

## VALLES INCISOS EN EL PALEOCENO DE LA CUENCA DEL GOLFO DE SAN JORGE

María Alejandra Feinstein<sup>1</sup>, Ramón Lisandro Torres<sup>1</sup>

1: YPF S.A., maria.feinstein@ypf.com, ramon.l.torres@ypf.com

Keywords: Cerro Cuadrado, horizon, valle, inciso, Río Chico, Paleoceno

### ABSTRACT

From the interpretation of the 3D seismic record in the study area Cerro Cuadrado, of the northern region of Santa Cruz province, in the folded belt area of the San Jorge Gulf Basin, the existence of paleovalleys with sedimentary fill corresponding to Paleogene is postulated. A basal reflector was interpreted as reference surface to the mentioned features. The horizontalization of the 3D seismic volume from this horizon allows to interpret the erosive surfaces and the morphology of the drainage network, both in the seismic sections and in the horizon time slices.

Although it is necessary to continue studying to fully understand the controls that generated the incision and the prospectivity of them, it can be said that its generation may be related to upstream controls. The main characteristics of the paleovalleys, such as geometry, orientation, dimensions and their relevance as a possible oil evaluation opportunity for this sector of the Gulf of San Jorge Basin are described.

Incised valleys form stratigraphic plays in different basins around the world, so they should be considered as an attractive opportunity for oil evaluation.

### INTRODUCCIÓN

El área de estudio Cerro Cuadrado está ubicada en el norte de la Provincia de Santa Cruz, Argentina, aproximadamente entre la latitud 46°12' S y 46°26' S y la longitud 69°28' W y 69°18' W. Se localiza dentro del ámbito de la faja plegada de la Cuenca del Golfo de San Jorge, aproximadamente a 70 Km al noroeste de la ciudad de Las Heras (Fig. 1 y 2).

Abarca una superficie total de 501 km<sup>2</sup> y forma parte de tres áreas de concesión: Los Perales-Las Mesetas, El Guadal-Lomas de Cuy y Cerro Piedra-Los Sauces-Guadal Norte, todas ellas operadas por la Cía. YPF S.A., hasta su fecha límite de concesión en el año 2042.

El área cuenta con 13 pozos perforados entre los años 1977 y 1995. Si bien algunos de ellos comprobaron hidrocarburos por ensayos, ninguno de estos fue puesto en producción; por lo tanto, no hay una producción acumulada en el bloque. En la actualidad todos los pozos del área se encuentran abandonados.

La totalidad del área de estudio está cubierta por sísmica 3D adquirida en 2016. El producto final del procesamiento de dicho cubo fue la clase sísmica PSTM con interpolación 5D sobre

la cual se realizó la interpretación sismoestratigráfica en la que se postula un hipotético sistema petrolero en el relleno de paleovalles Paleocenos. En el presente trabajo, reservorio, migración y trampa se mantienen como hipótesis mientras que roca madre y sello son elementos probados en el área de estudio (Tabla 1).

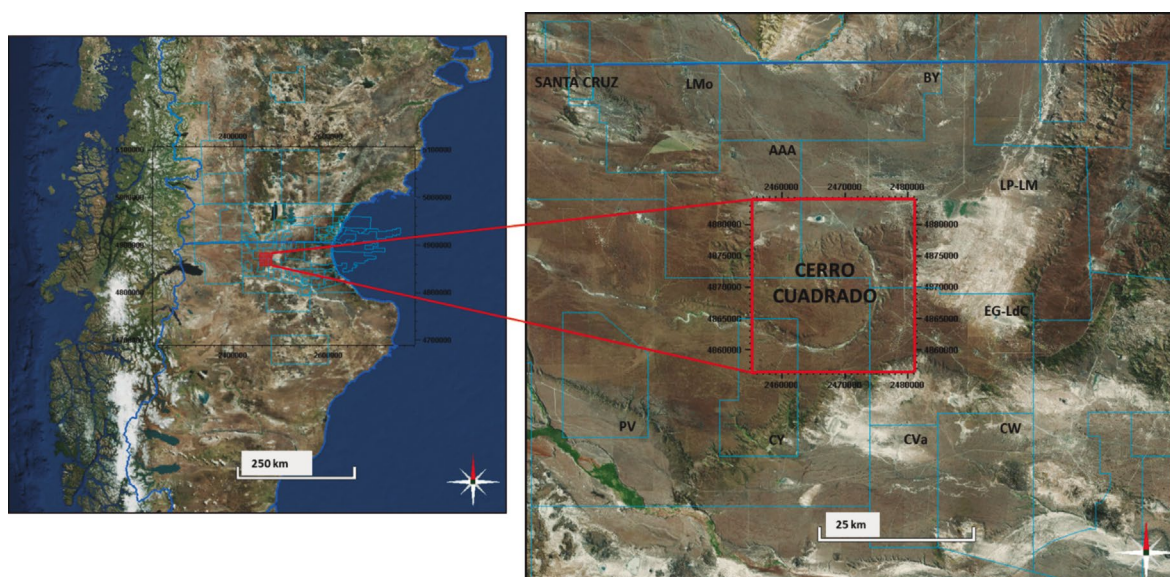


Figura 1. Ubicación del área Cerro Cuadrado en la Cuenca del Golfo de San Jorge, provincia de Santa Cruz.

## GEOLOGÍA DEL ÁREA

Los pozos del área han atravesado las formaciones Chenque, Sarmiento, Río Chico y Salamanca del Terciario y las unidades correspondientes al ciclo sedimentario Chubutiano (Feruglio 1949; Hechem *et al.*, 1990), formaciones Bajo Barreal, Castillo y Pozo D-129, verificando la continuidad de los cuerpos arenosos productivos de áreas adyacentes. Los resultados obtenidos en los sondeos del área generan una buena perspectiva, pudiendo encontrar acumulaciones de hidrocarburos en posiciones estructuralmente favorables.

El Grupo Chubut (Fig. 3), unidad productiva en el área, tiene un desarrollo que oscila entre 1800 m y 1200 m, con un promedio de 15% de clásticos gruesos, conformados en un 70 a 90% por bancos de arenisca. La Formación Pozo D-129 (Lesta, 1968) es la unidad más antigua del grupo, dominada por sedimentitas clásticas finas, en menor medida mediana, con importante contribución de componentes piroclásticos (en esta zona de la cuenca) y en menor medida de carbonatos. Típicamente cumple el rol de roca generadora de hidrocarburos, no obstante, en determinados yacimientos aledaños se comporta también como reservorio.

La Formación Castillo (Ferello *et al.* 1950 en Lesta *et al.* 1972), compuesta por tobas, escasas pelitas y areniscas de ambiente fluvial, tiene un espesor promedio de 600 m al oeste del área y de

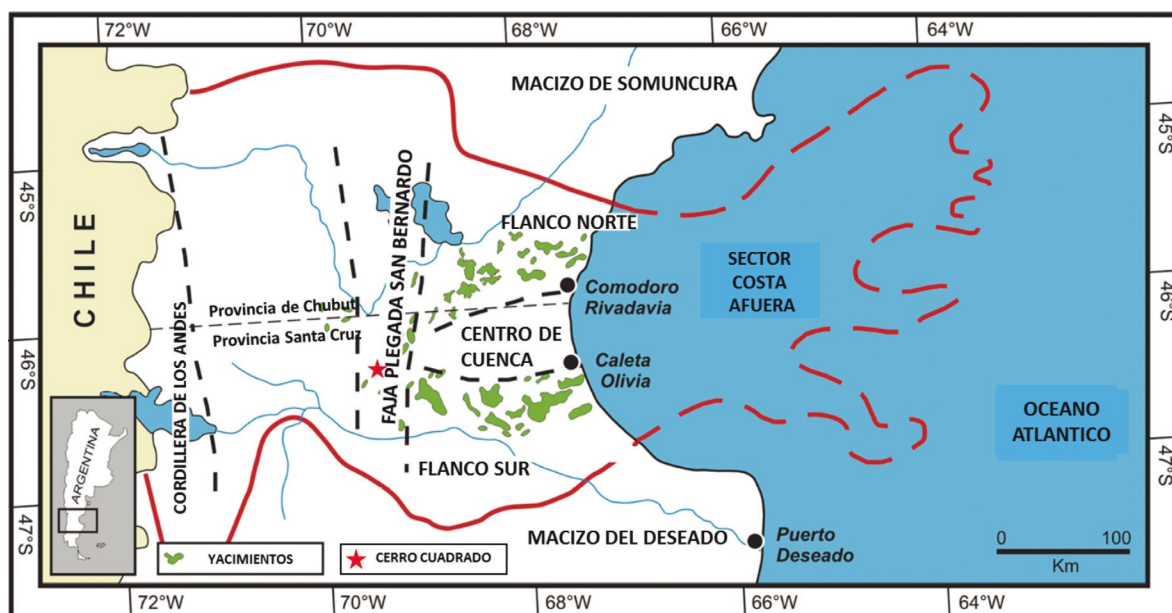


Figura 2. Ubicación del área Cerro Cuadrado en el ámbito de la Faja Plegada, a 70 km de Las Heras, Santa Cruz, Argentina. (Sylvan *et al.*, 2011)

hasta 800 m al este. Sus capas de areniscas promedian 2,5 m a 3 m de potencia, con un incremento hacia el este y con una porosidad media de 16%. Esta formación representa un episodio de gran participación piroclástica en la cuenca y por ende la fracción epiclástica gruesa muestra abundante matriz tobácea que afecta a ciertos parámetros como la porosidad y la permeabilidad, los que condicionan en definitiva la posibilidad de almacenar fluidos; esta situación es variable, existiendo zonas donde la mayor relación epiclástica/piroclástica confieren a la roca mejores características petrofísicas.

La Formación Bajo Barreal (Ferello *et al.* 1950 en Lesta *et al* 1972) conformada por fangolitas, areniscas y escasas tobas de ambiente similar a la anterior (aunque con mucha menor participación piroclástica) aumenta su espesor de 1000 m al oeste hasta 1100 m en el este, con bancos de areniscas de 3,5 m a 7 m de potencia y porosidad promedio de 22% a 25%. Los niveles arenosos de esta unidad presentan granulometría mediana hasta conglomerádica, en general de regular selección, cuarzo-líticas y con matriz arcillosa, confiriéndole a la roca variables características petrofísicas, con evidencias de procesos diagenéticos de cementación y disolución.

Suprayacen a este grupo, en discordancia, rocas de edad terciaria, representadas en forma ascendente por las formaciones Salamanca, Río Chico, Sarmiento y Chenque. En conjunto las unidades terciarias presentan un espesor promedio de 600 m para la zona de Cerro Cuadrado, sin embargo, el espesor promedio regional varía entre los 400 m y 1300 m dependiendo de su posición en la cuenca.

La Formación Salamanca, descrita originalmente por Ihering (1903 en Feruglio, 1949), está compuesta por areniscas gruesas a conglomerádicas finas, con participación de cuarzo, glauconita

y líticos, posee cemento calcáreo y matriz tobácea, también presenta aisladas intercalaciones de limolita y arcilita, y escasos bancos de carbón. Esta unidad representa la primera ingresión marina del Atlántico en la cuenca (Nocioni, 1993), y sus características litológicas varían ampliamente dependiendo de la posición de la línea de costa al momento de la depositación (Lesta *et al.* 1980). Su edad Maastrichtiano-Daniano fue determinada mediante estudios micropaleontológicos (Méndez 1966, Bertels 1975) y palinológicos (Archangelsky, 1973). Su porosidad en zonas productivas es del orden del 30% (Gonzalez *et al.* 2002), y su espesor oscila entre los 20 y 120 m. Esta unidad contiene una capa de arenisca glauconítica productora de hidrocarburos en el flanco norte de la cuenca.

Continúa la Formación Río Chico, (Feruglio 1929) del Paleoceno superior (Simpson 1935) que en la zona de Cerro Cuadrado está conformada por arcilitas pardas, rojizas y gris verdosas, con intercalaciones de areniscas finas a gruesas, con matriz arcillosa. Contiene también una fracción de limolita y tobas. El ambiente de depositación dominante es fluvial (Andreis *et al.* 1975; Legarreta; Uliana 1994; Krause *et al.* 2010, Raigemborn *et al.* 2010, Foix *et al.* 2013a), con el desarrollo de abundantes paleosuelos hacia el borde de cuenca (Legarreta y Uliana 1994 y Krause *et al.* 2010).

La Formación Sarmiento (Spalletti y Mazzoni 1979) del Eoceno al Oligoceno superior (Pascual *et al.* 1965) está representada por arcilitas amarillentas, pardas y gris verdosas, posee una fracción tobácea importante a la que se le suma una fracción arenosa en menor proporción. Según Spalletti y Mazzoni (1979), la acumulación de los sedimentos se habría producido en extensas planicies a partir de caída de tefras.

La Formación Chenque (Bellosi, 1987) aflorante, también llamada ciclo Patagoniano (Zambrano y Urien, 1970), consiste en areniscas medianas a gruesas y arcilitas gris verdosas. Incluye depósitos de una nueva transgresión atlántica, representando un ambiente marino litoral y nerítico. La edad de esta unidad está dada entre el intervalo Oligoceno superior – Mioceno inferior (Bellosi, 1990). Esta se depositó sobre la Fm. Sarmiento o sobre la Fm. Río Chico. Esta unidad es en parte coetánea a la sección superior de la Fm. Sarmiento (Miembro Colhueapense), depositada en profundos valles incisos (Bellosi *et al.* 2002).

Localmente, la estructura está caracterizada por un suave pliegue sinclinal cuyo eje longitudinal se extiende en dirección NNE-SSW (Ver corte sísmico en Fig. 5 a).

## METODOLOGÍA

Este estudio comprende la interpretación sísmica 3D del marco estructural y de los niveles estratigráficos correspondientes al Paleógeno del área de interés y la descripción de estos, donde se lograron identificar rasgos erosivos, que fueron atribuidos a valles incisos. Seguidamente, se interpretó una superficie correspondiente al reflector sísmico en amplitud, continuo y más próximo a los rasgos mencionados, que representa el nivel basal hasta el cual han actuado los

| UNIDADES GEOLÓGICAS |                  |            |               | UNIDADES ESTRATIGRAFICAS               | MEDIO                       |                |                     |                    |              |
|---------------------|------------------|------------|---------------|----------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------|--------------------|--------------|
| CUATERNARIO         | HOLOCENO         |            |               | MODERNO                                | VARIOS                      |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            |               | CORDONES LITORALES                     | MARINO Y LACUSTRE           |                |                     |                    |              |
|                     | PLEISTOCENO      |            |               | PEDIMENTOS                             | FLUVIAL Y MARINO            |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            |               | TERRAZAS                               | FLUVIO GLACIAL              |                |                     |                    |              |
| TERCIARIO           | PALEOGENO        | PLIO-CENO  | SUPERIOR      | PIACENZIANO                            | NO REPRESENTADO             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | INFERIOR      | ZANCLEANO                              |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  | MIOCENO    | SUPERIOR      | MESSINIANO                             |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            |               | TORTONIANO                             |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | MEDIO         | SERRAVALLIANO                          |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            |               | LANGHIANO                              |                             |                |                     |                    |              |
|                     | PALEOGENO        | OLIGO-CENO | SUPERIOR      | BURDIGALIANO                           | CONTINENTAL                 |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | INFERIOR      | AQUITANIANO                            |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  | EOCENO     | SUPERIOR      | CHATTIANO                              |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | INFERIOR      | RUPELIANO                              |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | SUPERIOR      | PRIBONIANO                             |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | MEDIO         | BARTONIANO                             |                             |                |                     |                    |              |
|                     | PALEO-CENO       | EOCENO     | SUPERIOR      | LUTECIANO                              | CONTINENTAL                 |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | INFERIOR      | YPRESIANO                              |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  | SUPERIOR   | THANETIANO    | Fm. RIO CHICO                          |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  | INFERIOR   | DANIANO       | Fm. SALAMANCA                          |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  | CRETACICO  | SUPERIOR      | SENIO-NIANO                            |                             | MAASTRICHTIANO | Fm. LAGUNA PALACIOS | Fm. YAC. EL TREBOL | GRUPO CHUBUT |
|                     |                  |            |               |                                        |                             | CAMPANIANO     |                     |                    |              |
| SANTONIANO          |                  |            |               |                                        |                             |                |                     |                    |              |
| CONIACIANO          | Fm. BAJO BARREAL |            |               |                                        | Fm. COMODORO RIVADAVIA      |                |                     |                    |              |
| TORTONIANO          |                  |            |               |                                        |                             |                |                     |                    |              |
| CENOMANIANO         | Fm. CASTILLO     |            |               |                                        | Fm. MINA EL CARMEN          |                |                     |                    |              |
| INFERIOR            | NEOOC-MIANO      |            | ALBIANO       |                                        |                             | GRUPO CHUBUT   |                     |                    |              |
|                     |                  |            | APTIANO       |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | BARREMIANO    | Fm. MATASLETE                          | Fm. POZO D - 129            |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | HAUTERIVIANO  |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | VALANGINIANO  |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | BERRIASIANO   |                                        |                             |                |                     |                    |              |
| JURASICO            | SUPERIOR         |            | TITONIANO     | Fm. POZO ANTICLINAL AGUADA BANDERA - 1 | VOLCANICO                   |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | KIMERIDGIANO  |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | OXFORDIANO    |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | CALOVIANO     |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     | MEDIO            |            | BATONIANO     | COMPLEJO MARIFIL y equivalentes        | VOLCANICO                   |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | BAYOCIANO     |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | ALENIANO      |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | TOARCIANO     |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     | INFERIOR         |            | PIENSBACHIANO | SEDIMENTITAS LIASICAS                  | MARINO Y LACUSTRE           |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | SINEMURIANO   |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            | HETTANGIANO   |                                        |                             |                |                     |                    |              |
|                     |                  |            |               |                                        |                             |                |                     |                    |              |
| PALEOZOICO          |                  |            |               | BASAMENTO CRISTALINO                   | GRANITOS GNEISS ANFIBOLITAS |                |                     |                    |              |

|                   |           |           |               |            |               |
|-------------------|-----------|-----------|---------------|------------|---------------|
| T E R C I A R I O | PALEOGENO | OLIGOCENO | Fm. CHENQUE   | EXTENSION  | MARINO SOMERO |
|                   |           | EOCENO    | Fm. SARMIENTO |            | LOESS         |
|                   |           | PALEOCENO | Fm. RIO CHICO | VULCANISMO | FLUVIAL       |
|                   |           |           | Fm. SALAMANCA | EXTENSION  | ESTUARINO     |

Figura 3. Columna estratigráfica de la Cuenca del Golfo de San Jorge, de la Hoja Geológica Escalante 4569-I, SEGEMAR, junto con detalle de los intervalos de interés en el presente trabajo.

procesos erosivos, generadores de los valles. Dicha interpretación fue utilizada como superficie de referencia para la horizontalización de secciones, posibilitando de esta manera la visualización en planta (horizon time slice) de los rasgos erosivos y su relleno sedimentario a diferentes niveles temporales (ver Fig. 6).

La interpretación de la superficie de referencia para la horizontalización, inmediatamente subyacente a los rasgos erosivos, se realizó cada 25 metros, es decir, con un distanciamiento de una línea sísmica, de acuerdo con las dimensiones del bin del cubo sísmico (25 m x 25 m).

La morfología y dimensiones de los rasgos descriptos han sido definidas en secciones sísmicas verticales y horizontales.

## RESULTADOS

La morfología de los reflectores sísmicos en sección y en horizon slice (Fig. 4, 5 y 6), permite

identificar e interpretar una superficie discordante y erosiva atribuida al Paleoceno (Fm Río Chico), que delimita amplios y profundos valles incisos, con una superficie aproximada de 42 km<sup>2</sup> totales, con los correspondientes depósitos sedimentarios entre valles, localizados aproximadamente a unos 320-450 mbnt, profundidad correspondiente al intervalo comprendido entre los 280-400 ms.

Mediante el mapa isocronopáquico que comprende el espesor entre la superficie discordante y un nivel de referencia (Fig. 5), se determinaron espesores y se estimó la profundidad de los paleovalles. En función de una velocidad promedio para dicho sector de la columna estratigráfica de 2300 m/s, la profundidad máxima de los paleovalles alcanza 70 ms [TWT] que se traduce en aproximadamente 80,5 m de espesor estimado.

Se han contabilizado un total de 30 valles incisos terminales, cuyas dimensiones oscilan entre los 280 y 2500 m de longitud, con un promedio de 860 m, y anchos que varían desde los 75 m a los 345 m.

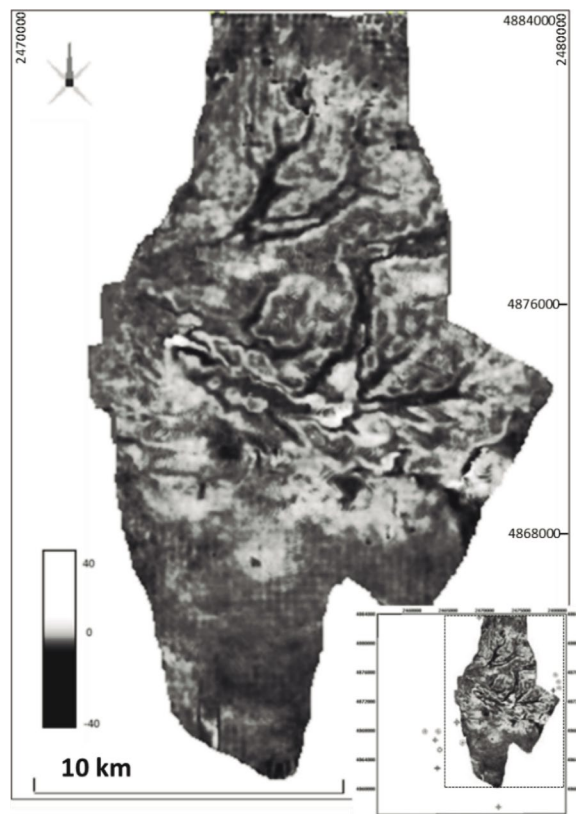


Figura 4. Horizon slice de amplitud sísmica localizado 19 ms por arriba del plano de referencia, en el Cubo sísmico Cerro Cuadrado. La interpretación está acotada a la presencia de ciclo sedimentario Terciario en el área de estudio.

Se distingue un sistema principal de valles colectores orientado en dirección SE-NW, con un sistema de valles de segundo orden orientado en dirección tangencial al principal (Fig. 7). Los paleovalles mencionados no han sido atravesados por ninguno de los 13 pozos perforados hasta el presente en el área del cubo Cerro Cuadrado.

En sección horizontal se pone de manifiesto un patrón dendrítico bien definido; conducente a suponer la ocurrencia de procesos erosivos, preponderantemente controlados por la paleotopografía. En la actualidad también se pueden distinguir en superficie rasgos generados por procesos erosivos similares, en las inmediaciones del área de estudio (Fig. 8).

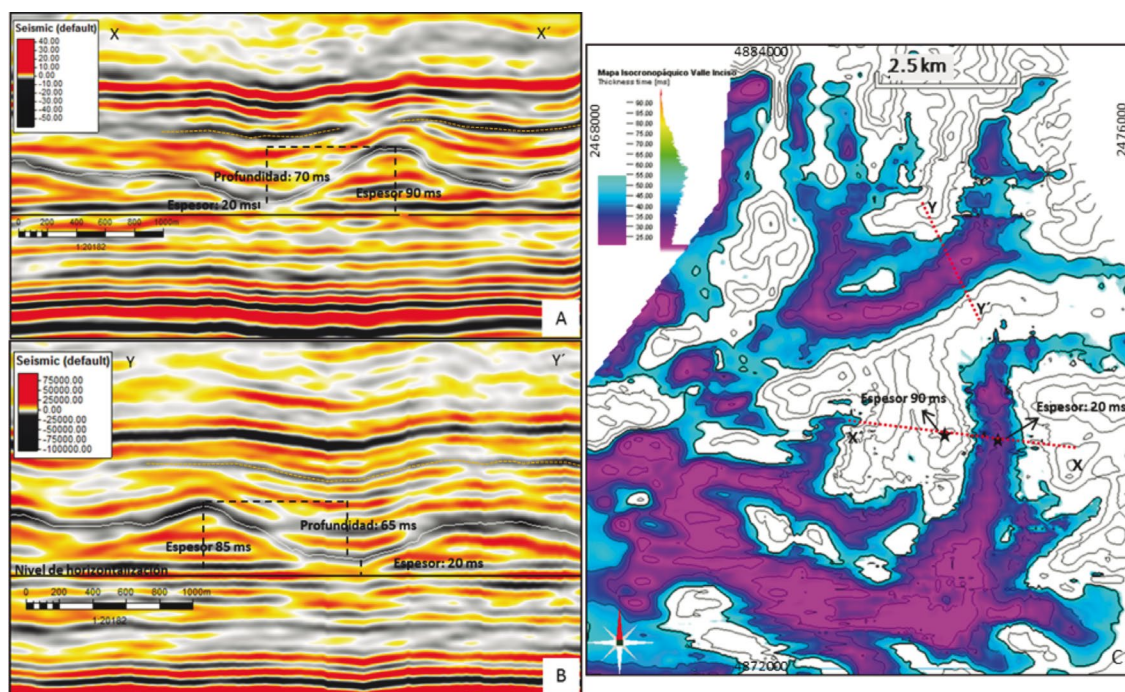


Figura 5. a y b) Sección sísmica horizontalizada al nivel de referencia (negro) en la que se observa la profundidad en TWT de los paleovalles. c) Mapa isocronopáquico entre la superficie discordante erosiva y el nivel de referencia, interpretado como la profundidad hasta la cual se produjo la incisión.

Asimismo, dichos rasgos erosivos pueden ser usados para determinar la dirección de transporte sedimentario y el patrón de dispersión sedimentario (Schumm *et al.*, 1984). Los valles incisos desarrollados en diferentes levantamientos o en diferentes posiciones durante un levantamiento pueden variar en escala y tipo dependiendo de la litología subyacente, paleotopografía y duración de la denudación (Hongtao Zhu *et al.*, 2014).

Hongtao Zhu describe diferentes tipos de valles incisos para las secuencias Paleógenas del oeste del sag de Bozhong, China, según su morfología externa, la configuración de los reflectores que conforman su relleno y su distribución espacial. De acuerdo con esta descripción, los valles incisos presentes en Cerro Cuadrado podrían incluirse dentro de los tipos “U” (Fig. 9).

Los valles incisos tipo “U”, se desarrollan en etapas maduras de paleocanales y a menudo ocurren en los segmentos medios de paleocorrientes; se caracterizan por patrones de apilamiento de estratos, tanto lateral como vertical. El patrón de apilamiento lateral indica frecuente migración lateral de canales, mientras que los patrones de apilamiento vertical representan canales estables. Estos valles tienen fuerte energía hidrodinámica para transportar sedimentos (Schumm *et al.*, 1984), que se infieren por su alta madurez, buena selección y alta redondez (Hongtao Zhu *et al.*, 2014).

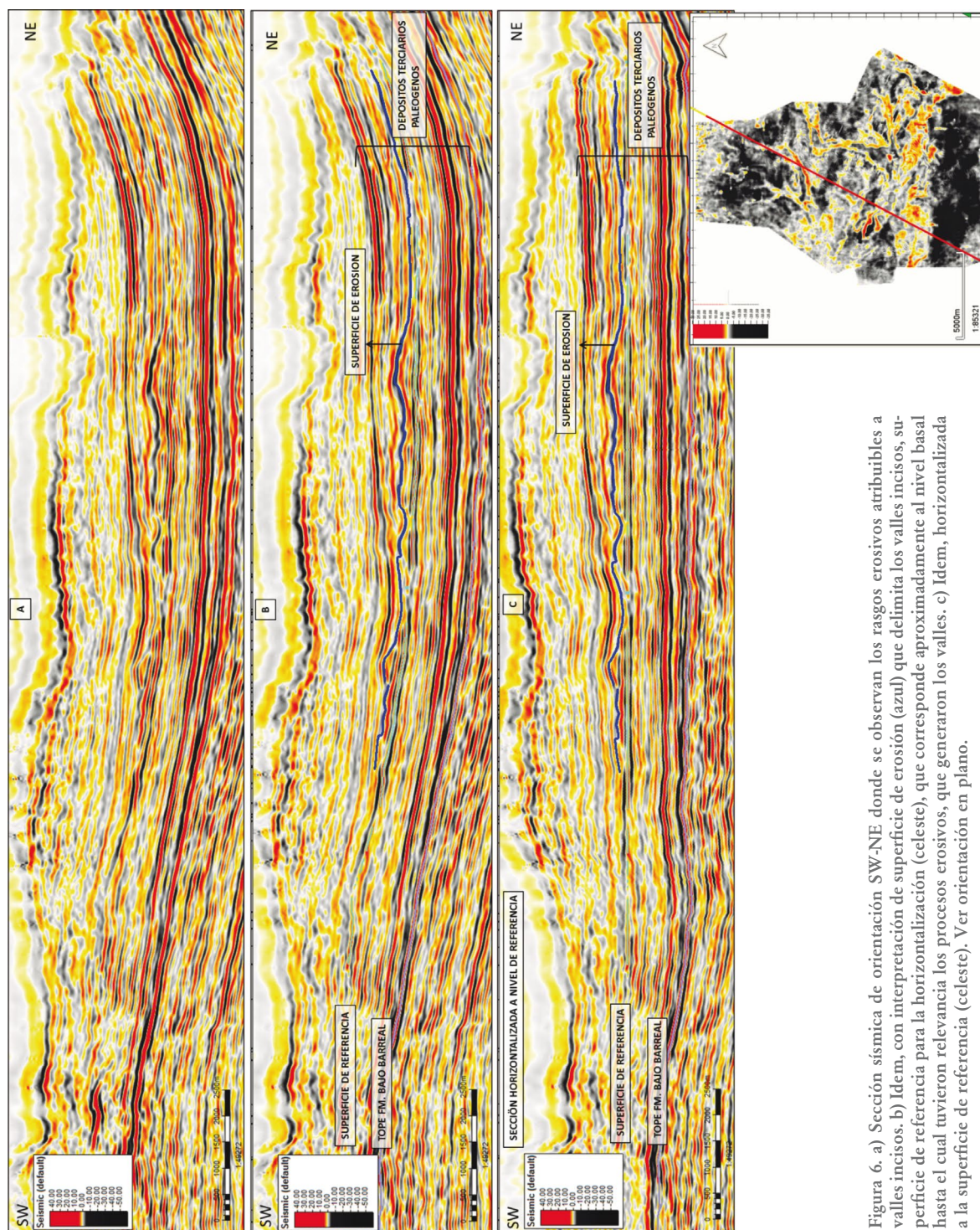


Figura 6. a) Sección sísmica de orientación SW-NE donde se observan los rasgos erosivos atribuibles a valles incisos. b) Idem, con interpretación de superficie de erosión (azul) que delimita los valles incisos, superficie de referencia para la horizontalización (celeste), que corresponde aproximadamente al nivel basal hasta el cual tuvieron relevancia los procesos erosivos, que generaron los valles. c) Idem, horizontalizada a la superficie de referencia (celeste). Ver orientación en plano.

En resumen, la morfología de los valles incisos generalmente cambia secuencialmente de V a U y de ésta a W desde el área fuente de sedimentos, y desde las etapas tempranas a tardías de la evolución de una cuenca (Hongtao Zhu *et al.*, 2014).

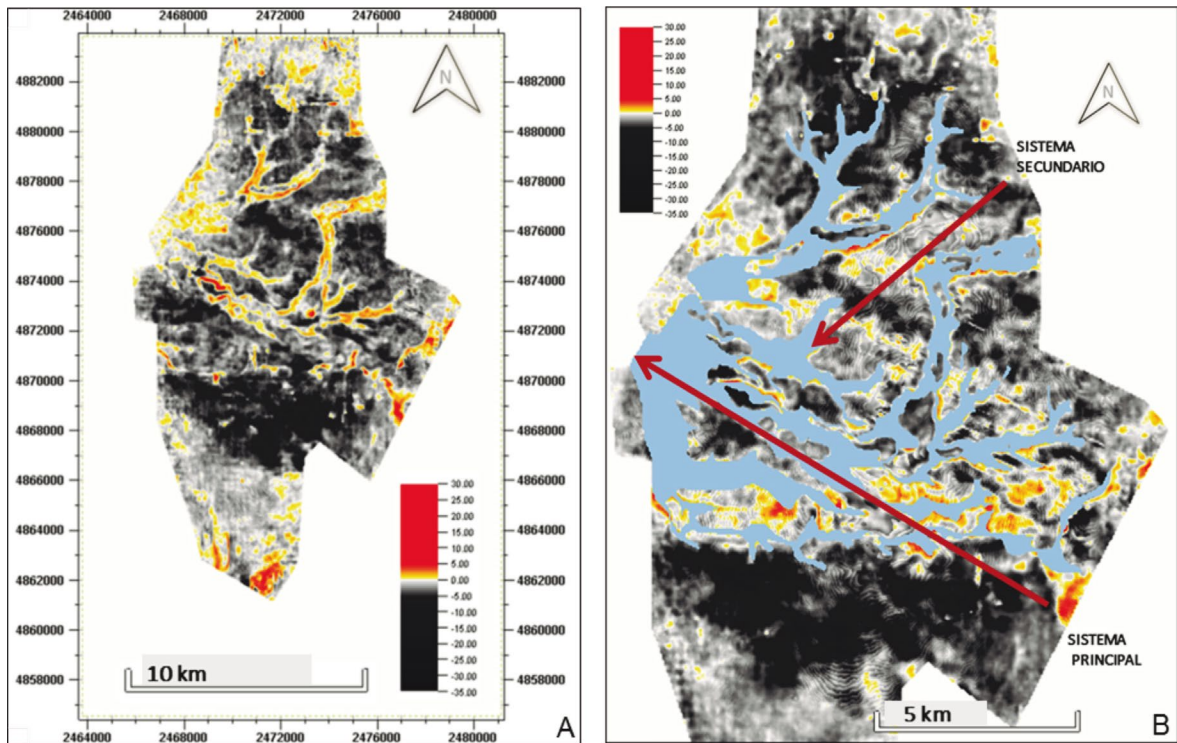


Figura 7. a) Horizon slice de amplitud sísmica localizado 7 ms por arriba del plano de referencia, en el cubo sísmico Cerro Cuadrado. b) Horizon slice de amplitud sísmica localizado 11 ms por arriba del plano de referencia, en el cubo sísmico Cerro Cuadrado. En color celeste se observa la interpretación de los rasgos erosivos atribuidos a valles incisos. Las flechas rojas señalan la orientación y sentido de los sistemas de valles colectores incisos, principal (SE-NW) y secundario (NE-SW).

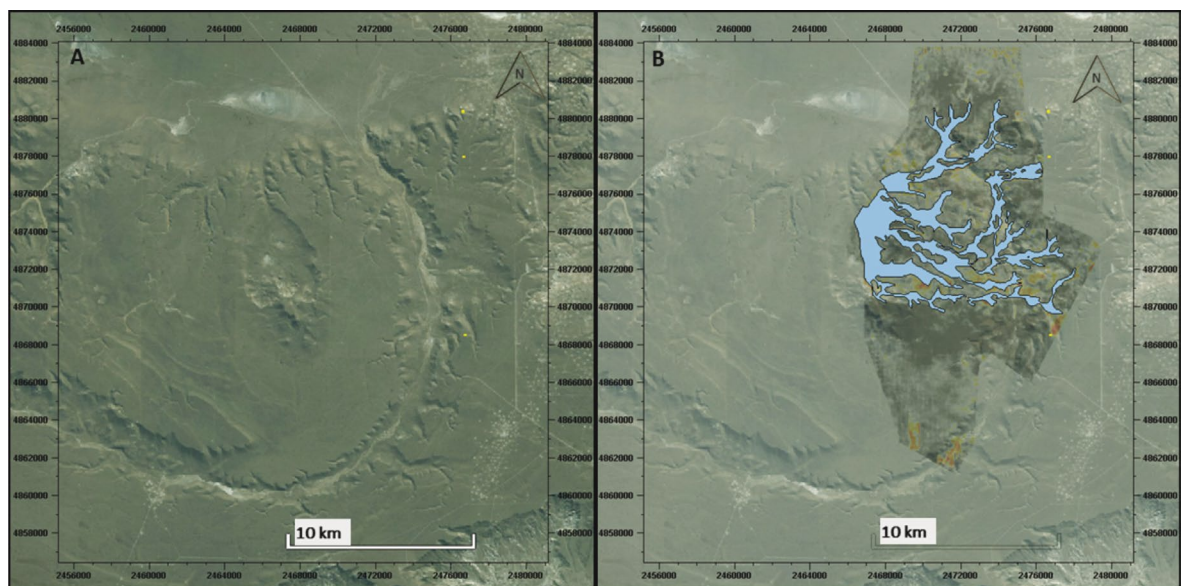


Figura 8. a) Imagen satelital del área de estudio. Se observa la topografía y cauces actuales erosionando el terreno. b) Idem, con la imagen superpuesta de la interpretación de los paleovalles incisos paleocenos.

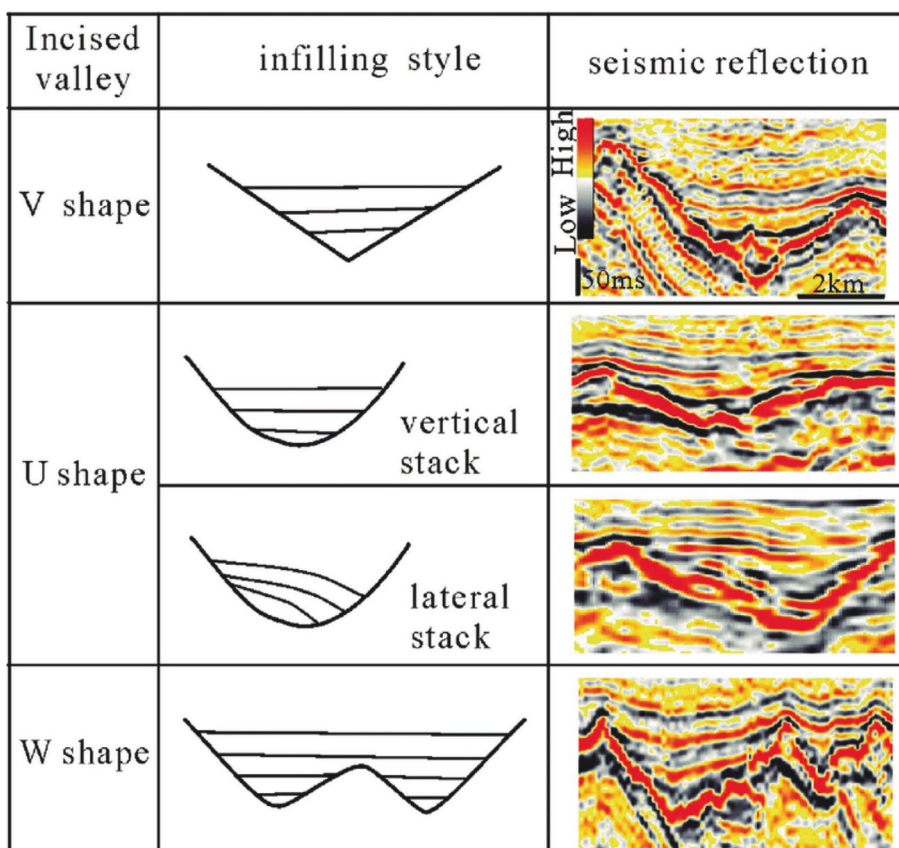


Figura 9. Morfología típica de los valles incisos de las secuencias Paleógenas del oeste del sag de Bozhong, China, mostrando las configuraciones de los reflectores que conforman el relleno de los valles y la forma de los reflectores externos. Tomado de Hongtao Zhu *et al.*, 2014. Los valles incisos interpretados en Cerro Cuadrado pueden incluirse dentro del tipo “U”.

## DISCUSIÓN

Los valles incisos conforman plays estratigráficos en distintas cuencas en todo el mundo, por lo que deben ser considerados como potenciales objetivos de exploración en el futuro del Flanco Oeste de la cuenca del Golfo de San Jorge.

Un ejemplo de ello es Pennsylvanian Booch Sandstone, en Oklahoma, donde los mejores reservorios fueron depositados como rellenos de valles incisos (Suneson, 2009). Hay numerosos campos petroleros productivos de dichos niveles, la mayoría de ellos producen de los tributarios incisos más delgados y no de canales principales de mayor espesor. Muchos de estos campos presentan trampas puramente estratigráficas (Conybeare, 1976).

Entre otros ejemplos, se pueden citar los valles incisos de la Cuenca del Maestrazgo, España, del Aptiano, en las cercanías del valle del Ebro, y los de Cuillas del Valle, La Lora, Cantabria y Palencia, del Albiano superior de la subcuenca de Galve (Peropadre, *et al.* 2008).

Asimismo, en la Sierra de los Colorados, La Rioja, Argentina, el contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro está representado por superficies de erosión que conforman valles incisos

(Limarino, *et al.* 2010). Otro atractivo ejemplo se puede hallar en el delta de Mahakam, en el offshore de Kalimantan, Indonesia. Allí se combinan procesos de sedimentación en determinadas partes del sistema deltaico y procesos erosivos en otros sectores del mismo sistema. En dichos sectores es notorio el patrón dendrítico característico de la acción de procesos erosivos, formando valles incisos que se vislumbran en el registro sísmico (Brown, 2011). Un claro ejemplo del patrón de drenaje dendrítico puede observarse en el sur de la plataforma marina de Java, donde canales se asocian a numerosos valles incisos tributarios (Fig. 10).

Si bien es necesario continuar el análisis para evaluar los controles que generaron la incisión, se puede decir que la formación de estos valles incisos puede estar relacionada a diferentes procesos aguas arriba de la zona estudiada, como el levantamiento de los márgenes de la cuenca y de la faja plegada de San Bernardo, que tiene su expresión de subsuelo en las inmediaciones de Cerro Cuadrado en los anticlinales Aguada Bandera y Perales.

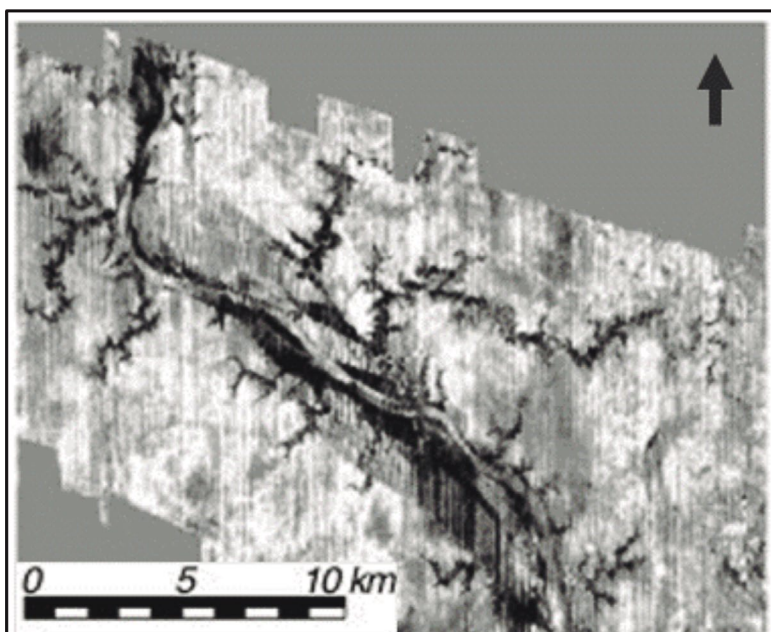


Figura 10. Sección horizontal a 96 ms subsea, registrada en el offshore de la plataforma de Java, Indonesia. Nótese el patrón dendrítico de los cañadones incisos. (Posamentier, 2001).

Para el tiempo de generación de dichos valles incisos, donde la erosión es el proceso predominante, la línea de costa se hallaba al este de los mismos (Océano Atlántico). Al igual que en esta cuenca, en varias cuencas sedimentarias del margen pasivo Atlántico, existe una distribución muy amplia del registro sedimentario durante el Paleoceno Superior, depositado durante un estadio regresivo regional (Malumian, 1999).

Los rellenos de valles incisos presentan una arquitectura estratigráfica compleja, comúnmente la relación: ancho /espesor es inferior a 200:1 (Catuneanu, 2006). Los rellenos de valles incisos

pueden funcionar como potenciales reservorios de alta calidad (Wright and Marriot, 1993; Khan y Tewari, 2011). Los reservorios que típicamente conforman los rellenos de un valle inciso pueden variar desde fluviales a estuarinos hasta completamente marinos.

En el área de estudio la discordancia erosiva que delinea los paleovalles está situada cercana a la porción cuspidal de la Fm. Río Chico, por esta razón, las sedimentitas de dicha formación formarían en parte del relleno de estos. También es posible la presencia de una fracción piroclástica en su relleno, perteneciente a las tobas y chonitas de la Fm. Sarmiento, presente en el área, aunque en menor medida, según descripciones de cutting de pozo. A su vez, una fracción del relleno cuspidal de los valles incisos posiblemente esté representada por los primeros depósitos de la transgresión marina del Oligoceno, proveniente del Atlántico.

Por su parte, los sellos en el tope de los valles incisos estarían constituidos tanto por la fracción fina depositada por sistemas fluviales, como podría ser el caso de facies de planicie de inundación; los depósitos volcanoclásticos de la Fm Sarmiento; como así también por sedimentos finos de origen marino. Este último caso podría estar funcionando en el área de estudio, debido a la presencia de las pelitas de la Fm. Chenque suprayacente.

Según la interpretación sísmica, las truncaciones generadas por la discordancia erosiva ponen en contacto el relleno de los valles mencionados con la porción basal de la Fm. Río Chico y la subyacente Fm. Salamanca.

Existen numerosos antecedentes de producción comprobada de petróleo y gas para el Paleoceno de la cuenca, tanto en la Fm. Salamanca, como en la Fm. Río Chico, esta última productora de gas en yacimientos del flanco Sur de la cuenca. Asimismo, existen antecedentes de producción de gas para niveles estratigráficos del Oligoceno en las cercanías del área de estudio, proveniente de la Fm. Chenque (Cardinali *et al.*, 2000).

Los posibles reservorios y sellos existentes en los paleovalles atribuidos al Paleógeno deberán ser evaluados con nueva información de subsuelo. En un potencial desarrollo futuro, sería esperable una respuesta por perfil de pozo anómala, mostrando falta de correlación entre unidades yuxtapuestas, con marcadores de pozo truncados por la superficie de incisión.

La persistencia en el tiempo del proceso de expulsión-migración, que habría comenzado hace unos 110 Ma (Rodríguez *et al.*, 2001), continúa en el presente. A lo largo de la evolución de la cuenca, las fallas maestras actuaron como vías de migración para el hidrocarburo que expulsaba la porción correspondiente de roca generadora (Condat, 2005). Esta idea viene a reforzar la posibilidad de que los factores expulsión, migración y carga, estén asegurados, siempre y cuando las condiciones de entrapamiento del relleno clástico de los valles y/o de los depósitos subyacentes a la discordancia erosiva, estén presentes (Fig. 11).

La capacidad reservorio de la Fm. Salamanca, la migración a lo largo de fallas, la carga asociada a la roca generadora Fm. Pozo D-129 y los sellos están comprobados tanto en el Flanco Sur de la cuenca, donde la Fm. Salamanca es productora de gas (entre los 150 y 300 mbbp), como en el

Flanco Norte, donde en dicha Formación fue realizado el primer descubrimiento de petróleo del país, precisamente entre los años 1908 y 1910, proveniente de su sección basal, llamada Miembro Glauconítico (Feruglio, 1949).

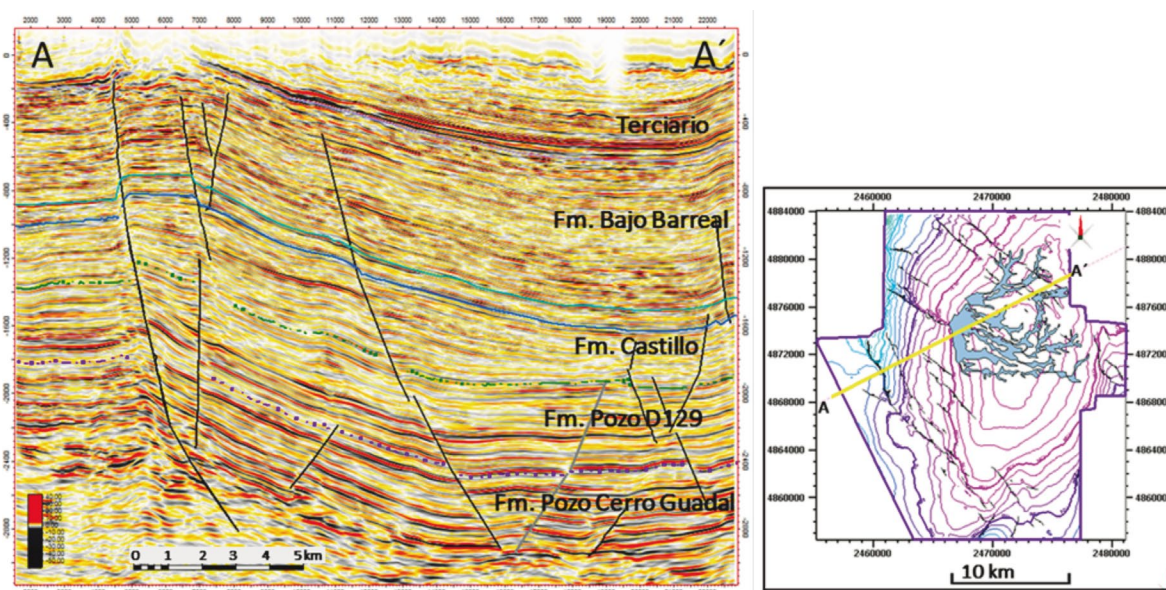


Figura 11. Sección sísmica vertical orientada SW-NE. Se observan las fallas, posibles vías de migración, que conectan la roca generadora Fm. Pozo D-129 con las unidades suprayacentes.

De manera análoga al Flanco Sur, los procesos de migración y carga de hidrocarburo en el área de estudio estarían condicionados a la presencia de fallas que conecten la roca generadora Fm. Pozo D-129 con los depósitos del Paleoceno que conforman el relleno de los valles y de las zonas entre valles. Se asume que la migración vertical a través de fallas, a partir de intervalos más profundos y posteriormente una re-migración lateral, debería ser uno de los factores determinantes en la presencia de una posible acumulación de hidrocarburos en los valles incisos. A su vez no se descarta la posibilidad que una roca madre neocomiana (Fm. Anticlinal Aguada Bandera), que está presente en ventana de generación de gas en la zona de estudio haya sido fuente de hidrocarburos (Figari *et al.*, 2002).

La descripción de los valles incisos en el presente trabajo está acotada a la extensión del área de estudio. Sin embargo, en las inmediaciones de Cerro Cuadrado, se identificaron rasgos homólogos a los mencionados previamente. Tal es el caso de las áreas Cañadón Yatel y Los Sauces, localizadas al sudoeste del área de estudio, en las que a partir de la información sísmica 3D disponible y utilizando la metodología ya descrita, se interpretaron tres sistemas de valles incisos de dimensiones variables entre los 3 km de ancho y 4,5 km de largo. Estos presentan una superficie total aproximada de 35 km<sup>2</sup> y están delimitados por una discordancia erosiva también atribuida al Paleoceno (Fig. 12).

Al este del área de estudio, precisamente en las áreas Los Perales y Cañadón de la Escondida,

se han identificado en el registro sísmico rasgos erosivos interpretados como valles incisos. Sísmicamente presentan un patrón dendrítico manifiesto, con múltiples ramas que se vinculan entre sí por valles de mayor orden. Todos ellos delineados por una superficie de erosión atribuible al Paleoceno (Fig. 13).

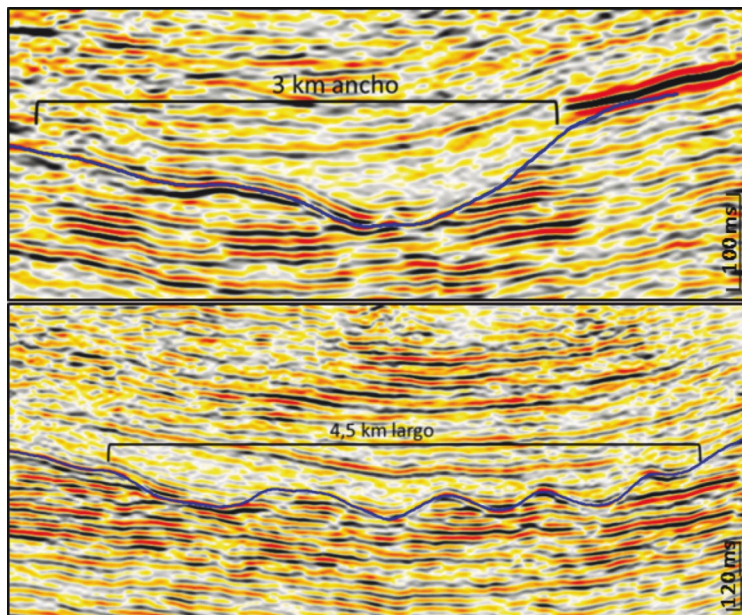


Figura 12. Secciones sísmicas donde se observan los rasgos atribuidos a valles incisos en el área Cañadón Yatel, al sudoeste de Cerro Cuadrado.

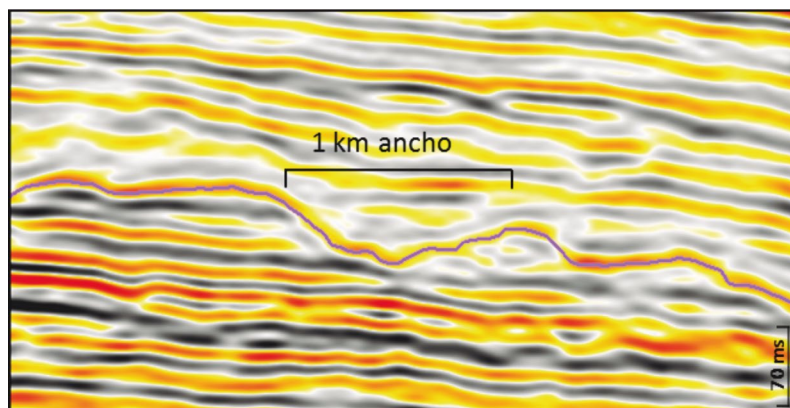


Figura 13. Secciones sísmicas donde se observan los rasgos atribuidos a valles incisos en el área Cañadón de la Escondida, al este de Cerro Cuadrado.

## ELEMENTOS DEL SISTEMA PETROLERO POSTULADO EN EL ÁMBITO DE LOS VALLES INCISOS

| ELEMENTOS                              | EVIDENCIAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | NIVEL DE INCERTIDUMBRE |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Roca Generadora</b>                 | Individual o en forma mixta, los hidrocarburos podrían estar generados por las siguientes rocas madres: Fm. Pozo D-129 petróleo, y Fm. Anticlinal Aguada Bandera (neocomiana) en ventana de generación de gas. Ambas rocas madre probadas por estudios geoquímicos en zona linderas al área de estudio.                                  | <b>Probado</b>         |
| <b>Migración primaria y secundaria</b> | Migración vertical: mayormente mediante fallas y fracturas del sistema extensivo de orientación ONO-ESE existentes en la zona de estudio desde 110 Ma hasta hoy.<br>Migración lateral: ejemplos de intervalos arenosos correspondientes a complejos amalgamados en diferentes sectores de la cuenca.                                     | <b>Hipotético</b>      |
| <b>Entrampamiento</b>                  | Trampa estratigráfica limitada por la paleo-geomorfología de valles incisos asociada a la heterogeneidad estratigráfica. Trampa estructural por compartimiento de bloques mediante fallas.                                                                                                                                               | <b>Hipotético</b>      |
| <b>Sello</b>                           | Sello local correspondiente a facies pelíticas de planicie de inundación de los sistemas fluviales generados en los mismos valles incisos en condiciones transgresivas. En la zona también se encuentran depósitos suprayacentes correspondientes a las facies pelíticas marinas de Fm. Chenque que habrían actuado como sello regional. | <b>Probado</b>         |
| <b>Reservorio</b>                      | Complejos de canales fluviales amalgamados de clásticos gruesos con baja sinuosidad producto de un descenso relativo del nivel de base (lowstand). Analogía mediante estudios de estratigrafía secuencial con ejemplos mundiales del relleno sedimentario de valles incisos.                                                             | <b>Hipotético</b>      |

Tabla 1. Cuadro de elementos, evidencias e incertidumbres del sistema petrolero planteado en el área de estudio.

## CONCLUSIONES

Para el área Cerro Cuadrado se define la presencia de un sistema de valles incisos labrados sobre sedimentos correspondientes a la época del Paleoceno. Se ha logrado confirmar la geometría, orientación y dimensiones de dicho sistema, y se postula la oportunidad de evaluación de hidrocarburos cuyo reservorio se desarrollaría sobre el relleno clástico de dichos valles. Asimismo, existe la posibilidad de que el reservorio también se conforme en las zonas de interfluvio por los depósitos subyacentes a la superficie erosiva. Otros elementos hipotéticos del sistema petrolero planteado son la migración y el entrampamiento. La migración vertical que estaría dada por en zonas con mayor densidad de fallas y fracturas, y lateral a través de los reservorios. El entrampamiento de tipo estratigráfico en mayor medida y estructural en forma secundaria. Tanto la presencia de roca generadora como el sello se consideran elementos probados en las inmediaciones de la zona de estudio (Tabla 1).

La existencia de los valles mencionados tiene una amplia extensión regional, por lo que, de confirmarse su potencial, se abriría una atractiva oportunidad de profundizar su estudio y desarrollo.

## AGRADECIMIENTOS

A Octavian Catuneanu por sus sugerencias y aportes a la interpretación original. A René Manceda y Ricardo Manoni por la lectura crítica del trabajo. A la Gerencia de Desarrollo de la Regional Santa Cruz de YPF. Al grupo de Exploración de la Cuenca del Golfo de San Jorge de YPF. A las autoridades de YPF por permitir la difusión del trabajo.

## REFERENCIAS

- Andreis, R.R., Mazzoni, M. y Spalletti, L.A. 1975. Estudio estratigráfico y paleoambiental de las sedimentitas terciarias entre Pico Salamanca y Bahía Bustamante, Provincia del Chubut, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30: 85-103.
- Archangelsky, S., 1973. Palinología del Paleoceno de Chubut. 1. Descripciones sistemáticas. *Ameghiniana*, 10 (4): 339-399. Buenos Aires.
- Belloso, E., 1987. Litoestratigrafía y sedimentación del Patagoniano en la Cuenca del Golfo San Jorge, Terciario de las provincias de Chubut y Santa Cruz, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Tesis Doctoral. 262 pp. (Inédito).
- Belloso, E., 1990. Formación Chenque: registro de la transgresión patagoniana en la Cuenca San Jorge. XI Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 57-60. San Juan.
- Belloso, E.S., Gonzalez, M., Kay, R., Madden, R., 2002. El Valle inciso colhuehuapense de Patagonia Central (Mioceno inferior). In: 9 Reunión Argentina de Sedimentología. Actas, p. 49 (Córdoba).
- Bertels, A., 1975. *Harringtonia* gen. nov. (Ostracoda, Crustacea) y nuevas especies del Terciario de la República Argentina. *Ameghiniana*, 12 (3): 259-279. Buenos Aires.
- Brown, A.R., 2011. Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. AAPG Memoir 42. SEG Investigations in Geophysics, N°9.
- Cardinali, G., Silveira, A., Borderas, M., Lucero M y E. Figari, 2000. Producción y Nuevos Plays en Zonas de Frontera del Oeste de La Cuenca del Golfo San Jorge, Patagonia Central, Argentina. B.I.P. (Boletín de Informaciones Petroleras, 62)
- Cardinali, G., Borderas, M., Lucero. M y E. Figari, 2001. A New Exploration Play in the southwestern Region of the Golfo San Jorge Basin. PAPER SPE 69417 (1-6 pp.). SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference.
- Catuneanu, O., 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Department of Earth and Atmospheric Sciences. University of Alberta. Edmonton, Alberta, Canadá. Elsevier 2006.
- Condat, P., 2005. Modelos conceptuales de trampas en el Yacimiento El Tordillo, Cuenca del Golfo San Jorge, Provincia del Chubut. Argentina. En "Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina". VI Congreso de Exploración y Desarrollo de hidrocarburos, 2005.
- Conybeare, C., 1976. Geomorphology of Oil and Gas Fields in Sandstone Bodies. Developments in petroleum science, volume 4. Elsevier Science 1976.
- Feruglio, E., 1929. Apuntes sobre la constitución geológica de la región del Golfo de San Jorge. *Anal. Soc. Arg. Est. Geog.*, III, n°2, 395-486. Buenos Aires.

- Feruglio, E., 1949. Descripción Geológica de la Patagonia. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Vol.1, Buenos Aires, 334 p.
- Figari, E., 2001. Cuenca del Golfo san Jorge. Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica. "Geología y Recursos naturales de Santa Cruz". Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino.
- Foix, N., Paredes, J.M. y Giacosa, R.E. 2013a. Fluvial architecture variations linked to changes in accommodation space: Río Chico Formation (Late Paleocene), Golfo San Jorge basin, Argentina. *Sedimentary Geology* 394: 342-355.
- Gonzalez, M., Taboada, R., Stinco, L. 2002. Los reservorios del Flanco Norte. En "Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina". V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata, 2002.
- Hechem, J., Homovc, F., Figari, E., 1990. Estratigrafía del Chubutiano (Cretácico) en la Sierra de San Bernardo, Cuenca del Golfo San Jorge, Chubut, Argentina. XI Congreso Geológico Argentino. Actas 2: 173-176, San Juan.
- Hongtao Zhu, Xianghua Yang, Keyu Liu, Xinhui Zhou, 2014. Seismic-based sediment provenance analysis in continental lacustrine rift basins: An example from the Bohai Bay Basin, China. *AAPG Bulletin*. DOI: 10.1306/05081412159
- Ihering, H. von., 1903. Les mollusques des terrains crétaciques supérieurs de l'Argentine orientale. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires, serie 2da*. 7: 109-123. Buenos Aires.
- Khan, Z., Tewari, R., 2011. Paleochannel and paleohydrology of a Middle Siwalik (Pliocene) fluvial system, northern India: *Journal of Earth System Science*, v. 120, no. 3, p. 531-543, doi:10.1007/s12040-011-0083-4.
- Krause, J.M., Bellosi, E.S. y Raigemborn, M.S. 2010. Lateritized tephritic palaeosols from Central Patagonia, Argentina: a southern high-latitude archive of Palaeogene global greenhouse conditions. *Sedimentology* 57: 1721-1749.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1994. Asociaciones de fósiles y hiatos en el Supracretácico- Neógeno de la Patagonia: Una perspectiva estratigráfico-secuencial. *Ameghiniana* 31: 257-281.
- Lesta, P., 1968. Estratigrafía de la Cuenca del Golfo San Jorge. *Actas III Jornadas Geológicas Argentinas*, Buenos Aires, I: 251-289.
- Lesta, P., Ferello, R., 1972. Región extraandina del Chubut y norte de Santa Cruz en A. F. Leanza (Ed.) *Geología Regional Argentina Academia Nacional de Ciencias*: 601-654, Córdoba.
- Lesta, P., Ferello R., Chebli, G., 1980. Chubut Extraandino. En: Turner, J.C. (Ed.), Segundo Simposio Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 2: 1306-1387, Córdoba.
- Limarino, C.O., Ciccioli, P.L., Marensi, S.A., 2010. Análisis del contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro (Sierra de los Colorados, provincia de La Rioja, Argentina), sus implicancias tectónicas. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*. Versión On-line ISSN 1851-4979.
- Malumián, N., 1999. La Sedimentación en la Patagonia Extraandina. In: Caminos, R. (Ed.), *Geología Argentina. Anales*, 29. Instituto de Geología y Recursos Naturales, pp. 557-612.
- Martinez, G., 1988. Estudio estratigráfico y paleoambiental de la sucesión terciaria en la Pampa María Santísima, Depto. Sarmiento, prov. De Chubut, Rep. Arg. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 99 p. (Inédito).

- Méndez, I., 1966. Foraminíferos, edad y correlación estratigráfica del Salamanquense de Punta Peligro (45° 30'S; 67° 11'W) Provincia del Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 21: 127-157.
- Nocioni, A., 1993. Historia de la subsidencia de la cuenca del Golfo San Jorge, Argentina. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: p. 21-26. Mendoza.
- Pascual, R., Ortega Hinojosa, E., Gondar, D., Tonni, E., 1965. Las edades del Cenozoico mamalífero de la Argentina, con especial atención a aquellas del territorio bonaerense. *Anales Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires*, 6: 165-193.
- Peropadre, C., Meléndez, M.N., Liesa Carrera, C.L., 2008. High-frequency, moderate to high-amplitude sea-level oscillations during the late Early Aptian: Insights into the Mid-Aptian event (Galve sub-basin, Spain). *Geotemas* (Madrid), ISSN 1576-5172, N°. Extra 10, 2008 (Ejemplar dedicado a: VII Congreso Geológico de España), págs. 167-170.
- Posamentier, H., 2001. Lowstand alluvial bypass systems: Incised vs. unincised. *AAPG Bulletin*, V. 85, No. 10. P. 1771-1793.
- Raigemborn, M.S., Krause, J.M., Bellosi, E.S. y Matheos, S.D. 2010. Redefinición estratigráfica del Grupo Río Chico (Paleógeno Superior), en el norte de la cuenca del Golfo San Jorge, Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67: 239-256.
- Rodriguez, J.F.R.; Littke R. 2001. Petroleum generation and accumulation in the Golgo San Jorge Basin, Argentina: a basin modeling. *Marine and Petroleum Geology* 18, 995-1028.
- Schumm, S. A., Harvey, M. D., Watson, C. C., 1984. *Incised Channels: Morphology, Dynamics and Control*: Water Resource Publication, Littleton, Co, 200 p.
- Simpson, G., 1935. Occurrence and relationships of the Río Chico fauna of Patagonia. *American Museum Novitates* 818: 1-21.
- Spalletti, L., Mazzoni, M., 1979., 1979. Estratigrafía de la Formación Sarmiento en la barranca sur del Lago Colhué Huapi, Pcia. de Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* XXXIV: 261-281.
- Sunesson, N., 2009. The Booch Sandstones (McAlester Formation, Krebs Group), Arkoma, Basin, Oklahoma – Outcrops to Well Logs: An Introduction to Oklahoma Fluvial Reservoirs. *Search and Discovery Article #10210*.
- Sylvan, C., Droeven, C., Iñigo, J., Mussel, F., Padva, D. 2011. Cuenca del Golfo San Jorge. VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Cuencas Argentinas.
- Wright, V. P., Marriot, S. B., 1993. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: The role of floodplain sediment storage: *Sedimentary Geology*, v. 86, p. 203-210, doi: 10.1016/0037-0738(94)90112-0.
- Zambrano, J., Urien, C., 1970. Geological outline of the basins in Southern Argentina and their continuation off the Atlantic shore. *Journal of Geophysical Research*, 75 (8): 1363-1396.