

INTERPRETACIÓN SÍSMICA DE UN MODELO SEDIMENTARIO DE LA FORMACIÓN POZO D-129 EN EL ÁREA CAÑADÓN SECO LEÓN Y SU ANALOGÍA EN ZONA SIN COBERTURA SÍSMICA

Andrea A. Alaimo Flores¹, Nahuel I. Raineri¹, Matías M. Salvarredy Aranguren^{1,2}, Carlos Leopoldo Pérez¹

1: YPF S.A., andrea.alaimo@ypf.com, nahuel.raineri@ypf.com,
matias.salvarredyaranguren@ypf.com, carlos.l.perez@ypf.com

2: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Palabras clave: Fm. Pozo D-129, amplitud sísmica, geoforma

ABSTRACT

The scope of this study covers the Cañadón Seco León area on the southern flank of the Golfo San Jorge Basin and focuses on the last 130 m to the Top of the Fm. Pozo D-129. The best productions of the Fm. P. D- 129 come from vertical wells and one horizontal well located in an area without seismic data coverage. On the other hand, the area with seismic coverage has an incipient development, so it is proposed to try to reconcile the information available from each area to generate a robust geological model for these successions of the Upper Section of the Fm. Pozo D-129.

The 3D seismic data covers the region to the east and south of the main development. The studied area offer as well other relevant information as cores from some production levels and resistive well images. Mainly, amplitude attributes and well data were used to identify anomalies and geoforms. Moreover, maps of thicknesses in time and seismic sections contribute to identify depositional features of clinoforms. This seismic interpretation analysis allowed to establish a depositional model of the Fm. P. D-129 in the zone with seismic coverage and it was useful as sedimentary model analog for the area with the main oil field development without seismic data.

The methodological flux applied in this work come from the experience used in others flanks of the San Jorge Basin. This work points out what was useful from this methodological loop and which singularities were critical to identify potential reservoir and their areal distribution for Fm. P.D-129.

INTRODUCCIÓN

El alcance de este estudio cubre el área de reservas Cañadón Seco León del flanco sur de la Cuenca del Golfo San Jorge. En la Figura 1 se resalta la ubicación del bloque, este presenta más de 2000 pozos perforados en toda el área de reserva, de los cuales solo 110 pozos alcanzan a atravesar más de 100 metros de la Fm. Pozo D-129, y están distribuidos en mayor medida en el sector sur y suroeste del área.

El yacimiento Cañadón León remonta su historia productiva a fines de la década del 40, para cuando se registran los datos sísmicos 3D (2001), una buena porción del yacimiento ya estaba en desarrollo y, donde se ubica el acceso principal del mismo, una alta densidad de pozos e instalaciones de superficie variadas, no se obtuvo registro sísmico. El área sin cobertura 3D, cuenta con tres líneas sísmicas 2D cuyo análisis no se detalla en este trabajo. El principal desarrollo de la Fm. P. D-129 tuvo lugar entre 2019 y 2021, justamente en el área central del yacimiento Cañadón León donde no hay cobertura sísmica (Fig.1). En la zona Esta información de subsuelo obtenida de los pozos ha permitido construir un modelo geológico que carece de imagen sísmica 3D. Este estudio se focaliza en el área que tiene cobertura sísmica, es decir, sobre el borde oriental del yacimiento principal (Fig. 1).

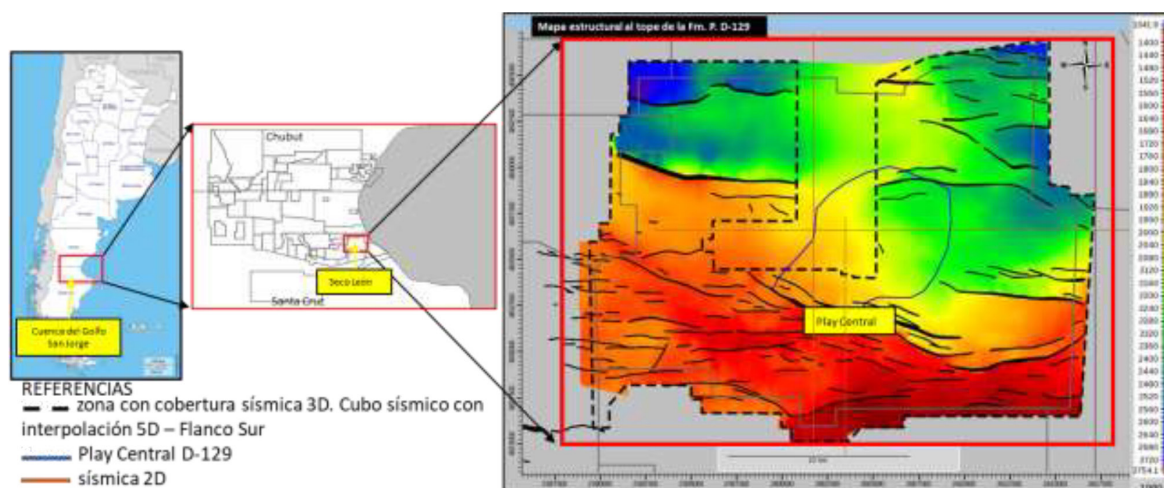


Figura 1. Izquierda: Ubicación regional del área de trabajo. Derecha: Mapa estructural al Tope de la Fm. P. D-129. La línea negra de trazos delimita el área con cobertura sísmica. El polígono azul continuo incluye el área en estudio llamada Cañadón León Central.

Columna estratigráfica

La columna estratigráfica de uso en la industria petrolera se simplifica con la definición de un basamento denominado “económico” que se compone de todas las unidades que ofician de substrato para el desarrollo de la cuenca sedimentaria que comienza a delinearse a partir del Jurásico Superior. Sobre dicho basamento se acumularon depósitos detríticos lacustres y fluviales correspondientes a las Formaciones Anticlinal Aguada Bandera y Pozo Cerro Guadal (fase tectónica de *rift* tardío), del Jurásico superior al Cretácico inferior Fitzgerald *et al.* (1990). Le siguen, en discordancia angular, depósitos también lacustres y fluviales de la Formación.

P. D-129 y Matasiete, con pelitas, calizas oolíticas y tobas (fase de *sag* temprano, Fig. 2), Figari *et al.* (1999). Sobre estas se depositaron tobas y areniscas fluviales de la Fm. Mina

subsuelo local y regional. La posición del área de estudio para este trabajo se encuentra situada por fuera de esa zona litoral, por lo que los depósitos analizados corresponden a un ámbito netamente subáqueo.



Figura 3. Reconstrucción paleogeográfica del sistema Matasiete-D129 generadas a partir de la comparación de sistemas fluviales modernos con datos de afloramiento y de subsuelo. Tomado y modificado de Allard *et al.* (2015).

En la zona de estudio, la Fm. P. D-129, es descripta localmente por el grupo de desarrollo en tres secciones (Fig. 4); una sección inferior de areniscas que corresponderían a fan deltas que se acuñan contra los altos del basamento, los espesores son variables y corresponden a depocentros distribuidos en las zonas con mayores espesores hacia el este y noreste, Gómez

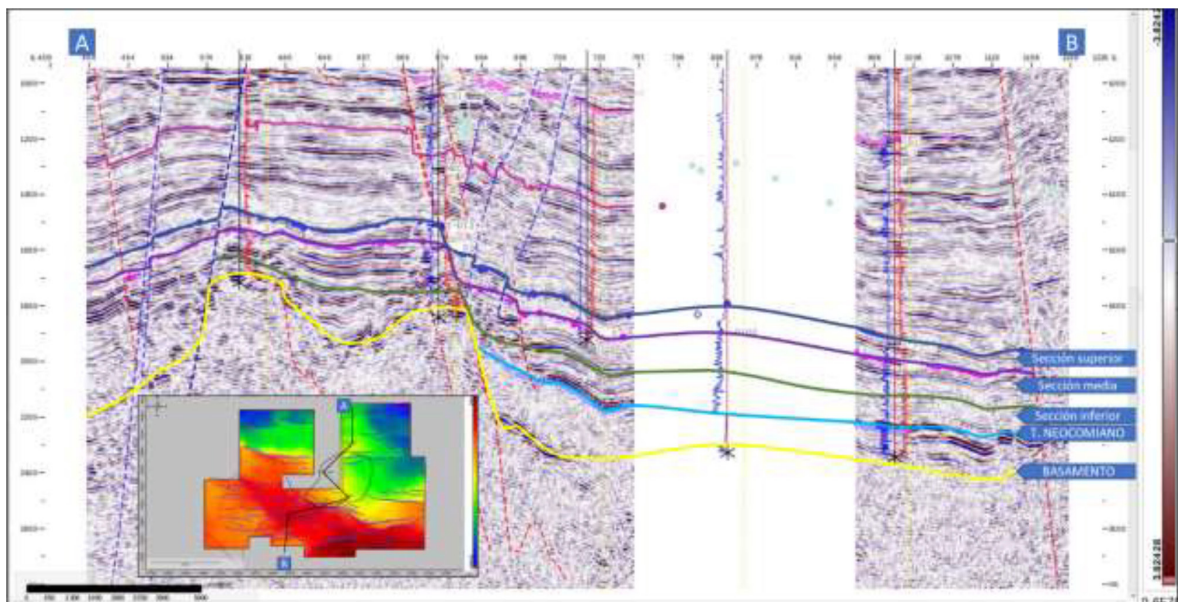


Figura 4. Corte sísmico S-N donde se muestra la estructura del basamento para la zona. Se marcan las secuencias informales identificadas para la Fm. P. D-129 en el área. El mapa corresponde al estructural en tiempo al tope de la Fm. P. D-129.

Omil (1990) la describe como Secuencia I; una sección media (calcárea), correspondiente a una sección lacustre con depositación de calizas y tobas en ambiente somero (Secuencia III de Gómez Omil (1990); y una sección superior, denominada de transición, con presencia de niveles de areniscas tobáceas intercalados con niveles pelíticos y dolomíticos. Esta última sección es el objetivo de desarrollo, donde se pueden destacar la presencia de estos niveles de areniscas finas depositadas en un ambiente sub-acueo por flujos densos hiperpícnicos (Raineri *et al.*, 2021).

En la sección superior de la Fm. P. D-129 se identificó un aumento del espesor de los depósitos de sur a norte en el área en estudio (Fig. 5). Esto está controlado por la actividad del tren de fallas de rumbo NNO-SSE y buzamiento norte, lo cual genera un mayor espacio de acomodación hacia el norte del área.

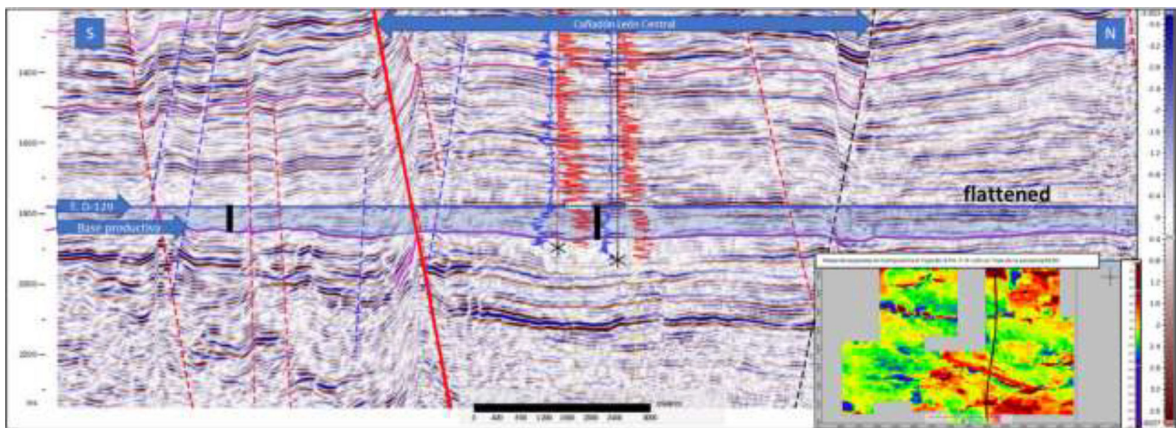


Figura 5. En el corte sísmico (horizontalizado al tope de D-129) está resaltada (azul) la zona productiva de la Fm. P. D-129 y el mapa representa los espesores en tiempo de esta zona. Nótese, la disminución de espesores hacia el sur y el control que ejerce la falla que buzanza hacia el norte (línea roja continua) en la distribución de las secuencias.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada está incluida en el loop metodológico del equipo de la Gerencia *Tight* de YPF para la Cuenca Golfo San Jorge (Fig. 6).

El volumen sísmico utilizado para este trabajo corresponde a un merge 3D con interpolación 5D procesado en el año 2015. Principalmente se utilizó la clase sísmica con filtro y con ganancia. Además, se trabajó la clase sísmica sin filtro y sin ganancia para evaluar atributos de frecuencia. La velocidad de reemplazo del procesamiento sísmico es de 2000 m/seg y se estima una resolución vertical aproximada de 15 m.

La primera etapa consistió en la interpretación de detalle de los distintos niveles involucrados en la secuencia productiva de la Fm. P. D-129. Para este estudio se trabajó con tres horizontes sísmicos; uno al tope de la Fm. P. D-129 (T.D-129); otro al tope del intervalo de interés 2 (T.

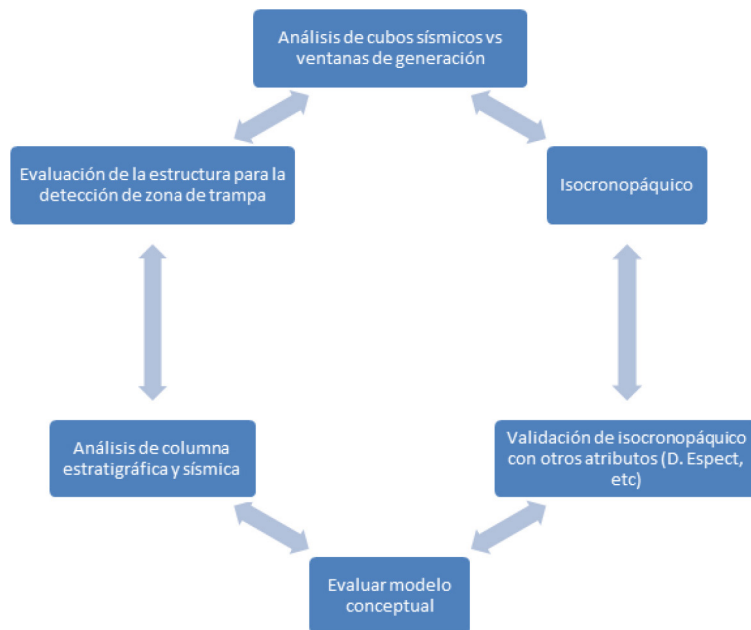


Figura 6. Loop metodológico aplicado a los estudios de la Fm. Pozo D-129 por el equipo de Desarrollo Tight (Salvarredy Aranguren *et al.* (2019)).

Interv. interés 2), que se posiciona en la parte media de la columna; y el horizonte a la base de la secuencia productiva (Base Productiva) (Fig.7). Estos horizontes sísmicos se corresponden con los *markers* geológicos de la Figura 2.

El horizonte interpretado al tope de la Fm. P. D-129 se presenta con amplitudes altas y una muy buena continuidad lateral en toda la zona de trabajo. Este horizonte es el resultado del

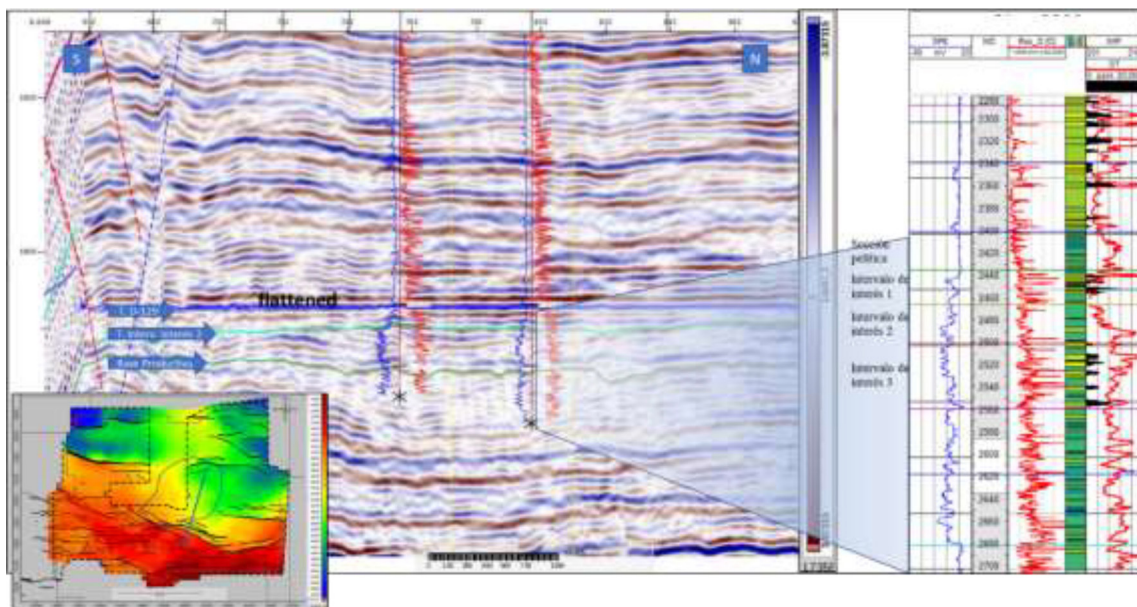


Figura 7. La sección sísmica SO-NE muestra los distintos horizontes interpretados: Tope Fm. P. D129 (T.D- 129), Tope Intervalo de interés 2 y Base productiva; y su correspondencia con el perfil eléctrico.

contraste de impedancia acústica generado por el cuello pelítico de la entrada a la Fm. P. D-129 el cual tiene un espesor promedio de 30m en el área de estudio (Fig. 7).

Los reflectores Intra D-129 presentan una buena continuidad lateral, aunque son semi-regionales, y se caracterizan por amplitudes más bajas que las observadas al tope de la unidad. Estos reflectores Intra D-129 coinciden generalmente con los niveles pelíticos, cuyos espesores (<4 m) son menores al que caracteriza el tope de la unidad. En esta etapa, se realizó un gran esfuerzo en el refinamiento del picado de estos horizontes y en el ajuste con los *markers* geológicos, dando una alta densidad a la interpretación calibrada con los pozos.

La segunda etapa del trabajo fue la generación de mapas de espesores de toda la secuencia productiva y entre los distintos horizontes. La distribución de espesores en una sección sísmica S-N semiregional (Fig. 5), nos muestra menores espesores (en tiempo) al sur del yacimiento; y hacia el norte de la falla directa de rumbo ONO-ESE, y buzamiento hacia el norte, es evidente un aumento de espesor del intervalo productivo. El mapa de espesor total en tiempo nos permite limitar las zonas de estudio a las regiones con mayor espesor, ya que serían los espacios favorecidos para la descarga de los flujos densos dentro del ambiente subácueo. Sin embargo, a nivel de secuencias no se logran resolver detalles de la distribución areal de los distintos intervalos productivos. Los mapas de espesores en tiempo entre los reflectores intra D-129 marcan variaciones de espesores con similar tendencia a la que se observan en el mapa de espesor total en tiempo.

La tercera etapa de trabajo fue la extracción de atributos sísmicos. Los atributos de amplitud han sido utilizados con éxito para detectar geometrías relacionables con los rasgos sismoestratigráficos regionales (p.e. Iovine *et al.*, 2014) y por tanto se buscó la integración de estos mapas con los datos de pozo. La descomposición espectral se trabajó mucho en el ámbito del flanco oeste de la cuenca permitiendo definir modelos geológicos (Eckerman *et al.*, 2022). Sin embargo, para este yacimiento del flanco sur, este atributo de frecuencia no ha logrado mostrar resultados concretos en esta área de trabajo.

Dentro de la variedad de atributos aplicados a las clases sísmicas del área, la técnica que mejor respuesta ha brindado es la Raíz Cuadrada Media (RMS) de las amplitudes ya que definen anomalías claras en esta zona. Este atributo calcula la raíz cuadrada de la suma del cuadrado de las amplitudes, dividido entre el número de muestras en una ventana de tiempo. Enfatiza la reflectividad, pero también enfatiza ruido, es útil para determinar la distribución de roca almacén (Castaño, 2010). Para la sección cúspidal de la unidad en estudio, se utilizó una ventana de ± 8 ms para la extracción de amplitud RMS. En este mapa se logra ver un marcado cambio de amplitudes entre el sur y norte del área de reserva (Fig. 8). La siguiente extracción de amplitudes RMS se realizó para el intervalo comprendido entre el tope de la Fm. P. D-129 y el tope del intervalo de interés 2 (intervalo de 30 ms). En este intervalo se identifica una geometría lobular en una posición aledaña (hacia el este) al área de desarrollo principal (Fig. 9). Por abajo del horizonte sísmico T. Interv. interés 2, es notoria una atenuación de las amplitudes, además,

los reflectores se presentan bastante más discontinuos (Fig. 7), por lo que no se logró definir anomalías de amplitudes para el intervalo sísmico entre el horizonte T. Interv. interés 2 y Base Productiva. Sin embargo, la interpretación de geometrías de los reflectores en secciones sísmicas nos ha permitido identificar clinoformas en el intervalo T. Interv. interés 2 - Base Productiva lo que nos permite de ese modo caracterizar el tipo depositacional y su dirección de dispersión.

Finalmente, se han integrado los distintos análisis mencionados a los datos de pozo existentes del área. Al tope de la unidad se le integró el modelo depositacional propuesto por Raineri *et al.* (2022, Fig. 8), ver detalles en el siguiente apartado. Para el intervalo D129 - T. Interv. interés 2 se utilizaron mapas de espesor total de arenas en superposición con los de amplitud RMS para compararlos y lograr identificar geoformas que podrían ser el resultado de flujos hiperpícnicos que han sido interpretados de los datos de corona de distintos pozos (Raineri *et al.*, 2022, Fig. 9). En el intervalo T. Interv. interés 2 – Base Productiva, se definió la mejor dirección para observar el desarrollo de clinoformas y se notó que dicha dirección es coincidente con los análisis de paleocorrientes de imágenes resistivas de pozos (Fig. 10).

RESULTADOS

Horizonte al tope de la Fm. P. D-129:

El mapa de la Figura 8 muestra la extracción de amplitud RMS $+8/-8$ ms al tope de la Fm. P. D-129. En este se evidencia un marcado cambio de amplitudes que atraviesa toda el área con una orientación E-O (línea de trazo celeste). Esta variación de amplitudes podría ser un indicativo de cambios paleobatimétricos (Atencio *et al.* (2015)), que de modo general mostrarían una profundización del lago hacia el norte. Por otra parte, del estudio de muestras de rocas de pozos por debajo del cuello pelítico, en zonas que están afuera y dentro del área con dato sísmico (Raineri *et al.*, 2021), observamos que hacia el Norte las coronas muestran asociaciones de facies exclusivamente de carga suspendida que se corresponden espacialmente con las zonas de tonos amarillos-verdes de la Figura 8, en tanto, hacia el Sur se han identificado en los testigos laterales rotados (TLR) asociaciones de facies de carga de lecho para las zonas de tonos rojos de la Figura 8. Estos datos de roca nos indican un cambio en la energía de depositación de los sedimentos de la Fm. P. D- 129, que se interpretan como un cambio en la pendiente batimétrica del paleolago. Puede constatarse cualitativamente una correspondencia entre los cambios litológicos observados y el cambio de amplitudes identificado para el tope pelítico de la Fm. P. D.129. Es decir, tanto la metodología de interpretación sísmica como la interpretación de los datos de pozo identifican, de modo independiente y congruente, un marcado cambio de la paleotopografía en esta posición de la cuenca (Fig. 8).

incipiente. Por otro lado, ante la escasa información de pozo disponible sobre el registro sísmico, esto es una herramienta más para dar las tendencias de distribución de reservorios en los mapas.

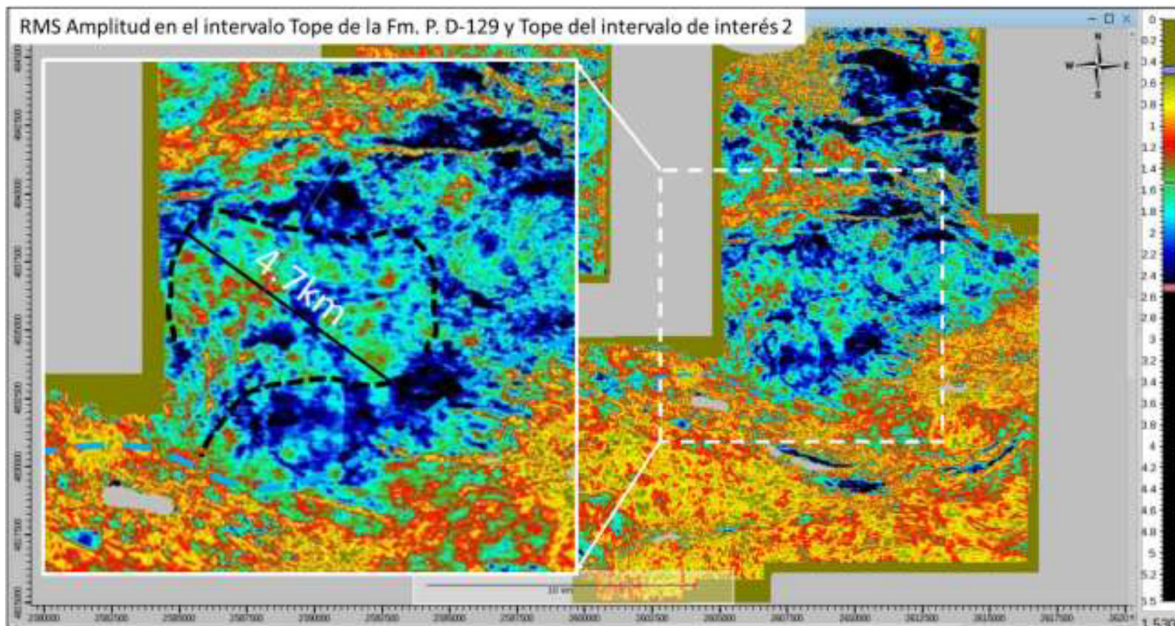


Figura 9. Mapa de amplitud RMS extraída entre la superficie al tope de la Fm. p. D-129 y T. Interv. interés 2. La geometría visualizada tiene forma lobulada y un ancho máximo de 4.7 km. En la zona más estrecha de la geometría (hacia el SO) contamos con datos de coronas y perfiles eléctricos en los cuales se han descrito facies asociadas a flujos densos hiperpícnicos que podrían dejar como registro de deposición geometrías lobuladas como las observadas en el mapa.

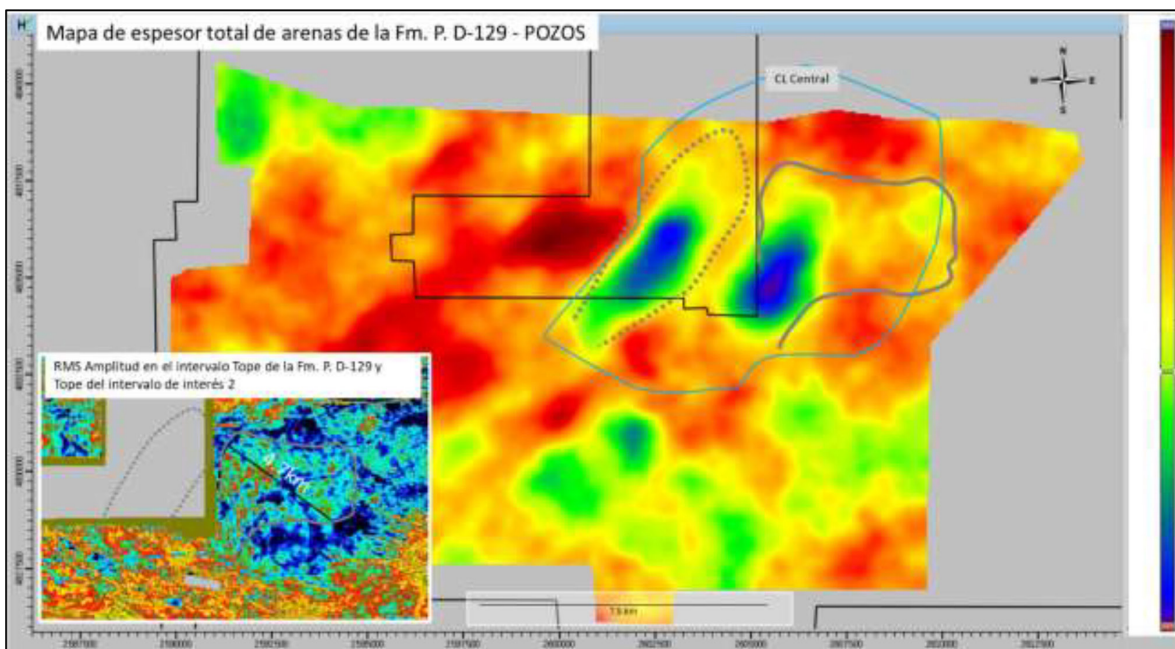


Figura 10. Mapa de espesor total de arenas de todo el espesor productivo de la Fm. P. D-129 (T. D-129 a Base Productiva). La línea gris continua indica la anomalía de amplitud. La línea gris de puntos está delineando la zona de mayor espesor de arenas por fuera del dato sísmico. Nótese, que el mayor espesor de arenas sobre el dato sísmico coincide con la anomalía de amplitud identificada en la Figura 9.

Intervalo entre T. Interv. interés 2 y Base Productiva

Este intervalo fue analizado en secciones sísmicas debido a que hasta el momento no se han identificado anomalías o características que sean indicativas de una característica geológica o de reservorio. En un corte sísmico orientado de SO a NE (Fig. 11) se muestra el detalle de los reflectores para la zona previamente analizada (D-129/ T. Interv. interés 2) puede apreciarse clinoformas en *onlap* en dirección SO-NE (Fig. 11) que se encuentra en concordancia con la dirección de paleocorrientes obtenida de los registros de imágenes resistivas de pozo. Estas clinoformas son sutiles y de escaso desarrollo lateral, ya que al cambiar ligeramente la orientación del corte sísmico estas pierden continuidad, esto se debe a los bajos ángulos de las clinoformas y a los espesores que se encuentran en una escala menor a la resolución vertical de la sísmica.

Con estas geometrías en onlaps, las anomalías sísmicas y el dato de pozo de mayores espesores de arenas, podemos confirmar la presencia de un espacio de depositación asociado a la interpretación de lóbulos sub-ácueos (por el carácter granodecreciente de los depósitos), que por datos de corona habrían tenido génesis por flujos densos hiperpícnicos.

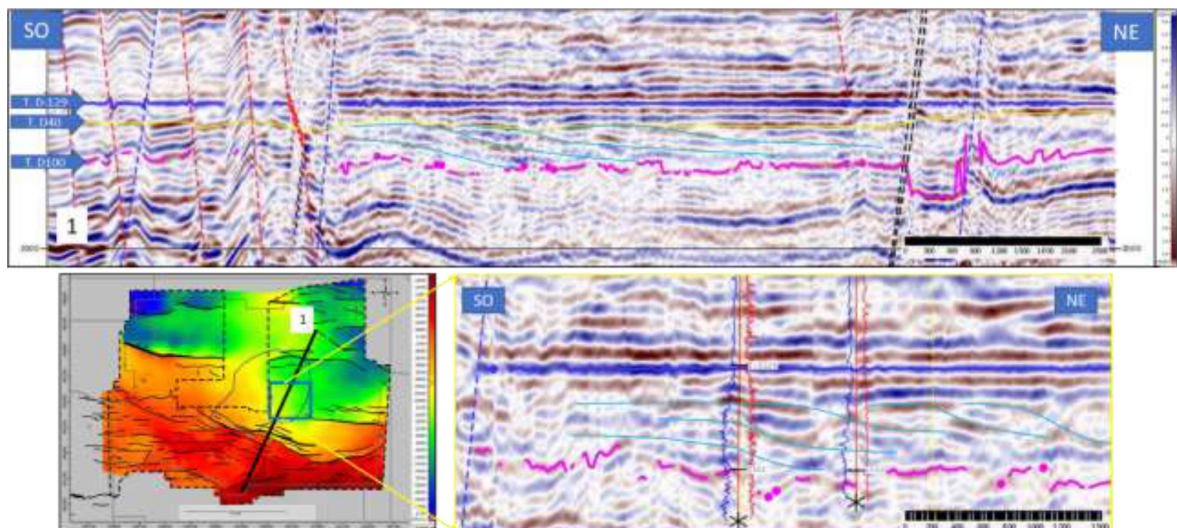


Figura 11. Arriba - Corte sísmico SO-NE, flatenizado al Tope de la Fm. P. D-129. El corte es paralelo a la dirección de aporte sedimentario interpretado para la zona. Se observan clinoformas en onlap interpretadas con líneas celeste. Abajo - Izquierda: Mapa estructural al T. de la Fm. P. D-129. La línea negra indica la posición del corte sísmico superior. Derecha: Detalle de las clinoformas interpretadas y pozos de la zona.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una estrategia a la coyuntura particular de este yacimiento para integrar los datos de la zona sin y con registro sísmico para definir un modelo depositacional de la zona productiva de la Fm. P. D-129. De este modo se aprovecha la información de subsuelo existente en la zona con nula cobertura sísmica para ajustar el modelo interpretativo del área con información

sísmica y menor desarrollo del yacimiento. Esto permite desembocar en un modelo geológico del área que se ajusta recíprocamente, tanto para el área con y sin cobertura, a nivel de grandes tendencias de los depósitos de los reservorios. El desarrollo futuro de pozos en esta zona permitirá la captura de nuevos datos de subsuelo para redefinir y/o refinar el modelo geológico presentado en esta contribución.

La zona oriental del Bloque cuenta con escasos datos de pozos por lo que el aporte del dato sísmico permite robustecer el mapa de distribución de arenas para este sector y reducir incertidumbre del modelo estático del yacimiento. De la misma forma, el registro del dato sísmico en la zona del yacimiento principal reduciría la incertidumbre del modelo geológico.

AGRADECIMIENTOS

A YPF S.A. por permitir la publicación de este trabajo. A la Gerencia de Estudios Tight y de Desarrollo por el espacio brindado para generar el trabajo. A Mario Atencio por la revisión crítica del trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- Allard J., Paredes J., Foix, N., y Giacosa R; 2015. Conexión cretácica entre las cuencas del Golfo San Jorge y Cañadón Asfalto (Patagonia): paleogeografía, implicancias tectonoestratigráficas y su potencial en la exploración de hidrocarburos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72 (1): 21 – 37.
- Alvarez Lobbé, M.S., Salvarredy Aranguren, M.M., Andino, R., Aguil, B. y Eckerman, M.L., 2018. Integración de información de subsuelo para la definición paleoambiental de la Sección Superior de la Fm Pozo D-129 en el Yacimiento Las Mesetas (Santa Cruz). *Reunión Argentina de Sedimentología, General Roca*.
- Atencio, M., Juken, E., Basile, Y. Utge, S. y Spath, F., 2015. Geomorfología sísmica de la última transgresión lacustre de la Formación Pozo D-129 en la región de la faja plegada, cuenca del Golfo San Jorge. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 72 (1): 136-147.
- Carrol y Bohacs, 1999. Stratigraphic classification of ancient lakes: balancing tectonic and climatic controls: *Geology*, v. 27, p. 99-102.
- Castaño K., 2010. Tesis de Grado: Distribución de capas delgadas aplicando inversión espectral y atributos sísmicos. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Eckerman, M. L., Salvarredy Arnaguren, M.M. y F. Coetsee, 2022. Interpretación sismoestratigráfica de la Sección Superior de la Fm. Pozo D-129, Yacimiento El Huetel, Cuenca del Golfo San Jorge. *Actas del XXI Congreso Geológico Argentino*.
- Gomez Omil, 1990. Anteproyecto exploratorio para el sector oriental del flanco sur. *Informe Geológico- Geofísico N° 907*.

- Figari, E., Strelkov, E., Laffitte, G., Cid de la Paz, M., Courtade, S., Celaya, J., Vottero, A., Lafourcade, S., Martinez, R. y Villar, H., 1999. Los sistemas petroleros de la Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica. 4º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas, p. 197-237. Buenos Aires.
- Fitzgerald, M. G., Mitchum, R. M., Uliana, M. A., Biddle, K. T., 1990. Evolution of the San Jorge Basin, Argentina. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 74. N° 6 (June 1990). P. 879-920.
- Iovine Palafox, G, M. L. Ferreira y R. Clavijo, 2014, Evidencias sísmicas de geoformas deltaicas cretácicas: Aplicación en la prospección de hidrocarburos en la Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina, IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas.
- Iovine, G., Ferreira L., Foster, M. y Santangelo A. 2013. Nuevas consideraciones paleoambientales de la Formación Pozo D-129, en el área de la provincia de Santa Cruz: integración de datos. Primeras Jornadas Geológicas de la Cuenca del Golfo San Jorge, 13 al 15 Marzo 2013, Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. 59-60.
- López Angriman, A., C. Zarpellón, F. Mussel y M. Cohen, 2014, Modelo Paleogeográfico de la Sección Superior de la Formación Pozo D-129. Su aplicación al desarrollo de reservas en la cuenca del Golfo San Jorge. Argentina, Actas IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, p. 489-510. Mendoza.
- Paredes, J., Foix, N., Piñol, F., Nillni, A., Allard, J., Marquillas, R., 2007. Volcanic and climatic controls on fluvial style in a high-energy system: The Lower Cretaceous Matasiete Formation, Golfo San Jorge basin, Argentina. Sedimentary Geology 202 (2007) 96-123.
- Paredes, J.M., Foix, N., Allard, J.O., 2011. Sedimentología de la Formación Pozo D-129 en el Yacimiento Estancia Cholita, Cuenca del Golfo San Jorge. Informe Inédito YPF, 55 pág. Allard J., Paredes, J., Foix, N., Giacosa, R., 2015. Conexión Cretácica entre las cuencas del Golfo San Jorge y Cañadón Asfalto (Patagonia): paleogeografía, implicancias tectono-estratigráficas y su potencial en la exploración de hidrocarburos. RAGA 72 (1): 21-37 (2015).
- Raineri, N., Alaimo, A., Perez, C., Montagna, A., 2022. Modelo estratigráfico-sedimentológico de la Formación Pozo D-129 en el área de reserva Seco-León. Esbozo de analogía con la Formación Rayoso de la Cuenca Neuquina. XXI Congreso Geológico Argentino.
- Raineri, N., Perez, C., Montagna, A., 2021. Corona de la D-129 en el yacimiento Cañadón León: su aporte a la delineación y caracterización estática del reservorio. Workshop Sedimentología (Interno YPF).
- Salvarredy Aranguren, M.M., Alvarez Lobbé, M.S., Alaimo, A.A., Andino, R., Aguil, B. y Eckerman, M.J., 2018. Análisis semiregional de los depósitos lacustres de la Sección Superior de la Fm. Pozo D-129 del Flanco Oeste de la Cuenca del Golfo San Jorge (Provincia de Santa Cruz). Reunión Argentina de Sedimentología, General Roca.
- Salvarredy Aranguren, M.M., Coetsee, F., Aguil, B., Alaimo, A.A., Alvarez Lobbé, M.S., Eckermann, M.L., Repich Von Eyllenstein, Blasíyh Nuño, G.A., Biurrun, M. C., Andino, R., 2019. Estudio Regional Fm. Pozo D-129, Informe de Avances. Informe Inédito, YPF, 23 pp.
- Zavala, C. & J. Ponce, 2011, La Formación Rayoso (cretácico temprano) en la cuenca neuquina, Relatorio del XVIII congreso geológico argentino, Geología y recursos naturales de la Provincia del Neuquén, p. 205-222, Neuquén. Argentina.

