

# 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

Mario ATENCIO<sup>1</sup>, Edelvais JUNKEN<sup>2</sup>, Yanina BASILE<sup>1</sup>, Silvana UTGE<sup>1</sup> y Federico SPÄTH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>YPF S.A., Buenos Aires. E-mail: mario.atencio@ypf.com

<sup>2</sup>Tecpetrol SA, Buenos Aires

## RESUMEN

La cuenca del Golfo San Jorge cuenta con más de 100 años de historia de producción de hidrocarburos. La Formación Pozo D-129, principal roca generadora de la cuenca, es una unidad de origen lacustre con gran participación piroclástica, que cubre grandes extensiones en el subsuelo; sus espesores aumentan hacia el centro de la cuenca alcanzando los 1500 metros.

En el ámbito de la faja plegada de San Bernardo, en la provincia de Santa Cruz, se analizó la información de más de 200 pozos y se reconocieron tres secciones principales en la Formación Pozo D-129, basadas en variaciones litológicas y geoquímicas. En la sección superior de la unidad un intervalo compuesto íntegramente por arcilitas negras ricas en materia orgánica representa la última y más extendida transgresión lacustre de esta unidad, que se denomina informalmente “cuello pelítico”. El análisis y caracterización de este intervalo constituye el objetivo del presente trabajo. Mediante técnicas de visualización 3D y la confección de mapas de facies sísmicas, se reconocieron geoformas asociadas al último evento transgresivo lacustre. Se evidencia una marcada variación de su espesor asociado a su depositación en depocentros aislados. La caracterización depositacional del “cuello pelítico” en este área permite ampliar el conocimiento del modelo paleoambiental existente de la unidad.

**Palabras clave:** Formación Pozo D-129, Cuenca del Golfo San Jorge, facies sísmicas, transgresión lacustre, pelitas negras

## ABSTRACT

*Seismic geomorphology of the last lacustrine transgression of the Pozo D-129 Formation in the Fold Belt region, Golfo San Jorge Basin*

The Golfo San Jorge Basin records a hydrocarbon production history of more than 100 years. The Pozo D-129 Formation, which is the main source rock of the basin, is a lacustrine unit with high pyroclastic participation that spreads over a wide extension within the subsurface of the basin; its thickness increases toward the central area of the basin, reaching up to 1500 meters. In the San Bernardo Fold Belt of Santa Cruz province, more than 200 wells were analyzed and three main sections in the Pozo D-129 Formation were recognized, based on lithological and geochemical variations. In the uppermost section of the unit an stratigraphic interval characterized by black shales rich in organic matter is interpreted as the last and most extended lacustrine transgression of this unit, informally named “cuello pelítico”. The analysis and characterization of this interval becomes the main objective of the present study. 3D seismic visualization and seismic facies identification allowed the recognition of the main geomorphologic patterns associated with the last lacustrine transgressive event. A strong thickness variation could be recognized mainly related to the distribution within isolated depocentres. The depositional characterization of the “cuello pelítico” in the area improves the knowledge of the current paleoenvironmental model of the unit.

**Keywords:** Pozo D-129 Formation, Golfo San Jorge Basin, seismic facies, lacustrine transgression, black shales

## INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Golfo San Jorge está ubicada en la Patagonia Argentina, entre los paralelos 45° y 47° sur y los meridianos 65° y 71° oeste. Se encuentra limitada por las regiones geológicas del Macizo Norpatagónico al norte y la región del Desierto al sur. Con una extensión total de 180.000 km<sup>2</sup>, es la cuenca explorada más

antigua del país, con más de 100 años de historia.

La zona de estudio se ubica en el ámbito de la faja plegada de San Bernardo, en la provincia de Santa Cruz (Fig. 1). Del análisis de la información de más de 200 pozos, se reconocieron en la Formación Pozo D-129 tres secciones, teniendo en consideración variaciones litológicas y geoquímicas. La sección inferior se caracteriza

por tobas y delgadas intercalaciones de arcilitas de color gris oscuro-negro. La sección media presenta interdigitaciones de tobas vítreas, tobas arenosas y areniscas, en tanto que la sección superior está compuesta principalmente por limoarcilitas de color gris oscuro a negro, con delgadas intercalaciones de areniscas tobáceas y calizas.

El techo de la sección superior está com-

puesto íntegramente por arcilitas negras que representan la última y más extendida transgresión lacustre de Formación Pozo D-129, las que se denominan informalmente en este estudio como “cuello pelítico”. La sección superior de la Formación Pozo D-129 está descrita en trabajos previos, en los que se señala una distribución homogénea en la mayor parte de la cuenca (Fitzgerald *et al.* 1990, Figari *et al.* 1999, Figari *et al.* 2002).

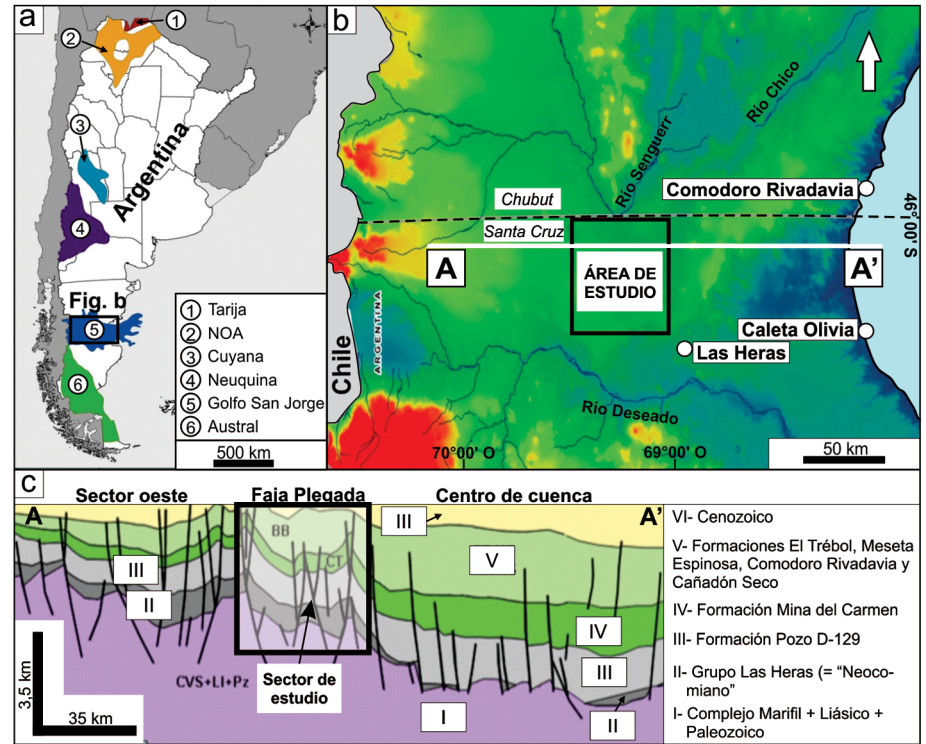
El propósito del presente trabajo es describir a partir de facies sísmicas, la geomorfología sísmica de la última trasgresión lacustre, señalando aspectos estructurales y estratigráficos sobre las distribuciones observadas en el ámbito de la faja plegada de San Bernardo.

**METODOLOGÍA**

Los más de 200 pozos estudiados mediante información sísmica 3D, atraviesan parcial o totalmente a la Formación Pozo D-129. A partir de la descripción litológica de muestras de *cutting*, de la caracterización de facies de 20 coronas con una longitud máxima de 9 m cada una, perfiles eléctricos y datos geoquímicos, se confeccionaron correlaciones con el fin de analizar la distribución vertical de facies, así como la calidad y riqueza orgánica de esta unidad (Fig. 2), teniendo presente que el objetivo principal fue el tramo denominado “cuello pelítico” (Figs. 2 y 3).

En una primera etapa se mapearon las variaciones de espesor del “cuello pelítico” solo con información de pozos, teniendo presente que si bien son muchos los sondeos que lo atraviesan, existen grandes áreas sin información (Fig. 4a). Por este motivo fue necesario comprobar si estas variaciones serían visibles utilizando información sísmica, y de esta forma obtener un *input* adicional para el mapa de facies de esta unidad. Con el fin de extrapolar arealmente la caracterización realizada en pozos y confeccionar un mapa de facies sedimentarias confiable, se realizaron diversos análisis con la información sísmica.

Por otro lado, se describe el estilo estruc-



**Figura 1:** a) Mapa de la República de Argentina con la ubicación de las cuencas productivas, remarcando la Cuenca del Golfo San Jorge. b) Mapa topográfico de la Cuenca del Golfo San Jorge, y la ubicación de la figura C, corte O-E (A-A'). c) Corte estructural esquemático remarcando la ubicación de la zona de estudio.

tural y las características sísmicas del área de estudio a partir de una sección sísmica de referencia de orientación NO-SE que pasa por las áreas de Las Mesetas y Los Perales (Fig. 5). Se esbozarán también ideas sobre el arreglo de reflectores, cuyo análisis estuvo definido por el modelo sísmico obtenido a partir de sismogramas sintéticos, el análisis del atributo en amplitud y los análisis de mapas de facies sísmicas. La plataforma de trabajo de visualización sísmica 3D fue 3DCanvas y el mapeo de facies se realizó utilizando el software *Stratimagic* de *Paradigm*.

**MARCO ESTRATIGRÁFICO**

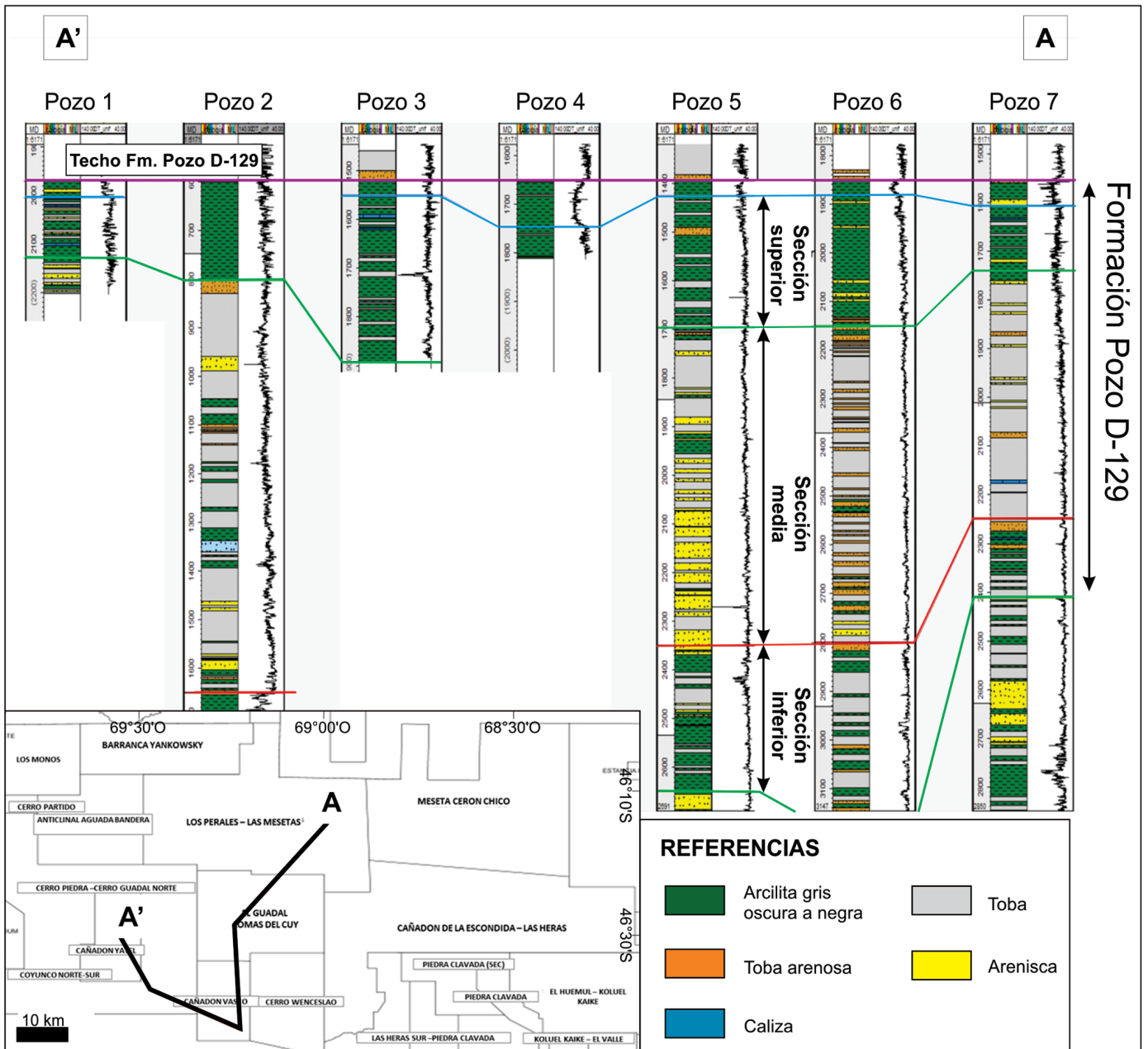
El relleno sedimentario de la cuenca alcanza más de 8.000 m de espesor en el centro de cuenca y por sus características litológicas y geoquímicas posee las condiciones adecuadas para generar sistemas petroleros productivos.

La Formación Pozo D-129 es una unidad del Cretácico Inferior (Clavijo 1986, He-

chem *et al.* 1987) de origen lacustre con una gran participación piroclástica y de distribución regional en subsuelo, en donde alcanza centenares de metros de espesor, excediendo los 1500 m en el centro de la cuenca (Figari *et al.* 1999).

La unidad estudiada presenta importantes heterogeneidades litológicas, prevaleciendo una marcada interdigitación entre las facies clásticas lacustres (arcilitas gris oscuras a negras y calizas oolíticas) con depósitos clásticos más gruesos de ambiente lacustre litoral y material piroclástico proveniente del arco volcánico activo ubicado hacia el oeste. A partir de su contenido fosilífero y las características litológicas, se infiere la depositación en un lago estratificado salino-alcalino desarrollado en un clima semiárido, el cual se profundizaba hacia el centro de cuenca (Fitzgerald *et al.* 1990).

A partir del estudio integral y regional de la Formación Pozo D-129 que se realizó internamente en YPF (Basile y Utgé 2011), se diferenciaron tres secciones



**Figura 2:** Corte estratigráfico de siete pozos exploratorios horizontalizados al techo de la Formación Pozo D-129. Se despliega el perfil sónico (DT) y la columna litológica descrita por control geológico. Se discriminan las tres secciones de la unidad, descritas en el texto.

verticales en la zona de estudio (Fig. 2). La sección inferior está compuesta principalmente por tobas y delgadas intercalaciones de arcilitas de color gris oscuro-negro y niveles arenosos. Estos niveles pelíticos se diferencian de los de la sección superior por poseer menor riqueza orgánica y potencial para la generación de hidrocarburos (Basile y Utgé 2011). La sección media presenta interdigitación de tobas vítreas, tobas arenosas y arenis-

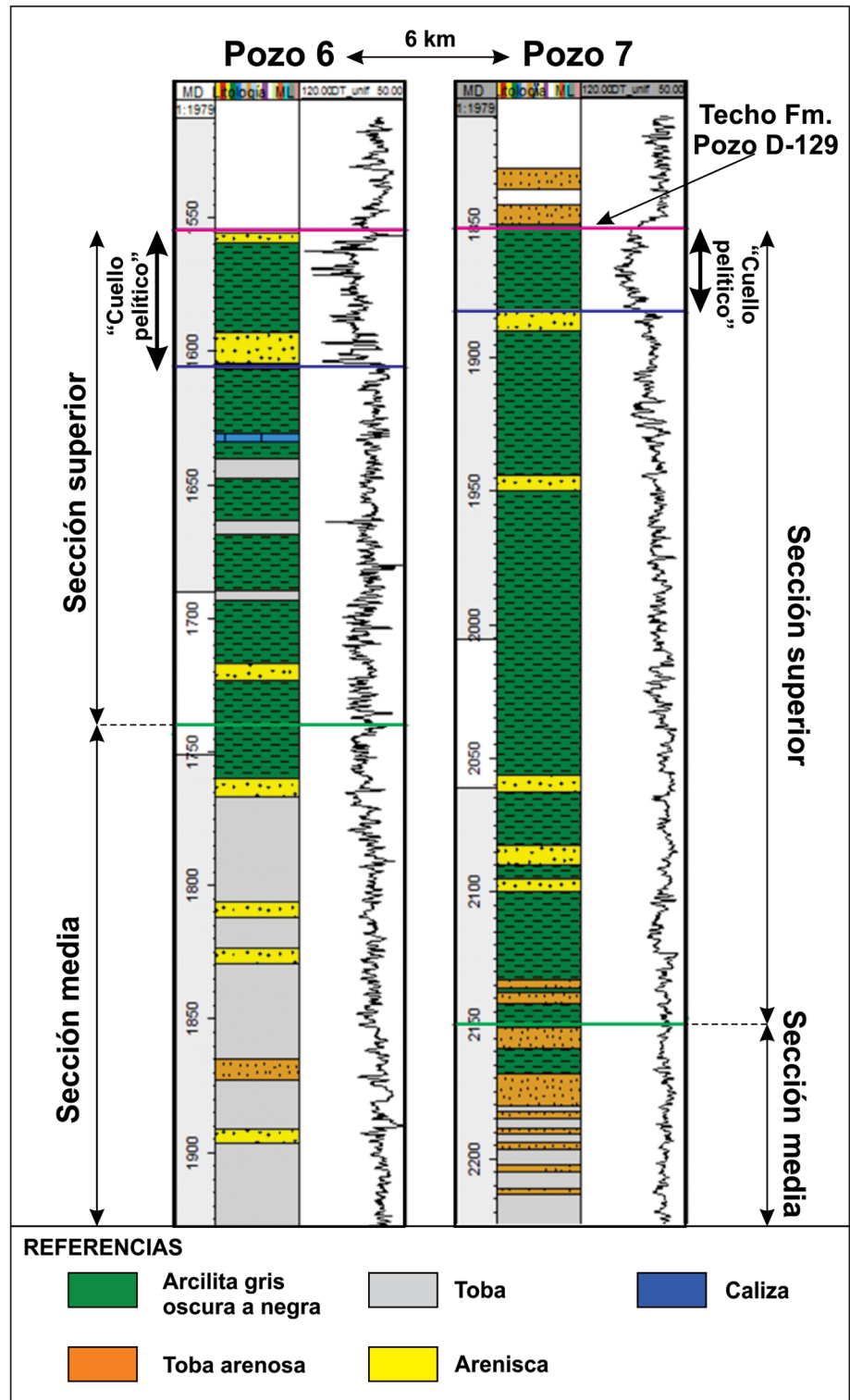
cas que generalmente presentan rastros e impregnaciones de hidrocarburo. Su espesor oscila entre 50 y 700 m, con un promedio de 430 m, siendo la sección de mayor espesor de la formación. La sección superior está compuesta principalmente por fangolitas y arcilitas de color gris oscuro a negro, laminadas o macizas con ausencia de bioturbación y presencia de material carbonoso, ooides y ostrácodos. En forma subordinada se observan

en las coronas niveles de calizas oolíticas que no superan los 15 cm de espesor, tobas vítreas y tobas arenosas, areniscas y areniscas tobáceas de color gris claro a blanquecino y cuyos espesores aumentan hacia borde de cuenca, alcanzando en las coronas potencias de hasta 40 centímetros. El techo de la sección superior se caracteriza por un aumento muy marcado de la velocidad del perfil sónico, que refleja

el cambio de velocidad debido al pasaje desde un intervalo muy homogéneo compuesto por arcilitas negras, que representan la última y más extendida transgresión lacustre de Formación Pozo D-129, hacia areniscas y tobas de ambiente fluvial pertenecientes a la Formación Castillo (Fig. 3). Este paquete se denomina informalmente “cuello pelítico”, posee un espesor de entre 10 y 95 m y presenta una distribución heterogénea sugiriendo la existencia de depocentros aislados (Fig. 4a), tal como se detalla más adelante.

Paleoambientalmente, la sección superior de la Formación Pozo D-129 se interpreta como correspondiente a depósitos acumulados en un ambiente lacustre profundo, de baja energía y escasa circulación, en el que se generan condiciones anóxicas, evidenciada por la coloración negra, presencia de pirita, ausencia de bioturbación, abundante materia orgánica amorfa y relativamente poco material leñoso y opacos, y variables palinomorfos en regular estado de preservación (Paredes *et al.* 2011, Ronchi y Ottone 2012). Los delgados niveles calcáreos que se intercalan con las arcilitas indicarían somerizaciones del lago, y habrían sido generados en un ambiente lacustre más somero de baja energía y aguas oxigenadas. Estos niveles presentan mayor desarrollo en los flancos norte y sur de la cuenca. Los intervalos arenosos intercalados en los paquetes arcillosos, se asocian a flujos tractivos o corrientes de turbidez en un frente deltaico, con canales distributarios y depósitos de desbordamiento en una planicie deltaica lacustre, que se interpretan como depósitos sub-litorales proximales y distales (Paredes *et al.* 2011, Rodríguez y Tórtora 2012). En estos niveles el querógeno es comúnmente más escaso y está dominado por material opaco, restos leñosos y cutículas. Los palinomorfos son bastante escasos y están en general mal preservados (Ronchi y Ottone 2012). Los niveles volcano-sedimentarios, se interpretan como producto del retrabajo de depósitos piroclásticos de caída en un medio subacuático.

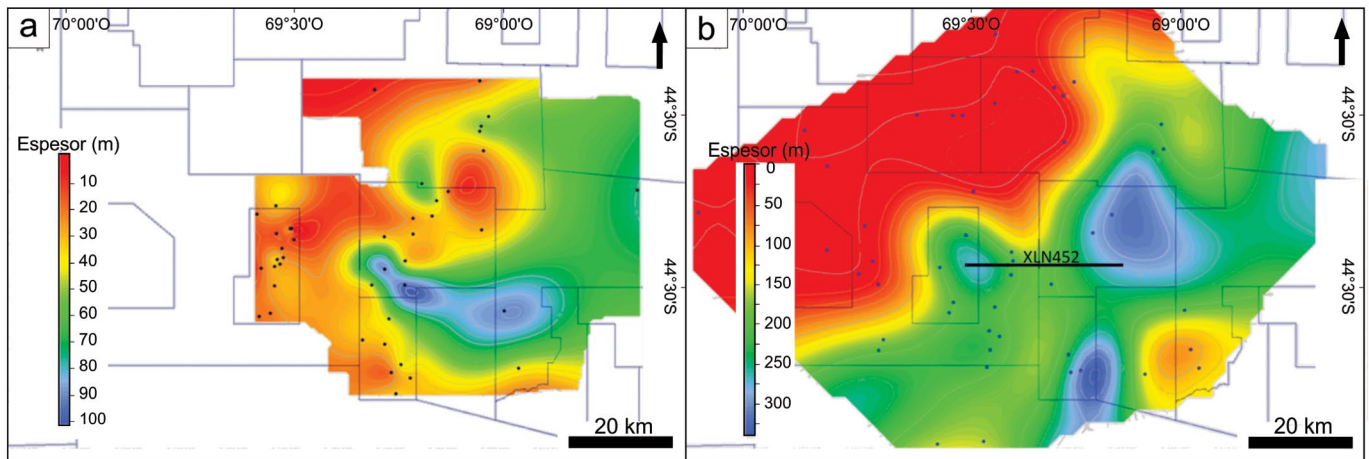
En el área de estudio, el espesor total de la sección superior aumenta desde la lí-



**Figura 3:** Litología y perfil sísmico (DT) de los pozos en la zona de estudio en la que se focaliza la Sección Superior de la Formación Pozo D-129, el intervalo correspondiente al “cuello pelítico” y el techo de la sección media.

nea de costa lacustre (la que posee una dirección NE-SO interpretada para el techo de la Formación Pozo D-129) hacia el centro de cuenca, alcanzando un espesor

máximo de 275 m, los que fueron comprobados por datos de pozo (Fig. 4b). Desde esta línea de costa lacustre hacia el oeste, predominan facies rojas de am-



**Figura 4:** a) Mapa de espesores con datos de pozos del intervalo correspondiente al “cuello pelítico”. b) Mapa de espesores de la sección superior de la Formación Pozo D-129.

biente fluvial subaéreo pertenecientes a la Formación Matasiete. Sin embargo, en varios pozos se reconocen facies de pelitas negras que podrían asociarse al “cuello pelítico”, pero con menor desarrollo vertical. Por su parte, hacia el este de la línea de costa, los niveles pelíticos grises oscuros a negros presentan mayor desarrollo, no solo en el espesor del “cuello pelítico” sino en toda la sección superior (Basile y Utgé 2011).

### Marco Estructural

En la Cuenca del Golfo San Jorge pueden diferenciarse cinco sectores en base a su estilo tectónico: flanco norte, flanco sur, centro de cuenca, faja plegada y flanco occidental. Tanto en la región oriental (Flanco Norte, Flanco Sur, Centro de Cuenca), donde se encuentran los principales y más antiguos yacimientos explotados, como en el flanco occidental domina un estilo tectónico extensional caracterizado por fallas directas de orientación ONO-ESE. La porción *offshore* de la cuenca continúa con el mismo estilo extensional, pero el patrón estructural cambia hacia uno de orientación OSO-ESE, reflejando el fuerte control que ejercen los bordes de bloques basamentales del Macizo Norpatagónico (Figari *et al.* 1999, Figari *et al.* 2002). La zona de estudio se encuentra ubicada en el ámbito de la faja plegada, donde la compresión cenozoica ha modificado el estilo origi-

nal, generando la inversión tectónica de antiguos depocentros extensionales. Las principales estructuras son fallas inversas de orientación NO y NE, de alto ángulo en superficie y geometría lítrica en profundidad. Los pliegues relacionados a los bloques colgantes son de tipo cajón, con ejes submeridianos, con vergencia al este y al oeste. Estos anticlinales se encuentran afectados por fallas extensionales ONO-ESE que compartimentan las estructuras mayores (Figari *et al.* 2002).

### MODELADO SÍSMICO

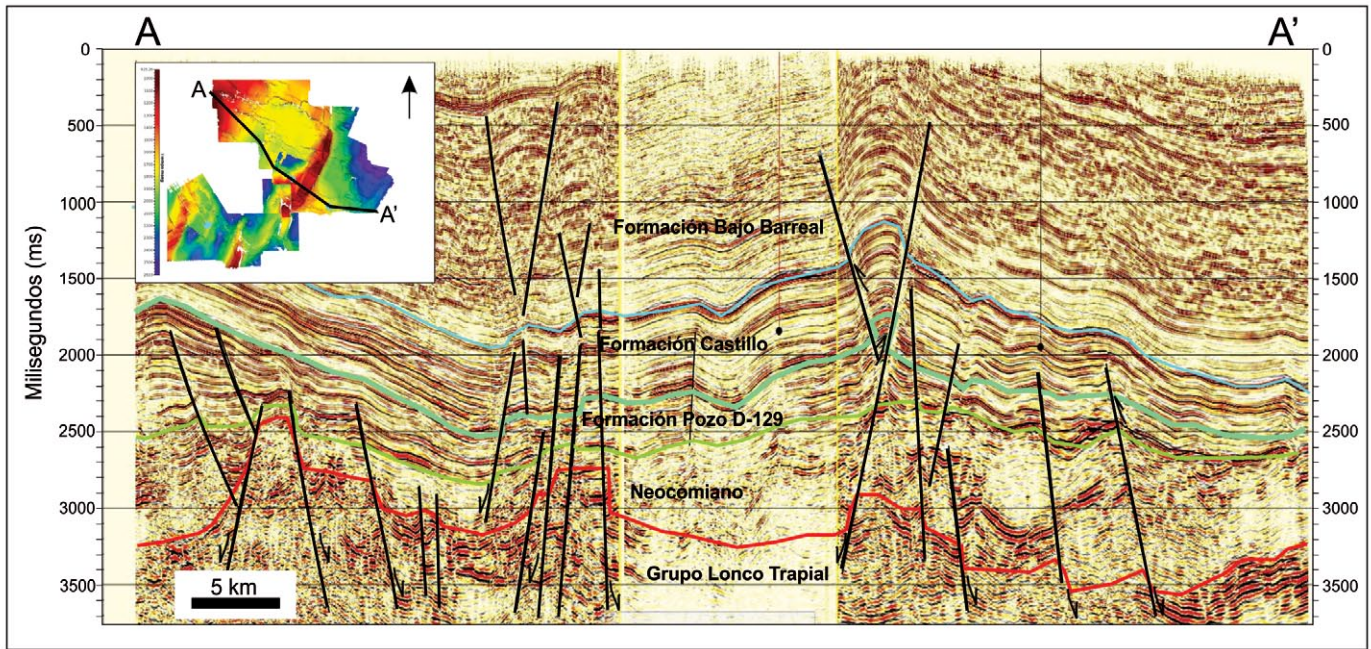
#### Identificación estructural

Regionalmente se reconocen fallas normales de alto ángulo que dan origen a la cuenca de rift continental (Fitzgerald *et al.* 1990, Baldi y Nevistic 1996, Figari *et al.* 1999, entre otros) que fueron reactivadas dando origen a un gran número de fallas antitéticas. Estas fallas controlaron en parte la evolución de la sedimentación a lo largo de su historia extensional (Fitzgerald *et al.* 1990, Figari *et al.* 1999, Barredo y Stinco 2010).

El inicio del rift, representado por los depósitos del Grupo Lonco Trapial (Jurásico Medio) presenta patrones sísmicos irregulares, semicontinuos a discontinuos y con variaciones locales de altas amplitudes (Fitzgerald *et al.* 1990). La etapa de clímax del rift estaría representada por depósitos del Grupo Las Heras

y la Formación Pozo D-129, siendo sedimentos de origen lacustre, aluvial y fluvial. Los depósitos del Grupo Las Heras estarían en relación de *onlap* sobre las secuencias del Grupo Lonco Trapial, pudiéndose discriminar características de baja amplitud, asociadas a litologías de grano fino depositadas en ambiente lacustre, de amplitudes medias y altas asociadas a las paredes del bloque alto de las fallas, las que se interpretan como depósitos aluviales. Los estados iniciales de la Formación Pozo D-129 se reconocen sísmicamente por clinoformas de tipo *downlap* indicando progradación, como así también variaciones laterales de amplitud que evidenciarían contrastes litológicos asociados a diferentes ambientes depositacionales (lacustres y fluviales). Estos depósitos presentan rápidos cambios faciales y de espesor que permiten interpretar un fuerte control tectónico durante su depositación (Gómez Omil *et al.* 1990). Esta descripción está representada en la sección sísmica por las reflectividades lateralmente continuas, pero que presentan en forma local variaciones de amplitud y marcada discontinuidad asociada a la reactivación de las fallas o paleoaltos generados durante el último episodio extensional (Fig. 5).

La etapa de post-rift está representada sísmicamente por reflectividades continuas y generalmente paralelas, que sugieren ambientes depositacionales de baja

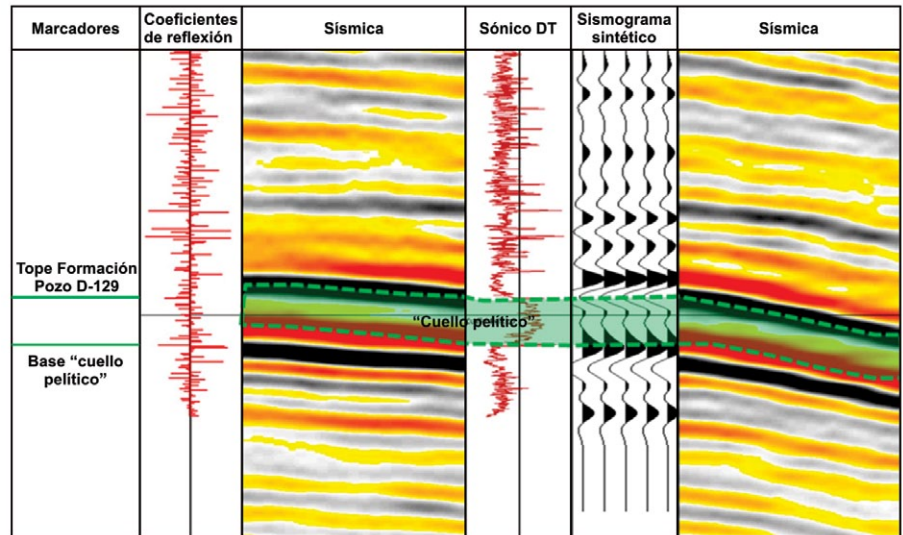


**Figura 5:** Corte sísmico NO-SE, observándose las características sísmicas de las distintas formaciones y el esquema estructural. Se indica la ubicación del corte sobre el mapa estructural al techo de la Formación Pozo D-129.

energía. Estas varían a discontinuas con cambios de amplitudes, que se asocian a las diferencias de relieve generadas por fallas. Los depósitos de areniscas tobáceas correspondientes a los depósitos fluviodeltaicos representados en esta etapa, son agradacionales y progradacionales. La Formación Bajo Barreal está interpretada como parte del relleno de post-rift (Fitzgerald *et al.* 1990, Rodríguez y Littke 2001, Figari *et al.* 1999) y está representada por reflectores continuos paralelos con mayor extensión que los correspondientes a la etapa anterior (Fig. 5).

**Identificación sísmica**

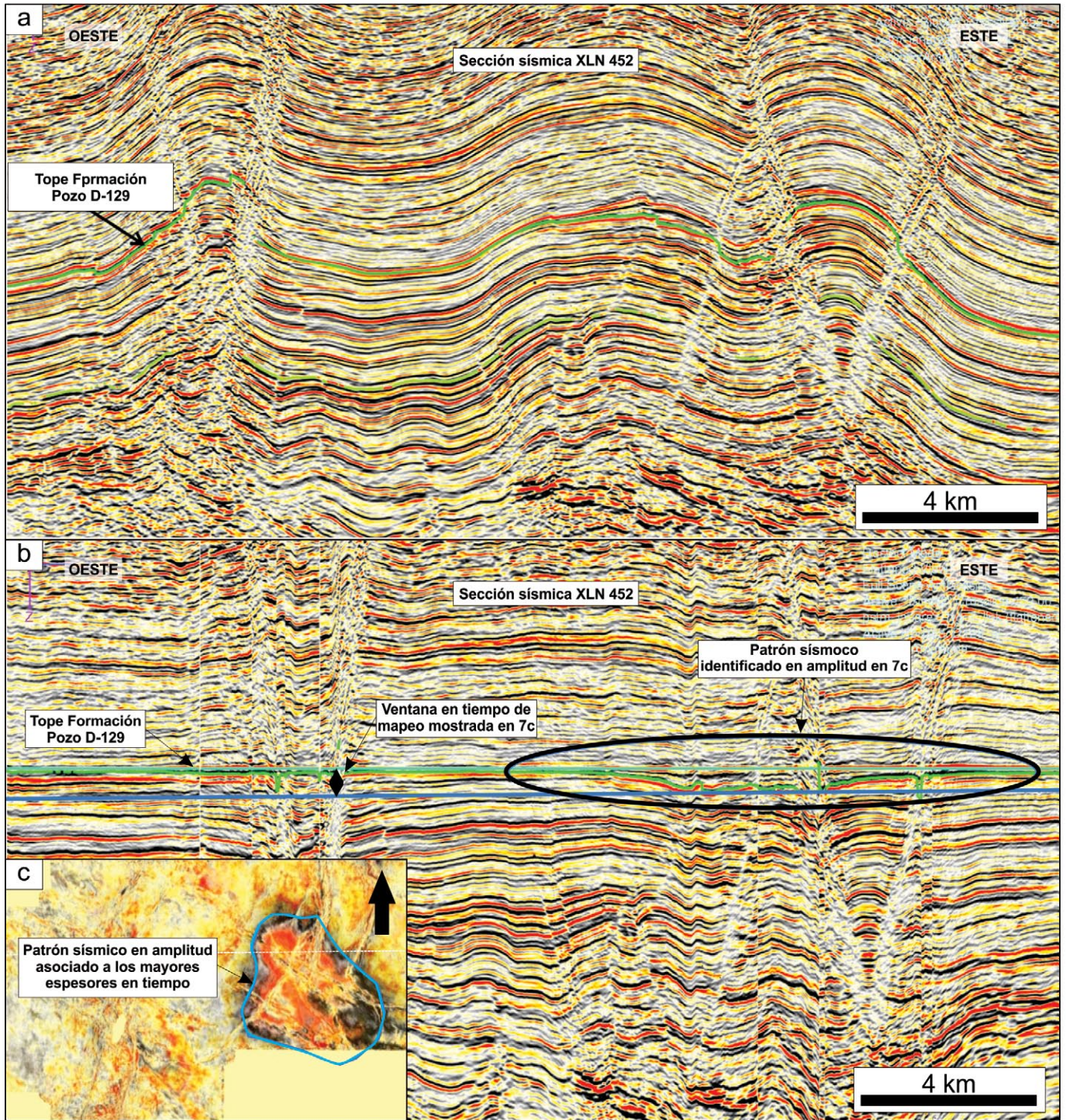
Este trabajo se focalizó en la observación del carácter distintivo del techo de la Formación Pozo D-129 mediante la visualización sísmica 3D y en los análisis de facies sísmicas. Un sismograma sintético (Fig. 6) obtenido para un pozo de referencia muestra la respuesta del “cuello pelítico” del techo de la Formación Pozo D-129. Se observó el carácter de las reflectividades y la incidencia de los efectos de espesor sobre el carácter sísmico en amplitud, frecuencia y fase del techo y base. Se visualizó en una sección sísmica una



**Figura 6:** Sismogramas sintéticos que muestran la respuesta de la ondícula respecto del espesor del “cuello pelítico” (en verde).

reflectividad continua de amplitud media a alta (Fig. 7a). La sección fue horizontalizada (Fig. 7b) para lograr una mejor visualización, y posteriormente, mediante el apilado en opacidades, se logra una detección de patrones que representen dicho intervalo (Fig. 7c). Como resultado de este flujo de trabajo, en ventanas de *time slices* fueron recono-

cidos patrones sísmicos indicativos del techo de la Formación Pozo D-129 con características distintivas. Entre sus características destaca la definición de áreas semicirculares definidas por la amplitud sísmica (Fig. 7c) que estarían relacionadas a depocentros locales durante la deposición del nivel superior de la Formación Pozo D-129.



**Figura 7:** Sección sísmica E-O sin horizontalizar (7a) y horizontalizada al tope de la Formación Pozo D-129 (7b). En 7 c se muestra un *time slice* con las características y la distribución de las amplitudes.

El primer elemento de análisis, está dado por la extracción de la amplitud del techo y la base del “cuello pelítico”. El dato sísmico, desde un punto de vista estadístico, tiene características tales como continuidad, redundancia y ruido que

pueden producir diferentes interpretaciones según el peso de cada uno de ellos. La caracterización del dato sísmico a través de “facies sísmicas” apunta a extraer del dato el mayor contenido de información geológica, mejorando la descripción

de una formación o reservorio. Así, los análisis resultantes de la impronta de las variaciones de espesor sobre el dato sísmico son un elemento más del modelado a tener en cuenta.

En los perfiles eléctricos de los pozos se

observó un marcado contraste de impedancia acústica tanto en el techo como en la base del “cuello pelítico”, siendo en este intervalo un 20% menor que en el resto de la formación, lo que produce buenos reflectores sísmicos (Fig. 6). El espesor de este intervalo varía arealmente, tal como se verifica en distintos pozos de la zona (Fig. 2), por lo que existirán espesores para los cuales los eventos sísmicos asociados a su techo y a su base producirán interferencia (de tipo constructiva o destructiva) lo cual se manifestará como variaciones laterales de las amplitudes de los horizontes de tope y base. Un esquema posible del efecto de interferencia sísmica a partir de la combinación litológica y de espesores, corroborado con información de pozos se muestra en la figura 8.

Con el objeto de identificar aquellas zonas en las que las variaciones de amplitudes sísmicas podrían estar moduladas por el espesor del “cuello pelítico” (y no estar vinculadas a variaciones petrofísicas y/o litológicas, por ejemplo), se interpretaron los reflectores asociados al techo y a la base del “cuello pelítico”. Luego se compararon las amplitudes sísmicas del horizonte asociado al techo con las diferencias de tiempos  $\Delta t = t_{\text{techo}} - t_{\text{base}}$  generando la curva de *tuning* presentada en la figura 9a. Comparando la figura 8 con el gráfico de *tuning* de un modelo de cuña, se concluye que, para diferencias de tiempo  $\Delta t > 15$  ms, las amplitudes sísmicas no están vinculadas al espesor del “cuello pelítico” y, por tanto,  $\Delta t$  sería un indicador del espesor del mismo (Fig. 9). Por otra parte, para tiempos  $\Delta t$  menores a 15 ms existirá una relación entre la amplitud del techo y el espesor de la capa debido a efectos de interferencia entre el techo y la base: para  $12 < \Delta t < 15$  ms existirá interferencia constructiva que se manifestará como un incremento de la amplitud de los reflectores. Mientras que para  $\Delta t < 12$  ms habrá interferencia destructiva que se manifestará como una disminución lineal de la amplitud con  $\Delta t$ .

Por tanto, al interpretar amplitudes sísmicas en las áreas donde  $\Delta t < 15$  ms (Fig. 10) debe tenerse en cuenta que las variaciones laterales de amplitud pueden estar

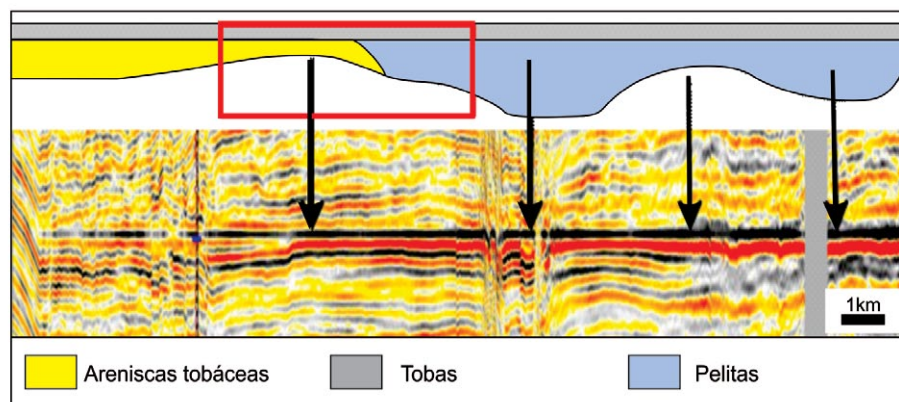


Figura 8: Modelo esquemático y representación en sección sísmica horizontalizada.

asociadas a variaciones del espesor del “cuello pelítico” y no únicamente a factores petrofísicos o litológicos. El resto de las zonas estarían comprendidas por valores  $\Delta t > 15$  ms, como indicador directo de espesores del “cuello pelítico”.

#### Modelado de facies sísmicas al techo de la Formación Pozo D-129

Las facies sísmicas son el resultado de la caracterización de la envolvente de la traza sísmica (definida como la expresión de un registro continuo de coeficientes de reflexión en forma de ondículas), a partir de la utilización de redes neuronales mediante el software *Stratimagic*. La finalidad de esta técnica es la de mejorar la descripción de una formación, reservorio y/o secuencia, revelando geometrías deposicionales y rasgos geológicamente significativos, en nuestro caso del “cuello pelítico”. El proceso de clasificación está basado en las variaciones de la geometría de las trazas sísmicas. Los cambios en la forma de las trazas son más significativos que los cambios en la amplitud.

Primero, el proceso analiza por redes neuronales las formas de las trazas en el intervalo definido, generando una serie de trazas sintéticas que mejor representan la diversidad de las formas en el intervalo, y las organizan de manera progresiva asignándoles a cada traza sintética un color y un número. La cantidad de familias está determinada por el carácter geológico del intervalo de interés, en este caso el “cuello pelítico” observado por curvas de pozos, definió una ventana en tiempo

constante de 30 ms que lo contenía. La Figura 11 muestra el mapa de facies sísmicas que resulta, y una sección sísmica arbitraria en donde se superponen las facies sísmicas sobre la ventana en tiempo elegida. El número de facies utilizadas fue de siete clases de forma no supervisada. El criterio para este número de facies sísmicas estuvo definido por el modelo sísmico de interferencia de valles y picos sobre la traza sísmica, debida a la variación misma del espesor del “cuello pelítico”.

Luego, en el intervalo definido cada traza de la sísmica es comparada con las trazas sintéticas y son asignadas a un número y color de la traza sintética según sea el grado de correlación. Como resultado de este proceso se obtienen mapas de facies sísmicas, en los cuales se visualizan diferentes patrones de acuerdo a la distribución de las facies, y que se pueden asociar a facies sedimentarias.

La distribución del mapa de facies sísmicas para la ventana definida por el techo y base de la representación sísmica del “cuello pelítico”, revela su geometría deposicional y su correlación en la extensión de las estructuras presentes, como se muestra en la figura 12. Se observan también los valores de referencia de espesores de estos cuellos ajustados con la información proveniente de pozos. Las facies violetas presentan una impronta inicial asociada a los mayores espesores del “cuello pelítico”, su geometría deposicional y en menor medida el contraste de impedancias por la litológica envolvente de este “cuello pelítico”.



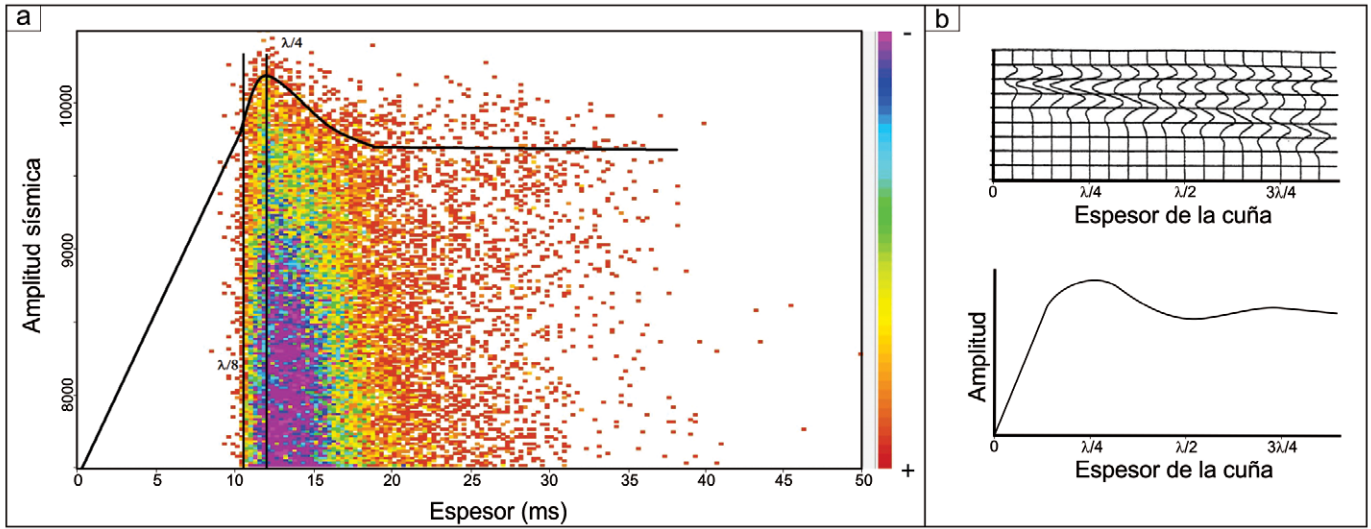


Figura 9: a) Gráfico que compara las amplitudes sísmicas en el techo del “cuello pelítico” con las diferencias de tiempo sísmico  $\Delta t = t_{\text{tope}} - t_{\text{base}}$ . b) Modelo de cuña usado para guiar la interpretación (Sheriff 2001).

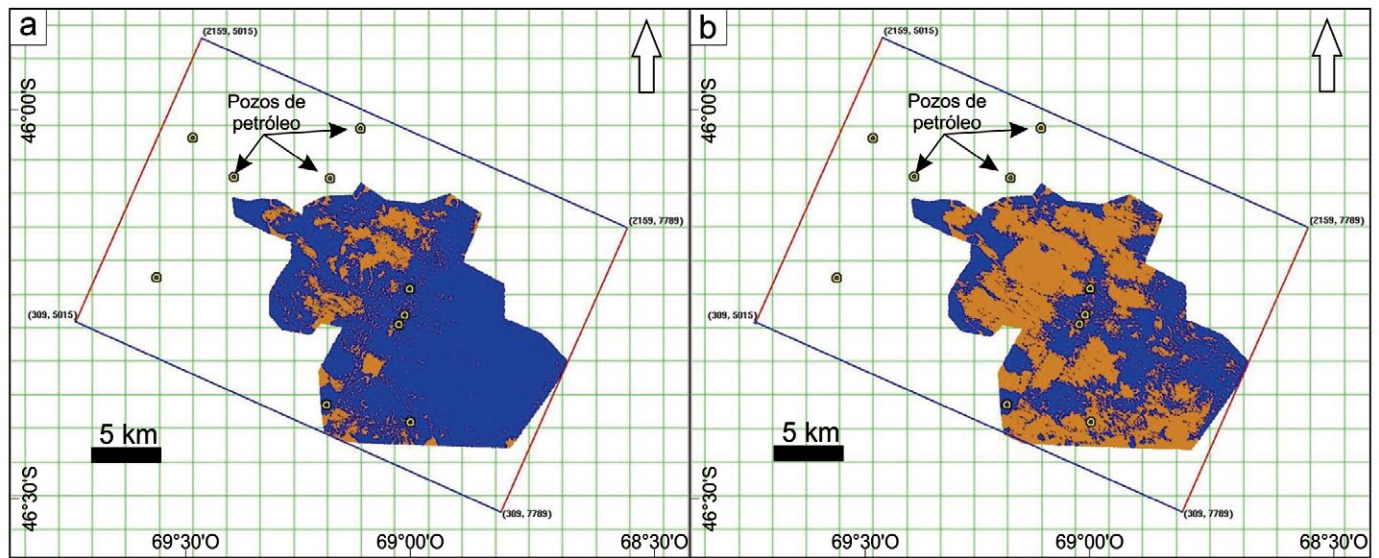


Figura 10: a) Mapa de espesor en tiempo del “cuello pelítico” en donde se identifican las zonas para las cuales  $\Delta t < 12$  ms. b) Mapa de espesor en tiempo del “cuello pelítico” donde se muestra aquellas zonas donde  $\Delta t < 15$  ms, por lo que las amplitudes sísmicas podrían estar moduladas por el espesor del “cuello pelítico”.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Dentro de la sección superior se definió un intervalo compuesto íntegramente por arcilitas de color gris oscuro a negra, que se asociaría a la última transgresión lacustre de la Formación Pozo D-129, denominado informalmente “cuello pelítico”. Los espesores reconocidos en pozos presentan una distribución heterogénea

que varía entre 10 y 95 metros. Este nivel tiene una respuesta notoria en el perfil sísmico presentando un aumento de tiempo de tránsito debido al contraste de litología entre la base de la Formación Castillo (tobas y areniscas tobáceas) y las limoarcilitas lacustres de Formación Pozo D-129. Estas respuestas en pozos se correlacionaron con la información sísmica, lo cual contribuyó a extrapolar el modelo arealmente.

Las variaciones de amplitudes sísmicas demostrarían estar moduladas mayormente por el espesor del “cuello pelítico” (efecto *tuning*) y por las variaciones litológicas laterales contenidas en una ventana en tiempo. Los mapas de la Figura 9 muestran una distribución extensa de estos efectos en casi toda el área estudiada, dejando solo porciones circulares a semi-circulares más restringidas en las que no habría una impronta de la amplitud, por

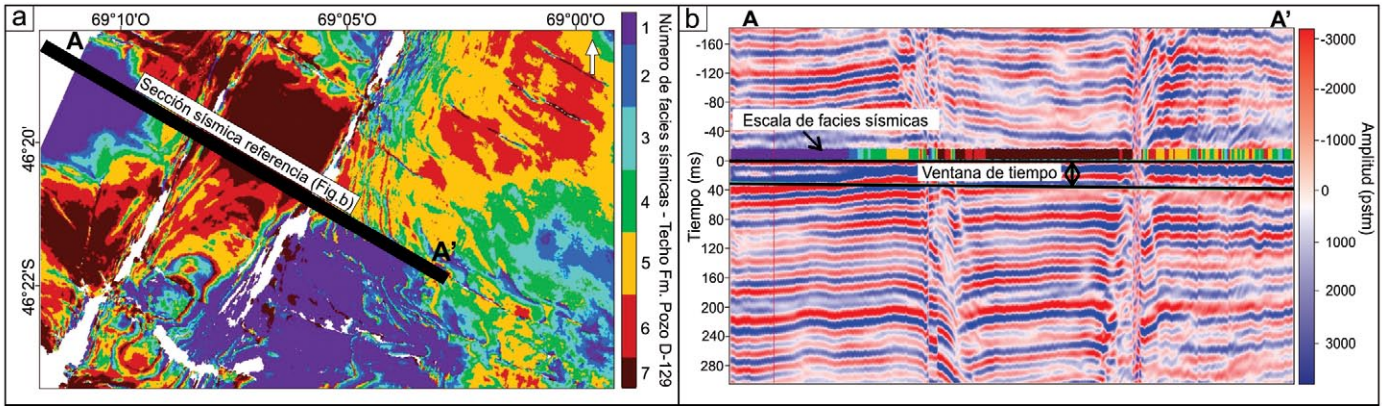


Figura 11: a) Mapa de facies sísmicas (1 a 7). b) Sección sísmica con ventana de trabajo y sobreimpesición del mapa de facies sísmicas.

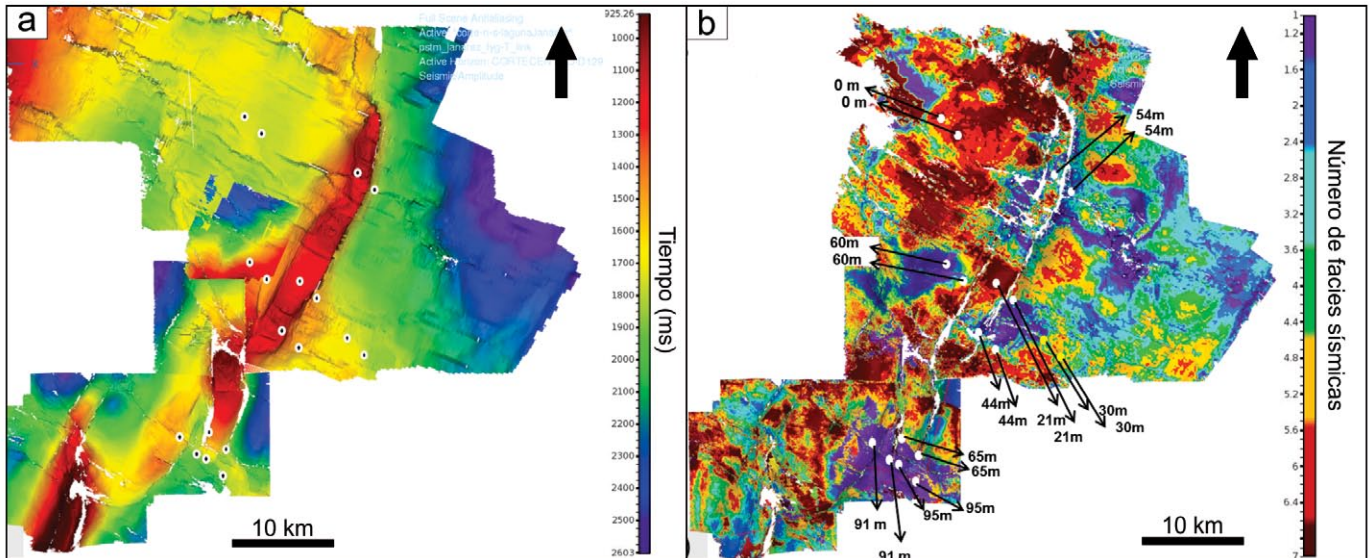


Figura 12: a) Mapa isócrono al techo de la Formación Pozo D-129. b) Mapa de facies del mismo horizonte asociado a datos de espesor de “cuello pelítico”.

tratarse de zonas con espesores mayores del “cuello pelítico” debido a la distribución de depocentros localizados al momento de su depositación.

Los mapas de facies sísmicas reafirman y amplían los análisis realizados al considerar, no solo la amplitud sino también la fase y la frecuencia de la forma de la traza, otorgándonos una impronta de combinación litológica más amplia sobre la traza. El mapa de amplitud sísmica manifiesta escasamente los mayores espesores de las cubetas pelíticas restringidas del tope de la Formación Pozo D-129. En cambio, en el mapa de facies, esta distribución se observa claramente (Fig. 13).

A partir del mapa de facies sísmicas, se

observa que la distribución de los depocentros del “cuello pelítico” presenta una distribución no homogénea. A su vez, exceden en yacencia a las estructuras actuales, lo cual indica que la generación de estos depocentros estuvo controlada por paleoaltos y fallas normales activas al momento de la última transgresión lacustre, en coincidencia con lo propuesto para este momento evolutivo de la cuenca según Fitzgerald *et al.* (1990) y Figari *et al.* (1999). En la actualidad estos depósitos se encuentran compartimentados, a raíz de la compresión cenozoica que afectó a la cuenca.

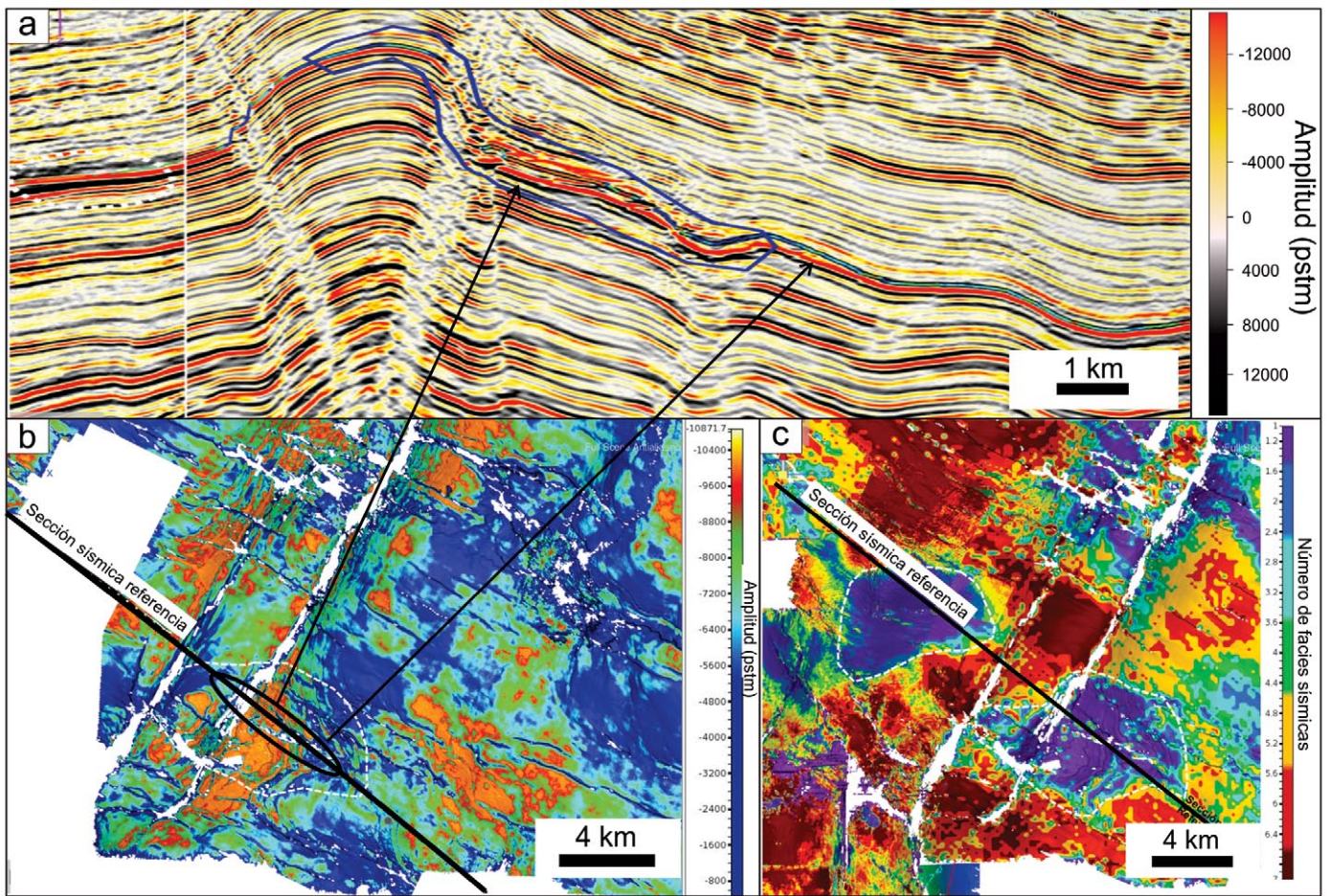
Este análisis aporta un dato de entrada inicial para el reconocimiento, descripción y

correlación de futuros estudios que completen la descripción de la roca madre de la Formación Pozo D-129 y su correlación paleo-estructural junto a su potencial hidrocarburofero.

Al atravesar más de 70 metros de pelitas negras, la perforación de un pozo dentro del área de estudio, permitió testear la validez del modelo en un sector interpretado previamente como un depocentro del "cuello pelítico".

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a YPF. S.A por permitir la publicación de este trabajo, que contó con las valiosas sugerencias de Ricardo Veiga,



**Figura 13:** a) Sección sísmica NO-SE. b) Mapa de amplitud sísmica al techo de la Formación Pozo D-129. c) Mapa de facies sísmicas correspondientes al “cuello pelítico”, donde se observa la extensión areal previa a la estructuración cenozoica.

Virginia Martínez Cal, Ricardo Clavijo y Fernanda Raggio. Los comentarios de dos revisores anónimos contribuyeron a la calidad técnica de este trabajo.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Baldi, J.E. y Nevistic, V.A. 1996. Cuenca Costa Afuera del Golfo San Jorge, En: Ramos, V.A. y Turic, M.A. (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. Relatorio 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, p. 171-192, Buenos Aires.
- Barredo, S. y Stinco, L. 2010. Geodinámica de las cuencas sedimentarias: su importancia en la localización de sistemas petroleros en la Argentina. *Petrotecnia* 2: 48-68.
- Basile, Y. y Utgé, S. 2011. Caracterización de la Fm. Pozo D-129, sus condiciones generadoras y su potencialidad como un reservorio no convencional. Informe interno YPF (inédito), 60 p., Buenos Aires.
- Clavijo, R. 1986. Consideraciones sobre la estratigrafía del Cretácico Inferior en el sector occidental de la cuenca del golfo San Jorge. *Boletín de Informaciones Petroleras* 9: 15-32.
- Figari, E., Strelkov, E., Laffite, G., Cid de la Paz, M., Courtade, S., Celaya, J., Vottero, A., Lafourcade, P., Martínez, R. y Villar, H.J. 1999. Los sistemas petroleros de la Cuenca del Golfo San Jorge: síntesis estructural, estratigrafía y geoquímica. 4° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, 197-237, Mar del Plata.
- Figari, E., Strelkov E., Cid de la Paz, M., Celaya, J., Laffite, G. y Villar H.J. 2002. Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica. En: Haller, M.J. (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del 15° Congreso Geológico Argentino*, 3, 571-601, El Calafate.
- Fitzgerald, M., Mitchum, R., Uliana, M. y Biddle, K. 1990. Evolution of the San Jorge Basin, Argentina. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 74: 879-920.
- Gómez Omil, R., Arroyo, H., Laffitte, G. y Melo, A. 1990. Informe geológico-geofísico. Anteproyecto exploratorio para el sector oriental del Flanco Sur (Plan de Acción 1990). Informe interno YPF (inédito), 31 p., Buenos Aires.
- Hechem, J.J., Figari, E. y Musacchio, E. 1987. Hallazgo de la Formación Pozo D-129. *Petrotecnia* 28: 13-15.
- Paredes, J.M., Foix, N. y Allard, J.O. 2011. Sedimentología de la Formación Pozo D-129 en el Yacimiento Estancia Cholita, Cuenca del Golfo San Jorge. Grupo de Análisis Estructural y Estratigráfico de Cuencas, UNP “San

- Juan Bosco”, Informe interno YPF (inédito), 55 p., Comodoro Rivadavia.
- Rodríguez, J.F.R. y Littke, R. 2001. Petroleum generation and accumulation in the Golfo San Jorge Basin, Argentina: a basin modeling study. *Marine and Petroleum Geology* 18: 995-1028.
- Ronchi, D. y Ottone, E. 2012. Informe bioestratigráfico sobre muestras de testigos corona proveniente del pozo YPF.SC.ECh.xp-159 (Estancia Cholita). Informe interno YPF (inédito), 16 p., Buenos Aires.
- Rodríguez, E. y Tórtora, L. 2012. Estudio Sedimentológico, Petrográfico, Diagenético, Mineralógico y de Microscopía Electrónica. Sondeo YPF.SC.ECh.xp-159 (Estancia Cholita) 1era y 2da corona Fm. Pozo D-129. Informe interno YPF (inédito), 156 p., Buenos Aires.
- Sheriff R. 2001. *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics*. Tulsa: Society of Exploration Geophysics (SEG), 4th Ed., 429 p., Houston, TX.

Recibido: 4 de abril, 2014

Aceptado: 14 de octubre, 2014