identificaron en cada una de las líneas, las zonas con la clase 1 que tuvieran además geometrías de canal y potenciales bases erosivas, y se clasificaron a su vez con una letra c (canales).

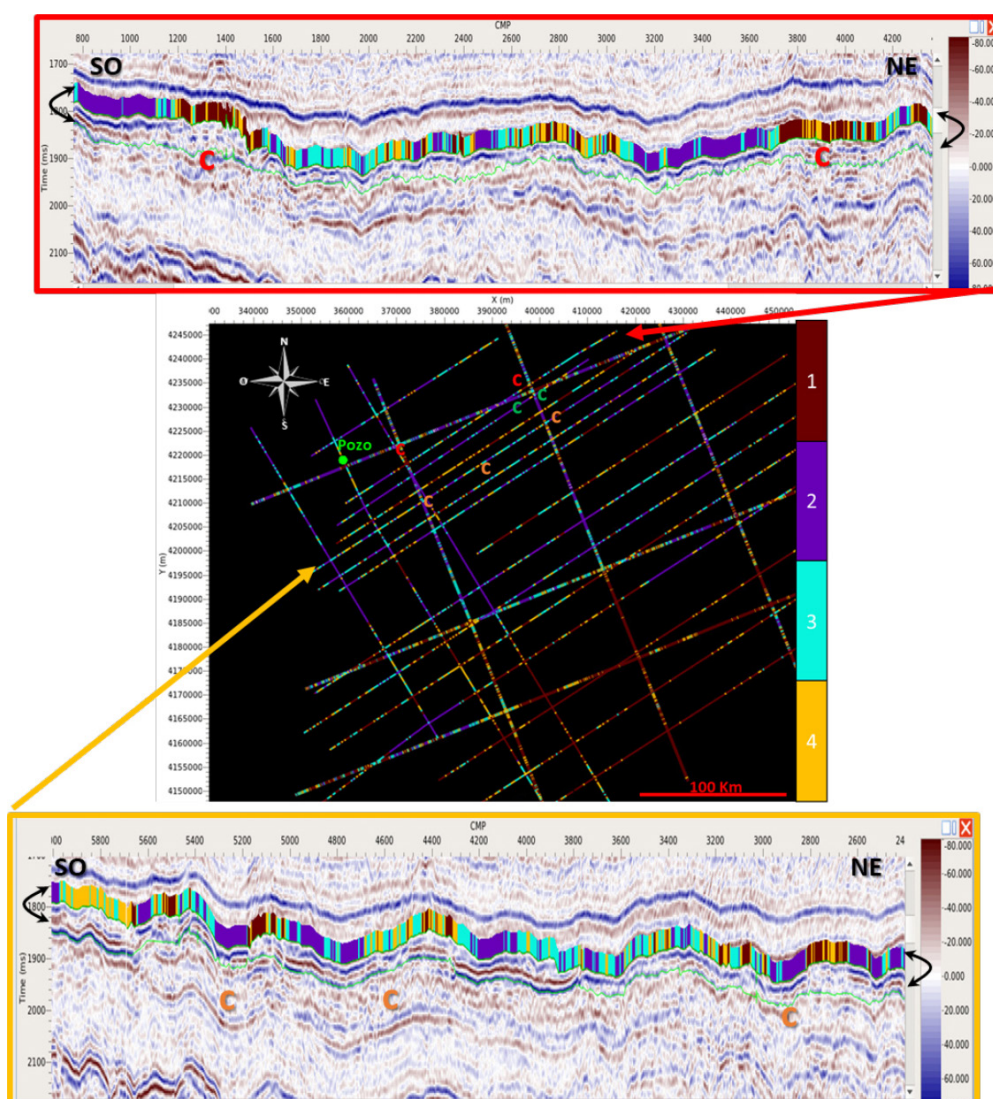


Figura 11. Resultado de la clasificación de facies para las líneas SO-NE. Se resaltan las zonas con clase 1 las cuales pueden asociarse a los complejos de canales (C), como el observado en el pozo.

Hacia el E, el intervalo analizado es ruidoso y transparente. Este sector coincide con la zona más somera de la cuenca (Fig. 13). En la región S, la respuesta sísmica del intervalo también se caracteriza por amplitudes bajas, área en que la cuenca profundiza al estar estructuralmente condicionada por fallas de basamento que controlaron la subsidencia y consecuente depositación. En esta zona se observa un adelgazamiento del intervalo sísmico que podría indicar condensación de facies en un ambiente de prodelta a plataforma somera. Así, se interpreta una posible línea de paleocosta que sigue la forma de las curvas del nivel al tope de la secuencia (Figs. 12, 13 y 15). La presencia de geometrías de truncaciones aparentes en sísmica sobre el nivel superior a este evento (nivel Aptiano MFS), y las geometrías de *backstepping* que se observan, son consistentes con la fuerte inundación que se da posteriormente y el carácter transgresivo de la secuencia.

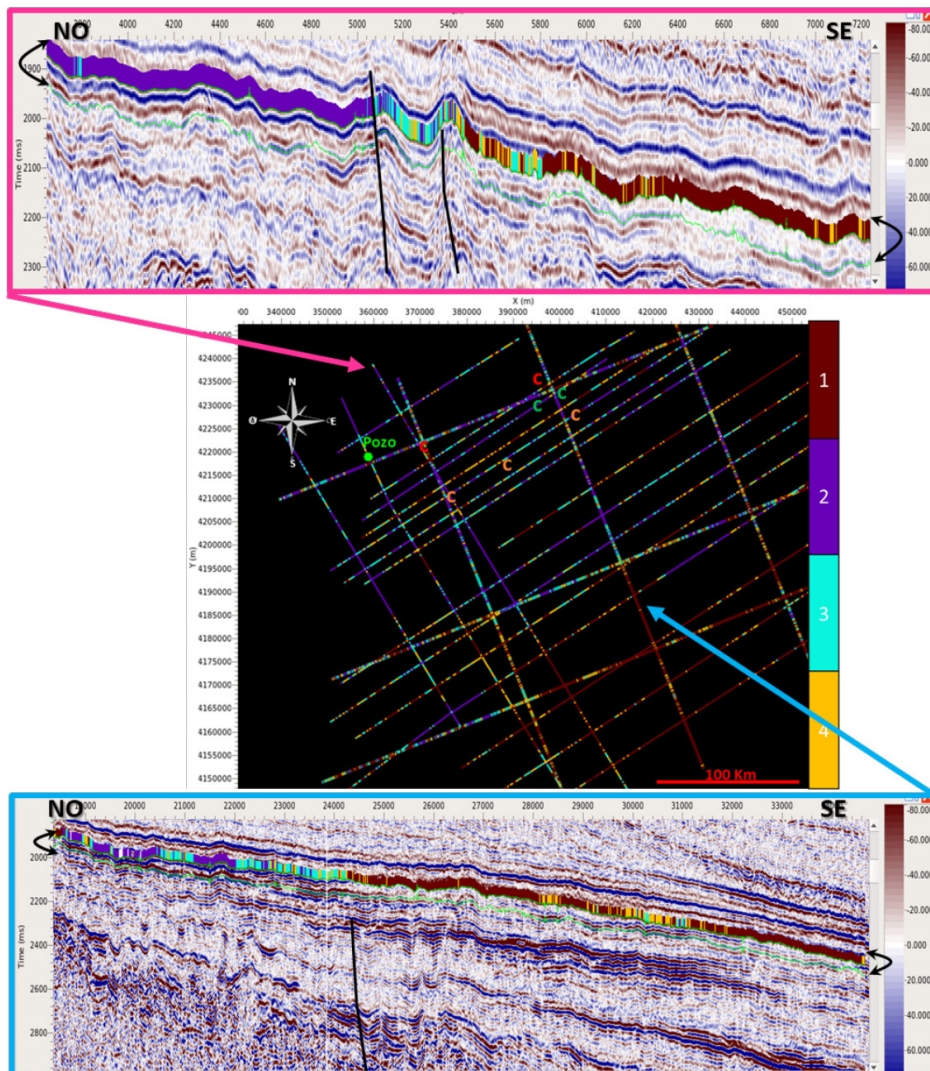


Figura 12. Resultado de la clasificación de facies para las líneas NO-SE. Se destaca una zona con amplio dominio de clase 1 (color vinotinto) al sur de la cuenca, la cual podría estar relacionada con el adelgazamiento y condensación de los eventos transgresivos.

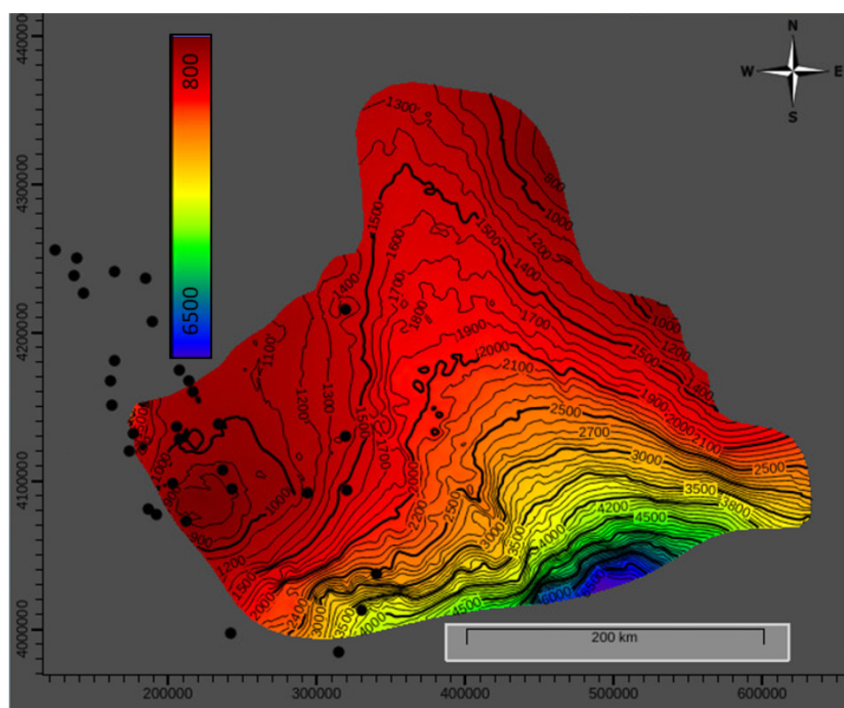


Figura 13. Mapa estructural en tiempo al tope de la secuencia de estudio cercana al Barremiano.

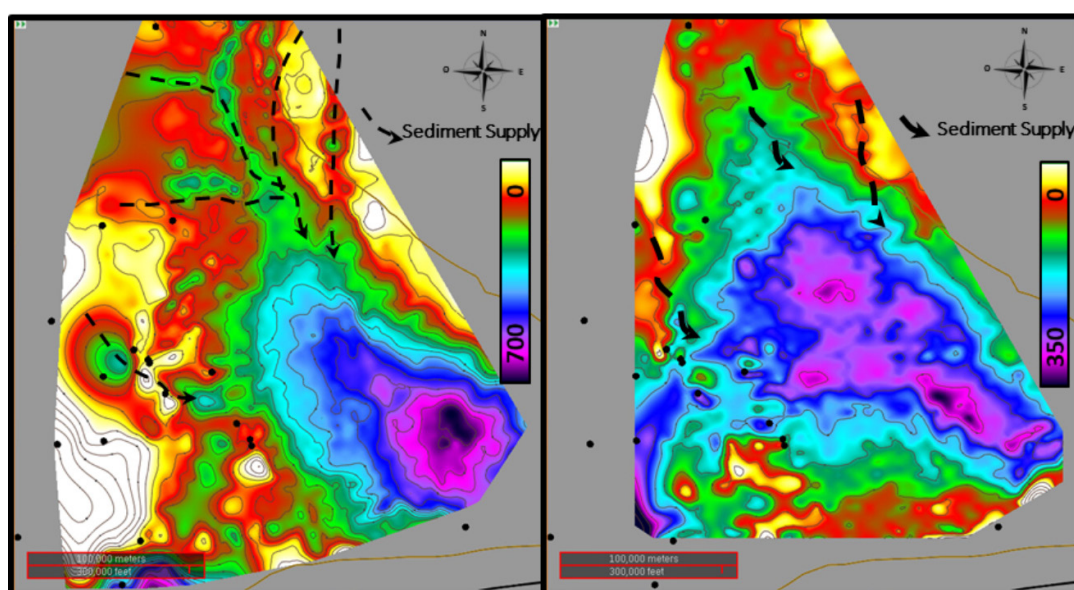


Figura 14. Mapas de espesor en tiempo: a) intervalo Jurásico medio - Valanginiano; b) intervalo Valanginiano - Aptiano.

Analizando los resultados de las sismofacies e identificando los eventos transparentes con geometrías erosivas en cada una de las líneas 2D se delimitaron y unieron las sismofacies 1 con la finalidad de trazar los patrones de los complejos de canales del posible delta relacionado a este intervalo (Fig. 15).

Regionalmente se distingue que, para el intervalo Jurásico Medio-Valanginiano, existieron aportes de sedimento muy importantes provenientes de la región N de la cuenca (Fig. 14.a y 14.b). Este aporte se extiende hasta el Albiano, tal como se identificó en el pozo Titan.x-1.

La presencia de capas finas con abundancia de carbón en estos niveles se encuentra relacionada con altas amplitudes que corresponderían principalmente a la llanura deltaica o pantano interdistributario (clases tipo 2,3 y 4). No se identificaron geometrías ni patrones para individualizar la región con las tres clases. Es por esto que se unificaron las tres sismofacies dentro de esta unidad morfológica englobando las áreas pantanosas donde existe una actividad orgánica muy intensa; gran parte de la extensión de la llanura deltaica estaría ocupada por este medio. Una mayor densificación de datos, por ejemplo, el análisis sobre sísmica 3D, permitirá posteriormente encontrar y conectar geometrías para generar una clasificación más detallada.

Es importante destacar que el pozo Toro.x-1, perforado en el año 2010 en la cuenca de Malvinas Este, investigó anomalías de amplitud sísmica (soft) en el intervalo pre y syn-rift por debajo de la roca madre cretácica, encontrando que las amplitudes sísmicas estaban relacionadas con alto contenido carbonoso. Este sondeo podría constituir un análogo valioso de lo que ocurre en la cuenca de Malvinas Oeste para el mismo intervalo.

Los resultados obtenidos a partir del trabajo de sismofacies calibradas con el pozo Nautilus.x-1 permitieron de esta manera mejorar el entendimiento y extensión de los ambientes deposicionales en el Cretácico Inferior de la cuenca. Específicamente, se lograron integrar los resultados en un mapa paleogeográfico del intervalo correspondiente, en el cual se interpreta un sistema fluvio-deltaico de gran extensión que pasaría transicionalmente hacia el S a un ambiente de plataforma (Figs. 16 y 17).

El mapa paleogeográfico se constituyó a partir de: la interpretación sísmica, descripción litológica y paleoambiental de pozos, análisis sísmico para la clasificación de sismofacies,

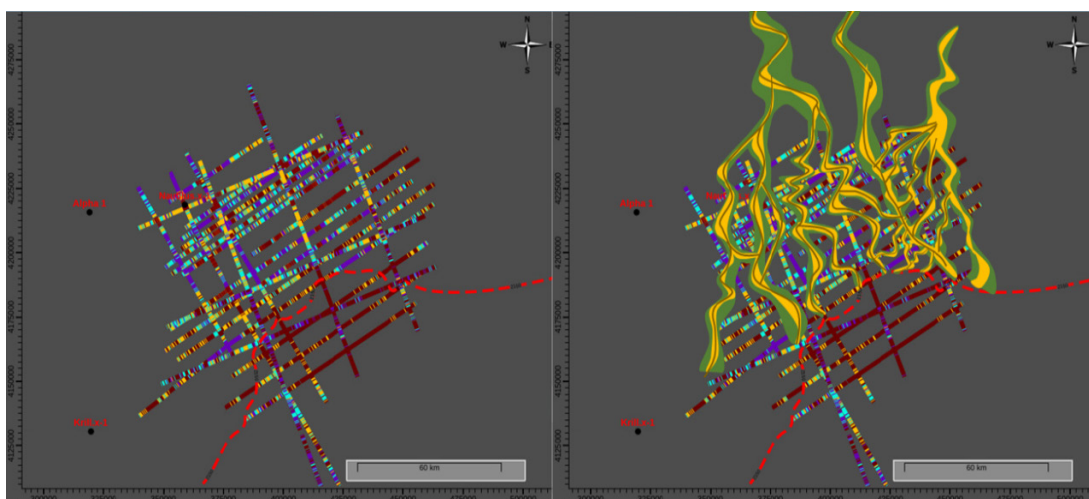


Figura 15. Líneas sísmicas 2D que muestran: a la izquierda, el resultado de las sismofacies, y la derecha, la interpretación de los complejos de canales a partir del resultado.

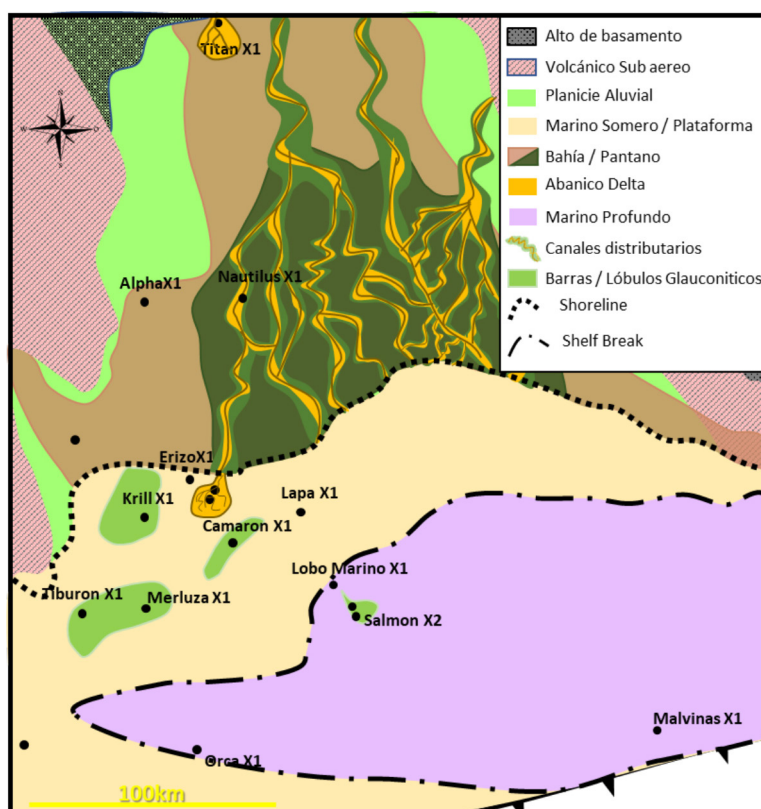


Figura 16. Mapa paleogeográfico que representa el intervalo Barremiano (modificado de Corelab, 2021).

identificación de geometrías de complejos de canales, extrapolación de estos datos para la ubicación de una paleocosta teniendo en cuenta mapas estructurales al tope de la secuencia de estudio y mapas de espesores para identificar las principales zonas de aporte de sedimentos.

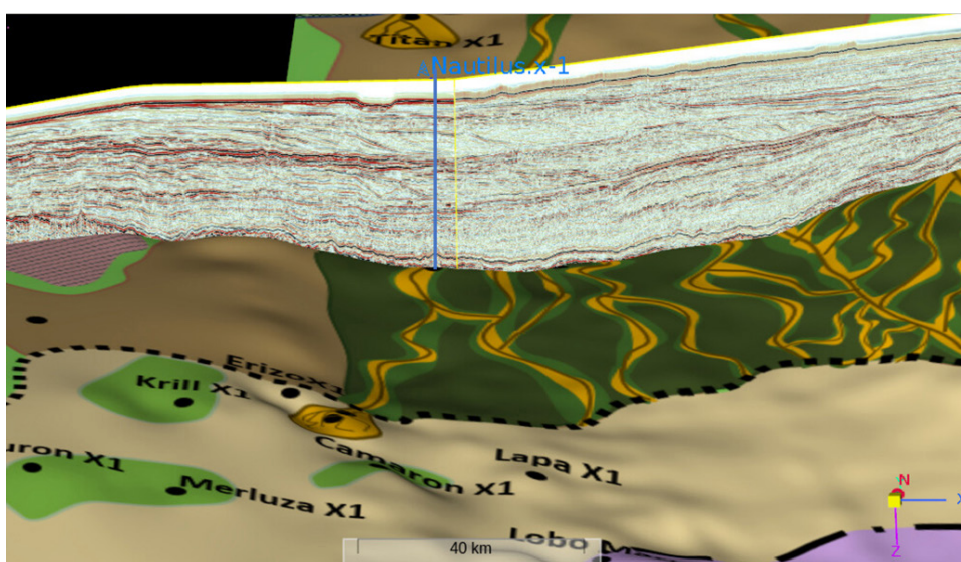


Figura 17. Visión tridimensional de las secciones sísmicas 2D O-E ilustrando el mapa paleogeográfico (modificado de Corelab, 2021) a partir del análisis de sismofacies.

El trabajo realizado tiene, por lo tanto, un gran valor predictivo y es de gran importancia para el entendimiento de la posible distribución de reservorios y sellos en el Cretácico Inferior, y la identificación de trampas tanto estructurales como estratigráficas en una zona sub-explorada de la cuenca.

La información sísmica 3D recientemente adquirida y procesada con tecnologías de alta calidad por TGS permitirá confirmar y completar estos patrones obtenidos a través del análisis de sismofacies, el cual permitirá el mejor entendimiento de la historia de depositación de la cuenca e identificar su potencial exploratorio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Pluspetrol por permitir la publicación del presente trabajo. A TGS y a Corelab Laboratories por la información proporcionada, y al equipo de Emerson, en especial a Gabriela Marinho, por su gran colaboración y valiosos comentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Baristead, N., Anka Z., di Primio, R., Rodriguez, J.F., Marchal, D. y Dominguez, F., 2013. New insights into the tectonostratigraphic evolution of the Malvinas Basin, offshore of the southernmost Argentinean continental margin. *Tectonophysics* 604, pp. 280-295.
- Baristead, N., Anka Z., di Primio, R., Rodriguez, J.F., Marchal, D. y Dominguez, F., 2012. Distribution of hydrocarbon leakage indicators in the Malvinas Basin, offshore Argentine continental margin. *Marine Geology* 332, pp. 56-74.
- Cartwright, J., Huuse, M., Aplin, A., 2007. Seal bypass systems. *AAPG Bulletin* 91 8, pp. 1141-1166.
- Castagna, J. P., Backus M. M., 1993. AVO Analysis – Tutorial and review. Offset dependent reflectivity – theory and practice of AVO analysis. ed. J. P. Castagna and M. M. Backus. Tulsa. SEG Investigation in geophysics 8, pp. 3-36.
- Corelab Laboratories, 2021. Regional Rock-Based Evaluation of the Reservoirs and Seals: Offshore Atlantic Basins, Argentina. – Informe inédito.
- Galeazzi, J.S., 1998. Structural and stratigraphic evolution of the western Malvinas Basin, Argentina. *AAPG Bulletin* 82, pp. 596-636.
- Ghiglione, M.C., Quinteros, J., Yagupsky, D., Bonillo-Martinez, P., Hlebszevtich, J., Ramos, V.A., Vergani, G., Figueroa, D., Quesada, S. y Zapata, T., 2010. Structure and tectonic history of the foreland basins of southernmost South America. *Journal of South American Earth Sciences* 29, pp. 262-277.
- John, A., L. W. Lake, C. Torres-Verdin, and S. Srinivasan, 2008, Seismic facies identification and classification using simple statistics: *SPE Res Eval & Eng*, 6, pp. 984 – 990.
- Mitchum, R. M., Vail Jr. P. R., and Sangree J. B., 1977, Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences, in C. E. Payton, ed., *Seismic Stratigraphy – Applications to hydrocarbon exploration: AAPG Memoir* 26, pp. 117 – 133.

- Lovecchio J., Naipauer M., Cayo L., Rohais S., Giunta D., Flores G., Gerster R., Bolatti N., Joseph P., Valencia V., Ramos V., 2019. Rifting evolution of the Malvinas basin, offshore Argentina: New constrains from zircon U-Pb geochronology and seismic characterization. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 95, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102253>.
- Raggio, M. F., Welsink, H., Fiptiani, N., Prayitno, W. y Gerster, R., 2011. Cuenca Malvinas. En: VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Cuencas Argentinas. Mar del Plata, pp. 1-16.
- Simm R., y Bacon M., 2014 *Seismic Amplitude an Interpreter's Handbook*. Cambridge University Press, pp. 62.

