



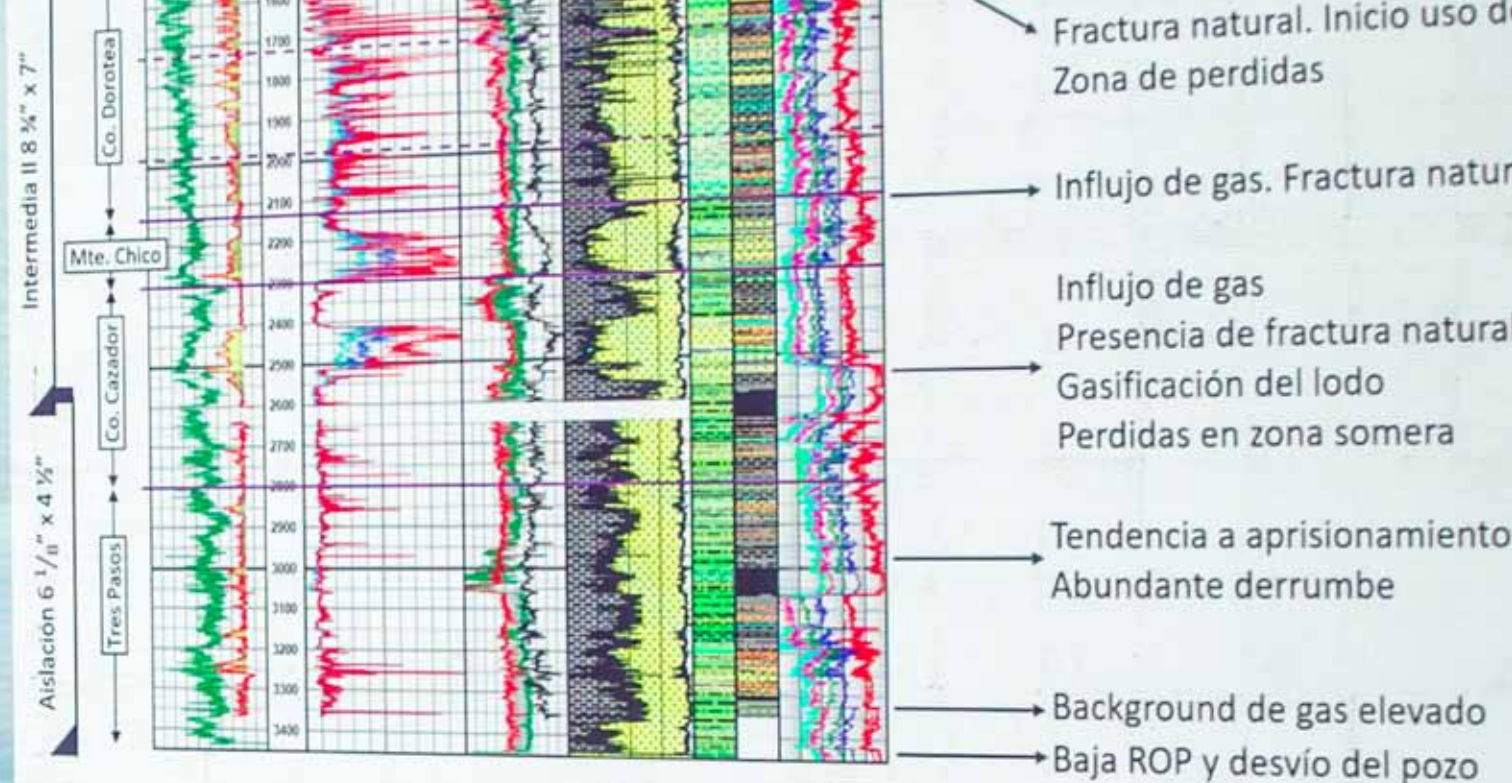
Exploración de frontera del Cretácico superior-terciario en Cancha Carrera, bloque Tapi Aike, oeste de la cuenca austral, provincia de Santa Cruz

Por **Damián M. Jait**, **Manuela Rivero**, **Martín F. Cevallos** (Compañía General de Combustibles S.A.)

Este trabajo fue galardonado con el Premio Luis Rey, el máximo premio otorgado por el 11° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (CONEXPLO) realizado por el IAPG, en noviembre de 2022. Además, fue seleccionado como el mejor por el tema Exploración y Sistemas Petroleros en el marco del mismo Congreso.

El área de estudio se ubica en el suroeste de la provincia de Santa Cruz, en el sector oeste del bloque Tapi Aike, en la zona de Cancha Carrera (Figura 1). El sector ha tenido actividad exploratoria en las décadas del setenta y del noventa con la registración de sísmica 2D y la perforación de tres pozos. Estas campañas fueron las primeras en documentar la presencia de gas combustible sobrepresionado en diferentes niveles del Cretácico superior y del Terciario, resultando en descubrimientos no comerciales o no concluyentes. En 2018, CGC S.A. inicia en el sector una nueva campaña exploratoria, que incluye a la fecha la registración de 780 km² de sísmica 3D (2019-2020), el reprocesamiento de 660 km de sísmica 2D y la perforación de dos pozos exploratorios con el objetivo de prospeccionar las unidades cretácicas y terciarias.

Producto de su ubicación en el foredeep de la cuenca de antepaís, esta zona presenta la particularidad de tener una columna estratigráfica del Cretácico superior y Paleoceno mucho más potente que aquella extensamente



perforada hacia el este en la zona de plataforma, además a 20 km hacia el oeste afloran las unidades de interés.

La sísmica 3D registrada permitió apreciar con mayor detalle la complejidad estructural del área, así como la arquitectura estratigráfica de las unidades cretácicas y el desarrollo de figuras canalizadas en el intervalo correspondiente a las formaciones Río Turbio y Río Guillermo.

El pozo Cancha Carrera.x-1001 (CGC.SCA.CC.x-1001, 2021; 3450 mbbp) tuvo un extenso programa de muestreo y estudios que, junto con la información recopilada durante la perforación, permitieron realizar una detallada caracterización de la geología del subsuelo desde el punto de vista estratigráfico, sedimentológico, régimen de presiones, geomecánico, bioestratigráfico, geoquímico e isotópico, para mejorar el análisis prospectivo de la columna estratigráfica explorada.

El objetivo de esta publicación es presentar el entendimiento actual alcanzado luego de esta campaña.

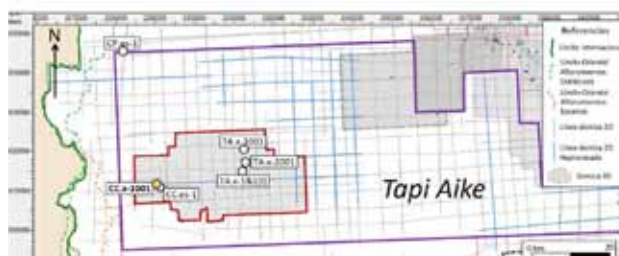


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, con indicación de la sísmica y pozos de referencia.

Antecedentes

La zona de estudio tiene dos campañas exploratorias previas a la entrada de CGC. La primera, en la década del setenta, fue llevada a cabo por YPF con la perforación de los pozos Cancha Carrera. es-1 (YPF.SCA.CC.es-1, 1972-73) y Travesía de Arriba.x-1 y 1(bis) (YPF.SCA.TA.x-1 y 1 bis, 1973) a partir de líneas sísmica 2D previamente registradas. La segunda campaña corresponde a la perforación del pozo Travesía de Arriba.x-1001 (PC.SCA.TA.x-1001, 1994) llevada a cabo por Perez Companc.

El pozo de estudio CC.es-1 tuvo como objetivo continuar con la exploración del Terciario y Cretácico superior luego de haberse perforado el pozo Cerro Palique. es-1 (YPF.SCS.CP.es-1, 1966; PF 2294 mbbp; Figura 1) 35 km al nornoroeste en el bloque Paso Fuhr, en el límite con Tapi Aike. El pozo CC.es-1 alcanzó los 3523 mbbp de los 4500 m programados. Su perforación se tuvo que realizar en dos etapas a causa del crudo invierno en la zona. El principal nivel de interés documentado por el sondeo corresponde al identificado en la Formación Cerro Cazador, en el cual el pozo entra en surgencia al ser perforado con una densidad de lodo de 1230 g/l y requiriendo 1650 g/l para poder finalizar esa sección en 3090 mbbp, quemando gas al campo. La siguiente sección del pozo cuenta con eventos de surgencia en 3270 mbbp y gasificación del lodo en 3504 mbbp. La máxima densidad de lodo alcanzada en el fondo fue de 1880 g/l, la cual permitió alcanzar los 3523 mbbp. Esta sección no fue perfilada por la presencia continua de gas en la columna y fue entubada con liner de 7", el cual finalmente se tuvo que abandonar por problemas de aislación dejando sin

probar los niveles de interés de la Formación Tres Pasos. La terminación del pozo consistió en un punzado en el reservorio de la Formación Cerro Cazador, el cual tuvo un ensayo de gas sin presión y condensado con comportamiento de *tight sand*. Se estimó una presión de formación mínima de 360 kg/cm², 45% de sobrepresión sobre el gradiente hidrostático normal (Figura 2).

El pozo TA.x-1 alcanzó los 3406 mbbp, donde tuvo un evento de surgencia lo cual llevó a densificar, entrar en pérdida y quedar aprisionada la herramienta, por lo que se decidió el abandono de la última sección del pozo. Su reemplazo, el TA.x-1(bis) ubicado a 30 m del original, alcanzó los 1875 mbbp, donde entró en surgencia, debido a una posible conexión con el pozo original. El pozo llega a ensayar con DST (Drill Stem Test) un nivel de arenas canalizadas de la Formación Río Turbio con 5680 m³/d de gas y una presión de formación de 232 kg/cm² a 1519-47 mbbp.

El pozo TA.x-1001, ubicado a 5 km al norte del TA.x-1, alcanzó satisfactoriamente los 3494 mbbp pudiendo ensayar 7 niveles de la Formación Tres Pasos que resultaron sin entrada, y dos etapas dentro de la arena Cerro Cazador. Estas últimas se fracturaron con 310 y 465 bolsas, y tuvieron ensayos con leves rastros de gas y condensado, y agua de formación interpretada a partir del balance de agua inyectada versus recuperada (Figura 2).

El pozo CC.x-1001 (CGC, 2021), registró numerosos influjos de gas, principalmente vinculados a zonas fracturadas, y manifestaciones de gas desde los 730 mbbp hasta la profundidad final, ampliando considerablemente la columna prospectiva de la zona con respecto a lo observado en los pozos precedentes. El pozo se perforó

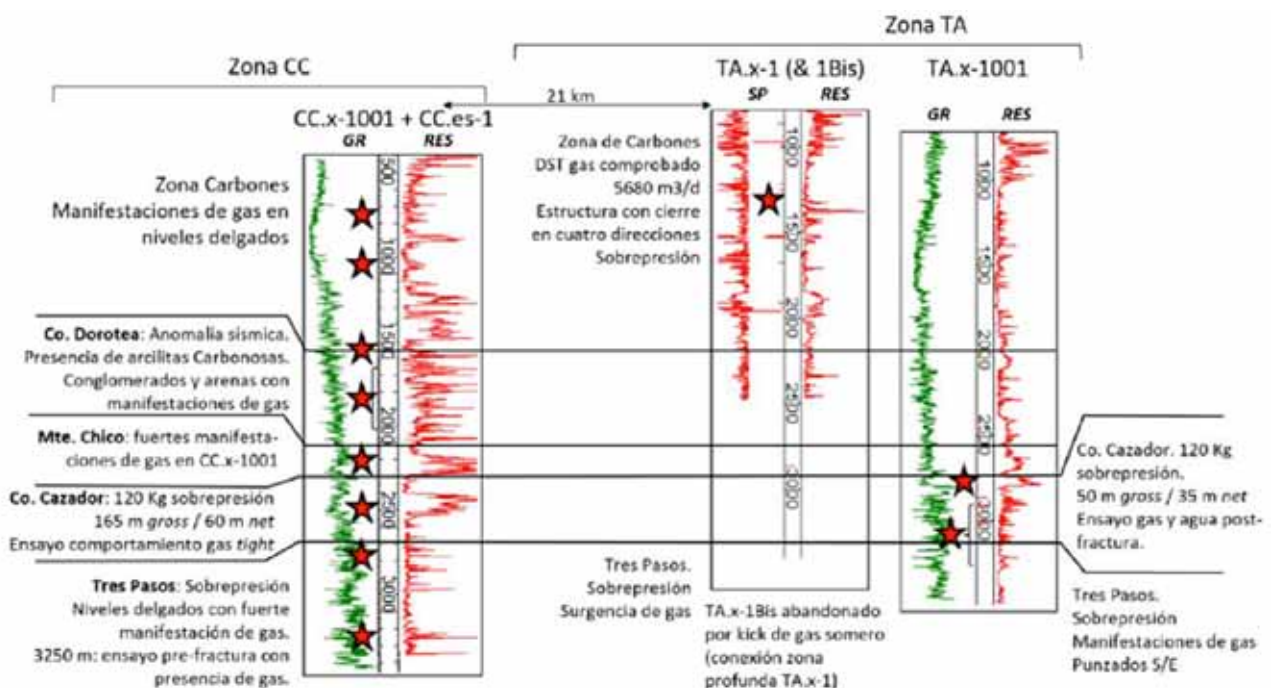


Figura 2. Antecedentes de pozos y niveles con manifestaciones y/o ensayos de gas (estrellas). CC: Zona Cancha Carrera / TA: Travesía de arriba. Ver ubicación en Figura 1.

con sistema MPD (Managed Pressure Drilling) a partir de los 1145 mbbp, buscando mantenerse en balance o levemente en sub-balance para los objetivos principales en las formaciones Cerro Cazador y Tres Pasos. Finalmente, se tuvo que activar a partir de 1600 mbbp (Formación Cerro Dorotea) para controlar los gases de conexión provenientes de un nivel fracturado. En las formaciones Cerro Cazador y Tres Pasos se requirió, además, su uso de manera activa durante la perforación. Finalizado el pozo, se reconocieron diez niveles de interés, de los cuales a la fecha se han probado seis, resultantes en caudales de gas y condensado no comerciales.

Los antecedentes de esta zona dejan en evidencia la presencia de gas combustible sobrepresionado en diferentes niveles cretácicos superiores y terciarios, lo cual comprueba la generación y la migración del sistema petrolero.

Marco geológico general

La historia geológica de la cuenca Austral-Magallanes fue reconstruida por el aporte de numerosos geocientistas y excede el objeto de este trabajo. Cuitiño *et al.* (2019) realizan una recopilación bibliográfica que resume su evolución de manera concisa. A continuación, se presenta un breve resumen de esta cuenca para poner en contexto el área de estudio.

Hacia el Jurásico medio a tardío comienza un evento de extensión de la corteza y vulcanismo ácido asociados a la ruptura de Gondwana, que dará lugar a la apertura de sur a norte de la cuenca de Rocas Verdes. La existencia de ofiolitas en la faja plegada indica que se generó corteza oceánica al menos entre las latitudes 51° y 55° S. En el ámbito de la provincia de Santa Cruz, hacia fines del Jurásico y durante el Cretácico temprano la cuenca tiene un período de subsidencia térmica, donde predomina un arreglo retrogradacional en la columna sedimentaria.

A partir de la apertura del océano Atlántico en el Aptiano y producto de la subducción hacia el este de la placa pacífica bajo la placa sudamericana, comienza de manera diacrónica y en sentido N-S el cierre de la Cuenca de Rocas Verdes y el inicio de la etapa de antepaís entre los 122 y 80 Ma, (Ghiglione *et al.*, 2014; Malkowski *et al.*, 2015; Fildani y Hessler, 2005; MacAtammey *et al.*, 2011 y Calderón *et al.*, 2013).

La etapa de antepaís se extiende hasta el presente y tuvo distintos ciclos como resultado de los cambios en el espacio de acomodación, vinculados a la tasa de subsidencia asociada a las distintas fases del levantamiento de los Andes, al estiramiento previo de la corteza y las variaciones del nivel del mar. Tiene un arreglo predominantemente progradacional que se ve interrumpido tanto por hiatos y discordancias de carácter regional como por inundaciones atlánticas. Puede dividirse en dos grandes ciclos, uno Cretácico superior y otro Cenozoico, como proponen Cuitiño *et al.* (2019), o en al menos cinco megasecuencias, como distinguen Mpodozis *et al.* (2011) a partir de la integración de información de subsuelo y superficie de Chile y Argentina.

Para el Cretácico superior, distintos autores, como Romans *et al.*, 2010 y Hubbard *et al.*, 2010, entre otros, coinciden en que el levantamiento de los Andes conjugado con la existencia de una litósfera atenuada por la historia de extensión de la etapa previa, habrían generado una mayor tasa de subsidencia y espacio de acomodación en el dominio del foredeep de la cuenca. Este hecho explicaría en parte las características excepcionales, dentro del contexto de la cuenca, de la geología del área de estudio de este trabajo.

En la zona de estudio se observa que entre el Santoniano y el Maastrichtiano temprano, el espacio de acomodación disponible en el foredeep se va colmatando con sedimentos marino profundos, de talud y cuenca, con participación de depósitos de remoción en masa y turbiditas que culminan hacia el techo con depósitos deltaicos. El sentido de progradación para este ciclo es hacia el sur y sur-sureste. En toda el área de estudio se desarrollan fallas de crecimiento que despegan en niveles del Cenomaniano, activas durante del Campaniano hasta el Maastrichtiano inferior, que afectaron más intensamente los espacios y espesores de la Formación Tres Pasos.

Por su parte, si bien la columna maastrichtiana superior-paleocena y eocena muestra un relleno más espeso que sus equivalentes en el dominio de plataforma de la cuenca, no llega a desarrollar sistemas depositacionales de la magnitud o la profundidad de agua semejantes a los del ciclo anterior. El sentido de progradación de los sistemas es hacia el sudeste. Durante este intervalo predomina una sedimentación marina somera, donde progradan y retrogradan sistemas costeros que dan lugar a los prolíficos reservorios de la Formación Magallanes inferior en el ámbito de plataforma de la cuenca. Este intervalo está marcado por el desarrollo de discordancias regionales más notorias al este de la zona de estudio por efecto de alzamientos del forebulge y estadios de mar bajo. El registro de esta etapa es escaso en el subsuelo hacia el norte y noreste del área de estudio, debido a la falta de información sísmica y de pozo. En los afloramientos ubicados unos 100 km al norte del área de estudio, se registran menores espesores por efecto de erosión y menor espacio de acomodación.

El intervalo Eoceno medio y superior está representado en el área de estudio por los depósitos de planicies intermareales que se asignan a la Formación Río Turbio, aflorante a unos 25-30 km hacia el suroeste. El tercio inferior de esta unidad prograda hacia el sudeste y se acuña en la misma dirección. El tercio medio muestra igual comportamiento y se interdigita con las progradaciones de Formación Man Aike que avanzan hacia el sudoeste, por lo que se infiere que el espacio de acomodación corresponde a una zona axial que se rellenó progresivamente desde NNO y NNE, lo que fue expandiendo la bahía costera de la Formación Río Turbio. Hacia el techo de este ciclo rematan los depósitos de planicies intermareales ricas en bancos de carbón y arcilitas carbonosas, que en este trabajo se asignan a la sección superior de Formación Río Turbio. Durante el Oligoceno dominan los depósitos fluviales que se asignan a la Formación Río Guillermo.

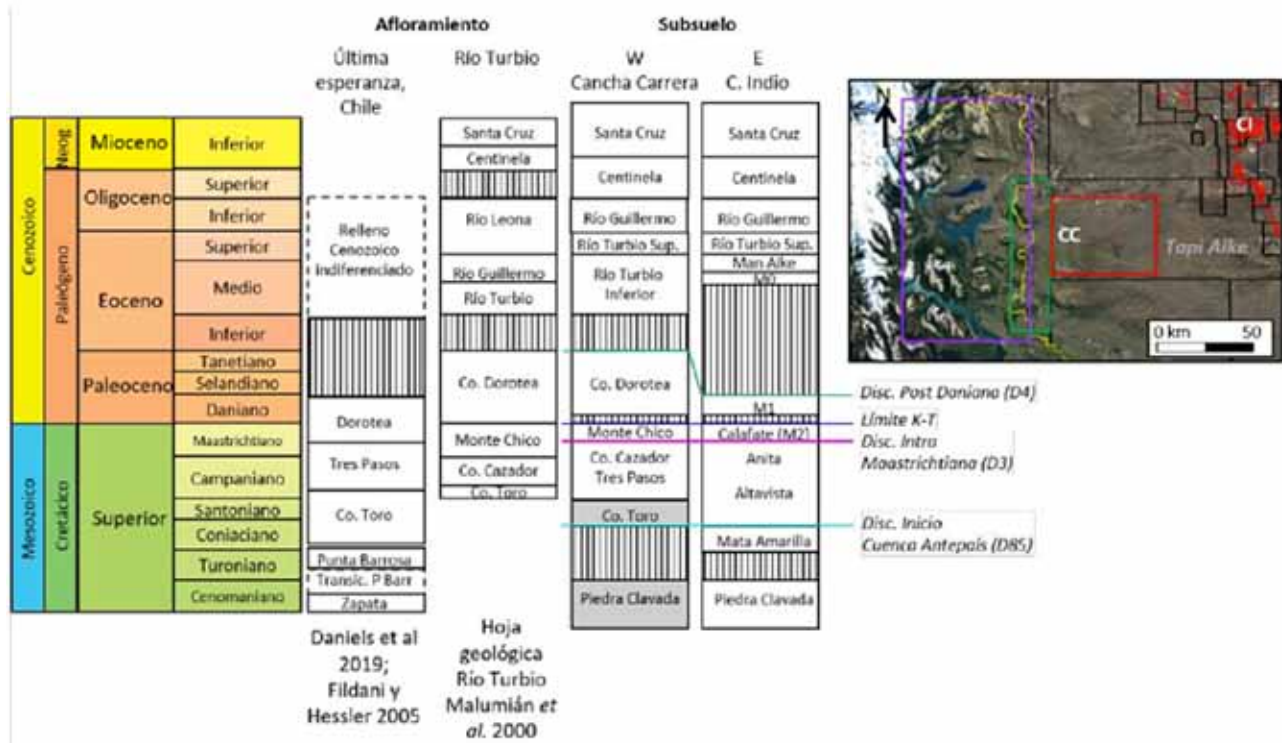


Figura 3. Columnas estratigráficas. Área violeta: zona denominada Última Esperanza (Daniels *et al.*, 2019; Fildani y Hessler, 2005). Área verde: hoja de Río Turbio 5172-III (Malumián *et al.*, 2000). Área roja: zona de estudio dentro del bloque Tapi Aike. CC: Cancha Carrera, CI: Campo Indio.

Hacia el Oligoceno superior-Mioceno inferior tiene lugar en la cuenca la inundación del Patagoniano. En subsuelo se observa la progradación de clinoformas desde el oeste, norte y noreste que van colmatando el espacio de acomodación disponible. En el sector del foredeep los depósitos dominantes son marinos someros. Completan la columna en la zona de estudio, los depósitos fluviales de la Formación Santa Cruz.

Los eventos orogénicos más jóvenes al oeste del sector de Cancha Carrera producen una serie de espolones con ejes NNO-SSE y NO-SE, con frecuentes expresiones en superficie, que afectan toda la columna terciaria y a casi toda la columna cretácica, siendo este un aspecto crítico para la prospección hidrocarburífera.

Columna estratigráfica

Existen diferencias en la nomenclatura utilizada para designar las unidades formacionales que integran la columna estratigráfica en la zona, no solo en los afloramientos a un lado y otro de la frontera, sino también en subsuelo. Por ello, en la figura 3 se sintetizan las columnas estratigráficas propuestas por distintos autores que se analizaron y utilizaron para definir la columna estratigráfica con la que se trabajó en subsuelo.

La estratigrafía comúnmente utilizada para describir la etapa cretácica del antepaís en el dominio del foredeep es aquella que aflora en Chile, desde el Cerro Divisadero hasta el distrito de Última Esperanza y está sintetizada

en el trabajo de Daniels *et al.* (2019) (Figura 3). La edad de las formaciones está definida a partir de una extensa base de datos de dataciones U/Pb en circones. Distintos autores, como Malkowski *et al.* (2017) y Sickmann *et al.* (2019), destacan que no se observan discordancias internas para el Cretácico superior, con excepción de la discordancia que separa la Formación Dorotea de los depósitos cenozoicos.

Por su parte, la Hoja Geológica de Río Turbio define una columna estratigráfica (Figura 3) compuesta de base a techo por la Formación Cerro Toro (Campaniano), los depósitos costeros de la Formación Cerro Cazador (Campaniano), las sedimentitas marino someras de la Formación Monte Chico (Maastrichtiano) y, por último, por la Formación Cerro Dorotea (Paleoceno) representada por depósitos de plataforma interna. Malumián *et al.* (2000) señalan que el contacto entre las unidades campanianas es concordante, mientras que entre las formaciones Cerro Cazador y Monte Chico existe una discordancia, y que el pase hacia la Formación Cerro Dorotea es de carácter transicional.

A partir de la interpretación de la sísmica 3D y su integración con la información de perfiles de pozo, imágenes resistivas, recortes de cutting y estudios bioestratigráficos, se definió para la zona de estudio una columna estratigráfica para el Cretácico superior, como se observa en la figura 3 bajo el nombre W-Cancha Carrera. La misma utiliza la nomenclatura de la Hoja Geológica de Río Turbio con algunos ajustes en las edades en base a la bioestratigrafía sobre recortes de perforación.

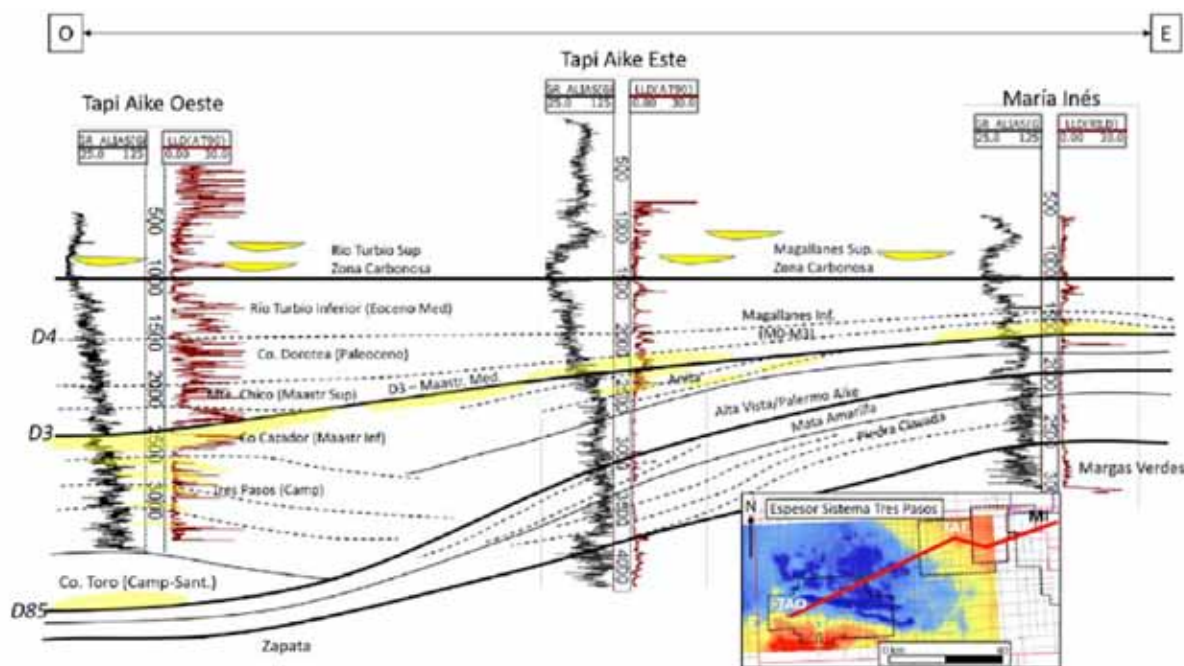


Figura 4. Arreglo estratigráfico esquemático O-E. Relación lateral entre las formaciones de la zona Oeste de Tapi Aike (Cancha Carrera) y zona de plataforma (María Inés).

Litología y ambiente depositacional

A continuación, se resumen los aspectos generales de las formaciones de mayor interés prospectivo, atravesadas por los pozos del sector.

Formaciones Tres Pasos y Cerro Cazador

Estas formaciones constituyen un sistema de plataforma, talud y cuenca progradantes, con sus depósitos asociados. Se estima que la Formación Tres Pasos podría alcanzar los 950 m en la posición del pozo CC.x-1001 (perforó ~650 m), observándose una pérdida de espesor sísmico hacia el este producto de onlaps sucesivos sobre la discordancia de 85 Ma (base de la cuenca de antepaís). Esta unidad correlaciona lateralmente en esa dirección con las formaciones Altavista y Anita (Figuras 4 y 5). La Formación Cerro Cazador alcanza los 450 m en el sector de Cancha Carrera. Su espesor va disminuyendo hacia el este, correlacionando en tiempo con las facies distales de la Formación Anita encontradas en la porción oriental del bloque. Hacia el norte y dado que hay un gap sísmico en el bloque Paso Fuhr, no puede establecerse claramente el arreglo secuencial de ambas formaciones, pero se estima que pierde espesor y correlaciona con la Formación Anita (Campaniano-Maastrichtiano temprano). En ambas direcciones el espesor se encuentra parcialmente afectado por la erosión al techo de la unidad asociada a la discordancia intra-maastrichtiana (D3).

La Formación Tres Pasos está compuesta principalmente por pelitas laminadas y pelitas con intercalaciones milimétricas a centimétricas de areniscas, depositadas en un ambiente marino profundo posiblemente vinculado

a un paleoambiente de cuenca y/o talud, de acuerdo con la posición en la columna. Se observan ciertos niveles de areniscas compuestos por bancos tabulares de areniscas finas y muy finas, masivas o laminadas, que componen paquetes de algunos metros de espesor y se atribuyen a depósitos de turbiditas hacia el pie del talud.

Sísmicamente, en el contexto del bloque de Tapi Aike, se definieron cinco unidades principales o clinotemas, que fueron informalmente denominados como TP10 a TP50 de base a techo (Figuras 6A y 6B). Las primeras tres unidades en la zona de estudio (TP10 a TP30) registran la progradación de facies profundas, de cuenca y talud y se denominan informalmente Tres Pasos inferior. Para las dos últimas unidades, denominadas Tres Pasos superior, se registra la progradación de ambientes de talud y de facies deltaicas sobre la plataforma (Figuras 4 a 7). Cabe destacar que esta unidad se acumuló en paralelo al desarrollo de fallas extensionales de rumbo E-O y vergencia predominante al sur. Si bien este tectonismo se describirá en la sección Estructura, produjo espacios de acomodación localizados que resultaron en aumentos de espesores de decenas de metros en los bloques bajos. Desde el punto de vista prospectivo queda aún por resolver si esto tuvo algún efecto en la distribución de facies y su granulometría, así como en el espesor de los niveles reservorio (Figura 6B, flechas de dos puntas en bloques bajos).

La Formación Cerro Cazador sucede a la Formación Tres Pasos de manera transicional y se caracteriza por potentes bancos arenosos con arreglos grano-estratocrecientes que inician con pelitas y limolitas que gradan a areniscas con niveles finos laminados. Sus diferentes ciclos registran la progradación de sistemas deltaicos sobre la plataforma, correlacionables en edad con los de la For-

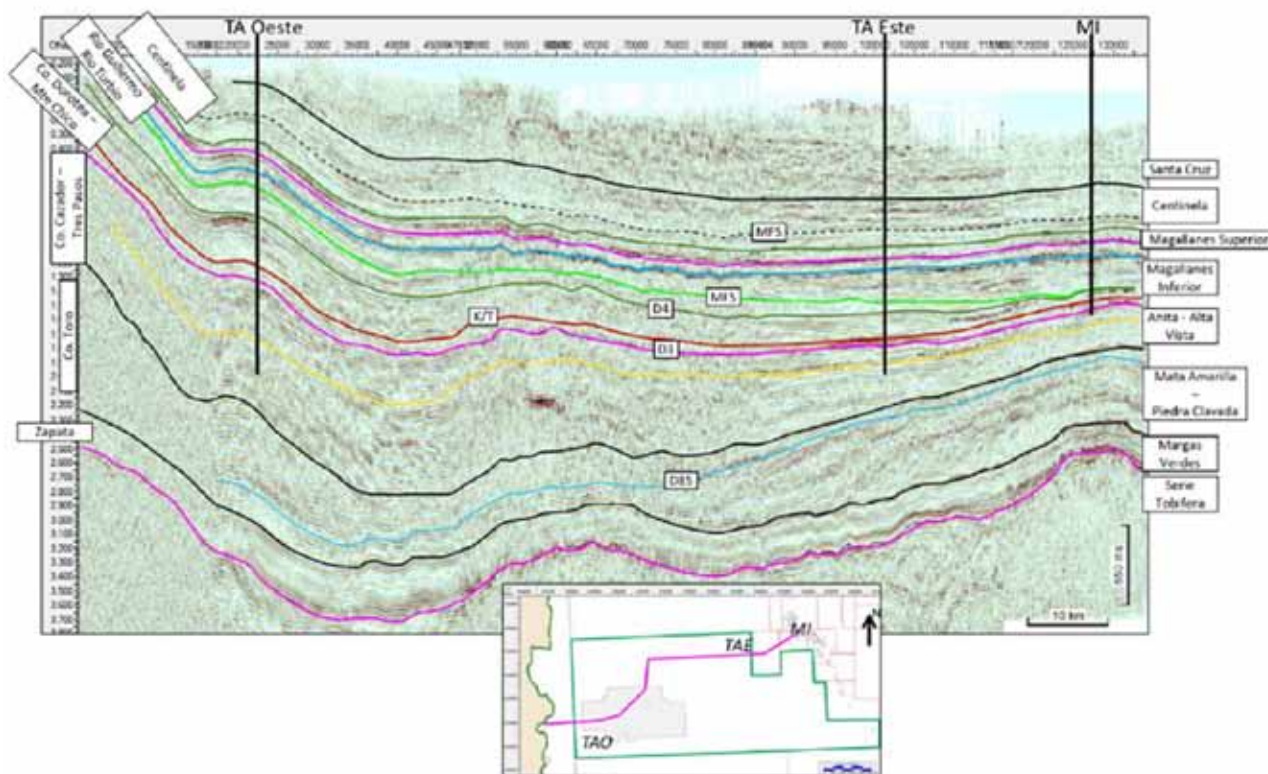


Figura 5. Sección sísmica O-E con relaciones laterales entre nombres formacionales utilizados en el sector Oeste y Este de la cuenca Austral.

mación Anita aflorando en la zona de Calafate. Hacia la sección superior, se destacan hasta 165 m de cuerpos arenosos apilados de granulometría fina a mediana con paleocorrientes hacia el sur, interpretados como depósitos de delta de quiebre. En los afloramientos del Cerro Cazador, 25 km al oeste (Bauer, 2012), no se observan para las edades correspondientes, paquetes arenosos de la magnitud que se encuentran en CC.x-1001 y CC.es-1, lo cual permite pensar en un cambio lateral de facies asociado al desarrollo del sistema deltaico de la Formación Cerro Cazador. En la zona de estudio, esta formación culmina en el Maastrichtiano temprano con el depósito de 110 m de pelitas interpretado como una transgresión marina, sobre la cual apoyan en discordancia (intra-maastrichtiana "D3") las areniscas del Maastrichtiano tardío (Biozona de nanofósiles CC 25-26, Pérez Panera *et al.*, 2021) asignadas a la Formación Monte Chico. En la zona de estudio esta discordancia muestra un carácter erosivo leve, que afecta los depósitos cuspidales de la Formación Cerro Cazador. La discordancia que separa ambas unidades no se observa fácilmente en los afloramientos de Chile, pero está descrita en la hoja de Río Turbio (Malumián *et al.*, 2000) y en subsuelo puede mapearse regionalmente.

Formación Monte Chico

La Formación Monte Chico tiene un espesor de 160 m en la zona de estudio (Figura 7). Crono y litoestratigráficamente se puede correlacionar con la sección superior de la Formación Dorotea en Chile y la Formación

Calafate en Argentina. En subsuelo podría ser equivalente a los reservorios asignados a la parte inferior de la Formación Magallanes inferior, informalmente denominados M2-M3 (Cagnolatti y Miller, 2002; Jait *et al.*, 2018). Está compuesta por un ciclo basal de 70 m donde se amalgaman ciclos de mayor frecuencia, compuestos por areniscas líticas finas a medias masivas y laminadas que culminan con areniscas con estratificación entrecruzada o niveles hasta conglomerádicos. En los últimos 90 m se desarrolla un ciclo grano-estratodecreciente, compuesto por ciclos de mayor frecuencia granocrecientes, que culmina con un paquete pelítico. Las paleocorrientes definidas en subsuelo a través del perfil de imagen resistiva van hacia el S-SSE para la sección inferior y SE para la sección superior, manteniendo el patrón de las formaciones Tres Pasos y Cerro Cazador. Se considera que esta unidad fue depositada en un ambiente de cara de playa. Su techo está definido por el hiato correspondiente a la biozona NP1 del Daniano, atribuido al límite K-T (Pérez Panera *et al.*, 2021). Este hiato entre el Cretácico superior y el Paleoceno no suele describirse en afloramientos, pero aparece en numerosos sondeos con estudios bioestratigráficos y puede mapearse regionalmente hasta el punto donde la columna es erosionada por la discordancia posdaniana, 120 km al este de la zona de estudio.

Formación Cerro Dorotea

La Formación Cerro Dorotea se corresponde en edad con la Megasecuencia de Transición de Mposodzis *et al.*

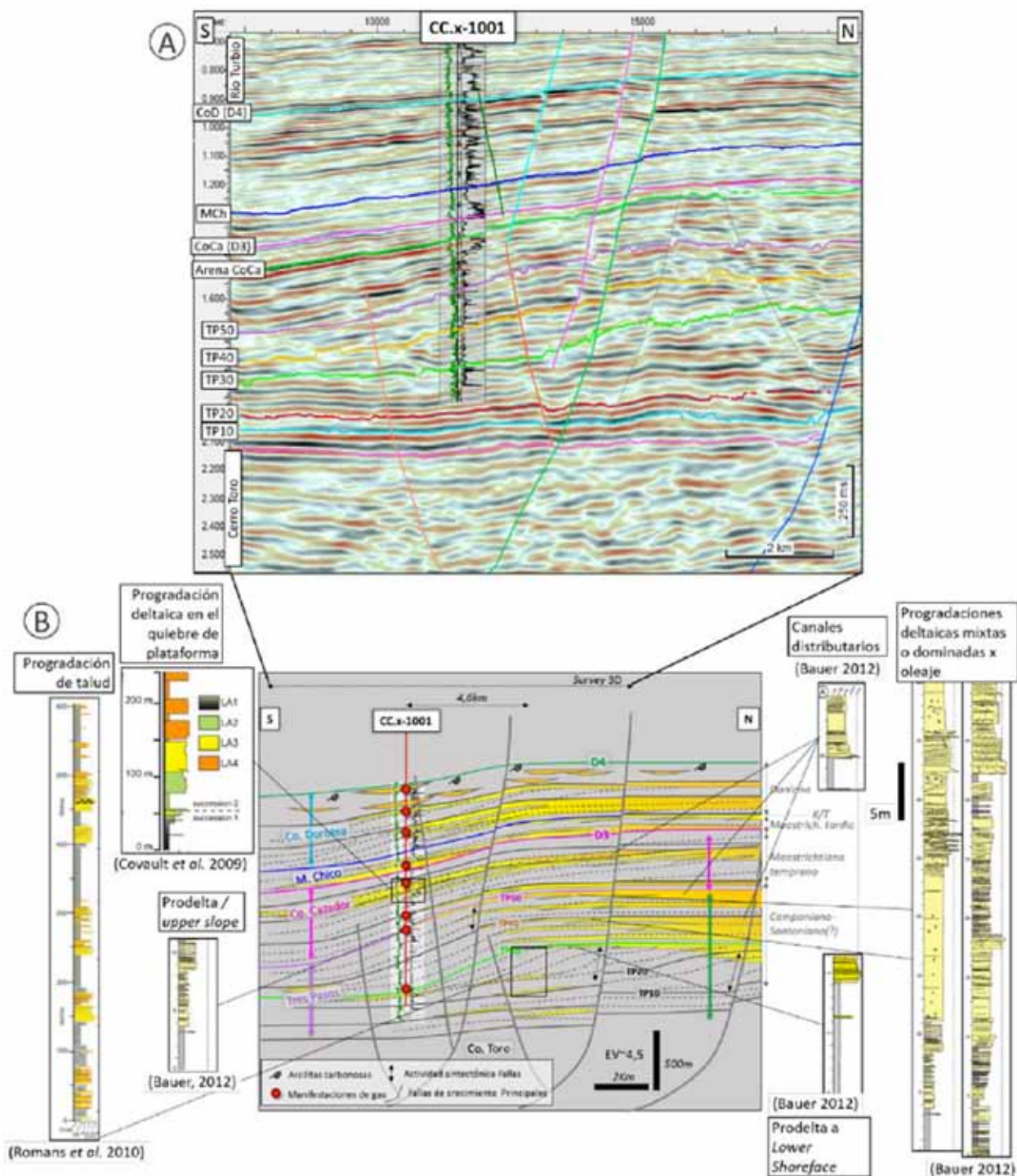


Figura 6. A) línea sísmica S-N pasando por el pozo CC.x-1001 con los principales horizontes interpretados. B) Esquema estratigráfico conceptual S-N en el sector de Cancha Carrera basado parcialmente en la línea sísmica A). Sistemas depositacionales correlacionables con los afloramientos al oeste del bloque. TP: Formación Tres Pasos; CoCa: Formación Cerro Cazador; MCh: Formación Monte Chico; CoD: Formación Cerro Dorotea.

(2011) y aflora en el ámbito de la Hoja Geológica de Río Turbio (Malumián *et al.*, 2000). En el pozo CC.x-1001 tiene 640 m de espesor, donde los 440 m basales son de edad daniana (biozona NP3) y los 200 m cuspidales tendrían una edad Paleoceno tardío. En los sondeos perforados hacia el este del bloque no vuelve a registrarse fauna de esta

edad y la formación es exclusivamente de edad daniana. Hacia el norte y este, en el dominio de plataforma, la unidad contiene al reservorio M1, nivel productor de gas en Campo Indio y Campo Boleadoras (Aimar *et al.*, 2018).

En la zona de estudio está compuesta por una sucesión de areniscas, que gradan de arcillosas muy finas a

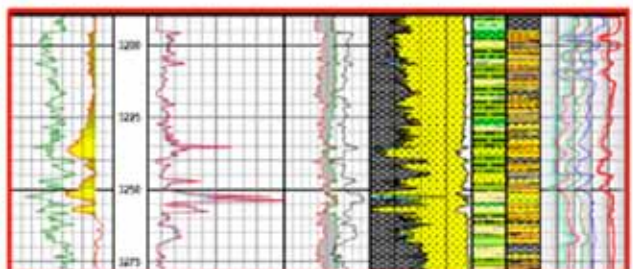
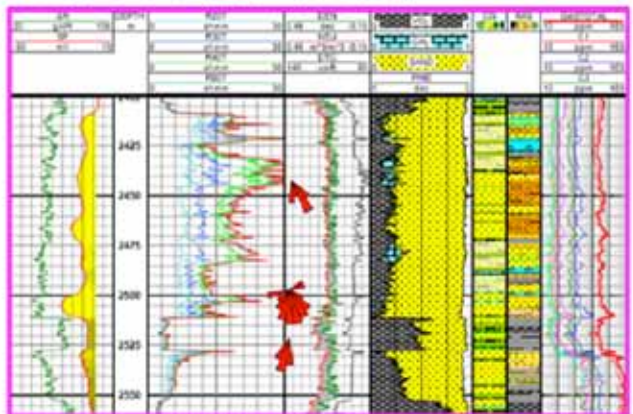
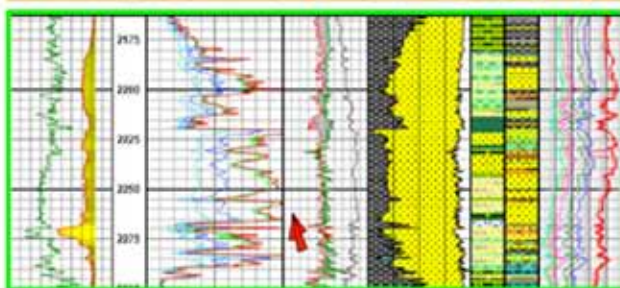
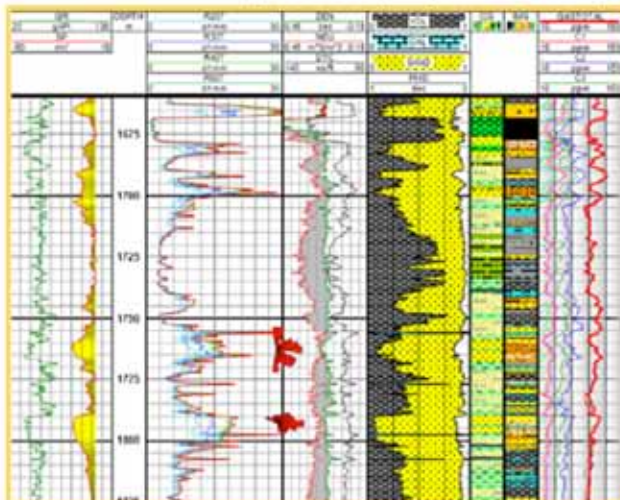
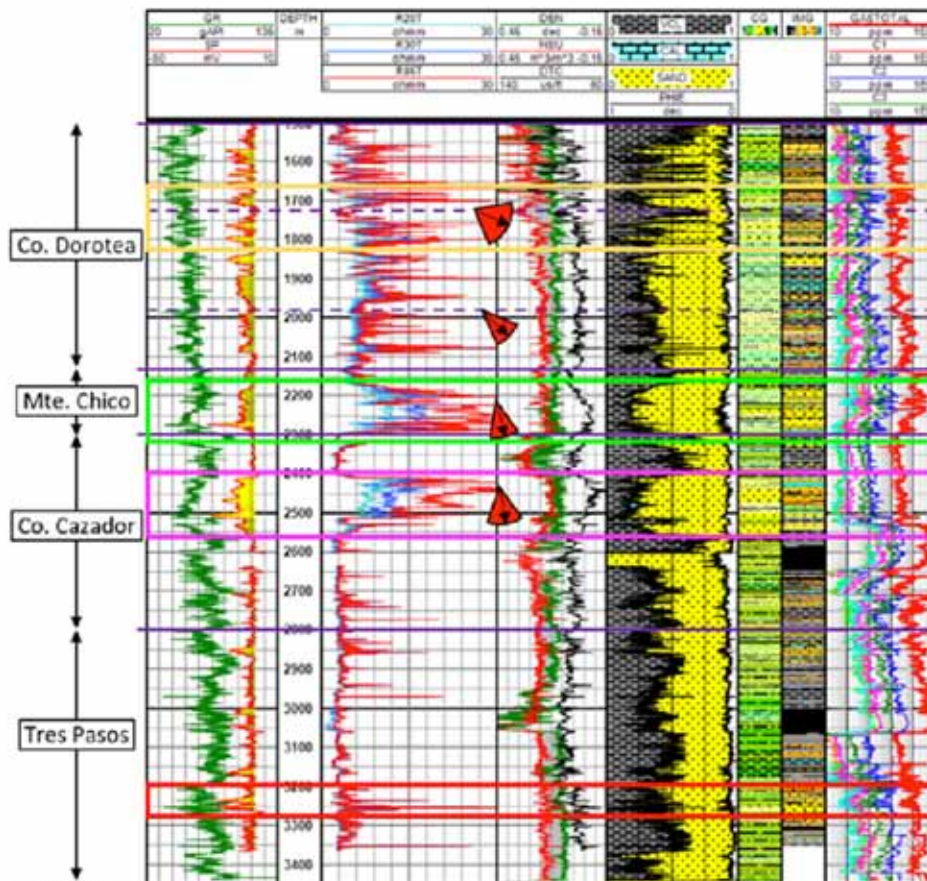


Figura 7. Perfiles e interpretación para las formaciones Tres Pasos, Cerro Cazador, Monte Chico y Cerro Dorotea en el pozo CC.x-1001. (CG: litología interpretada por cabina de control geológico, IMG: litotipos interpretados a partir de la imagen microresistiva).

areniscas limpias medias a gruesas y hasta conglomeráticas. Toda la unidad corresponde a un sistema marino progradante hacia el SE que culmina con arcilitas carbonosas y niveles delgados de areniscas medias a conglomeráticas, asociados al desarrollo de planicies costeras.

El techo de esta unidad está definido por la discordancia posdaniana, que tiene asociado un hiato de magnitud regional de al menos 8 Ma, ya que no se registran sedimentos del Eoceno inferior en el subsuelo de la provincia de Santa Cruz al menos hasta la latitud del bloque Glencross. Algunos autores denominan esta discordancia como paleocena (Cuitiño *et al.*, 2019).

Reservorios

Para la evaluación de los reservorios se contó con un set de registros de pozo que incluyó: rayos gama espectral, inducción, densidad, neutrón, sónico dipolar orientado (anisotropía), calibre de 4 brazos e imagen microresistiva. Los registros de porosidades nucleares se encontraron afectados por ensanchamientos de pozo, sobre todo para los niveles de las formaciones Monte Chico y Cerro Cazador. Por fuera de esto, el set de perfiles sumado a la información obtenida del control geológico y comportamiento del pozo permitieron una correcta evaluación de todos los niveles de interés del pozo.

La Formación Tres Pasos (Figura 7) presentó niveles de interés de hasta 40 m de espesor total, intercalados con niveles pelíticos y areniscas muy cementadas. Los niveles arenosos dentro de estos paquetes suelen corresponder a laminaciones de 60-80 cm de espesor, alcanzando los 2 m cuando se encuentran amalgamados. Las manifestaciones de gas para estos niveles fueron de entre 100.000 y 700.000 ppm de gas total y cromatografía completa con una participación de metano entre un 73% y un 95%. Corresponden a reservorios tight con porosidades entre un 9% y 1 un 4% y permeabilidades estimadas por debajo de los 0,01 mD. La litología por difracción de rayos X (DRX) y microscopía corresponden predominantemente a arenitas líticas muy finas y en menor medida a limolitas. El contenido de arcillas varía entre un 8% y un 25% en peso, mientras que el cuarzo se encuentra entre el 46% y el 67%. Lo demás lo componen plagioclasa y niveles puntuales con calcita.

La imagen microresistiva permitió identificar cinco secciones fracturadas principales de entre 2 y 5 m, algunas con sutil expresión sísmica que permite interpretar una zona de falla, y otras subsísmicas. El rumbo de estas es predominantemente NE-SO y ONO-ESE. Las más relevantes se encontraron a 1580, 2140, 2529, 2708 y 3188 mbbp, generalmente correlacionables con fuertes manifestaciones puntuales y hasta influjos de gas durante la perforación. En ocasiones, estas secciones resultaron coincidentes con niveles arenosos de interés.

Se probaron mediante punzado y fractura dos niveles en la Formación Tres Pasos. El nivel inferior comprobó presencia de gas y leve condensado, pero por problemas operativos no se pudo completar el flowback, y quedó

un ensayo no concluyente. El nivel superior ensayó postestimulación agua de fractura con mezcla de agua de formación y leve presencia de gas. Cabe destacar que ambos niveles mostraron una sobrepresión muy superior a la estimada antes y después de la perforación, obteniéndose valores entre un 88% y un 100% de sobrepresión respecto a un gradiente hidrostático normal a partir de la interpretación de los DFIT.

El nivel objetivo de la Formación Cerro Cazador en el pozo se encontró con un espesor total de 165 m (Figura 7), compuesto por un apilamiento de areniscas arcillosas y areniscas finas y medianas, en un perfil mayormente agradante. El gas durante la perforación de los primeros 120 m se mantuvo con valores entre 30.000 ppm y 80.000 ppm, con cromatografía completa con un 88-90% metano. Hacia la base de la unidad, al techo de una arena separada de la parte superior por un nivel limoarcilloso de 15 m, ocurre un influjo de gas de 720.000 ppm que deja con alto gas de background el resto de la sección. La imagen resistiva muestra dos planos de fractura en esta zona, las cuales se consideran responsables del influjo, como se ha visto en niveles superiores.

Este reservorio se interpreta como una arenisca de baja permeabilidad (*tight*) con un rango de porosidades entre el 10% y el 14% a partir de los perfiles de pozo. Está compuesto por arenisca lítico-feldespática, arenisca lítica, y en menor medida, arenisca calcárea y limolita. La porosidad dominante está en el rango de los microporos y es principalmente intragranular. El tipo de contacto predominante entre los granos es recto y puntualmente se observan contactos cóncavo-convexos. El porcentaje de cemento es menor al 5%, siendo las especies principales clorita, laumontita y crecimiento secundario de cuarzo y/o feldespato. Su contenido de arcilla promedio según DRX es del 18%, el resto corresponde predominantemente a cuarzo (entre el 36-51%) y plagioclasa (entre en 27-30%). A diferencia de la Formación Tres Pasos, también se observa presencia de feldespato potásico, aunque en valores que no superan el 4%.

La interpretación textural de la imagen microresistiva permitió identificar areniscas masivas, laminadas y en menor medida con estratificación entrecruzada. Es común la presencia de nódulos calcáreos hacia el techo del paquete. Las variaciones verticales en el perfil de resistividad se interpretan junto con la imagen como variaciones litológicas asociadas a la cementación y frecuencia y continuidad de las laminaciones internas.

La evaluación de este paquete se llevó a cabo en dos etapas:

- 1)Punzado en zona de influjo y fractura: recupera agua y gas, quedando rápidamente sin entrada.
- 2)Fractura de la capa superior: agua de formación + agua de fractura con un caudal de gas de hasta 7500 m³/d.

El intervalo de interés en la Formación Monte Chico tiene un espesor total de 115 m, el cual se puede subdividir en tres secciones (Figura 7). Los 30 m basales muestran una intercalación de paquetes de arenas masivas,

laminadas y limolitas, que culminan con un nivel con estratificación entrecruzada, fuerte deflexión de SP y leve cruce densidad-neutrón, sin manifestación de gas asociada. La sección media presenta 45 m de areniscas laminadas, donde la mitad inferior se compone de areniscas arcillosas finas y muy finas, con bajas lecturas de gas, y la mitad superior de areniscas limpias finas a medianas con lecturas de gas de hasta 388.000 ppm de gas total. Por último, la sección superior de 32 m de espesor, separada de la infrayacente por un vaque glauconítico de 8 m, se describe principalmente como una intercalación de limolitas y areniscas arcillosas finas y muy finas, con manifestaciones de gas de hasta 438.000 ppm de gas total.

Las areniscas son líticas, compuestas por partes iguales de cuarzo y plagioclasa y un contenido de arcilla entre el 17% y el 24%. El reservorio se interpreta como una arenisca de baja permeabilidad, de ambiente marino somero. La porosidad promedio según perfiles de pozo se encuentra entre el 11% y el 13%, aunque la calidad de los registros genera alta incertidumbre en el valor estimado.

En la sección de la Formación Cerro Dorotea se han identificado múltiples niveles arenosos de potencial interés que se van densificando hacia la parte superior de esta unidad (Figura 7). Corresponden a niveles arenosos finos a muy finos, ocasionalmente conglomerádicos, de 5 a 20 m de espesor. Las lecturas de gas se encuentran entre 60.000 y 120.000 ppm. Las porosidades según perfiles varían entre un 12% y un 15%. Principalmente se destaca un nivel conglomerádico al techo de la unidad de 7 m de espesor, clara deflexión de GR, alta resistividad y cruce densidad-neutrón. Se interpreta como un nivel canalizado dentro de la sección más proximal de planicie costera de la Formación Cerro Dorotea.

Estructura

En este sector de la cuenca se reconocen tres niveles estructurales. Uno inferior, que abarca los depósitos de la Serie Tobífera, Formación Springhill y Formación Palermo Aike inferior (Jurásico superior a Albiano medio); uno intermedio, que incluye desde la Formación Piedra Clavada hasta la Formación Cerro Cazador inclusive (Albiano tardío a Maastrichtiano temprano) y por último un nivel superior, que comprende desde la Formación Monte Chico hasta los depósitos modernos (Figura 8).

El nivel inferior conserva los rasgos tectónicos originados durante la etapa inicial de la cuenca, como fallas extensionales y de rumbo que controlaron la etapa de synrift. La columna involucrada en este nivel tiene un comportamiento solidario con el basamento representado por la Serie Tobífera.

Los hemigrábenes de la Serie Tobífera, de rumbo NNO-SSE en el oeste del área Tapi Aike, habrían condicionado el desarrollo de los depocentros del sistema Tres Pasos-Cerro Cazador, su distribución de facies y probablemente la extensión del sistema de fallas de crecimiento.

El nivel intermedio está caracterizado por el desarrollo de fallas sindeposicionales con rumbo E-O, que afectan principalmente al sistema Tres Pasos-Cerro Cazador (Figuras 8 y 9). Según la clasificación propuesta por Maduit y Brun (1998) corresponden a un sistema asimétrico de bloques rotados con vergencia al sur, donde el despegue basal (roller, según Maduit y Brun, op. cit.) estaría en la interfaz entre las formaciones Piedra Clavada y Cerro Toro (Cenomaniano). La carga que activa las fallas podría ser parte de la secuencia que actúa como roller más las secuencias TP10-20 y el sucesivo relleno

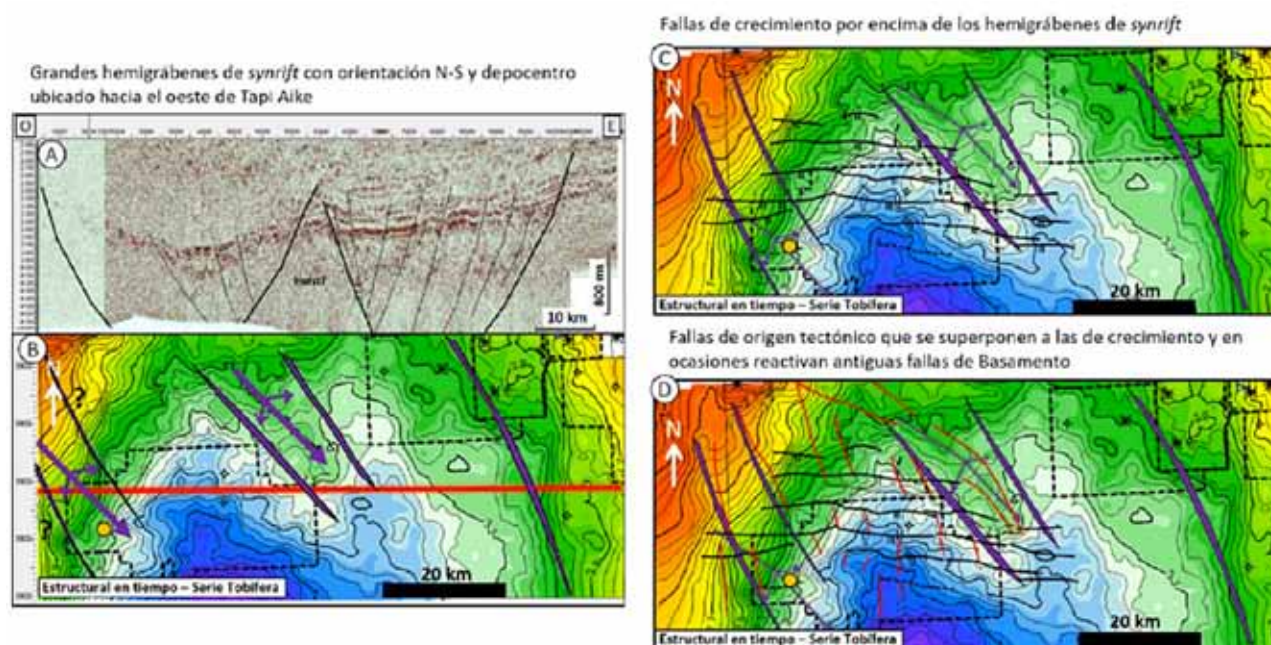


Figura 8. Sistemas de fallas dominantes en el sector de estudio. A: línea sísmica O-E mostrando los hemigrábenes de synrift. B, C y D: mapas estructurales en tiempo de la Serie Tobífera con la evolución de los tres sistemas de fallas. Polígonos violetas: fallas del sistema de synrift; trazas de falla negras: sistema de fallas de crecimiento; trazas rojas: fallas y quiebres de origen tectónico andino; flechas violetas: buzamiento de las narices estructurales; círculo naranja: pozos CC.es-1 y CC.x-1001.

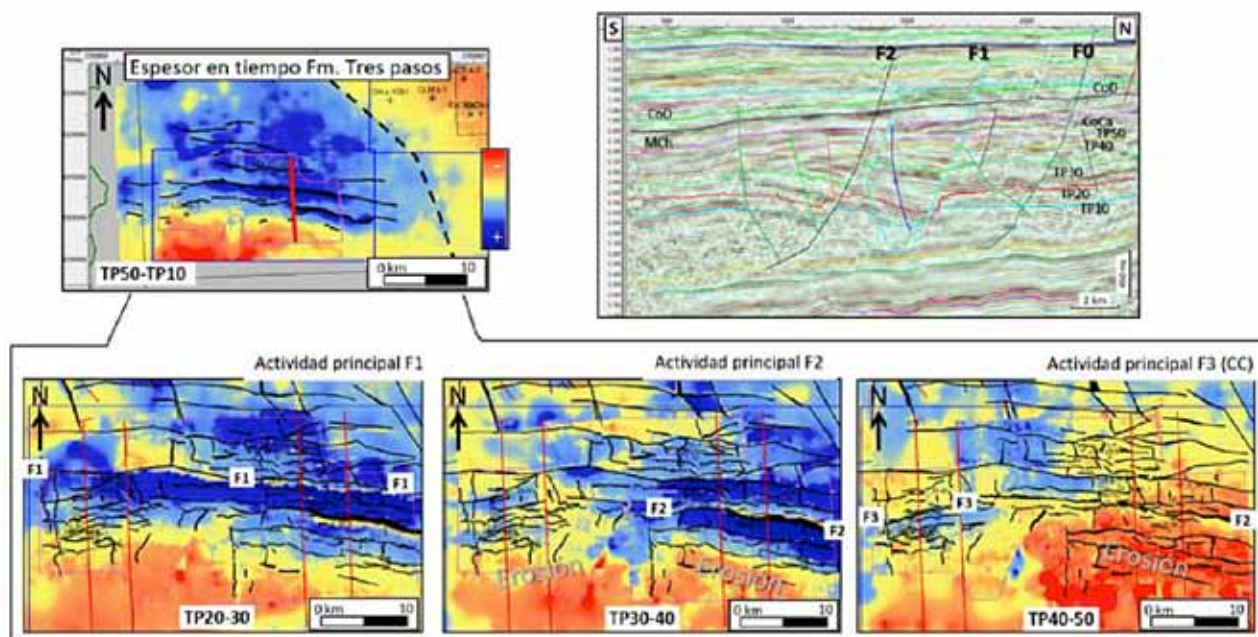


Figura 9. Sistema de fallas sindeposicionales (F0 a F3). Variación de espesor en tiempo de cada secuencia como indicador de actividad de las fallas. TP: Formación Tres Pasos; CoCa: Formación Cerro Cazador; MCh: Formación Monte Chico; CoD: Formación Cerro Dorotea.

de la Formación Tres Pasos. El sistema se estabiliza hacia fines del Maastrichtiano temprano y las secuencias sobreyacentes lo cubren. Algunas de estas fallas tienen activaciones posteriores durante la inversión andina. Estas fallas se identifican tanto en subsuelo como en afloramientos (Shults y Hubbard, 2015). En la zona de estudio, es posible identificar estas fallas de crecimiento principalmente en la zona de Travesía de Arriba, al este de Cancha Carrera, ya que esta zona se encuentra menos invertida y las estructuras cretácicas están mejor preservadas, mientras que en la estructura de Cancha Carrera se identifican con dificultad debido al levantamiento andino que afecta a este sector. A partir de la secuencia TP30 y hasta probablemente la deposición de la Formación Cerro Cazador, estas fallas generaron espacio en los bloques bajos de manera escalonada hacia el sur por la vergencia dominante en dicha dirección. Las fallas principales presentan geometría lítrica, manteniendo alto ángulo en sus tramos más someros y horizontalizándose al nivel de despegue. Presentan, además, sistemas de fallas conjugadas sintéticas y antitéticas, y en ocasiones la formación de rollovers que pueden ser prospectados como altos estructurales locales.

Dentro del área cubierta con sísmica 3D, el sistema de fallas de crecimiento progresa de norte a sur. En cuanto al rechazo de las fallas, el máximo observado es de 425 m para las unidades más profundas y disminuye secuencia arriba. En la Formación Cerro Cazador prácticamente no se registra actividad de las mismas o es muy leve. Los estratos de crecimiento registran su mayor expresión en las fallas 1 y 2 (Figura 9), con espesamientos de las unidades involucradas del orden de los 100-150 m. El sistema de fallas se extiende hacia el norte del survey por unos 8 km, donde estas comienzan a crecer en las secuencias

más jóvenes de la Formación Tres Pasos. La extensión total del sistema de fallas en el sentido del rumbo es de entre 30 y 60 km.

El nivel superior tiene su principal deformación asociada al levantamiento de los Andes, de estructuras N-S con fallas que interfieren con el sistema de fallas sindeposicionales, y fallas extensionales de rumbo E-O, alineadas con el sistema de fallas subyacente. El levantamiento del frente andino tiene su máxima expresión en el oeste del área y es de suma importancia desde el punto de vista prospectivo. Afecta y reestructura toda la región y a toda la columna sedimentaria, reconfigurando las trampas preexistentes y generando nuevas en los niveles más jóvenes. Esto también produjo seguramente en mayor o menor medida una remigración de hidrocarburos dispersos o entrampados hacia nuevas trampas y a superficie.

Play concept

La exploración inicial en Cancha Carrera se enfocó en entrampamientos de tipo combinados. El factor estructural principal estuvo dado por el eje andino en el ámbito de subsuelo hacia el este de las estructuras afloradas, representado por un eje anticlinal buzante al sur-sureste (3° a 3.5°) con flancos suaves. La falta de cierre norte de muchos de estos espolones requería una componente estratigráfica en esa dirección. La posición de pozos como el CC.es-1, ubicado en el hundimiento sur (Figura 10 y mapas de la Figura 8) buscaba dicha componente asociada a distintas cuñas sedimentarias observadas en sísmica 2D y la potencial presencia de fallas oblicuas al eje, todo esto proveyendo potencial cierre estructura arriba. Hacia

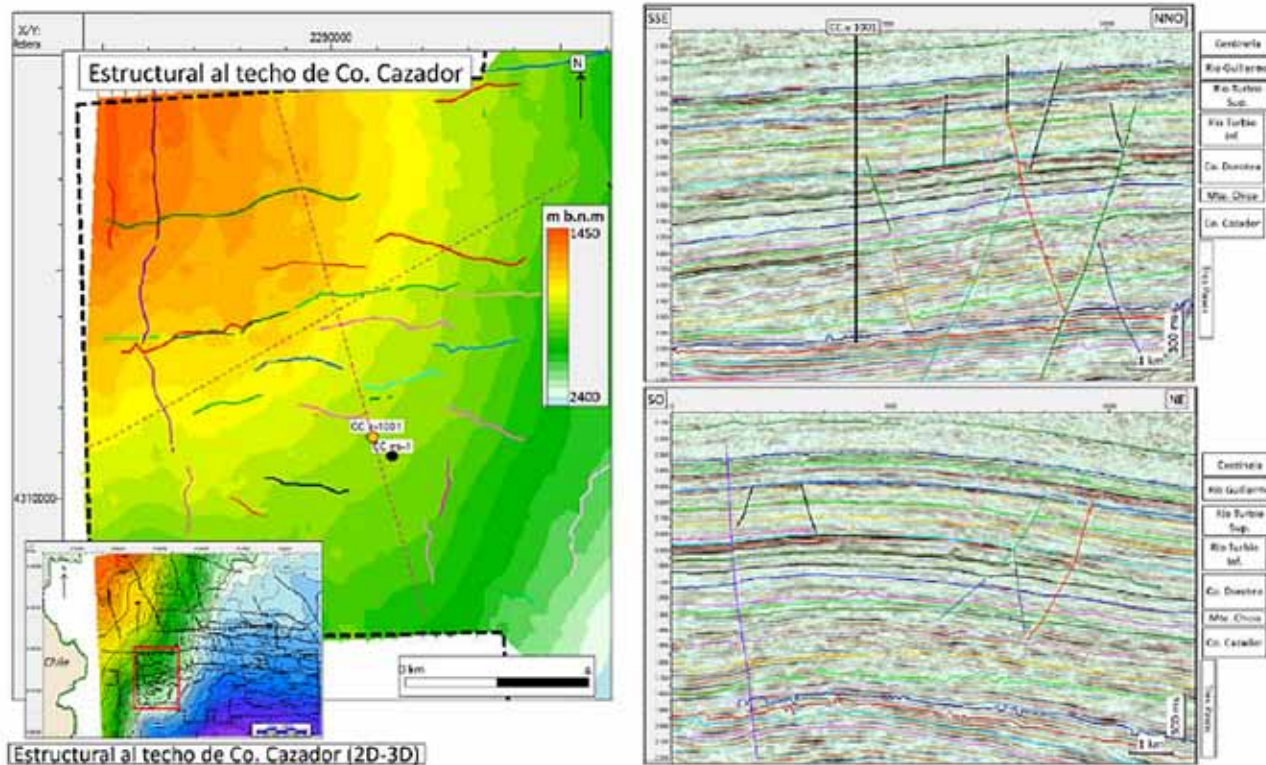


Figura 10. Espolón estructural buzante al SSE de la zona de Cancha Carrera al nivel de Formación Cerro Cazador. Línea SSE-NNW con sistema de fallas E-O seccionando la estructura para diferentes niveles de la columna. Línea SO-NE cortando el espolón y mostrando la estructura suave que afecta toda la columna. Al oeste se observa un plegamiento con una falla N-S (violeta) de poco rechazo asociado con el tectonismo andino.

el este, dentro del cubo sísmico 3D en el que se basa este estudio y en el sector de Travesía de Arriba, actualmente se preserva un sinclinal regional de eje buzante al sur cuyo flanco oriental pasa transicionalmente al ámbito de plataforma de la cuenca y el occidental hacia el frente andino. La exploración en este sector también prospectaba trampas combinadas: por un lado, una estructura de rollover cretácica, y por otro, los importantes cambios de espesores en la sección cretácica superior.

La adquisición de sísmica 3D aportó una mejor definición del modelo prospectivo. En la parte estratigráfica permitió el mapeo de las sismosecuencias, sus variaciones de espesores, la relación espacial de las terminaciones de reflectores y sus atributos sísmicos. En la parte estructural permitió el mapeo de un complejo entramado

de fallas de naturalezas y edades variadas que afectaron a la región.

La perforación del pozo CC.x-1001 con herramientas modernas de control de pozo y perfilaje ha permitido expandir estratigráficamente las unidades con potencial exploratorio en la zona (Figura 2). Este pozo tuvo como objetivo principal la exploración de los reservorios tight en trampas combinadas con elementos de cierre estructural y estratigráfico. La componente estructural está dada por el espolón característico que existe en la zona y que afecta a todas las unidades atravesadas por los pozos del sector (Figura 10). El espolón se encuentra seccionado por fallas de rumbo E-O que lo cortan en su totalidad, siendo más abundantes y de mayor rechazo para la Formación Tres Pasos. Para las formaciones Monte Chico y Cerro Dorotea las fallas son menos abundantes, pero siguen considerándose un factor crítico para el entrapamiento.

La componente estratigráfica de las trampas varía levemente según los intervalos. Para las formaciones Tres Pasos y Cerro Cazador se considera como más probable un cambio de facies lateral hacia el oeste, desconectándolo de los afloramientos en el sector chileno a 30 km de distancia. Esto está fundado en que no se describen en afloramiento niveles arenosos como los encontrados en la Formación Cerro Cazador en los pozos de Cancha Carrera (apilamiento de arenas de 165 m). A su vez, su alta sobrepresión indica que están desconectados de estos afloramientos. Debido a la falta de información sísmica de calidad entre los pozos y los afloramientos, no se descarta la posibilidad de que un sistema de fallas asociado al frente orogénico funcione como cierre entre estas dos



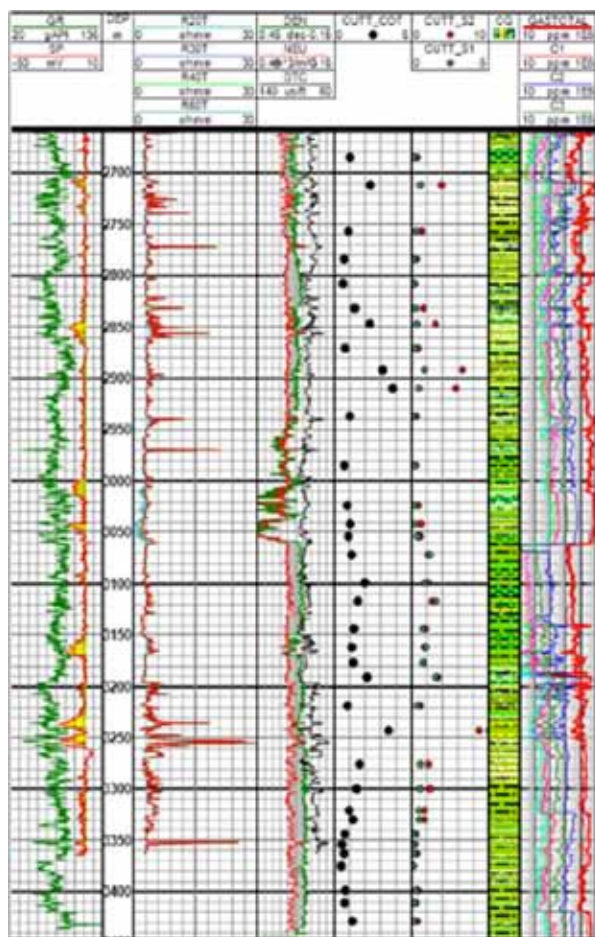


Figura 11. Resultados del análisis de COT y pirólisis realizado sobre muestras de cutting de la Formación Tres Pasos.

zonas. Lo mismo se podría considerar para las formaciones Monte Chico y Cerro Dorotea, aunque en estos casos el cambio de facies hacia el oeste es aún más incierto.

Por último, para los sistemas canalizados de la Formación Río Turbio, el play está probado en TA.x-1, donde se ve una Figura canalizada de orientación NE-SO que atraviesa un anticlinal con eje N-S y cierre en cuatro direcciones. Este mismo play se considera probable en la zona de Cancha Carrera, sumando además cierres contra falla hacia el norte.

Se interpreta que la roca madre para esta zona es la Formación Palermo Aike inferior, principal roca madre de la Cuenca Austral. La migración se considera principalmente vertical, a través del sistema de fallas que caracteriza a este sector. Se considera además una componente de migración lateral asociada a la remigración generada por la estructuración más reciente que afecta toda la columna y genera el espolón de Cancha Carrera.

Otras consideraciones

Sobrepresión

Los datos de presión disponibles de los pozos perforados por YPF y Pérez Companc permitían estimar sobrepresiones de 40-45% para el reservorio de la Formación Cerro Cazador, en CC.es-1 y en TA.x-1001. Durante la

perforación del pozo CC.x-1001 se estimaron rangos de sobrepresión similares a los datos históricos. Puntualmente, la necesidad de densificar se encontró asociada a surgencia en niveles fracturados o a inestabilidad de pozo evidenciado con derrumbe, tendencia a aprisionamiento y pérdida de avance. Las pruebas realizadas con MPD para poder cuantificar la presión de formación no fueron satisfactorias, principalmente debido a lo que se interpretó como efecto de ballooning en secciones abiertas muy grandes y presencia de fracturas naturales e inducidas que generaban pérdidas.

Hasta la fecha, se realizaron tres fracturas con sus respectivos DFIT (Diagnostic Fracture Injection Test) en dos niveles de la Formación Tres Pasos y uno de la Formación Cerro Cazador. La interpretación de estos indicó sobrepresiones del 88%, 100% y 92%, respectivamente. El dato del gradiente realizado para Cerro Cazador luego del *flowback*, indicaría una sobrepresión extrapolada cercana al 70%. En todos los casos se estaría obteniendo un valor muy por encima del considerado inicialmente. En Cancha Carrera esto podría deberse a la calidad del dato original del pozo CC.es-1 de 1973, el cual además muestra que no se alcanzó la estabilización de presión en el build-up. Para el dato del pozo TA.x-1001, se podría considerar que la sobrepresión no es la misma a 25 km del dato obtenido con el CC.x-1001.

Geoquímica de las pelitas de la Formación Tres Pasos

Durante la perforación de la Formación Tres Pasos se identificaron manifestaciones de gas asociadas a niveles de limoarcilita y arcilita, con ocasionales rastros de hidrocarburo y destilación por bitumen. Esto motivó la realización un análisis geoquímico sobre muestras de cutting de la Formación Tres Pasos que incluyó medición de carbono orgánico total (COT), pirólisis y microscopía orgánica. El resultado (Figura 11) mostró valores de COT entre 0,35 % y 3,5% con una media de 1,31% y querógeno tipo III y en menor medida tipo II. La microscopía de cuatro muestras resultó en valores de reflectancia de la vitrinita (%R₀) entre 0,71 y 0,97 para las profundidades entre 2818 y 3425 mbbp. De las cuatro muestras analizadas, tres están compuestas por un 80-95% de material amorfo con fluorescencia, indicando una posible procedencia marina.

Se interpreta que estos delgados niveles con presencia de querógeno habrían aportado una parte, aunque menor, del hidrocarburo presente en esta formación, contribuyendo parcialmente a la sobrepresión total registrada. También cabe destacar que la madurez obtenida contrasta con las profundidades máximas de soterramiento y exhumación que se estimaron antes de la perforación, lo cual motiva una futura revisión del modelado 1D de sistema petrolero.

Otro dato relevante lo aportan los resultados del estudio de isótopos de *mud gas* (Adams y Villar, 2021) tomados a lo largo de la perforación del pozo, donde se reconoció una tendencia inversa a lo esperado normalmente. Se obtuvieron gases menos maduros a mayor profundidad, con un quiebre en las tendencias y valores anómalos para los niveles basales de la Formación Cerro Cazador y la Formación Tres Pasos (secuencia más antigua alcanzada). Esto podría indicar que la generación profunda de la Formación Palermo Aike inferior migró a las secuencias terciarias y a superficie, mientras que la generación de la Formación Tres Pasos ha tenido poca expulsión y solo ha migrado a las unidades que tienen contacto estratigráfico directo (Formación Cerro Cazador). El estudio también podría in-

dicar una migración tardía a los niveles más someros de las formaciones Co. Dorotea y Río Turbio, ya sea desde la Formación Palermo Aike inferior o por remigración asociada a la estructuración más reciente.

Conclusiones

El sector de Cancha Carrera por años ha sido una zona de gran interés para muchos exploradores. Sin embargo, por sus desafíos geológicos, técnicos, climáticos y económicos a tenido muy poca actividad desde los primeros pozos de 1972. El histórico pozo CC.es-1 es ampliamente conocido por haber presentado grandes desafíos operativos y mostrado un interesante potencial para las formaciones Cerro Cazador y Tres Pasos, llevando a varias teorías respecto al sistema petrolero en el sector.

La última campaña de exploración, iniciada en 2018, contó como punto de partida con el primer registro de sísmica 3D en el área, lo que permitió mapear en detalle las estructuras regionales y definir el complejo entramado de fallas de distinta naturaleza, que afectan enormemente al sistema petrolero en este sector. Se pudo diferenciar y caracterizar el sistema de fallas sindeposicionales E-O, acotar su edad y espesamientos asociados. Junto con datos de bioestratigrafía y reprocesamiento de líneas 2D, se logró engranar la columna de este sector con la desarrollada en posiciones más conocidas hacia el este.

La perforación del pozo CC.x-1001 expandió la columna prospectiva, e incluyó como objetivos las formaciones Monte Chico y Cerro Dorotea, incluso hasta niveles canalizados de la Formación Río Guillermo. Además, en el pozo se obtuvo un set de datos completo, con perfiles modernos, muestras de roca y fluidos. El modelo deposicional y esquema estratigráfico muestran para toda la columna una posición más proximal para todo el sector al norte del pozo dentro de los límites de la sísmica 3D, con una esperada mejora de facies reservorio asociada y una posición estructuralmente más alta.

Los datos de presión obtenidos durante las terminaciones de niveles en las formaciones Tres Pasos, Cerro Cazador y Monte Chico muestran una columna sobrepresionada respecto al gradiente normal: entre el 85% y el 100% para los niveles más profundos, un 70% para la arena de la Formación Cerro Cazador y un 30% en la Formación Monte Chico. Estos valores se encuentran muy por encima de lo estimado originalmente con los datos de pozos anteriores de la zona.

Hasta la fecha, no se ha completado la evaluación a través de ensayos de formación del pozo CC.x-1001. Los niveles ensayados de las formaciones Tres Pasos y Cerro Cazador han arrojado caudales no comerciales de gas y condensado. Los datos del citado pozo y su atado sísmico han permitido definir otras posiciones prospectivas hacia el norte, dentro del eje estructural de Cancha Carrera.

Referencias bibliográficas

Adams, J. J. y Villar, H., 2021. Geochemical Characterization of CGC.SCA.CC.x-1001 mud Gases from 1460 to 3460 m



- depth, Austral Basin, Argentina. Stratum – GeolabSur. Reporte interno CGC.
- Aimar, E., Cevallos, M., Cangini, A., Mas Cattapan, F. y Vega, V., 2018. Extensión y desarrollo de los reservorios de baja permeabilidad del yacimiento. Campo Indio, Formación Magallanes (Maastrichtiano tardío – Daniano), Cuenca Austral Argentina. X Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG. Actas Simposio de Desarrollo, 203-220.
- Bauer, B. B., 2012. Stratigraphic evolution of a high-relief slope clinoform system, Magallanes Basin, Chilean Patagonia (Unpublished master's thesis). University of Calgary, Calgary, AB.
- Cagnolatti, M. y Miller, M., 2002. Los reservorios de la Formación Magallanes. En: Schiuma, M., Hinterwimmer, G. y Vergani, G. (eds.), *Rocas reservorio de las cuencas productivas de Argentina*, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, 91-115, Mar del Plata, Argentina.
- Calderón, M., Prades, C. F., Hervé, F., Avendaño, V., Fanning, C. M., Massonne, H. J., Theye, T. y Simonetti, A., 2013. Petrological vestiges of the Late Jurassic–Early Cretaceous transition from rift to back-arc basin in southernmost Chile: New age and geochemical data from the Capitán Aracena, Carlos III, and Tortuga ophiolitic complexes: *Geochemical Journal* (47), 201-217.
- Covault, J. A., Romans, B. W. y Graham, S. A., 2009. Outcrop expression of a continental margin-scale shelf-edge delta from the Cretaceous Magallanes Basin, Chile. *Journal of Sedimentary Research* 79, 523-539.
- Cuitiño, J. I., Varela, A. N., Ghiglione, M. C., Richiano, S., y Poiré, D. G., 2019. The Austral-Magallanes Basin (Southern Patagonia): A Synthesis of its Stratigraphy and Evolution. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* (26) 2, 155-166.
- Daniels, B. G., Hubbard, S. M., Romans, B.W., Malkowski, M.A., Matthews, W. A., Bernhardt, A., Kaempfe, S. A., Jobe, Z. R., Fosdick, J. C., Schwartz, T. M., Fildani, A. y Graham, S. A., 2019. Revised chronostratigraphic framework for the Cretaceous Magallanes-Austral Basin, Última Esperanza Province, Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 94, 102-209.
- Fildani, A. y Hessler, A. M., 2005. Stratigraphic record across a retroarc basin inversion: Rocas Verdes–Magallanes Basin, Patagonian Andes, Chile, *Geological Society of America, Bulletin* (2005) 117 (11-12), 1596-1614.
- Ghiglione, M. C., Likerman, J., Barberón, V., Beatriz Giambiagi, L., Aguirre-Urreta, L. B. y Suarez F., 2014. Geodynamic context for the deposition of coarse-grained deep-water axial channel systems in the Patagonian Andes, *Basin Research* 2014 26 (6), 726-745.
- Hubbard, S. M., Fildani, A., Romans, B. W., Covault, J. A. y McHargue, T. R., 2010. High relief slope clinoform development: insights from outcrop, Magallanes Basin, Chile. *Journal of Sedimentary Research* 80, 357-375.
- Jait, D. M., Cevallos, M., Molinari, M. L., Cangini, A., Mas Cattapan, F. y Vega, V., 2018. Exploración y desarrollo de reservorios de baja permeabilidad de la Formación Magallanes en el Bloque El Cerrito, Cuenca Austral, Argentina. En Cohen, M., Becerra, G., Galarza, T., Limeres, A., Pagliero, P. y Schiuma, A. (Eds.), 10º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos – Simposio de Desarrollo de Hidrocarburos, Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 235-252.
- Malkowski, M. A., Grove, M. y Graham, S. A., 2015. Unzipping the Patagonian Andes-Long-lived influence of rifting history on foreland basin evolution, *Geological Society of America, Lithosphere* 8 (1), 23-28.
- Malkowski, M. A., Schwartz, T. M., Sharman, G. M., Sickmann, Z. T. y Graham, S.A., 2017. Stratigraphic and provenance variations in the earth evolution of the Magallanes-Austral foreland basin: implications for the role of longitudinal versus transverse sediment dispersal during arccontinent collision. *Geological Society of America Bulletin* 129, 349-371.
- Malumián, N., Panza, J. L. A. y Cayetano, P., 2000. Hoja Geológica 5172-III Yacimiento Río Turbio, Servicio Geológico Minero Argentino.
- Mauduit, T. y Brun, J. P., 1998. Development of growth fault/rollover systems. *Journal of Geophysical Research*, 103, 119-18.
- McAtamney, J., Klepeis, K., Mehrtens, C., Thomson, S., Betka, P., Rojas, L. y Snyder, S., 2011. Along-strike variability of back-arc basin collapse and the initiation of sedimentation in the Magallanes foreland basin, southernmost Andes. *Tectonics* 30, TC5001.
- Mpodozis, C., Mella, P. y Pavda, D., 2011. Estratigrafía y Mega-secuencias Sedimentarias en la Cuenca Austral-Magallanes, Argentina y Chile. 8º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio 35, 97-137, Mar del Plata.
- Pérez Panera J. P., Navarrete R. E. y Angelozzi, G. N., 2021. Estudio Bioestratigráfico y Paleoambiental del Pozo CGC. SCA.CC-1001 (Cancha Carrera), Cuenca Austral, Argentina. CGC, Informe Interno.
- Romans, B. W., Fildani, A., Graham, S. A., S. M. Hubbard, S. M. y Covault, J. A., 2010. Importance of predecessor basin history on the sedimentary fill of a retroarc foreland basin: provenance analysis of the Cretaceous Magallanes basin, Chile (50-52°S), *Basin Research* 22, 640-658.
- Shultz, M.R. y Hubbard, S.M., 2005. Sedimentology, stratigraphic architecture, and ichnology of gravity-flow deposits partially ponded in a growth-fault-controlled slope mini basin, Tres Pasos Formation (Cretaceous), southern Chile. *Journal of Sedimentary Research* 75, 440-453.
- Sickmann, Z. T., Schwartz, T. M., Malkowski, M. A., Dobbs, S. C. y Graham, S. A., 2019. Interpreting large detrital geochronology data sets in retroarc foreland basins: An example from the Magallanes-Austral Basin, southernmost Patagonia. *Lithosphere* 11, 620-642.

