

Licenciatura en Ciencias Geológicas

Trabajo Final



**Análisis tecto-sedimentario del área Entre Lomas – El Caracol,  
basado en sismica 3D.**

Estudiante: Villegas, Damián Alejandro

Director: Lic. Arregui, Carlos

Codirector: Lic. Iglesias, Sheyla Elían

Neuquén, Argentina  
Año 2020

## 1 Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis tecto-sedimentario de las áreas Entre Lomas y El Caracol, a partir de datos sísmicos y de pozos. Estas áreas se ubican en el Flanco Oriental o Plataforma Nororiental dentro de la Cuenca Neuquina. Para el análisis se contó con un volumen sísmico de amplitud de las zonas de estudio, información de pozo la cual incluía sus legajos y registros eléctricos. Se realizó la interpretación estructural de las principales fallas, se identificaron distintos límites de secuencias que se propagaron a todo el volumen de amplitud sísmica, y se elaboraron mapas isócronos, isocronopáquicos y de atributos.

Las fallas principales están relacionadas a la etapa de *rift*, las cuales muestran orientaciones NO y ONO. Las primeras han sufrido distintas etapas de reactivación, predominantemente normal e inversa de manera subordinada, alcanzando en el sector Entre Lomas, actividad por encima de la Formación Centenario. Se han identificado anticlinales de distinta magnitud, así como sistemas de fallas en échelon, los cuales muestran una correlación con la ubicación de hemigrábenes menores (ONO). A partir del análisis de los distintos mapas y secciones sísmicas, se concluye que las estructuras desarrolladas durante la etapa de *rift* efectuaron un gran control sobre la distribución de espesores de las distintas formaciones y grupos analizados. A su vez, las fallas de orientación NO jugaron un rol fundamental en el entrapamiento de hidrocarburos.

**Palabras claves:** Entre Lomas, El Caracol, tecto-sedimentario, sísmico, *rift*, flanco oriental.

## **2 Abstract**

The objective of this work was to carry out a tecto-sedimentary analysis of the areas Entre Lomas and El Caracol, using seismic and well data. These areas are located on the East Flank or Northeast Platform within the Neuquén Basin. For the analysis, it was used a seismic volume of amplitude of the studied áreas, well information which included their files and electrical records. The structural interpretation of the main faults was carried out, different sequence limits were identified and propagated to the entire volume of seismic amplitude. Isocron, Isocron thickness and attribute maps were prepared.

The main faults are related to the rift stage, which show NW and WNW orientations. The first have undergone various stages of reactivation, predominantly normal and inversely subordinate, propagating in the Entre Lomas sector, above the Centenario Formation. Anticlines of different magnitudes have been identified, as well as fault systems in échelon, which shows a correlation with the location of minor halfgraben (WNW). From the analysis of the different maps and seismic sections, it is concluded that the structures developed during the rift stage produced a great control over the thickness distribution of the different stratigraphic units analyzed. At the same time, the faults of northwest orientation play a fundamental role in the hydrocarbons entrapment.

**Key Words:** Entre Lomas, El Caracol, tecto-sedimentary, seismic, rift, eastern flank.

### 3 Agradecimientos

- ~ A la Universidad Nacional del Comahue, pública y gratuita, que me brindo la posibilidad de formarme como profesional.
- ~ A todos los profesores de la carrera Licenciatura en Ciencias Geológicas que me educaron y brindaron su conocimiento, haciendo que esta carrera mejore día a día.
- ~ A mi director Carlos Arregui y co-director Sheyla Iglesias, que aceptaron y supieron guiarme por este camino, brindando su tiempo y conocimiento.
- ~ Al jurado evaluador Emiliano Santiago, Nicolás Carrizo y Martin Turienzo, por tomarse el tiempo de corregir este trabajo, y por las devoluciones que permitieron mejorarlo.
- ~ A la Subsecretaria de Energía, Minería e Hidrocarburos de la Provincia de Neuquén, la cual brindo la información sísmica y de pozo para la realización de este trabajo.
- ~ A la empresa Halliburton, quien brindó el *software Decision Space* para el análisis del dato sísmico y por poner a disposición su equipo de soporte técnico.
- ~ A mis compañeros y amigos de la facultad, con quienes he compartido largos momentos, por haber hecho que este pasaje sea más fácil.
- ~ A mi familia, que siempre me apoyo desde el primer día.



1	Resumen.....	1
2	Abstract.....	2
3	Agradecimientos .....	3
4	Introducción .....	6
4.1	Área de estudio .....	6
4.2	Cuenca Neuquina.....	6
4.3	Marco Estratigráfico .....	11
4.4	Marco Estructural .....	14
4.5	Sistema petrolero .....	16
4.5.1	Elementos del sistema petrolero .....	16
4.5.1.1	Rocas generadoras .....	16
4.5.1.2	Reservorios .....	17
4.5.1.3	Trampas .....	18
4.5.1.4	Sellos.....	19
5	Objetivos.....	19
5.1	Objetivo general.....	19
5.2	Objetivos específicos .....	19
5.3	Factibilidad .....	20
6	Marco teórico.....	20
6.1	Sísmica de reflexión .....	20
6.2	Correlación sísmica-pozo .....	23
6.3	Atributos .....	25
7	Metodología.....	26
7.1	Datos de pozo .....	26
7.2	Correlación sísmica-pozo .....	28
7.3	Interpretación de horizontes .....	30
7.4	Interpretación de fallas y discontinuidades.....	33
8	Desarrollo – Resultados .....	34
8.1	Descripción estructural .....	34
8.2	Ciclos sedimentarios.....	45
8.2.1	Precuyano.....	45
8.2.2	Grupo Cuyo – Grupo Lotena .....	48
8.2.3	Formación Tordillo .....	53

8.2.4 Formaciones Vaca Muerta – Quintuco .....	56
8.2.5 Formación Centenario.....	58
9 Historia evolutiva.....	59
10 Consideraciones finales .....	60
11 Conclusiones y recomendaciones .....	62
12 Referencias.....	64
13 Anexos .....	68
13.1 Correlación sísmica - pozo .....	68
13.2 Calculo de rechazo vertical.....	71
13.3 Mapas.....	73
13.4 Lineamientos en el área Entre Lomas.....	75

## 4 Introducción

### 4.1 Área de estudio

El área de estudio se ubica en el sector denominado Flanco Oriental o Plataforma Nororiental dentro de la Cuenca Neuquina. Se encuentra a unos 120km de la capital Neuquina dentro del departamento de Añelo limitando al este con la provincia de Río Negro (Fig. 1).

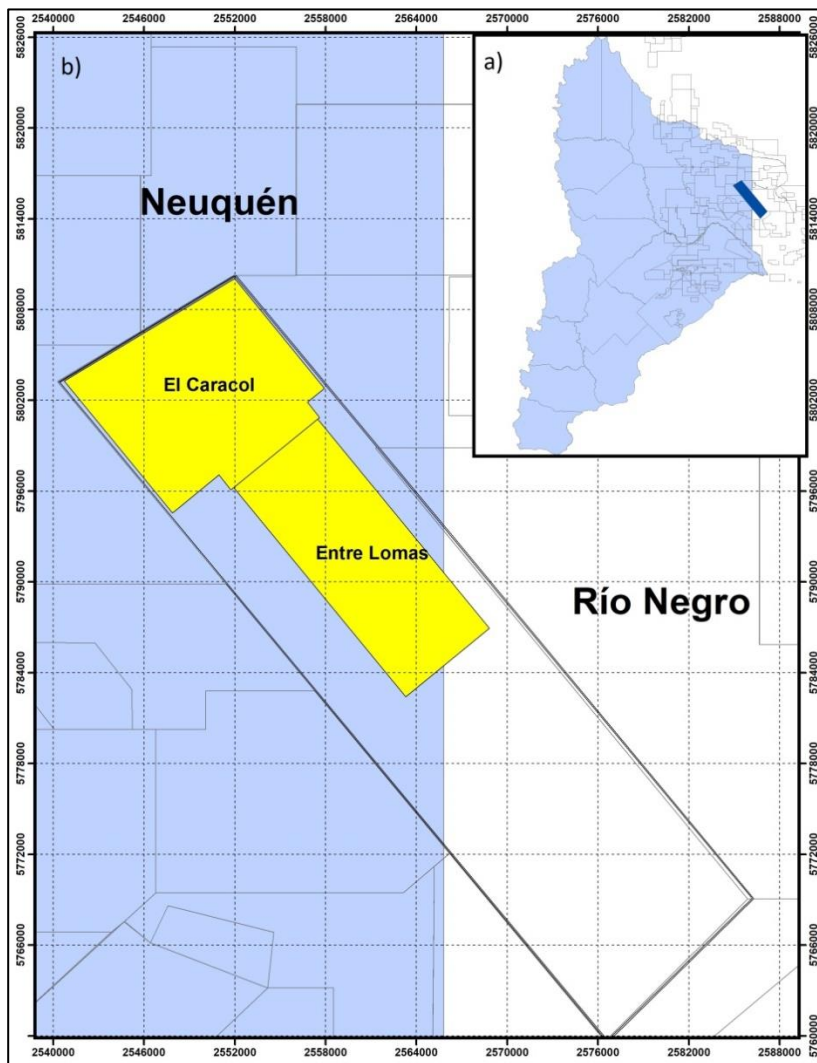


Figura 1. Ubicación del área de estudio (Sistema de proyección POSGAR 94). En a) Concesiones de explotación hidrocarburífera. Mostrando en color azul al Sistema Entre Lomas. b) Adquisiciones sísmicas 3D para los yacimientos El Caracol y Entre Lomas utilizadas en este trabajo.

El primer descubrimiento de hidrocarburos fue realizado por la empresa YPF en los años 60 con la perforación del sondeo EL.x-1 (Entre Lomas). Los niveles productivos incluyen a las Formaciones Punta Rosada, Tordillo y Mb. Inferior de la Formación Quintuco. Los yacimientos de estas unidades están en general en trampas estructurales generadas a través de varias etapas de deformación acaecidas en la región durante el Jurásico y Cretácico.

### 4.2 Cuenca Neuquina

La Cuenca Neuquina es una de las cuencas productoras de hidrocarburos más importantes del país, localizada en el centro-oeste de la República Argentina. Posee una extensión areal de 120.000 km<sup>2</sup> aproximadamente y abarca un gran porcentaje de la

superficie de la provincia de Neuquén, el sector occidental de las provincias de Río Negro y La Pampa y la porción suroccidental de la provincia de Mendoza. Está limitada al nordeste por el Bloque de San Rafael, hacia el sudeste por el Macizo Nordpatagónico y hacia el oeste por la Cordillera Principal y Cordillera Patagónica (Fig. 2).

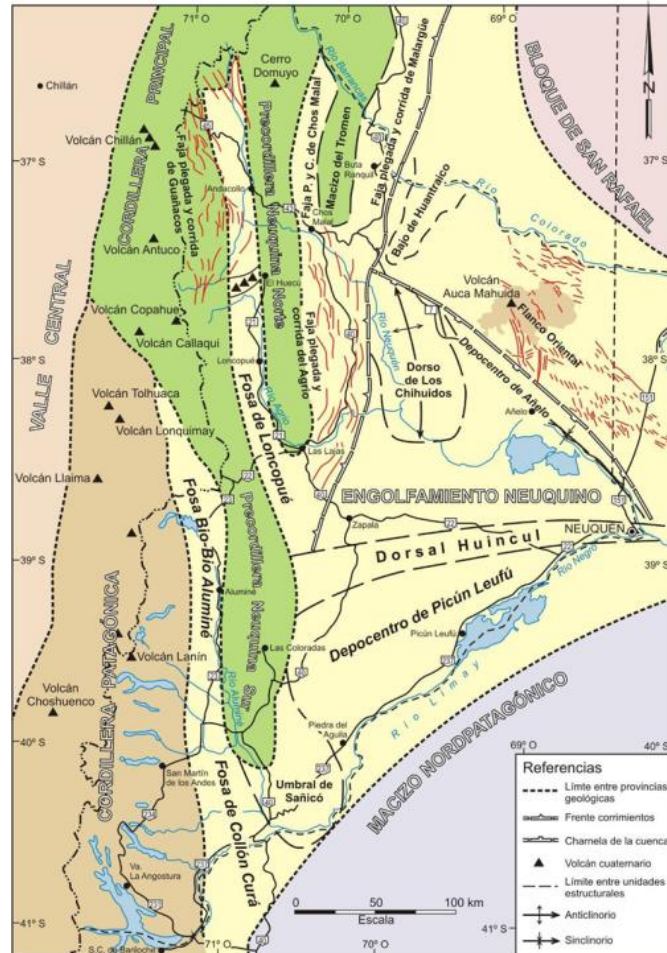


Figura 2. Cuenca Neuquina (extraído Ramos *et al.*, 2011).

De acuerdo a lo expresado por Arregui *et al.* (2011a), se puede resumir el contexto tecto-sedimentario de la Cuenca Neuquina de la siguiente manera:

Su historia como área receptora de sedimentos se inicia en el Triásico Tardío – Jurásico Temprano y desde allí, hasta la formación de la cordillera de Los Andes, acumuló unos 7.000 m de depósitos Jurásicos y Cretácicos.

El sustrato posee una antigua historia de acreción de diferentes terrenos conformados por corteza continental durante el Paleozoico (Fig. 3). Los mismos corresponden a Cuyania, amalgamado en el Ordovícico Medio-Tardío (Astini, 1996), Chilenia (Ramos *et al.*, 1986) que colisionó durante el Devónico Tardío y finalmente Patagonia (Ramos, 1984) que lo hizo durante Carbonífero Tardío a Pérmico Temprano (Rapalini *et al.*, 2010). La colisión de este último generó un frente de deformación, el cual luego de colapsar, dio origen a la provincia magmática Choiyoi durante el Pérmico Tardío, la cual forma parte del basamento de la Cuenca Neuquina. Esta generalizada actividad magmática mesosilícica a silícica se desarrolló durante el Pérmico y parte del Triásico

sobre el margen continental activo del continente de Gondwana (Llambias y Sato, 2011). Durante toda esta etapa la subducción de losa oceánica Pacífica, por debajo de la placa Sudamericana, se interrumpe o disminuye significativamente su velocidad, lo que favoreció la generación de un importante magmatismo bimodal. Este magmatismo continúa durante el Triásico Tardío al Jurásico Temprano, pero ya desarrollado dentro de depocentros aislados de tipo hemigráben limitados por fallas normales, que marcan el fin del ciclo Gondwánico, para dar comienzo al ciclo Andino, y a la etapa de *rift* (Franzese y Sapelletti, 2001; Charrier *et al.*, 2007). Una característica de este ciclo es el desarrollo de un nuevo arco volcánico de orientación meridional que limita una cuenca de tras-arco hacia el este.

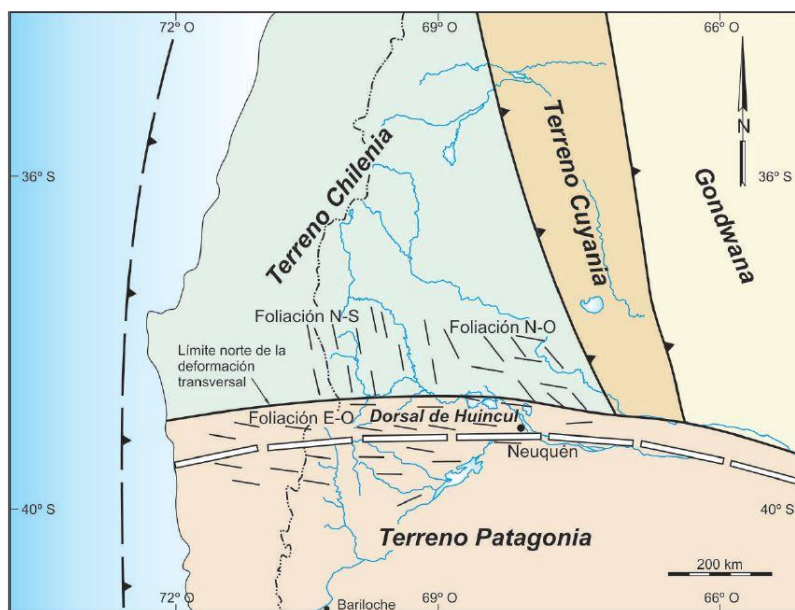


Figura 3. Terrenos alóctonos que conforman el basamento de la Cuenca Neuquina (extraído de Arregui *et al.*, 2011a).

El comportamiento extensional descrito por Uliana *et al.* (1989) para el Jurásico Temprano sigue los patrones establecidos para el Triásico. También Vergani *et al.* (1995) señalan una principal componente de distensión de orientación NE - SO para tiempos del Triásico Tardío – Jurásico Temprano. Este nuevo régimen de extensión más profundo fue el precursor de la subsidencia que constituyó la Cuenca Neuquina. El relleno principal de estos hemigrábenes es de carácter volcánico y volcanoclástico, el cual es denominado Ciclo Precuyano (Gulisano, 1981) (Fig. 4). A partir del Jurásico Temprano y hasta el Cretácico Temprano se suceden una serie de ciclos sedimentarios de diferente magnitud tanto en tiempo como en distribución paleogeográfica y espesores que marcan alternancias de sedimentación marina y continental.

La ingresión marina desarrollada durante el Pliensbachiano – Toarciense (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1995) fue afectada inicialmente por el diseño de los depocentros de la etapa de *rift* en sus espesores y distribución areal. Posteriormente la inundación se expandió en forma más generalizada trasladando los relieves previos.



En tiempos del Jurásico el sector sur de la cuenca influenciado por la Dorsal de Huincul se comportó como un área tectónicamente activa, con un aporte anormal de sedimentos que condicionó durante el Grupo Cuyo una gran progradación de depósitos proximales desde el Jurásico Medio-Temprano, que en el sector norte de la cuenca se manifiesta en el Jurásico Medio-Tardío (Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1995; Arregui *et al.* 2011b, Mosquera *et al.* 2011).

El siguiente ciclo sedimentario, que corresponde al Grupo Lotena (Arregui *et al.*, 2011c) (Fig. 4), experimenta una gran contracción en su área de sedimentación alcanzando la Dorsal con un espesor muy reducido debido a la tectónica intracalloviana (Freije *et al.*, 2011). Luego de un inicio con importantes espesores de areniscas y conglomerados se produce una disminución importante del influjo clástico que permitió el desarrollo de plataformas carbonáticas en su sección media, las que culminan con un episodio evaporítico de gran espesor en la región central de la cuenca. El contraste entre calizas marino normales y espesos paquetes de yeso que se produce indica una fuerte restricción del mar abierto Pacífico. No se descarta que el crecimiento del arco volcánico en el oeste hubiera servido de umbral para la espesa sedimentación evaporítica observada.

A partir de este momento se produce un gran cambio paleogeográfico que fue considerado por numerosos autores como una diferente etapa evolutiva del relleno de la cuenca, el cual fue denominado ciclo Andico (Groeber, 1946), y se ubica por encima de la discordancia Araucánica o Intramálmica, a partir de la cual se desarrolla el Grupo Mendoza (Fig. 4).

Una subetapa comienza en la Cuenca Neuquina con una generalizada continentalización (Formación Tordillo) que posee espesores máximos adosados al arco volcánico y adelgazamiento hacia el antepais. El ciclo marino subsiguiente (Tithoniano-Valanginiano Temprano) representado por la Formación Vaca Muerta y equivalentes (Leanza, 2011) marca la máxima expansión marina dentro del marco de un engolfamiento somero.

En el Valanginiano se desarrolla la Formación Mulichinco (Schwarz *et al.*, 2011), continuando con los depósitos marinos de la Formación Agrío acumulados entre el Valanginiano Tardío y el Barremiano Temprano (Spalletti *et al.*, 2011), con un breve periodo de continentalización correspondiente al Mb. Avilé (Veiga *et al.*, 2011). A partir del Barremiano Tardío y el Aptiano-Albiano, tiene lugar la depositación del Grupo Bajada del Agrío, integrado por las Formaciones Huitrin (Gutiérrez Pleimling *et al.*, 2011, Veiga y Vergani, 2011, Gómez Figueroa *et al.*, 2011, Olea *et al.*, 2011) y la Formación Rayoso (Zavala y Ponce, 2011).

A partir de este momento, la cuenca no vuelve a recibir transgresiones marinas desde el oeste. Luego de la máxima expansión producida a fines del Jurásico o inicios del Cretácico, se genera una disminución progresiva del espacio de sedimentación hasta su definitiva continentalización. El motivo puede encontrarse en el cambio del vector de convergencia de la placa oceánica Aluk, de orientación oblicua al margen continental al



### 4.3 Marco Estratigráfico

El Sistema Entre Lomas conforma un importante umbral en la cuenca, donde se verifica una fuerte reducción de espesores del registro sedimentario (Mosquera y Ramos, 2006), así como la no depositación de ciertas unidades. Dentro del área de estudio no se incluyen algunas de las unidades descritas por Arregui *et al.* (2011a) (Fig. 4), por lo tanto, se decide presentar la columna estratigráfica elaborada por Cruz *et al.* (2002), que resulta más indicada para el sector de la Plataforma de Catriel (Fig. 5).

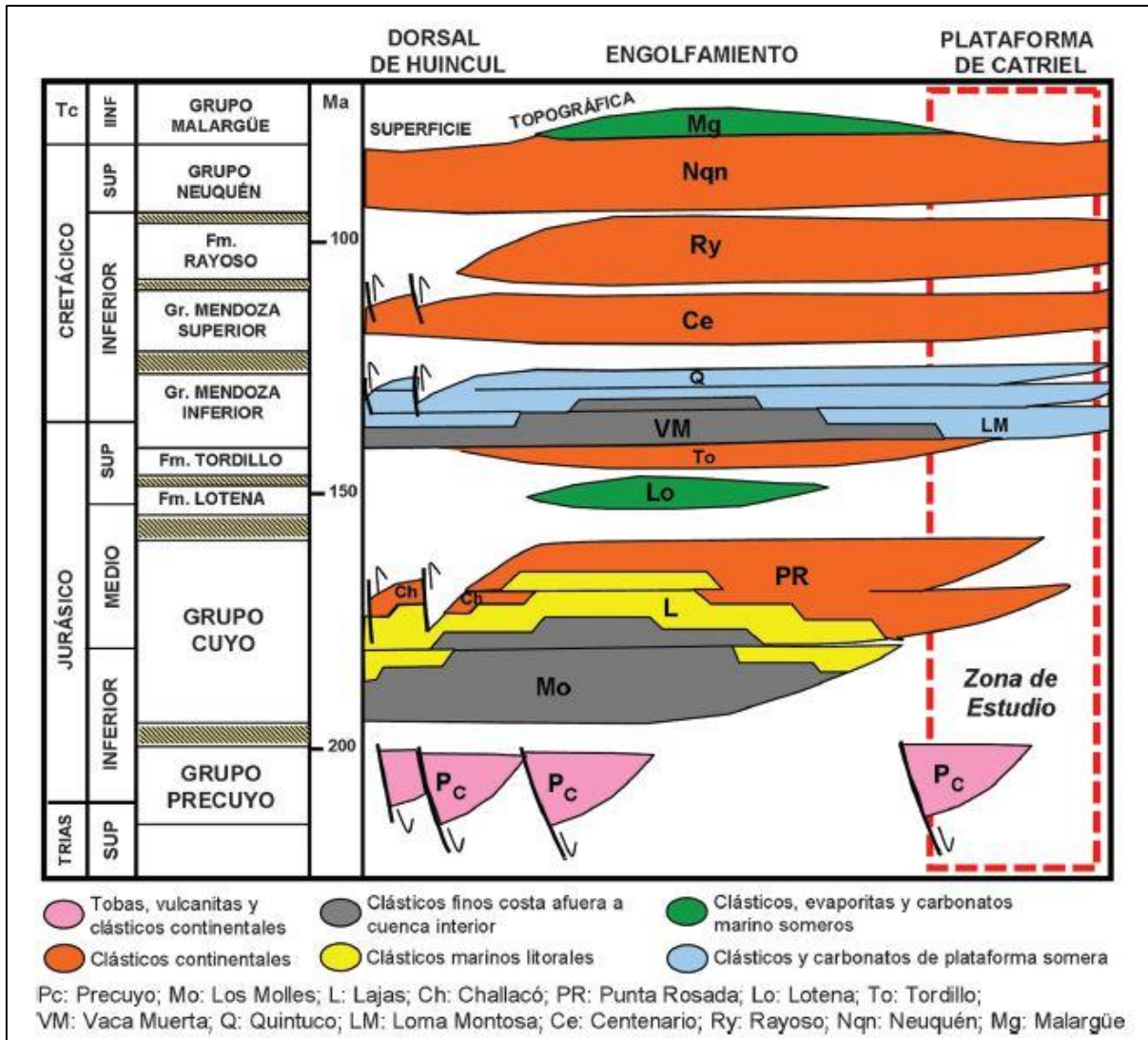


Figura 5. Columna estratigráfica para el área de la Plataforma de Catriel (extraída de Cruz *et al.*, 2014).

A continuación se presenta un resumen de las formaciones y grupos presentes en el área de estudio:

#### Ciclo Precuyano

El término Precuyano fue definido a principios de la década del '80 para agrupar a un conjunto de depósitos de naturaleza piroclástica, volcánica y epiclástica, que conforman parte del relleno inicial de la Cuenca Neuquina. El sector de la Plataforma de Catriel



Fue investigado mediante sondeos de exploración en las proximidades de El Caracol (ECN-1001 El Caracol Norte y EC xp-33 El Caracol). En este último pozo se reconocieron en forma preliminar, de base a techo, las facies volcánicas, tobáceo-ignimbríticas y arcillosas de este ciclo, tentativamente asignadas a las Formaciones Vulcanitas Medanita, Tobas Barda Alta y Planicie Morada (Carbone *et al.*, 2011).

### **Formación Punta Rosada**

Formada por areniscas, conglomerados y pelitas rojas y verdes de ambiente aluvial-fluvial. Fue definida en el subsuelo en el extremo oriental y noreste de la cuenca como los equivalentes continentales del Gr. Cuyo (Arregui *et al.*, 2011b). Los espesores en el subsuelo son de 900 m en Río Neuquén y de unos 350 m en Entre Lomas, adelgazándose hacia el margen de la cuenca. Se le asigna una edad Bajociano tardío - Calloviano temprano.

### **Formación Tordillo**

La Formación Tordillo representa en el subsuelo de la Cuenca Neuquina a las sedimentitas arenosas y conglomerádicas que se alojan entre la discordancia Intramálmica y las margas bituminosas de la Formación Vaca Muerta. Alcanza espesores superiores a 350 metros en la zona central de la cubeta (Maretto *et al.*, 2002).

En algunos sectores de la Cuenca Neuquina han recibido otras denominaciones, como Formaciones Sierras Blancas y Catriel (Digregorio 1972) en el subsuelo del Engolfamiento Neuquino (Fig. 3), la primera constituida por areniscas de grano mediano a grueso, verdosas y rojizas de líticos volcánicos, feldespato y cuarzo. La segunda desarrollada en una extensión areal más amplia y compuesta por areniscas finas a medianas de típica coloración verdosa debido a la abundancia de clorita autigénica en el material intersticial entre los granos.

En el área de estudio esta formación está integrada por areniscas y conglomerados de ambiente fluvial, y por areniscas finas-medias de ambiente eólico, alcanzando espesores de 100-180 m (Arregui *et al.*, 2005).

### **Ciclo Vaca Muerta – Quintuco**

Este ciclo conforma un evento transgresivo-regresivo que cubre toda la cuenca conformando un sistema petrolero y representa un contexto depositacional de cuenca marina con fondo euxínico, circundada por un estrecho cinturón nerítico sometido a sedimentación carbonática y terrígena (Olmos *et al.*, 2002). En el sector de Entre Lomas, partir del informe de control geológico de pozo PPC.Nq.EL-10G (Entre Lomas 10G) se determinó que la Formación Vaca Muerta se compone principalmente de margas de color castaño grisáceo con espesores de 222 m y la Formación Quintuco alcanza espesores de 249 m y se compone de calizas y en menor medida limoarcilitas calcáreas. A su vez, esta última formación puede ser dividida en 3 miembros. El Mb. Inferior se inicia con calizas de plataforma interna (transición con la Formación Vaca Muerta), pasando a conglomerados calcáreos y calizas dolomíticas (intervalo productivo) junto a evaporitas y calizas oolíticas proximales que completan 140 m de

espesor. Continúan pelitas y arcilitas calcáreas verdosas del Mb. Medio (70 m) constituyendo un sello eficiente para los niveles inferiores. Culmina con 140 m de calizas oolíticas de plataforma, packstones esqueléticos y calizas arenosas grises correspondientes al Mb. Superior.

### **Formación Centenario**

Es una potente sucesión de sedimentos terrígenos clásticos rojizos distribuida en los sectores central y de plataforma de la Cuenca y que, hacia el oeste, pasan transicionalmente a facies deltaicas, marino profundas, litorales conocidas como Formación Mulichinco, Agrio, Huitrín y Rayoso Inferior (Cabaleiro *et al.*, 2002). En esta unidad se reconocen 2 miembros. El Miembro Inferior (Valanginiano Superior-Hauteriviano Inferior) se caracteriza por una alternancia de areniscas y pelitas depositadas en ambientes litorales, deltaicos y fluviales que hacia el este se hacen más gruesos y dominados por depósitos fluviales. Por su parte, el Miembro Superior abarca el resto del Hauteriviano y comprende una secuencia basal pelítica transgresiva con niveles de areniscas para terminar con facies fluviales. A partir del informe de control geológico del pozo PC.Nq.EL-3G (Entre Lomas 3G) se pudo determinar que se compone principalmente de areniscas de color gris blanquecino con intercalaciones delgadas de arcillitas verdosas, alcanzando en total un espesor de 800 m (Arregui *et al.*, 2005).

### **Formación Rayoso**

Está compuesta por areniscas finas, limolitas, carbonatos y evaporitas acumulados en un medio predominantemente continental durante el Cretácico Tardío (Barremiano-Aptiano). El origen de estos depósitos ha sido relacionado a un sistema lacustre con salinidad variable, afectado por descargas hiperpícnicas (Zavala *et al.* 2011). En el área de trabajo, alcanza espesores de 50 hasta 80 m, y se compone de areniscas y conglomerados rojizos blanquecinos (Arregui *et al.*, 2005).

### **Grupo Neuquén**

Este grupo conforma una sucesión de depósitos continentales de origen fluvial, eólico y lacustre somero, desarrollado en la Cuenca Neuquina entre el Cenomaniano Temprano y el Campaniano Medio (Cretácico Superior). Se encuentra constituido por 3 subgrupos denominados Rio Limay, Rio Neuquén y Rio Colorado. En el sector de estudio se compone por areniscas y arcilitas de color rojo-violáceo, alcanzando un espesor de 800 m (Arregui *et al.*, 2005).

### **Grupo Malargüe**

En el área de estudio esta unidad se compone de depósitos de arcilitas verdosas y amarillentas junto con calcáreos blanquecinos y evaporitas, alcanzando los 150 m de espesor. Desarrollados durante el Maestrichtiano - Daniano a causa de la primer ingresión marina proveniente del este (Arregui *et al.*, 2005).

#### 4.4 Marco Estructural

El Sistema Entre Lomas, también conocido como Eje Charco Bayo - El Caracol forma parte de la Plataforma Nororiental de la Cuenca Neuquina. Comprende una serie de anticlinales generados al hombro de fallas normales de rumbo noroeste-sudeste (El Caracol, Entre Lomas, Piedras Blancas y Charco Bayo), los cuales constituyen los principales yacimientos de hidrocarburos de este sector (Fig. 6) y estructuras menores de rumbo E - O (Rodríguez *et al.*, 2007).

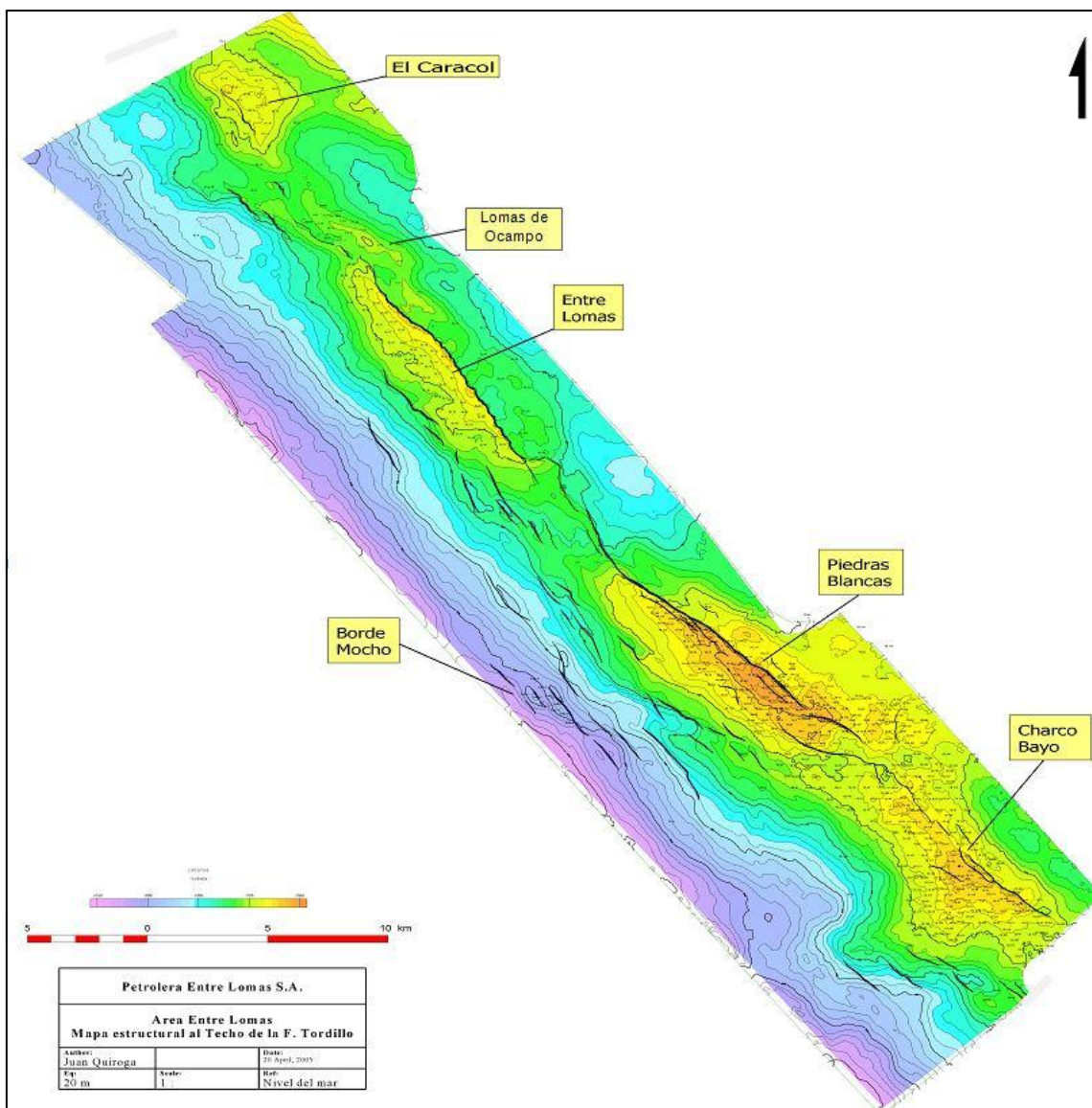


Figura 6. Mapa estructural al techo de la Formación Tordillo del Sistema Entre Lomas mostrando los principales lineamientos (modificado de Arregui *et al.*, 2005).

Este eje de deformación está alineado regionalmente con el sistema de fallas de Estancia Vieja, considerado como parte del sistema de Huincul (Rodríguez *et al.*, 2007). Su localización y orientación están estrechamente vinculadas con la sutura entre los terrenos Cuyania y Chilenia, y con la fábrica original de tendencia noroeste que presenta este último bloque de basamento (Mosquera y Ramos, 2006).

La estructura Entre Lomas corresponde a un conjunto de fallas normales de orientación noroeste activas durante el Triásico Superior – Jurásico Inferior que inclinan hacia el noreste. Ésta, se encuentra segmentada en tramos de menos de 15 km de largo por fallas de orientación oeste-noroeste activas durante el Triásico Superior – Jurásico Inferior que se curvan al acercarse a la estructura de Entre Lomas. Sobre estas últimas se desarrollaron durante el Jurásico Superior – Cretácico Inferior fallas normales de menor importancia que se disponen en échelon sobre las anteriores, y cuando lo hacen sobre las de rumbo noroeste lo hacen en forma paralela (Cristallini *et al.*, 2009).

Cristallini *et al.* (2006, 2008 y 2009) han cartografiado los principales grábenes, hemigrábenes, fallas y zonas de transferencia de la etapa extensiva en el sector oriental de la cuenca Neuquina, identificando 2 poblaciones bien marcadas (Fig. 7). La primera de ellas (población noroeste) está compuesta por fallas con direcciones azimutales superiores a  $130^\circ$  y en general acomoda grábenes y hemigrábenes bien profundos y de mayores dimensiones (Entre Lomas y Estancia Vieja). La segunda población (oeste-noroeste) posee una dirección azimutal inferior a los  $110^\circ$  y en general menos profundas (Loma La Lata, Agua del Cajón, Lindero Atravesado, Bandurria, etc). En el sector Entre Lomas se ha podido observar que la segunda población (oeste-noroeste) corta y modifica a la primera (noroeste). Este esquema estructural desarrollado durante el Precuyano tendrá consecuencias y controlará fuertemente la estructura y sedimentación hasta la actualidad.

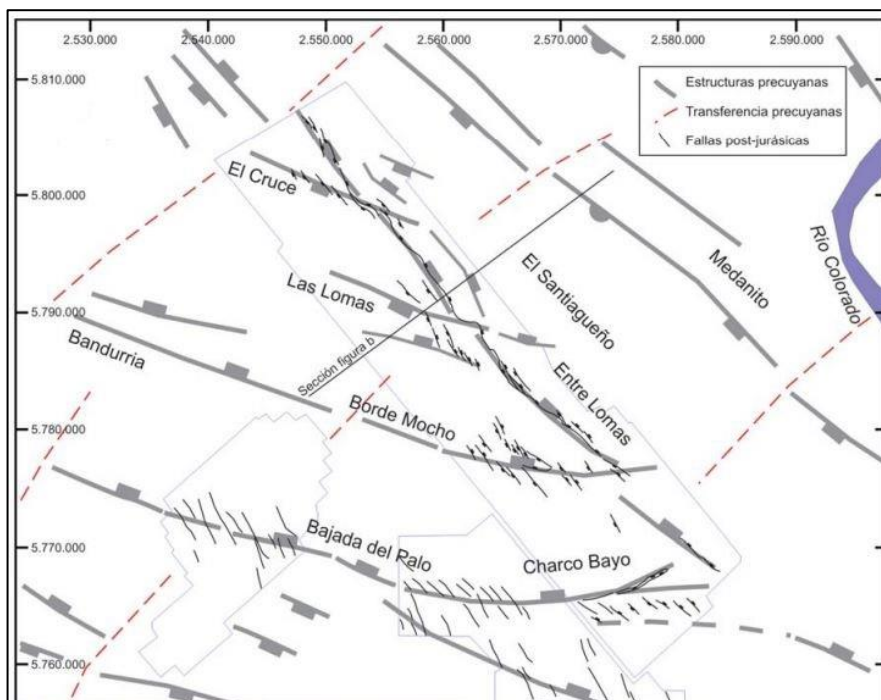


Figura 7. Mapa de la región de Entre Lomas donde se muestran las principales fallas y zonas de transferencia precuyanas (en gris) y las fallas normales jurásico-cretácicas (en negro) (modificado de Cristallini *et al.*, 2009).

Una vez finalizado el periodo extensional Precuyano, la cuenca ingresa a un estadio de subsidencia térmica generalizada (Turic *et al.*, 1987) en el que debe hundirse uniformemente. Sin embargo, la presencia de un sustrato desparejo, con grandes variaciones de espesor de los depósitos precuyanos, provoca un efecto de subsidencia irregular por compactación diferencial del relleno de las cubetas. Esto produce un



estiramiento y contracción de las capas que se encuentran por encima de los hemigrábenes que se fracturan en los sectores de máxima tensión (Cristallini *et al.*, 2009).

Para explicar la disposición en échelon de las fallas normales jurásico – cretácicas, autores como Pángaro y Bruveris (1999) proponen una reactivación *strike slip* de rumbo dextral sobre las fallas Precuyanas, originada por la influencia de la Dorsal de Huincul. Sin embargo Cristallini *et al.* (2009) propone una superposición en el campo de esfuerzos regional durante el Jurásico Superior – Cretácico Inferior, en que el esfuerzo principal máximo ( $\sigma_1$ ) estuvo en la vertical, el intermedio ( $\sigma_2$ ) en la dirección noroeste y el mínimo ( $\sigma_3$ ) en la dirección noreste, y un campo local producido por la subsidencia diferencial. El primero controló las direcciones y el segundo los agrupamientos de fallas.

Mosquera y Ramos (2006), establecen que la deformación contraccional en el sistema Entre Lomas comenzó con una inversión transpresional y segmentación de los depocentros del Grupo Precuyo durante la depositación del Grupo Precuyo Superior. En general, la etapa jurásica se caracterizó por la elevación del flanco occidental del sistema Entre Lomas y una inversión tectónica menor en las porciones central y oriental de la cuenca. Por lo tanto, este sector es interpretado como un sistema *left-lateral strike-slip* en donde los hemigrábenes fueron invertidos por transpresión. La etapa tardía del Cretácico temprano se caracterizó por una inversión más pronunciada y generalizada de los sistemas de hemigrábenes Jurásicos. Se formaron anticlinales estrechos y simétricos, así como narices estructurales, y los hemigrábenes de orientación NO se invirtieron fuertemente, creando discordancias locales y patrones estratocrecientes. Durante la etapa Cretácica Tardía se produjo un periodo de calma tectónica.

La deformación del Mioceno reactivó fuertemente el proceso de inversión y dio como resultado el plegamiento de la discordancia Intracenomaniana y del Grupo Neuquén. En el Plioceno, muchas estructuras como los sistemas Entre Lomas y Loma Montosa experimentaron colapso extensional (Arregui *et al.*, 1996).

## **4.5 Sistema petrolero**

El área Entre Lomas constituye una concesión de explotación que contiene una serie de estructuras que conforman los principales yacimientos de hidrocarburos del sector, los mismos corresponden a Charco Bayo, Piedras Blancas, Entre Lomas y El Caracol, estos últimos dos, se ubican en el área de estudio del presente trabajo. A continuación se presenta un resumen del trabajo de Arregui *et al.* (2005):

### **4.5.1 Elementos del sistema petrolero**

#### **4.5.1.1 Rocas generadoras**

La Formación Los Molles tiene su límite deposicional en el ascenso desde el eje del Engolfamiento hacia el alto estructural (Entre Lomas), alcanzando valores levemente por encima de 1% Ro (Cruz *et al.*, 2002), aunque los datos con que se cuenta son

escasos para obtener conclusiones de mayor relevancia. La Formación Vaca Muerta ha generado la mayor parte de los hidrocarburos del área. Alcanza espesores de 150 m. y su madurez térmica varía mayormente en rangos de Ro (reflectancia de vitrinita) para el área Entre Lomas entre 0.7 y 1.0% siendo menor a 0.7% para sectores como el flanco norte de la Dorsal debido al levantamiento acaecido durante el Cretácico superior o al escaso soterramiento como en el eje El Caracol – Charco Bayo (Cruz *et al.*, 2002).

Para los hidrocarburos de la Formación Vaca Muerta se proponen distancias de hasta 80-100 km. de migración lateral desde el Engolfamiento (Cruz *et al.*, 2002; Lagarreta *et al.*, 2005), lo cual estuvo favorecido por la presencia de un excelente *carrier* correspondiente a los niveles de areniscas permeables de la Formación Tordillo y en forma secundaria por los depósitos de calizas dolomíticas y areniscas calcáreas de la Formación Quintuco (Fig. 8) (Mosquera *et al.*, 2008).

La migración lateral de los hidrocarburos de la Formación Los Molles se habría producido a través de un sistema de *carriers* constituido por los sistemas de lóbulos de plataforma y braid-deltas del Grupo Cuyo Inferior los cuales muestra una continuidad regional a lo largo de la transición entre el Engolfamiento y la Plataforma de Catriel, mostrando un desarrollo comprobado hacia el centro de cuenca de 10 km. y sugerido de hasta 20 km (Mosquera *et al.*, 2008) (Fig. 8).

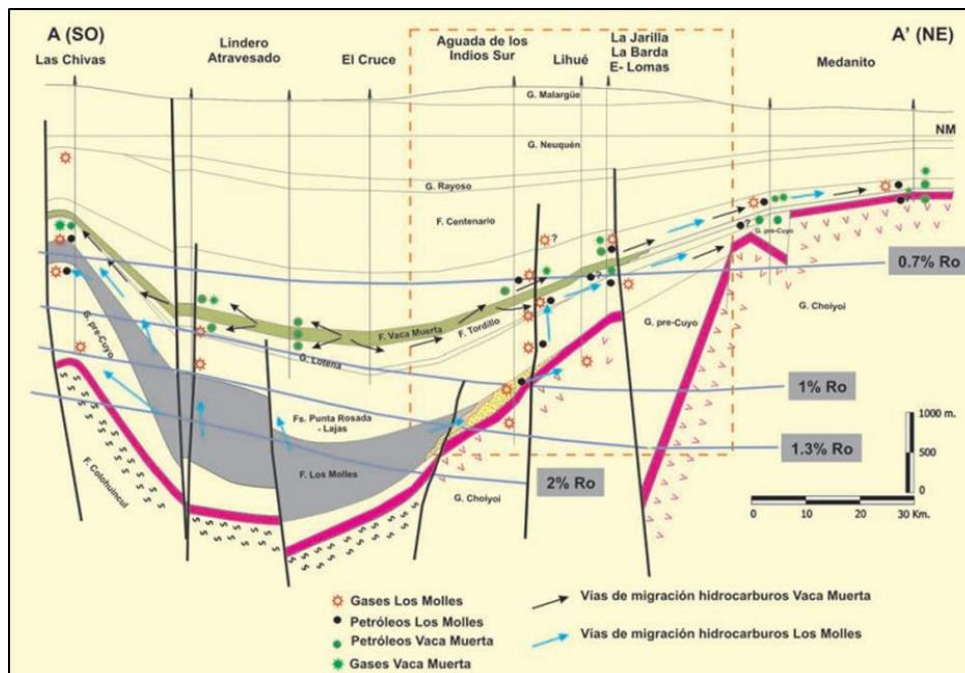


Figura 8 Sección esquemática mostrando los patrones de migración de los sistemas Vaca Muerta y Los Molles en el flanco norte de la Dorsal de Huincul, centro de cuenca y plataforma de Catriel. Nótese los patrones de migración lateral del sistema Los Molles en el flanco de la plataforma de Catriel (extraído de Mosquera *et al.*, 2008).

#### 4.5.1.2 Reservorios

En el yacimiento Entre Lomas el reservorio más profundo corresponde a la Formación Punta Rosada, compuesta por areniscas medianas a gruesas y conglomerados castaño

rojizos y rosados alternando con espesos paquetes de fangolitas y areniscas finas de ambiente fluvial con buenas condiciones petrofísicas, productoras principalmente de gas en el bloque bajo del yacimiento. Los cuerpos permeables suelen tener hasta 5 m. de espesor y geometría lenticular, alcanzan extensiones superiores a los 5 km., y valores de porosidad y permeabilidad promedio entre 16-23% y 10-300 mD respectivamente.

La Formación Sierras Blancas presenta facies de areniscas finas y medias de origen eólico, poseen una porosidad entre 14-18% y permeabilidad de 1-10 mD. En el área estudiada no hay registro de producción de esta formación en los pozos perforados.

El Mb. Inferior de la Formación Quintuco es el principal reservorio de petróleo. Comienza con litofacies de *floatstones* bioconstruidos correspondientes a una plataforma somera con niveles de tormenta, sobre la que se desarrollan conglomerados calcáreos y *grainstones* peletoidales pertenecientes a un sistema de barras costeras. Los componentes más gruesos que concentran la mayor producción de hidrocarburos están constituidos por rodados de rocas volcánicas y restos de ostréidos. Los rangos de porosidad y permeabilidad promedios varían en cada una de las facies, con valores de 16-22% y 50-500 md en los depósitos gruesos que son los principales reservorios.

Para el yacimiento El Caracol, la Formación Quintuco y su Mb. Inferior constituyen la sección productiva, el cual es dividido en 2 ciclos. El ciclo inferior, corresponde a una caliza arenosa gris claro, fosilífera, cuyo cemento predominante es calcita con escaso porcentaje de dolomita y anhidrita, y alcanzando valores de porosidad y permeabilidad de 10 % y 5 mD., respectivamente. La facies de calizas, que integran el ciclo superior, están compuestas por fragmentos de braquiópodos, equinodermos y ostrácodos cementados por calcita, principalmente micrita, gradando hacia niveles superiores, a un conglomerado calcáreo gris rojizo con clastos de vulcanitas ácidas, piroclastitas y granitoides, en menor medida bioclastos y pellets con cemento esparítico. Este nivel desarrolla óptimas condiciones petrofísicas, alcanzando valores porosidad del 16-24% y de permeabilidad de 600-1000 mD.

#### **4.5.1.3 Trampas**

El máximo estructural del yacimiento Entre Lomas está generado por la reactivación de una falla extensional del basamento. El bloque elevado desarrolla un hemianticlinal de 12 km. de largo por 1 km. de ancho. En este sector se pueden delinear 3 ámbitos diferentes referidos al fallamiento principal. El bloque alto, que constituye un entrampamiento primario pendiente arriba con sello contra la falla, en donde se concentra la producción de petróleo para este yacimiento. El bloque bajo, presenta un alineamiento de altos relativos sobre el que se desarrollan producciones de gas de la Formación Punta Rosada, esta acumulación constituye un yacimiento independiente generado por un sistema petrolero de edad Jurásica Inferior –Medio (Arregui *et al.*, 1996). Dentro de la misma área, en su extremo Noroeste (Lomas de Ocampo) existen excelentes producciones de petróleo de la Formación Quintuco en niveles estratigráficamente equivalentes a los del labio alto de la estructura.

La estructura de El Caracol ha sido generada sobre un antiguo hemigráben, invertido por una falla normal con bloque bajo al sudoeste. Debido a que el reservorio principal está restringido a un solo banco carbonático con diseño de isla barrera, se estima que su presencia constituye un factor crítico para la existencia de la acumulación, por lo que se concluye la existencia de un entrapamiento de tipo combinado.

#### **4.5.1.4 Sellos**

En el yacimiento Entre Lomas, por encima de la Formación Punta Rosada se desarrolla un nivel de pelitas castaño rojizo de 50 m. de espesor con características de sello regional, alternando con areniscas y conglomerados lateralmente discontinuos. Informalmente se conoce a esta sección como Formación Punta Rosada Superior. Los horizontes productivos del Mb. Inferior del Formación Quintuco se hallan limitados al tope por un paquete de arcilitas verdes de 90 m. de espesor asignados al Mb. Medio de la misma unidad.

Al igual que en el yacimiento Entre Lomas, el Mb. Medio de la Formación Quintuco, actúa como sello para los niveles productivos del yacimiento El Caracol, impidiendo la fuga de los hidrocarburos en sentido predominantemente vertical.

## **5 Objetivos**

### **5.1 Objetivo general**

Análisis evolutivo de las etapas del relleno mesozoico en el sistema Entre Lomas, su relación con la actividad tectónica regional y su caracterización en función de su importancia por los enormes volúmenes de hidrocarburos que contiene dentro de los sistemas petroleros presentes.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Realizar una correlación entre la información sísmica y de pozo.
- Identificar a través de la información de pozo los distintos niveles, para así interpretarlos en todo el volumen sísmico. Interpretar las principales fallas y discontinuidades.
- Elaborar mapas isócronos e isocronopáquicos que permitan identificar algún control geológico sobre su depositación.
- Analizar secciones sísmicas horizontalizadas que muestren rasgos estratigráficos y estructurales.
- Comprender la evolución tectosedimentaria de la zona en base a las relaciones estratigráficas y características estructurales de los horizontes interpretados.
- Analizar la influencia de la mencionada evolución en la génesis de las acumulaciones de hidrocarburos presentes y plantear las posibles perspectivas de hallazgo de otras nuevas.



### **5.3 Factibilidad**

A través de convenio existente entre la Universidad Nacional del Comahue y la Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos de la Provincia de Neuquén, se tuvo acceso al cubo sísmico 3D de las áreas Entre Lomas – El Caracol, así como a los legajos de pozo y perfiles eléctricos.

El análisis de la información sísmica se pudo llevar a cabo utilizando el *software Decision Space*, provisto por la empresa Halliburton, a través de un convenio establecido con la Universidad Nacional del Comahue.

El espacio físico donde se realizó el trabajo fue en el “Laboratorio de Aplicación de Geociencias” del edificio de Geología en la Universidad Nacional del Comahue, y el *hardware* fue donado por la empresa YPF.

## **6 Marco teórico**

### **6.1 Sísmica de reflexión**

El método de sísmica de reflexión constituye una de las herramientas más importantes para la exploración del subsuelo, ya que nos permite conocer en profundidad la forma y disposición de las diferentes unidades geológicas, a través de mediciones en superficie.

Los estudios de prospección se dividen en tres etapas fundamentales:

1. **Adquisición**: Esta etapa consiste en medir el tiempo de tránsito de un frente de onda generado mediante una fuente de energía apropiada, para el caso de la sísmica terrestre las fuentes corresponden a camiones vibradores o explosivos, colocada en superficie o cercana a la misma, que se refleja en las distintas interfaces del subsuelo y vuelven a la superficie donde son captadas por sensores especiales (geófonos) (Fig. 9) dispuestos en línea recta (2D) o según el diseño preestablecido (3D). A partir del momento en que se activa la fuente de energía, se graban todos los eventos que arriban a los sensores, durante un periodo tal que cubra el tiempo de ida y vuelta de la energía sísmica a los objetivos de interés; esto genera un registro sísmico con datos asociados a las diversas interfaces geológicas del subsuelo. Los datos recibidos por los geófonos son enviados mediante cables a un sismógrafo, donde son grabados en formato digital para su posterior procesamiento.
2. **Procesamiento**: Esta etapa consiste en la aplicación de una serie de algoritmos matemáticos para el ordenamiento y corrección de los datos adquiridos en el campo, con el fin de obtener secciones sísmicas (2D) o un volumen sísmico (3D) de calidad, con una alta relación señal/ruido, con el mayor rango de frecuencias posibles y con el mejor enfoque a la zona de interés. Considerándose como ruido a toda señal que no corresponda a las reflexiones primarias (onda reflejada) (Fig. 10).

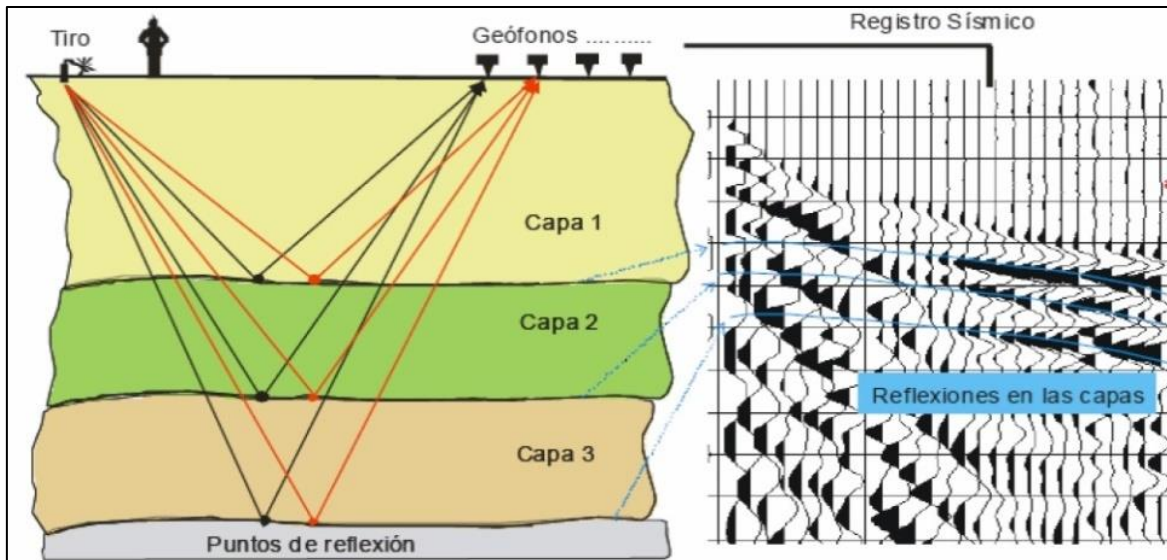


Figura 9. Esquema de la relación de los rayos reflejados en las distintas capas del subsuelo y su registro sísmico.

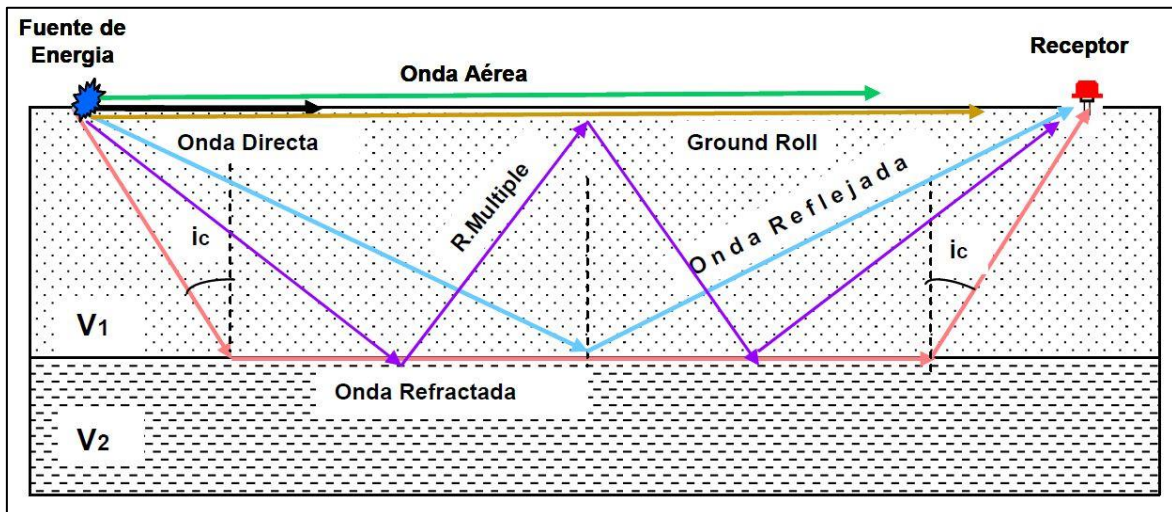


Figura 10. Distintas ondas sísmicas generadas en superficies y sus reflexiones en el subsuelo durante la registración sísmica.

3. Interpretación: tiene por objetivo transformar las imágenes sísmicas en imágenes geológicas, analizando los cambios de impedancia acústica del subsuelo a partir del análisis e interpretación de secciones sísmicas o cubos sísmicos.

El método sísmico se basa en las siguientes leyes o principios:

Principio de Fermat: “El trayecto seguido por la luz al propagarse de un punto a otro es tal que el tiempo empleado en recorrerlo es un mínimo”.

Principio de Fresnel – Huygens: Todo punto de un frente de onda inicial puede considerarse como una fuente de ondas esféricas secundarias que se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda que el frente de onda del que proceden. Se conoce con el nombre de rayos a las líneas perpendiculares a los sucesivos frentes de onda, tales líneas corresponden a las trayectorias de propagación de las ondas.

Ley de Snell: Permite explicar los fenómenos de refracción y reflexión de la luz, al igual que como ocurre con las ondas acústicas, al atravesar una superficie de separación entre dos medios de distinta velocidad. Cuando una onda viaja a través de un medio e incide sobre una interfase que lo separa de otro medio con distintas propiedades elásticas, en general, parte de la energía es reflejada y otra parte refractada. Si se consideran 2 medios con velocidades  $V_1$  y  $V_2$ , para un rayo de luz con un ángulo de incidencia  $A$  en el primer medio, ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de propagación del rayo, se tendrá otro rayo que se refleja en el medio 1 con el mismo ángulo  $A$ , y un rayo que se refracta en el medio 2 con un ángulo  $B$ , el cual se obtiene por medio de la ley de Snell (Fig. 11):

$$\frac{\sin A}{V_1} = \frac{\sin B}{V_2}$$

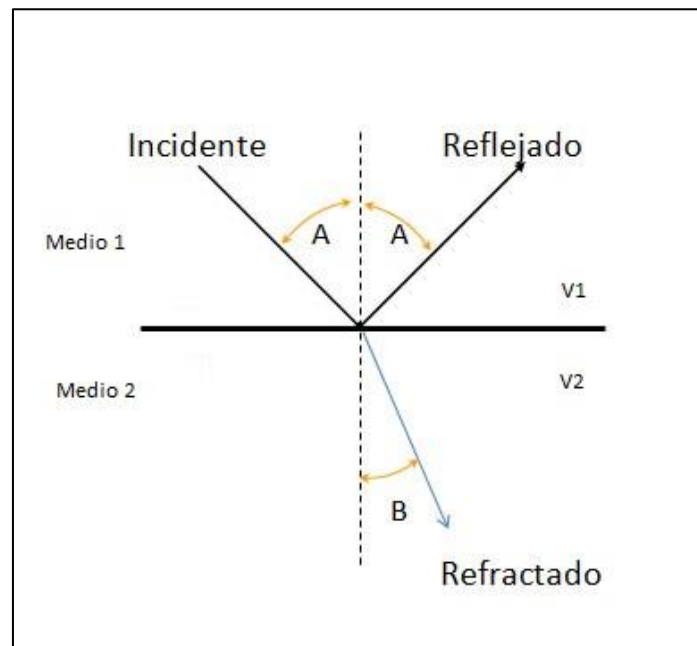


Figura 11. Ley de Snell

Existe un caso particular de la ley de Snell y ocurre cuando el ángulo refractado es de  $90^\circ$ . En este caso, el ángulo incidente es denominado “ángulo crítico” y la onda se transmite por la interfase. Este caso sólo es posible si se presenta cuando  $V_1 < V_2$  (Fig. 11). Al transmitirse por la interfase, de acuerdo al principio de Fermat, lo hace con la velocidad del medio 2 y, de acuerdo al principio de Fresnel – Huygens, se generan múltiples rayos hacia la superficie, cuyo ángulo coincide con el ángulo crítico (pues debe satisfacer la ley de Snell).

Impedancia Acústica (Z): Es la resistencia que presenta un medio, a que las ondas se propaguen en él. En el caso de las rocas este puede definirse como el producto de la velocidad ( $V$ ) con la que una onda se propaga en ellas y su densidad ( $\rho$ ). A su vez estos

parámetros dependen de la litología, porosidad, tipo de fluido dentro de la roca, estado de compactación, temperatura, entre otros. La fracción de la energía sísmica que es reflejada puede ser calculada a partir del Coeficiente de Reflexión (CR), el cual depende del contraste de impedancia acústica ( $Z$ ) entre dos medios.

$$Z = V \times \rho$$

$$V = \text{Velocidad (m/seg)}$$

$$\rho = \text{Densidad (gr/cm}^3\text{)}$$

$$CR = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Siendo 1 y 2 diferentes medios, en el esquema de la Fig. 11.

## **6.2 Correlación sísmica-pozo**

Para la integración del dato de pozo con el registro sísmico 3D es necesario correlacionar la información de pozo, que está en profundidad (metros), con el dominio de la sísmica que se encuentra en tiempo (segundos). Esta correlación puede llevarse a cabo a partir de distintos métodos: registro del Perfil Sísmico Vertical, Prueba de Velocidad (*Check-Shots*) o a partir de la integración del perfil sónico y de densidad, mediante la generación de un sismograma sintético (Fig. 12), estos 3 métodos nos permiten generar un ley de velocidad. En este trabajo se utilizó el último método, mediante el cual se generó un sismograma sintético, el mismo se puede considerar como la convolución entre un pulso sísmico de entrada (ondícula) y los coeficientes de reflexión correspondientes a las interfases atravesadas, también llamada “función de reflectividad”. Esta última está constituida por una serie de picos cuya amplitud es proporcional al coeficiente de reflexión de cada interfase y cuyo tiempo es el de la onda reflejada allí (ida y vuelta) (Kearey *et al.*, 2002). Por lo tanto la función de reflectividad representa los contrastes de impedancias acústicas en el medio estratificado. Los valores de impedancia acústica necesarios para obtener la función de reflectividad pueden ser obtenidos directamente de un perfil sónico y un perfil de densidad, aunque también es posible asumir una densidad constante en caso de no contar con este registro. Luego de haber creado el sismograma sintético, el paso siguiente es correlacionarlo con la sísmica adquirida en superficie, ajustándolo correctamente a las trazas sísmicas en la posición del pozo.

Como fue mencionado anteriormente, existen otros métodos que permiten vincular la información de pozo y la sísmica entre sí. A continuación se presente un resumen de ellos:

Prueba de velocidad (*Chek shot*): este método consiste en medir el tiempo que tarda un pulso generado en superficie (onda directa), y que se propaga por las rocas hasta ser detectado por los receptores, los cuales son colocados dentro del pozo (Fig. 13). Los receptores son posicionados a las profundidades donde se observen cambios en la velocidad de las rocas o en niveles de interés geológico como los topes formacionales, así como al inicio y finalización del perfil sónico. Este método, además, permite corregir la deriva del perfil sónico y de ese modo obtener un sismograma sintético corregido.

**Perfil sísmico vertical:** este perfil se registra de igual modo que la Prueba de Velocidad, pero las estaciones receptoras se colocan equiespaciadas en el pozo, cada 15 o 30 m., cubriendo el tramo de mayor interés (Fig. 13). Los receptores registran tanto la onda directa como las ondas reflejadas, lo cual permite obtener información por debajo del fondo del pozo. Luego de procesado el perfil se obtiene como resultado final, una traza suma que representa, en ese intervalo, la respuesta sísmica de la columna sedimentaria en la locación del pozo. Con esta técnica se puede correlacionar, con precisión, cada rasgo de la traza sísmica del perfil con la columna sedimentaria atravesada por el pozo y al mismo tiempo con la información sísmica de superficie, sea 2D o 3D.

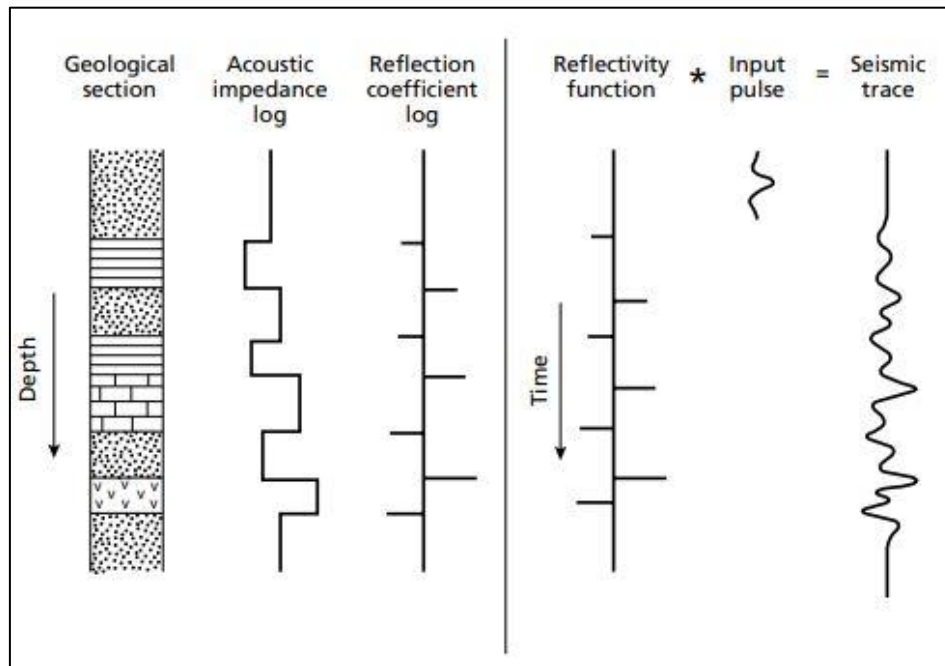


Figura 12. Modelo de convolución de un sismograma sintético (Extraído de Kearey *et al.*, 2002).

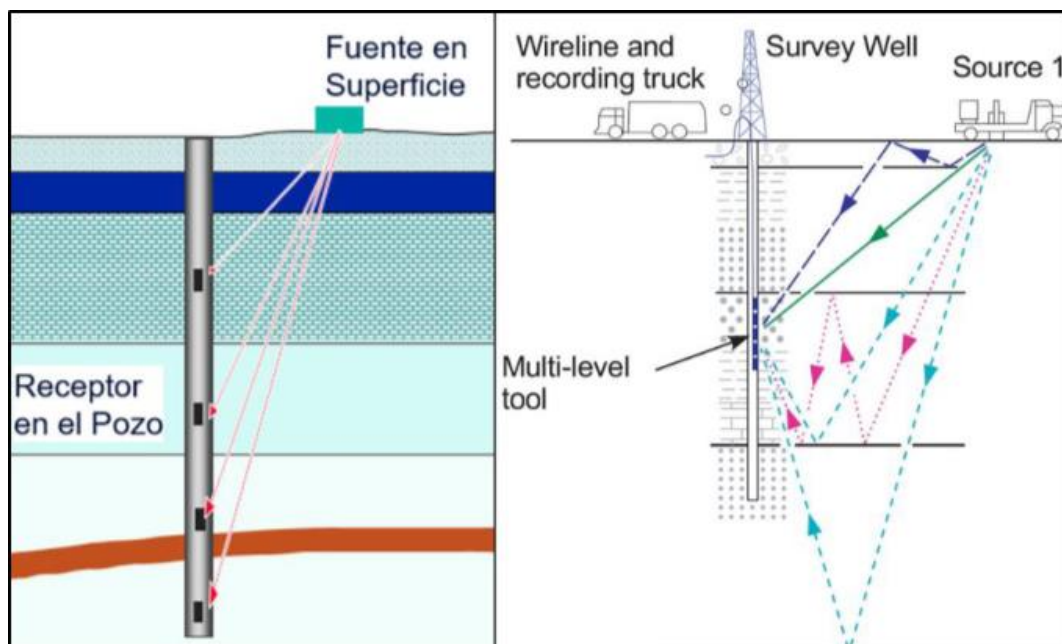


Figura 13. Registración de datos en Prueba de velocidad (izquierda) y Perfil sísmico vertical (derecha).



### 6.3 Atributos

Un atributo sísmico es una medición basada en los datos sísmicos. Brown (2001) define un atributo sísmico como una operación matemática que se le aplica a una traza esperando encontrar información adicional, además de toda la información geométrica (distribución de reflectores sísmicos y discontinuidades) obtenida del dato sísmico. Los atributos pueden ser medidos en un instante del tiempo o a través de una ventana de tiempo, y pueden medirse a lo largo de una sola traza sísmica, o en una serie de trazas, también pueden calcularse para una superficie interpretada o para un volumen sísmico. Su cálculo es útil porque ayudan a extraer patrones, relaciones o rasgos que de otro modo podrían no ser evidentes.

En este trabajos se utilizaron atributos sísmicos como Extracción de amplitudes, *Discontinuidad*, TecVa (Fig. 14):

- Extracción de amplitudes: El valor de la amplitud de una reflexión es proporcional al valor del coeficiente de reflexión. A mayor contraste entre las impedancias acústicas de las rocas, mayor será el valor de la amplitud ya sea positiva o negativa.
- Discontinuidad: Permite medir la similitud entre las trazas sísmicas. Es utilizado para resaltar fallas, canales, diapiros. Toma valores de 0 (blanco) a 100 (negro), donde 0 indica una continuidad perfecta, y los altos valores indican discontinuidades.
- TecVa (Técnica de volumen de amplitudes): esta técnica fue propuesta por Bulhoes (2005), para su aplicación es necesario calcular al atributo RMS (*root mean square*), para luego ser rotado -90 grados. Este método genera un pseudo-relieve, en donde resalta los rasgos estructurales presentes en la sísmica. Es de utilidad para correlacionar eventos, ya que los reflectores se ven mejorados, lo que simplifica la interpretación de fallas y horizontes.

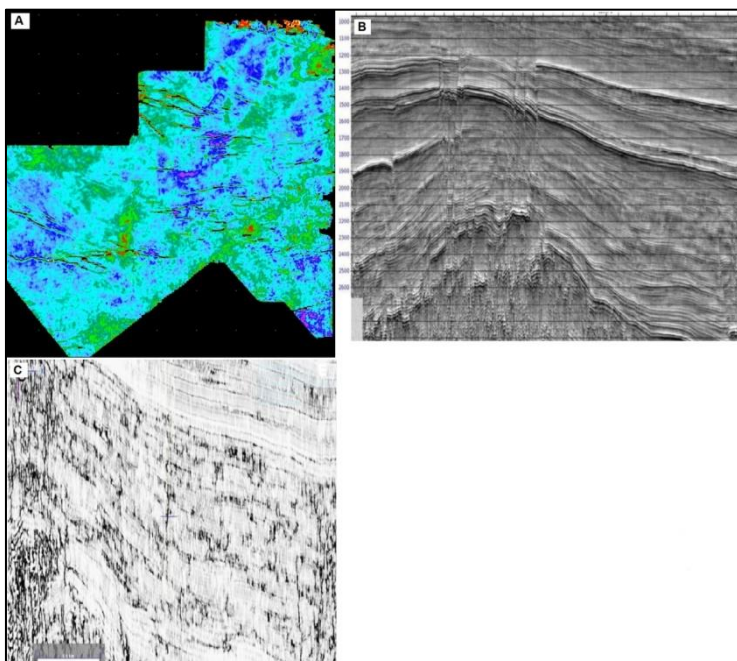


Figura 14. Atributos sísmicos calculados. En: A) Extracción de amplitudes, B) TecVA, C) *Discontinuidad* (extraído de Atencio *et al.*, 2014).

## 7 Metodología

- Recopilación y revisión bibliográfica del sistema Entre Lomas y en particular de los yacimientos Entre Lomas y El Caracol.
- Carga de datos sísmicos (volumen de amplitud) en el *software* (*Decision Space - Halliburton*).
- Carga de datos de pozo (coordenadas, perfiles, topes formacionales) en el *software* (*Decision Space - Halliburton*).
- Vinculación de la información sísmica y de pozo, en donde se podrán correlacionar los datos de pozo (en profundidad) con los datos sísmicos (en tiempo), con el objetivo de identificar los límites formacionales en el dato sísmico.
- Identificación de los reflectores sísmicos asociados a los principales límites de secuencia, los cuales serán propagados por todo el volumen sísmico.
- Identificación e interpretación de fallas y discontinuidades.
- Generación de distintos mapas en tiempo (isócronos e isocronopáquicos)
- A través del análisis de distintas secciones sísmicas se podrá observar la configuración de los distintos reflectores sísmicos, así como el efecto tectónico en la estructuración de este sector.

### 7.1 Datos de pozo

En el presente estudio se contó con información de 10 pozos (Fig.15), la cual incluía sus coordenadas, profundidad, perfiles y legajos, a partir de estos últimos se pudo extraer información referida a los pases formacionales. Solamente se utilizaron 7 pozos, debido a que algunos no contaban con el perfil sónico y en otros su registro era reducido, el cual es necesario para hacer la correlación con la sísmica.

A continuación, en las tablas 1 y 2 se resumen algunas de sus características:

POZO	YACIMIENTO	PERFILES (m)		POSGAR		Campo Inchauspe		COTA (m)	TD (TVD) (m)	TD (MD) (m)
		SONICO	DENSIDAD	x (Norte)	y (Este)	x (Norte)	y (Este)			
EL-2	Entre Lomas	1674 - 2660	x	2560373,55	5789643,84	2560579,3	5789734,7	436.0	2227.0	2663.0
EL-3G	Entre Lomas	711 - 2875	1740 - 2875	2561703,55	5792633,84	2561909,3	5792724,7	475.0	2409.0	2884.0
LO.x-1	Lomas de Ocampo	1645 - 2886	x	2555053,55	5798193,84	2555259,3	5798284,7	533.0	2358.0	2891.0
LO-2 *	Lomas de Ocampo	x	1724 - 2630	2557223,55	5797033,84	2557429,3	5797124,7	486.0	2137.0	2623.0
LO-4	Lomas de Ocampo	1750 - 2761	1750 - 2785	2556343,55	5798463,84	2556549,3	5798554,7	518.0	2257.0	2775.0
EL.xp-63 *	Entre Lomas	144 - 3501	144 - 3494	2560833,85	5783954,04	2561039,6	5784044,9	475.25	3035.45	3510.7
EL-59	Entre Lomas	1750 - 2420	1750 - 2420	2555040,45	5797602,94	2555246,2	5797693,8	541.7	1508.3	2050
EL.a-2G	Entre Lomas Gas	1700 - 2881	1700 - 2885	2561643,55	5791533,84	2561849,3	5791624,7	481.0	2392.0	2873.0
EL-4	Entre Lomas Gas	1749 - 2685	1749 - 2687	2562603,55	5790813,84	2562809,3	5790904,7	462.0	2249.0	2711.0
EL-10G *	Entre Lomas	x	1750 - 2389	2561524,55	5790527,84	2561730,3	5790618,7	474.0	2346.0	2820.0

Tabla 1. Información de pozo. (\* pozos no utilizados en este trabajo).

Formación / Grupo	Pozo	PC.Nq.EL-2	PC.Nq.EL-3G	PC.Nq.LO.x-1	PC.Nq.LO-4	PEL.Nq.EL-59	PPC.Nq.EL.a-2G
Grupo Neuquén		96		110			
F.Rayoso		898		960			
F. Centenario							
F. Quintuco		1740	1774	1776	1778	1762	1770
F. Vaca Muerta		2019	2098	2073,5	2073	2065	2110
F. Tordillo		2166	2244	2237	2240	2213	2235
F. Punta Rosada		2312	2395	2352	2363		2396
Serie Porfírica				2861			

Tabla 2. Profundidad en metros bajo boca de pozo (MBBP) a la que se encuentran los pases formacionales.

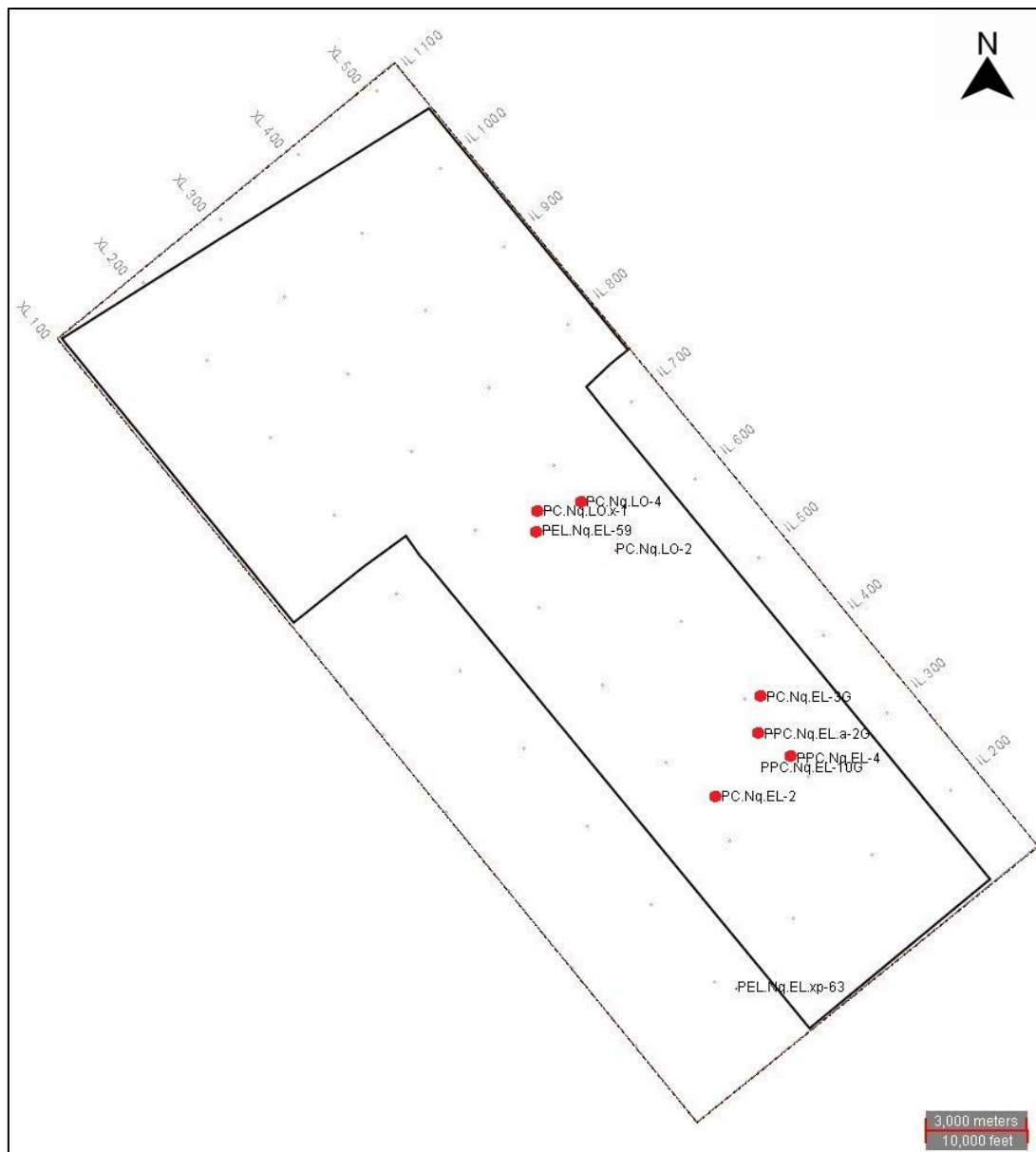


Figura 15. Pozos disponibles. Indicando en color rojo aquellos que fueron correlacionados con el dato sísmico.



## 7.2 Correlación sísmica-pozo

Para correlacionar la información sísmica (tiempo) con la información de pozo (profundidad), se utilizó el método de integración del perfil sísmico. Se seleccionaron aquellos pozos que contaran con este perfil y el de densidad (ver sección 7.1 Datos de pozo)

Los pozos LO-2 y EL-10G fueron descartados ya que la extensión del perfil sísmico es muy reducida y se halla cortado en tramos. El pozo EL.xp-63 también fue descartado ya que se encuentra fuera del dato sísmico.

En el proceso de correlación se utiliza el *software* para vincular la traza sintética, generada con los perfiles eléctricos sísmico y densidad, con la traza sísmica representativa del cubo 3D en cercanías del pozo. Una vez calibrado obtenemos el correcto ajuste del pozo a la sísmica (Fig. 16). En la Figs. 16 y 17 se observa que el tope de las Formaciones Quintuco y Tordillo se correlaciona con un reflector de polaridad normal positiva, representados por las líneas de color verde y celeste, respectivamente.

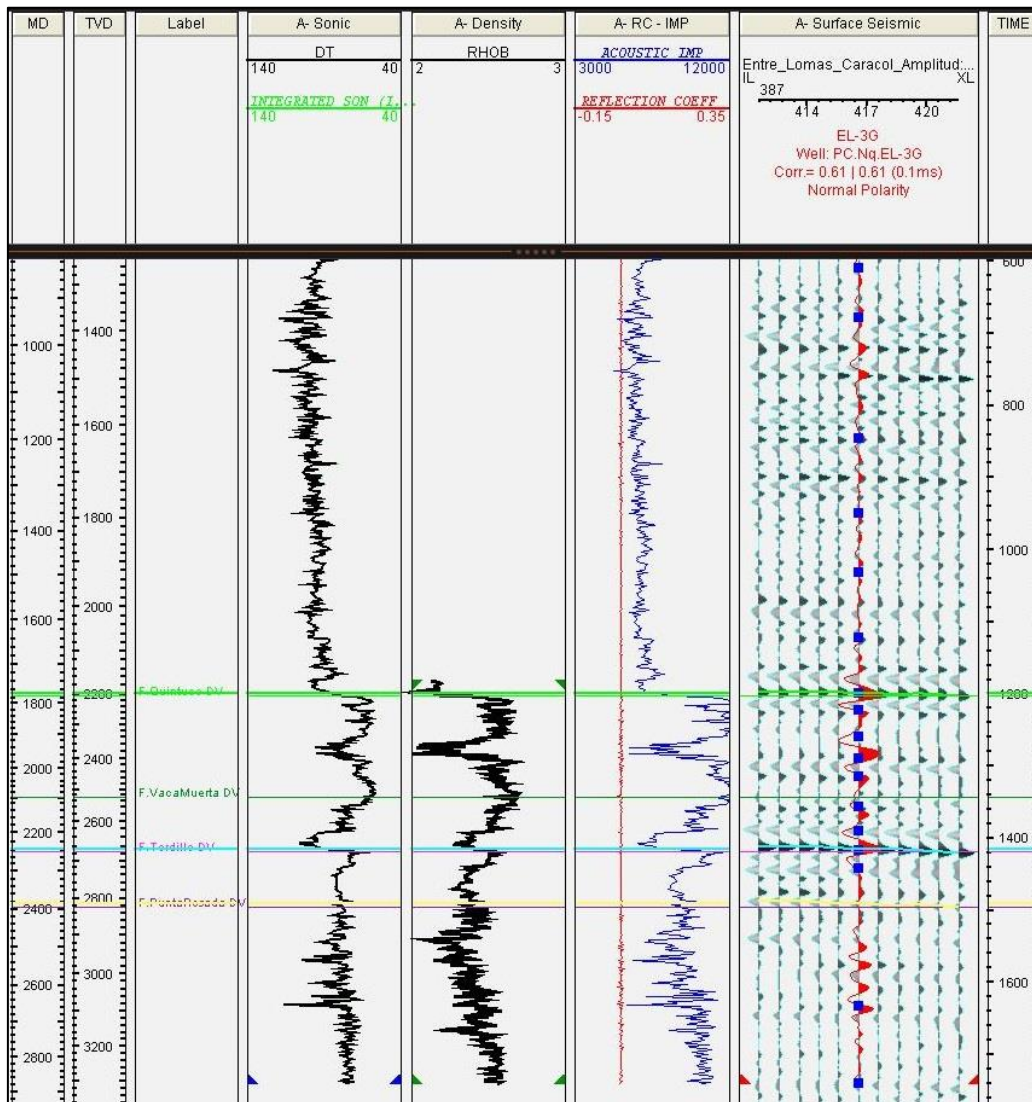


Figura 16. Correlación entre la sísmica y el pozo EL-3G.

En términos generales se obtuvo una muy buena correlación, ya que la amplitud y continuidad de los principales reflectores es muy buena (Fig. 17).

El análisis de las ondículas que se utilizaron para la correlación de los pozos, permitió establecer que el dato sísmico posee una fase cercana a 0 (Fig. 18). Esto implica que el contacto entre dos medios cuyo contraste de impedancia acústica es positiva, se halla centrado en el valor de máxima amplitud positiva y viceversa.

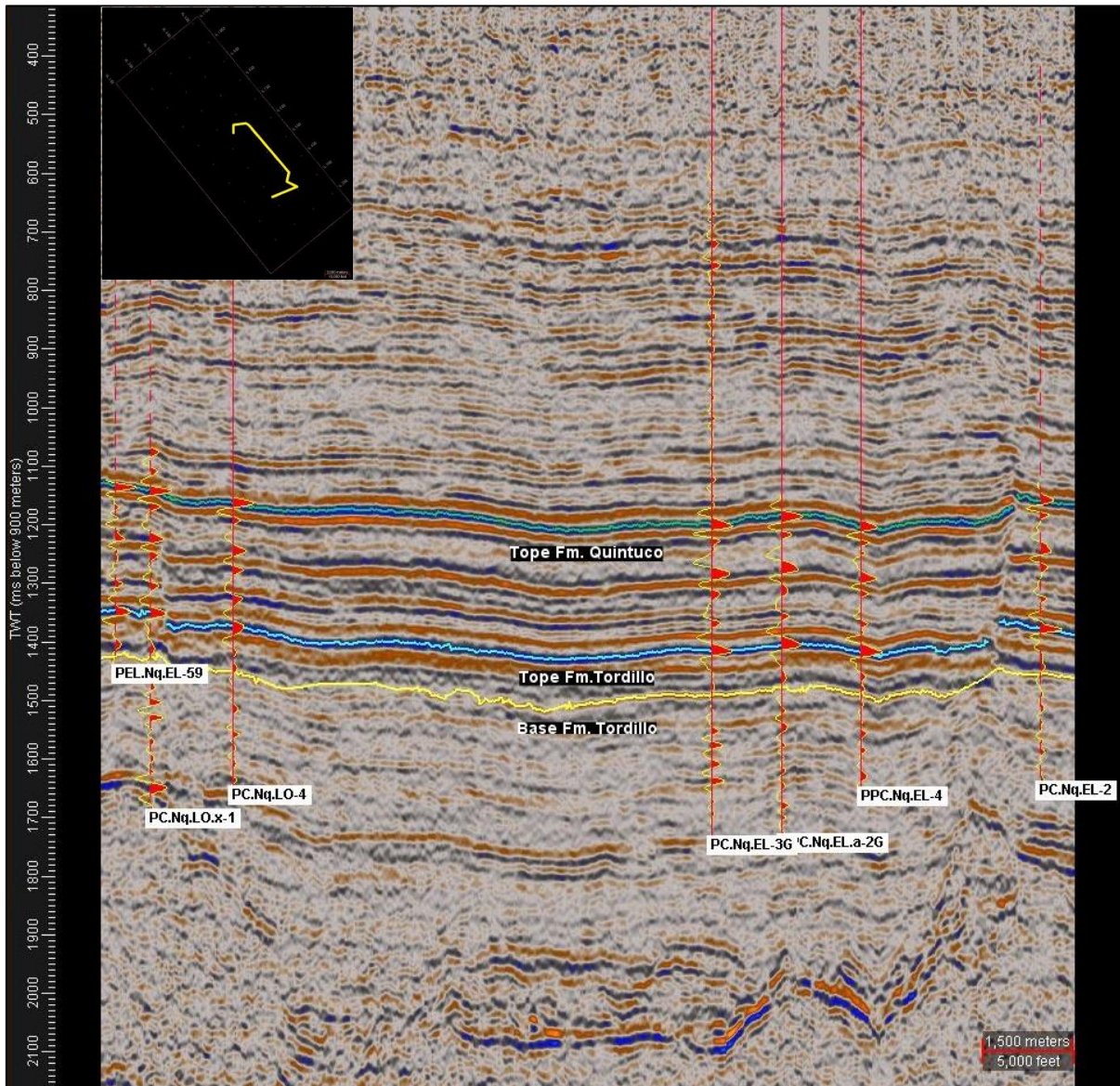


Figura 17. Sección sísmica arbitraria mostrando los diferentes niveles interpretados a partir de información de pozo y la correlación entre los sismogramas sintéticos generados y la sísmica 3D.



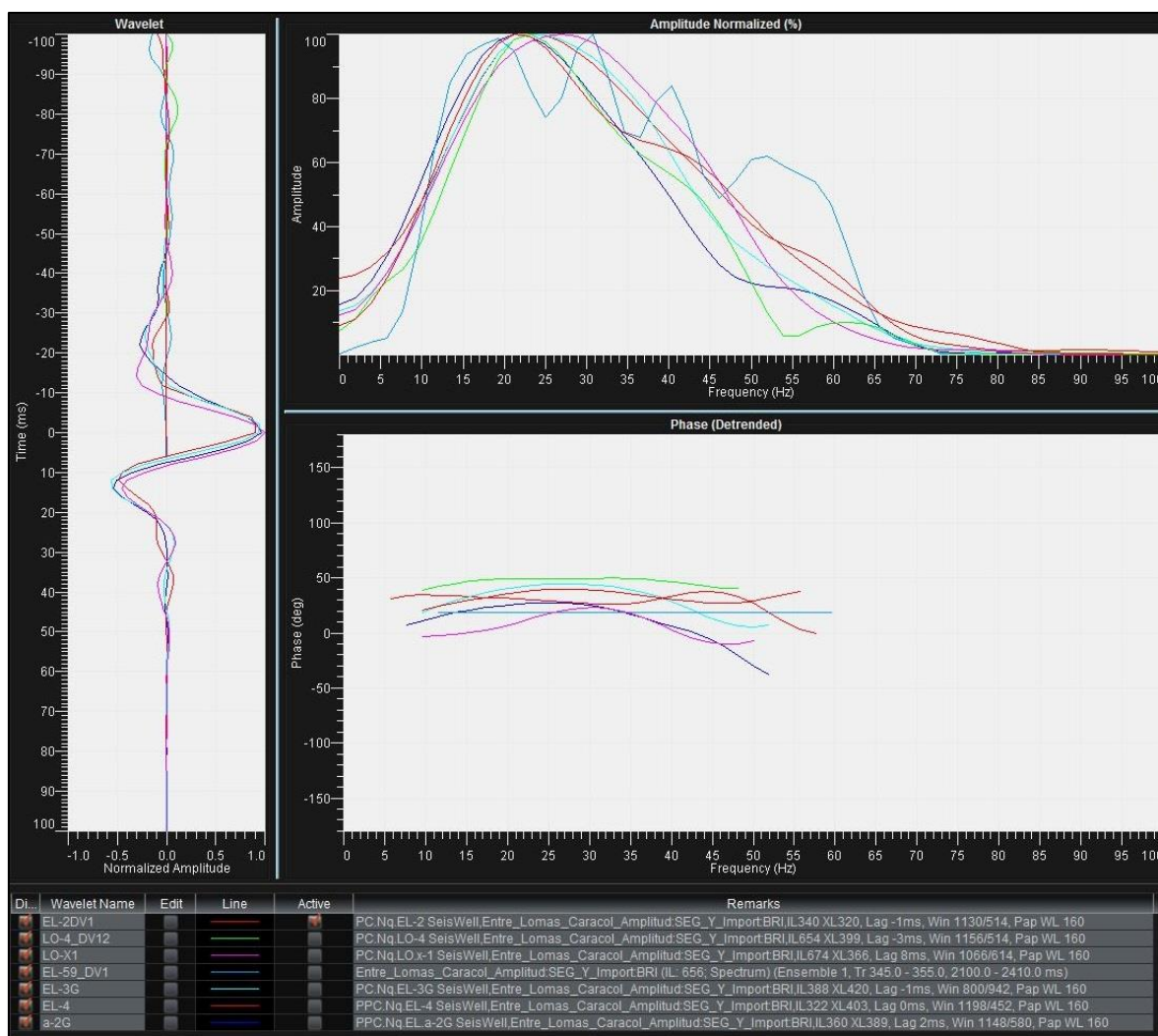


Figura 18. Ondículas extraídas para la correlación de cada pozo.

### 7.3 Interpretación de horizontes

Una vez realizada la correlación sísmica-pozo, se procedió a identificar los distintos reflectores sísmicos con sus pases geológicos obtenidos a partir del legajo de pozo (\*). El resto de los límites fueron establecidos a partir de su carácter sísmico. Como criterio para su elección se decidió elegir los principales límites de secuencias (Fig. 19). Estos fueron:

- Base del Ciclo Precuyano (tope Basamento)
- Tope del Ciclo Precuyano
- Tope Cuyo Inferior
- Base de la Formación Tordillo (compuesta por el tope de las Formaciones Auquilco y Punta Rosada) (\*)
- Tope de la Formación Tordillo (\*)
- Tope Formación Quintuco (\*)
- Tope de la Formación Centenario

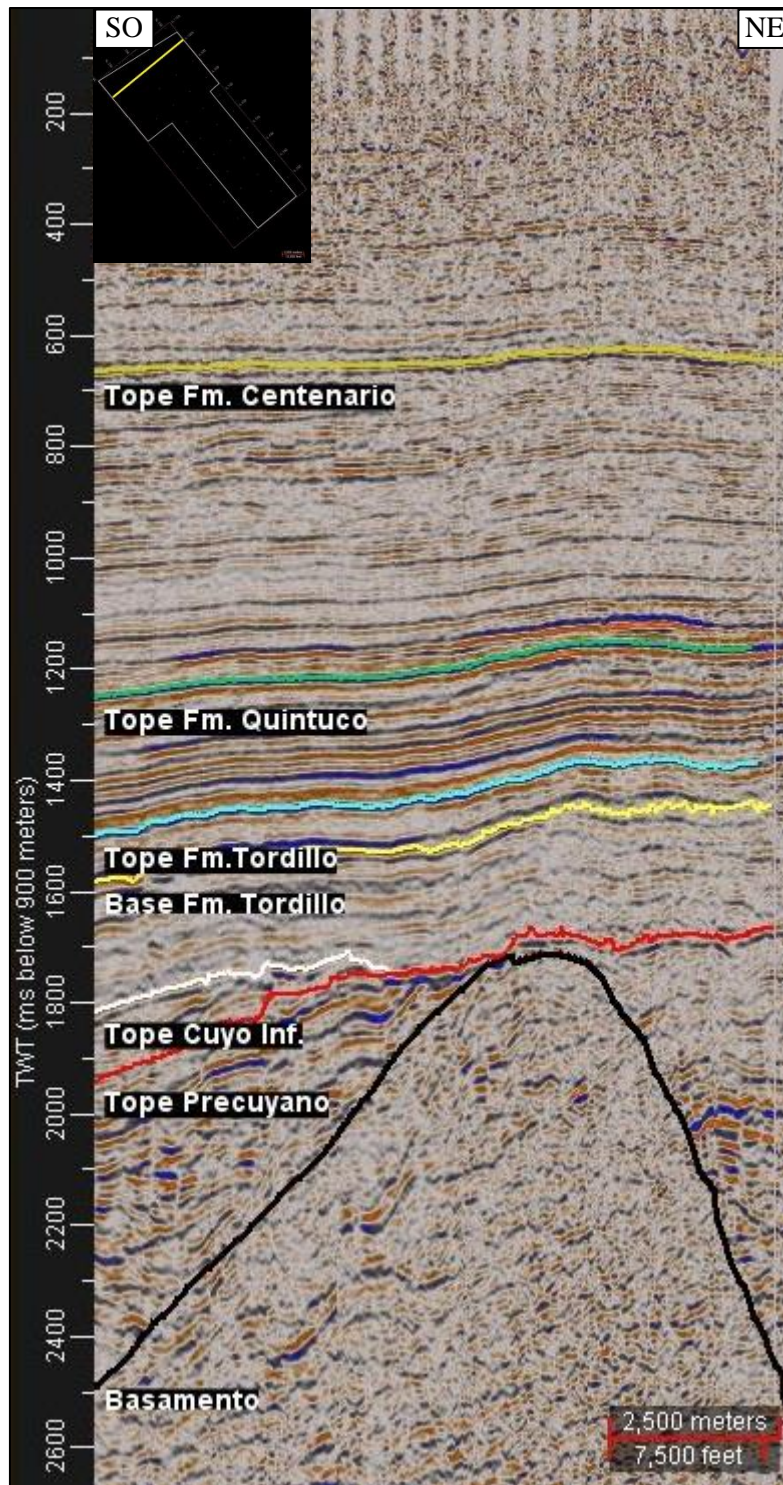


Figura 19. Sección sísmica mostrando los distintos límites de secuencias interpretados.

Estos horizontes fueron mapeados cada 5, 10 y 20 líneas, tanto en sentido *inline* como *crossline*, dependiendo de la complejidad de los mismos (Fig. 20). Luego de cubrir la zona de interés con un mallado coherente de líneas en forma manual, se procedió a realizar la interpretación de toda el área de manera automática (Fig. 21), teniendo en cuenta el dato sísmico y la interpretación realizada anteriormente, generando la



cobertura total del horizonte correspondiente. Para aquellos horizontes que no están representados por un reflector continuo (Ciclo Precuyano, Basamento), se realizó un mapeo manual, punto por punto, para luego utilizar la herramienta de interpolación, la cual genera una interpolación lineal, sin tener en cuenta el dato sísmico.



Figura 20. Grilla generada de manera manual al tope de la Formación Tordillo. Interpretación cada 20 líneas y 20 trazas.

El resultado final de todo este proceso, son los mapas isócronos, los cuales representan la estructura del horizonte en tiempo de ida y vuelta de las ondas sísmicas en sentido vertical (milisegundos). A partir de estos mapas, se pueden calcular otros mapas, como los de espesores (isocronopáquicos), de atributos e incluso realizar operaciones entre ellos.

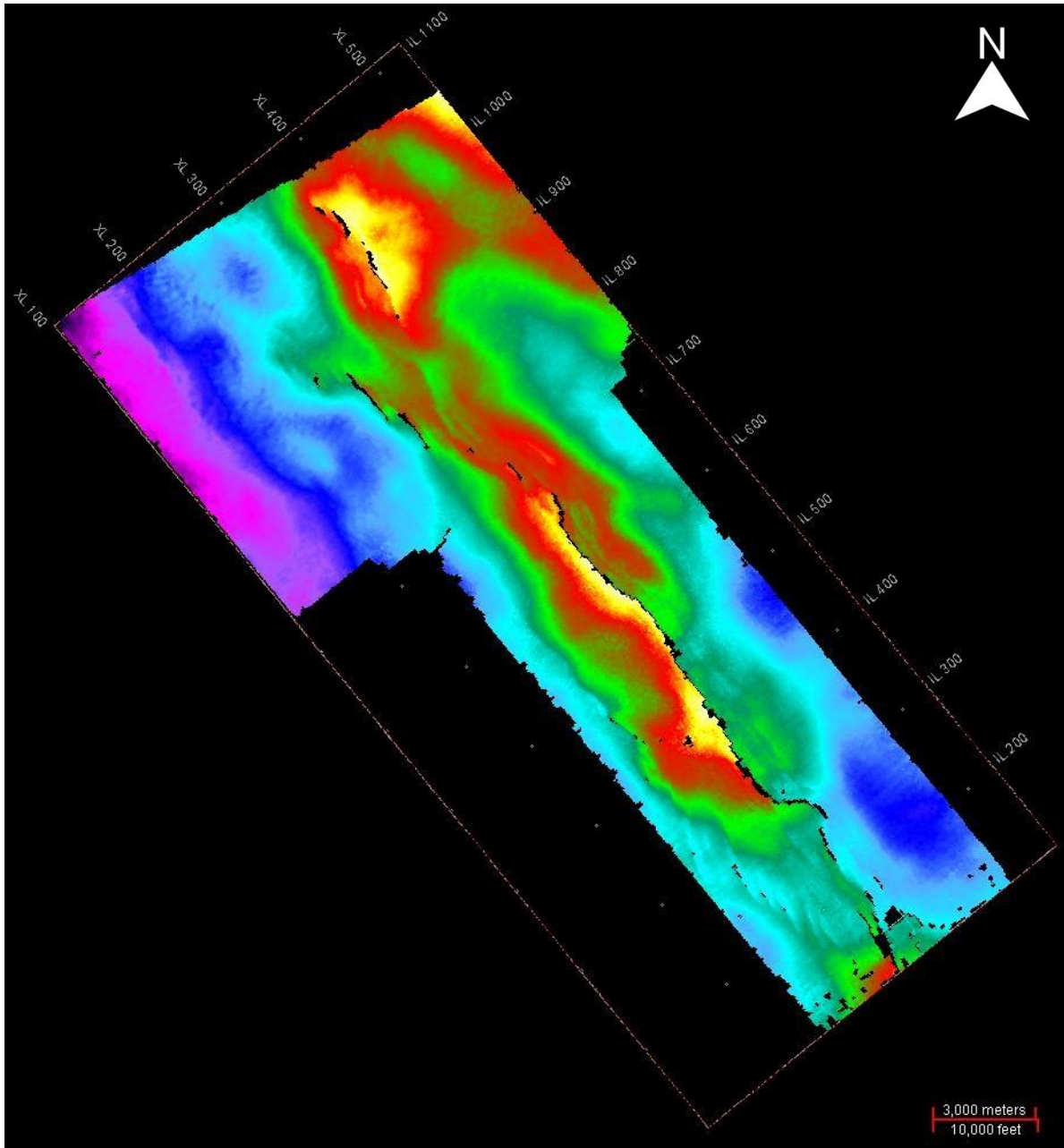


Figura 21. Mapa isócrono al tope de la Formación Tordillo.

#### **7.4 Interpretación de fallas y discontinuidades**

El mapeo de las fallas se realizó sobre el volumen de amplitud y los volúmenes de atributos generados (discontinuidad y TecVa) y consistió en interpretar en secciones perpendiculares al rumbo de las discontinuidades, mediante segmentos de fallas que luego se unieron determinando los planos de fallas. Para ello se utilizó un espaciamiento de 2 y 5 líneas de acuerdo a la complejidad que presentaban. La orientación de las mismas fue en dirección NE-SO, ya que las fallas presentaban una orientación NO-SE en su mayoría, y esto nos permitió observar de una manera más clara el rechazo vertical, facilitando su interpretación.

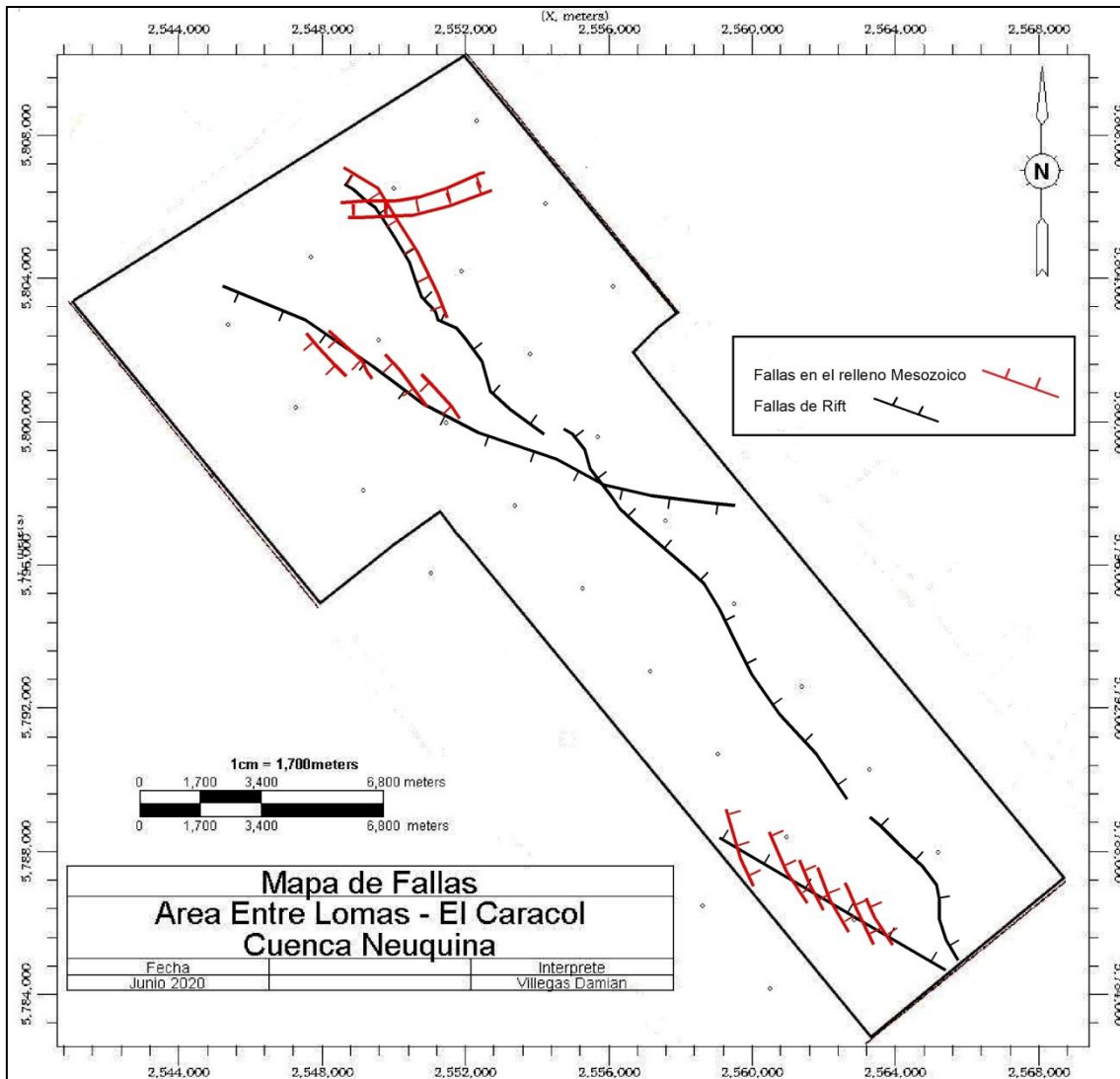


Figura 22. Mapa de las principales fallas mapeadas.

## 8 Desarrollo – Resultados

### 8.1 Descripción estructural

En el área de estudio se han podido identificar distintos elementos estructurales, entre los que se destacan una serie de fallas normales de rumbo NO-SE y ONO-ESE que inclinan hacia el sector NE y SSO respectivamente, estas se interpretan como fallas de *rift* (Anexo 13.3), desarrolladas durante el Triásico Superior – Jurásico Inferior, las cuales conforman grábenes y hemigrábenes de distinta magnitud (Fig. 23, 24 y 25). También se ha observado en el sector sur de Entre Lomas un leve grado de inversión sobre estas fallas, afectando a la Formación Quintuco y la base de la Formación Centenario (Fig. 23). La extensión de las fallas de *rift* en la cubierta sedimentaria alcanza distintos grados. En el área Entre Lomas se observa claramente que alcanzan el tope de la Formación Centenario (Fig. 23), que constituye el horizonte más moderno interpretado, incluso pueden ser mapeadas por encima de este intervalo, sin embargo,



hacia los horizontes más superficiales hay un considerable desmejoramiento de la imagen sísmica por lo que se dificulta su interpretación. Algunos autores proponen que estas incluso han alcanzado los depósitos del Cretácico Tardío del Grupo Neuquén e inclusive hasta el Neógeno (Arregui *et al.*, 2005). Como mecanismo para su generación Cristallini *et al.* (2009) proponen un efecto de subsidencia irregular por compactación diferencial del relleno de los hemigrábenes, en donde las capas que se encuentran por encima de estos se fracturan en los sectores de máxima tensión. Por su parte, en el área El Caracol, estas fallas de *rift* adquieren un desarrollo mucho menor, quedando limitadas a la Formación Tordillo (Fig. 24).

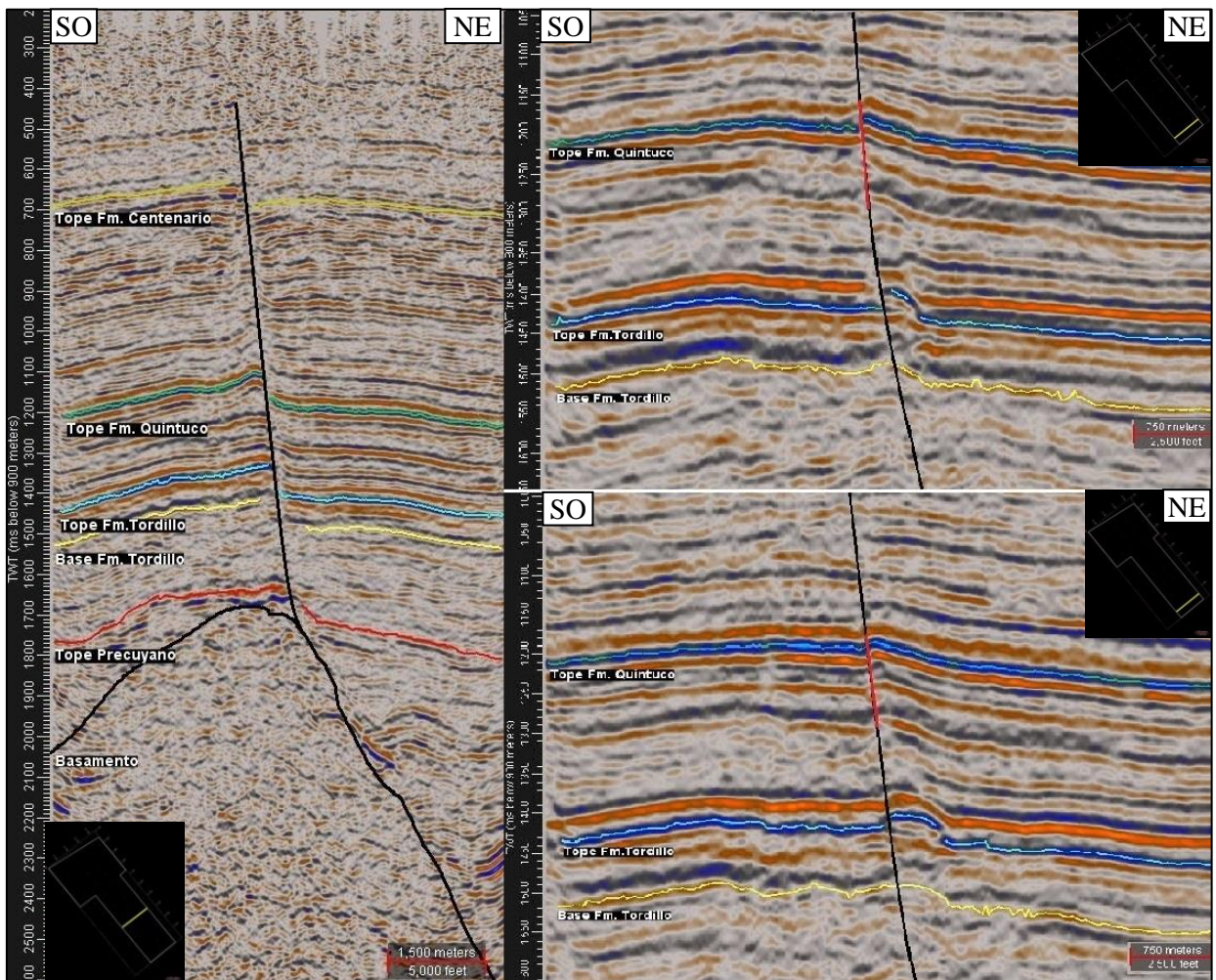


Figura 23. Secciones sísmicas mostrando reactivaciones de fallas de *rift* en la cobertura sedimentaria. Nótese como en el sector central de Entre Lomas (izq) sobrepasan el tope de la Formación Centenario y en el sector sur de la misma área muestra un comportamiento inverso (der., línea roja).

Otro tipo de falla identificada en este último sector corresponde a la de rumbo NO-SE pero de buzamiento hacia el SO, la cual se habría originado en el alto de basamento (Fig. 24), quedando limitada en la cercanía del tope de la Formación Quintuco.



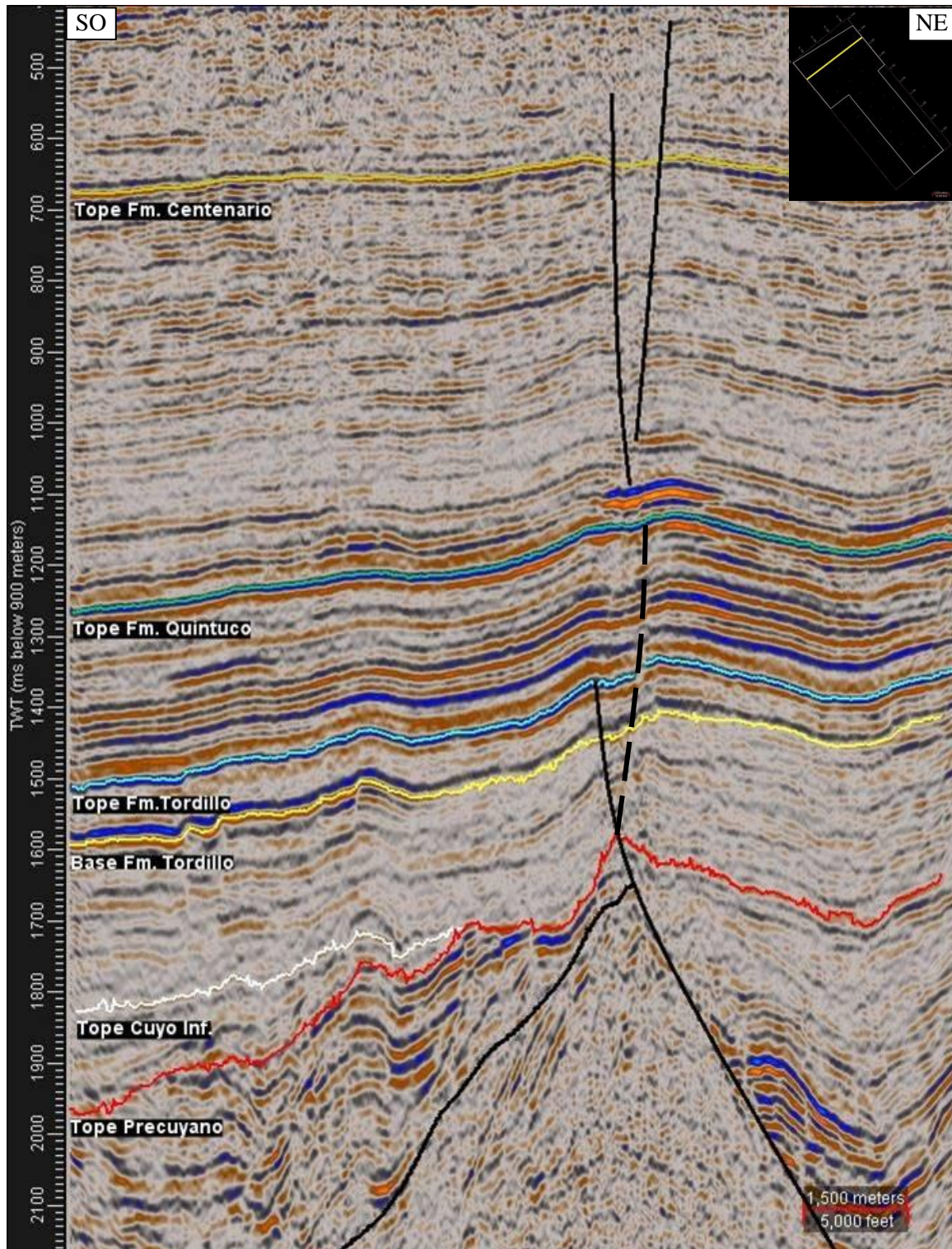


Figura 24. Sección sísmica mostrando extensión de falla de *rift*. Nótese que queda limitada a la Formación Tordillo, y falla normal (línea punteada) de orientación NO-SE desarrollada en la cresta del basamento.



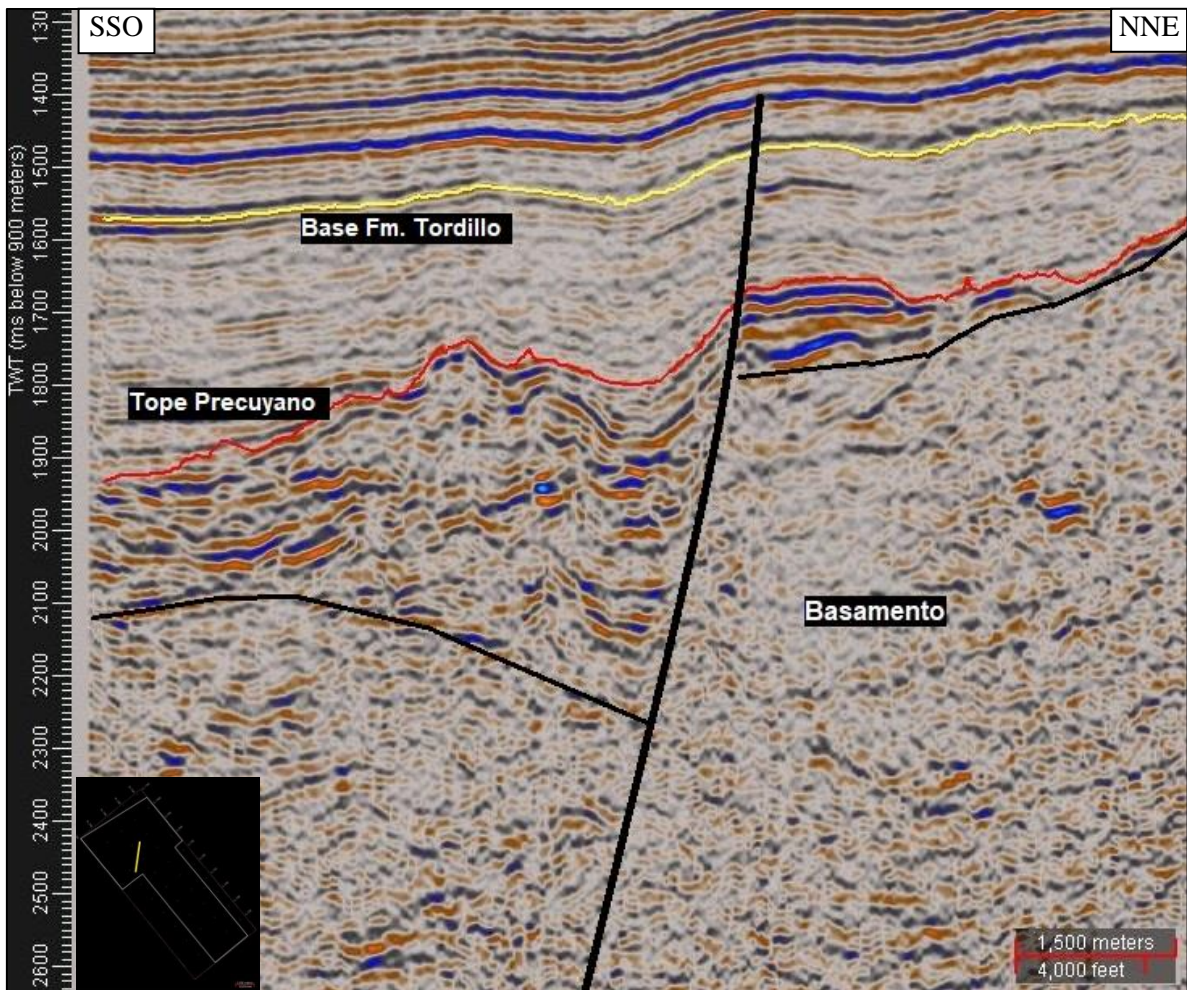


Figura 25. Secciones sísmicas mostrando: hemigráben de orientaciones ONO-ESE.

Se reconocieron 2 grupos de fallas en échelon, las cuales se encuentran asociadas a lineamientos de orientación ONO (Fig. 26), desarrollados durante el Jurásico Superior – Cretácico Inferior, atravesando rasgos estructurales mayores como hemigrábenes y estructuras asociadas. El primero de ellos se ubica en el ámbito suroccidental del área Entre Lomas, quedando comprendidas entre el Grupo Cuyo y el tope de la Formación Tordillo, con buzamiento hacia el sector este. El segundo, se ubica en el sector central del límite entre ambas áreas, a diferencia de las anteriores se caracterizan por presentar un buzamiento hacia el oeste, y un mayor desarrollo; en algunos sectores, se las ha podido identificar desde el Precuyo, hasta el tope de la Formación Centenario.

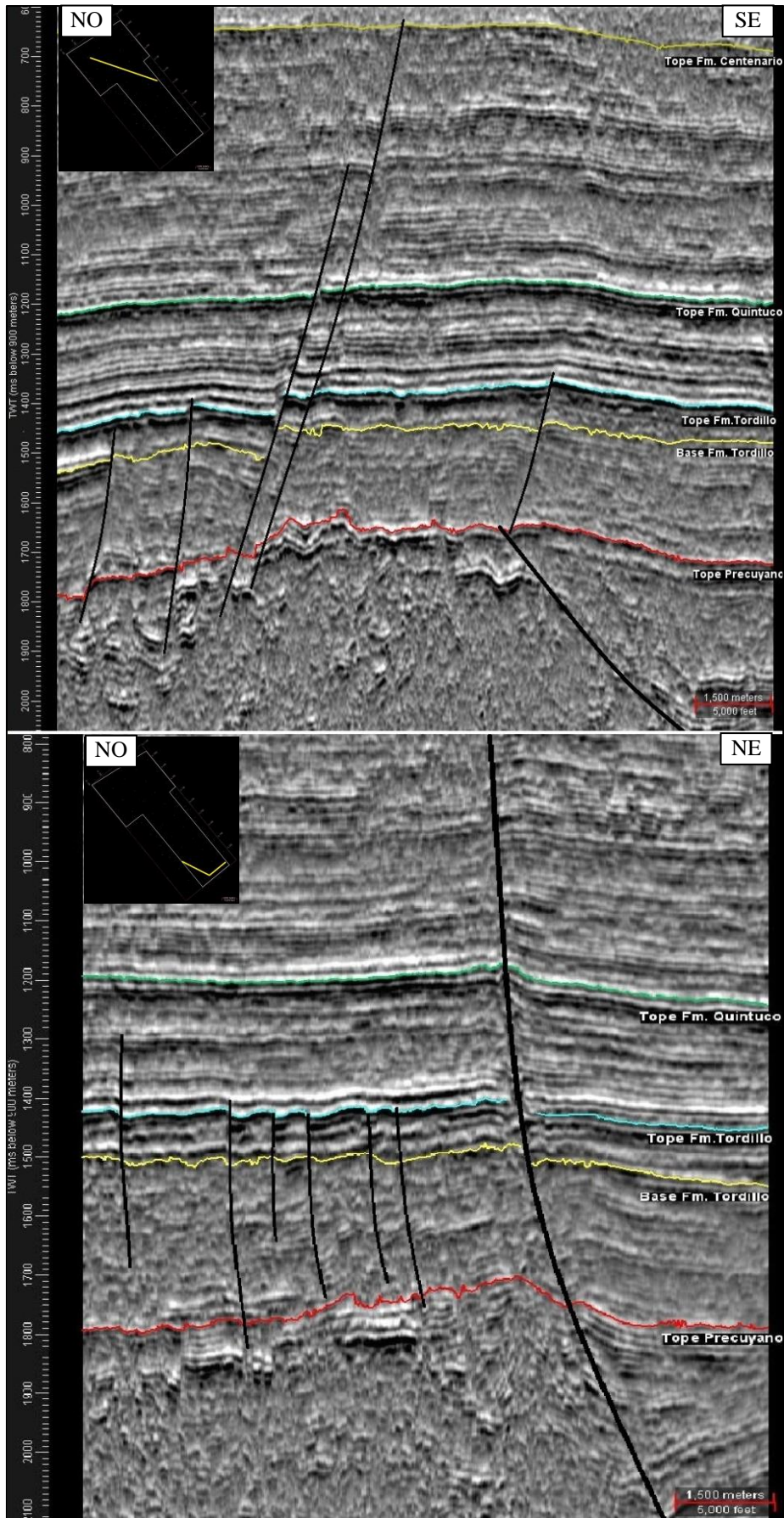


Figura 26. Sistemas de fallas en échelon desarrolladas en el área Entre Lomas (abajo) y El Caracol (arriba). Atributo TecVA.



Cristallini *et al.* (2009) atribuyen la generación de estos sistemas de fallas en échelon a la reactivación de hemigrábenes de orientación ONO-ESE combinado con el efecto de subsidencia por compactación diferencial. Hemigrábenes de este tipo solo se identificaron en el límite de ambas áreas (falla El Cruce según Cristallini *et al.*, (2009)) (Figs. 25), sobre el cual se desarrolla el sistema de fallas en échelon mencionado anteriormente. En el sector sur del área Entre Lomas se reconoció un hemigráben de menor tamaño (Fig. 27 y Anexo 13.3), el cual, por su ubicación, parece haber condicionado el desarrollo de las fallas en échelon. Por su parte Pángaro *et al.* (2011) explica que la generación de estos sistemas de fallas obedece exclusivamente al desarrollo de fallas de rumbo dextrales de alto ángulo.

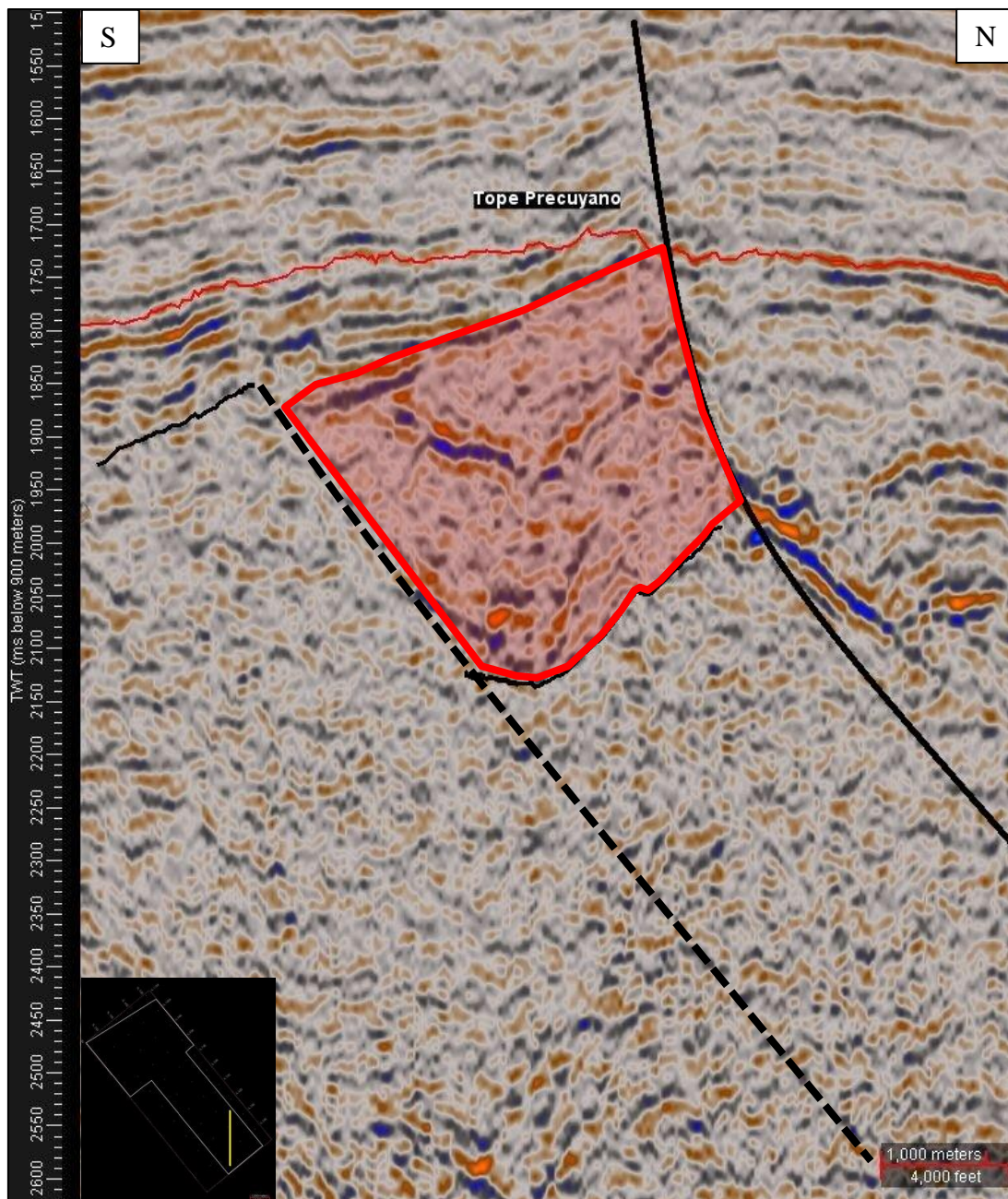


Figura 27. Sección sísmica mostrando hemigráben y falla inferida (línea discontinua negra) en el área sur de Entre Lomas.



En la cresta del anticlinal desarrollado en el área El Caracol, se identificó un par conjugado de fallas normales de orientación E-O (Fig. 28, 31 y 32), las cuales se desarrollan desde la Fm. Quintuco hasta sobrepasar ampliamente el tope de la Fm. Centenario. Su génesis estaría asociada al colapso extensional de la cubierta sedimentaria por encima de la estructura anticlinal, o bien puede obedecer a la relajación de los esfuerzos transpresivos asociados a la generación de las fallas en échelon.

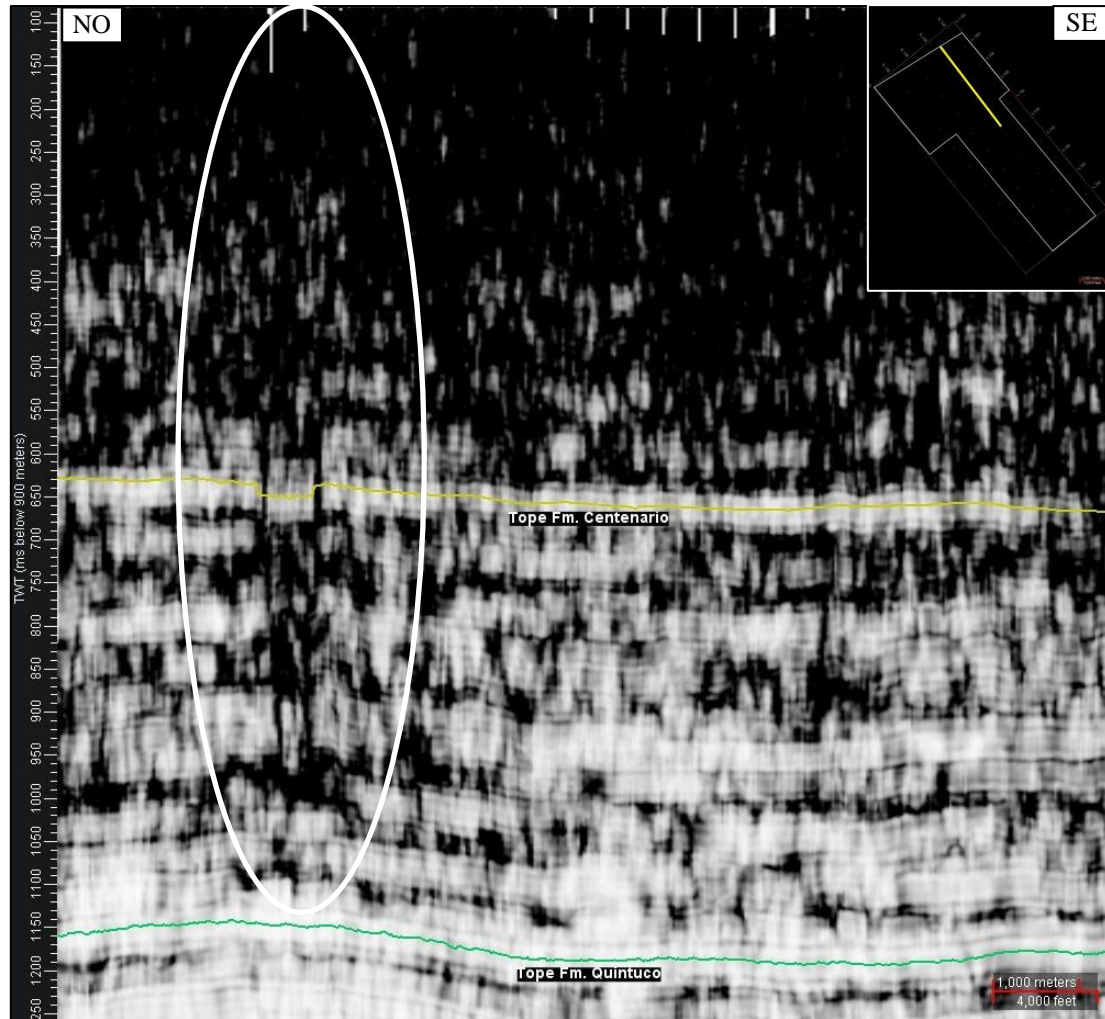


Figura 28. Sección sísmica del área El Caracol, indicando (elipse blanca) el par conjugado de fallas normales, desarrolladas al tope del anticlinal.

El mapa isócrono de la figura 29, correspondiente al tope del ciclo Precuyano muestra el desarrollo de anticlinales de orientación NO-SE, los cuales se habrían originado en el bloque yacente o al hombro de un hemigráben que controla la zona y junto con las fallas de *rift* de orientación NO-SE y ONO-ESE condicionaron la deformación de las secuencias suprayacentes, así como la generación de otras estructuras. Este horizonte presenta un buzamiento regional hacia el suroeste.

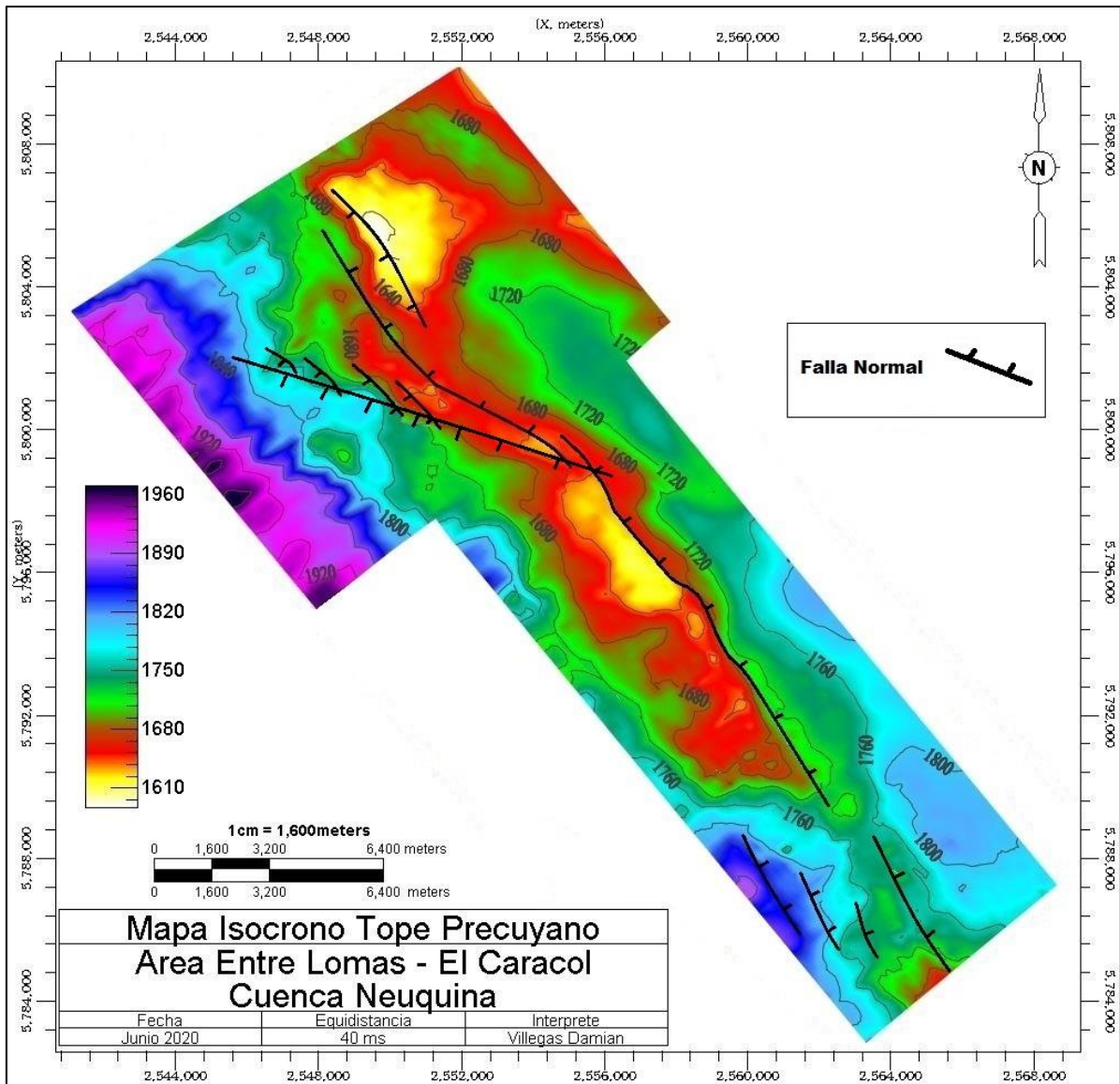


Figura 29. Mapa isócrono al tope del ciclo Precuyano.

En el mapa isócrono de la figura 30 correspondiente al tope de la Formación Tordillo, en el área Entre Lomas se puede observar el desarrollo de distintos anticlinales de rumbo NO-SE. El primero de ellos, ubicado hacia el sector occidental del área, es limitado al noreste por una falla normal que inclina en la misma dirección, alcanzando una longitud de 12 km. Sin embargo en el bloque techo de la misma falla se han desarrollado 2 anticlinales (Norte y Sur) de menor magnitud que el primero, y su origen se debe al colapso antitético del bloque colgante cuando se produce la falla principal. Por su parte el anticlinal del área El Caracol tiene un aspecto menos elongado que el primero, y una longitud de 6 km. También es segmentado por una falla normal cuyo buzamiento es hacia el SO. El buzamiento de este horizonte es hacia el sector SO al occidente de las fallas principales y hacia el NE al oriente.

Ambos anticlinales se encuentran separados entre sí por un sistema de fallas en échelon.

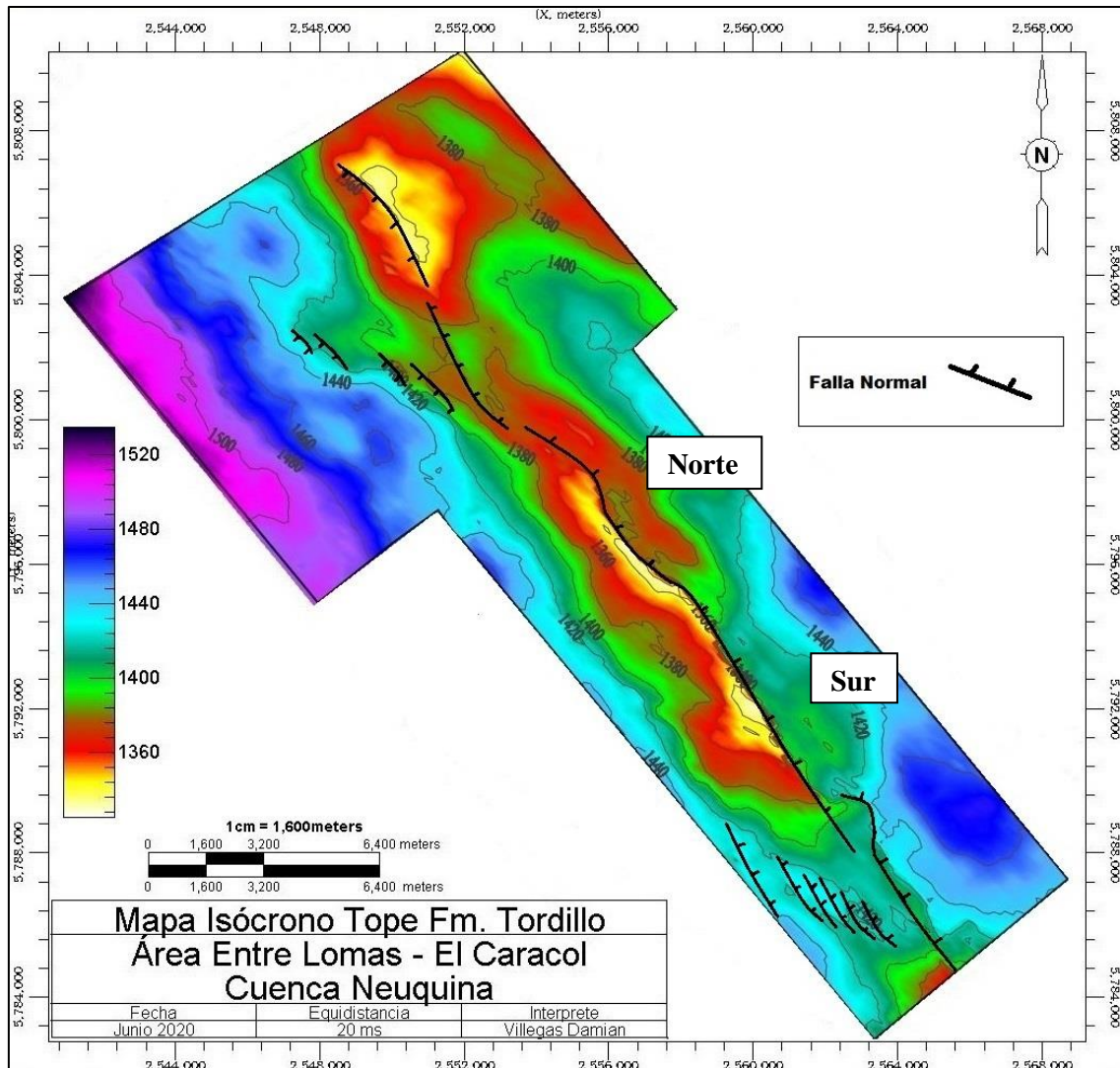


Figura 30. Mapa isócrono al tope de la Formación Tordillo.

El mapa isócrono perteneciente al tope de la Formación Quintuco (Fig. 31) muestra un comportamiento muy similar al horizonte anterior. En el área Entre Lomas se evidencia la misma estructura anticlinal, con dos culminaciones en los sectores de mayor rechazo de la falla maestra en donde el mayor relieve se desarrolla en el máximo sudoccidental. En el bloque bajo de desarrollan con menor relieve las mismas estructuras descritas en el mapa de la Formación Tordillo (anticlinales Norte y Sur) dicho sector presenta un buzamiento en dirección noreste. En el área El Caracol, continúa teniendo presencia el anticlinal descrito en el mapa anterior (Fig. 30), pero a diferencia de este último, ha dejado de tener efecto el fallamiento descrito anteriormente. En cambio, se ha desarrollado un par conjugado de fallas normales, el cual tiene rumbo O-E y segmenta a la estructura en dos partes. El sector occidental del mapa presenta un buzamiento hacia el suroeste.

El sistema de fallas en échelon desarrollado al norte de Entre Lomas y que lo separa de El Caracol tiene un menor efecto. Solo se han identificado 2 fallas en el sector sur del área El Caracol.



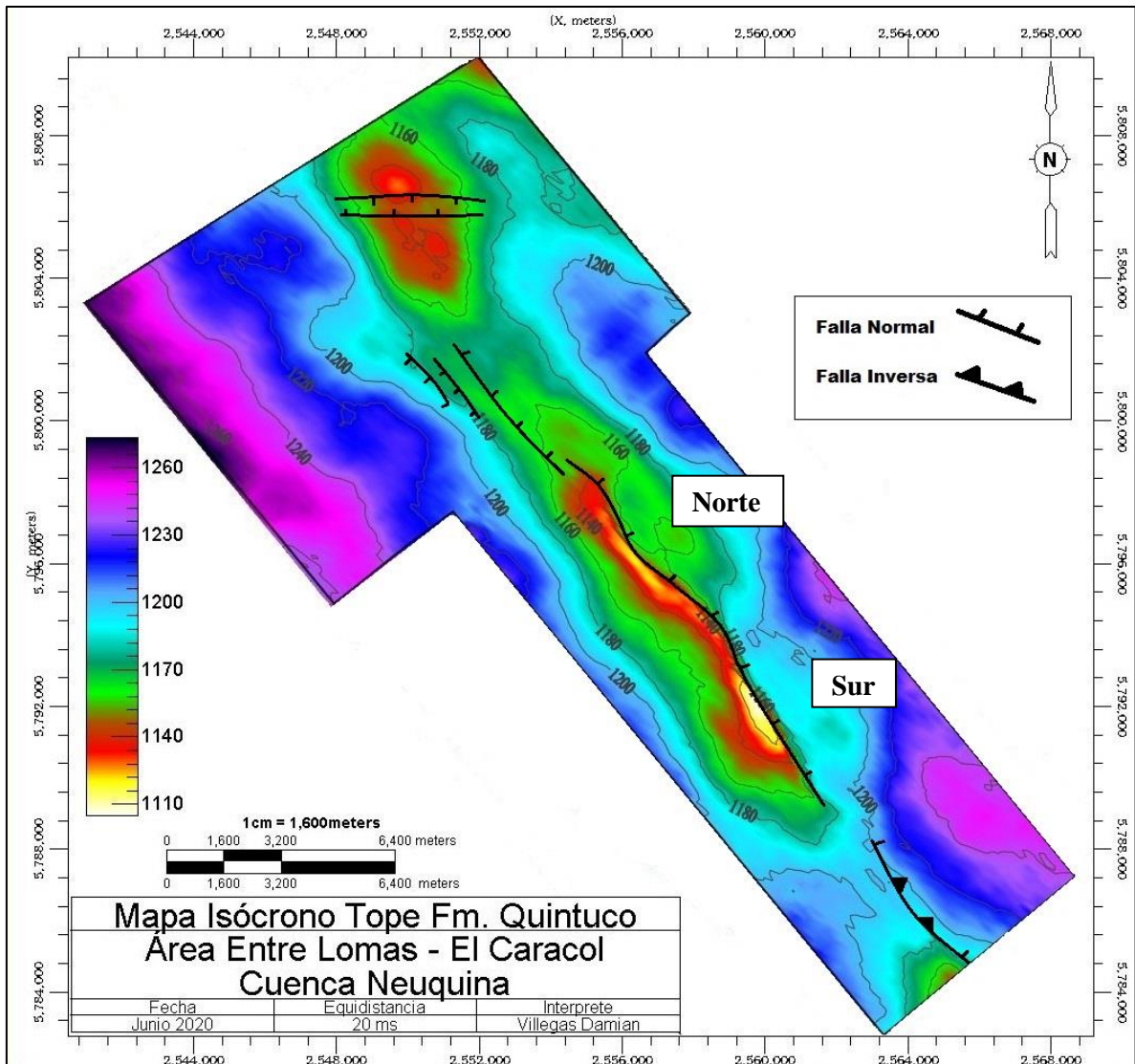


Figura 31. Mapa isócrono al tope de la Formación Quintuco.

En la figura 32, para el tope de la Formación Centenario se observa que el sector NO del anticlinal del área Entre Lomas tiene un mayor relieve en comparación con el sector SO, por su parte los anticlinales desarrollados en los mapas anteriores al oriente de la falla principal sigue presentes con un relieve de mayor magnitud en el caso del anticlinal Norte en relación al Sur. El buzamiento de esta unidad es hacia el sector este en el bloque colgante, y hacia el oeste en el bloque yacente. En el área El Caracol el anticlinal muestra un mayor desarrollo areal hacia el sector occidental en comparación con los niveles inferiores, así mismo, el sistema de fallas normales desarrollado al tope del mismo continua teniendo presencia.

Se realizó el cálculo del rechazo vertical para la falla principal de Entre Lomas de rumbo NO-SE. Este fue medido en el tope de las Formaciones Quintuco y Tordillo en 5 puntos diferentes (Anexos 13.2). Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta z[m] = \frac{\Delta T[ms]}{2000} \times V[m/s]$$

$\Delta z$ : rechazo vertical (metros)  
 $\Delta T$ : tiempo sísmico (milisegundos)  
 $V$ : velocidad del intervalo involucrado (metros/segundos)



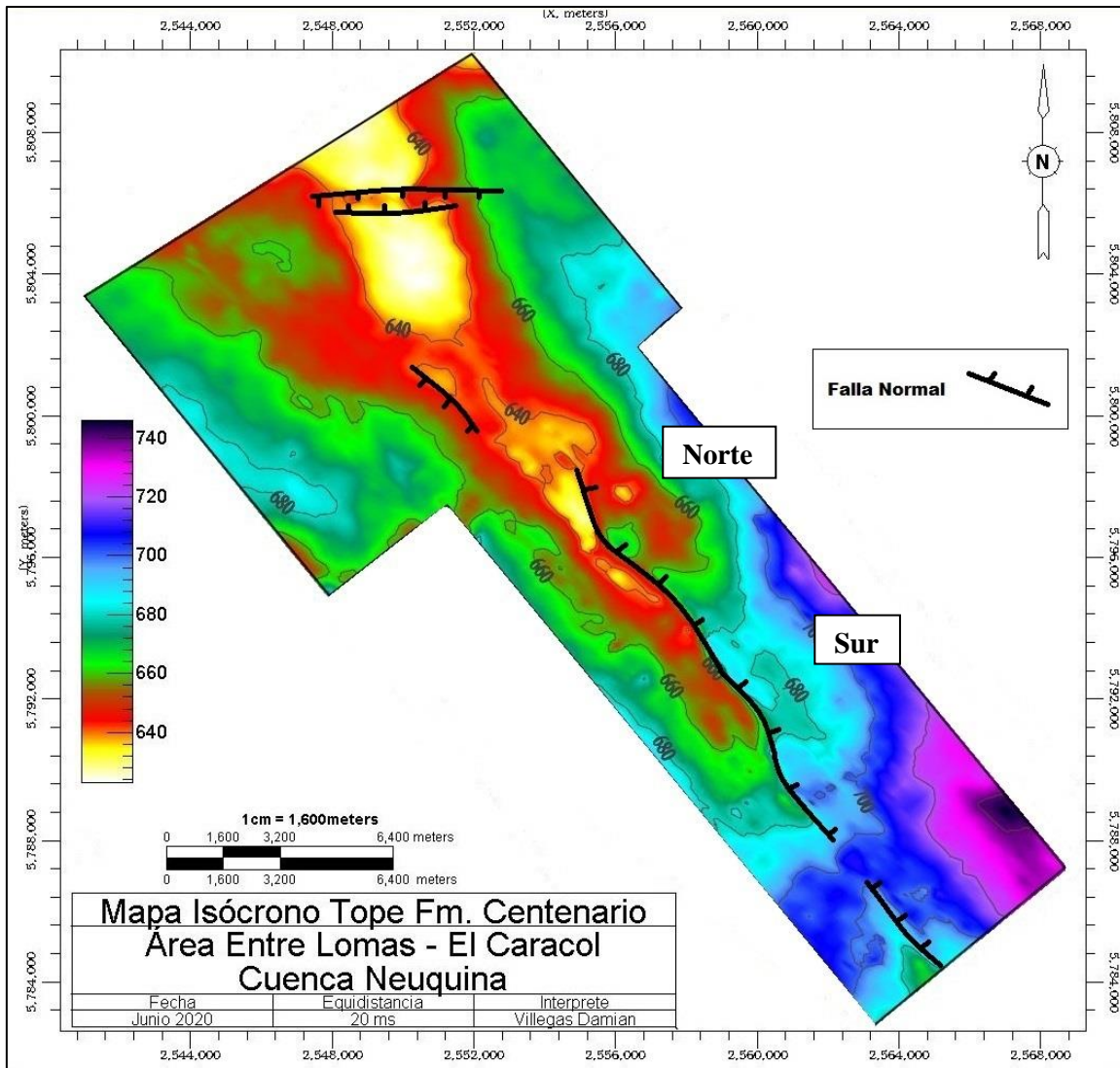


Figura 32. Mapa isócrono al tope de la Formación Centenario

Las velocidades medias fueron calculadas en el pozo PEL.Nq.EL-59 a partir de registros de pozo y se obtuvieron los siguientes resultados.

- Formación Centenario: 3171 m/s
- Formación Quintuco: 4612 m/s
- Formación Tordillo: 3588 m/s

Los resultados se resumen en la Tabla 3:

Rechazo Falla Entre Lomas		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
$\Delta$ Tiempo/2 (ms)	Tope Fm. Quintuco	8,57	14,24	14,69	21,85	10,07
	Tope Fm. Tordillo	13,19	22,83	28,69	36,19	17,98
Rechazo Vertical (m)	Tope Fm. Quintuco	39,52	65,67	67,75	100,77	46,44
	Tope Fm. Tordillo	47,32	81,91	102,93	129,84	64,51

Tabla 3. Rechazo vertical medido en el tope de las Formaciones Quintuco y Tordillo en el área Entre Lomas

Tal como se puede observar, el rechazo aumenta hacia los niveles más profundos. Además, de manera lateral, éste tiende a aumentar en el centro de la estructura, puntos 2, 3 y 4, siendo mínimo en los bordes de la misma.

Como fue mencionado en el apartado 4.3 Sistema Petrolero, en el área de estudio no se cuenta con rocas en ventanas de generación de hidrocarburos. Cruz *et al.*, (2002) y Mosquera *et al.*, (2008) plantean la migración de hidrocarburos fue esencialmente lateral, a través de los principales *carriers* del bloque yacente. La estructuración en este sector, así como el espesor de los reservorios y sellos, jugó un rol fundamental condicionando el entrapamiento de éstos, es así que el rechazo de las fallas permitió poner en contacto sectores de rocas reservorios con los sellos internos, generando el llenado de las trampas y evitando la migración lateral.

Tal como fue mencionado anteriormente, se identificaron anticlinales de distinto tamaño. En la tabla 4 se muestran algunos puntos de medición en tiempo de ida y vuelta para aquellos que se ubican sobre el bloque techo de Entre Lomas, y para el anticlinal de El Caracol (Anexo 13.3). En el área de Entre Lomas, al oriente de las fallas principales (Figs. 29, 30 y 31) se distinguen 2 tipos de anticlinales (Norte y Sur). Uno en el sector sur, presentando un desarrollo areal menor en comparación del que se desarrolla al norte de la misma área, a su vez este último, adquiere un desarrollo más superficial. Esta característica podría estar asociada a un efecto combinado por la posición del hemigráben de orientación ONO que se encuentra por debajo de este último y los esfuerzos transpresivos que generaron las fallas en échelon.

Cota isócrona (TWT) (ms)	El Caracol		Entre Lomas Sur		Entre Lomas Norte	
	Cresta	Valle	Cresta	Valle	Cresta	Valle
Tope Fm. Centenario	625.6	671.15	680.48	717.3	646.7	701.55
Tope Fm. Quintuco	1142.68	1184.21	1180.13	1233.2	1155.09	1207.9
Tope Fm. Tordillo	1336.92	1383.8	1403.21	1442.1	1369.5	1416.55
Diferencia de altura (m)						
Tope Fm. Centenario	72.3		58.37		86.96	
Tope Fm. Quintuco	95.76		122.38		118.77	
Tope Fm. Tordillo	84.07		69.77		84.41	

Tabla 4. Cota isócrona, en tiempo de ida y vuelta, y diferencia de altura entre la cresta y el valle de los distintos anticlinales para las distintas formaciones.

## 8.2 Ciclos sedimentarios

### 8.2.1 Precuyano

Los depósitos pertenecientes a este ciclo se encuentran en ambas áreas rellenando hemigrábenes. Tanto en el sector oriental de Entre Lomas como de El Caracol su límite con el Grupo Cuyo está representado por un reflector de amplitud negativa de gran continuidad areal (Figs. 33 y 34). En cambio, en el sector occidental de ambas áreas este límite resulta difuso ya que la superficie que separa ambos ciclos se encuentra erosionada, y los depósitos cuyanos se disponen de manera discordante. A pesar de

estos, los niveles del Grupo Cuyo muestran una configuración de reflectores de menor amplitud y mayor continuidad respecto de los depósitos precuyanos (Fig. 32).

Internamente en esta unidad, se ha reconocido evidencia de actividad extensional asociada a la generación de fallas normales sintéticas en el área El Caracol, así como la generación de pequeños anticlinales en el área Entre Lomas (Fig. 33).

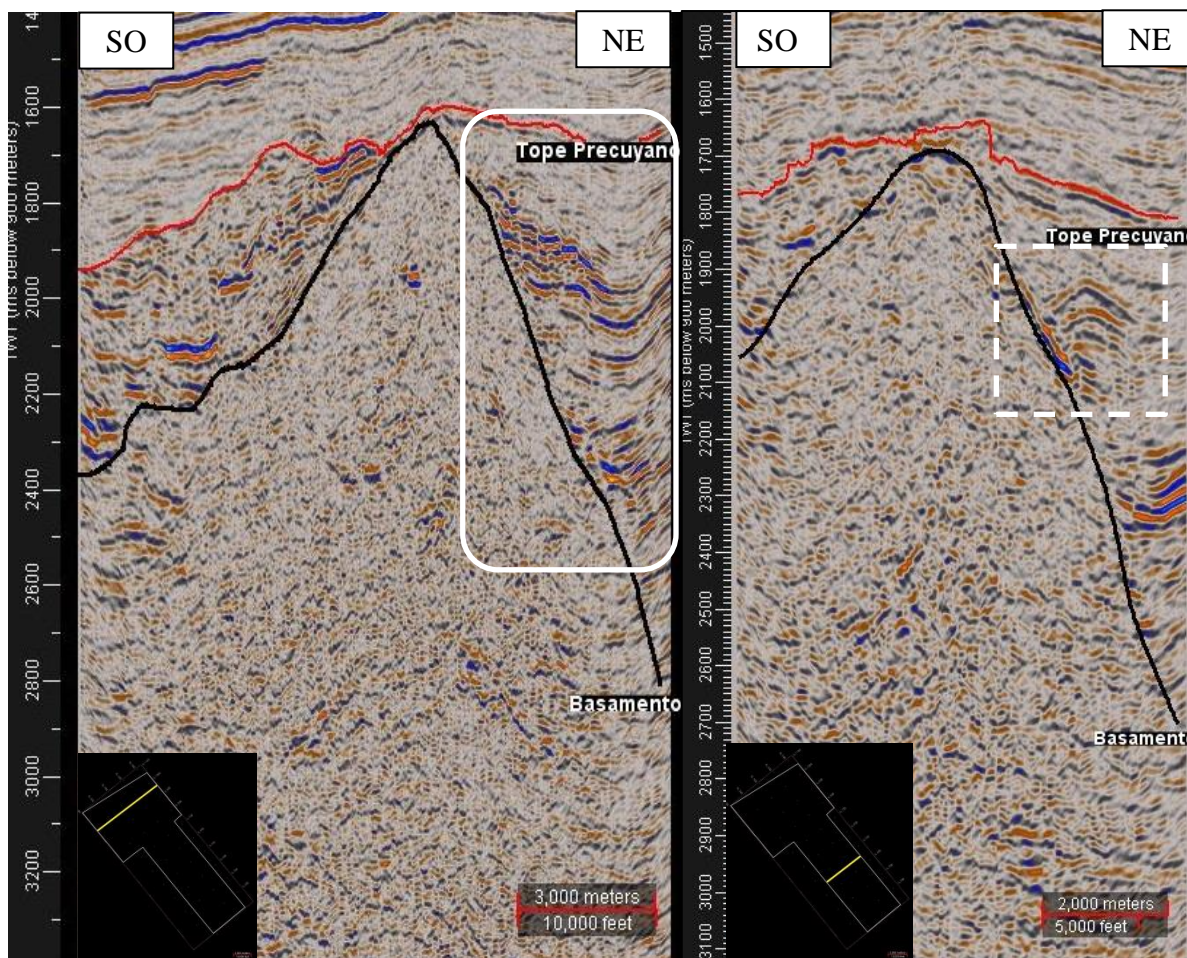


Figura 33. Izq: Sección sísmica en el área El Caracol indicando en el sector NE, el desarrollo de fallas normales en el relleno Precuyano. Der: Anticlinal desarrollado en el área Entre Lomas (recuadro blanco).

En el sector oriental de las fallas principales se reconoce una discordancia angular intra-Precuyana (Fig. 34), lo que permitiría diferenciar 2 unidades dentro de este ciclo.

En el mapa isocronopáquico (Fig. 35) de este ciclo, se pueden observar grandes variaciones de espesor, asociadas a los altos de basamento. Hacia el sector NE de área, el espesor se hace máximo, debido a que los depósitos Precuyanos se encuentran rellenando los hemigrábenes, alcanzando valores cercanos a los 1250 ms respecto del alto de basamento donde tienden a adelgazarse considerablemente. Sin embargo en dirección SO, la tendencia de aumento de espesor se mantiene, aunque con una menor magnitud, cercana a los 500-600 ms para el área El Caracol.



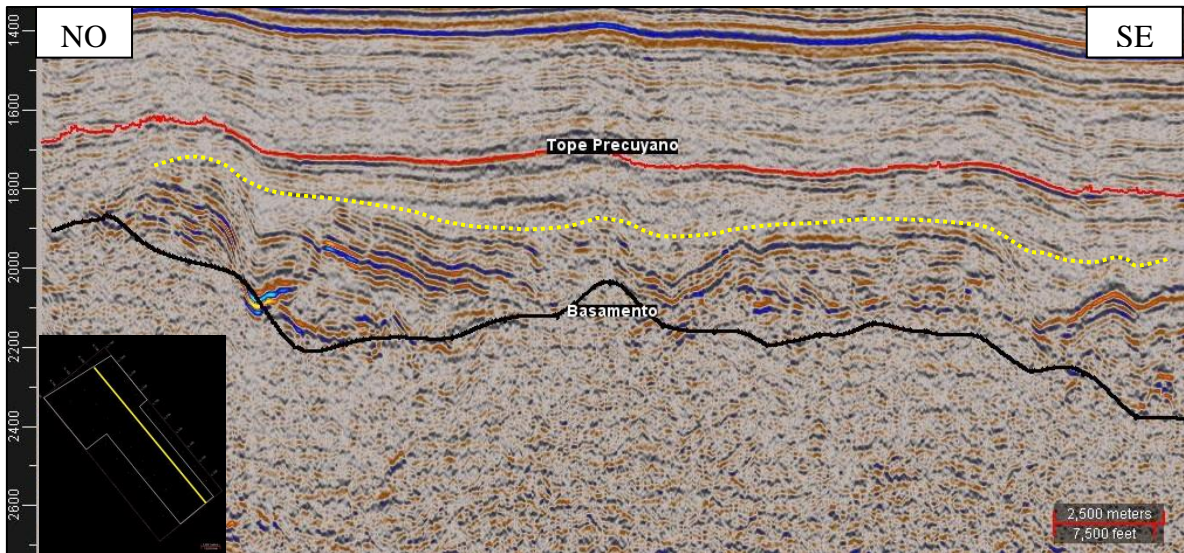


Figura 34. Sección sísmica indicando discordancia angular dentro del ciclo Precuyano (línea punteada amarilla).

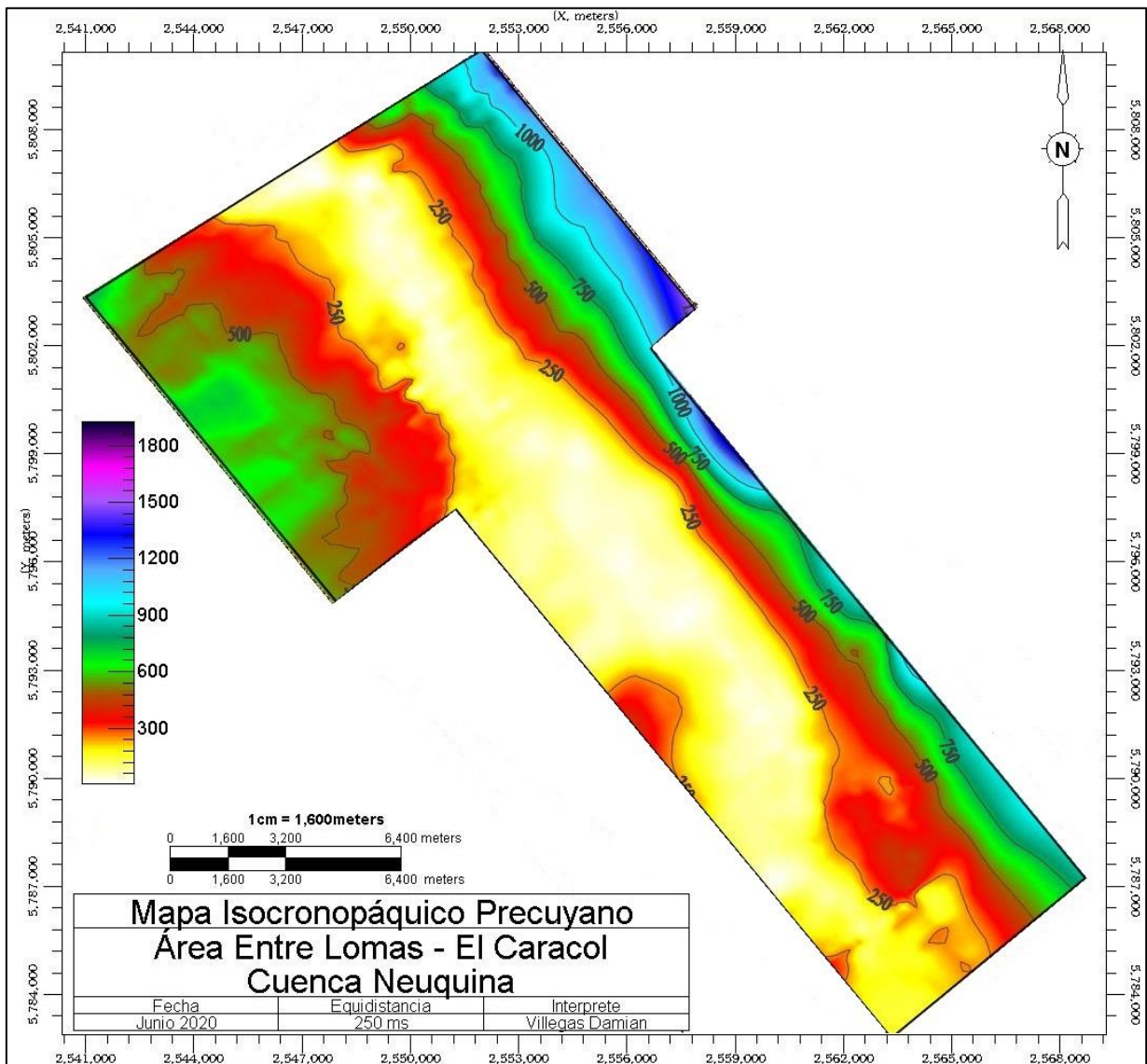


Figura 35. Mapa isocronopáquico del Ciclo Precuyano, mostrando las variaciones de espesor (en tiempo).



La variación de los espesores en las inmediaciones de los hemigrábenes, resalta el fuerte control estructural que hubo sobre la depositación del Precuyano, durante Triásico Superior – Jurásico Inferior, tiempo en el cual se generaron en la Cuenca Neuquina numerosos depocentros extensionales de orientación general NO (Uliana y Biddle, 1988).

### 8.2.2 Grupo Cuyo – Grupo Lotena

Las acumulaciones de sedimentos del Grupo Cuyo se encuentran representadas en ambas áreas, casi exclusivamente, por la Formación Punta Rosada. Aunque no se contaba con información de pozo, se siguió el esquema propuesto por Arregui *et al.* (2005), en la cual la Formación Punta Rosada se dispone sobre el Ciclo Precuyano (Fig. 36).

Este grupo ha sido dividido en este trabajo en 2 secciones. Como criterio para su diferenciación, se decidió optar por rasgos sísmicos, ya que no se contaba con datos de pozo que alcancen esta profundidad. La sección inferior fue identificada únicamente en el sector sudoccidental de ambas áreas, por encima de los depósitos precuyanos, disponiéndose en discordancia sobre estos, hasta alcanzar los altos de basamentos, cuyo límite superior queda determinado por un reflector negativo de mayor amplitud (Figs. 34 y 36). Este último reflector, en el sector nororiental actúa como límite entre los depósitos del Precuyano y la sección superior.

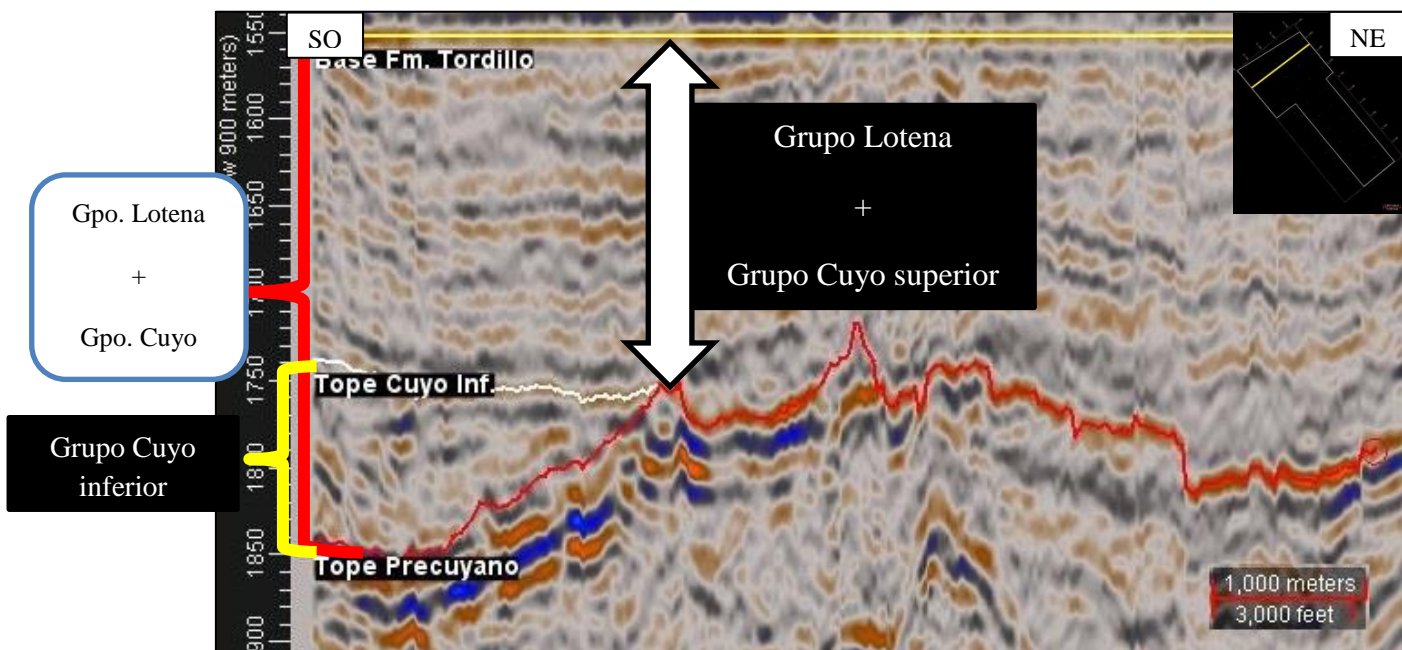


Figura 36. Sección sísmica horizontalizada a la base de la Formación Tordillo. Mostrando en el sector sudoeste a los depósitos asignados a la sección inferior del Grupo Cuyo en relación de *on-lap* sobre los depósitos precuyanos.

Esta sección inferior pudo ser identificada por completo en el sector occidental del área El Caracol, en cambio en el área Entre Lomas, solamente se la ha podido mapear de manera aislada en el sector sudoeste. En el Figura 37 se puede visualizar el espesor de la misma, el cual muestra un marcado aumento hacia el sector oeste, y su límite copia la paleosuperficie labrada sobre los altos estructurales.

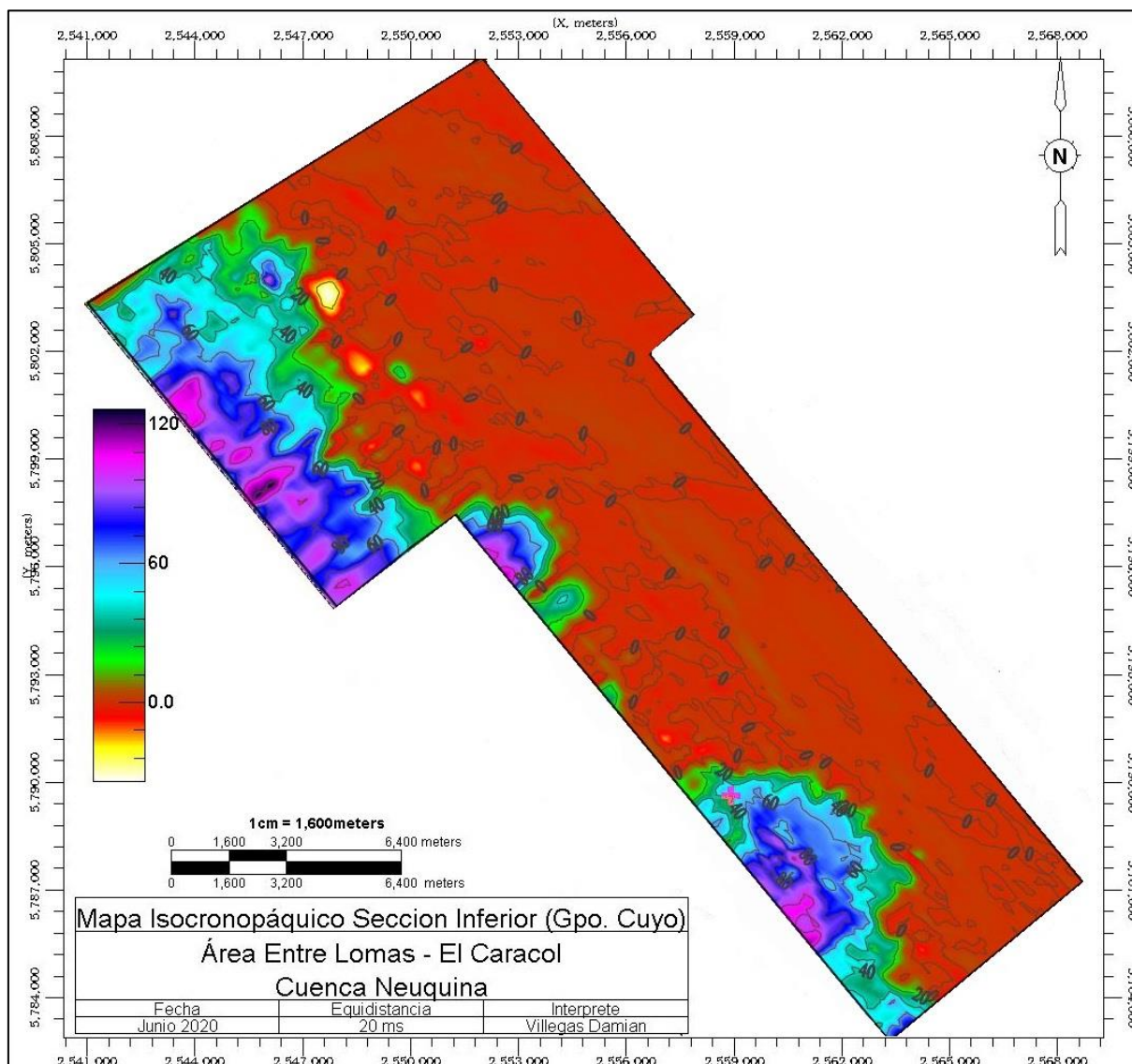


Figura 37. Mapa isocronopáquico de la sección inferior del Grupo Cuyo, mostrando la variación de espesores (en tiempo).

Las acumulaciones comprendidas en la sección superior están representadas por la Formación Punta Rosada y por escasos depósitos del Grupo Lotena, y como fue mencionado anteriormente, se ubican sobre los depósitos precuycanos y encima de la sección inferior, en el sector oriental y occidental respectivamente. Hacia el tope limitan con la base de la Formación Tordillo, sin embargo hacia el sector oeste del área El Caracol se han identificado una serie de reflectores que presentan un gran contraste de amplitud (Fig. 38), los mismos corresponderían a acumulaciones pertenecientes al Grupo Lotena, y en particular a las facies evaporíticas de la Formación Auquilco. Su límite inferior con la sección superior no se ha podido determinar por la falta de datos



de pozo, por lo tanto se decide ubicar a estos reflectores dentro de la sección superior del intervalo Cuyo-Lotena, quedando limitados al tope por la base de la Formación Tordillo. En base al cálculo del atributo “extracción de amplitud” (Fig. 39), se observa que estos depósitos solamente se encuentran en el sector occidental del área El Caracol.

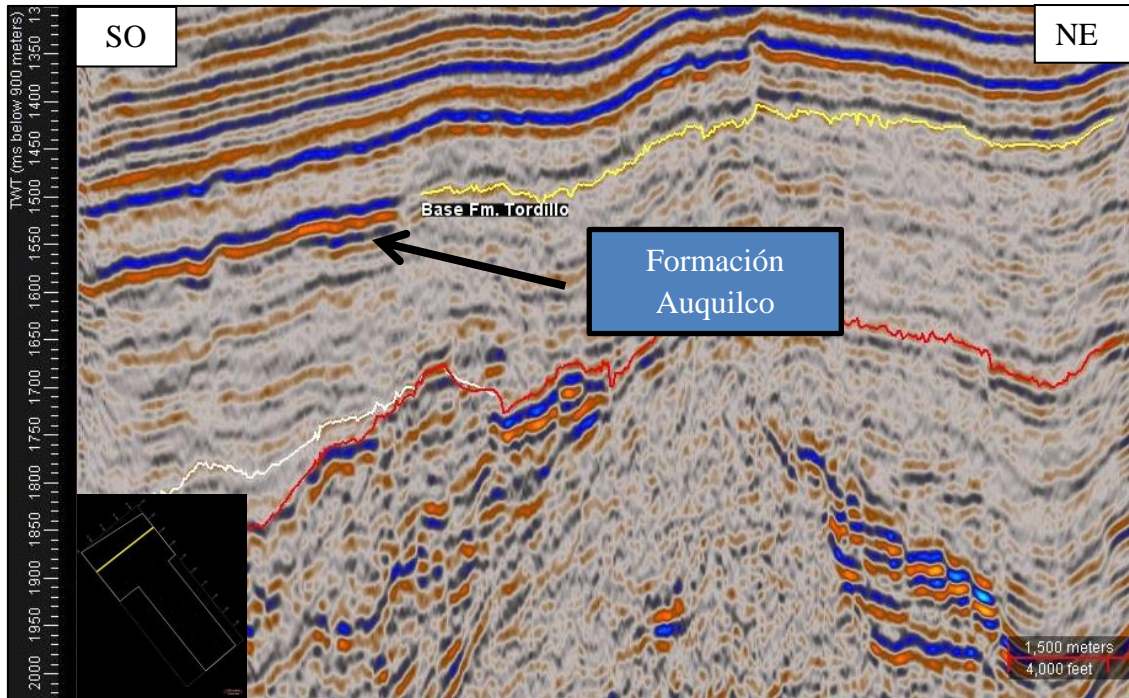


Figura 38. Sección sísmica, indicando reflectores pertenecientes a la Formación Auquilco.

Los depósitos incluidos dentro de la sección superior (Formaciones Auquilco y Punta Rosada), muestran un importante control estructural. En la parte central de ambas áreas se observa una disminución de espesor (Fig. 40), condicionada por los altos de basamento, y hacia el noreste y sudoeste de estos, el mismo tiende a aumentar. Sin embargo para el área Entre Lomas, en comparación con el área El Caracol, se hacen ligeramente mayores hacia el sector noreste, en la posición del hemigráben que controla la zona, lo que indicaría un mayor control estructural en este sector sobre la depositación de la Formación Punta Rosada.

Respecto a la variación total de los espesores del Grupo Cuyo y la Formación Auquilco (Fig. 41), cabe aclarar que los mismos muestran un comportamiento similar al mapa anterior (Fig. 40), aunque alcanzan los máximos valores en el sector oeste del área El Caracol, condición que se ve favorecida por los depósitos asignados como sección inferior del Grupo Cuyo. Los valores mínimos siguen presentes en el sector medio de ambas áreas, asociados a los altos de basamento, y conforme nos alejamos de estos, vuelve a aumentar, con mayor magnitud en dirección noreste y suroeste.



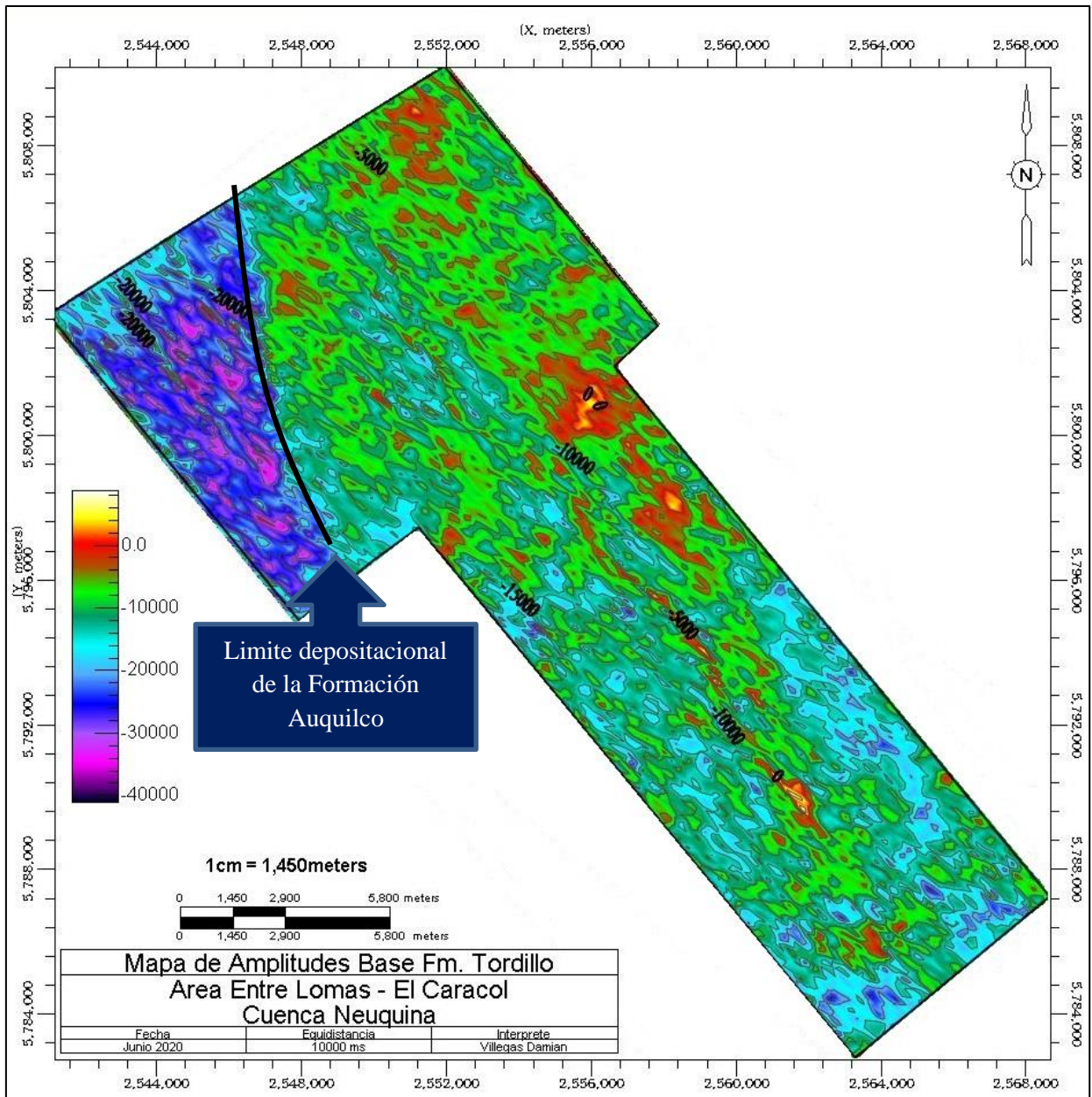


Figura 39. Mapa de amplitud a la Base de la Formación Tordillo. Los valores de mayor amplitud negativa corresponden a la Formación Auquilco.

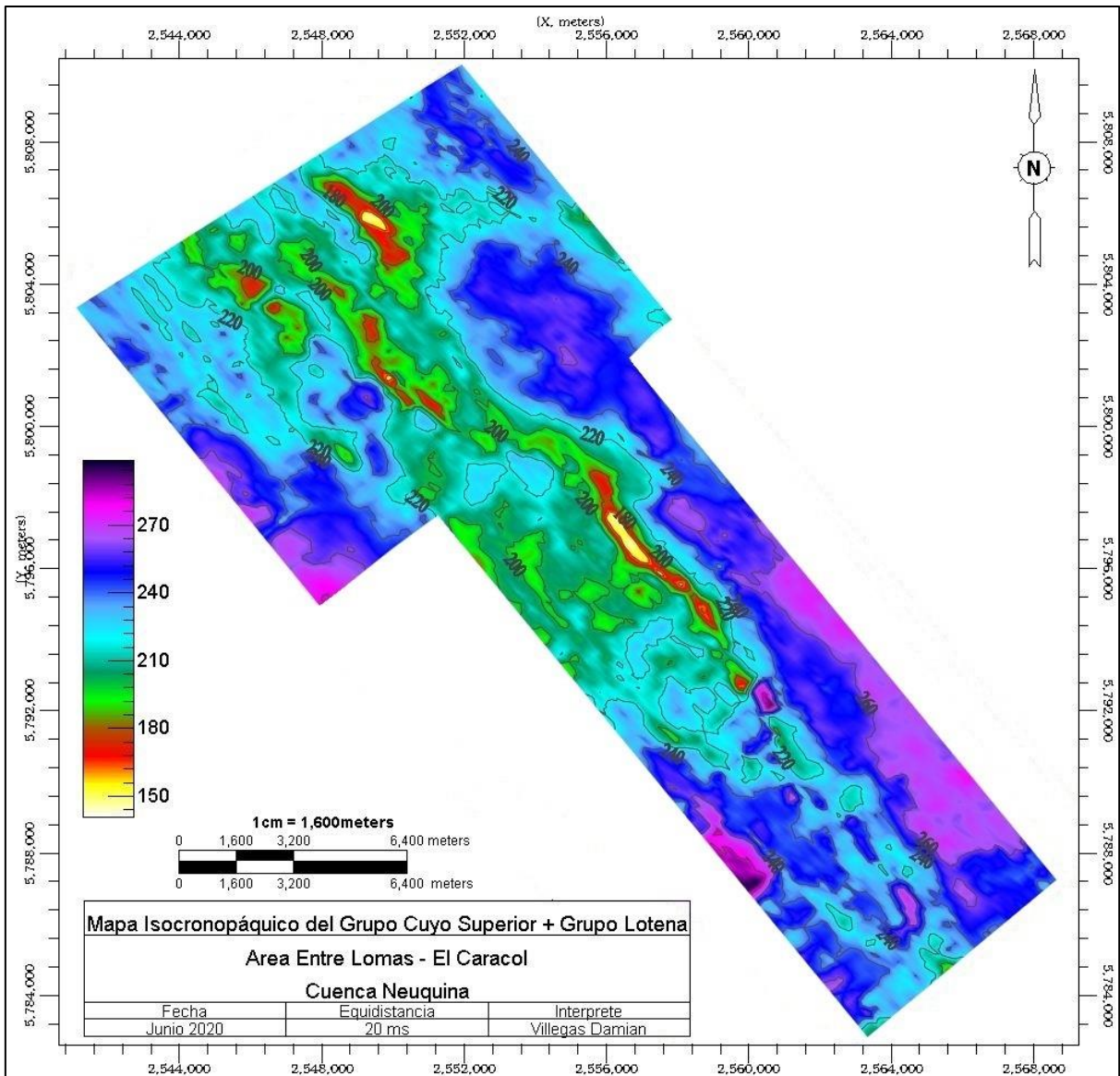


Figura 40. Mapa isocronopéxico de la sección superior del Grupo Cuyo y de la Formación Auquilco, mostrando la variación de espesor (en tiempo).

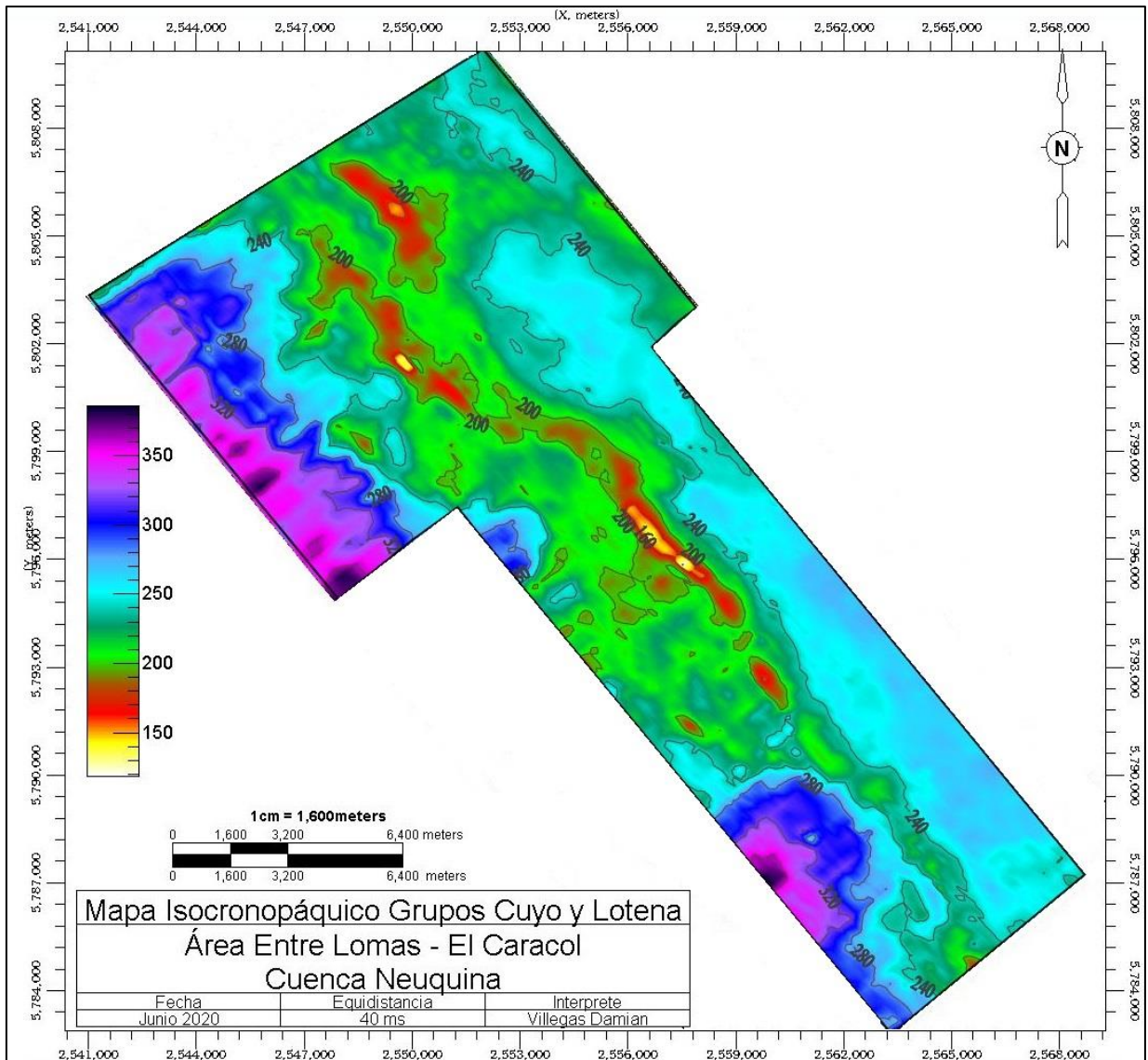


Figura 41. Mapa isocronopáquico para el Grupo Cuyo y la Formación Auquilco, mostrando la variación de espesores.

### 8.2.3 Formación Tordillo

El espesor para esta formación se mantiene relativamente constante en gran parte de ambas áreas (Fig. 42), en comparación con los ciclos antes mencionados. Sin embargo, en el sector oriental del área El Caracol, presenta una disminución, y de manera regional tiende a aumentar en dirección suroeste (Fig. 43). Esta situación nos indicaría que esta zona actuó como un alto estructural durante la depositación de esta unidad. Por lo tanto en comparación con los ciclos analizados anteriormente, se puede decir que hubo una inversión de las zonas de aporte, con un ligero aumento de los espesores hacia el sector suroeste, en donde esta formación copio la paleogeografía existente para este periodo.



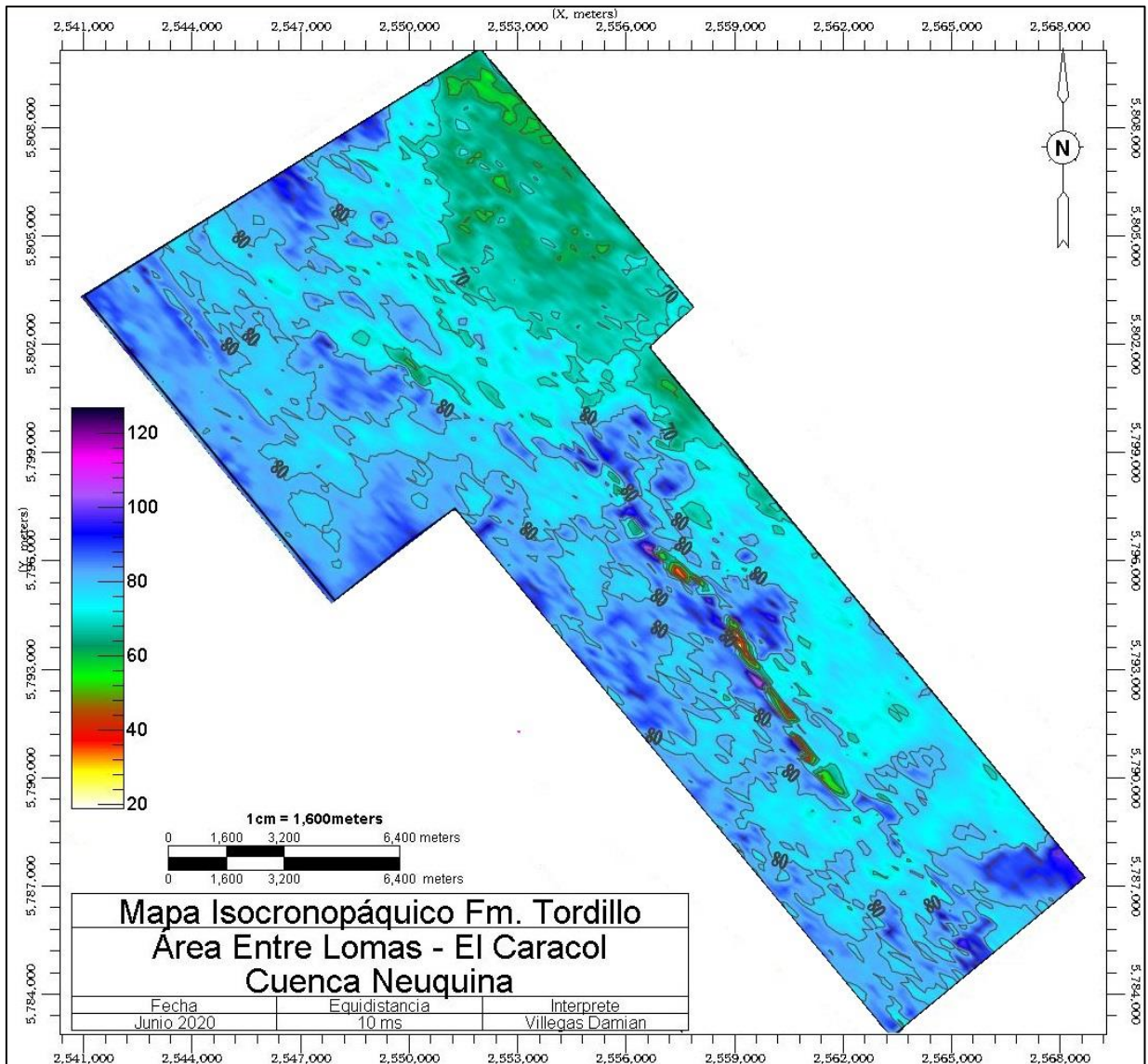


Figura 42 Mapa isocronopéutico de la Formación Tordillo, mostrando la variación de espesores.

En el área de Entre Lomas se observa un comportamiento similar al área anterior, aunque de menor magnitud. El espesor se hace ligeramente menor hacia el sector noreste del alto principal (Fig. 44). Por lo tanto se infiere que durante la depositación de esta formación, ambos bloques presentaban una posición equilibrada.

En general se observa que los altos de los principales anticlinales no tuvieron incidencia en la distribución de espesores de esta formación, el aumento de espesores se da hacia el sector suroeste, de manera gradual en el área Entre Lomas, pero adquiere mayor relevancia hacia el sector oriental del área El Caracol marcando el relieve sobre el que se depositó esta unidad.

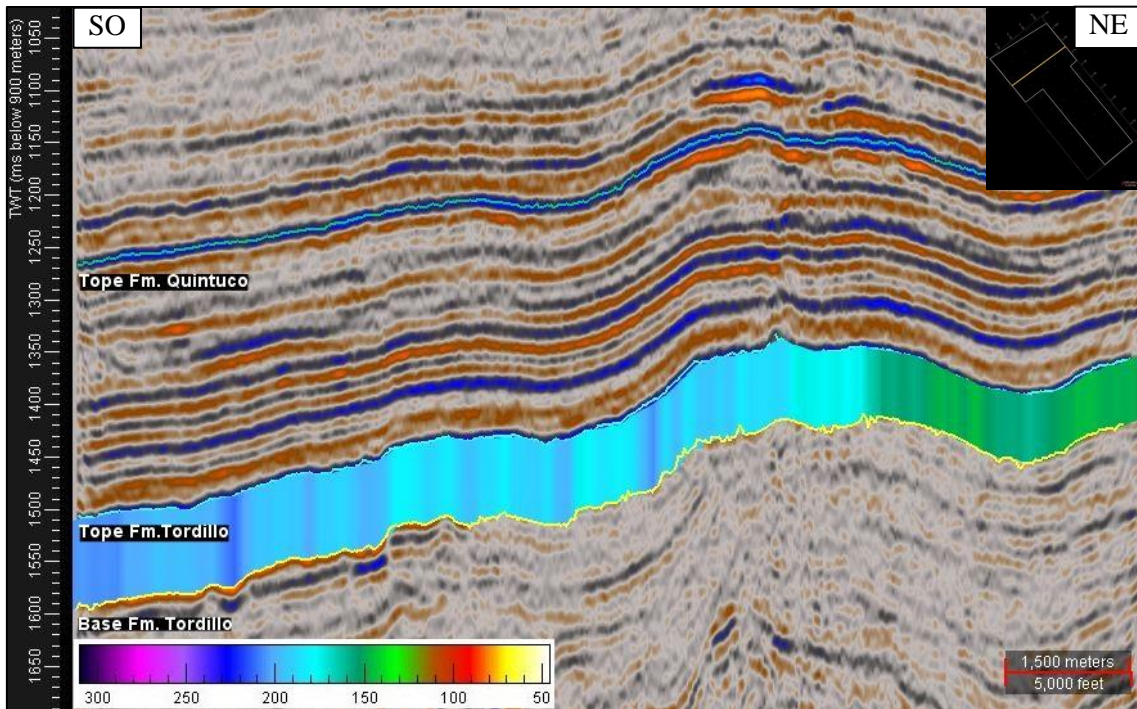


Figura 43. Sección sísmica mostrando la variación de espesor de la Formación Tordillo en el área El Caracol

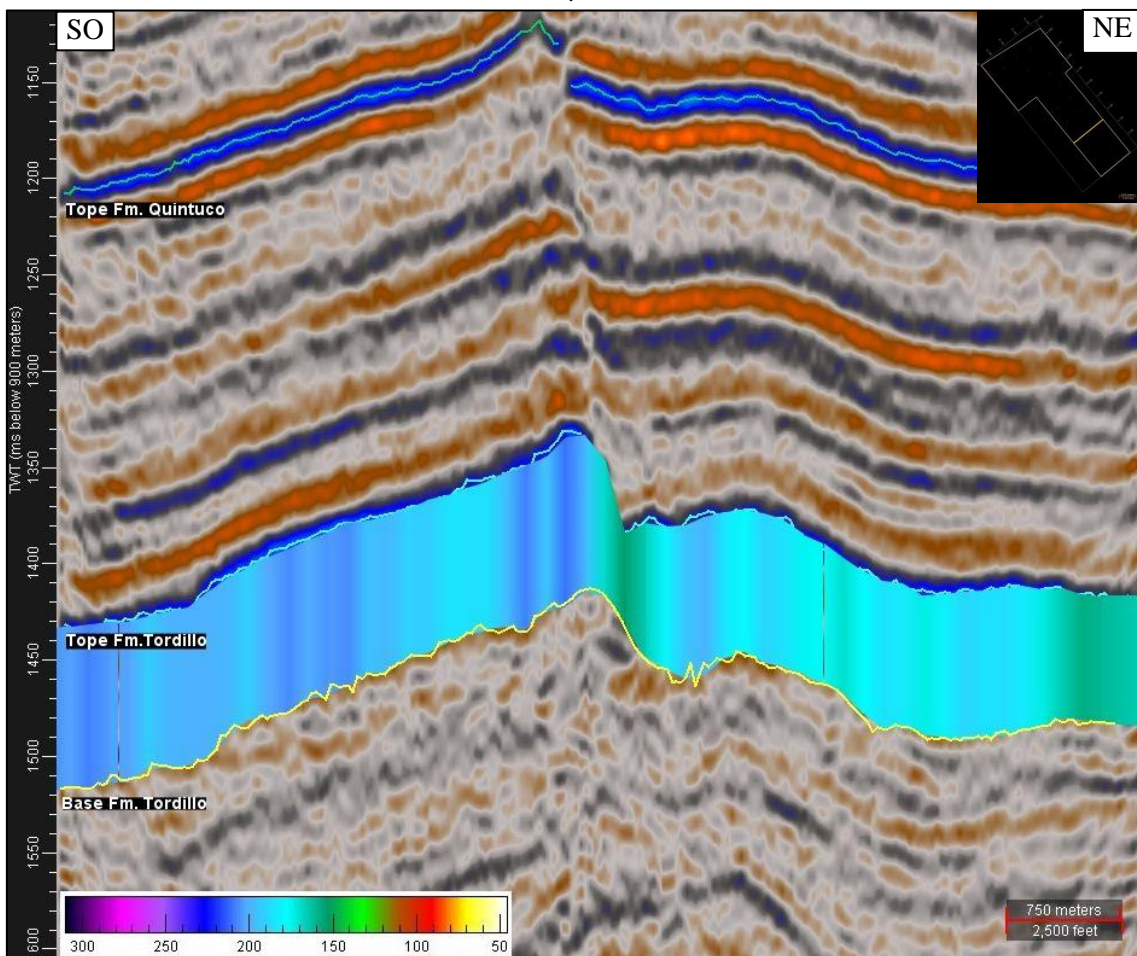


Figura 44. Sección sísmica mostrando la variación de espesor de la Formación Tordillo en el área Entre Lomas.



### 8.2.4 Formaciones Vaca Muerta – Quintuco

Este ciclo muestra un comportamiento bastante similar a la Formación Tordillo. En el sector Entre Lomas los espesores muestran un comportamiento homogéneo en toda el área, en donde los altos estructurales no han tenido efecto sobre el mismo. (Figs. 45, 46 y Anexo 13.6).

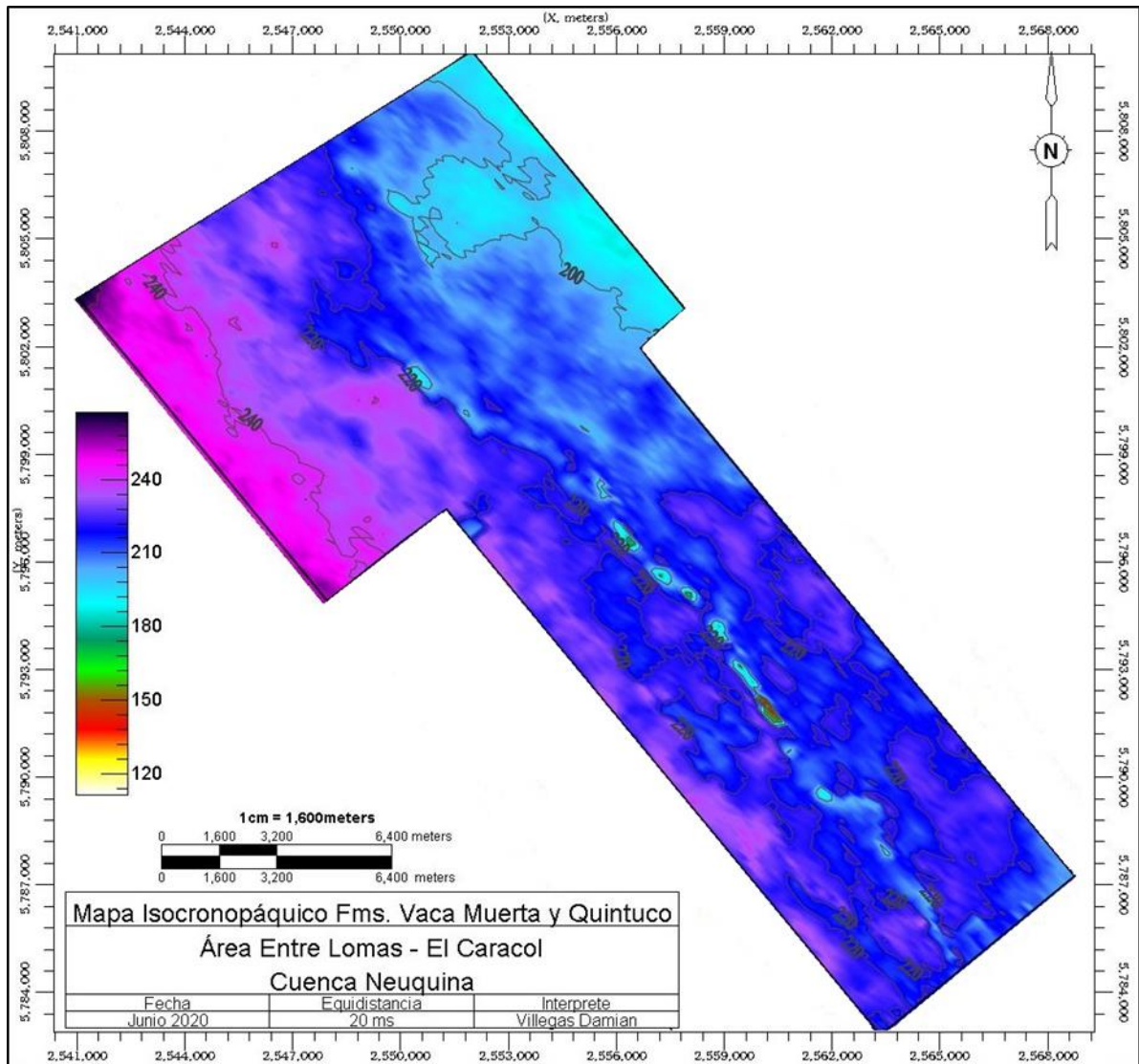


Figura 45 Mapa isocronopáquico para el Ciclo Vaca Muerta – Quintuco, mostrando la variación de espesores.

En el área El Caracol, el espesor muestra un aumento regional hacia el suroeste, sin embargo, se infiere que la falla mapeada (Fig. 45) pudo haberse desarrollado durante el relleno de este ciclo, ya que al oeste de la misma se produce un ligero aumento en el espesor (Fig. 47).



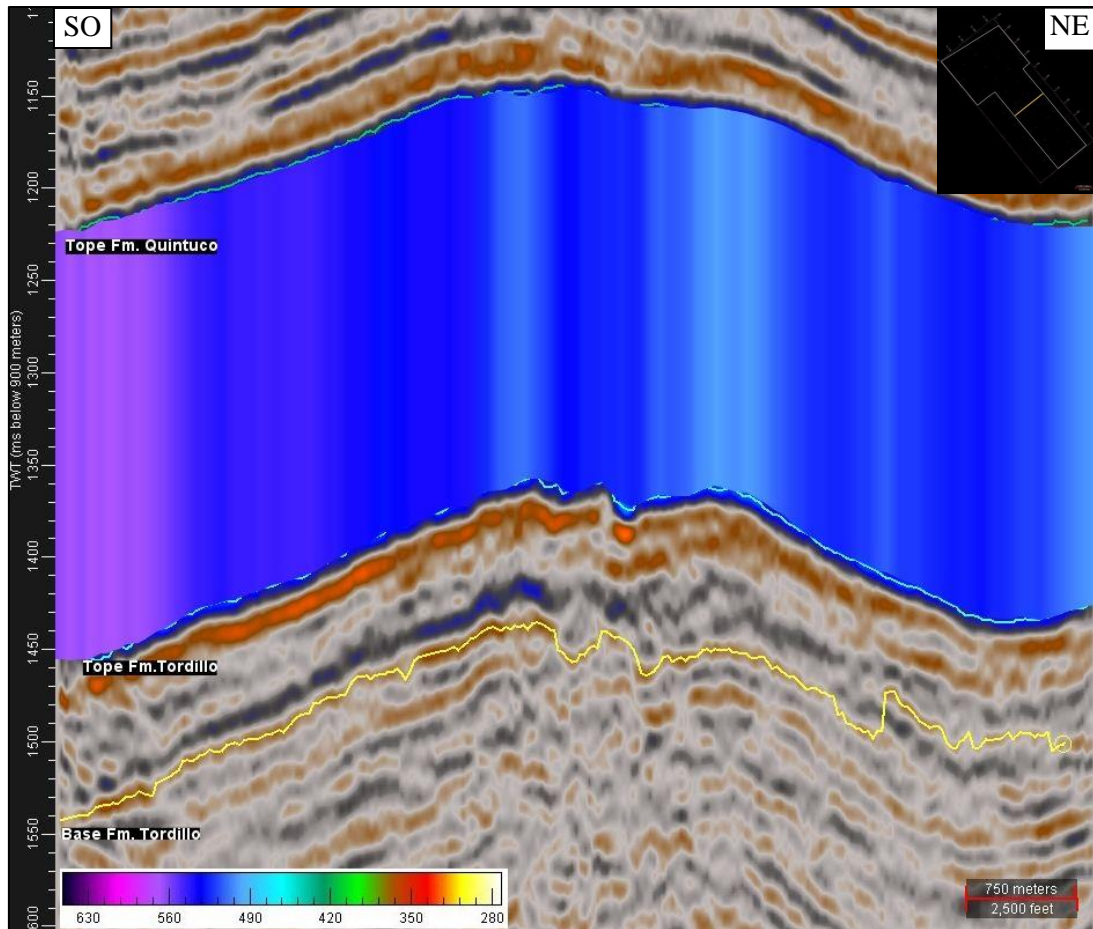


Figura 46. Sección sísmica mostrando la variación de espesor de la Formación Quintuco en el área Entre Lomas.

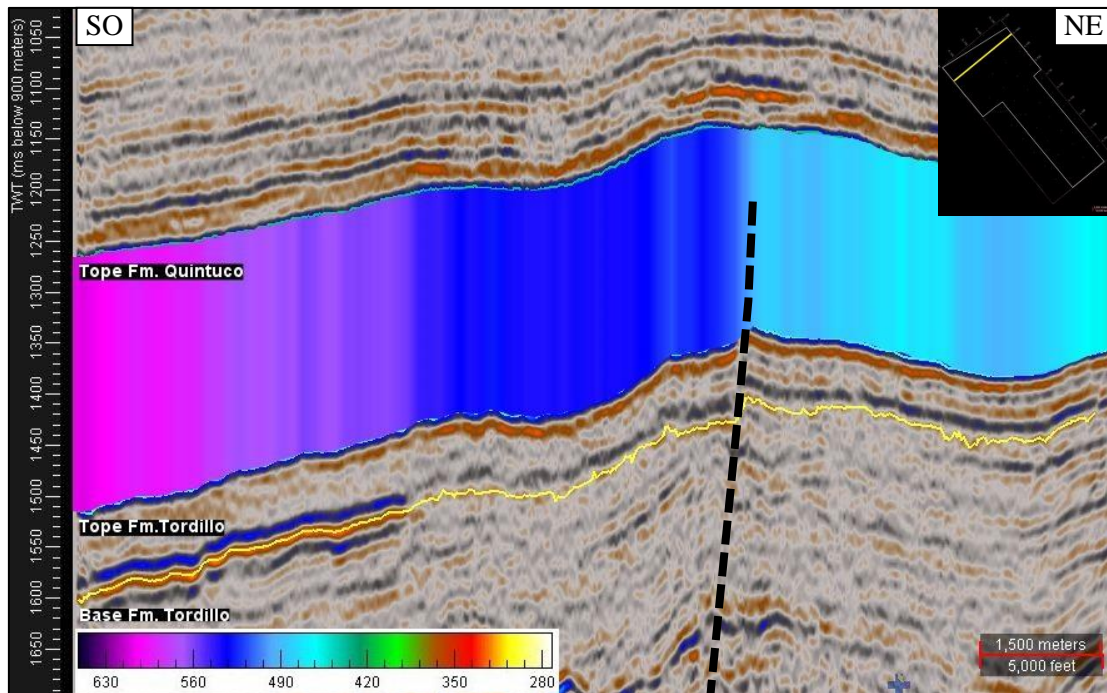


Figura 47. Sección sísmica mostrando la variación de espesor de la Formación Quintuco en el área El Caracol al occidente de la falla (línea punteada).

### 8.2.5 Formación Centenario

Esta unidad está delimitada por el horizonte que limita por el techo al intervalo más moderno que ha sido interpretado.

La influencia de la estructuración en los depósitos de esta unidad en el área El Caracol es casi nula, solo se registra un ligero aumento de espesor vinculado a la generación de un par conjugado de fallas normales (Fig. 24). Luego, de manera general, este tiende a aumentar en dirección oeste (Fig. 48 y Anexo 13.6).

En el área Entre Lomas, el espesor muestra mayores variaciones. En la zona central el espesor se hace mínimo, como resultado de la influencia del alto de basamento. Situación que se hace presente en gran parte de la historia sedimentaria, en mayor o menor medida, para el área Entre Lomas, y que combinado con el efecto de compactación diferencial regula la distribución de los espesores.

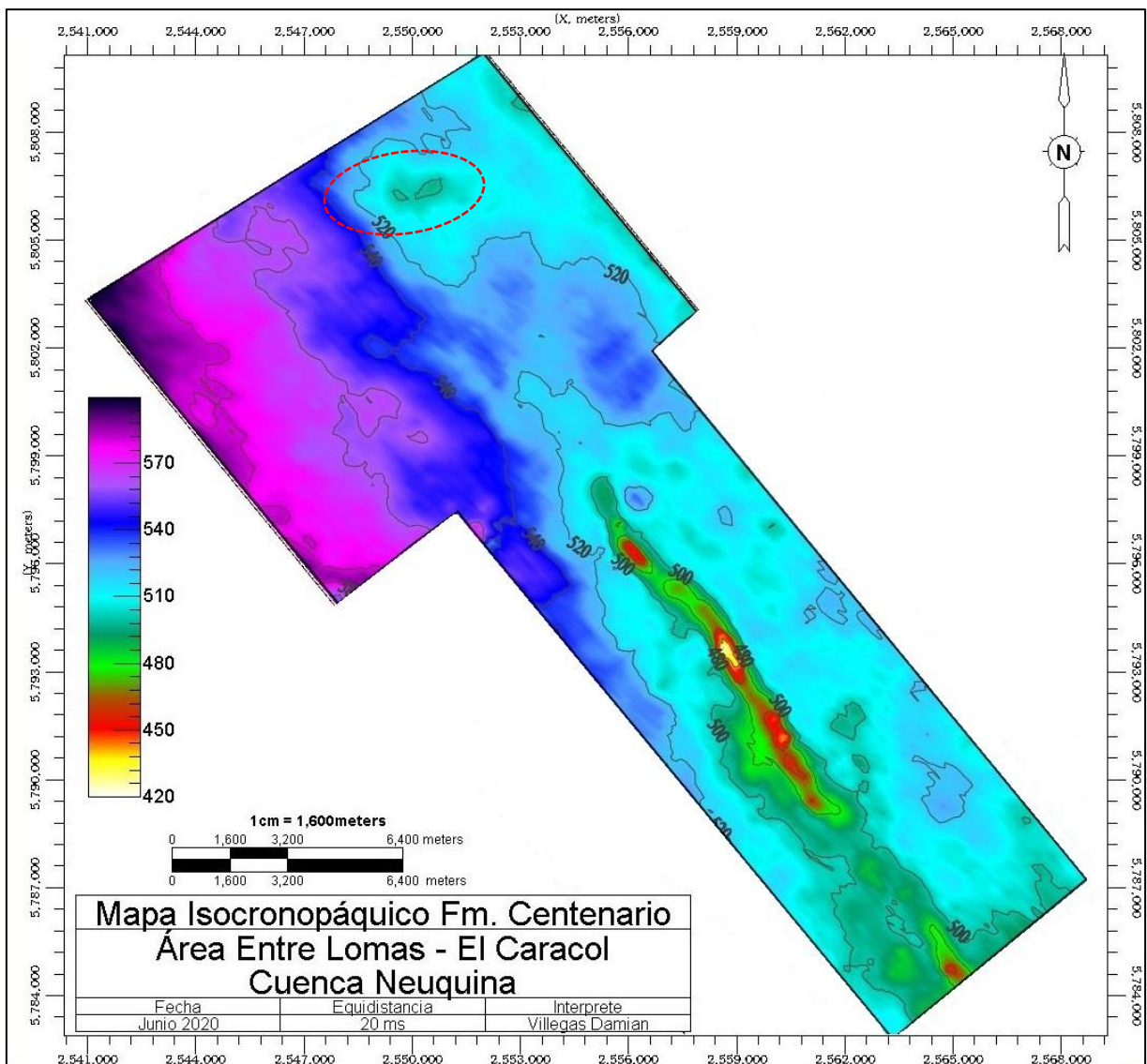


Figura 48. Mapa isocronopáquico de la Formación Centenario, mostrando la variación de espesores. Indicando en el área El Caracol un ligero aumento de espesor asociado al par de fallas normales de rumbo E-O (elipse roja).

## 9 Historia evolutiva

El sistema Entre Lomas se caracteriza estructuralmente por el desarrollo de una serie de fallas normales de rumbo NO-SE y ONO-ESE, las cuales se iniciaron a fines del Triásico e inicios del Jurásico en un periodo de *rift*, las mismas conformaron una serie de grábenes y hemigrábenes, siendo las primeras las de mayor desarrollo. Estos depocentros fueron rellenados y colmatados por los depósitos volcánicos y volcanoclasticos del Ciclo Precuyano. En estos depocentros se ha identificado una discordancia angular que permite diferenciar 2 unidades dentro de este Ciclo, la misma podría estar originada con la reactivación de las fallas normales. La propagación de estas fallas de *rift* de rumbo NO-SE en la cobertura mesozoica adquiere gran importancia en la distribución de espesores, las mismas alcanzan al Grupo Neuquén. Autores como Cristallini *et al.* (2009) proponen que el efecto de subsidencia diferencial sería el responsable de la propagación de las mismas. Al oriente de estas fallas, se identifican pequeños anticlinales, cuya génesis está vinculada al colapso antitético de los estratos del bloque colgante cuando se produce la falla, estos se hacen presentes en todo el registro sedimentario.

Una vez finalizada la etapa de subsidencia mecánica, la cuenca ingresa es un estadio de subsidencia termal. Los siguientes ciclos se han desarrollado durante el Jurásico Inferior-Medio, el primero corresponde a la sección inferior del Grupo Cuyo, la cual copia la paleotopografía y se dispone con un patrón de *onlap* en el flanco occidental, estando ausente en posiciones más elevadas. Las secciones medias y superiores (Formación Punta Rosada) cubren las zonas de altos estructurales sin significativa influencia en sus espesores que incrementan gradualmente hacia el interior de la cuenca. El siguiente ciclo (Loteniano-Chacayano) está representado por la Formación Auquilco, compuesta por rocas evaporíticas que se desarrollan exclusivamente en el sector noroccidental del área El Caracol.

Durante el Jurásico Superior – Cretácico Inferior se produce la depositación del Grupo Mendoza. El primer ciclo se compone por facies continentales de la Formación Tordillo. Una vez finalizada la etapa de relleno continental se produce la ingesión marina de la Formación Vaca Muerta que junto con la Formación Quintuco, constituyen el segundo ciclo. En este último ciclo, la influencia de los altos estructurales ha dejado de tener efecto en la distribución de espesores. Esto podría estar relacionado a los Movimientos Intramálmicos, los cuales habrían generado importantes cambios paleogeográficos que fueron suavizados por el relleno continental de la Formación Tordillo. La falla del área Entre Lomas que inclina hacia el noreste pudo ser suavemente invertida (sin cambio de polaridad) y transformase en un alto estructural, al menos para la depositación de la Formación Tordillo. En cambio en el área El Caracol, se infiere que la falla normal al tope del basamento que inclina al sudoeste, pudo generar un ligero control y adelgazamiento de los estratos para el ciclo Vaca Muerta-Quintuco hacia el sector oriental. Estas unidades son coronadas por los depósitos continentales de las Formaciones Centenario y Rayoso.



Otro aspecto importante a resaltar, es el desarrollo de un sistema de fallas en échelon, las cuales se propagan desde el Precuyo hasta sobrepasar el tope de la Formación Quintuco. Su génesis, tal como fue mencionada anteriormente, podría obedecer a la reactivación de lineamientos ONO-ESE combinada con el efecto de subsidencia diferencial (Cristallini *et al.*, 2009) o podrían responder solamente al desarrollo de fallas dextrales de alto ángulo (Pangaro *et al.*, 2011). A su vez, en el área El Caracol, se identificó un par conjugado de fallas normales de orientación E-O en la cresta del anticlinal, su génesis estaría asociada al colapso extensional de la cubierta sedimentaria por encima de la estructura anticlinal, o bien puede obedecer a la relajación de los esfuerzos transpresivos asociados a la generación de las fallas en échelon.

Finalmente, durante el Cretácico Superior se depositan las distintas secciones del Grupo Neuquén. Completa la columna sedimentaria el Grupo Malargüe, el cual es originado por la ingresión del Océano Atlántico.

Las fallas principales afectan, por lo menos, parcialmente estas secciones superiores indicando reactivación parcial de las mismas durante el Cretácico Superior y/o el Cenozoico

## **10 Consideraciones finales**

Durante los años 2005-2007 en el bloque Agua Salada (Fig. 49) ubicado hacia el sector suroriental del área Entre Lomas se llevaron a cabo actividades exploratorias con objetivos profundos con el fin de evaluar la existencia de acumulaciones asociadas al sistema petrolero Los Molles-Lajas-Punta Rosada. El Grupo Cuyo inferior constituyó uno de esos objetivos, en él se encontraron 40m de *net pay* con porosidades del 15% y permeabilidades de 50 mD, en capas de areniscas y conglomerados de 20m de espesor. Los ensayos de este objetivo arrojaron caudales iniciales de petróleo de 70m<sup>3</sup>/d y gas de 270.000 m<sup>3</sup>/d, sin fractura hidráulica, en rango de profundidades de 2900-3100 mbbp.

Con el fin de entender los excelentes caudales iniciales del Grupo Cuyo inferior, y con el fin de predecir la distribución de las facies y arquitectura de los reservorios, Mosquera *et al.*, (2008) realizaron un estudio de integración de información de corona, perfiles de imagen y convencionales, estudios palinológicos y de microfósiles sobre muestras de *cutting* y volumen sísmicos 3D de diferentes atributos. A partir de esta información, reconoció el desarrollo de un sistema deltaico tipo *braid* (Fig.51) en los depósitos clásticos del Grupo Cuyo inferior (Fig. 50) asociados paleogeográficamente al *hinge line* ubicado en la zona de transición del centro de cuenca y la plataforma y las muy buenas propiedades petrofísicas de los mismos.

Por lo anteriormente expresado, y teniendo en cuenta que el área (Entre Lomas) ha presentado a lo largo de su historia condiciones favorables para el entrapamiento de hidrocarburos, se propone continuar con la actividad prospectiva de la sección Cuyo Inferior en el sector occidental del área Entre Lomas y El Caracol, debido a que en ese sector se la ha podido identificar claramente. Los objetivos estarían centrados en la

prospección de cuerpos arenosos como los individualizados en otros puntos del borde oriental de la cuenca como los descritos en el párrafo anterior por Mosquera *et al.* (2008).

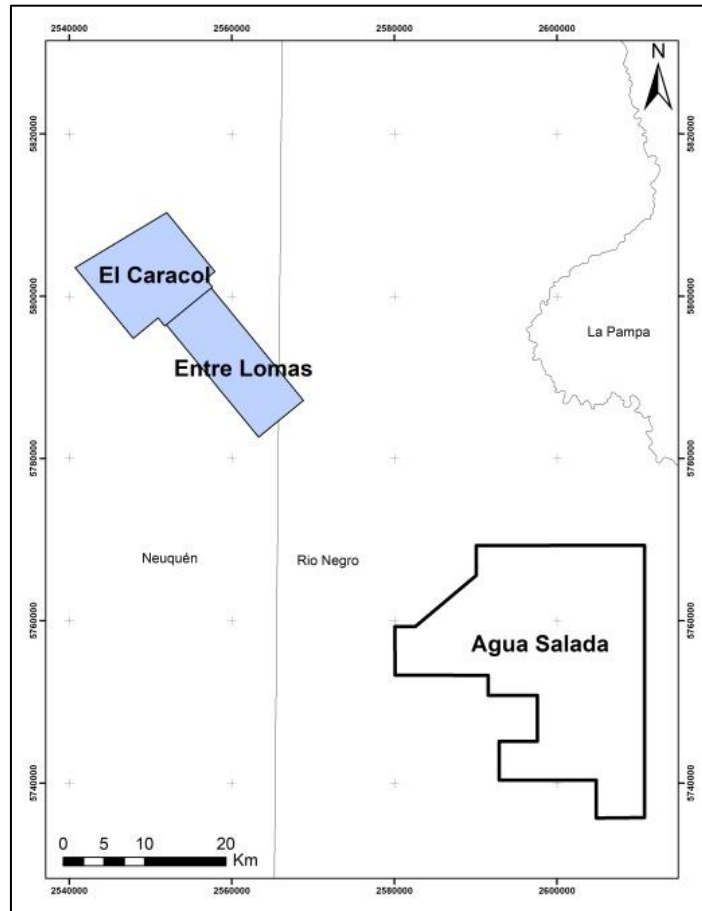


Figura 49. Mapa de ubicación de las áreas El Caracol, Entre Lomas y Agua Salada.

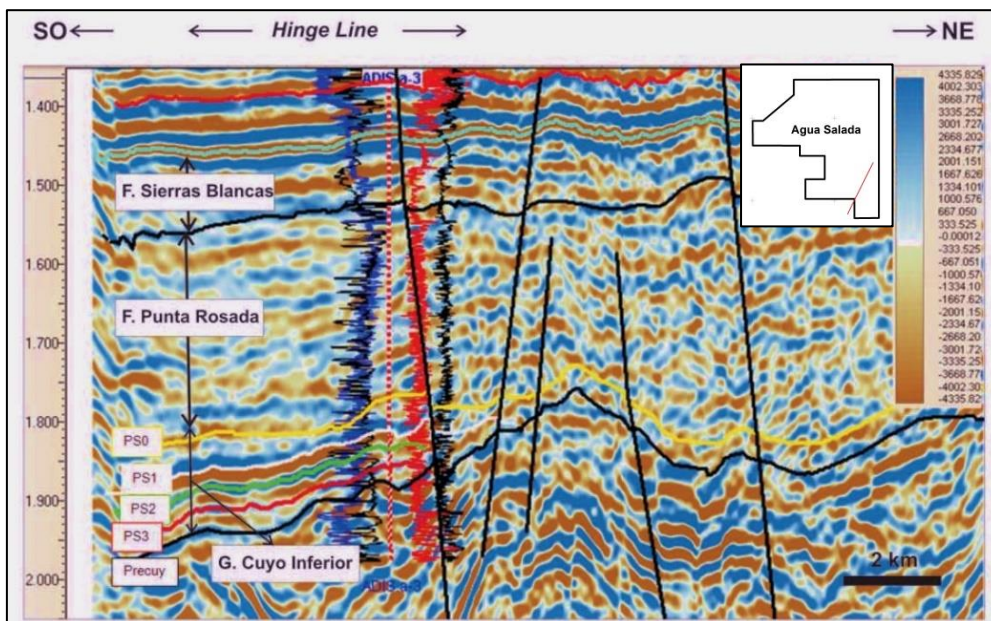


Figura 50. Sección sísmica mostrando el acúñamiento del Grupo Cuyo Inferior (extraído de Mosquera *et al.*, 2008).

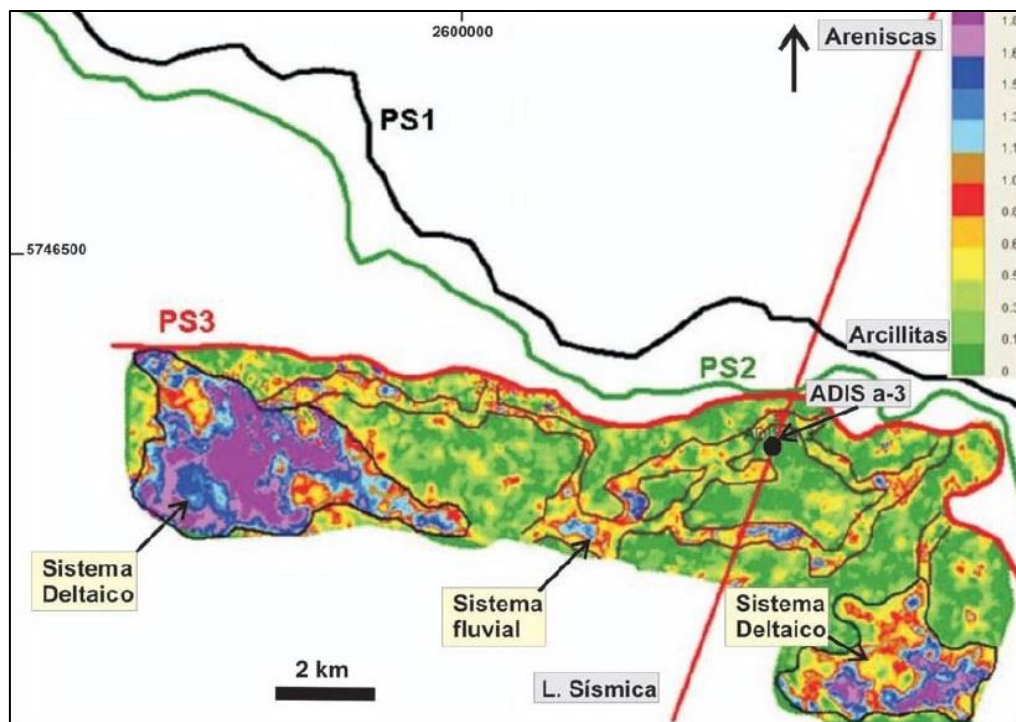


Figura 51. Extracción de cubo de porosidad del conjunto de parasecuencias PS 3. Obsérvese el desarrollo de sistemas deltaicos y fluviales (extraído de Mosquera *et al.*, 2008).

## 11 Conclusiones y recomendaciones

- ~ Se identificaron fallas de *rift* de orientación NO-SE y ONO-ESE que conforman hemigrábenes, los cuales fueron rellenos por los depósitos *sin-rift* del Precuyo. Internamente dentro de esta unidad se reconoce una discordancia angular.
- ~ Las fallas de rumbo NO-SE desarrolladas en la cubierta sedimentaria han sufrido numerosas reactivaciones a lo largo de la historia del relleno sedimentario alcanzando en algunos sectores a sobrepasar el tope de la Formación Centenario.
- ~ Se han mapeado 2 sistemas de fallas en échelon. El primero desarrollado en el sector sur del área Entre Lomas muestra un buzamiento hacia el este, quedando comprendido entre el Grupo Cuyo y la Formación Tordillo, el segundo sistema de fallas se ubica en el límite de ambas áreas y se encuentran buzando hacia el oeste, propagándose desde el Precuyo hasta los niveles superiores de la Formación Centenario.
- ~ Se identificaron anticlinales en el área El Caracol y en el sector occidental de Entre Lomas, los cuales se habrían originado por la subsidencia diferencial de los hemigrábenes, así como anticlinales de menor tamaño en el bloque colgante, asociados al colapso antitético de este bloque cuando se produce el fallamiento.
- ~ Los depósitos asignados como sección inferior del Grupo Cuyo se disponen en discordancia angular sobre el Precuyo, quedando identificados exclusivamente en el sector occidental de ambas áreas.
- ~ Se encontraron reflectores con un fuerte contraste sísmico en el sector noroeste de El Caracol, los cuales podría corresponder a las facies evaporíticas de la Formación Auquilco.



- ~ Los depósitos de los Grupos Cuyo y Lotena muestran un importante control en sus espesores, asociado a los altos estructurales de ambas áreas.
- ~ El efecto de los altos estructurales en la distribución de espesores de la Formación Tordillo dejó de tener incidencia, solo se observa una disminución en el bloque techo, lo cual refleja el efecto de los cambios paleogeográficos ocasionados por la discordancia Intramálmica.
- ~ El ciclo Vaca Muerta-Quintuco, muestra un comportamiento similar a la Formación Tordillo, pero en el área El Caracol, se infiere una posible actividad de la falla durante la depositación de esta unidad.
- ~ En el área El Caracol, la distribución de espesores de la Formación Centenario ha dejado de estar condicionada a la estructuración de la zona. En el área Entre Lomas, aún perduran los efectos de la subsidencia diferencial.
- ~ En cuanto a la posibilidad de nuevos descubrimientos de hidrocarburos, se propone la realización de estudios en la sección inferior del Grupo Cuyo en el flanco sudoccidental de las estructuras principales, teniendo en cuenta el éxito exploratorio en el área Agua Salada para la misma sección identificada en este trabajo.

## 12 Referencias

Arregui, C., Benotti, S. & Carbone, O. 1996. Sistemas petroleros asociados en el yacimiento Entre Lomas, Provincia del Neuquén. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 287-306. Buenos Aires.

Arregui, C., C. Gazzera, C. Seguí, O. Carbone & J. Quiroga, 2005. Las trampas del eje Charco Bayo – El Caracol, En: E. Kozłowski, G. Vergani y A. Boll, (Eds), Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina, Simposio del VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, p:239-260.

Arregui, C.; Carbone, O. y Leanza, H., 2011<sup>a</sup>. Contexto tectosedimentario. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 29-36 p.

Arregui C., Carbone, O. y Martínez, R. 2011b. El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano – Medio) en la Cuenca Neuquina. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 77- 89 p.

Arregui, C., Carbone, O. y Sattler, F. 2011c. El Grupo Lotena (Jurásico Medio – Tardío) en la Cuenca Neuquina. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 91– 98 p.

Astini, R.A. 1996. Las fases diastóricas del Palaeozoico medio en la Precordillera del oeste argentino. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires, Actas 5, 509–526 p.

Atencio, M. R., Späth, F. G. E. y Rendon, D., 2014. Caracterización de discontinuidades sísmicas: Cálculo y procesos de atributos sobre amplitud. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio de Geofísica: Puentes de Integración. 123-139 p.

Brown A. R., 2011. Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. American Association of Petroleum Geologists. 646 p.

Bulhoes, E. M., 2005. Principio da SismoCamada Elementar e sua aplicacao a Tecnica Volume de Amplitudes (tecVA). Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

Cabaleiro, A., Cazau, L., Lasalle, D., Penna, E., Robles, D. 2002. Los reservorios de la Formación Centenario. En: Schiuma, M., Hinterwimmer, G., y Vergani, G., (Eds), Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, p. 407-425

Carbone, O., Franzece, J., Limeres, M., Delpino, D., Martinez, R., 2011. El Ciclo Precuyano (Triásico Tardío – Jurásico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., y Vallés J.M., (Eds.), Relatorio del 18° Congreso Geológico Argentino, Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 63–76 p.

Charrier R., Pinto L. & Rodríguez M.P. 2007. Tectono-stratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En: Gibbons, W. & Moreno, T. (Eds.): Geology of Chile, Chapter 3. The Geological Society, London, Special Publication, 21-116 p.

Cristallini, E., Bottesi, G., Gavarrino, A., Rodriguez, L., Tomezzoli, R.N. y Comeron, R. 2006. Synrift geometry of the Neuquén Basin in the northeastern Neuquén Province, Argentina. En Kay, S.M. y

- Ramos, V.A. (eds.) Evolution of the Andean margin: a tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° S lat) Geological Society of America Special Paper 407: 147-161 p.
- Cristallini, E., Pando, G., Martínez, J.M., Buhler, M., Tomezzoli, R., Barredo, S. y Zambrano, O., 2008. Controles precuyanos en la estructura de la cuenca Neuquina. 17° Congreso Geológico Argentino (Jujuy), Actas 2: 759-760 p.
- Cristallini, E., Tomezzoli, R., Pando, G., Gazzera, C., Martínez, J.M., Quiroga, J., Buhler, M., Bechis, F., Barredo, S., Zambrano, O., 2009. Controles precuyanos en la estructura de la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 65 (2): 248-264 p.
- Cruz, C. E., Boll, A., Gómez Omil, R., Martínez, E. A., Arregui, C., Gulisano, C., Laffitte, G. A. y Villar, H. J., 2002. Hábitat de hidrocarburos y sistemas de carga de Los Molles y Vaca Muerta en el sector central de la Cuenca Neuquina. Argentina. V Congreso de Exploración y Explotación de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Cruz, C., Santiago, M., Canigi, A. y Villar, H. 2014. Familias genéticas, hábitat y migración de hidrocarburos en el distrito Casa de Piedra, extremo oriental de la Cuenca Neuquina, Río Negro y La Pampa, Argentina. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, 97-132 p.
- Digregorio, J.H. 1972. Neuquén. En: Leanza, A.F. (Ed.): Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias: 439-505 p. Córdoba.
- Franzese, J.R. & Spalletti, L.A. 2001. Late Triassic – early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up *rifting*. Journal of South American Earth Sciences. 14 (2001) 257-270 p.
- Freije H., Azúa G., González R., Ponce J. & Zavala C. 2002. Actividad tectónica sinsedimentaria en el Jurásico del sur de la Cuenca Neuquina. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.
- Garrido, A.C. 2011. El Grupo Neuquén (Cretácico tardío) en la Cuenca Neuquina. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., y Vallés J.M., (Eds.), Relatorio del 18° Congreso Geológico Argentino, Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén., pág: 231-244. Neuquén.
- Gómez Figueroa, J., Monárdez, C & Balod, M. 2011. El Miembro Troncoso Superior de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 189-198 p.
- Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 1. Hoja Chos Malal. Revista de la Sociedad Geológica Argentina 1(3): 177-208 p.
- Gulisano, C. 1981. El Ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza: 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 553-577 p.
- Gulisano, C.A. & Gutiérrez Pleimling, A. 1995. Field guide: The Jurassic of the Neuquén Basin. A) Neuquén province. Asociación Geológica Argentina, Serie E, 2: 1-111 p.
- Gutiérrez Pleimling, A., Olea, G., Suárez, M & Valenzuela, M. 2011. El Miembro Chorreado de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 165-180 p.



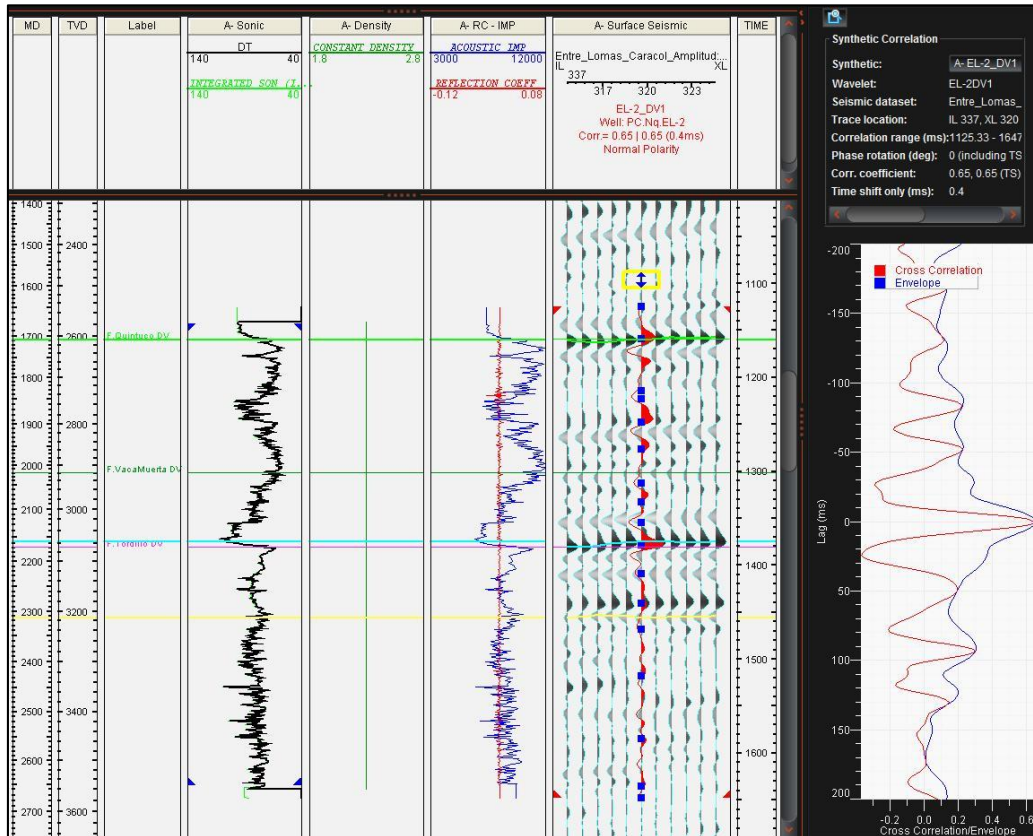
- Kearey, P., Brooks, M. y Hill, I. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Ed. Blackwell Science Ltd, Oxford.
- Leanza, H.A. & Hugo, C.A. 2011. Las Formaciones La Amarga y Lohan Cura (Cretácico Temprano) en el depocentro de Picún Leufú. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*: 223-230 p.
- Legarreta, L., Villar, H. J., Laffitte, G. A., Cruz, C. E. y Vergani, G. 2005. Balance de masa enfocado a la evaluación del potencial exploratorio de los distritos productivos y de las zonas no productivas. VI Congreso de Exploración y Explotación de Hidrocarburos, Mar del Plata. Argentina.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M. 2011. Ciclo Gondwánico: La Provincia Magmática Choiyoi en Neuquén. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*: 53-62 p.
- Maretto, H., Carbone, O., Gazzera, C. y Schiuma, M. 2002. Los reservorios de la Formación Tordillo. En: Schiuma, M., Hinterwimmer, G., y Vergani, G., (Eds), *Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina*, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, p. 335-358.
- Mosquera, A. y Ramos, V.A. 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Embayment. En: Kay, S.M. & Ramos, V.A. (Eds.): *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° S latitude)*, *Geological Society of America Special Paper 407*: 97-123 p.
- Mosquera, A., Alonso, J., Boll, A., Alarcón, M., Zavala, C., Arcuri, M. y Villar, H. 2008. Migración lateral y evidencias de hidrocarburos cuyanos en yacimientos de la Plataforma de Catriel, Cuenca Neuquina. 7º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas: 491-526.
- Mosquera A., Silvestro, J., Ramos V.A., Alarcón. M. & Zubiri, M. 2011. La Estructura de la Dorsal de Huincul. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*: 385-397 p.
- Olea, G., Suárez, M. & Valenzuela, M. 2011. El Miembro La Tosca de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*: 199-203 p.
- Olmos, M., Maretto, H. Lasalle, D, Carbone, O. y Naidés, C. 2005. Los reservorios de la Formación Quintuco. En: Schiuma, M., Hinterwimmer, G., y Vergani, G., (Eds), *Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina*, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, p. 359-382.
- Pángaro, F. y Bruveris, P. 1999. Reactivación tectónica multiepisódica de sistemas extensionales, Cuenca Neuquina, Argentina. 14º Congreso Geológico Argentino (Salta), Actas 1: 231- 234.
- Pángaro, F., Martínez, R., Sattler, F., y Bettini, F. 2011. El Flanco Oriental. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J., Vallés, J. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*, 18º Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Relatorio: 407-418 p.
- Ramos, V.A. 1984. Patagonia: ¿Un continente Palaeozoico a la deriva?. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 2, 311–325 p.
- Ramos V.A. 1999. Evolución tectónica de la Argentina. En: Caminos, R. (Ed.): *Geología Argentina*. Servicio Geológico Argentino, Anales 29: 715-784 p.

- Ramos, V.A., Folguera, A. & García Morabito, E., 2011. Las Provincias Geológicas del Neuquén. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J., Vallés, J. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, 18° Congreso Geológico Argentino*, Neuquén. Relatorio: 317-326 p.
- Ramos V.A., Jordan T.E., Allmendinger R.W., Mpodozis C., Kay, S. M., Cortés, J.M. & Palma, M. 1986. Paleozoic Terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics* 5. 855-880 p.
- Rapalini, A.E., Lopez de Luchi M., Martínez Dopico, C., Lince Klinger F., Giménez M. & Martínez, P. 2010. Did Patagonia collide with Gondwana in the Late Paleozoic? Some insights from a multidisciplinary study of magmatic units of the North Patagonian Massif. *Geologica Acta*, 8 (4): 349-371 p.
- Rodríguez, M.F., Leanza, H.A., y Salvaderry Aranguren, M., 2007. Hoja Geológica 3969-II, Neuquén, provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 370.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A. & Veiga, G.D. 2011. La Formación Mulichinco (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*: 131-144 p.
- Spalletti, L.A., Veiga, G.D. & Schwarz, E. 2011. La Formación Agrio (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*: 145-160 p.
- Tunik, M., Folguera A., Naipauer M., Pimentel M. & Ramos V.A. 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén Basin: Constraints on the Andean uplift from U–Pb and Hf isotopic data of detrital zircons. *Tectonophysics*. *Tectonophysics* 489(1-4): 258-273 p.
- Turic, M., Aramayo Flores, F., Gómez Omil, R., Pombo, R., Peroni, G., Sciutto J., Robles, D. y Cáceres, A. 1987. Geología de las cuencas petroleras de la Argentina. En Felder, B.A. (ed.) *Evaluación de las Formaciones en la Argentina I(1)*: 1-44, Schlumberger, Buenos Aires.
- Uliana, M. A. y Biddle, K. T., 1988. Mesozoic – Cenozoic Paleogeographic And Geodynamic Evolution Of Southern South America. *Revista Brasileira de Geociencias*. 48(2): 172 – 190.
- Uliana M.A., Biddle K. & Cerdán J. 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentina sedimentary basins. En: Tankard, A.J. & Balkwill H.R. (Eds.): *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margin*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 46: 599-613 p.
- Veiga, G.D. & Vergani, G.D. 2011. El Miembro Troncoso Inferior de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*: 181-188 p.
- Veiga, G.D., Spalletti, L.A. & Schwarz, E. 2011. El Miembro Avilé de la Formación Agrio (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J. C. (eds.) *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*: 161-173 p.
- Vergani G.D., Tankard, A.J., Bellotti, H. & Welsink, H.J. 1995. Tectonic evolution and Paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. *Petroleum basins of South América* America Assotiation of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402 p.

Zavala, C. y Ponce, J. 2011. La Formación Rayoso (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., y Vallés J.M., (Eds.), Relatorio del 18° Congreso Geológico Argentino, Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. P. 205-222.

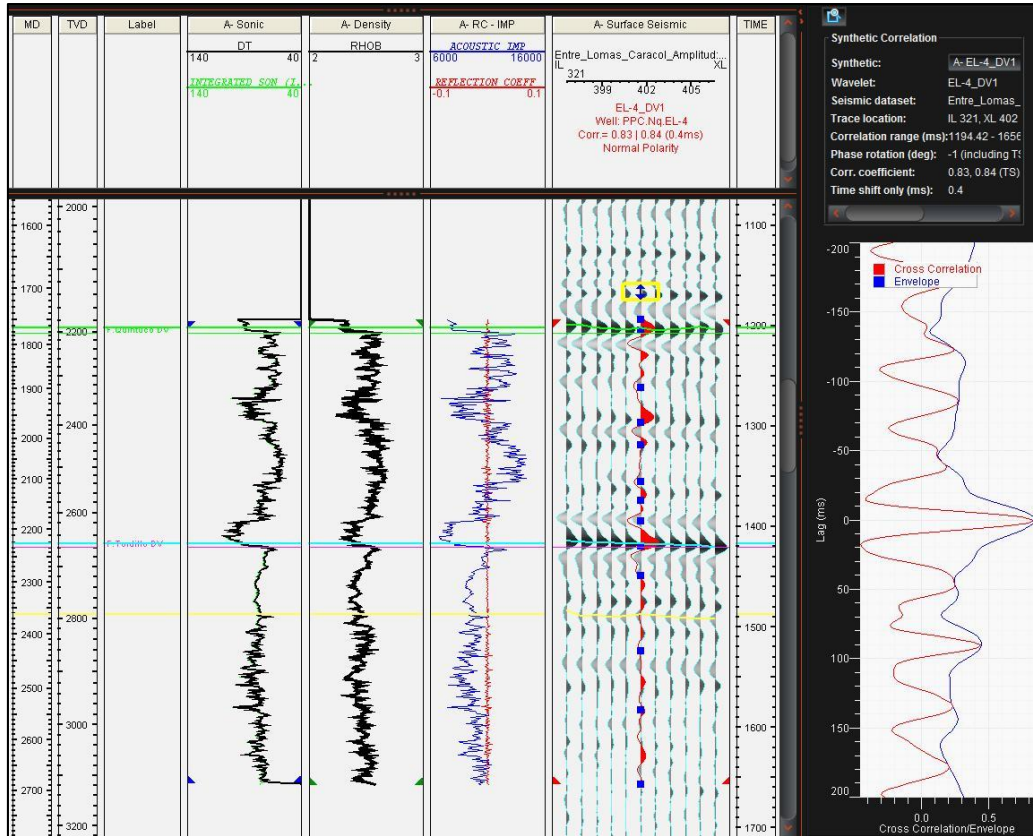
## 13 Anexos

### 13.1 Correlación sísmica – pozo

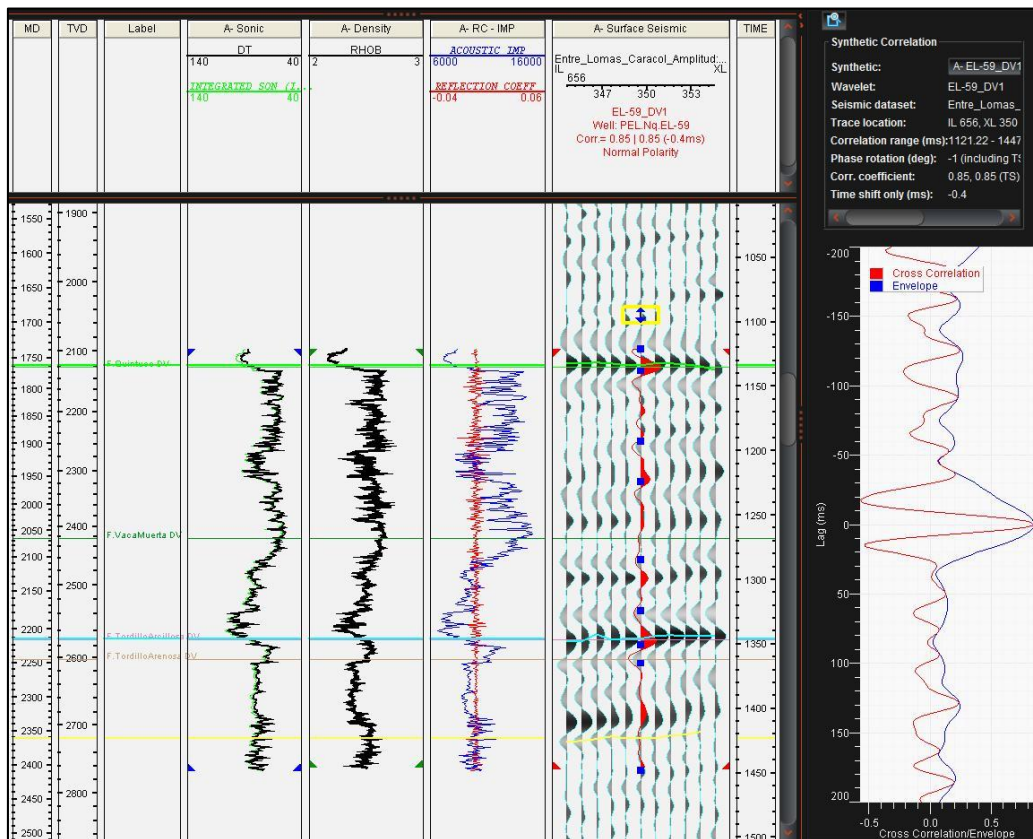


Correlación entre la sísmica y el pozo PC.Nq.EL-2

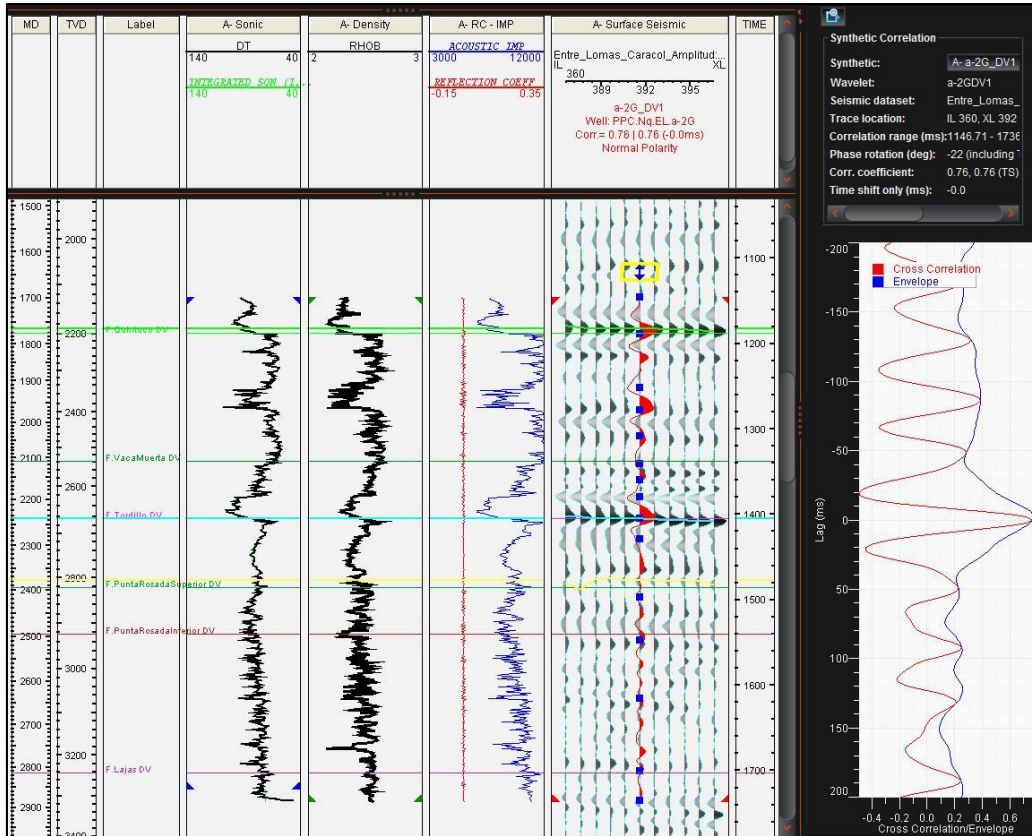




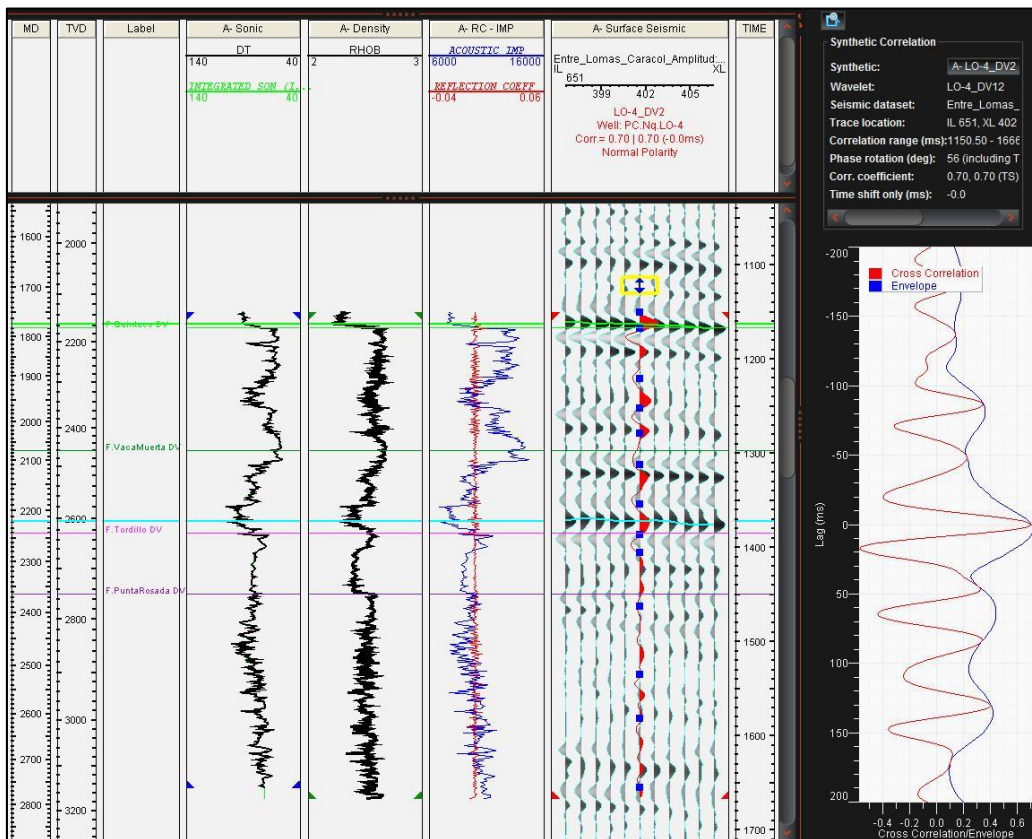
Correlación entre la sísmica y el pozo PPC.Nq.EL-4



Correlación entre la sísmica y el pozo PEL.Nq.EL-59

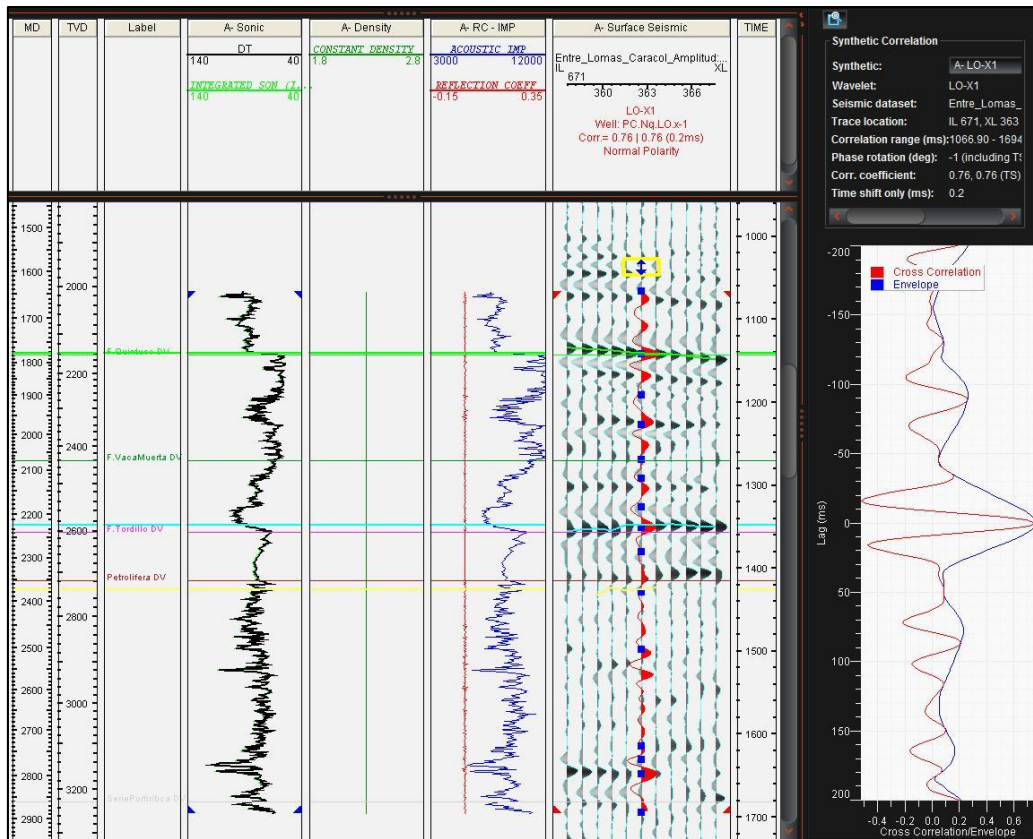


Correlación entre la sísmica y el pozo PPC.Nq.EL.a-2G



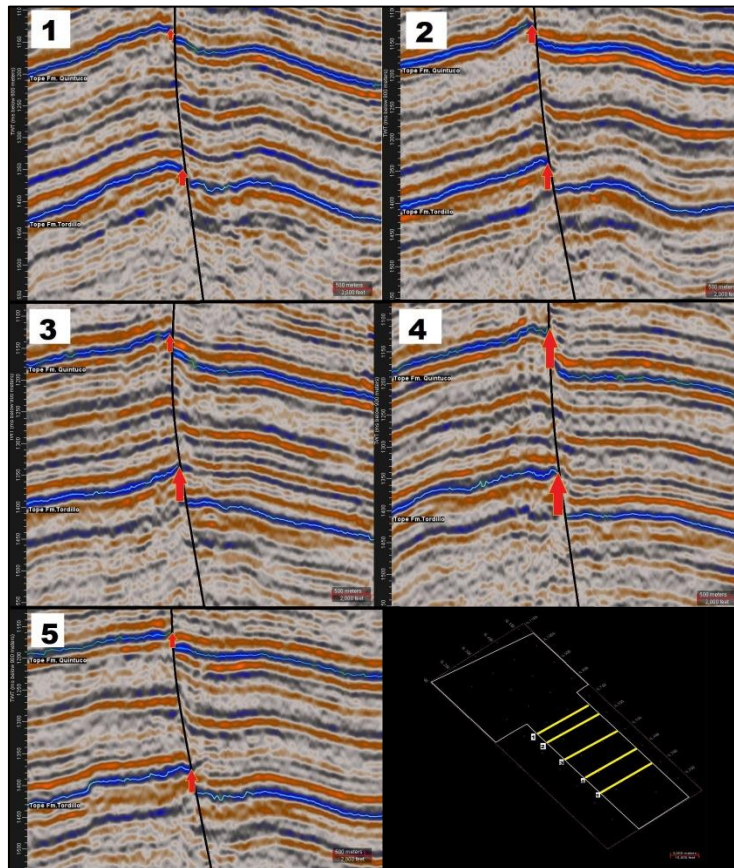
Correlación entre la sísmica y el pozo PC.Nq.LO-4





Correlación entre la sísmica y el pozo PC.Nq.LO.x-1

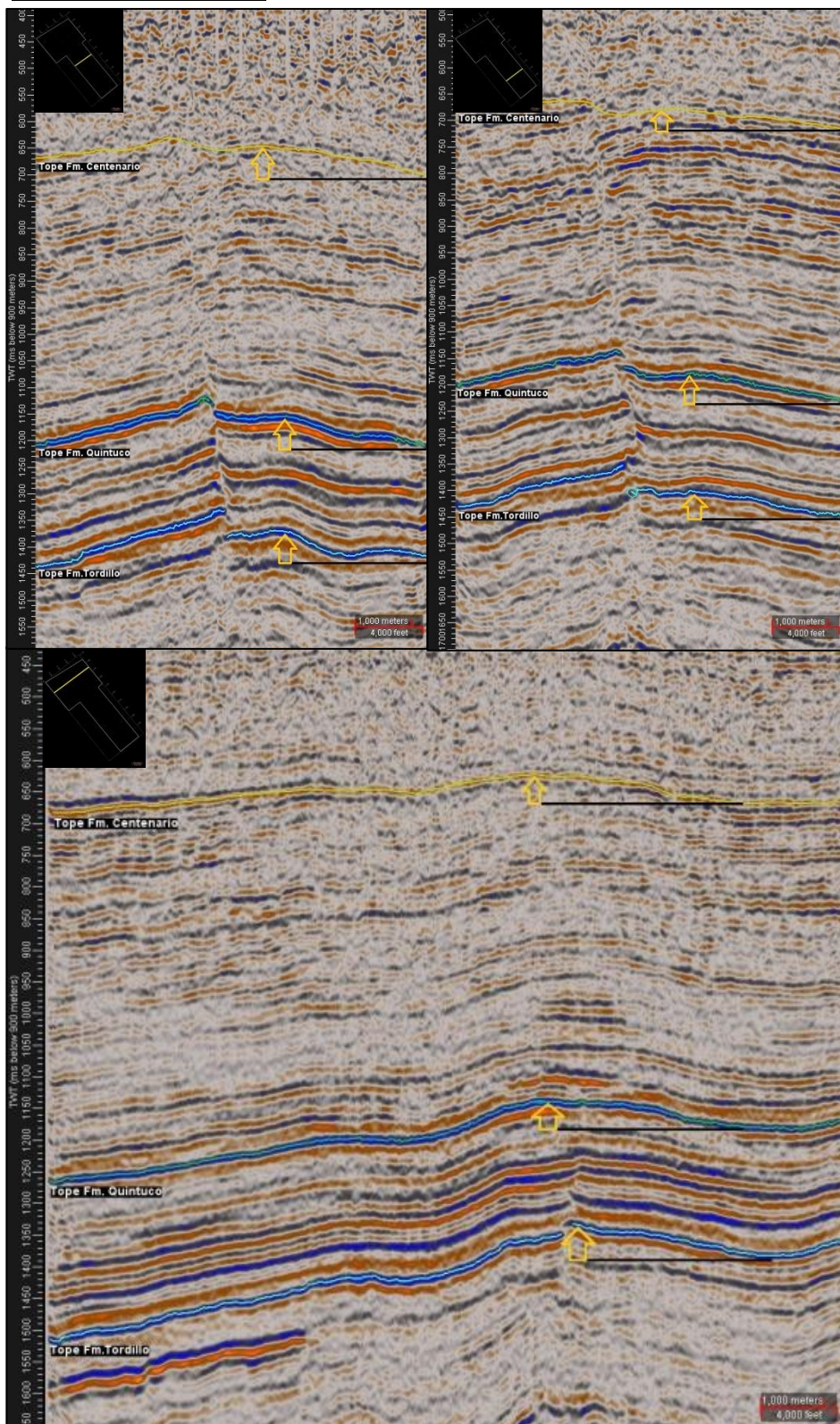
### 13.2 Calculo de rechazo vertical



Secciones sísmicas mostrando los puntos de medición de los rechazos verticales.

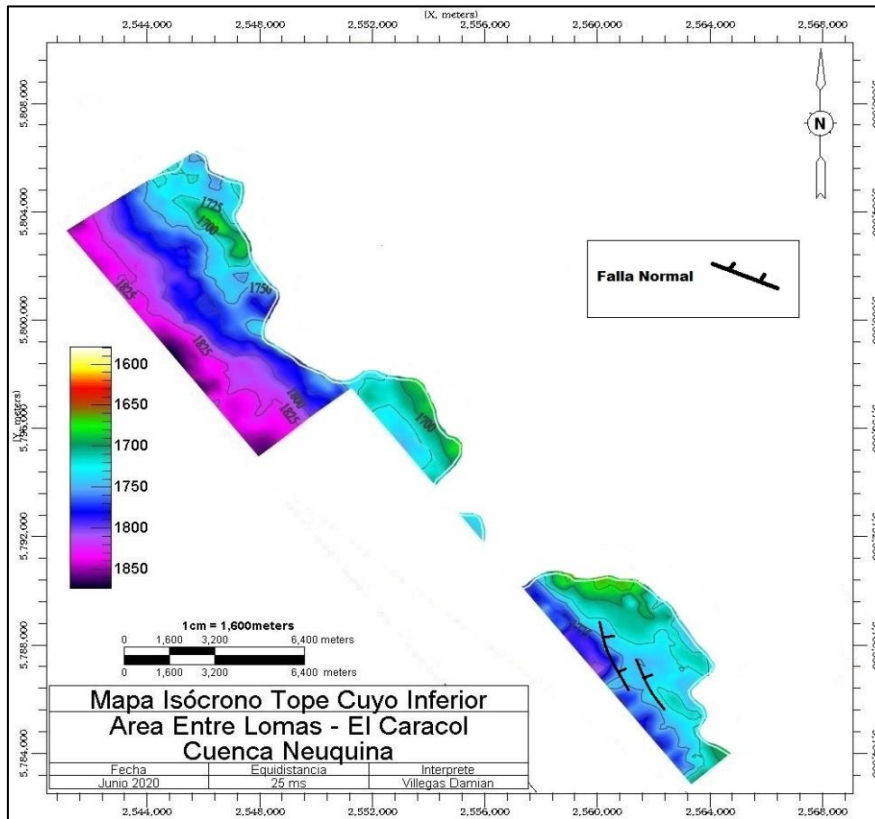


### 13.3 Calculo de relieve

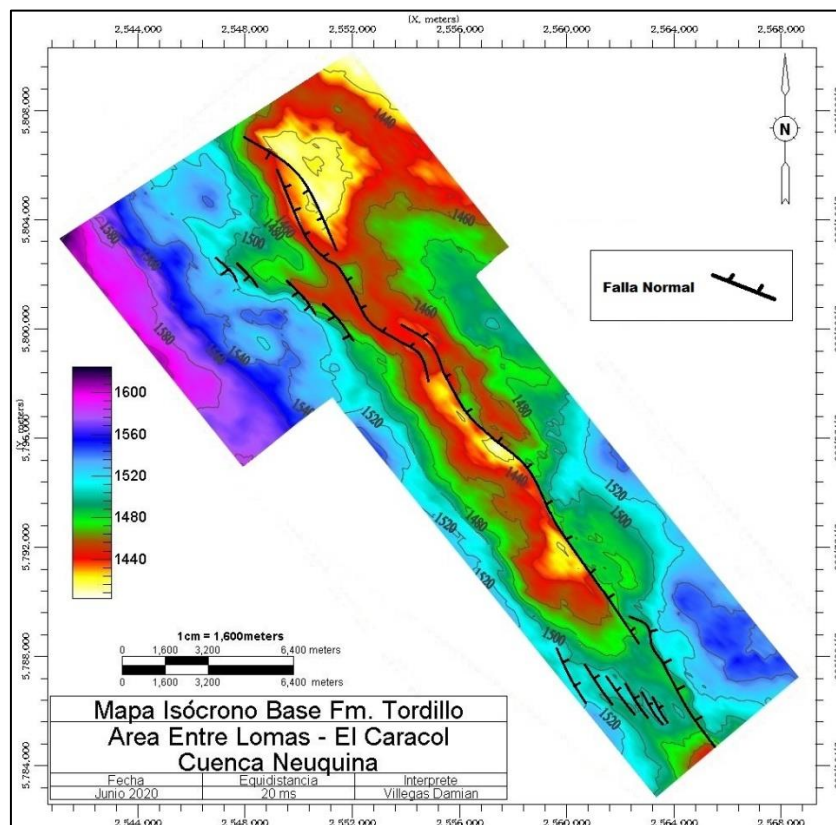


Secciones sísmicas mostrando los puntos de medición para los distintos anticlinales.

### 13.4 Mapas

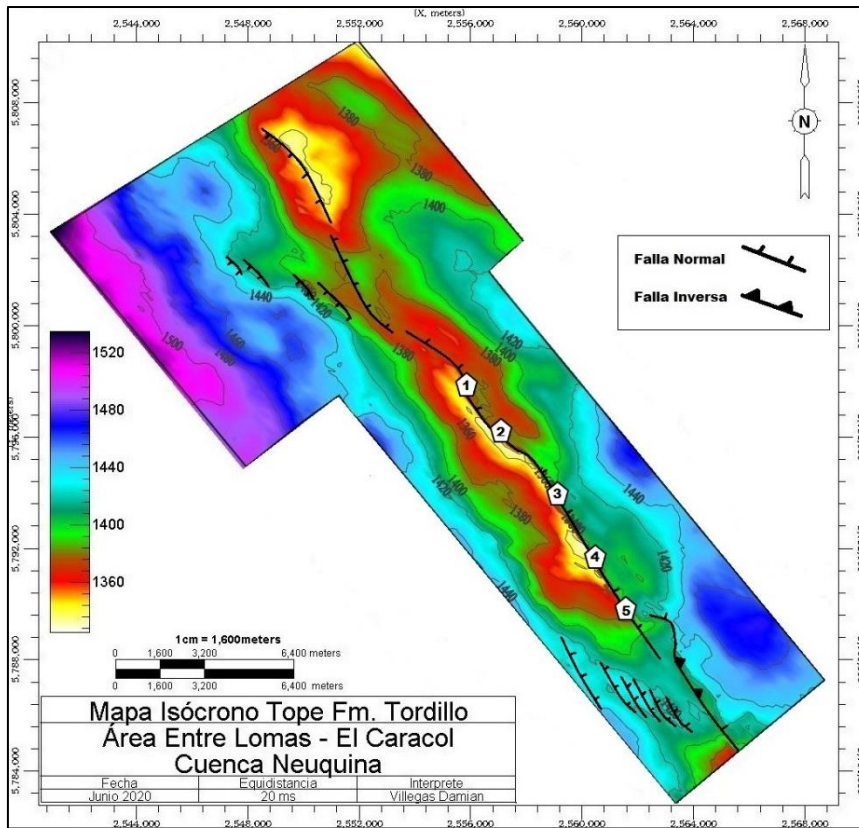


Mapa isócrono al tope de Cuyo inferior

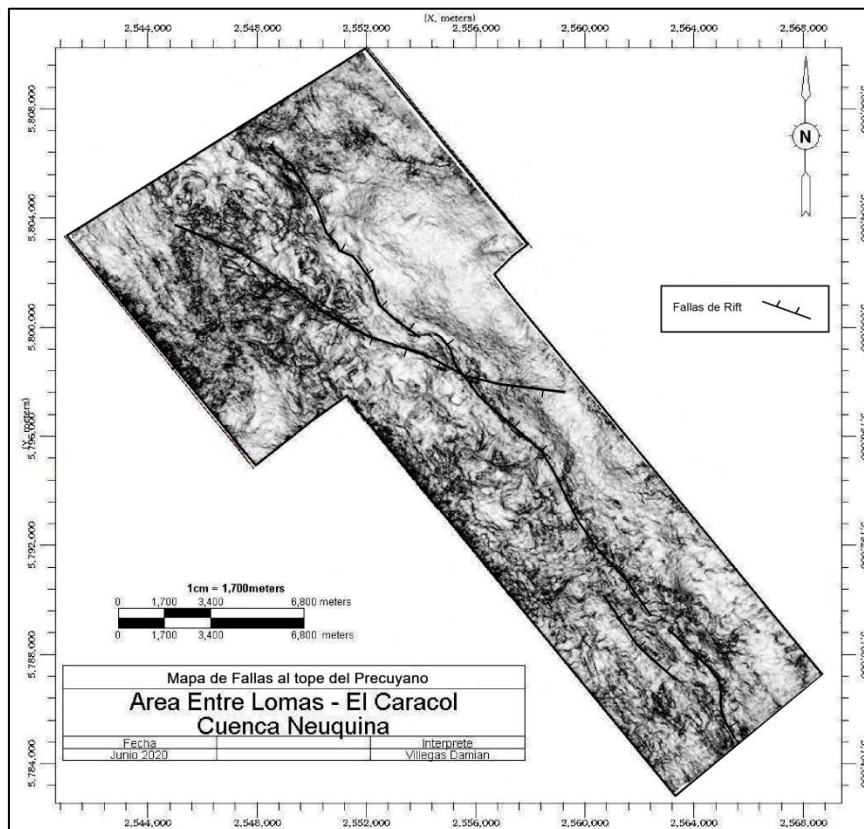


Mapa isócrono a la base de la Formación Tordillo.





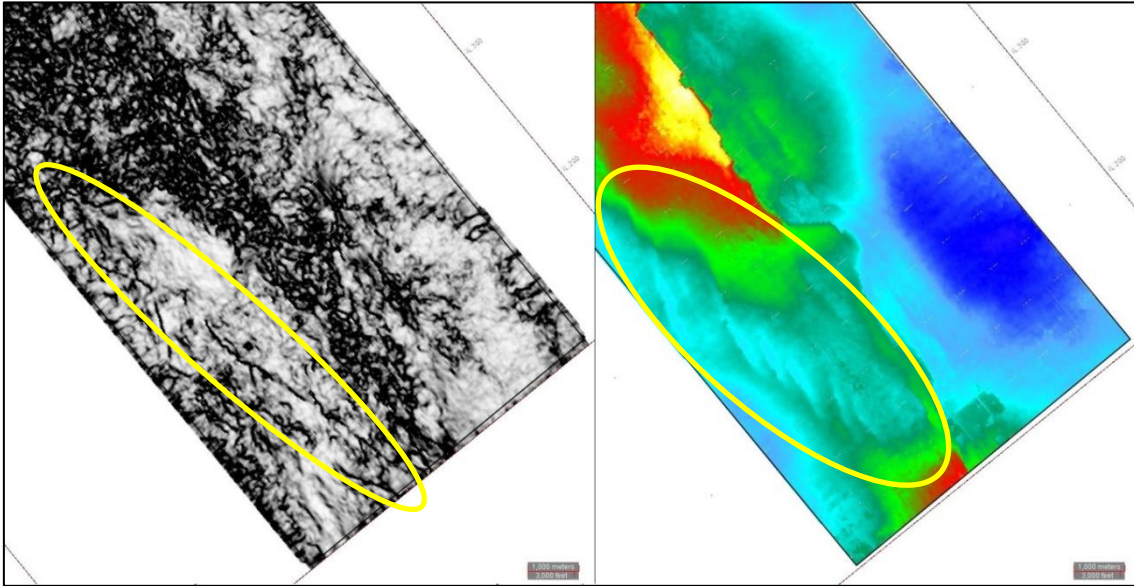
Mapa isócrono al tope de la Formación Tordillo, mostrando los principales lineamientos y la ubicación de los puntos de medición de los rechazos verticales.



Mapa mostrando las principales fallas de rift al tope del Precuyano

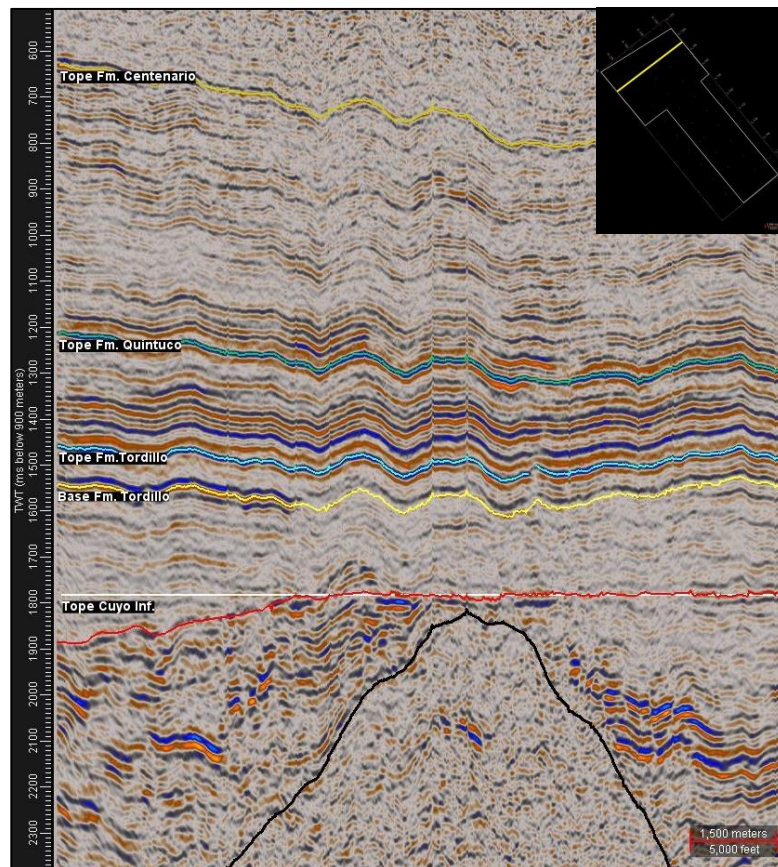


### 13.5 Lineamientos en el área Entre Lomas



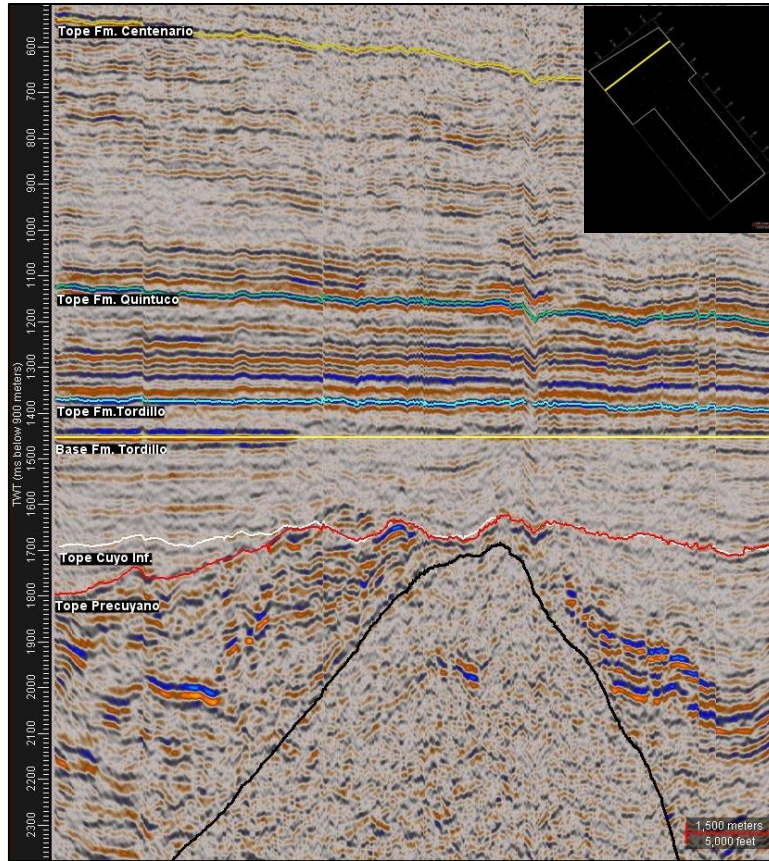
Izquierda: *Time slice* a 1790 ms del atributo Discontinuidad, indicando lineamiento asociada a falla del hemigráben. Derecha: Mapa isócrono al tope de la Fm. Tordillo, indicando fallas en échelon.

### 13.6 Secciones horizontalizada en el área El Caracol

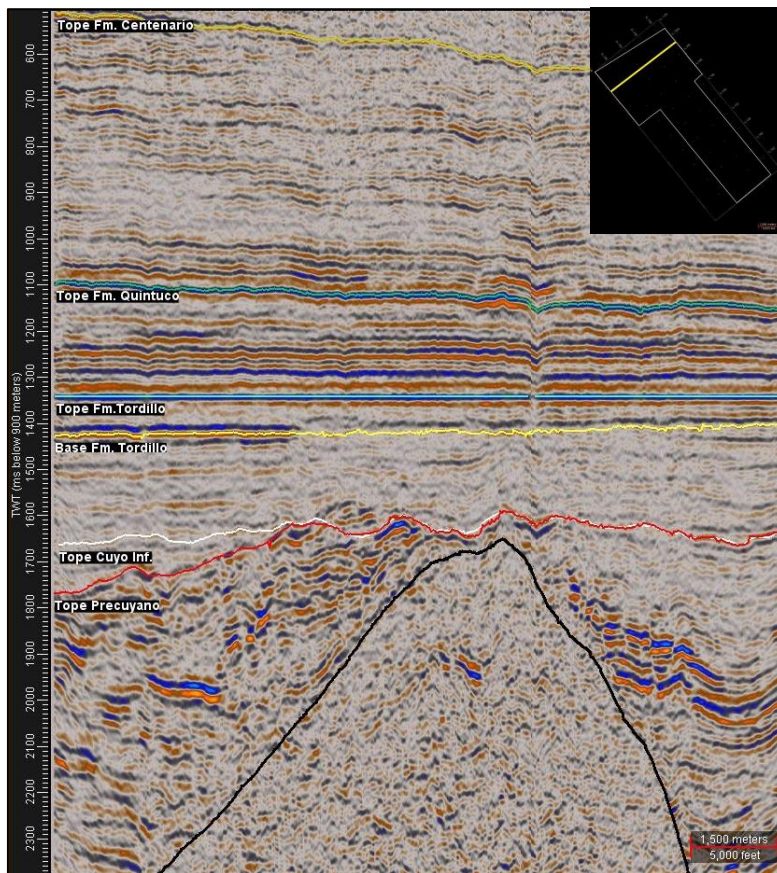


Sección sísmica horizontalizada al tope del Grupo Cuyo inferior.



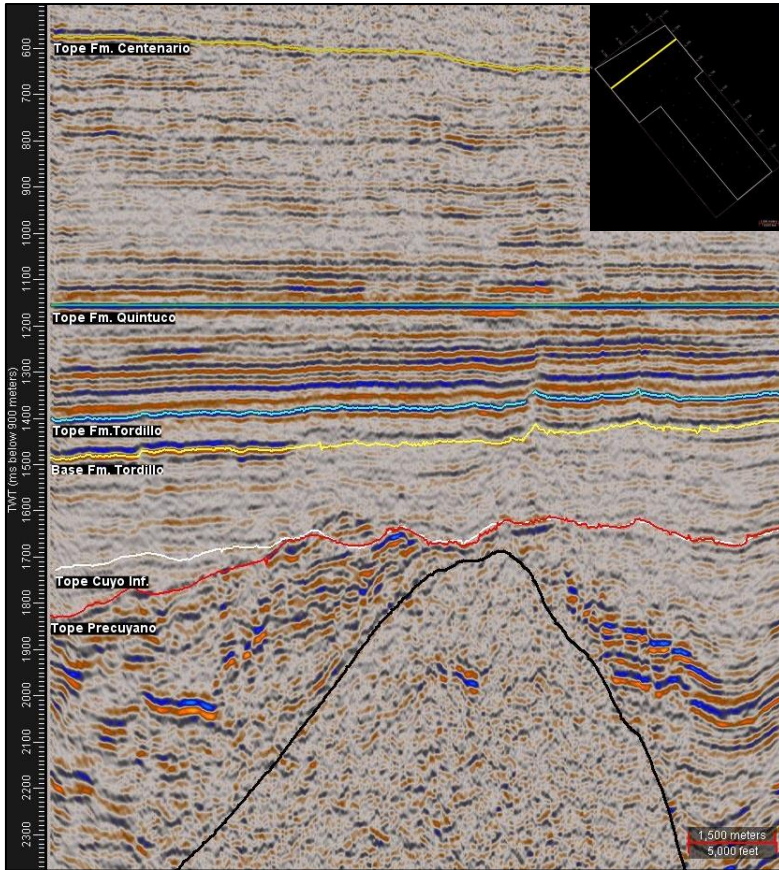


Sección sísmica horizontalizada a la base de la Formación Tordillo.

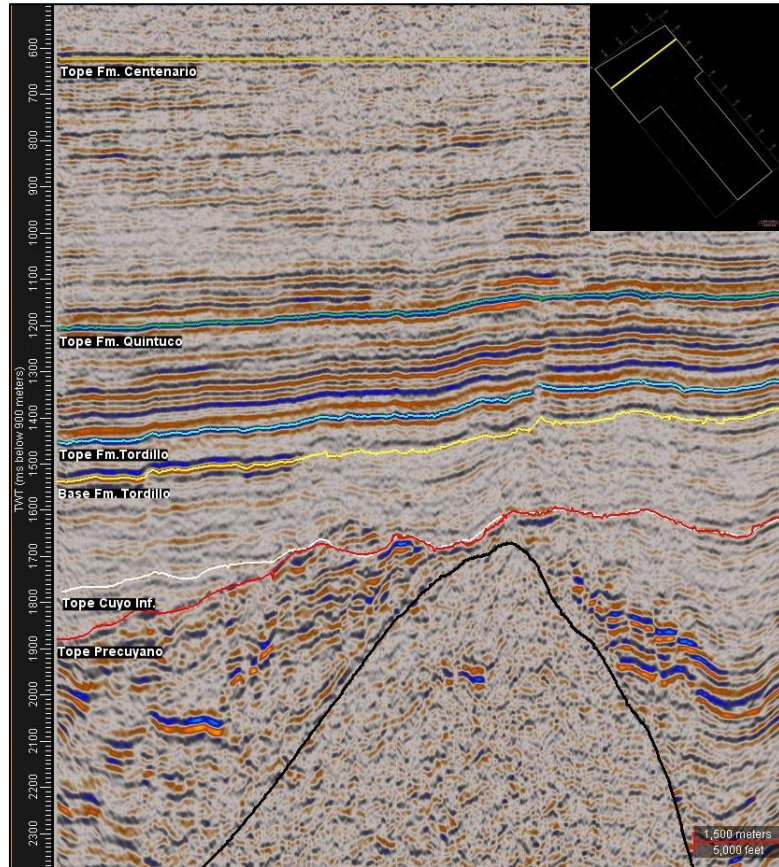


Sección sísmica horizontalizada al tope de la Formación Tordillo.





Sección sísmica horizontalizada al tope de la Formación Quintuco.



Sección sísmica horizontalizada al tope del a Formación Centenario.



