

CARACTERÍSTICAS DE LOS PALEOCAUCES FLUVIALES DEL GRUPO CHUBUT EN EL ÁMBITO DEL CUBO SÍSMICO 3D DE LAGUNA JANAREZ, CUENCA DEL GOLFO SAN JORGE

Matías Miguel Salvarredy Aranguren¹, Mauro Tellería¹, Pablo Álvarez¹

1: YPF S.A. & UNPSJB, matias.salvarredyaranguren@ypf.com, mauro.telleria@ypf.com, pablo.alvarez@ypf.com

Palabras clave: Paleocauces, Grupo Chubut

ABSTRACT

The 3D seismic cube of Laguna Janarez was acquired in 2008 by YPF S.A, covering the oilfields Cerro Guadal Norte (CGuN) and El Guadal Sur (EGS), both situated in the Santa Cruz Province. The 3D cube presents a good seismic image quality, allowing the interpretation of several channel-form features by using horizon slices. In this way, it is possible to describe paleochannel bodies and define their characteristics such as length, width, direction and thickness, if the channel body was intercepted by a well. These characteristics are extremely important, both to establish the potential sands stacking in a development or prospective area, and, to improve sand correlation in secondary recovery projects, where it is critical to know preferential direction of sand distribution to flood the reservoir. Moreover, these data can be critical to delimit variograms of stochastic models in new development areas.

An inventory of channel-form features was conducted, which allowed to detect 182 and 77 paleochannel features in CGuN and EGS, respectively. The methodology does not have the same performance for all geological units. For example, channelized features within the Sección Tobácea unit show reduced thickness as observed in well logs, and this technique allowed to identify the most of paleochannels features, because of a better seismic contrast.

As a conclusion, paleochannels of the Chubut Group for the area covered by this 3D seismic cube were essentially oriented NW-SE, showing an important structural control. Only subtle differences in architecture among the units of the Chubut Group were detected. The most frequently identified features are meander belts. Channel width in both oilfields (CGuN & EGS) are narrow ($\bar{x}$ =166m) for the Castillo Fm., while those within the Bajo Barreal Fm. (excluding features within the Sección Tobácea) are wider ($\bar{x}$ = 219m in CGuN and $\bar{x}$ =288m in EGS). These temporal variations are very useful to establish the spacing between wells.

INTRODUCCIÓN

La adquisición de sísmica 3D y un apropiado procesamiento de datos permiten la interpretación de cubos sísmicos 3D de gran utilidad en los yacimientos de la Cuenca del Golfo San Jorge. Dado que los niveles productivos que se concentran mayormente en las sedimentitas del Grupo Chubut responden mayoritariamente a un ambiente de depositación fluvial, la combinación de la compleja arquitectura fluvial (Bridge *et al.* 2000) y el fallamiento extensional e inversión tectónica posterior han sido claves en la generación de yacimientos convencionales de hidrocarburos en la Cuenca del Golfo de San Jorge (Jalfin *et al.* 2002).

La descripción de los niveles de reservorios en estas secuencias fluviales se ha abordado de diferentes maneras, desde la descripción de afloramientos (Feruglio 1949; Sciutto 1981; Hechem *et al.* 1990; Bridge *et al.* 2000; Tunik *et al.* 2004; Paredes 2005; Umazano *et al.* 2012; Paredes *et al.* 2016); mayormente con información de pozos (Lesta 1968, Lesta y Ferello 1972, Pezzi y Merodi 1972; Clavijo 1986; Anzulovich y Jauregui 1989; Hechem 1994 y 1998, Ronanduan 2006, Sanagua *et al.* 2002) y otras basadas en información de subsuelo, principalmente, fundamentadas en interpretación sísmica (Wood *et al.* 2002; Lenge y Galarza 2005; Foster y Iovine 2007; Foster e Iovine 2008; Santangelo *et al.* 2010; Alvarez 2012; Ferreira *et al.* 2013; López Angriman *et al.* 2014). Algunos de estos trabajos abordan la detección de paleocauces, en particular Foster e Iovine (2008) hicieron un análisis prospectivo de geometría y paleodrenaje regional de los sistemas fluviales de la Formación Castillo y Sección Tobácea. Sin embargo, como el cubo sísmico 3D Laguna Janarez estaba, para dicho momento, en proceso de adquisición los yacimientos abordados en ese trabajo no pudieron ser incorporados. Este trabajo presenta un inventario de todas las geoformas detectadas hasta la fecha en el cubo sísmico 3D Laguna Janarez, y ofrece una caracterización regional de estos paleocauces fluviales del Grupo Chubut para los Yacimientos Cerro Guadal Norte y El Guadal Sur (Fig. 1).

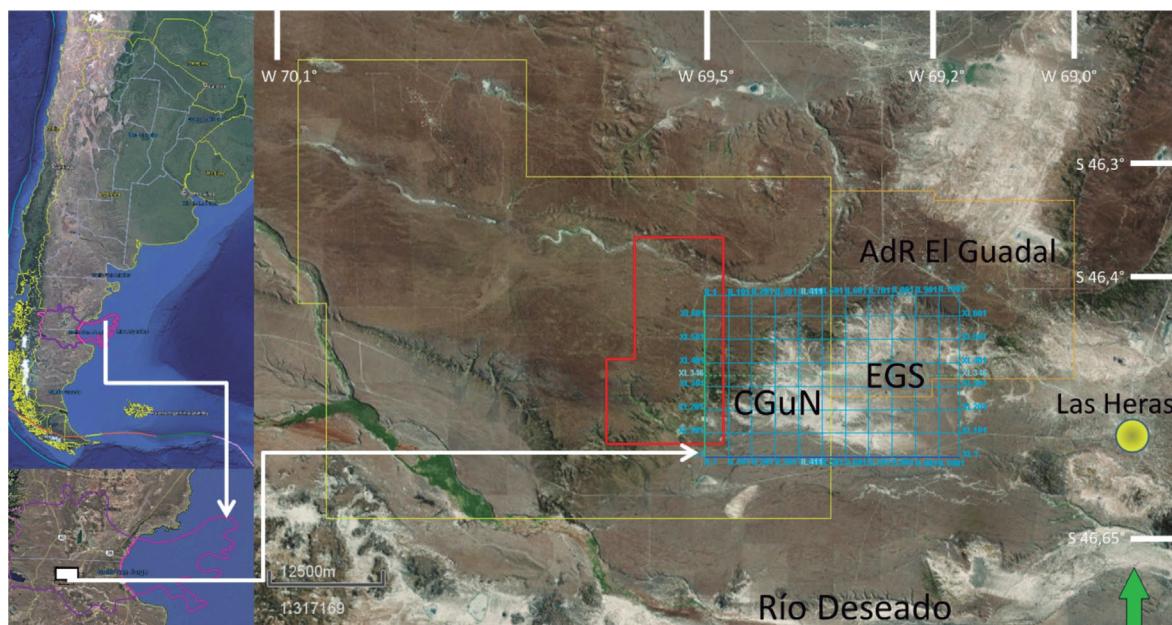


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. El área de la malla azul representa el cubo 3D de Laguna Janarez. Se aprecia que el mismo abarca los Yacimientos Cerro Guadal Norte (CGuN) y El Guadal Sur (EGS).

En la Fig. 1 se detalla la ubicación del área de trabajo, que comprende los Yacimientos Cerro Guadal Norte (CGuN) y El Guadal Sur (EGS), siendo estos bloques cubiertos por el cubo 3D Laguna Janarez (mallado azul en la figura 1). Ambos yacimientos se localizan en la provincia de

Santa Cruz, en el ámbito la faja corrida y plegada de la Cuenca del Golfo San Jorge.

El Yacimiento Cerro Guadal Norte está situado a unos 50 km. al Oeste de la localidad de Las Heras, representando la unidad más oriental del área de reserva (AdR) de Cerro Piedra-Los Sauce-CGuN. El área comprende 86 pozos perforados cuya producción es primaria, la mayoría de los cuales se ubican sobre el eje del anticlinal de Cerro Guadal Norte, en especial sobre la zona norte del mismo. Este yacimiento comenzó su desarrollo en 1995 con campañas de perforación que se ejecutaron de modo discontinuo. Los pozos realizados en este yacimiento tenían como objetivo producir hidrocarburos de la Formación Bajo Barreal con profundidades finales próximas a los 1000 mbbp. Posteriormente, comenzaron a perforarse objetivos prospectivos que alcanzaron las Formaciones Castillo y Pozo D-129 (Santangelo *et al.* 2010), teniendo en cuenta los antecedentes del Yacimiento vecino Estancia Cholita.

Por su parte, el Yacimiento El Guadal Sur, ubicado 30 km al Oeste de la localidad de Las Heras (ver Fig. 1), que pertenece al AdR Lomas del Cuy, limitado hacia el Este por el bloque Laguna Janarez, al Norte por el bloque El Guadal Batería 2, ambos del mismo AdR, y hacia el Sur limita con el Yacimiento Cañadón Vasco. El bloque cuenta con 288 pozos perforados, todos sobre el anticlinal El Guadal Sur, cubriendo gran parte de su superficie. La historia del bloque comenzó en el año 1977, cuando se perforó el primer pozo exploratorio. Entre los años 1995 y 1999 se produjo la campaña de perforación más intensiva, siendo la Formación Bajo Barreal el objetivo principal, con profundidades finales cercanas a los 700 mbbp. En el año 2015 y 2016 se perforaron pozos con objetivos profundos (Formaciones Castillo y Pozo D-129) obteniendo buenos resultados para ambas formaciones.

METODOLOGÍA

La detección de geoformas fluviales mediante la utilización del dato sísmico es una práctica común y extendida desde hace casi 10 años con resultados prospectivos positivos (Foster y Iovine 2008, Santángelo *et al.* 2010, Alvarez 2012).

La técnica de detección consiste en reconocer patrones fluviales a lo largo de distintos “*horizon slices*” del cubo sísmico registrado. La posibilidad de visualizar reservorios situados al límite de la resolución sísmica o, incluso por debajo (límite de detección) depende de tres factores: contraste de impedancia entre el reservorio y la roca adyacente; un correcto procesado sísmico del cubo 3D principalmente tratando de ser conservadores con procesos de filtrado o compensación de frecuencia, y una interpretación sísmica confiable de un horizonte que nos brinde una cobertura areal significativa (Foster e Iovine 2007). Usar esta forma de detección requiere que la calidad del horizonte interpretado sea lo más suave posible (sin tortuosidad). Otras técnicas, como el análisis por ventanas usando descomposición espectral, pueden ayudar a minimizar este requerimiento y acelerar el proceso de búsqueda/detección (Partyka *et al.* 1999).

Para la técnica de “*horizon slices*” deben interpretarse distintos reflectores sísmicos en la zona de interés. Dichos reflectores corresponden a cambios de impedancia acústica relacionables con distintas facies sísmicas vinculadas a procesos de depositación geológicos. Al restituir a la horizontal el cubo sísmico usando uno de esos horizontes interpretados como referencia (*horizon slice*), esa sección puede ser observada en planta respondiendo a un mismo tiempo geológico de depositación (Fig. 2 y 3). Es útil siempre en este tipo de búsquedas de paleocauces en secciones horizontalizadas usar paletas de colores monocromáticas. De esta manera podemos reconocer patrones/formas de distribución que presumiblemente responden a un mismo evento sedimentario. Esta metodología ha sido de gran utilidad para la interpretación de geoformas fluviales en los distintos activos de la regional Santa Cruz (Alvarez 2015).

Una vez interpretado el evento fluvial, al mismo se lo reconoce en tiempo sísmico (TWT) y se evalúa si ha sido alcanzado por algún pozo para así identificarlo en los respectivos perfiles. Para ello es necesario que los mismos cuenten con una buena ley tiempo-profundidad para poder ubicarlo tanto en TWT como en Z. Esta información suele ser crucial ya que en muchos casos los pozos no cuentan con registro sónico completo y/o VSP presentando ambigüedades respecto a la posición en profundidad del evento geológico en cuestión.

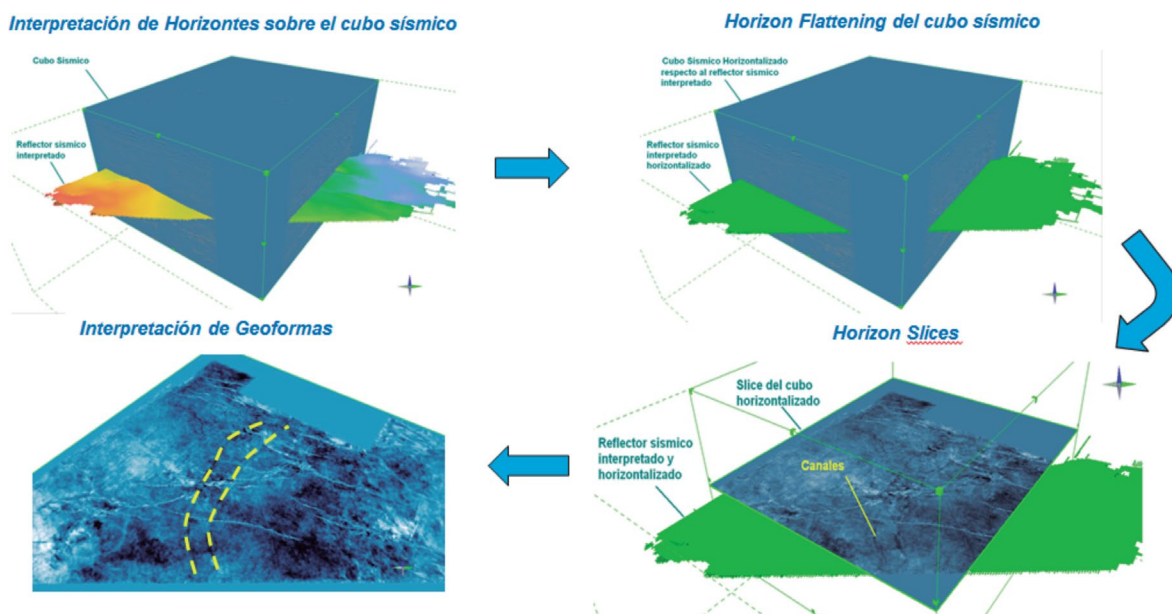


Figura 2. Metodología implementada para la detección de Geoformas (tomado de Alvarez 2013).

En caso de haber detectado el evento sísmico a nivel de pozo, se observa el potencial petrolero de dicha capa, los ensayos (si hubiera), la posición estructural, presencia de fallas profundas en las cercanías (vías de migración) y la posibilidad de desarrollo de dicho evento en otras zonas. Con esta información, es posible evaluar el potencial de mineralización y reservorio que presenta la geoforma identificada y optimizar la posición de pozos nuevos, corrimientos, proponer reparaciones, avanzadas y profundizaciones.

Generalmente, los eventos fluviales visualizados en las formaciones de interés poseen un ancho (por sísmica) de unos 200/300m con longitudes, espesores y formas variables. El espaciamiento entre líneas del cubo sísmico 3D (distancia entre bins) es de 25 m, con lo cual, el efecto de una geoforma vista en sección estará representada a lo largo de unas 8 a 12 trazas. Por otro lado, la resolución sísmica vertical (resolver tope y base del reservorio) ronda los 25 m, con lo cual la detección realizada por el intérprete está por debajo del límite de resolución. Es por lo que la interpretación y análisis a nivel de pozo se debe realizar en conjunto con el geólogo de la zona para determinar eventos correlativos entre sísmica y geología de pozo, discerniendo así las ambigüedades existentes.

Por otro lado, el procesamiento sobre los cubos sísmicos 3D debe ser acorde a los reservorios fluviales que se intentan detectar, para maximizar el poder de discriminación de dichas anomalías sobre el dato. Procesamientos sísmicos con el fin de darle continuidad al reflector sísmico o incrementar el ancho de banda con parámetros no apropiados, pueden enmascarar o desvanecer la anomalía de interés (ejemplo: TVSW - Time Variant Spectral Whitening).

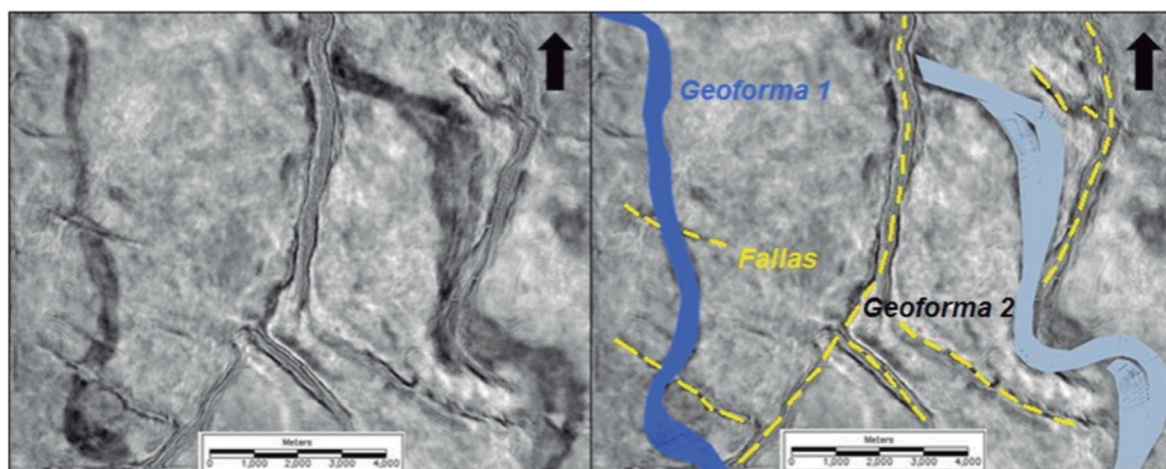


Figura 3. Resultado de la aplicación de la metodología descrita para la Sección Tobácea / Escala monocromática

RESULTADOS

A continuación, se detallarán los resultados obtenidos a partir de la recopilación de estudios juntamente con nuevos hallazgos realizados utilizando el cubo 3D de Laguna Janarez.

Yacimiento Cerro Guadal Norte

El trabajo permitió efectuar un inventario de los canales identificados hasta la fecha y su individualización, nominación y medición. Esto permitió arribar al número de 182 geoformas presentes en el ámbito de Cerro Guadal Norte y zonas aledañas.

La distribución de las geoformas en el ámbito del proyecto no es homogénea y, obviamente, no respeta los límites arbitrarios de las concesiones y yacimientos (Fig. 4). Además, se observa que las geoformas de canales mayormente se distribuyen por fuera de la zona actual de desarrollo. Esto se debe a que los ámbitos fuertemente estructurados, no permiten obtener una buena imagen sísmica, que dificulta discriminar anomalías fluviales. Por consiguiente, el número de geoformas contactadas por los pozos en el yacimiento es muy bajo (Fig. 4), ratificando en este sentido resultados de trabajos previos ejecutados en este yacimiento (Santagelo *et al.* 2010).

En contrapartida, esta información disminuye el riesgo respecto a la chance de ubicar reservorios en pozos de avanzada con trampas de carácter más estratigráfico en zonas de bajos estructurales o altos relativos por fuera de la estructura principal.

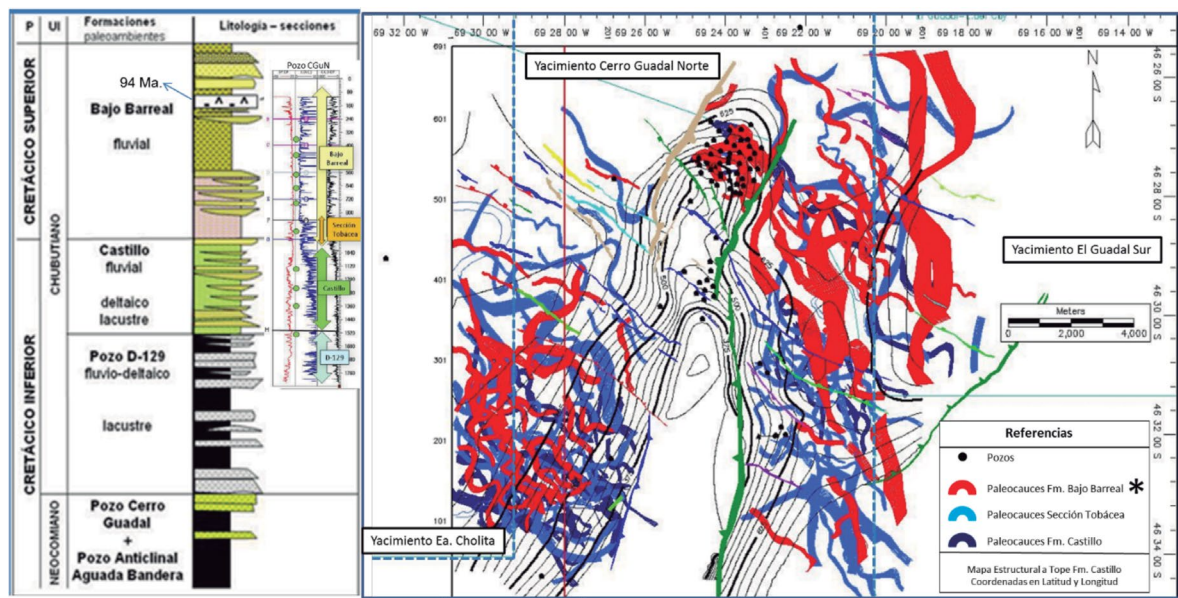


Figura 4. Columna tipo para la Cuenca del Golfo San Jorge, Perfil tipo y horizontes geológicos de un pozo del Yacimiento Cerro Guadal Norte. Paleocauces identificados sísmicamente para el Yacimiento Cerro Guadal Norte. NB: El asterisco es para señalar que en la Fm. Bajo Barreal no se detallan las geoformas detectadas en la Sección Tobácea.

Cuando desglosamos la información por unidades geológicas se observa que la Fm. Pozo. D-129 no posee geoformas canalizadas identificadas, coherente con la interpretación realizada por autores previos que indican que, para la sección superior de dicha unidad el Yacimiento Cerro Guadal Norte se encuentra en facies lacustres (Aguiar *et al.* 2013; Iovine *et al.* 2013,2014; Salvarredy Aranguren *et al.* 2015). El resto del Grupo Chubut presenta numerosos rasgos asociados a geoformas fluviales (Fig. 5). Para una visualización más clara las formas identificadas por unidad geológica las separamos en: Fm. Bajo Barreal (sin incluir la Sección Tobácea), Sección Tobácea y Fm. Castillo (Fig. 6). La decisión de presentar por separado la visualización de geoformas canalizadas para la Sección Tobácea, pese a ser una denominación informal no ajustada al Código Estratigráfico Argentino (1992), corresponde a que esa denominación informal permite en

subsuelo identificar con claridad una respuesta característica en su aspecto litológico y, por ende, una respuesta de perfil eléctrico singular (Fig. 4), como así también, en su aspecto sísmico. La abundancia de material piroclástico para este intervalo ofrece un buen contraste de impedancia, que permite definir con facilidad geoformas canalizadas, pese a su espesor notablemente menor a las unidades geológicas formales infrayacente (Fm. Castillo) y suprayacente (Fm. Bajo Barreal). Por otra parte, la Fm. Bajo Barreal se encuentra en esta área parcialmente expuesta (Cobos y Panza 2001), por lo que presenta una cantidad menor de geoformas identificadas.

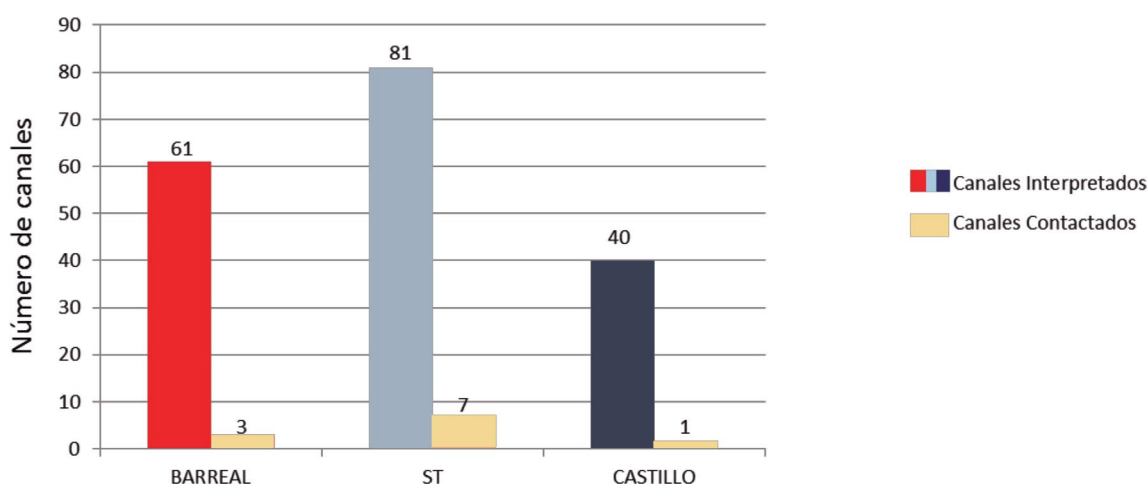


Figura 5. Número de geoformas interpretadas contactadas por pozos por unidad geológica estudiada.

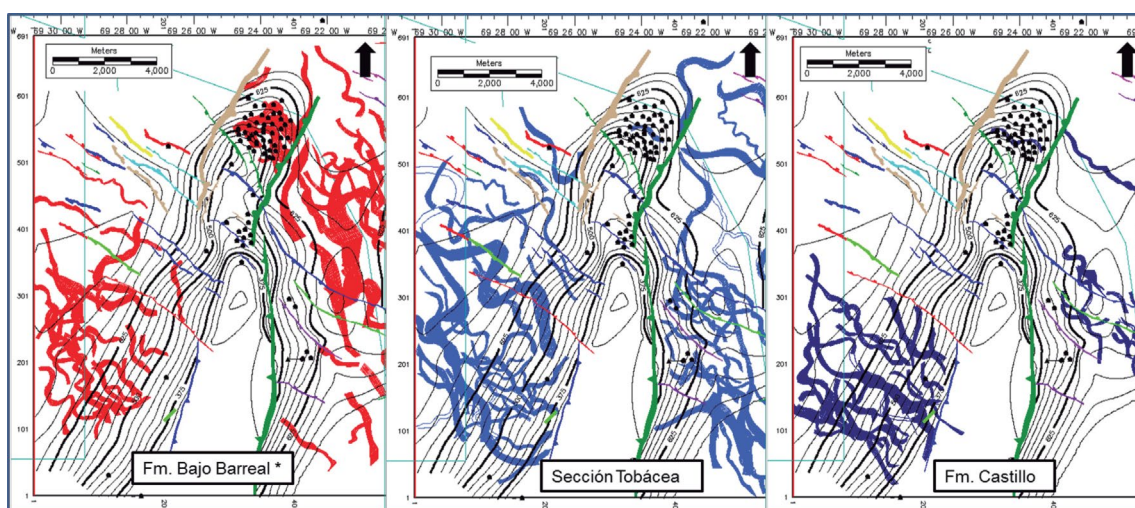


Figura 6. Geoformas visualizadas para las distintas unidades geológicas del Grupo Chubut en el ámbito del Yacimiento Cerro Guadal Norte.

En la Fig. 5 se observa que las geoformas canalizadas de las distintas unidades poseen una orientación similar NW-SE. Puede interpretarse que la falla mayor del anticlinal de Cerro Guadal Norte ha estado activa durante la sedimentación ya que al oriente de las mismas las estructuras

canalizadas muestran un ligero cambio de orientación modificándose a NNW-SSE. Estas formas canalizadas, además, muestran controles estructurales similares a los que se observan en sistemas actuales, donde la orientación de las mismas se dispone en general perpendicular al rumbo de la falla, pero en otros casos se orienta paralelamente (Salvarredy Aranguren *et al.* 2016).

En el Cuadro I se detallan los parámetros estudiados de las distintas formas canalizadas para el yacimiento Cerro Guadal Norte. En dicho cuadro se presenta el recuento de canales interpretados, qué número de canales fue contactado y cuantos pozos atravesaron dichos canales contactados. Se detallan en el universo de canales interpretados el ancho máximo y mínimo de las geoformas interpretadas (datos importantes para poder observar la magnitud real de estas canalizaciones, que si son medidas sólo como ancho promedio quedan enmascaradas), así como el valor promedio de los canales analizados para cada unidad geológica.

Parámetros definidos\Unidad	Fm. Bajo Barreal	Sección Tobácea	Fm. Castillo
Recuento de canales interpretados	61	81	40
Largo Promedio	3403 m	3760 m	3310 m
Ancho mínimo promedio	117,9 m	58,2 m	77,1 m
Ancho máximo promedio	668,5 m	368,8 m	315,4 m
Ancho promedio de canales	219,3 m	196,9 m	166,7 m
Canales Contactados:	3	7	1
Pozos que Contactan:	44	14	11

Cuadro I. Parámetros medidos para las diferentes geoformas canalizadas

Se observa (Cuadro 1) que en el Cerro Guadal Norte los canales de la Fm. Castillo son más angostos, engrosándose a medida que ocurre la transición a la Fm. Bajo Barreal. Ya para la base de la Sección Tobácea, éstos resultan ser más anchos para finalmente alcanzar un máximo ancho en la Fm. Bajo Barreal. El ancho de los canales de la Fm. Bajo Barreal es coincidente con los señalados por estudios de superficie (Bridge *et al.*, 2000 y Ferreira *et al.*, 2013). Esta estadística puede resultar de extrema utilidad para la definición del espaciamiento de los pozos. El espaciamiento habitual usado en la cuenca del Golfo de San Jorge de 300 m entre pozos de explotación (Ronanduno 2006), el mismo es relativamente eficiente para la Fm. Bajo Barreal en el área estudiada. Sin embargo, la Sección Tobácea presenta un ancho promedio menor, por lo tanto, probablemente se dejen oportunidades de reservorios sin alcanzar. El espaciamiento de 300 m resultaría ineficiente para contactar una porción significativa de geoformas de la Fm. Castillo, ya que pueden encontrarse geoformas entre posiciones de dos pozos sin ser contactadas. En efecto, en el vecino Yacimiento Estancia Cholita, donde la Fm. Castillo ha resultado productiva esta situación se ha verificado y la implementación de pozos infill al distanciamiento de 300 m ha resultado exitoso aumentando el POIS estimado del área y haciendo un nuevo aporte en producción y reservas (Schenkel *et al.* 2016).

Por último, y a partir de información de perfiles pozos que las atraviesan, estas geoformas presentan un espesor de arena que varía entre 5 a 2,5 m para la Fm. Bajo Barreal, 3 a 2 m

en la Sección Tobácea y de 2,5 a 1 m para la Fm. Castillo. Sin embargo, estos espesores no necesariamente representan toda la extensión del relleno, ya que, habitualmente, son sucedidos por sedimentación más fina (limos a pelitas) que terminan colmatando el canal. Es decir, que estas geoformas detectadas representan, al menos, el espesor de la porción arenosa. También, es importante señalar que estos espesores son medidas estimadas o probables. Hay casos en los que los espesores pueden llegar a ser mucho mayores con un máximo de 10 a 15 m.

Yacimiento El Guadal Sur

En el bloque se detectaron 77 geoformas presentes en el ámbito de El Guadal Sur y zonas aledañas. Al igual que en Cerro Guadal Norte, se sigue observando la falta de uniformidad en la distribución de las geoformas detectadas (Fig. 7).

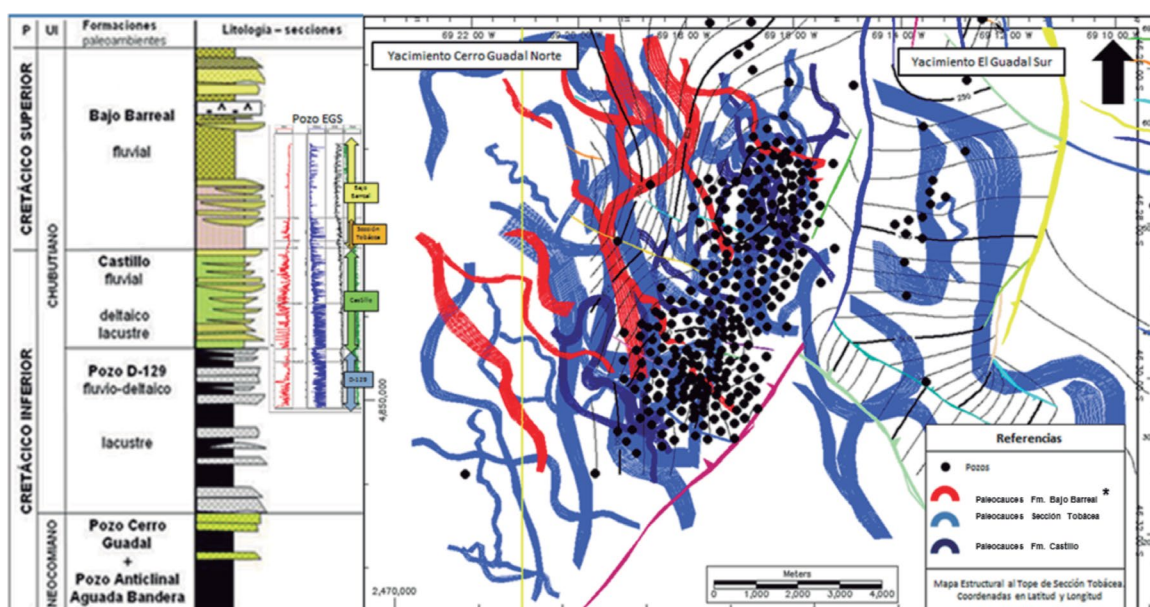


Figura 7. Columna tipo para la Cuenca del Golfo San Jorge y Perfil tipo del Yacimiento El Guadal Sur. Paleocauces identificados sísmicamente para el Yacimiento Cerro Guadal Norte. El asterisco es para señalar que para la Fm. Bajo Barreal no se incluyen las geoformas detectadas en la Sección Tobácea pertenecientes a dicha formación

La estructura en El Guadal Sur se define como un anticlinal, predominantemente, con rumbo NNE-SSO y de pendientes suaves. Esto último permite, a diferencia de lo que ocurre en el yacimiento CGuN, una mejor interpretación de horizontes, pudiendo detectar anomalías fluviales dentro de la estructura principal donde, justamente, se encuentra el mayor desarrollo en la zona. Como se observa en la Fig. 8, la relación canales contactados – canales interpretados sigue siendo baja, aunque esto responde, principalmente, a que el objetivo histórico en el bloque ha sido la Fm. Bajo Barreal (excluyendo a la Sección Tobácea), por lo que los pozos no han alcanzado las

profundidades necesarias para contactar muchos de los canales detectados (Fig. 9). Además, gran parte de las geoformas divisadas quedan fuera (o sobre los flancos) de la estructura principal de la zona.

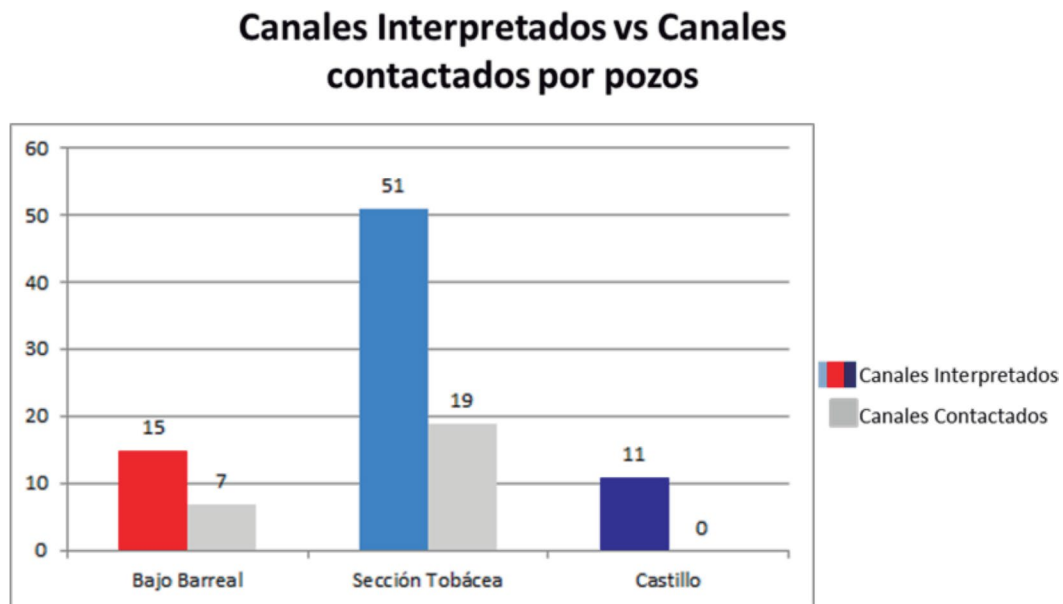


Figura 8. Número de geoformas interpretadas y contactadas por pozos por unidad geológica estudiada.

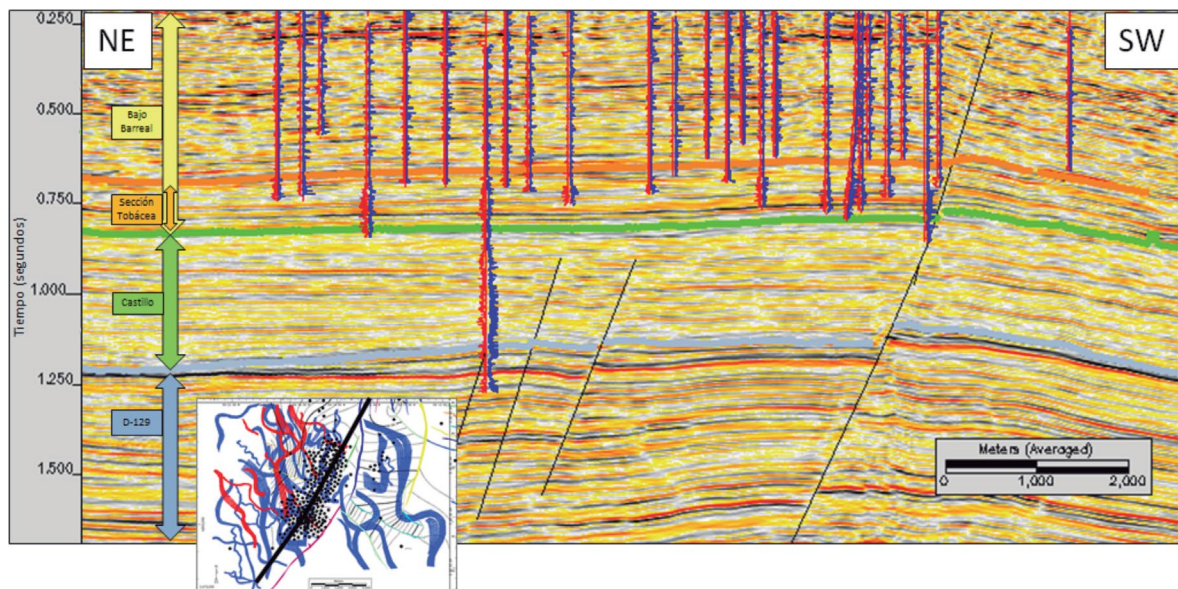


Figura 9. Corte NE-SW de la estructura de El Guadal Sur, donde se observa el objetivo histórico del área, la Fm. Bajo Barreal.

Como se aprecia en la Fig. 7 existe un solapamiento entre los canales situados a diferentes profundidades, por lo que para definir las tendencias de los canales de cada unidad se efectuó un desglose de la información de las geoformas canalizadas (Fig. 10). De ese modo podemos observar

que:

- La ausencia de rasgos canalizados en la Fm. Pozo. D-129, debido a que en el Yacimiento El Guadal Sur esta unidad se encontraría en facies lacustres (Iovine *et al.* 2013 y 2014, Alvarez Löbbe *et al.* 2015 y 2017).
- La mayor cantidad de geofomas visualizadas se encuentran dentro de la Sección Tobácea, que se debe a las características litológicas de la misma, mencionadas anteriormente.
- La dirección general de los paleodrenajes es NW-SE, lo que indicaría que los mismos drenaban hacia un depocentro elongado en dirección NE-SW, situado en la parte más austral de la cuenca (Foster e Iovine 2008).
- Se observa un fuerte control estructural orientando los paleocauces, principalmente paralelos a las fallas de rumbo NW-SE, aunque también, en algunos casos, se observan influenciados por la presencia de fallas de orientación NNE-SSW, produciendo bruscos cambios en dicho arreglo similar a lo observado en otras zonas de la cuenca por Salvarredy Aranguren *et al.* (2016).

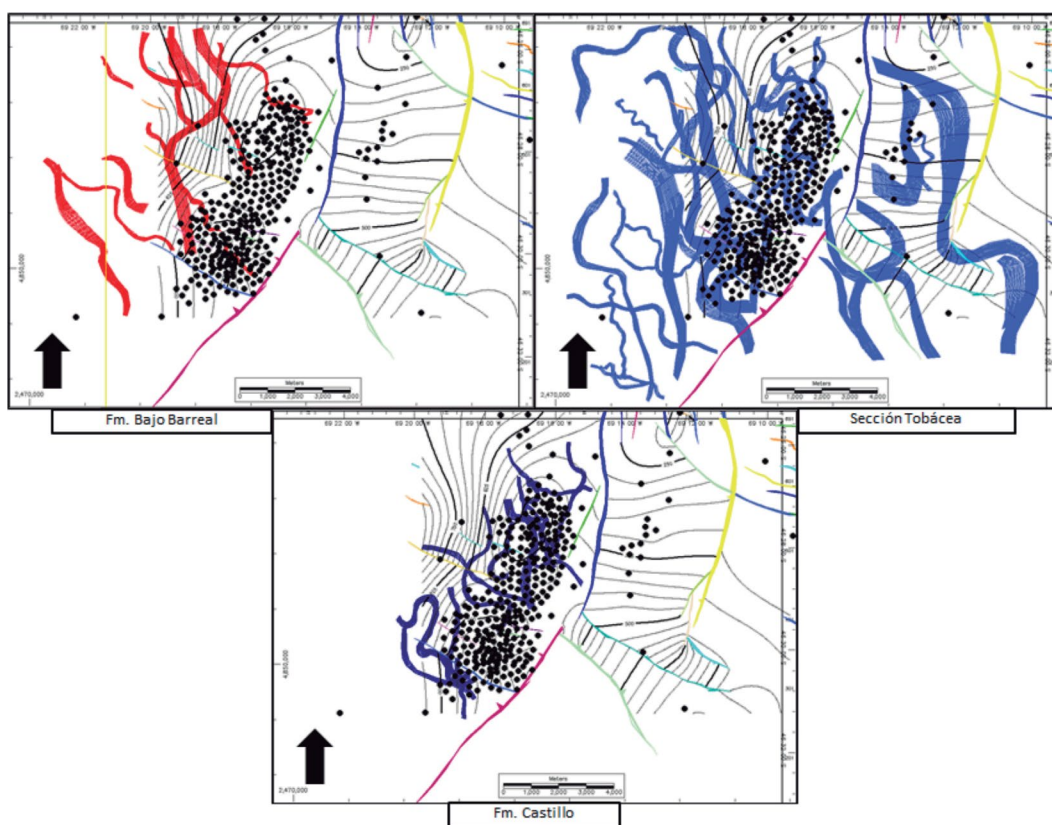


Figura 10. Geofomas visualizadas para las distintas unidades geológicas del Grupo Chubut en el ámbito del Yacimiento El Guadal Sur.

- En cuanto a sinuosidad (Cuadro II), en la Sección Tobácea tenemos los mayores valores promedio (1,38), mientras que las formaciones Bajo Barreal y Castillo los valores promedios

son de 1,34 y 1,27, respectivamente. La mayor sinuosidad nos genera anchos de fajas de canales mayores, es por eso que para la Sección Tobácea y la Fm. Bajo Barreal, pasamos de anchos de canales de 268 y 288 m, respectivamente, a anchos de canales bastante inferiores en la Fm. Castillo, con promedios de 169 m (ver Fig. 3).

Parámetros definidos/Unidad	Fm. Bajo Barreal		Sección Tobácea		Fm. Castillo	
Recuento de canales interpretados	15		51		11	
Largo Promedio	4679	m	4291	m	3505	m
Ancho mínimo promedio	121	m	110	m	106	m
Ancho máximo promedio	562	m	312	m	220	m
Ancho promedio de canales	288	m	268	m	169	m
Sinuosidad	1,34		1,38		1,27	
Canales contactados	7		19		0	
Pozos que contactan	21		59		0	

Cuadro II. Parámetros medidos para las diferentes geoformas canalizadas

En el yacimiento El Guadal Sur, se observa que para la Fm. Castillo el ancho de los canales es bastante inferior que en la Fm. Bajo Barreal y la Sección Tobácea. Este dato, sumado a la dirección principal de las paleocorrientes para el bloque es de suma importancia a la hora de plantear, en una primera instancia, la ubicación de nuevas propuestas, y en una segunda instancia, para la realización de estudios de recuperación secundaria. En cuanto a la ubicación de las nuevas propuestas, la detección de estas geoformas nos permite disminuir el riesgo geológico, ayudándonos a conocer las zonas donde es posible encontrar trampas combinadas estratigráfico-estructurales. En referencia a los proyectos de recuperación secundaria, conocer estos datos nos ayuda a optimizar la caracterización y modelado de reservorios.

CONCLUSIONES

Este trabajo muestra una de las piezas más recientes del rompecabezas del drenaje regional del sistema fluvial del Grupo Chubut para el Flanco Oeste de la Cuenca del Golfo San Jorge. El inventario realizado de todas las geoformas interpretadas a la fecha, incluyendo dos yacimientos vecinos, de modo paralelo e independiente por diferentes intérpretes geofísicos, arribó a la identificación de geoformas canalizadas que presentan una respuesta coherente entre las interpretaciones realizadas, lo que muestra la fiabilidad de la técnica aplicada. A su vez, estas interpretaciones complementan coherentemente la red de drenaje regional propuesta por Foster e Iovine (2008, Fig. 11).

La única unidad para el cubo 3D de Laguna Janarez que no presentó geoformas en este análisis es la Fm. Pozo D-129.

Se observan ligeras variaciones de las tendencias del paleodrenaje entre distintas unidades,

pero prevalece una dirección NW-SE para las geoformas identificadas. Esta dirección de los cursos responde desde ya a la paleogeografía de la cuenca, en la que los cursos presentaban un mediano a alto control estructural. Más aún, cambios drásticos en las direcciones de paleocauces en muchos casos deben entenderse como resultado del control estructural y no exclusivamente de la dinámica fluvial del sistema. El conocer estas tendencias es de suma importancia al momento de caracterizar y modelar los reservorios para la implementación de proyectos de recuperación secundaria.

En todos los casos se observó que las unidades con características típicamente fluviales como la Fm. Castillo, Sección Tobácea y Fm. Bajo Barreal, presentan una tendencia a incrementar el ancho del canal de las unidades infrayacentes a las suprayacentes. Más allá de las consideraciones genéticas que pueden dar origen a esta variación de la morfología de los paleocanales, hay una consecuencia directa para el plan de desarrollo de estos yacimientos, donde el distanciamiento histórico entre pozos para la cuenca del Golfo de San Jorge de 300 m puede resultar ineficaz para contactar todas las oportunidades de reservorio albergadas en la Sección Tobácea y Fm. Castillo. Es decir, dado que el ancho de las geoformas interpretadas en los niveles más profundos es menor que en los superiores, es esperable que las arenas interconectadas tengan una distribución areal menor y, consecuentemente, su posterior desarrollo de hidrocarburos deba ser acompañado con un distanciamiento acorde entre pozos.

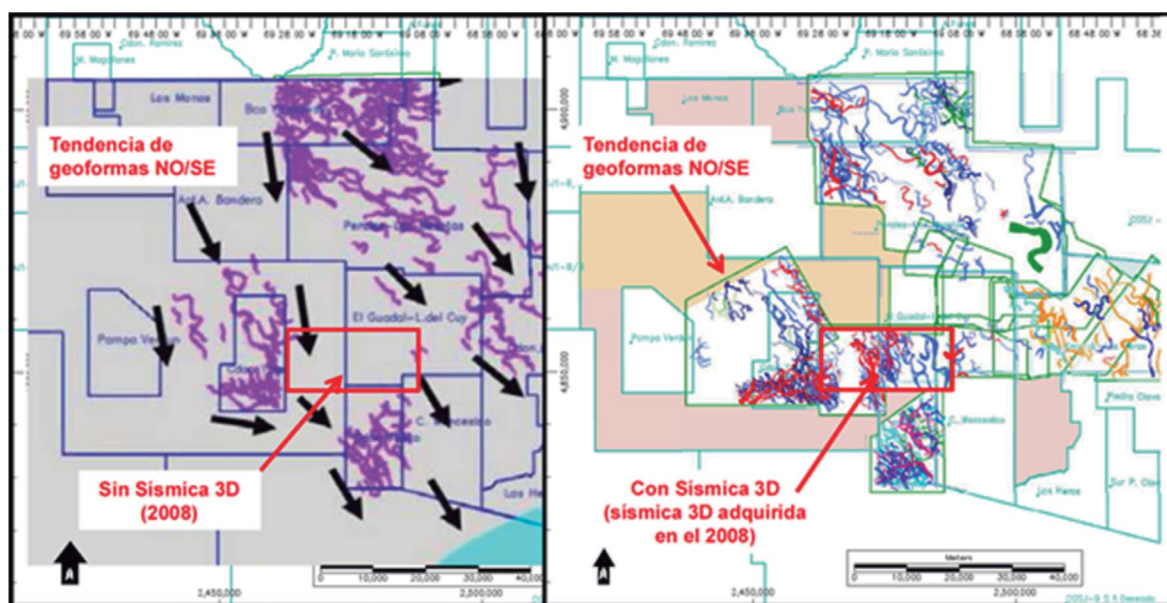


Figura 11. A la derecha se presenta el trabajo previo de Foster e Iovine (2008) y a la izquierda el resultado actualizado con la inclusión de la interpretación sísmica de las geoformas canalizadas del cubo 3D Laguna Janarez (modificado de Alvarez 2015).

Finalmente, se destaca que la metodología permite bajar el riesgo al menos en la factibilidad de contactar reservorios para pozos de avanzada en una cuenca madura de 100 años de historia productiva (Hechem 2015) como la Cuenca del Golfo de San Jorge, en la que, los nuevos pozos se ubican en áreas marginales al desarrollo histórico.

AGRADECIMIENTOS

A YPF S. A. por la autorización en la utilización y difusión de los datos utilizados para esta contribución. A Teresa Santana por su lectura crítica, revisores: uno anónimo y a J. Paredes y por sus apreciaciones, que enriquecieron el presente trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- Aguiar, M., L. Ferreira, E. Pieroni e Y. Kamerbeek, 2013, Geología de la Formación Pozo D-129 en Laguna Janarez: Nuevos aportes al modelo paleoambiental de la Línea de Costa. ADR El Guadal-Lomas del Cuy, Santa Cruz, en Paredes, J.M. y N. Foix (eds.), Resúmenes 1° Jornadas Geológicas Cuenca del Golfo de San Jorge, 13-14, Comodoro Rivadavia.
- Alvarez, P.F., 2013, Avances en la detección de Geofomas y su implicancia en el desarrollo y producción y producción del AdR Barranca Baya – Gerencia Santa Cruz, Jornadas Internas de YPF.
- Alvarez, P.F., 2015, Geoformas fluviales en Santa Cruz; su vínculo con el desarrollo y el potencial remanente de los Activos de la Regional, Jornadas de Geociencias YPF, Buenos Aires.
- Alvarez Löbbe, M.S., M. Tellería e Y. Kamerbeek, 2015, Caracterización de nuevos horizontes productivos en el Yacimiento El Guadal Sur. Jornadas de Geociencias YPF, Buenos Aires.
- Alvarez Löbbe, M.S., M. Tellería y E. Fuzul, 2017, Análisis estratigráfico de reservorios productivos para la Fm. Pozo D-129 en El Guadal, Jornadas de Geociencias YPF, Buenos Aires.
- Anzulovich, F.L. y J.M. Jauregui, 1989, Reconstrucción paleoambiental sobre la base de perfiles en la Cuenca del Golfo San Jorge, Boletín de Informaciones Petroleras (19), 39-51.
- Bridge, J.S., G.A. Jalfin y S.M. Georgieff, 2000, Geometry, lithofacies, and spatial distribution of Cretaceous fluvial sandstone bodies, San Jorge Basin, Argentine: outcrops analog for the hydrocarbon-bearing Chubut Group, Journal of Sedimentary Research, 70: 319-337.
- Clavijo R., 1986, Estratigrafía del cretácico inferior en el sector occidental de la Cuenca Golfo San Jorge, Boletín de Informaciones Petroleras 9:15-32, Buenos Aires.
- Cobos, J.C. y J.L. Panza, 2001, Hoja Geológica 4769-IV, El Pluma, Provincia de Santa Cruz, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 309, 89 p. Buenos Aires.
- Comité Argentino de Estratigrafía 1992, Código Argentino de Estratigráfica, Asociación Geológica Argentina, Serie B (Didáctica y Complementaria) 20: 1-64, Buenos Aires.
- Ferreira, L., A. Santángelo y S. Georgieff, 2013, Modelo geológico del yacimiento Cerro Guadal Norte, Integración de datos de superficie y subsuelo: Geología, Geofísica y Petrofísica, Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina, en Paredes, J.M. y N. Foix, N. (eds.), Resúmenes 1° Jornadas Geológicas Cuenca del Golfo de San Jorge, 42-43, Comodoro Rivadavia.
- Feruglio, E., 1949, Descripción geológica de la Patagonia, Tomo 1, Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales: p. 350. Buenos Aires.

- Foster, M. y G. Iovine, 2007, Development of Deep thin reservoirs through meandering morphologies imaged in seismic data. – A case study in San Jorge Basin, Argentina, SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Anaheim, California, U.S.A., 11.14.
- Foster, M. y G. Iovine, 2008, Geometría y Paleodrenaje regional de los sistemas fluviales de la Formación Castillo y Sección Tobácea, cuenca del Golfo San Jorge, VII Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Hechem, J.J., J. F. Homovc y E.G. Figari, 1990, Estratigrafía del Chubutiano (Cretácico) en la Sierra de San Bernardo, Cuenca del Golfo San Jorge, Chubut, Argentina; XI Congreso Geológico Argentino, Actas 3: p.173- 176. San Juan.
- Hechem, J.J., 1994, Modelo predictivo de reservorios en un sistema fluvial efímero del Chubutiano de la cuenca del Golfo San Jorge, Argentina, Asociación Argentina de Sedimentología, Revista, 1(1): 3-14
- Hechem, J.J., 1998, Arquitectura y paleodrenaje del sistema fluvial efímero de la Formación Bajo Barreal, cuenca del Golfo San Jorge, Argentina, Boletín de Informaciones Petroleras, Tercera Época, Año 15 (53): 21-27.
- Hechem, J.J., 2015, Cien años de modelos geológicos en la Cuenca del Golfo San Jorge, Revista de la Asociación Geológica Argentina, 72(1): 1-11.
- Iovine, G., M. L. Ferreira, M. Foster y A. Santángelo, 2013, Nuevas consideraciones paleoambientales de la Formación Pozo D-129, en el área de la provincia de Santa Cruz: integración de datos, en Paredes, J.M. y N. Foix (eds.), Resúmenes Primeras Jornadas Geológicas de la Cuenca del Golfo San Jorge, 29-30, Comodoro Rivadavia.
- 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.
- Jalfin, G.A., E. S. Bellosi, E. Smith y G. Laffitte, 2002, Generación de petróleo y carga de reservorios en Manantiales Behr, Cuenca del Golfo San Jorge: un caso de exploración en áreas maduras, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: CD, Mar del Plata.
- Lenge, D. y A. Galarza, 2005, Detección de rasgos fluviales en el Flanco Sur de Cuenca del Golfo San Jorge, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas, Mar del Plata.
- Lesta, P. 1968, Estratigrafía de la Cuenca del Golfo San Jorge, III° Jornadas Geológicas Argentinas 1: 251-289, Comodoro Rivadavia.
- Lesta, P. y R. Ferello, 1972, Región Extra-andina del Chubut y norte de Santa Cruz, en: Leanza A. (Ed.) Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias: 601-654, Córdoba.
- 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. M., 2005, Análisis paleoambiental, arquitectura y estilos fluviales de la Formación Castillo en el ámbito de la Sierra de San Bernardo, entre los 69° y 67° Latitud Sur, Informe inédito, p. 96.
- Paredes, J. M., N. Foix y J. O. Allard, 2016, Sedimentology and alluvial architecture of the Bajo Barreal Formation (Upper Cretaceous) in the Golfo San Jorge Basin: Outcrop analogues of the richest oil-bearing fluvial succession in Argentina, Marine and Petroleum Geology 72, 317-335.

- Partyka, G., J. Gridley y J. Lopez, 1999, Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization, *The Leading Edge*, March, 353-360, 1999.
- Pezzi, E. y R. Merodi, 1972, Proyecto Miembro Pozo LA-1 (Los Alazanes) Área este lago Colhue Huapi – Provincia del Chubut, Informe 529 (inédito), YPF, 12 pp.
- Ronanduan, G.C., 2006, Discontinuidades sedimentarias y su importancia en el desarrollo de yacimientos maduros Yacimiento Las Heras, Cuenca del Golfo San Jorge, Provincia de Santa Cruz, República Argentina, *Petrotecnica*, 54-68.
- Salvarredy Aranguren, M., A. Alaimo, F. Martín y G. Tennerini, 2015, Revisión preliminar de la correlación sismoestratigráfica de los niveles oolíticos de la Fm. Pozo D-129 en el Activo de Cañadón Yatel, *Jornadas de Geociencias YPF*, Buenos Aires.
- Salvarredy Aranguren, M., V. G. Monsalvo, R. Andino, A. Alaimo, Y. Bordón y A. Simeoni, 2016, Controles morfoestructurales del relieve por las estructuras cretácicas en la Provincia de Santa Cruz, Cuenca del Golfo San Jorge, *Jornadas de Geociencias YPF*, Buenos Aires.
- Sanagua, J., J. Hlebszevitsch y F. Suárez, 2002, Los reservorios del flanco oeste, en Schiuma, M., G. Hinterwimmer y G. Vergani (eds.) *Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina*, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 175-198, Mar del Plata.
- Santangelo, A., M. L. Ferreira, F. Pompei e Y. Kamerbeek, 2010, Modelo Geológico del Yacimiento Cerro Guadal Norte. Integración de datos de superficie y subsuelo: geología y geofísica. Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina, *Jornadas de Geociencias YPF*.
- Sciutto, J.C., 1981, Geología del Codo del Río Senguier, Chubut, Argentina, VIII Congreso Geológico Argentino, actas (III):203-219, Buenos Aires.
- Schenkel, L., D. Pyczil, G. Tennerini, F. Martin, M. Salvarredy Aranguren, Y. Kamerbeek, G. Nicora y A. Marcaida, 2016, Recuperación avanzada de producción primaria de petróleo: Proyecto de pozos infill en el Yacimiento Estancia Cholita, Actas del VI Congreso Producción y Desarrollo de Reservas, Bariloche.
- Tunik, M.A., M. E. Vietto, J. C. Sciutto y E. Estrada, 2004, Procedencia de areniscas del Grupo Chubut en el área central de la Sierra de San Bernardo. Informe Preliminar, *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 601-606.
- Umazano, A.M., E. S. Bellosi, G. Visconti y R. N. Melchor, 2012, Detecting allocyclic signals in volcanoclastic fluvial successions: Facies, architecture and stacking pattern from the Cretaceous of central Patagonia, Argentina, *Journal of South American Earth Sciences* 40: 94-115.
- Vail, P. R., y R. M. Mitchum, 1977, Seismic Stratigraphy and Global Changes of sea Level, Part I-Overview, AAPG, Memoir 26, Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration, 51-52.
- Wood, L. J., D. Pecuch, B. Schulein y M. Helton, 2002, Seismic attribute and sequences stratigraphic integration methods for resolving reservoir geometry in San Jorge Basin, Argentina, *The Leading Edge* (September), 952-962.