

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA Y ASTRONOMÍA



TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA EN GEOFÍSICA

***“ANÁLISIS SISMOESTRATIGRÁFICO DEL INTERVALO
OXFORDIANO - VALANGINIANO EN EL ÁREA RINCÓN DEL
MANGRULLO, CUENCA NEUQUINA”***

Alumno:

Vargas Oviedo, Renzo Ariel

Asesor: Cevallos, Martín

Co-Asesora: Tejada, Silvia

San Juan

Año: 2015

INDICE

1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCION	7
2.1. Área de estudio	7
2.2. Objetivos	9
3. CUENCA NEUQUINA	10
3.1. Ubicación	11
3.2. Marco geológico de la cuenca	13
4. GEOLOGIA LOCAL	16
4.1. Estructura de Superficie	16
4.2. Estratigrafía General	17
4.3. Descripción del Grupo Mendoza	19
4.3.1. Formación Tordillo	21
4.3.2. Secuencia Vaca Muerta-Quintuco	22
4.3.3. Formación Mulichinco	23
4.3.4. Formación Agrio	24
4.3.5. Formación Centenario	25
5. SISMOESTRATIGRAFIA LOCAL, ANTECEDENTES	27
6. SISTEMA PETROLERO	34
7. METODOLOGIA DE TRABAJO	37
8. ANALISIS DE POZOS	39
8.1. Correlación de perfiles eléctricos	39
8.2. Colgado de pozos a partir de sismogramas sintéticos	44
9. INTERPRETACION SISMICA	50
9.1. Definición de horizontes guía	50
9.2. Formación Auquilco	51
9.3. Formación Tordillo	53
9.3.1. Análisis de megadunas	56
9.4. Secuencia Vaca Muerta-Quintuco	58
9.4.1. Análisis de sigmoides de la Fm. Vaca Muerta	58
9.4.2. Análisis de abultamientos carbonáticos de la Fm. Quintuco	69
10. CONCLUSIONES	75
11. BIBLIOGRAFIA	77

1. RESUMEN

En el presente trabajo se llevó a cabo la interpretación sísmica de datos sísmicos y pozos correspondientes al área Rincón del Mangrullo, ubicada en la zona de Engolfamiento de la Cuenca Neuquina.

El trabajo se desarrolló en el Gabinete de Geociencias Aplicadas a la Exploración y Producción de Hidrocarburos, dependiente de los Departamentos de Geología y de Geofísica y Astronomía de la FCEFyN - UNSJ. La base de datos, conformada por un cubo sísmico 3D y registros de 6 pozos ubicados en el área de estudio, fue provista por la Subsecretaría de Hidrocarburo, Energía y Minería de la Provincia de Neuquén y se administró mediante el software de interpretación Kingdom™.

Se trabajó con sismogramas sintéticos generados a partir de los registros de pozos y se correlacionó su información con los datos sísmicos del área de estudio. Como resultado, se logró identificar los pases entre formaciones del subsuelo y se seleccionaron aquellos horizontes útiles para el desarrollo de la interpretación. Los reflectores guía elegidos fueron aquellos cuyo seguimiento permitiera focalizar las interpretaciones en las secuencias del Grupo Mendoza, particularmente en las correspondientes a la secuencia Vaca Muerta-Quintuco.

Se realizaron mapas estructurales en tiempo, mapas de extracción de amplitud y mapa de espesores en tiempo con el objeto de realizar una descripción estratigráfica y estructural de los distintos reflectores sísmicos interpretados.

Además, se analizaron geofomas que posteriormente fueron interpretadas como megadunas correspondientes a la Formación Tordillo y abultamientos carbonáticos de la Formación Quintuco.

2. INTRODUCCION

El siguiente informe detalla las tareas realizadas para cumplir con el Trabajo Final correspondiente al plan de estudios de la Licenciatura en Geofísica. El mismo fue desarrollado bajo el asesoramiento y dirección del Licenciado en Ciencias Geológicas Martín Cevallos y también se contó con la colaboración de la Licenciada en Geofísica Silvia Tejada.

El trabajo consistió en lograr un análisis sismoestratigráfico y estructural del área Rincón del Mangrullo ubicada en la provincia de Neuquén (figura N°1). La base de datos, necesaria para desarrollar el proyecto, fue provista por la Subsecretaría de Hidrocarburo, Energía y Minería de la Provincia de Neuquén.

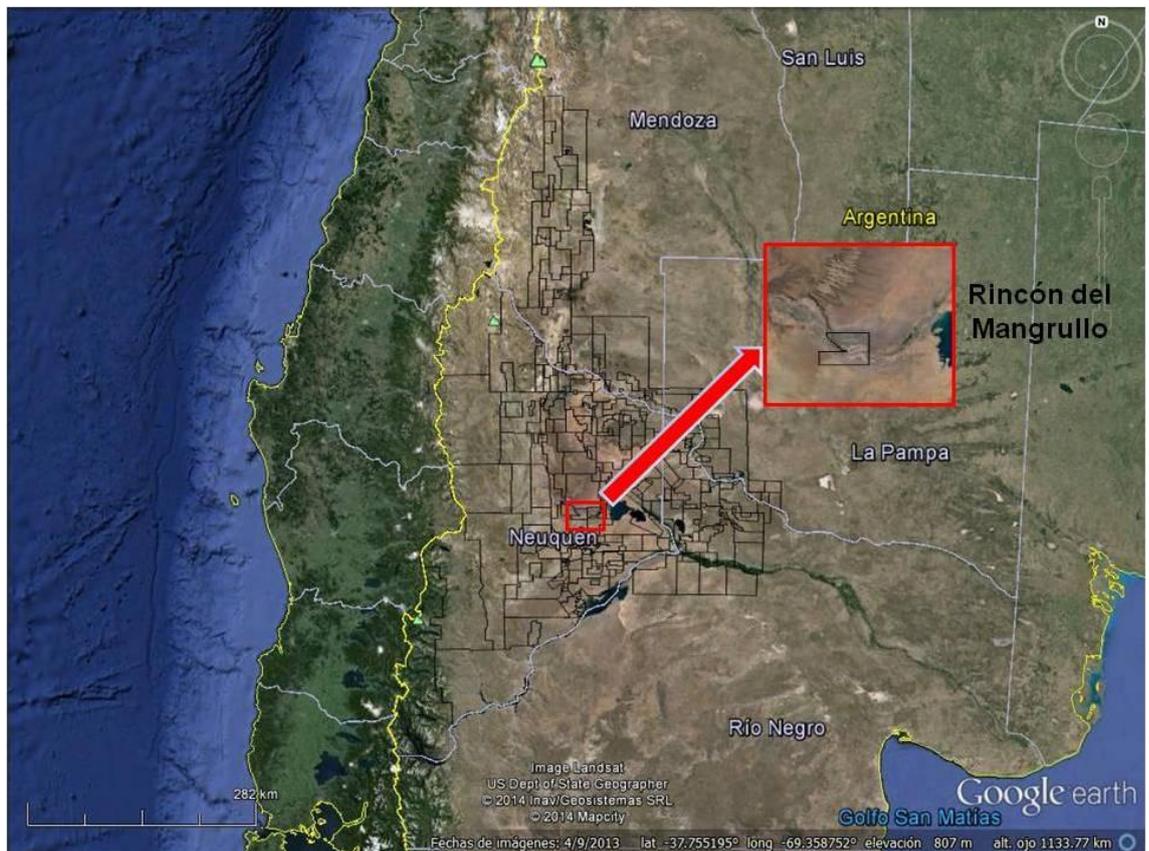


Figura N°1: Ubicación del área de estudio dentro de la Cuenca Neuquina (Fuente: Google Earth).

2.1. Área de estudio

El bloque Rincón del Mangrullo está ubicado geológicamente en la zona de engolfamiento de la Cuenca Neuquina (figura N°2). Se ubica a 30 km al Sudeste del “Dorso de los Chihuidos”, es decir, en el hundimiento del mismo; y 50 km al norte de la “Dorsal de Huincul”, los cuales son los rasgos morfoestructurales más importantes de la región(figura N°3).

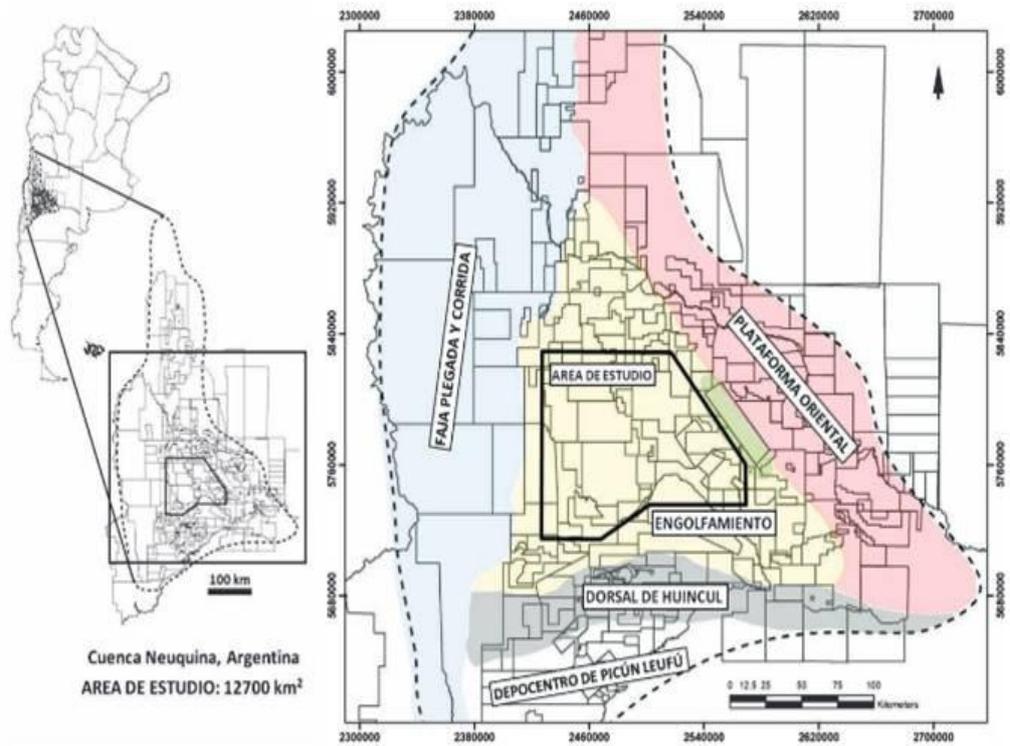


Figura N°2: Ubicación del engolfamiento de la Cuenca Neuquina (Pose *et al.*, 2014)



Figura N°3: Rasgos estructurales característicos de la zona (Fuente: Google Earth)

2.2. OBJETIVOS

Generales:

- Aplicar los conocimientos teóricos-prácticos adquiridos durante el cursado de la carrera y demostrar capacidad para desarrollar tareas de investigación sobre el tema propuesto, a fin de obtener el título de Licenciado en Geofísica.
- Adquirir conocimientos en el manejo e interpretación de datos de subsuelo, los cuales consisten en perfiles eléctricos de pozos de exploración petrolera y datos de sísmica de reflexión 3D
- Desarrollar capacidades en el manejo de la plataforma Kingdom™.

Específicos:

- En base a los datos crudos de pozos y sísmica, realizar la carga y construcción de un proyecto en el software mencionado.
- Hacer uso de los registros de pozos para la confección de sismogramas sintéticos.
- Correlacionar los sismogramas sintéticos con los datos sísmicos a fin de identificar los pases entre formaciones y seleccionar horizontes guía para la posterior interpretación.
- Adquirir práctica en el manejo de las herramientas de Kingdom que permiten llevar a cabo el seguimiento de los horizontes en la totalidad del cubo sísmico.
- Confeccionar mapas estructurales en tiempo, mapas de distribución de amplitud sísmica y mapas de espesores en tiempo.
- Realizar una interpretación sismoestratigráfica de las formaciones Auquilco, Tordillo y de la secuencia Vaca Muerta-Quintuco. De ser posible se identificarán y analizarán rasgos geomorfológicos internos.

3. CUENCA NEUQUINA

A continuación se transcribe parte del trabajo de Mendiberri y Carbone (2002)

La Cuenca Neuquina constituye, en relación con la producción de hidrocarburos, una de las cuencas más importantes del país. Presenta una considerable cantidad de reservas de petróleo y gas, que la ubican en un lugar de privilegio dentro del contexto nacional. Además se suma su diversidad geológica ya que es posible hallar rocas que representan casi todos los ambientes sedimentarios, magníficamente expuestos en los afloramientos del sector occidental, como así también una amplia gama de rocas ígneas. En todos los tipos litológicos mencionados se registran múltiples y diferentes casos de entrapamientos comerciales, que abarcan casi por completo la columna estratigráfica, desde granitos basamentales hasta niveles someros del Terciario.

La Cuenca Neuquina está caracterizada por múltiples y variados tipos de reservorios tanto estratigráficos como estructurales. Si bien, la cuenca se halla en un estado maduro de explotación, esta aseveración es válida para los bordes nororiental y suroriental. En lo referente a los niveles localizados a más de 3500 metros de profundidad puede considerarse como poco investigada (figura N°4).

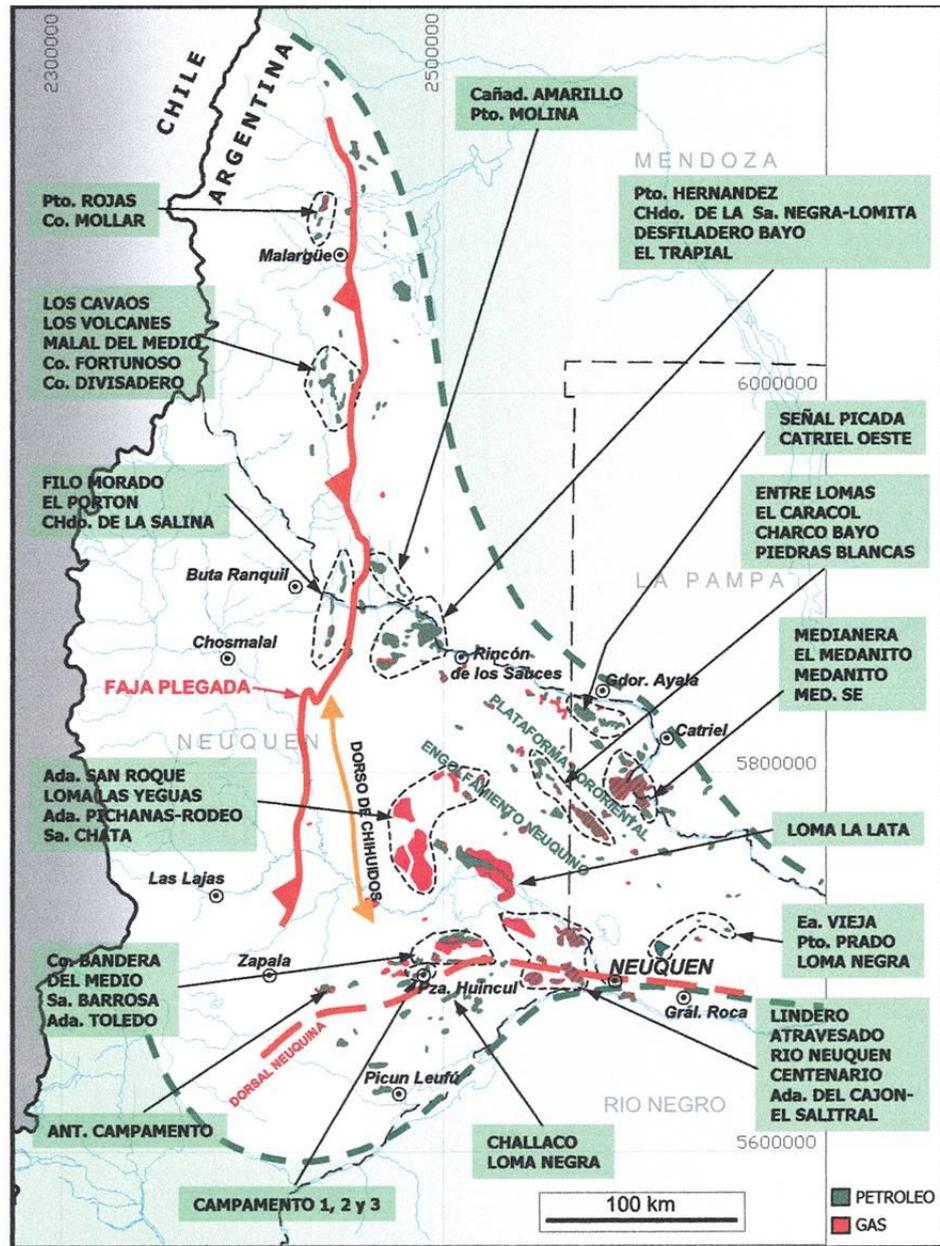


Figura N°4: Cuenca Neuquina (Mendiberri y Carbone, 2002)

3.1. Ubicación

El siguiente texto es extraído del trabajo de Legarreta (1999).

La cuenca Neuquina su ubica en la región centro-oeste de Argentina, entre los 34° y 41° de latitud sur, desarrollándose en las provincias de Neuquén, Mendoza, Río Negro y La Pampa (figura N°5).

Se extiende al norte, a lo largo del eje de la cordillera de los Andes hasta los 31°S en la provincia de San Juan, donde se la conoce como cuenca Aconcagüina. Entre los 34° y 37°S presenta una orientación elongada en dirección norte-sur, mientras que al sur de los 37° se amplía hacia el este, donde se la conoce como

3.2. Marco geológico de la cuenca neuquina.

Se resume parte del trabajo de Uliana y Legarreta, 1993.

Durante el Paleozoico tardío, la región de Neuquén ya estaba bajo la influencia de una configuración convergente que desplazo a Gondwana desde el oeste de América del Sur hacia Australia (Mpodozis y Kay, 1990). Entre unos 300 y 280 millones de años atrás, una subducción activa tuvo lugar con un desplazamiento considerable hacia el norte y una rotación antihoraria de Sudamérica (Rapalini, 1990). Hace 280 millones de años el camino de la deriva cambió, el arco y el back-arc proximal se acortaron. Después de un sustancial engrosamiento de la corteza, la región fue elevada y la sedimentación marina se retiró hacia el oeste (Lambias and Sato, 1990). Hacia el Pérmico temprano, Sudamérica estuvo en contacto con Laurentia y África, y entró en un periodo de estancamiento que duró hasta el Jurásico Medio (Valencio y Vilas, 1976; Vilas 1981).

Durante el curso de 100 millones de años, el desarrollo tectónico del área Neuquina estuvo controlado por procesos de intraplaca relacionados con la posición estacionaria de Sudamérica.

El Pérmico tardío fue un tiempo de actividad magmática generalizado. Emplazamientos graníticos locales estaban asociados a andesitas y dacitas de gran escala; y extrusiones riolíticas ignimbríticas, conocidas como el Grupo Choiyoi (Lambias *et al.*, 1984; Kay *et al.*, 1989). En la mayoría de los lugares, estas rocas forman el sustrato de la Cuenca Neuquina (Moreno Peral y Salvarredi, 1984; Meza, 1990). Actualmente se las considera como una formación magmática post-orogénica desarrollada después de la pérdida convectiva de la parte baja de la litosfera y la posterior capa basáltica. (Lambias and Sato, 1990; Mpodozis y Kay, 1990).

Desde el Triásico medio hasta el tardío se desarrollan sedimentos terrestres discontinuos arealmente y que registran varios pulsos de abanico aluvial y actividad volcánica (félsica y básica). En la imagen sísmica, geometrías half-graben y discordancias internas indican un sistema multicomponente de depocentros relacionados pero separados, y controlados por una subsidencia relacionada a fallas extensionales. Las depresiones triásicas de Neuquén representan una pequeña fracción de una tendencia NNO-SSE de cuencas extendidas desde Chile a 25°S hasta Argentina a 55°S (Uliana y Biddle, 1988), y probablemente en la Antártida (Storey y Alabaster, 1991). El desarrollo sobre el Plateau volcánico de Choiyoi y sobre

el área con engrosamiento cortical del Paleozoico tardío (Vicente, 1975; Storey y Alabaster, 1991), es compatible con un modelo de extensión relacionado con el colapso gravitacional de un cordón orogénico no confinado. De acuerdo a este punto de vista, la Cuenca Neuquina se originó como un sistema de depresiones separadas, desarrolladas cerca del borde de la masa estacionaria de Gondwana occidental (Uliana y Biddle, 1988; Uliana *et al.*, 1989).

El fallamiento extensional desde el Triásico hasta el Jurásico temprano, fue seguido por una subsidencia regional, probablemente debida al enfriamiento post-rift de la litosfera atenuada. Prosiguió la fusión de los depocentros, junto con una invasión marina gradual debido al aumento global del nivel de mar y sumersión tectónica a lo largo del margen Pacífico de América del Sur (Uliana and Biddle, 1988). En el Jurásico Medio, la subducción se activó nuevamente a lo largo del margen (Nasi, 1984), pero más hacia el interior, en el centro de Neuquén, la actividad de fallas normales fue sobre impresa por la movilidad de bloques y el levantamiento local del techo de alguna de las fallas normales. Esta inversión intraplaca y estructuras de compresión, a partir de las cuales eventualmente se conformaron trampas de hidrocarburos importantes, están relacionadas a la transpresión a lo largo de zonas de corte orientadas en dirección este-oeste, tal como la Dorsal de Huincul (Trend Baldis, 1978; Ploszkiewicz *et al.*, 1984).

La componente estratigráfica clave de la Cuenca Neuquina es 6000m, desde el Jurásico medio hasta el borde del Paleoceno, que contiene la mayoría de las rocas generadoras y los miembros con hidrocarburos. Este borde representa el llenado de un depocentro entre una zona de *intra arco* hasta una de *back-arc* que invadió el ante-país de América del Sur y que se extiende desde 50 hasta 250 km desde el presente frente montañoso. El análisis de la subsidencia (Legarreta y Uliana, 1991) sugiere una subsidencia moderada pero constante, puntualizada en episodios tectónicos entre el Cretácico medio y tardío, probablemente debidos al acoplamiento dinámico de las regiones de arco y ante país (Legarreta *et al.*, 1989; Legarreta y Uliana, 1991). La convergencia de placa fue interrumpida después del Jurásico temprano; sin embargo, la región de arco se mantuvo bajo un régimen de esfuerzo tensional (Groeber, 1918; Pincheira y Thiele, 1982; Aberg *et al.*, 1984; Uliana *et al.*, 1989), y tal vez bajo condiciones de erosión tectónica en el borde de placa (Zeiger *et al.*, 1982).

Desde el Jurásico hasta el Campaniano temprano, la fuente de los sedimentos que llenaron la cuenca, fue el Macizo Patagónico y el cordón orogénico Sierra Pintada. La deriva desde el arco era episódica y coincidía con bajo nivel de base. Hacia el final del Cretácico, la polaridad de depositación se invirtió (Legarreta *et al.*, 1989) y la región de arco se volvió una fuente principal. Este cambio significativo, ha sido interpretado alternativamente para reflejar el incipiente desarrollo de una faja corrida y plegada (Barrio, 1990), o ser la consecuencia del levantamiento regional del arco inducido por el emplazamiento del batolito cretácico (Digregorio *et al.*, 1984; Legarreta *et al.*, 1989).

Los eventos tectónicos involucrados para explicar arquitectura actual incluyen: la subducción oblicua del Paleógeno y la rápida convergencia; y la reorganización de placa del Oligoceno tardío, seguida de una subducción este-oeste. Durante el Eoceno la sedimentación fue menor reflejando, probablemente, una subsidencia limitada. En el Oligoceno la sedimentación clástica fue interrumpida en el sur de Mendoza y partes de Neuquén por coladas basálticas alcalinas y lluvias de cenizas relacionadas a esfuerzos distensivos regionales (Bermúdez, 1987; Ramos y Barbieri, 1988). En el Oligoceno tardío y Mioceno temprano la actividad del arco Andino se extendió hacia el este alcanzando el ante país Patagónico (Uliana y Biddle, 1988) con el desarrollo de centros magmáticos de composición andesítico-basáltica. En el Mioceno tardío, el cinturón Cordillerano y parte del antepaís yacían bajo contracción. Estas características estructurales son aisladas, con aparición discontinua e irregular del Triásico, del Pérmico y de cuñas compresionales que sugieren un basamento de piel gruesa por la inversión del sistema de fallas normales del Mesozoico temprano. La compensación morfogenética del levantamiento ocurre durante el Cenozoico tardío, levantando los picos de la Cordillera a 4.000 msnm y posicionando a la presente Cuenca Neuquina sobre el nivel de base erosivo (Uliana y Legarreta, 1993).

4. GEOLOGIA LOCAL

4.1. Estructura de superficie

Se hará una breve descripción de los rasgos geológicos más importantes en el área de estudio. Entre estos se incluyen el Dorso de los Chihuidos y la Dorsal de Huincul.

Para caracterizar al Dorso de los Chihuidos, se transcribe parte del trabajo de Cevallos *et al.* (2014).

El Dorso de los Chihuidos (DCH) es una estructura anticlinal regional que se extiende de norte a sur por unos 100 km. Según Cristallini *et al.* (2005) el origen del DCH está ligado a la reactivación de hemigrábenes precuyanos, en tanto que Mosquera y Ramos (2005) lo relacionaron a una inversión del basamento caracterizada por una serie de anticlinales con vergencia oeste. La configuración actual se habría desarrollado principalmente en el Neógeno como producto de los últimos movimientos ándicos (Maretto y Pángaro, 2005), manteniéndose activa hasta el Cuaternario (Messenger *et al.*, 2010).

El Dorso de los Chihuidos (DCH) presenta a la fecha acumulaciones comerciales en su flanco oriental y en su hundimiento sur. La región productiva por excelencia es su flanco oriental, donde se disponen dos grandes campos: Aguada Pichana y Sierra Chata, ambos productores de la Fm Mulichinco. Hacia el hundimiento sur se desarrolla el campo El Mangrullo, el cual produce predominantemente gas, actualmente un 83% de la Fm Mulichinco y un 17% de la Fm Tordillo.

Para referirse a la Dorsal de Huincul, se hará una reseña del trabajo de Kim *et al.*, 2014.

La Dorsal de Huincul es una de las regiones que tuvo mayor movilidad durante el Jurásico y el Cretácico de la cuenca Neuquina. En este período la región estuvo afectada por diferentes eventos distensivos y compresivos (Gómez Omil *et al.*, 2002).

La dorsal tiene una extensión de aproximadamente 250 km con una orientación preferencial en sentido E-O. Se caracteriza por la presencia de grandes estructuras anticlinales con rechazos de hasta 2000 m. Dichos anticlinales fueron formados por la inversión tectónica de hemigrábenes de orientación ENE-OSO y E-O formados desde el Triásico al Jurásico temprano. El primer período de inversión ocurrió durante el Toarciano Superior, que sumado a los cambios eustáticos ejercieron un

control muy importante en la sedimentación del Grupo Cuyo generando importantes discordancias intraformacionales y variaciones de facies en pocos kilómetros (Vergani *et al.*, 2005).

4.2. Estratigrafía

A continuación se reproduce la descripción de la columna estratigráfica local del trabajo de Pángaro *et al.* (2002) (figura 5).

El espesor de sedimentos en la zona del engolfamiento de la Cuenca Neuquina supera los 4000m entre el Jurásico Inferior y el Cretácico Inferior.

El basamento en el área estaría constituido por las piroclastitas, ignimbritas e intrusivos asociados del Grupo Choiyoi. Las unidades sedimentarias más antiguas documentadas corresponden al Grupo Cuyo (formaciones Los Molles y Lajas) con un espesor superior a los 1000 m; no se descarta la existencia de depósitos correspondientes al Precuyano (Legarreta y Gulisano, 1989). El Grupo Lotena presenta un espesor de 300 m y está compuesto por las areniscas y pelitas de la Formación Lotena, las calizas de la Formación La Manga y 200 m de evaporitas correspondientes a la Formación Auquilco.

Sobreyace el Grupo Mendoza, el cual está compuesto por los depósitos continentales de la Formación Tordillo sobre la cual se dispone un importante espesor de margas, calizas y areniscas calcáreas de las formaciones Vaca Muerta y Quintuco. Sobre estas últimas se desarrollan los depósitos de origen litoral a continental correspondientes a la Formación Mulichinco, la cual es sucedida por calizas, pelitas y areniscas de la Formación Agrio. El espesor total del Grupo Mendoza en el área es de unos 2300 m. Completan la columna estratigráfica los grupos Rayoso y Neuquén totalizando un espesor de unos 900m. El primero comienza con un escaso espesor de evaporitas asignadas a la Formación Huitrín que cubren 460 m de depósitos continentales de la Formación Rayoso. El Grupo Neuquén representa los depósitos más modernos existentes en el área con un espesor parcial de 600 m de depósitos clásticos continentales.

La estructura es relativamente simple: no se observan fallas de importancia y se puede decir que el régimen de subsidencia entre el Jurásico Medio al Cretácico Superior fue predominantemente termal.

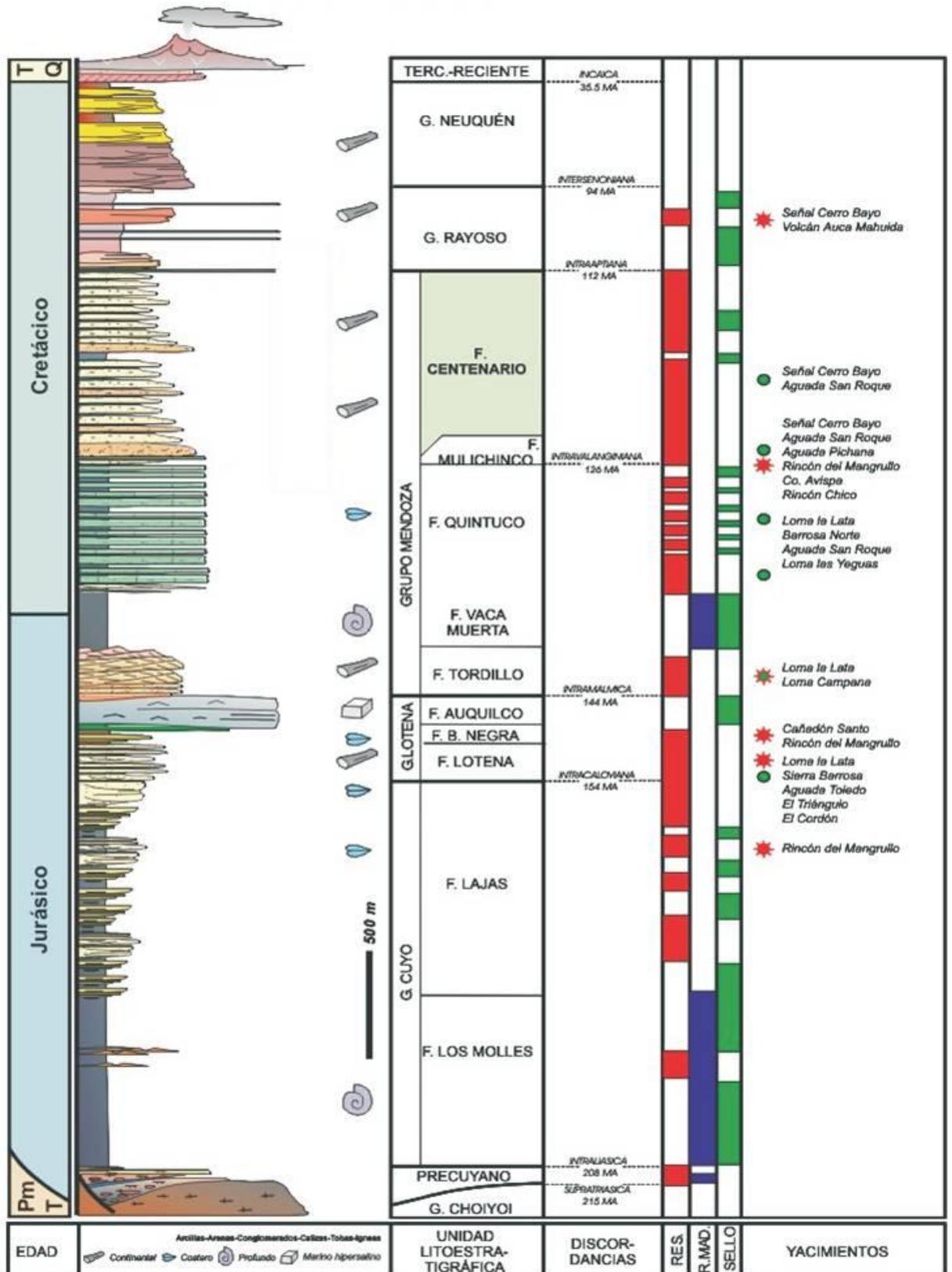


Figura N°5: Columna Estratigráfica de la zona de Engolfamiento de la Cuenca Neuquina (Cabaleiro et al., 2002)

4.3. Descripción del Grupo Mendoza

Debido a que la interpretación del presente trabajo está referida a formaciones del Grupo Mendoza Inferior, se indagó en las características más importantes del Grupo Mendoza y de sus formaciones. Las mismas se describen a continuación:

En el siguiente texto se detalla un resumen de Legarreta (1999).

Este grupo tiene su localidad tipo en la provincia de Neuquén entre los ríos Neuquén y Agrio (figura N°6). Fue definido en 1931 por Weaver quien reconoció desde un punto de vista litoestratigráfico cuatro formaciones que se caracterizan por su presencia litofacial, pero presentan notables variaciones temporales. Posteriormente diversos autores agregaron al Grupo Mendoza los depósitos clásticos de la Formación Tordillo del Kimmeridgiano (Jurásico superior).



Figura N°6: Localidad Tipo del Grupo Mendoza (Legarreta, 1999)

El grupo se encuentra limitado por la Formación Auquilco del Oxfordiano (Jurásico superior) por debajo y la Formación Huitrín (Cretácico) por encima. Su base coincide con un importante cambio paleogeográfico que se expresa por la discordancia angular producida por la actividad tectónica local. Este episodio perduró hasta el Tithoniano inferior cuando, por un importante proceso de inundación prácticamente instantáneo, el mar invadió toda la cuenca y excedió el área de depositación de todas las secuencias previas. A partir de ese evento se depositaron los sedimentos que conforman las formaciones Tordillo, Vaca Muerta Quintuco, Mulichinco y Agrio, con el cual culmina el Grupo Mendoza. La columna estratigráfica característica del “área tipo” del Grupo Mendoza se muestra en la figura N°7.

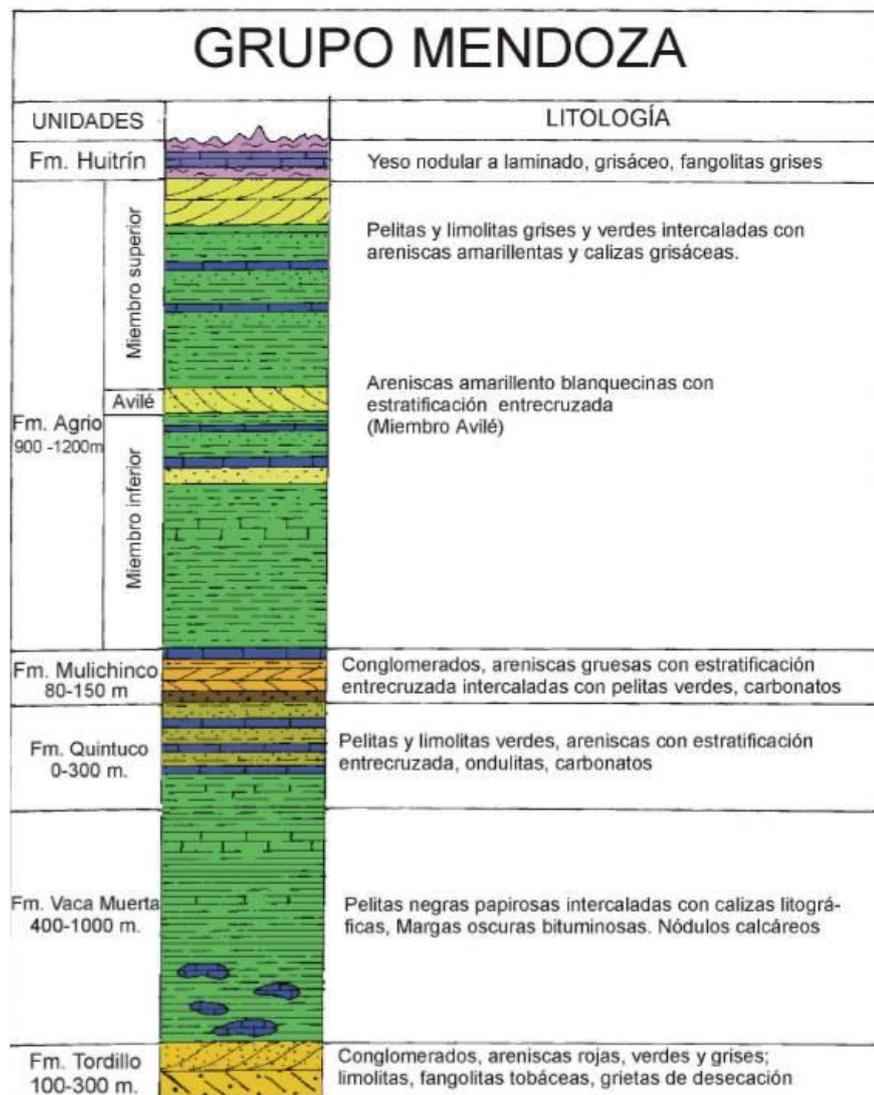


Figura N°7: Columna estratigráfica del Grupo Mendoza (Uliana et al., 1977)

Sin embargo, existe una progresiva variación de facies respecto al área tipo de dichas formaciones. Así, hacia el norte desaparece la Formación Quintuco, mientras

que la Formación Mulichinco es reemplazada por la Formación Chachao. A su vez, hacia el centro-sur de Neuquén, la sección cambia progresivamente por la incorporación de material arenoso. Esta modificación da como resultado que el intervalo Mulichinco-Agrio pase a estar constituido por las facies correspondientes a la Formación Centenario.

El reemplazo entre las formaciones Agrio y Centenario se evidencia en la columna estratigráfica representativa del Engolfamiento de la Cuenca Neuquina (figura N°5), la cual caracteriza al área Rincón del Mangrullo.

A continuación se hace una descripción de las Formaciones mencionadas:

4.3.1 Formación Tordillo

La descripción de Tordillo corresponde a un resumen del trabajo de Maretto *et al.* (2002).

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 Fm. Vaca Muerta. Alcanza espesores superiores a 350 metros en la zona central de la cubeta.

Dos juegos de facies principales gobiernan la distribución del reservorio: las facies arenosas de origen eólico se concentran en el centro de cuenca almacenando las mayores reservas de gas, y las facies gruesas conglomerádicas se distribuyen en posiciones de borde contando con importantes reservas de petróleo (figura N°8)

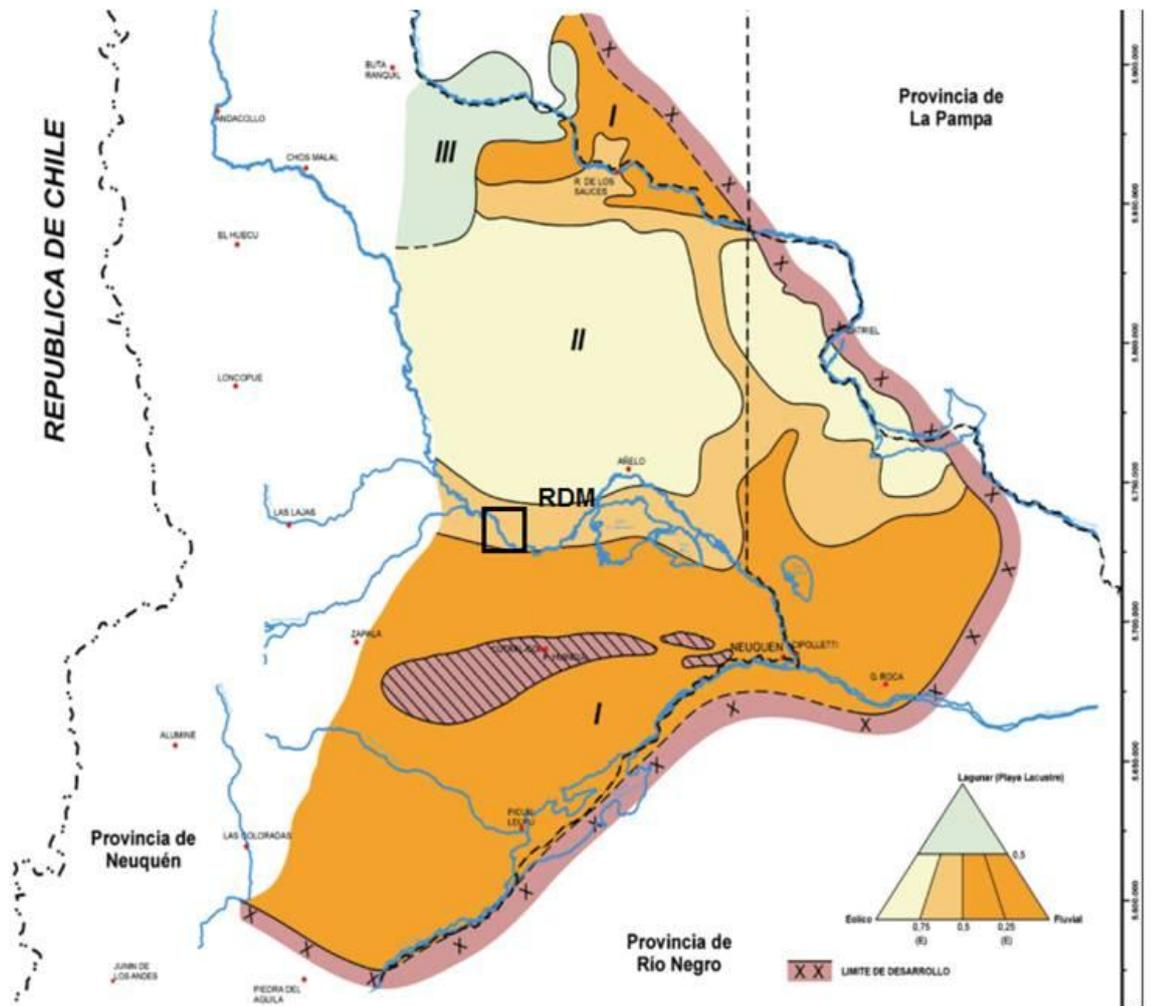


Figura N°8: Plano de facies de la Fm. Tordillo (Arregui *et al.*, 1988).

4.3.2 Formación Vaca Muerta - Formación Quintuco

Para describir este ciclo de formaciones se transcribe a continuación parte del trabajo de Olmos *et al.* (2002).

El ciclo Quintuco – Vaca Muerta 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 cinturón nerítico sometido a sedimentación carbonática y terrígena. Se encuentra limitado por la base con los sedimentos clásticos de la Fm. Tordillo y por la discordancia Intravalanginiana en la parte superior.

La Fm. Vaca Muerta, compuesta por lutitas grises y negras, calizas micríticas y margas bituminosas representa la transgresión isócrona (Tithoniano inferior) de cientos de kilómetros. Las sedimentitas de la Fm. Quintuco describen, a rasgos

generales, la progradación del ciclo, ampliando el área de sedimentación. Está constituida por un cortejo de facies que desde el borde sudeste al centro de cuenca pueden resumirse en: dolomitas y anhidritas con intercalaciones areno-conglomerádicas, grainstones oolíticos y bioclásticos, margas limosas intercaladas con calizas micríticas y arcillas limosas calcáreas.

Este ciclo describe un completo conjunto de clinofomas progradantes a partir de una importante transgresión basal, recibiendo aporte de sedimentos desde el Este-Sudeste para evolucionar hacia los términos superiores a secuencias de plataformas extensas cuyo paralelismo puede seguirse tanto en subsuelo mediante perfiles e información sísmica.

La Fm. Quintuco contiene uno de los reservorios más productivos de la cuenca. Debido a su amplia distribución, su diversidad de ambientes de sedimentación hace que sea un reservorio complejo.

4.3.3 Formación Mulichinco

La descripción de Mulichinco corresponde a un resumen de Vottero *et al.* (2002).

En el área de Engolfamiento Neuquino, la Fm. Mulichinco se inicia con 20 m de areniscas depositadas en un estadio de mar bajo, posiblemente como una cuña de margen de plataforma. Esta entidad se correlaciona con depósitos carbonáticos, de tipo packstone esqueléticos desarrollados con una geometría similar en el sur de la provincia de Mendoza, conocidos como Fm. Chachao.

Le siguen 15 m de areniscas algo más calcáreas, que posiblemente representen un intervalo transgresivo, cubiertas por litofacies algo más finas, de muy amplio desarrollo, que podrían indicar el nivel de máxima inundación. Esta primera secuencia finaliza con unos 80 a 90 m. de areniscas depositadas en un contexto de mar alto.

En cuanto a los yacimientos podemos definir dos tipos: el primero es el tipo "Aguada Pichana" que presentan pobres condiciones petrofísicas y producen principalmente hidrocarburos gaseosos y necesitan ser estimulados mediante ácidos y fracturas. El segundo, es el tipo "Volcán Auca Mahuida" que está integrado por reservorios que poseen valores de porosidad y permeabilidad notablemente superiores lo que hace que su producción sea de tipo primaria y fundamentalmente petróleo líquido. Los principales yacimientos productivos de la Formación Mulichinco se muestran en la figura N°9

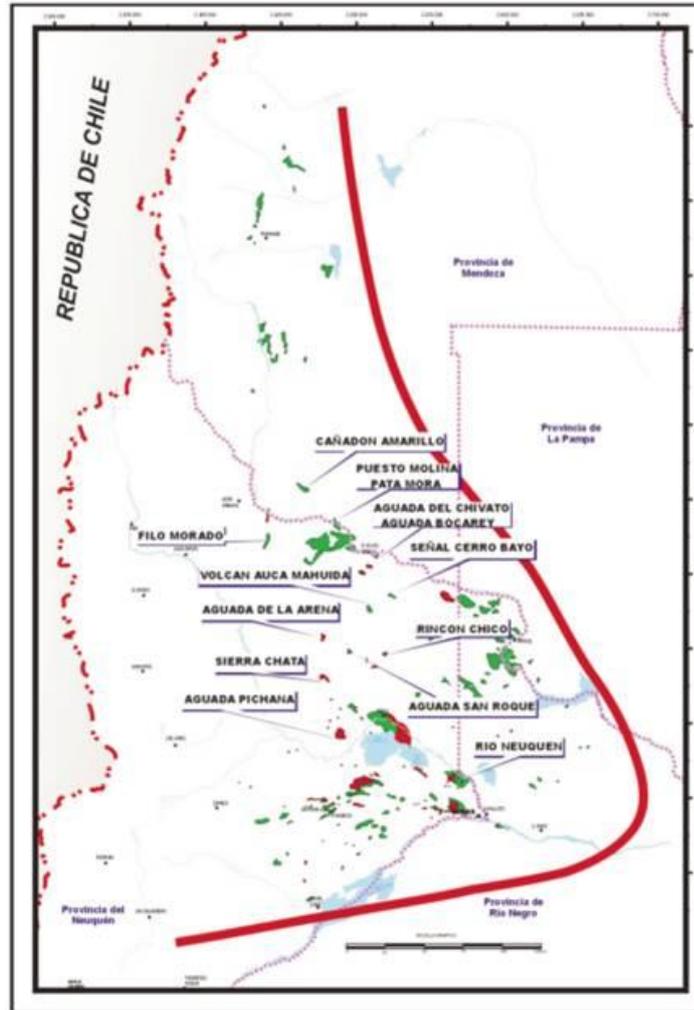


Figura N°9: Yacimientos productivos de Mulichinco (Vottero *et al.*, 2002).

4.3.4 Formación Agrio

A continuación se realizara una introducción de la Formación Agrio a partir del texto de Valenzuela (2002).

En el Hauteriviano Inferior, un abrupto descenso relativo del nivel del mar permitió el desarrollo de facies eólicas, fluviales y de playa-lake que conforman Miembro Avilé de la Fm. Agrio, sobre los depósitos de plataforma externa a interior de cuenca del Mb Inferior de la misma Formación. Así, la arenisca de Avilé yace en forma discordante y abrupta sobre pelitas marinas sin desarrollo de facies transicionales y es interpretada como una regresión forzada (Rossi, 2001), resultante de un evento de desecación (Legarreta, 2001).

Del Hauteriviano temprano tardío hasta el Barremiano, se estableció la conexión de la cuenca con el Océano Pacífico, y se acumularon las pelitas, carbonatos y areniscas del Mb. Superior de la Fm. Agrio.

4.3.5. Formación Centenario

Se transcribirá una reseña del trabajo de Cabaleiro *et al.* (2002).

La Formación Centenario integra la sección superior del Grupo Mendoza y abarca la sedimentación del intervalo Valanginiano superior – Aptiano inferior. Fue definida por Digregorio (1972) para englobar a potentes secuencias de sedimentos terrígenos clásticos rojizos que se distribuyen ampliamente en los sectores Central y Plataforma de la Cuenca Neuquina y que, hacia el sector occidental, pasan de manera transicional a facies deltaicas, marina profundas, litorales y continentales conocidas como Formación Mulichinco, Agrio, Huitrín y Rayoso inferior (figura N°10).

Para el intervalo del Grupo Mendoza superior correspondiente a la formación Centenario/Agrio se puede reconocer una secuencia de transgresión-regresión correspondiente a la sección inferior seguida por depósitos de mar bajo y finalmente una transgresión y depósitos de mar alto en la sección superior.

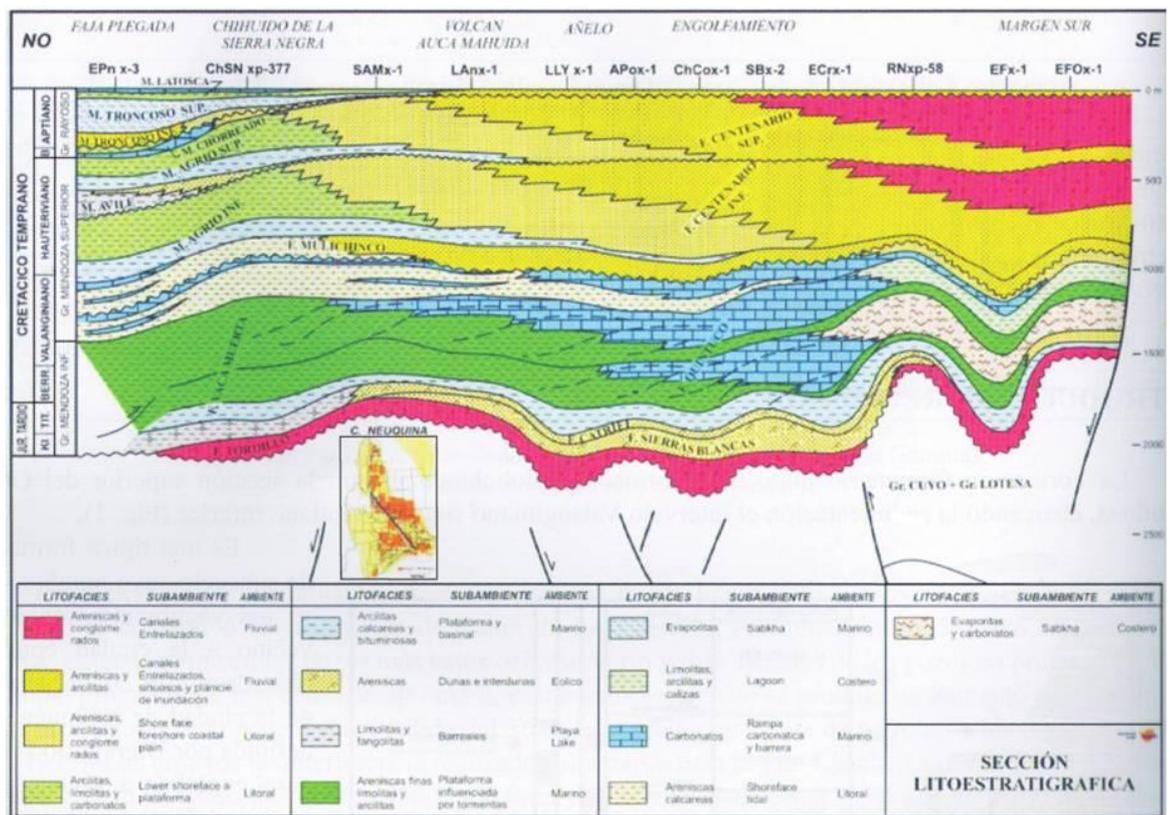


Figura N°10: Corte Litoestratigráfico NO-SE del Grupo Mendoza que muestra la transición de las facies de la Formación Agrio a las de la Formación Centenario (Cabaleiro *et al.*, 2002).

La Formación Centenario se divide en dos miembros siendo el límite entre ambos la discordancia Intrahauteriviana. El Miembro Inferior (Valanginiano superior-Hauteriviano inferior) comienza con una ingesión marina que es más notable hacia el oeste por estar representada por pelitas de un intervalo transgresivo inicial. Sobre

éste prograda un espeso cortejo clástico de nivel alto dentro del cual se distingue una ciclicidad de orden menor atada a periódicas variaciones del nivel del mar (Legarreta y Gulisano, 1989; Vergani *et al.*, 2001; Vottero y Cafferata, 1998). En general está representada por una alternancia de areniscas y pelitas depositadas en paleoambientes litorales, deltaicos y fluviales distales que hacia el este gradan a areniscas y conglomerados rojos de facies fluviales proximales y pelitas de llanura de inundación (Robles, 1972). El tope del Miembro Inferior está marcado por una importante caída del nivel del mar (Hauteriviano inferior) que deja expuesta a la plataforma y genera la discordancia regional Intrahauteriviana. Estos depósitos de mar bajo están representados por el Miembro Avilé de la Formación Agrío, unidad clástica representada al este por facies de areniscas eólicas que gradan a fangolitas de barreal y lacustres hacia el norte y a clásticos gruesos fluviales hacia el oeste.

El miembro superior de la Formación Centenario abarca el resto del Hauteriviano y también se inicia con un intervalo transgresivo representado por pelitas sobre el que prograda un potente sistema compuesto por sedimentos clásticos terrígenos (Vergani *et al.*, 2001). Dentro de este sistema se vuelven a repetir ciclos transgresivos-regresivos asociados con variaciones menores del nivel del mar representados por areniscas y arcilitas en facies de ríos entrelazados al poniente y facies fluviales más proximales hacia el naciente.

5. SISMOESTRATIGRAFIA LOCAL, ANTECEDENTES

En esta sección se hará cita de trabajos que hacen referencia a geofomas que serán descritas más adelante en el análisis de los datos sísmicos. Estos trabajos conformaron una base teórica para las interpretaciones realizadas en la presente tesis.

A continuación se transcribe parte del texto de Pángaro *et al.* (2005), con el objetivo de caracterizar los sigmoides de la secuencia Vaca Muerta-Quintuco y los depósitos carbonáticos asociados a ellos:

En base a la transecta regional elegida (figura N°11) se identificaron trece sismo–secuencias que conforman un arreglo general progradante con una marcada migración del quiebre de plataforma (al menos 90 km entre el Tithoniano y el Berriasiano Inferior). En base a la geometría de las sismo–secuencias se subdividió al intervalo estudiado en tres grupos de secuencias que coinciden aproximadamente con los reconocidos por Mitchum y Uliana (1982, 1987):

- Una sección basal caracterizada por un quiebre de plataforma poco pronunciado y una plataforma y talud extensos y de bajo relieve (secuencias A – D).
- Una sección media que se caracteriza porque sus plataformas presentan gran extensión areal y un marcado quiebre detrás del cual se desarrolla un abrupto talud (secuencias E - G).
- Una sección superior que en el área analizada presenta una rápida agradación y reflectores esencialmente paralelos. En la zona de estudio los quiebres de plataforma de este grupo de secuencias no están presentes pero Mitchum y Uliana (*op. cit.*) describen potentes depósitos de plataformas arealmente restringidas asociados a un quiebre muy abrupto (secuencias H– M).

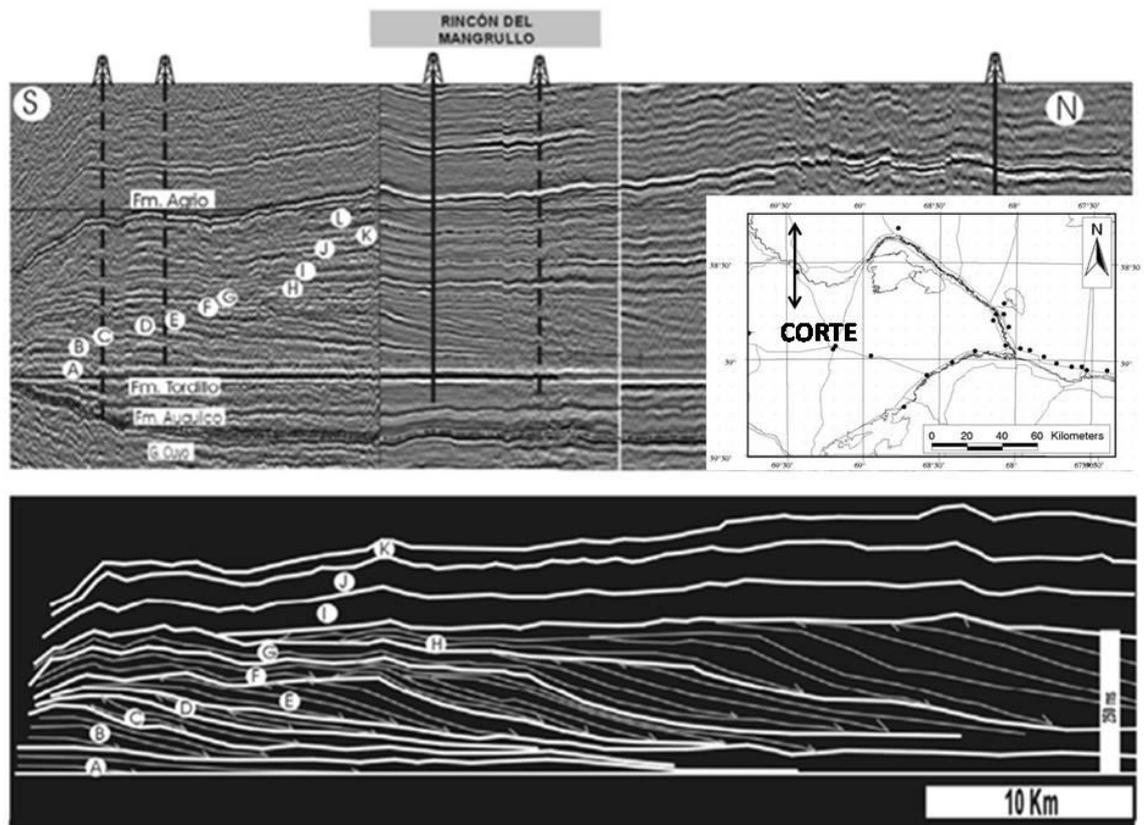


Figura Nº11: Corte sísmico regional y secuencias interpretadas. Nótese la clara diferenciación morfológica entre las secuencias A – D y E – G. Nótese además la relación de la secuencia H con respecto a las infra-yacentes y la importante agradación que caracteriza a las secuencias I – L (Pángaro *et al.*, 2005)

Se distinguieron en el análisis de cada secuencia cuatro elementos con una imagen sísmica característica; estos son los depósitos de centro de cuenca y pie de talud, el talud, la plataforma y los depósitos continentales y litorales por detrás de la plataforma. Los depósitos de centro de cuenca y pie de talud están compuestos por margas, arcilitas y ocasionales niveles de *mudstones* cuya imagen sísmica es de reflectores de moderada a baja amplitud, esencialmente paralelos a ligeramente convergentes. Los depósitos de talud están compuestos por arcilitas, arcilitas calcáreas y subordinados niveles de calizas micríticas; presentan reflectores sigmoides de amplitud media con claras terminaciones tanto de *downlap* como de *toplap* lo que permitió un mapeo ajustado de límites de secuencia de hasta cuarto orden. La plataforma se presenta como un paquete de reflectores en general paralelos de alta amplitud que refleja su composición de calizas y calizas arenosas asociadas a depósitos de baja energía como *mudstones* y arcilitas. En el área de Rincón del Mangrullo se reconocen en la plataforma reflectores discontinuos de muy alta amplitud y escaso desarrollo lateral que en planta tienen forma circular a subcircular; estos cuerpos han sido interpretados como abultamientos carbonáticos.

Por último los depósitos continentales están caracterizados por presentar reflectores sísmicos discontinuos y de amplitud baja a moderada; están constituidos principalmente por areniscas, arcilitas y areniscas calcáreas y líticas (figura N°12).

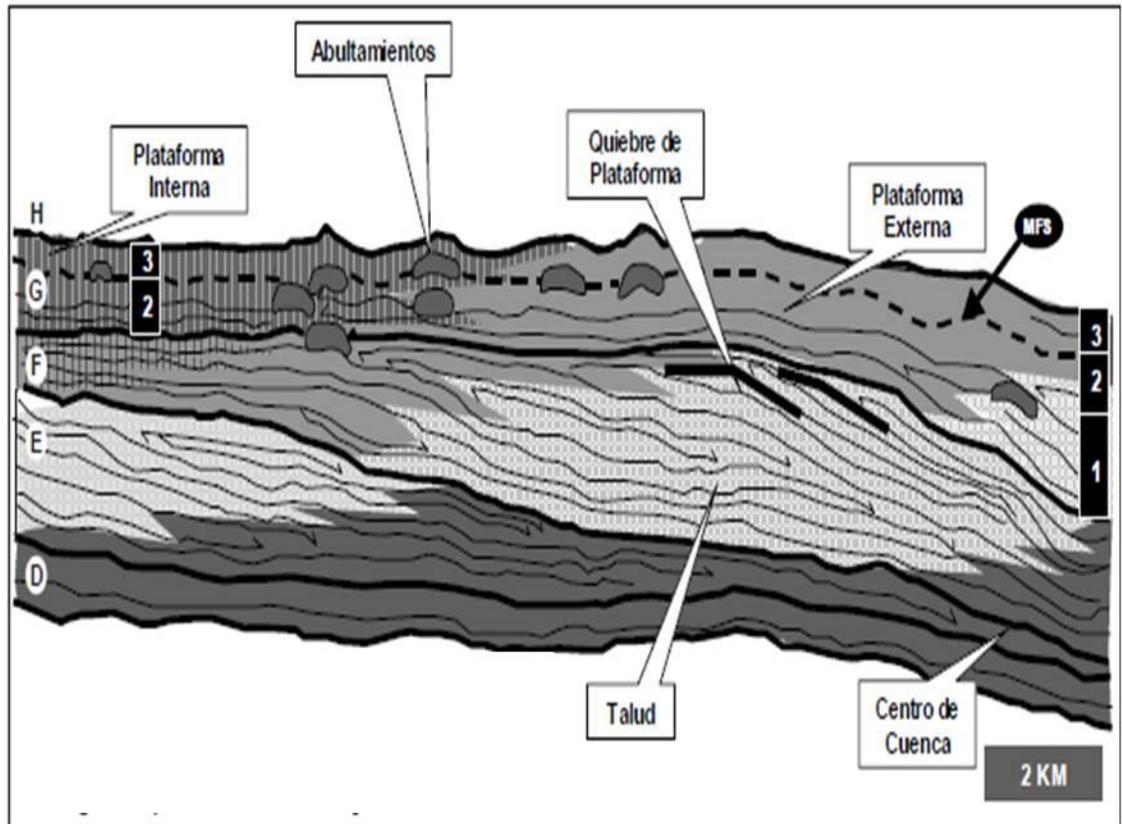


Figura N°12: elementos reconocidos en base al análisis Sismo-estratigráfico del área de Rincón del Mangrullo (Pángaro *et al.*, 2005)

Surgen en base a los datos aportados sobre las construcciones carbonáticas de Rincón del Mangrullo al menos dos escenarios posibles. Uno es que se trate de abultamientos en un ambiente de plataforma caracterizado por pendiente de talud moderada (alrededor de 2 grados) asociado a mares calmos. Este ambiente favorecería la proliferación colonias de algas filoides que actuarían como núcleos de acumulación de fango micrítico el cual no es eliminado con facilidad en un ambiente de baja energía. El otro escenario posible es que tengan un origen hidrodinámico y luego completen su desarrollo con la formación de organismos bio-constructores, por lo que estarían vinculados a un ambiente de mayor energía respecto al anterior. Los datos sedimentológicos y bio-estratigráficos obtenidos en el noroeste de Loma La Lata (Maretto *et al.*, 2002), sugieren que los cuerpos hidro-acumulados serían más comunes en los depósitos de plataforma de la Formación Quintuco. En este caso, se identificaron facies de energía moderada con participación de organismos como pelecípodos, briozoos y corales; siendo considerados éstos como los más

importantes bio-constructores a nivel mundial durante el cretácico (Kiessling *et al.*, 1999).

Sin embargo, el análisis de la morfología de la plataforma, el contexto estratigráfico y las facies asociadas a los abultamientos, indican condiciones del medio de depositación, para el ámbito de Rincón del Mangrullo, similares al primer escenario. No se descarta entonces la génesis de dichos abultamientos en un ambiente de baja energía, pero no se puede precisar por falta de datos, qué organismos serían responsables de las bio-construcciones. El modelo paleo-ambiental interpretado para Rincón del Mangrullo está asociado a un talud con una pendiente suave el cual sería eficiente en disipar la energía de las olas resultando en un ambiente de baja energía (figura N°13)

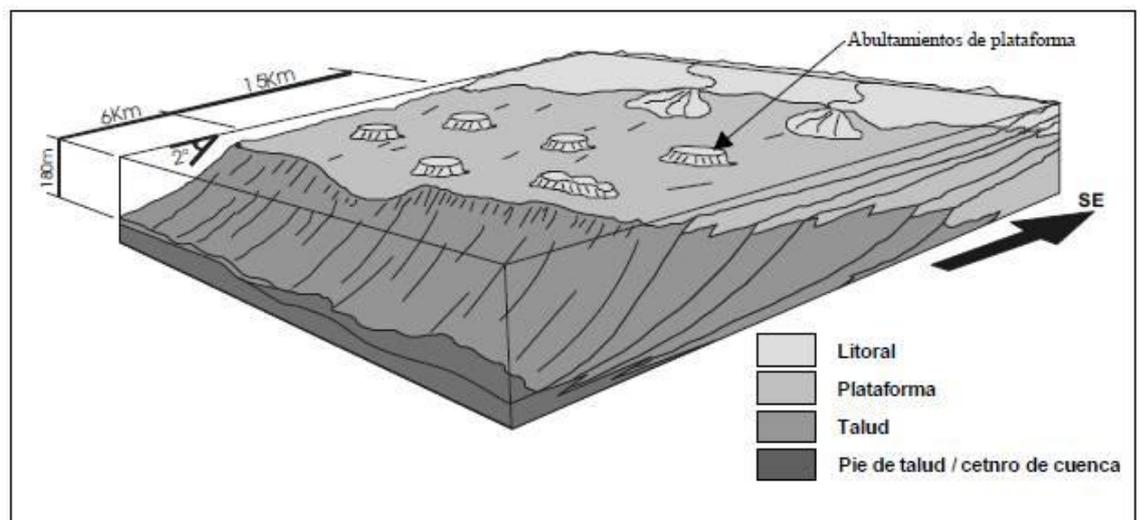


Figura N°13: Modelo paleo-ambiental propuesto para el área de Rincón del Mangrullo durante el Berriasiano .Los depósitos litorales interpretados han sido documentados mediante perforaciones unos 20 km al sudeste del área abarcada por este estudio (Pángaro *et al.*, 2005)

En lo relativo a la historia depositacional de las secuencias mencionadas, se extrae una parte del trabajo de Pose *et al.* (2014).

De acuerdo a las observaciones realizadas, mapas de facies, estudios bioestratigráficos y considerando los robustos modelos propuestos por Carozzi *et al.* (1993) y Mitchum y Uliana (1985), se identifican tres juegos de secuencias principales (sets de secuencias) que permiten definir la evolución del sistema Quintuco-Vaca Muerta en la región de estudio en cuatro etapas (figura N°14):

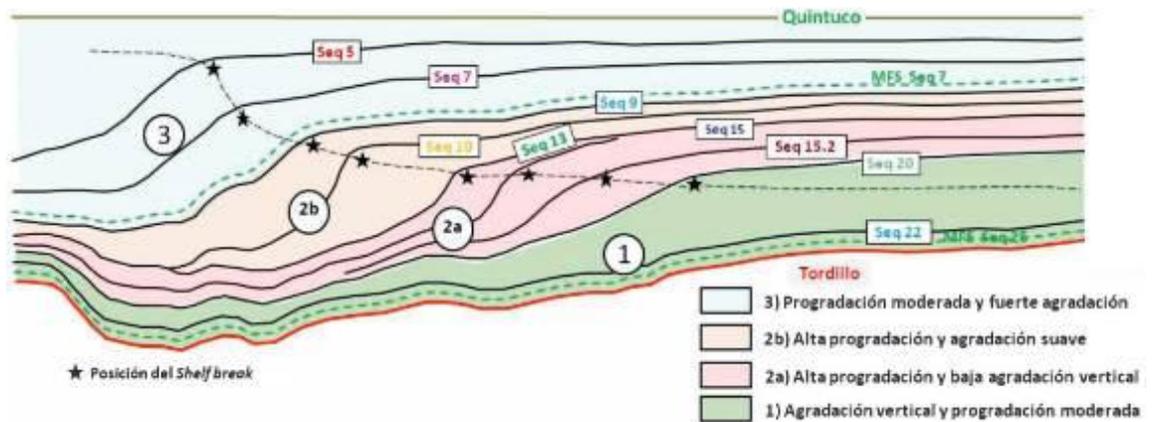


Figura N°14: Etapas de la historia depositacional de las secuencias de la Fm. Vaca Muerta-Quintuco (Pose et al., 2014).

Primera etapa:

Esta etapa está comprendida entre el techo de la Formación Tordillo y la secuencia 20. La misma está marcada por la presencia de arcillas y margas bituminosas extendidas regionalmente en la zona estudiada y que se corresponden a las facies de talud distal y cuenca de las secuencias 25, 24, 22 y 20 (figura N°15). Los quiebres de plataforma de las mismas se encuentran en posiciones más proximales del sistema (fuera de la zona de estudio) y estarían gobernadas por procesos de agradación seguidos de procesos de progradación suave asociados a rápidas transgresiones (Mitchum y Uliana 1985). De acuerdo a los estudios bioestratigráficos realizados, esta sección presentaría una edad Tithoniano inferior alto-Tithoniano medio (Aguirre-Urreta y Vennari, 2014).

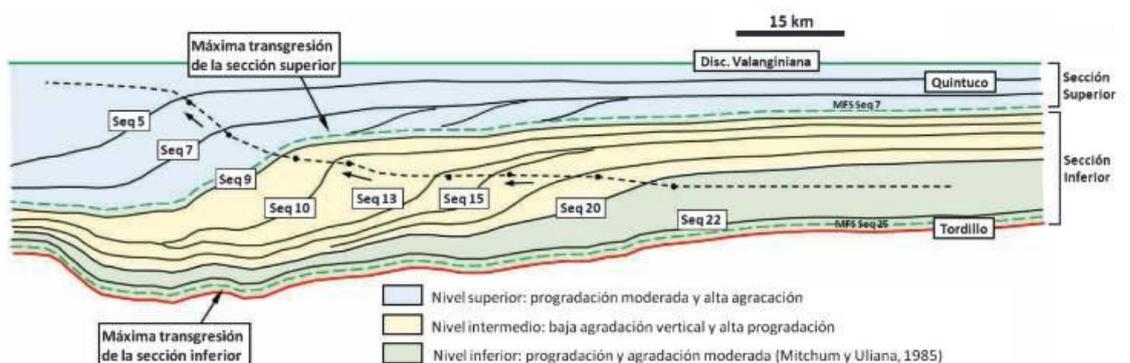


Figura N°15: Secuencias de tercer orden principales identificadas. Las secuencias 24 y 25 se encuentran condensadas por debajo de la secuencia 20 y no están indicadas por una cuestión de escala. En la figura inferior se puede observar la geometría de cada secuencia y la evolución de la posición de los shelfbreaks. En función de estos, se divide el comportamiento secuencial del sistema en tres niveles: inferior, medio y superior (Pose et al., 2014).

Segunda etapa:

Esta etapa fue dividida en dos partes, A and B (figura N°14). La etapa 2A está comprendida entre las secuencias 15 y 13 (figura N°15). Se trata de un período principalmente regresivo desarrollado a continuación de una transgresión inicial, con depósitos de talud bien extendidos que se disponen por encima de las facies de alto COT (la sigla en inglés es TOC; y es Carbono Orgánico Total) del primer evento. En posiciones distales, las facies de talud dan paso a las facies de talud distal y cuenca con presencia de margas bituminosas.

Con condiciones de highstand dominantes, las secuencias presentan una baja agradación vertical y alta progradación. Asociados a los niveles de talud de este intervalo se desarrollan fenómenos de *slumps* que llegan a cubrir importantes áreas de la región de estudio. El disparador de estos deslizamientos podría estar asociado a eventos sísmicos originados por reactivaciones de fallas de basamento (Gangui y Graussem, 2014). De acuerdo al estudio bioestratigráfico de amonites, este intervalo estaría comprendido entre el Tithoniano superior medio a alto.

La etapa 2B comprende las secuencias 11 y 9 (figura N°15). En general este intervalo está representado por depósitos de plataforma de baja energía y niveles de talud que suelen presentar algunos intervalos con presencia de arcillas y margas bituminosas. Estos niveles están asociados a la presencia de eventos transgresivos menores que comienzan a marcar el paso hacia condiciones de mayor agradación vertical de la cuarta etapa. Este cambio sutil en la geometría de las secuencias comienza a hacerse evidente a partir de las secuencias 10/11 y en posiciones distales comienza a estar indicada por la presencia de niveles ricos en COT elevados.

Tercera etapa:

Esta etapa está limitada en su base por el límite de secuencia 9 y en su techo por la discordancia Valanginiana (techo de la Formación Quintuco). Este último evento está marcado por una importante inundación regional cuya edad, de acuerdo a la curva de Hardenbol *et al.* (1997), se puede estimar en el Berriasiano (~140 Ma). Las condiciones netamente progradantes de las etapas anteriores cambian a un estadio principalmente agradante con una progradación moderada. Si bien en la región de estudio esta etapa está dominada por facies de plataforma, es común

observar niveles de alto contenido orgánico en posiciones distales de la misma como resultado de la transgresión Berriasiana.

6. SISTEMA PETROLERO

A continuación se transcribe un fragmento del texto de Legarreta *et al.* (2005).

En la Cuenca Neuquina se han identificado reservas totales (producidas y por producir) que rondan los 9.7 billones de barriles de petróleo equivalente (BBOE), distribuidos en aproximadamente un EUR (valores de producción acumulada y reservas) de 4.4 billones de barriles de petróleo, 90% de ellos alojados en 40 de los 200 yacimientos conocidos. Por otro lado, el EUR para el gas es de alrededor de 29.9 trillones de pies cúbicos de gas, de los cuales el 90% se encuentra en 25 de los 120 campos de gas descubiertos hasta la fecha. A partir de la etapa de desregularización y privatizaciones (década de los `90) el incremento de las reservas se produjo mayormente dentro o cerca de las zonas productivas donde hoy se estima la existencia de reservas probadas y probables de alrededor de 1.9 billones de barriles de petróleo (BBO) y 17.5 trillones de pies cúbicos (TCF) de gas (en Legarreta *et al.*, 2005).

Los sistemas petroleros de la cuenca han sido divididos en cinco distritos por Legarreta *et al.* (2008) considerando ciertas similitudes que presentan las acumulaciones (figura N°16). El bloque Rincón del Mangrullo se ubica en el distrito La Lata, en el centro del Engolfamiento.

El distrito La Lata cuenta con dos sistemas petroleros prolíficos donde la generación provino de las lutitas negras de las formaciones Los Molles y Vaca Muerta, maduras por los importantes espesores que actuaron como sobrecarga (Legarreta *et al.*, 2008). Los principales reservorios, mayormente portadores de gas, condensado y petróleo liviano, son las areniscas de la Formación Sierras Blancas y, adicionalmente, las formaciones Lajas y Lotena (Legarreta *et al.*, 2008).

La Formación Los Molles (silicoclastita con querógeno de tipo II/III) habría tenido una importante participación en el llenado de los reservorios clásticos de este sector de la cuenca con gas metano (alta madurez térmica). Respecto de su capacidad de carga, el intervalo basal (Toarciano-Pliensbaquiano) de unos 400 m de espesor, presenta valores de riqueza orgánica de hasta 6% de COT (Fernández Seveso *et al.*, 1996) (en Legarreta *et al.*, 2008).

La Formación Vaca Muerta aporta gas condensado y petróleo no sólo en este sector, sino que también a las situadas en la periferia de la cocina del Engolfamiento (Villar, *et al.*, 1993; Villar y Talukdar, 1994). El sistema de carga de Vaca Muerta

tiene niveles generadores de gran riqueza orgánica (silicoclastita con querógeno tipo II de alta calidad), buenos reservorios, importantes sellos pelíticos y amplias trampas. Aportan acumulaciones como las de Loma La Lata (Maretto y Rodríguez, 2005) (en Legarreta *et al.*, 2008).

La migración desde la Formación Los Molles hacia los reservorios de Lotena y Sierras Blancas del yacimiento Loma La Lata habría tenido lugar verticalmente a través de fallas (Legarreta *et al.*, 2008). El fuerte predominio de metano en la composición del gas alojado en la Formación Lotena estaría asociado al fuerte stress térmico que afecta al intervalo generador de la base del Grupo Cuyo. El petróleo liviano migrado verticalmente y entrampado en la Formación Quintuco muestra afinidad genética y térmica con la Formación Vaca Muerta de Loma La Lata. En el sector occidental del distrito, las acumulaciones desarrolladas en la Formación Mulichinco estuvieron alimentadas, por migración vertical, desde la Formación Vaca Muerta. Aquí, las evaporitas de la Formación Auquilco formaron una barrera para la migración de hidrocarburos desde la Formación Los Molles (en Legarreta *et al.*, 2008).

En el distrito La Lata, gasífero por excelencia, se han identificado alrededor de 90 campos, con EUR de 18.4×10^{12} CFG (*cubicfeet of gas*) (Legarreta *et al.*, 2008). El yacimiento Loma La Lata aloja 59% de este volumen de gas junto con unos 225×10^6 BO, mientras que 37% se reparte entre Aguada Pichana-Aguada de la Arena, Loma Las Yeguas, Sierra Chata y Aguada San Roque (Legarreta *et al.*, 2008). Otros 14 campos registran acumulaciones entre 220 y 10×10^9 CFG y el resto contiene volúmenes menores de gas, acompañados por cantidades de petróleo que no superan el millón de barriles (Legarreta *et al.*, 2008).

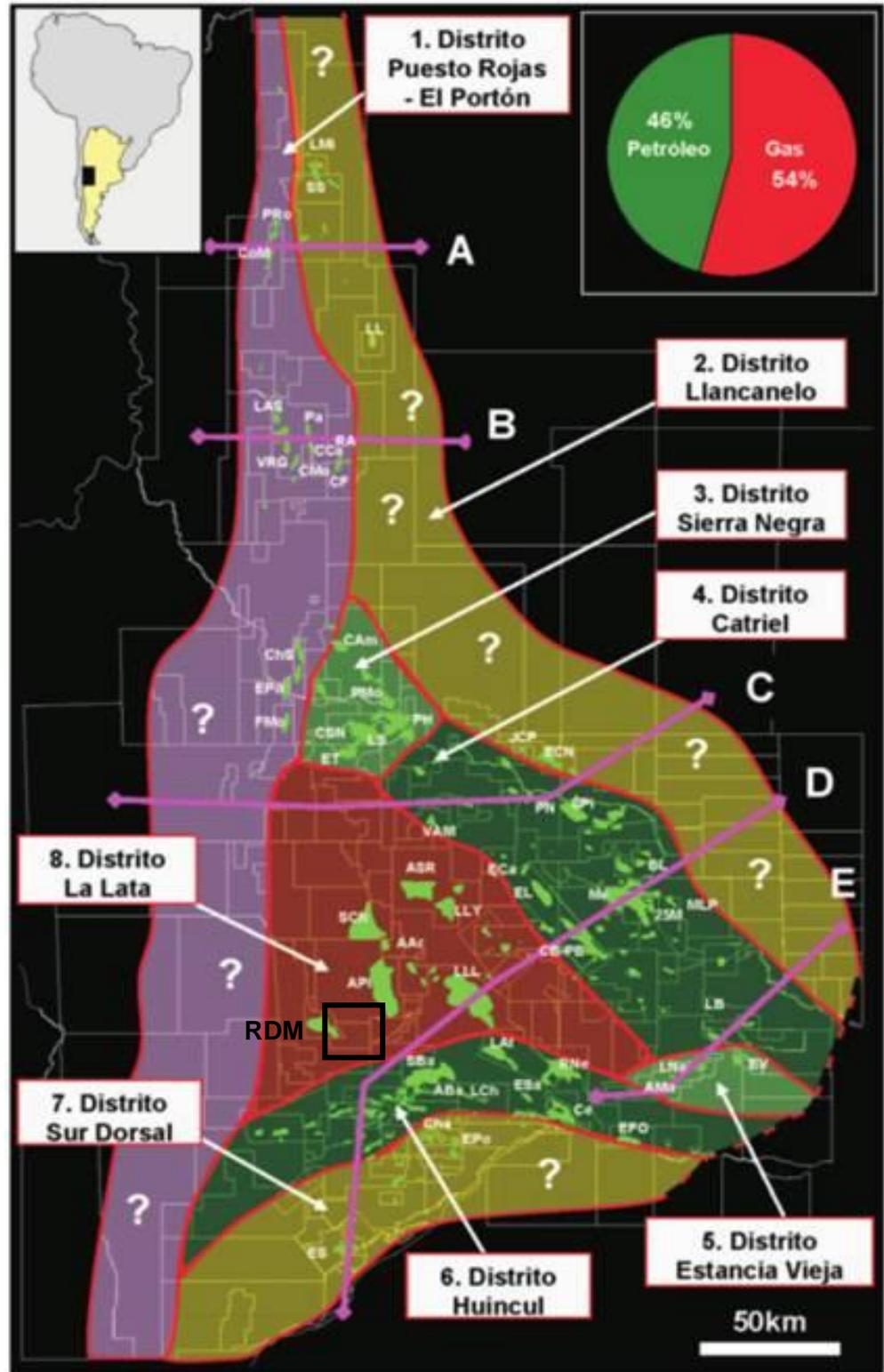


Figura N°16: Mapa de la Cuenca Neuquina que muestra la división de la misma en los distritos productivos. Se destaca la ubicación de Rincón del Mangrullo en el Distrito La Lata (Legarreta *et al.*, 2005)

7. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El Trabajo Final de Licenciatura tuvo como objetivo adquirir entrenamiento en el manejo de datos de subsuelo para luego realizar un análisis y posterior interpretación de los mismos.

La primera etapa de trabajo se centró en un aprendizaje geológico sobre el área de estudio. Se indagó en relación a la Cuenca Neuquina y al marco geológico local que caracteriza a Rincón del Mangrullo. Todo esto con el fin de tener una correcta base teórica para el manejo de los datos de subsuelo y su interpretación.

Se contó con una base de datos sísmicos de reflexión y de perfiles eléctricos de pozos. **La base de datos fue provista por la Subsecretaría de Hidrocarburo, Energía y Minería de la Provincia de Neuquén** bajo acuerdo de confidencialidad con el **Gabinete de Geociencias Aplicadas a la Exploración y Producción de Hidrocarburos**.

Los datos sísmicos corresponden a un cubo 3D del área Rincón del Mangrullo en formato SEG Y, del cual se obtuvieron los siguientes datos:

- Plano de referencia: 450m
- Coordenadas de la grilla: NO 2463210/5737070, SE 2480620/5723980

Los perfiles eléctricos facilitados fueron provistos en formato LAS y corresponden a 6 pozos del área de estudio. Información relevante de cada uno de ellos se especifica en la Tabla N° 1.

Pozo	Profundidad total(m)	Datum (Nivel del Terreno) (m)	X	Y
ETo.x-1	1900,7	693	2471301	5733748
PDI.x-1	2295	684	2479978	5731931
RDM.a-7	2037,1	703	2477487,2	5731348,8
RDM.e-2	3720	667	2468312	5732746
RDM.x-1	3700	643	2468025	5733583
RDP.x-1	1826	631	2468277	5726271

Tabla N°1: Datos de Pozos Utilizados en el presente trabajo

Todos los datos fueron administrados mediante un Software de interpretación de amplio uso en la industria de hidrocarburos. El software utilizado fue Kingdom™,

versión 8.7.1 – 32 bit. Se tuvo acceso a este programa debido a que se encuentra instalado en el **Gabinete de Geociencias Aplicadas a la Exploración y Producción de Hidrocarburos** (GAEPH) dependiente de los Departamentos de Geología y de Geofísica y Astronomía de la FCEFYN - UNSJ.

El citado software se enfoca en las interpretaciones de Geología y Geofísica, como son el análisis sísmico y petrofísico, las correlaciones de perfiles eléctricos y el mapeo de subsuelo.

Mediante Kingdom se creó un proyecto, a partir del cual se administró la información sísmica y de pozo. En este caso el proyecto fue creado bajo el nombre de RDM que hace alusión al área de estudio Rincón del Mangrullo. Durante su creación se determinó el sistema métrico a utilizar y los bordes del cubo sísmico. Una vez creado el proyecto, se prosiguió con la carga de los datos ya descriptos.

La siguiente etapa involucró el análisis de la información y su posterior interpretación. El análisis de los perfiles eléctricos de pozos abarcó las siguientes tareas:

- Correlación de los registros buscando identificar fases formacionales.
- Generación de sismogramas sintéticos.
- Colgado de los registros de pozos a la sísmica buscando una correcta correlación entre los fases formacionales de los registros y sus respectivos reflectores en la sísmica.

En cuanto al dato sísmico, las tareas llevadas a cabo para su análisis fueron las siguientes:

- Identificación de horizontes guías y seguimiento de los mismos.
- Elaboración de mapas estructurales en tiempo y en amplitud.
- Elaboración de mapas de espesores en tiempo.

Como último paso se redactó una descripción de las tareas llevadas a cabo durante el transcurso del Trabajo Final junto con las interpretaciones. Dicha redacción constituye el presente informe.

8. ANALISIS DE POZOS

8.1. Correlación de Perfiles Eléctricos

Como ya se mencionó, se pudo hacer uso de los registros eléctricos de 6 pozos distribuidos en el área de estudio (figura N°17)

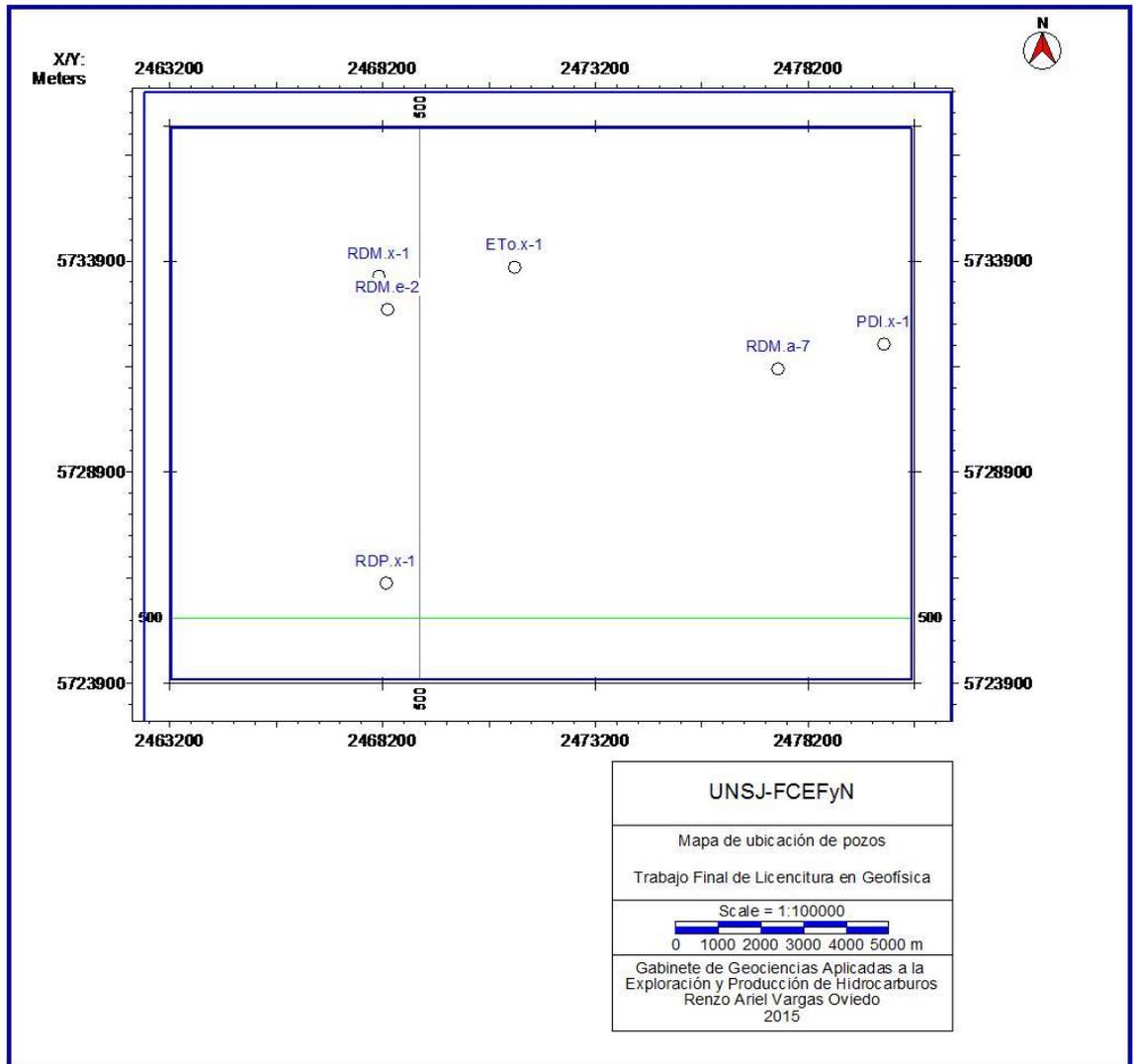


Figura N°17: Ubicación de pozos

El primer paso, en el manejo de los datos de pozos, fue identificar en los registros eléctricos los pases entre formaciones, mediante el uso de *markers geológicos*. Para esto se contó con ayuda de información previa de 5 pozos, provista junto con los archivos LAS (tabla N°2).

Formación	ETo.x-1	PDI.x-1	RDM.a-7	RDM.e-2	RDM.x-1
Base_NQN	248,83	248,83	451,76	250,99	205,13
Ray_3	388,64	388,64	512,88	313,87	282,65
Ray_2	549,44	549,44	671,57	476,15	448,6
Ray_1	700,39	700,39	804,1	627,79	600,01
Huitrin	948,85	948,85	1044,83	880,01	852,8
Cent_Sup	963,87	963,87	1066,2	900,08	876,22
Cent_Inf	1294,88	1294,88	1398,81	1237,06	1220,59
Mulichinco	1702,86	1702,86	1805,1	1621,95	1630,68
Quintuco	1867,78	1867,78	1966,17	1782,77	1786,56
BVM				2876,2	2859,86
Auquilco				3158,58	3139,86

Tabla N°2

El pozo RDP.x-1 no disponía de pases formacionales. A partir de la correlación de datos brindada por los restantes pozos, se pudieron definir los *markers* correspondientes a las formaciones de interés del mencionado pozo

La ventana correspondiente a la opción que brinda el software para la carga de los *markers* en el proyecto se muestra en figura N°18. En este caso la imagen ilustra topes o bases de formaciones a distintas profundidades identificadas en el pozo ETo.x-1, sin embargo se pueden visualizar los topes de cualquiera de los 5 pozos disponibles, seleccionando el de interés en la parte izquierda de la ventana.

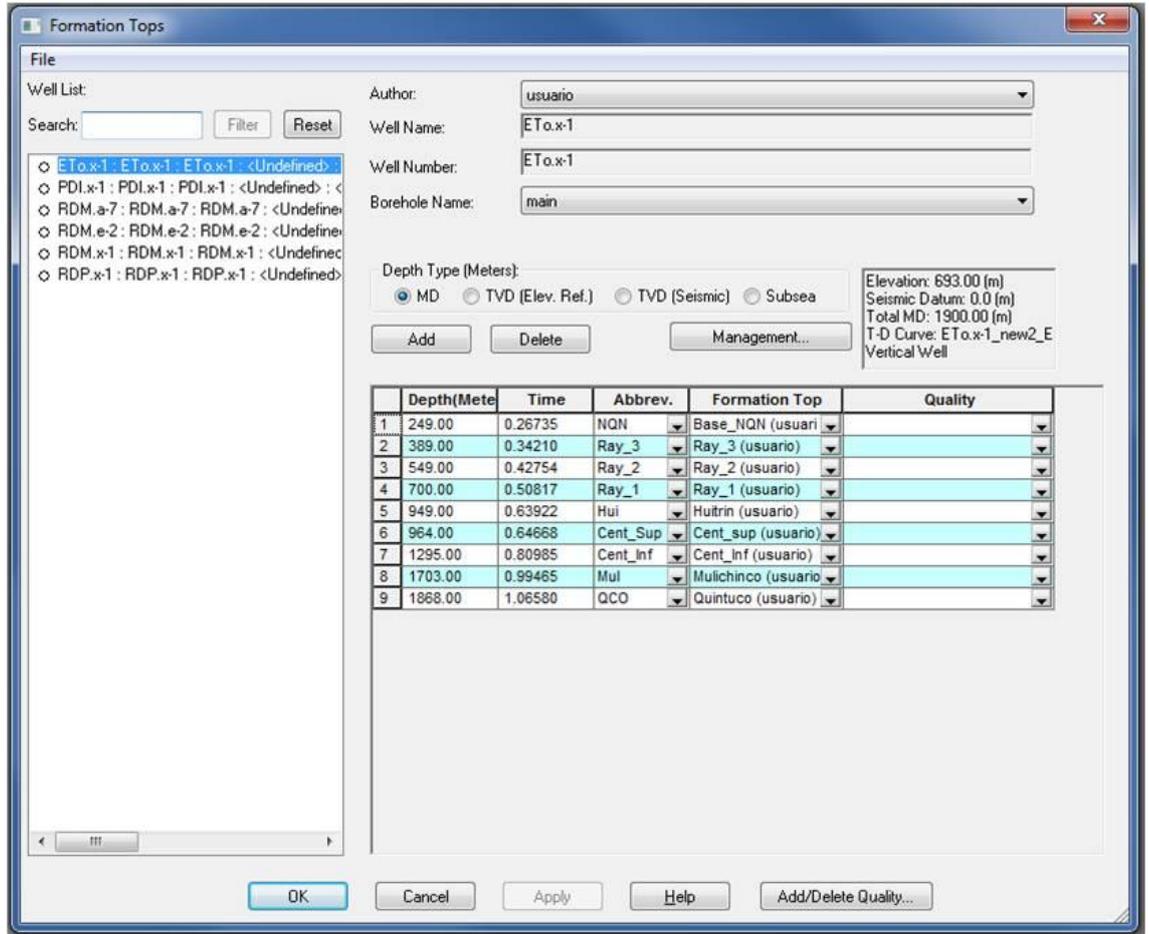


Figura N°18: Carga de pases formacionales

Una vez ingresados los pases formacionales se prosiguió a visualizar los registros eléctricos de todos los pozos con sus respectivos *markers* con el objetivo de lograr identificar características petrofísicas que evidencien los cambios de litología entre formaciones y correlacionar dichos cambios entre los registros de diferentes pozos. Se debe aclarar que no todos los pozos disponían de los mismos perfiles eléctricos y tampoco las carreras llegaron hasta la misma profundidad (esto significa que las herramientas usadas para registrar los perfiles no fueron descendidas hasta el mismo nivel de subsuelo). La disponibilidad algunos registros eléctricos se muestra en la tabla N°3.

Pozo	DT	GR	RHOB	SP
ETo.x-1	Sí	Sí	Sí	Sí
PDI.x-1	No	Sí	Sí	Sí
RDM.a-7	Sí	Sí	Sí	Sí
RDM.e-2	Sí	Sí	No	Sí
RDM.x-1	No	Sí	Sí	Sí
RDP.x-1	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla N°3: Disponibilidad de registros

La correlación geológica entre los 6 pozos con los cuales se trabajó se ilustra en la figura N°19. En ella, a cada pozo se le asigna 4 tracks: el primero corresponde a la curva de SP, el segundo es el track de profundidad, en el tercero se muestra el registro acústico y en el último la variación del gamma ray (figura N°20). También se observan los *markers* correspondientes a los pases formacionales cargados.

La correlación finaliza en el tope de la formación Quintuco, esto es debido a que solo en el pozo RDM.e-2 las curvas alcanzan profundidades tales como la base de Vaca Muerta (tope de la Fm. Tordillo) o el tope de Auquilco. Los registros eléctricos del pozo RDM.e-2 en las formaciones Auquilco, Tordillo y Vaca Muerta-Quintuco se muestra en la figura N°20.

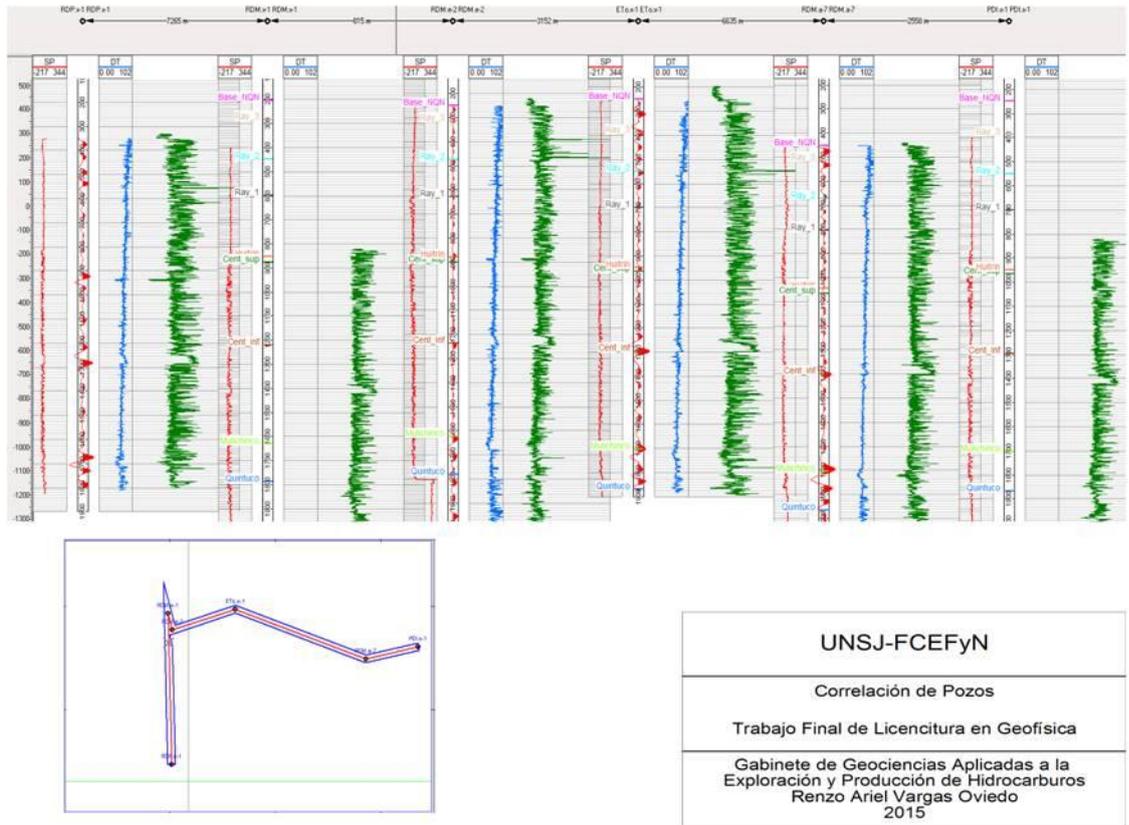


Figura Nº19: Correlación de registros eléctricos

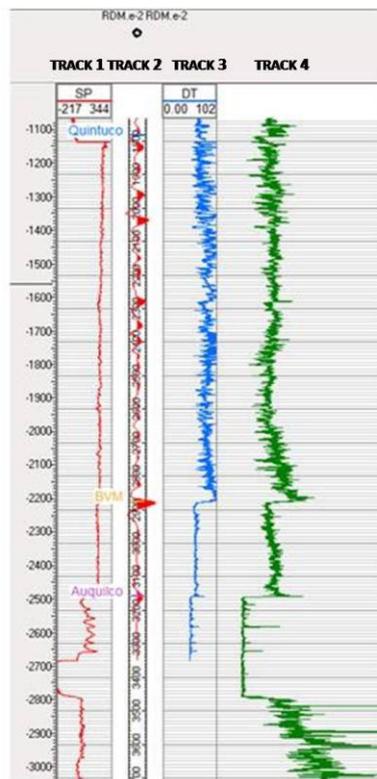


Figura Nº20: Registros correspondientes a las Formaciones Auquico, Tordillo y secuencia Vaca Muerta-Quintuco

8.2. Colgado De Pozos A Partir De Sismogramas Sintéticos

Un sismograma sintético, es el resultado de la convolución de una función fuente (ondícula) con una función de reflectividad (serie de picos con amplitud proporcional al coeficiente de reflexión de cada horizonte y tiempo equivalente al tiempo de reflexión de una onda sísmica de ida y vuelta), la cual representa el contraste de impedancia acústica para el subsuelo estratificado (figura N°21). La utilidad de trabajar con los sismogramas sintéticos y su posterior atado al cubo sísmico, es la de poder identificar horizontes de pases formacionales de interés, algunos de los cuales, son seleccionados como horizontes guía para desarrollar el análisis de la información sísmica.

Para obtener la función de reflectividad necesaria en el cálculo del sismograma sintético, se requieren valores de impedancia acústica a diferentes profundidades del subsuelo, los cuales pueden ser obtenidos directamente del perfil sónico y del perfil de densidad. Además, debido a que la amplitud y polaridad de la reflexión sísmica se determina a partir del contraste de impedancia acústica, los grandes cambios en los perfiles ya nombrados, deberían coincidir con los reflectores de gran amplitud en los datos sísmicos.

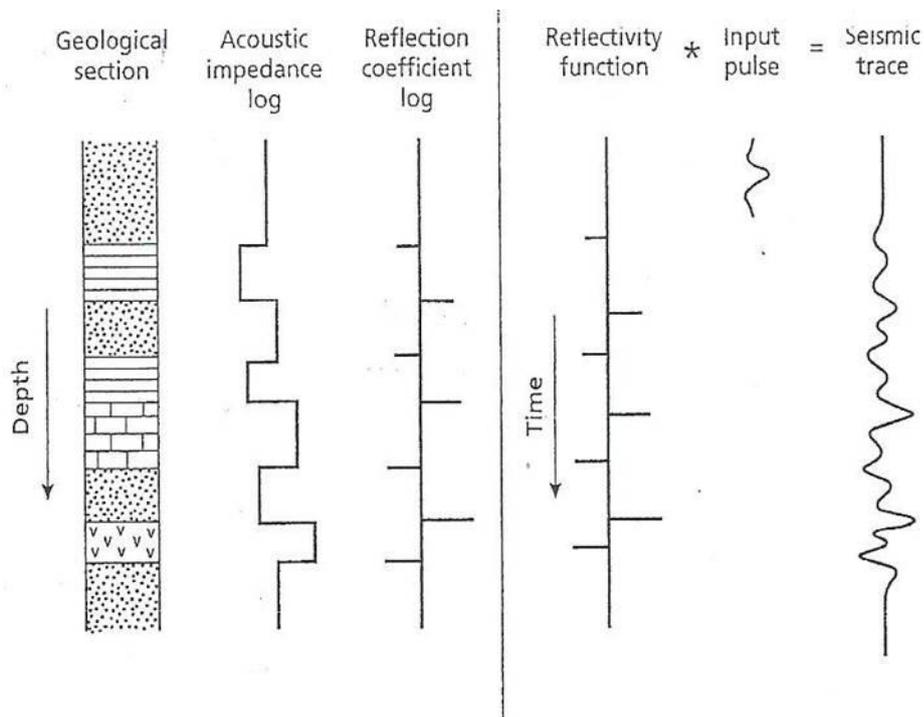


Figura N°21: Sismograma sintético

En el sismograma sintético también se evidencian los pases formacionales mediante *markers*. Sin embargo, cuando se intenta correlacionar el sismograma sintético con los datos sísmicos, los *markers* correspondientes de una determinada formación difícilmente coincidan con los reflectores sísmicos de esa misma formación. Esto se debe a que existe una variación de frecuencia entre ambos datos, el dato sísmico presenta una frecuencia de adquisición mucho menor que el dato de pozo. En cierta forma se trata de hacer coincidir un dato muy suavizado (sísmico) con un muy detallado (pozo).

Para lograr correlacionar correctamente ambos tipos de datos, se lleva a cabo un ajuste que consiste en hacer coincidir las amplitudes máximas y mínimas del sismograma sintético con las de la sísmica. De manera tal que los *markers* de los pases formacionales se correlacionen con los reflectores de la sísmica correspondientes a esos mismos pases entre formaciones. Para esto se hizo uso de herramientas que brinda el software tales como:

- **Shift in Time:** Permite desplazar el sismograma sintético en forma de bloque.
- **“Add pin” y “Stretch/Squeeze”:** Los pines fijan el sismograma en un determinado tiempo para poder estirar o comprimir otra zona donde el ajuste no sea exacto.

La correlación entre el sismograma sintético y las trazas sísmicas luego de realizar el ajuste correspondiente, se muestra en la figura N°22. En la imagen se visualizan dos sismogramas sintéticos uno positivo y otro negativo a ambos lados de un track que muestra una determinada cantidad de trazas del cubo sísmico cercanas a la posición del pozo. La traza que figura en color rojo, superpuesta al dato sísmico, es aquella que corresponde a la ubicación del pozo RDM.e-2.

Kingdom permite generar sismogramas sintéticos para cada pozo siempre que se disponga del registro acústico. Como se mostró en la Tabla N°3, los únicos pozos que no cuentan con la curva DT son PDI.x-1 y RDM.x-1 por lo tanto no fue posible obtener la función de reflectividad para calcular la convolución necesaria. Otro caso particular fue el sismograma sintético del pozo RDM.e-2 (figura N°22) que no disponía del registro de densidad por lo que se optó usar una densidad constante de valor 2.

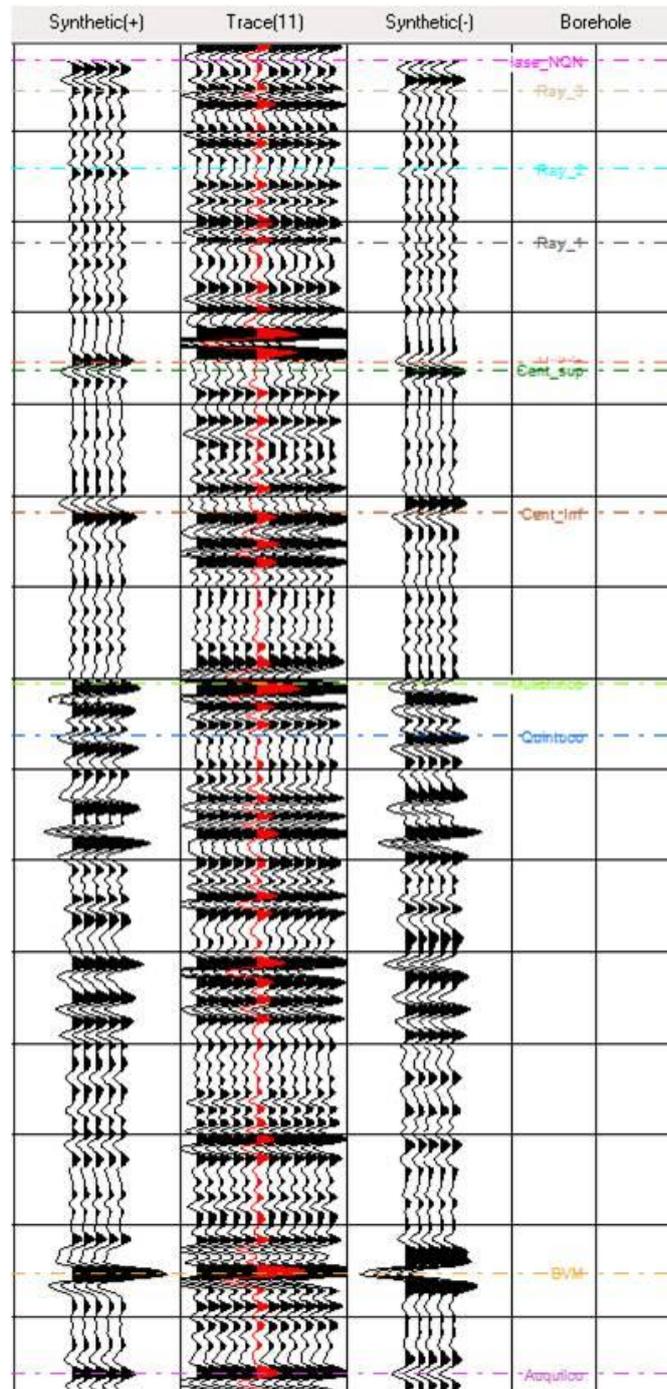


Figura N°22: Sismograma sintético del pozo RDM.e-2

Una vez que se logró un buen ajuste de todos los sismogramas sintéticos, se obtuvo el correcto colgado de los pozos. Secciones sísmicas abiertas a partir de una línea arbitraria que pasa por los pozos para mostrar la correlación de los registros con los reflectores sísmicos, se muestran en las figuras N°23 y N°24.

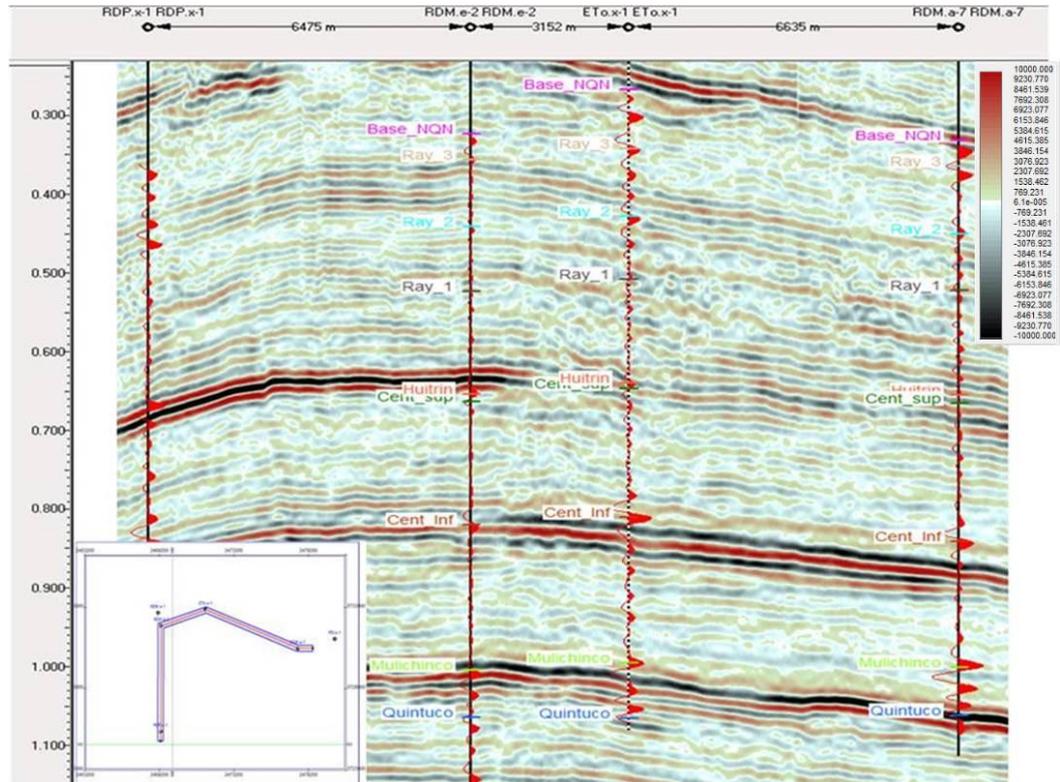


Figura N°23: Colgado de pozos

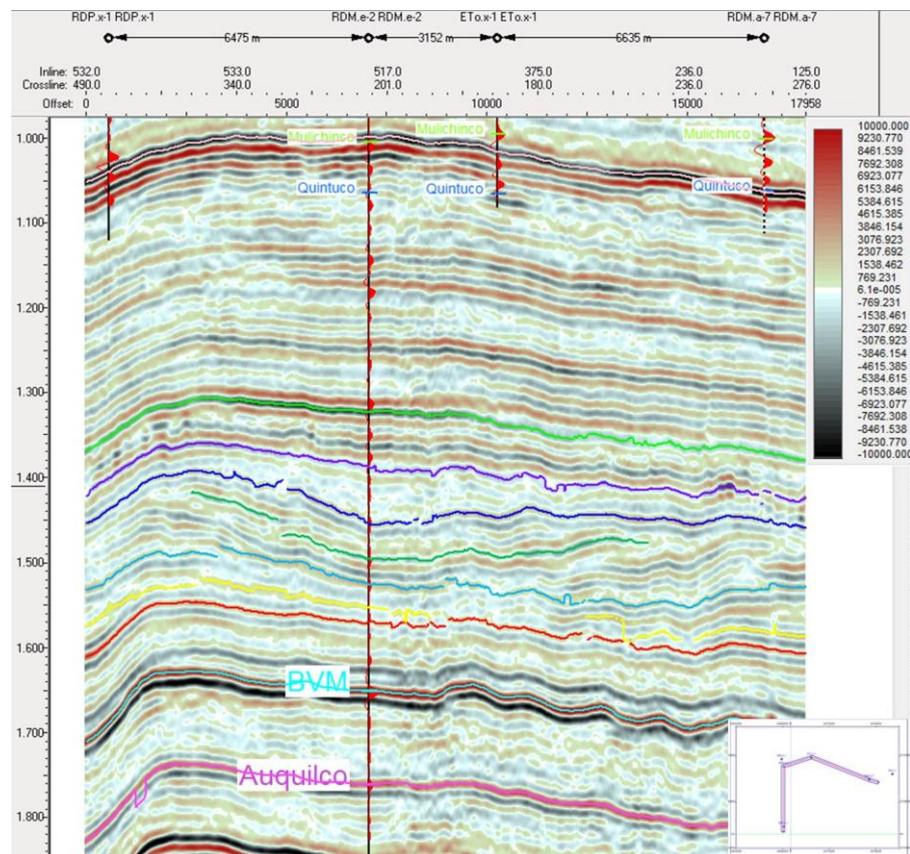


Figura N°24: Colgado de pozos

En la sección sísmica los colores rojos representan las amplitudes positivas y las negras las negativas. Así, por ejemplo, en la figura N°25, se ve la adecuada correlación entre la amplitud positiva del sismograma sintético correspondiente al *marker* de la base de Vaca Muerta, con el horizonte guía interpretado en la sísmica que se lo identificó como BVM (Base Vaca Muerta). Lo mismo sucede con el tope de Auquilco.

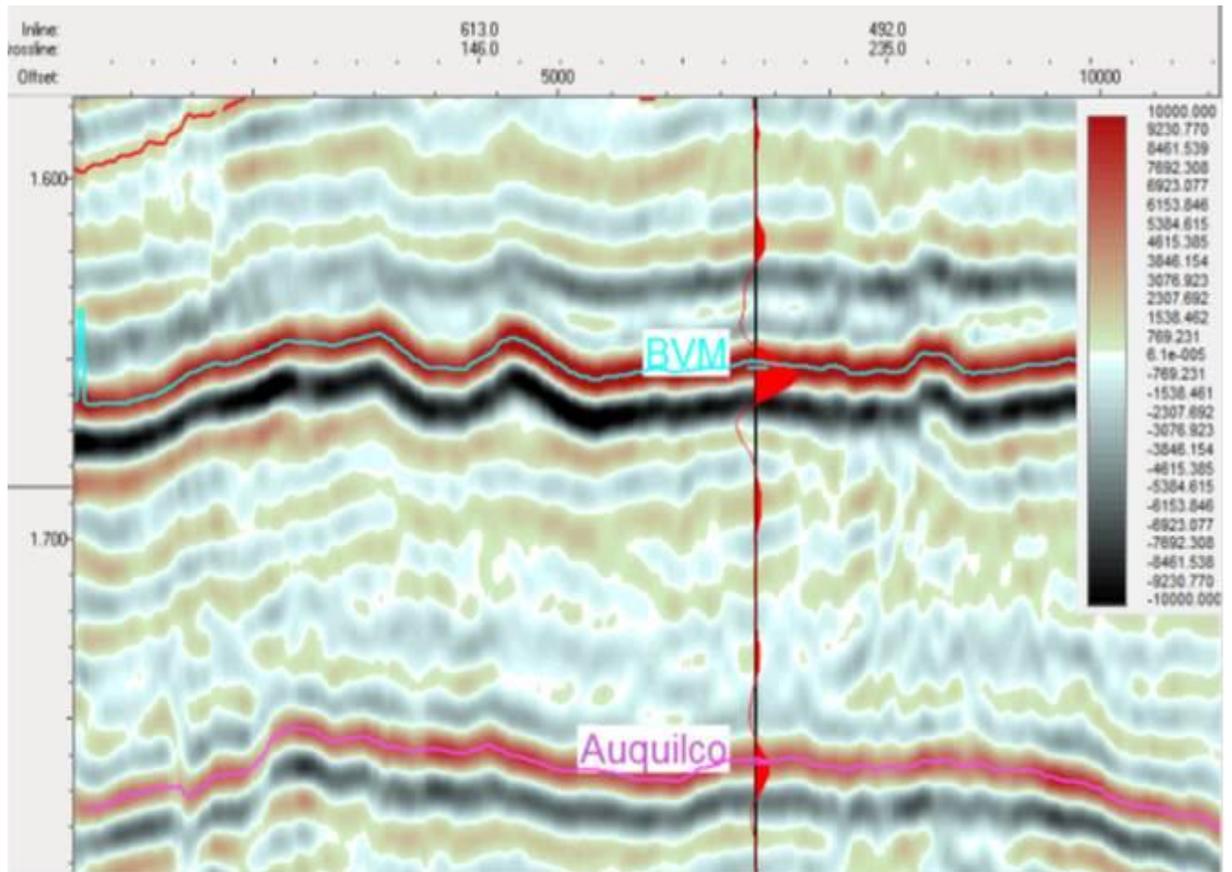


Figura N°25: Correlación entre los *markers* de las bases de Vaca Muerta y Auquilco con sus respectivos reflectores en la sección sísmica

El atado de los pozos a la sísmica también se muestra en la figura N°26 pero a diferencia de las secciones anteriores, no solo se visualiza la traza sintética sino también los registros eléctricos asociados al pozo.

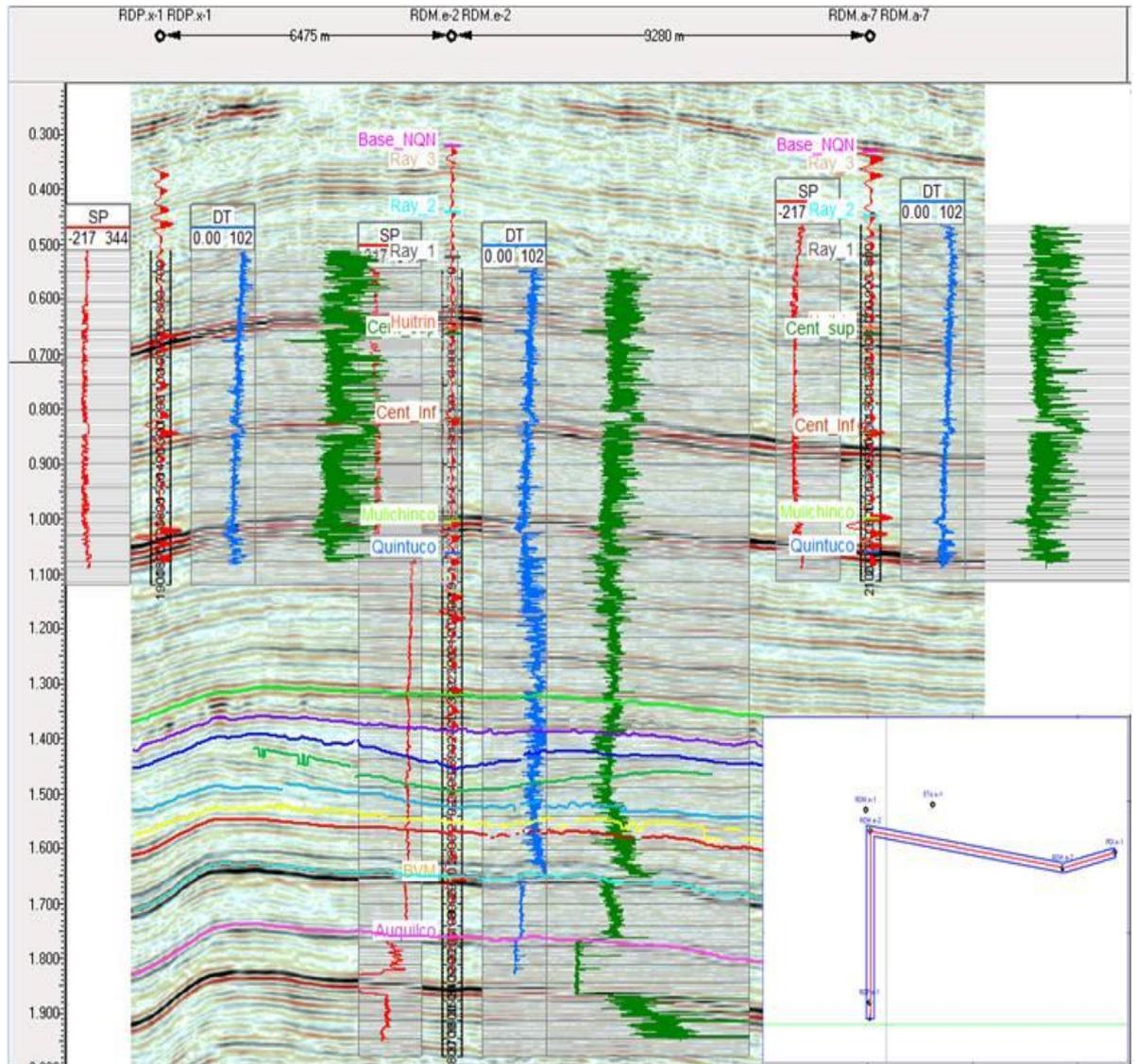


Figura N°26: Atado de registros de pozos a la sísmica

9. INTERPRETACIÓN SISMICA

Con el objetivo de lograr el análisis sismoestratigráfico y estructural de Rincón del Mangrullo se hizo el seguimiento de una serie de reflectores en el cubo sísmico para luego confeccionar mapas estructurales en tiempo y de amplitud sísmica de los mismos.

El seguimiento consiste en desplegar líneas sísmicas desde el mapa base y, mediante herramientas que brinda el software, marcar o *picar* valores positivos o negativos de las ondículas. Este procedimiento se realiza en varias líneas sísmicas en diferentes direcciones: Inlines (constituyen las líneas sísmicas adquiridas en el campo), Crosslines (perpendiculares a las primeras) y líneas arbitrarias (aquellas cuya dirección no corresponde a ninguno de los tipos ya mencionados). No es necesario hacer el *picado* en todas las líneas sísmicas sino que a criterio del intérprete se va saltando un determinado número de Inlines y Crosslines, obteniendo un grillado. El resto de las líneas son interpretadas a partir de lo que se conoce como *interpolación o autopicado*, el cual es realizado por el software guiándose por las líneas sísmicas picadas por el intérprete.

La interpolación da como resultado mapas en los que se identifican variaciones de tiempo o amplitud, las cuales son analizadas y descriptas para luego interpretarlas, es decir, intentar definir las causas geológicas que las producen.

9.1. Definición de horizontes guía

Durante el desarrollo se hizo el seguimiento de diez horizontes: Auquilco, BVM, SS10, SS20, SS35, SS40, SS50, Guía 1 y Quintuco (figura N°27).

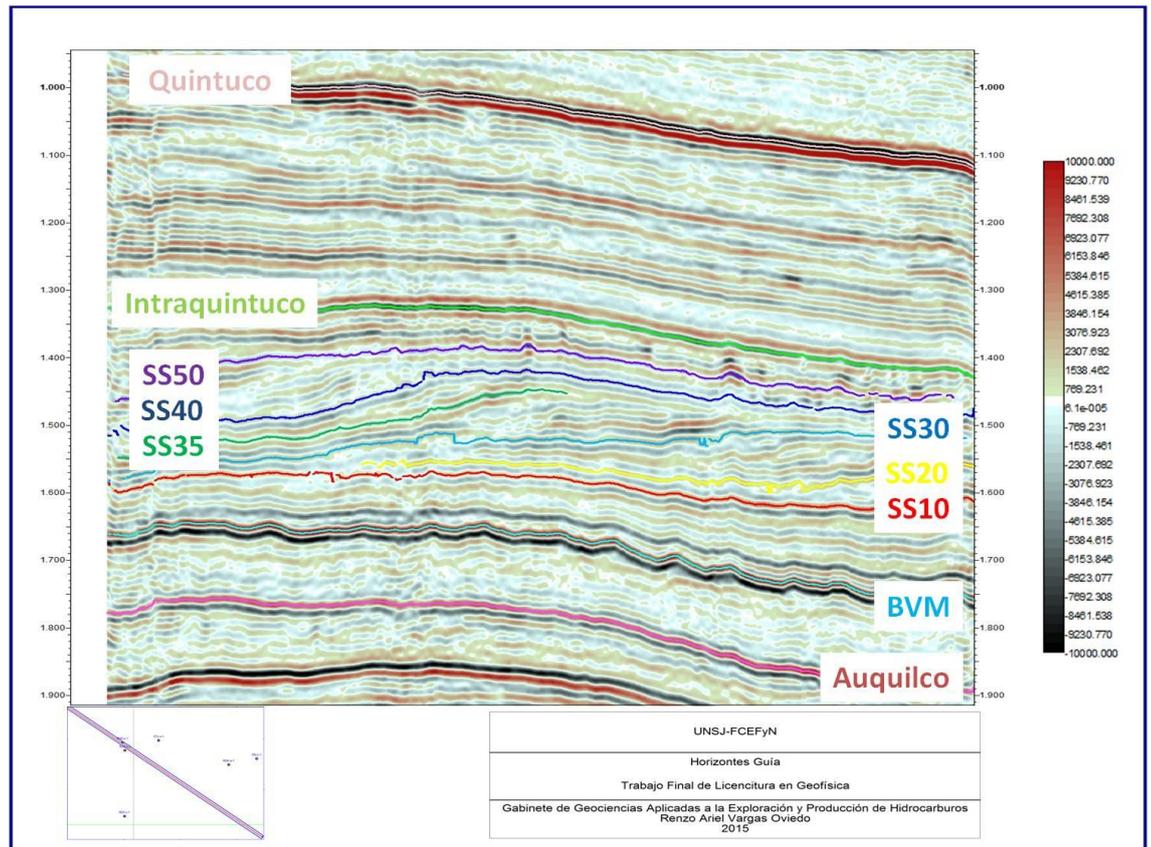


Figura N°27: Horizontes Guía

Los horizontes Auquilco, BVM, Guía 1 (desde ahora en más, Intraquintuco) y Quintuco, fueron los primeros en ser interpretados; debido a que se trata de reflectores fuertes, continuos y que abarcan la totalidad del cubo sísmico. Tomando como base estas características, se optó por hacer el picado cada 10 líneas sísmicas tanto en la dirección de las Inlines como de las Crosslines.

El resto de los reflectores interpretados, corresponden a sigmoides ubicados en la secuencia Vaca Muerta-Quintuco; el seguimiento se hizo inicialmente cada 10 líneas sísmicas pero debido a que se trata de horizontes débiles y de difícil continuación lateral, en algunas zonas se debió intensificar el picado tomando un intervalo de 5 Inlines y Crosslines.

9.2. Formación Auquilco

El horizonte más profundo interpretado en Rincón del Mangrullo es el tope de la Fm. Auquilco (figuraN°27). Se ubica a una profundidad que varía entre un tiempo mínimo de 1700 ms y máximo de 1900 ms, correspondiendo a un reflector de amplitudes positivas.

En líneas generales se observa una nariz estructural suave conformada por un anticlinal de eje buzante (sentido OSO-ENE y buzante hacia el ENE). El sector más elevado está localizado en la zona centro-oeste del cubo y el más profundo en el sureste, correspondiente al flanco sureste y más inclinado de la nariz estructural (figura N°28). El análisis de amplitud de este reflector muestra un patrón irregular (figura N°29).

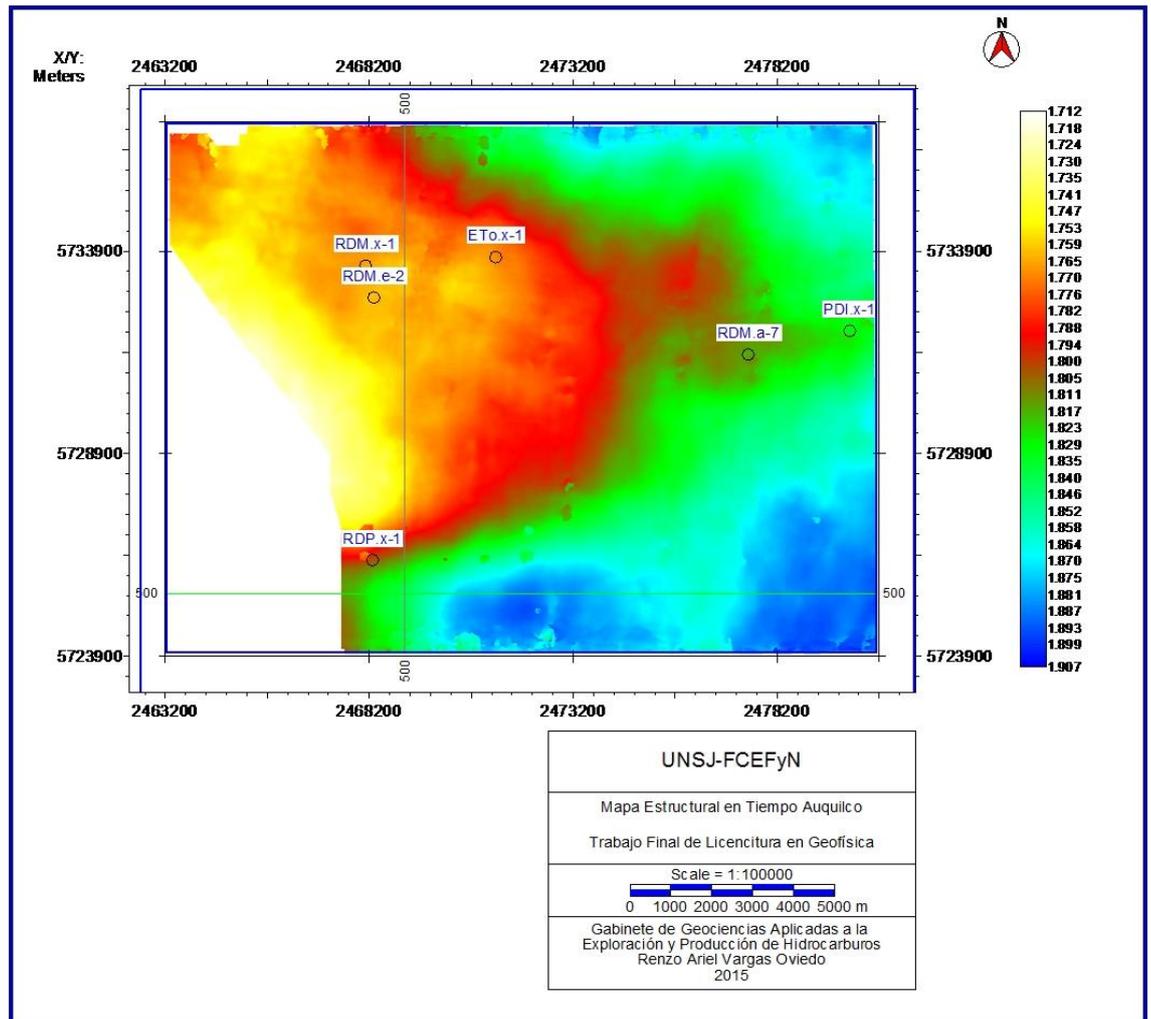


Figura N°28: Mapa estructural en tiempo del tope de la Fm. Auquilco

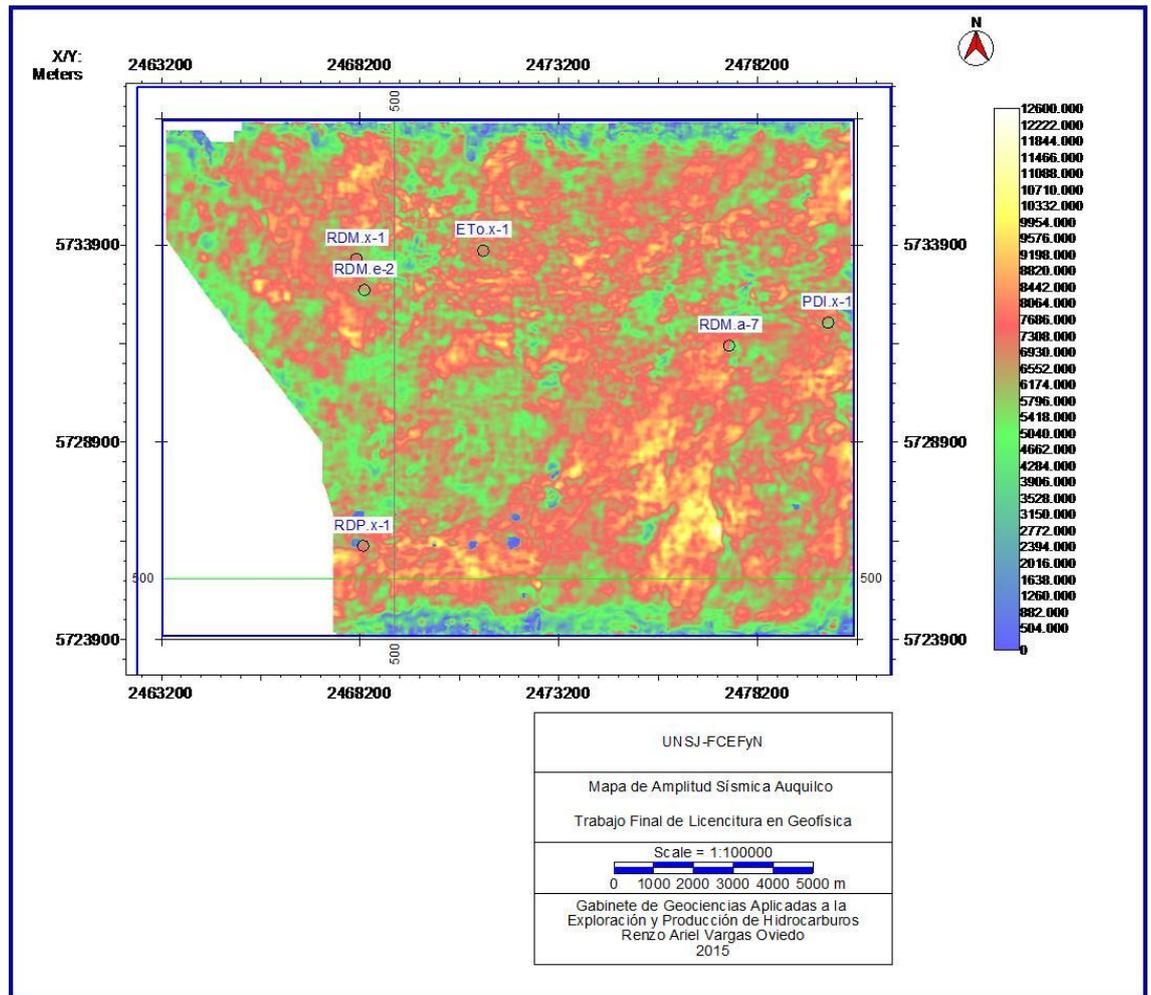


Figura N°29: Mapa de amplitud sísmica del tope de la Fm. Auquilco.

9.3 Formación Tordillo

El reflector BVM (Base de Vaca Muerta) representa el tope de la Fm. Tordillo y se encuentra en un rango de 1600 ms y 1760 ms. El seguimiento se hizo con las amplitudes positivas.

El mapa estructural en tiempo y la variación de amplitud se exponen en las figuras 30 y 31, respectivamente. El análisis estructural es semejante al tope de Auquilco: se observa una nariz estructural conformada por un anticlinal de eje buzante (sentido OSO-ENE y buzante hacia el ENE). Los menores tiempos se concentran en el centro-oeste del cubo, los mayores en los flancos sureste y noreste. En líneas generales se observa una tendencia de aumento de profundidad en sentido oeste-este.

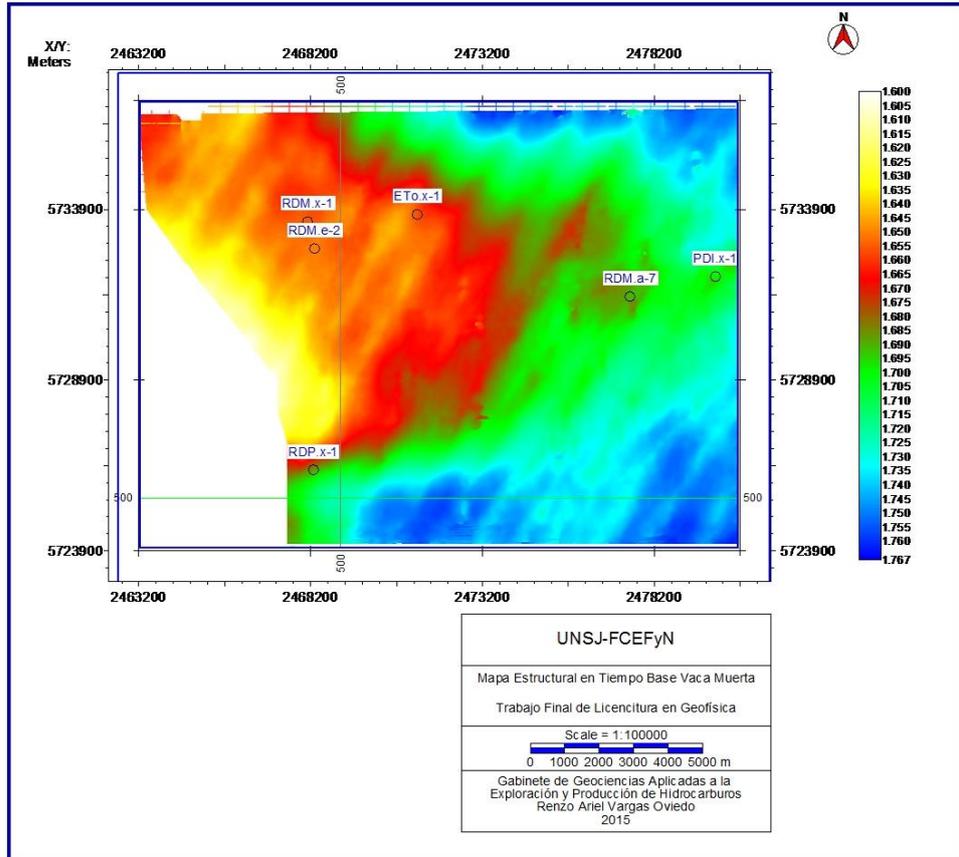


Figura N°30: Mapa estructural en tiempo de la base de Vaca Muerta

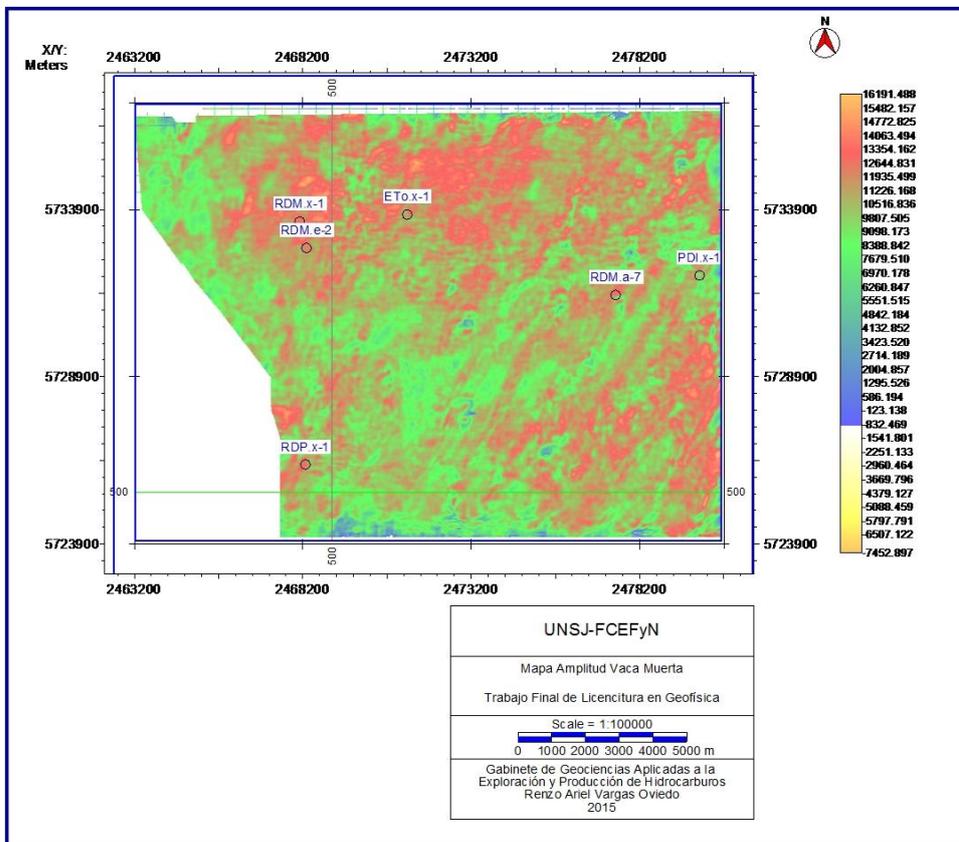


Figura N°31: Mapa de Amplitud de la Base de Vaca Muerta

Luego de la interpretación de Auquilco y BVM se obtuvo el mapa de espesor en tiempo de la Fm. Tordillo. En él, se identifica un aumento de espesor desde el noroeste hacia el sureste.

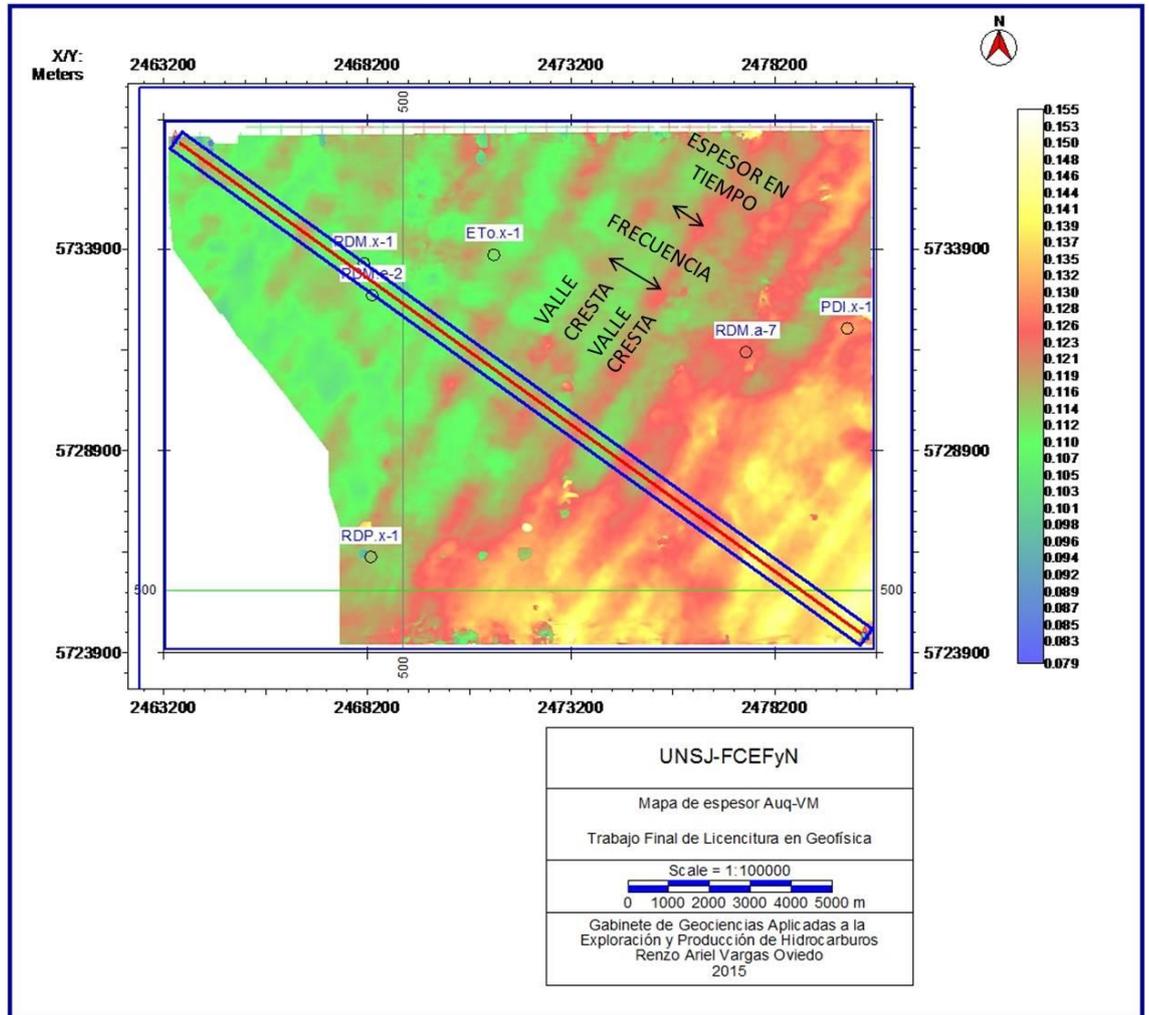


Figura N°32: Mapa de espesor de la Fm. Tordillo (Auq-BVM)

En los tres mapas previos, se observan lineamientos en dirección SSO-NNE. Estos consisten en una alternancia sucesiva entre valores altos y bajos de tiempo, que en una sección sísmica transversal se asocia a ondulaciones muy marcadas del reflector, tal como se muestra en la imagen N°33. Estas geofomas serán tratadas aparte en el siguiente punto.

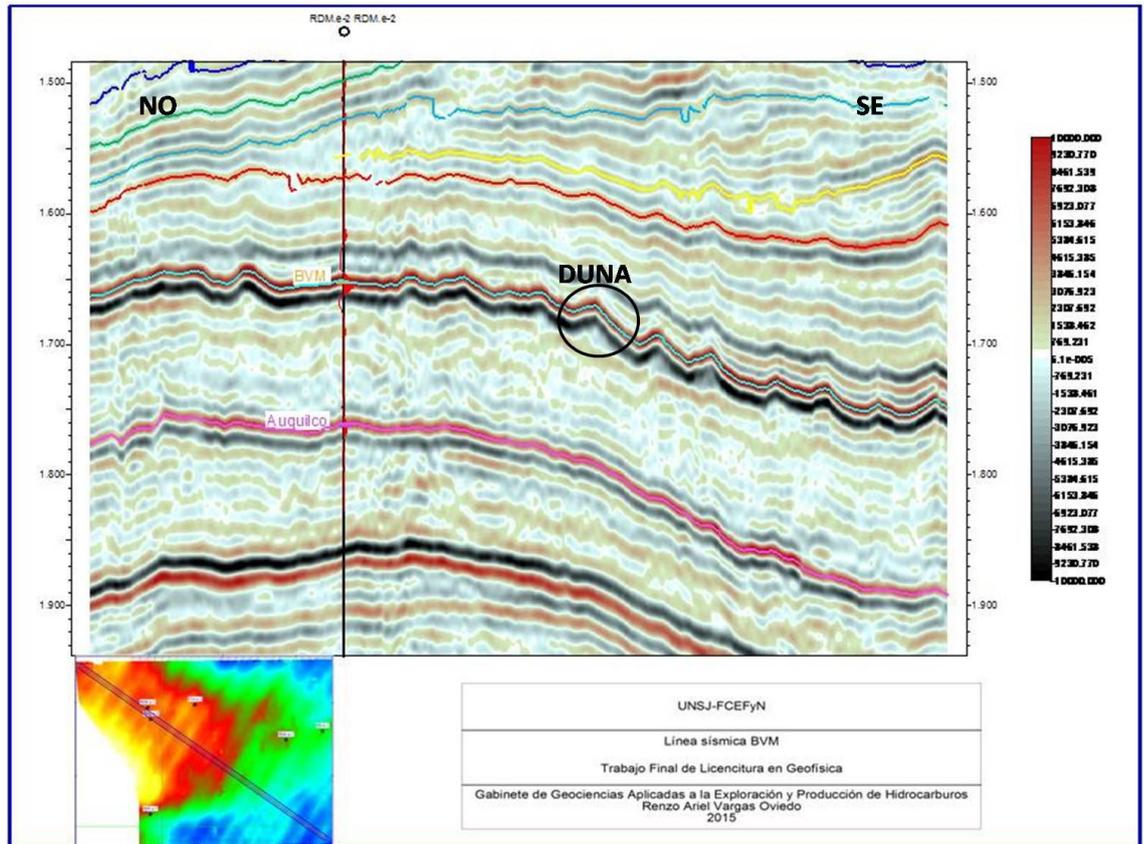


Figura N°33: Línea sísmica arbitraria que muestra un corte transversal los lineamientos observados en los mapas previos de la Fm. Tordillo.

9.3.1. Análisis de Megadunas del techo de FM. Tordillo

El origen eólico de los dos miembros superiores de la FM. Tordillo y lo descrito en Arregui (1993) y Cevallos (2005) permiten interpretar que los lineamientos SSO-NNE observados en el techo de Fm. Tordillo (figuras N°30, N°31 y N°32) corresponden a megadunas de areniscas, ya sean megadunas eólicas o producidas por retrabajo marino (figura N°33). Sin embargo, su origen se atribuye al segundo tipo, debido a la simetría de las dunas, sus dimensiones y su posible paralelismo a la costa de ese momento.

Para la caracterización de estas geoformas se midieron una serie de parámetros como la orientación, distancia entre crestas y espesor (estimado en base al tiempo sísmico). Las crestas son notoriamente paralelas y presentan una separación muy regular, y del análisis de las amplitudes se concluye que las posiciones crestales presentan en general mayores amplitudes que las interdunas.

El procedimiento para el análisis de las geoformas fue el siguiente: primero se determinó las frecuencias de las megadunas en el mapa y luego se estimó su

espesor en profundidad. En el caso de las frecuencias, estas se calculan midiendo las distancias de separación entre crestas sucesivas (figura N°32).

Por otro lado, para determinar el espesor en profundidad, se calcula la diferencia en tiempo entre la cresta y valle de una misma duna. Luego se obtiene una ley de velocidad que al multiplicarla por la diferencia de tiempo ya calculada, dé como resultado el espesor de las megadunas en metros. Este procedimiento se llevó a cabo con todas las megadunas identificadas en el cubo sísmico y luego se las promedió.

La ley de velocidad necesaria para el cálculo, se obtuvo a partir de los registros de pozo debido a que se disponía de la ubicación de los topes formacionales en metros y la profundidad en tiempo de los mismos a partir del registro acústico.

A continuación se detalla el cálculo de la ley de velocidad para la Fm. Tordillo:

Horizonte	Profundidad (m)	Tiempo (ms)
Auquilco	3159	1760
Base Vaca Muerta	2876	1650

$$\text{Ley de velocidad Fm. Tordillo (Auq-BVM)} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{3159\text{m} - 2876\text{m}}{1760\text{ms} - 1650\text{ms}} = 2,57 \frac{\text{m}}{\text{ms}}$$

$$\text{Espesor de megaduna (m)} = 2,57 \frac{\text{m}}{\text{ms}} \times (\text{Tiempo valle} - \text{Tiempo cresta}) \text{ ms}$$

Se subdividió al mapa en tres sectores y se calcularon la frecuencia y espesor promedio para cada uno de ellos:

- Sureste: Frecuencia = 1152 m; espesor = 22 m
- Centro: Frecuencia= 1623 m; espesor = 17 m
- Noroeste: Frecuencia = 865 m; espesor = 16 m

Como puede verse la mayor frecuencia se concentra en el centro del cubo pero los mayores espesores se localizan en el sector SE. Por otro lado, hacia el centro de cuenca, es decir hacia el NO, disminuye tanto la frecuencia como el espesor. Estas características también pueden notarse en una sección sísmica como la que muestra la figura N°35, donde se ha horizontalizado el tope de Auquilco.

A partir de los valores obtenidos para cada sector, se calculo una frecuencia promedio y un espesor promedio para la totalidad del cubo sísmico de 1214 m y 18 m respectivamente.

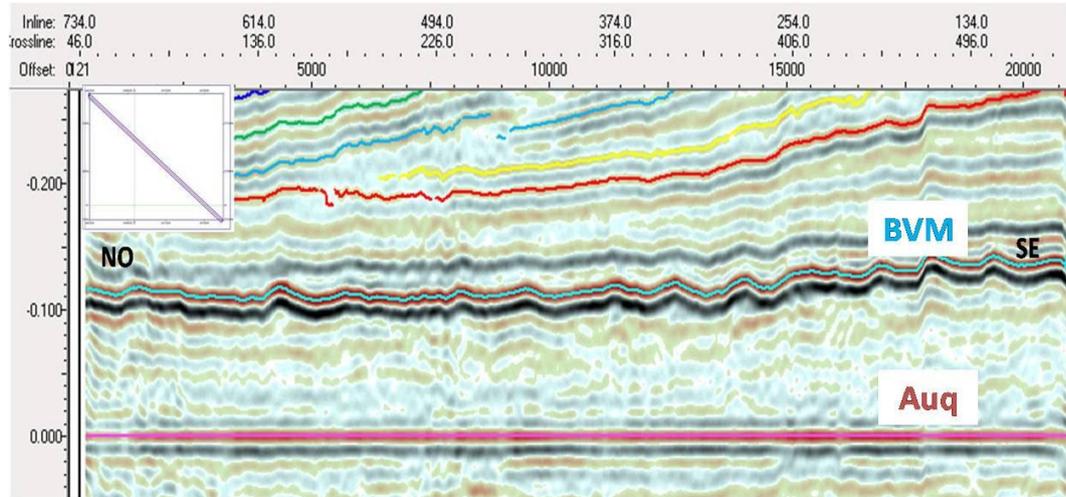


Figura N°35: Línea sísmica Auq-BVM

9.4 Secuencia Vaca Muerta-Quintuco

La secuencia Vaca Muerta-Quintuco se extiende desde la Base de la Fm. Vaca Muerta, hasta el tope de la Fm. Quintuco (figura N°27). El pase entre ambas formaciones es transicional, razón por la cual se los trabaja como una sola secuencia.

9.4.1 Análisis de sigmoides de la Fm. Vaca Muerta

Dentro de la secuencia se observan reflectores oblicuos a los reflectores que son más próximos a una superficie paleohorizontal. Esta oblicuidad se ve claramente cuando se remueve la estructura aplanando la sísmica a algún horizonte guía (figura N°36).

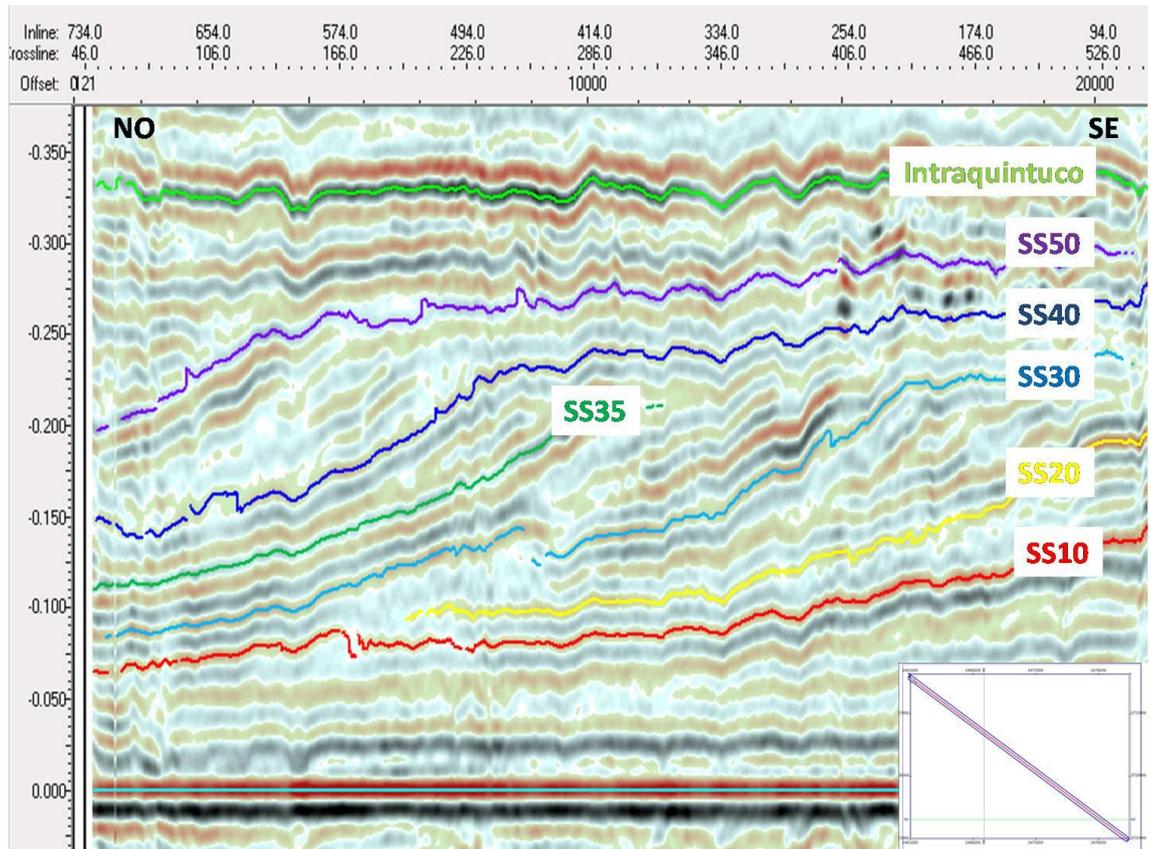


Figura N°36: Ubicación de los reflectores sigmoides dentro de la secuencia Vaca Muerta-Quintuco al aplanar la sísmica al horizonte BVM.

Si bien no se hizo una división estricta de sismosecuencias, el conjunto en su totalidad se corresponderían con las secuencias de Mitchum y Uliana (1982, 1987) y Pángaro *et al.* (2005) (ver sección N°5: Sismoestratigrafía local. Antecedentes). La SS10 corresponde a un primer grupo (secuencias A-D); SS20, SS30, SS35, SS40 y SS50 se asignan a un segundo grupo (secuencias E-G); y finalmente Intraquintuco se asocia al tercero (secuencias H-M).

A continuación se presentan una serie de mapas estructurales obtenidos a partir de la interpretación de los sigmoides. En ellos se observa una nariz estructural suave conformada por un anticlinal de eje buzante (sentido OSO-ENE y buzante hacia el ENE), es decir, se reconoce la misma estructura ya descrita a partir del tope de la Fm. Auquilco y del tope de la Fm. Tordillo, con la diferencia de que ahora la estructura se altera levemente porque los sigmoides son superficies reflectivas inclinadas.

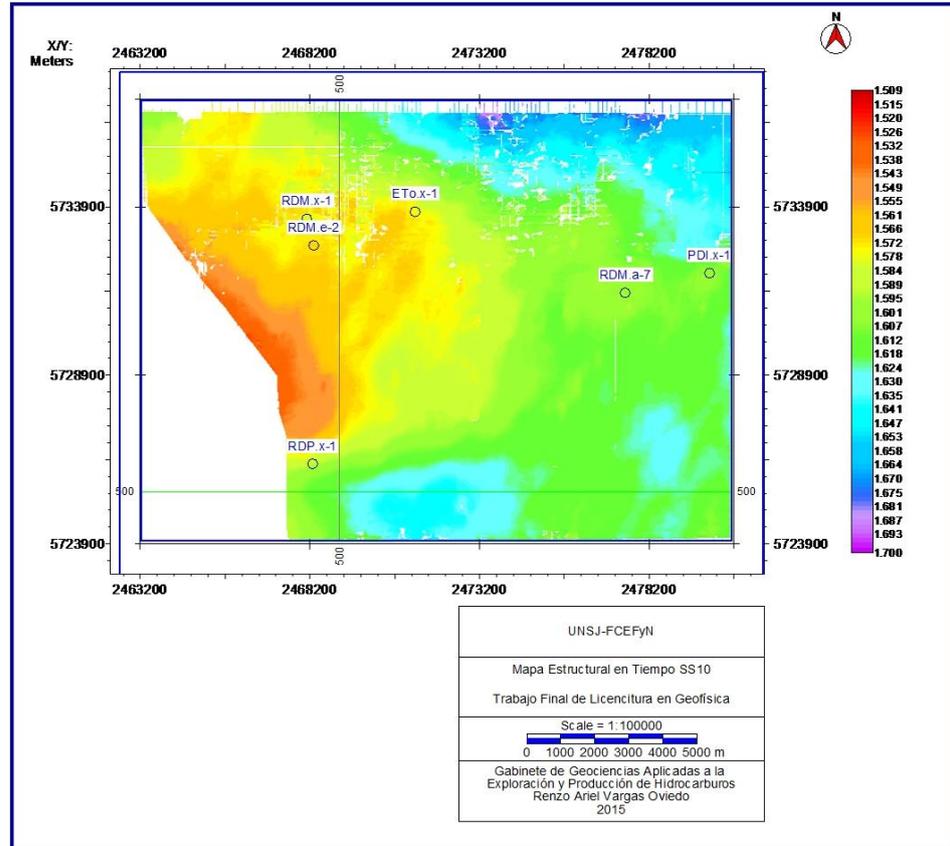


Figura N°37: Mapa Estructural en Tiempo de SS10

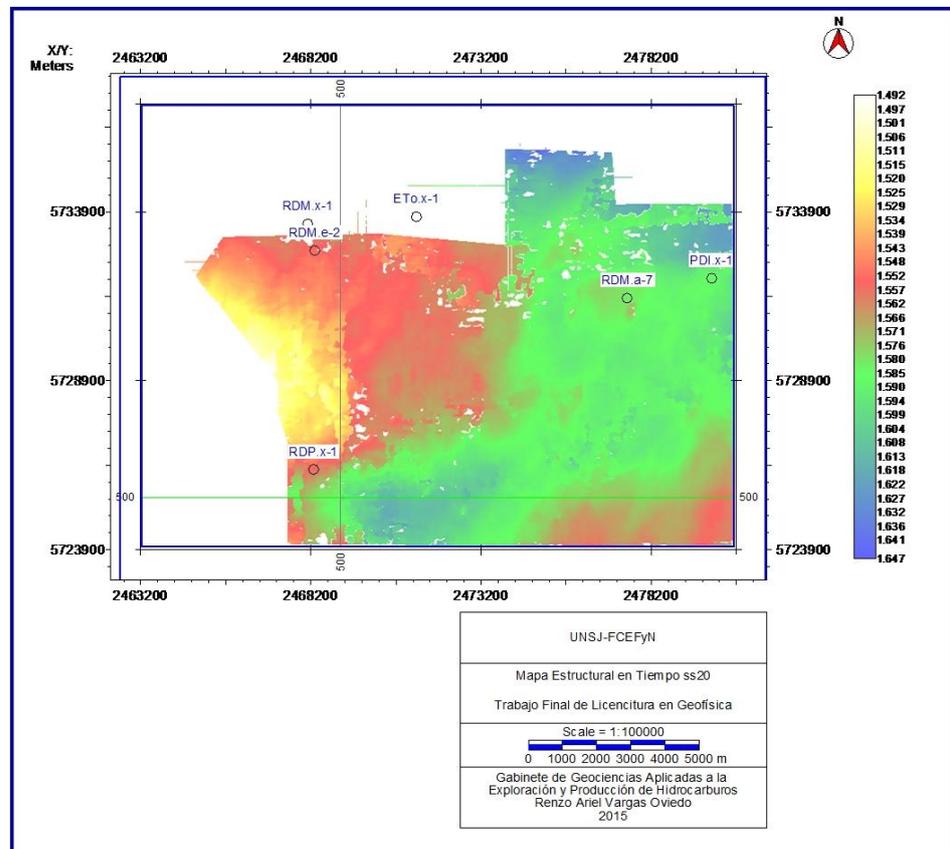


Figura N°38: Mapa Estructural en Tiempo de SS20

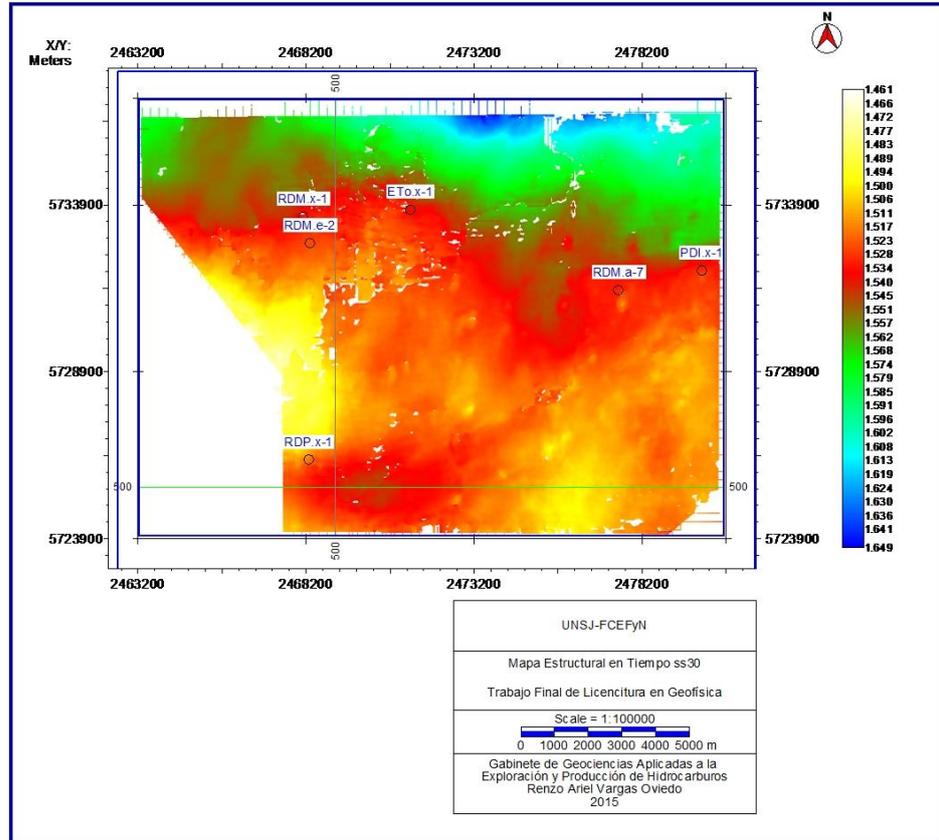


Figura Nº39: Mapa Estructural en Tiempo de SS30

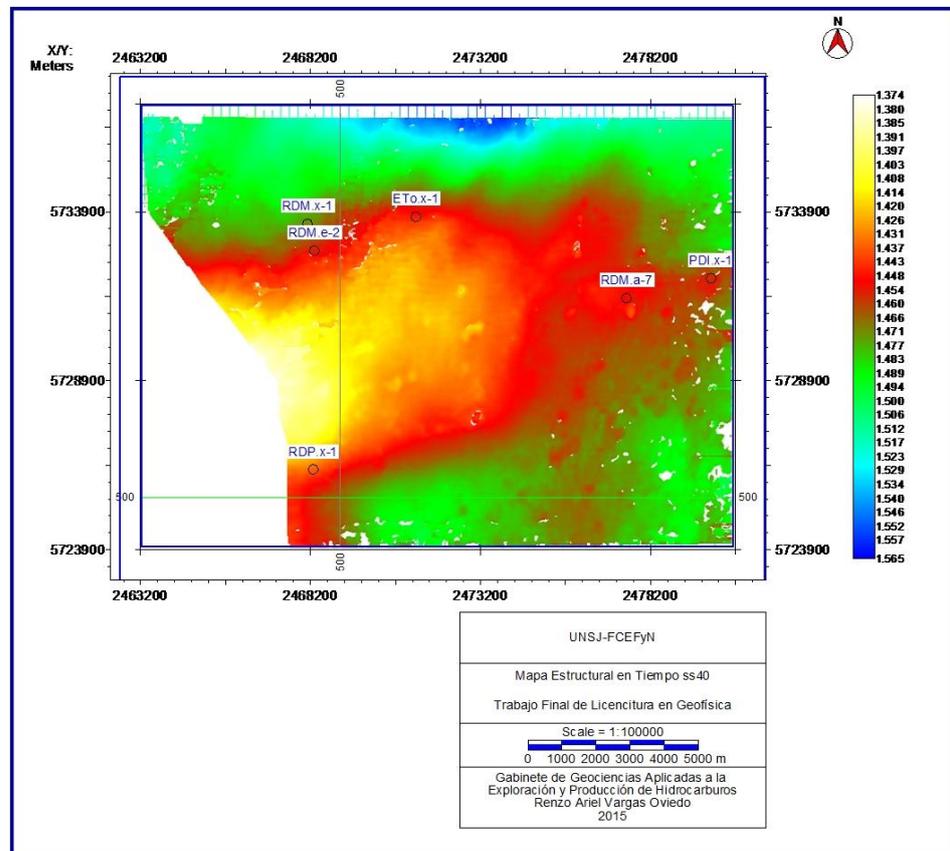


Figura Nº40: Mapa Estructural en Tiempo de SS40

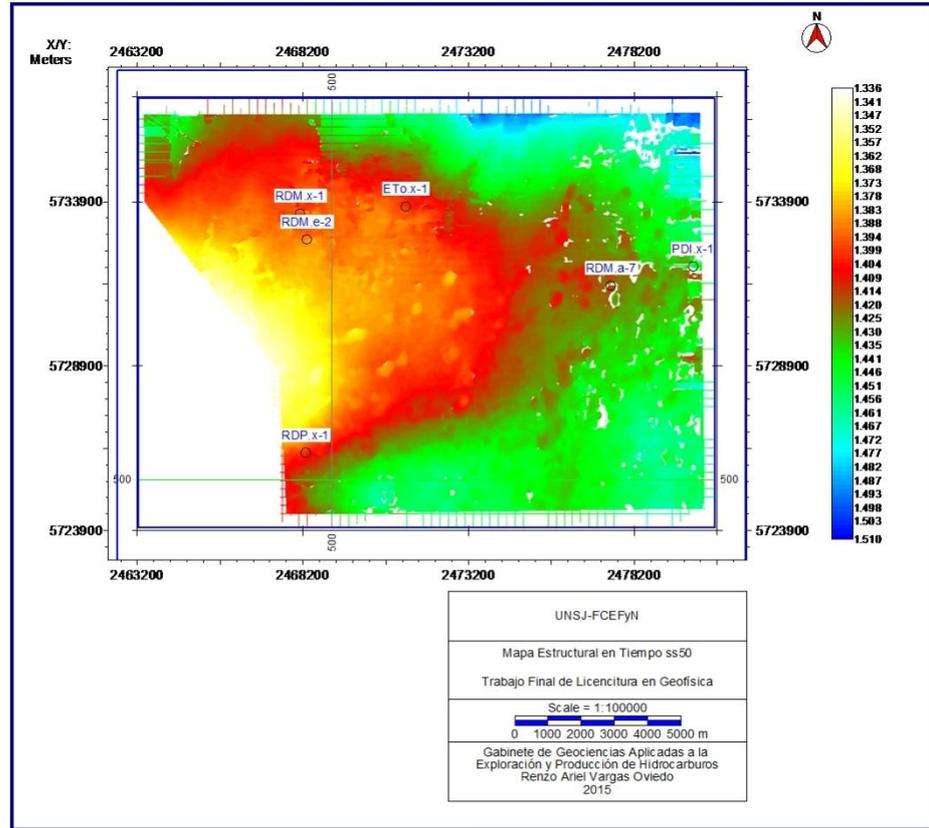


Figura N°41: Mapa Estructural en Tiempo de SS50

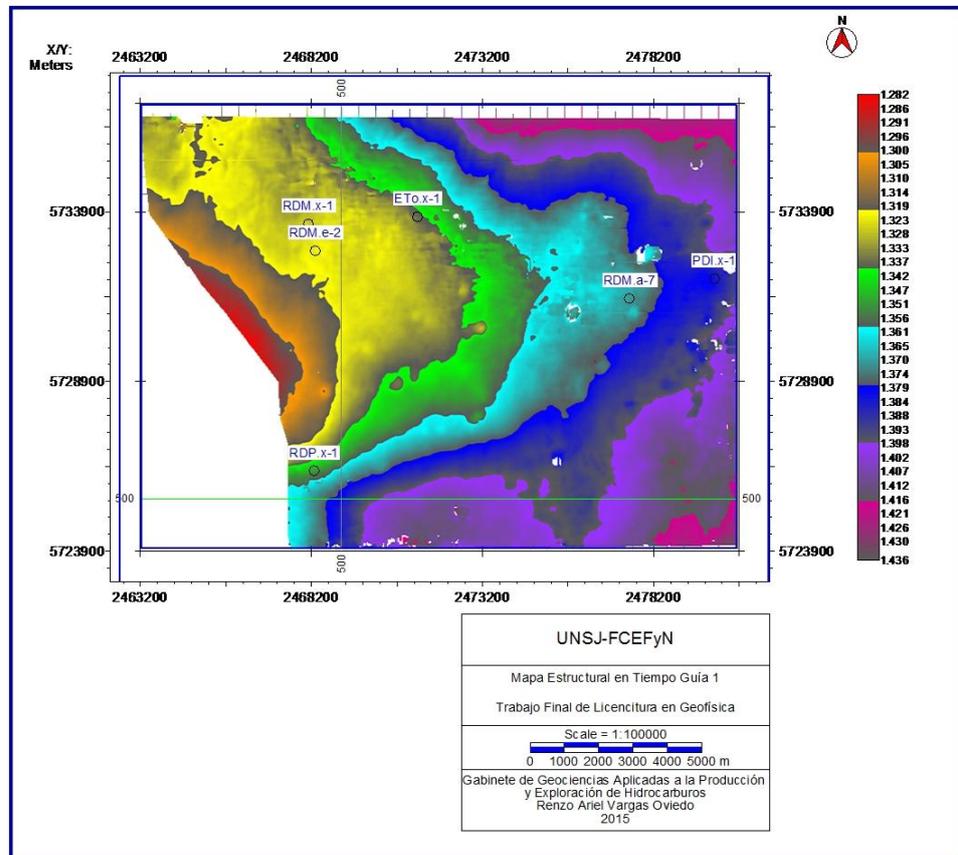


Figura N°42: Mapa Estructural en Tiempo de Intraquintuco

El siguiente paso llevado a cabo durante el análisis de sigmoides, fue obtener mapas de espesor entre distintos horizontes con el fin de identificar cambios que pudieran atribuirse a los quiebres de pendientes de los reflectores.

El mapa de espesor en tiempo entre SS10 y SS30 se muestra en la figura N°43. Siguiendo la clasificación de Pángaro *et al.* (2005), el mapa indica la variación de espesor entre un horizonte del grupo de secuencias A-D y otro del conjunto E-G. Del análisis se observa que hasta los 6,1 km desde el SE, el espesor se mantiene constante, pero luego se identifica una marcada disminución del mismo debido a que se produce el quiebre de plataforma de SS30. Los valores siguen disminuyendo hacia el NO produciéndose otro salto importante a los 9,2 km que es donde cambia de inclinación el reflector SS30 representando el paso del talud hacia la cuenca.

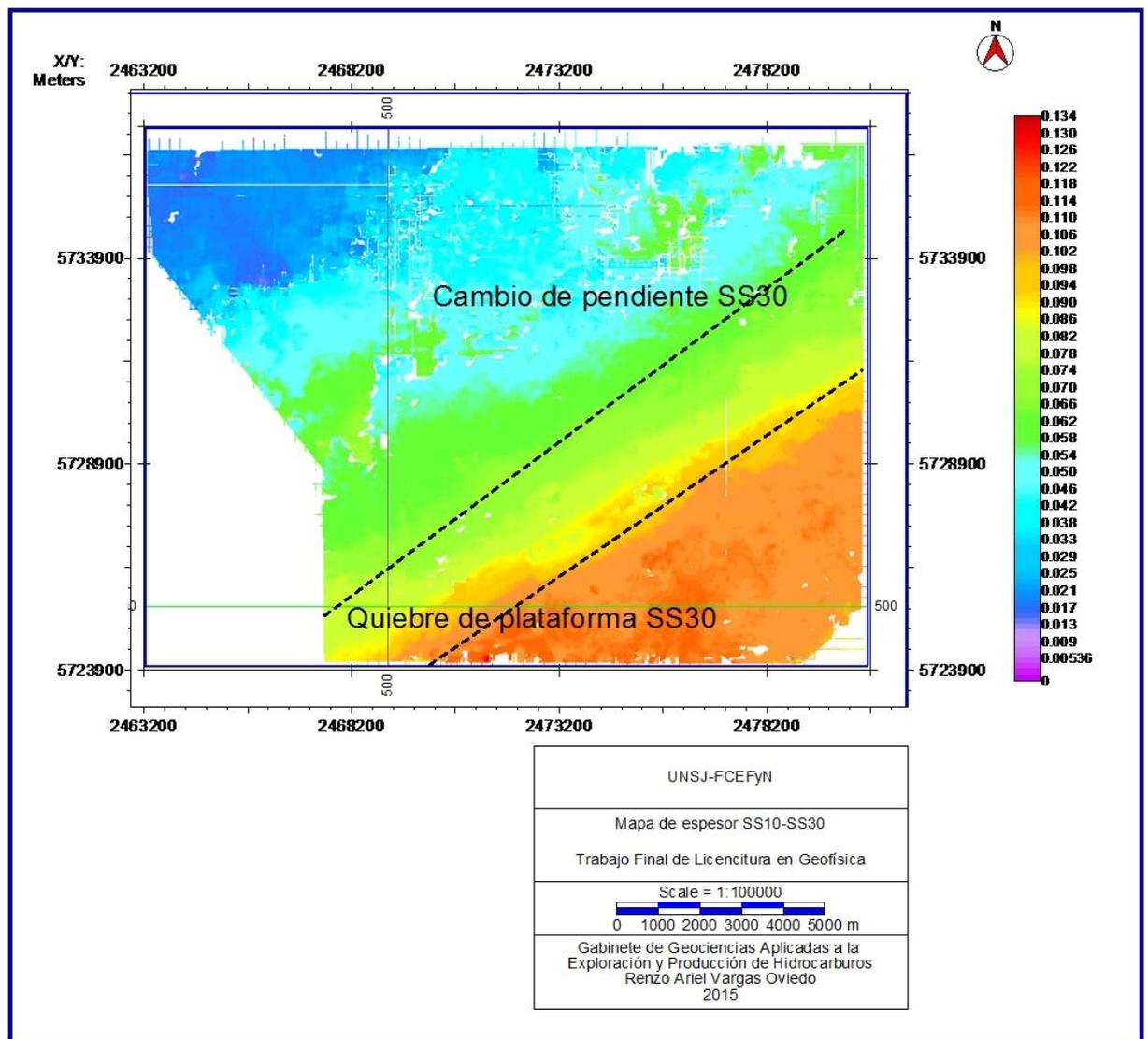


Figura N°43: Mapa de espesor en tiempo S10-SS30

En la siguiente sección sísmica, desplegada a partir de la línea arbitraria NO-SE que se observa en el mapa, se indican las variaciones del reflector SS30 asociados a los cambios de espesor ya mencionados.

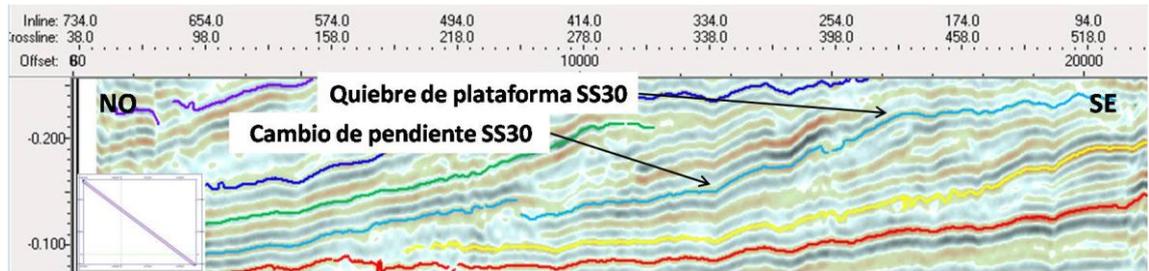


Figura N°44: Línea sísmica que muestra las variaciones de espesor entre SS10 y SS30

El siguiente análisis de espesor en tiempo resulta de los horizontes SS20 y SS30. En ambos reflectores ambos se reconocen parte de sus plataformas, talud y cuenca, es decir, corresponden al conjunto de secuencias E-G. En el mapa de espesor en tiempo se observa el primer cambio importante de valores a los 1,8 km desde el SE, donde el espesor comienza a aumentar continuamente hasta 6,1 km que vuelve a decrecer hacia el centro de cuenca. La interpretación de estos valores es la siguiente: Las plataformas de ambas secuencias tienden a ser paralelas hasta 1,8 km que es donde se ubica el quiebre de pendiente del reflector más profundo. Desde ese punto se produce un aumento de espesor porque la zona de plataforma de SS30 diverge del talud de SS20, sin embargo, a los 6,1 km se encuentra el quiebre de pendiente del segundo horizonte que da como resultado una disminución de los valores y un espesor en tiempo estable hasta los 9,2 km donde los sigmoides comienzan a horizontalizarse para dar lugar a la zona de cuenca (figura N°45 y N°46).

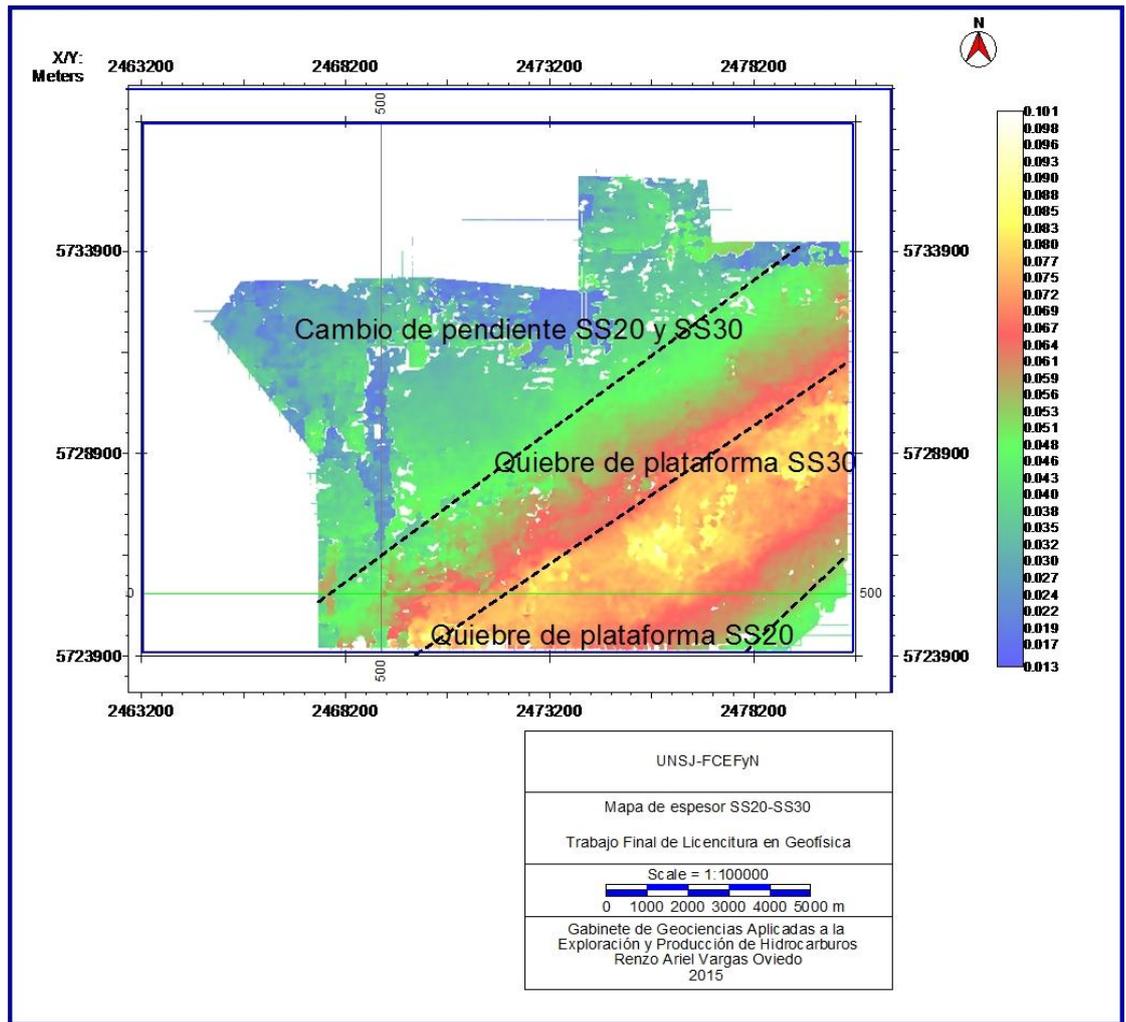


Figura N°45 Mapa de espesor en tiempo SS20-SS30

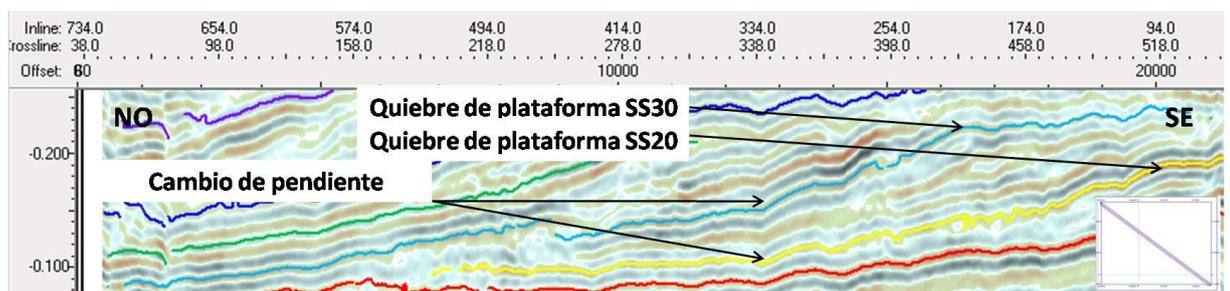


Figura N°46: Línea sísmica que muestra las variaciones de espesor entre SS20 y SS30

El espesor en tiempo SS30 y SS40, también involucra sigmoides pertenecientes a la secuencia E-G de la clasificación de Pángaro *et al.* (2005), por lo que presenta características similares al de SS20 y SS30. En este caso el quiebre del reflector más profundo está ubicado a 6,1 km desde la esquina SE y el del más superficial a 13,6 km (figura N°47 y N°48).

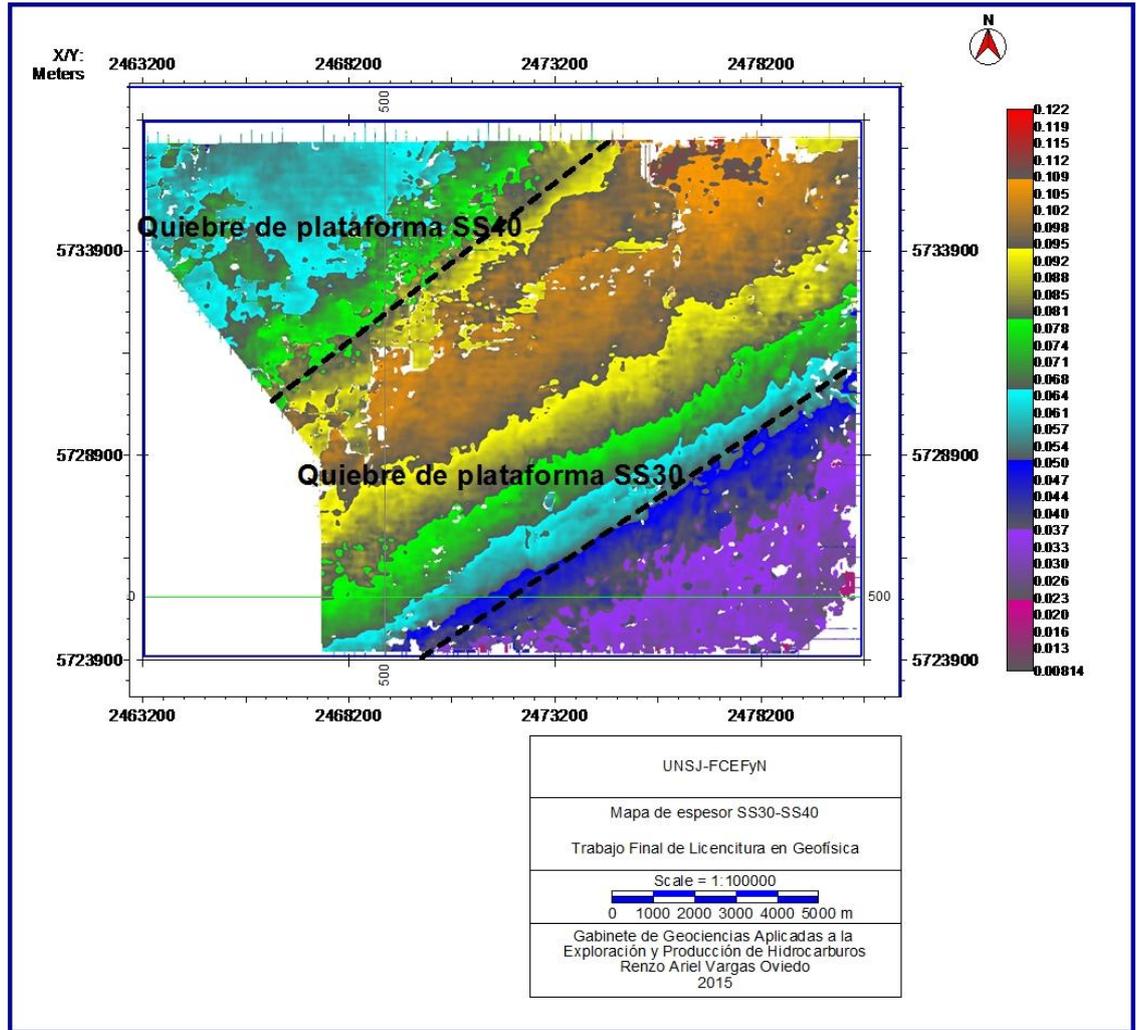


Figura N°47: Mapa de espesor en tiempo SS30-SS40

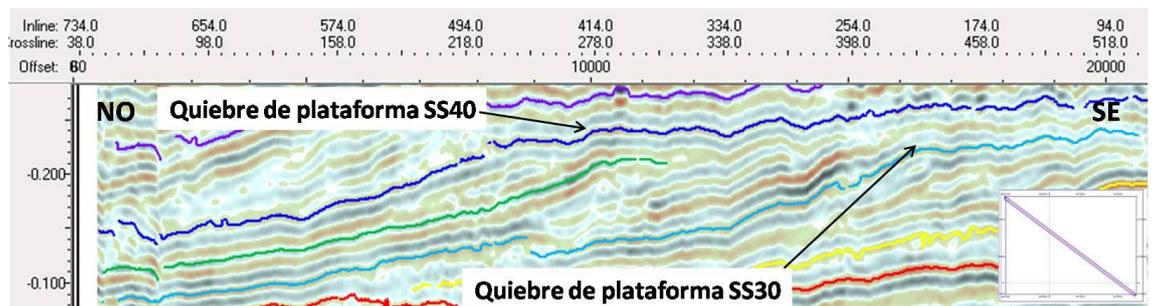


Figura N°48: Línea sísmica que muestra las variaciones de espesor entre SS30 y SS40

En el siguiente caso, entre SS40 y SS50, se observa un espesor constante hasta los 13,6 km. Luego, los valores aumentan hasta los 16,5 km donde comienzan a disminuir. Esto se interpreta como una primer zona, desde el SE hacia el NO, correspondiente a las plataformas paralelas de las dos secuencias; y un segundo

sector que comienza desde el quiebre de pendiente de SS40 y llega hasta el quiebre de SS50 a partir del cual el espesor disminuye nuevamente (figuras N°49 y N°50).

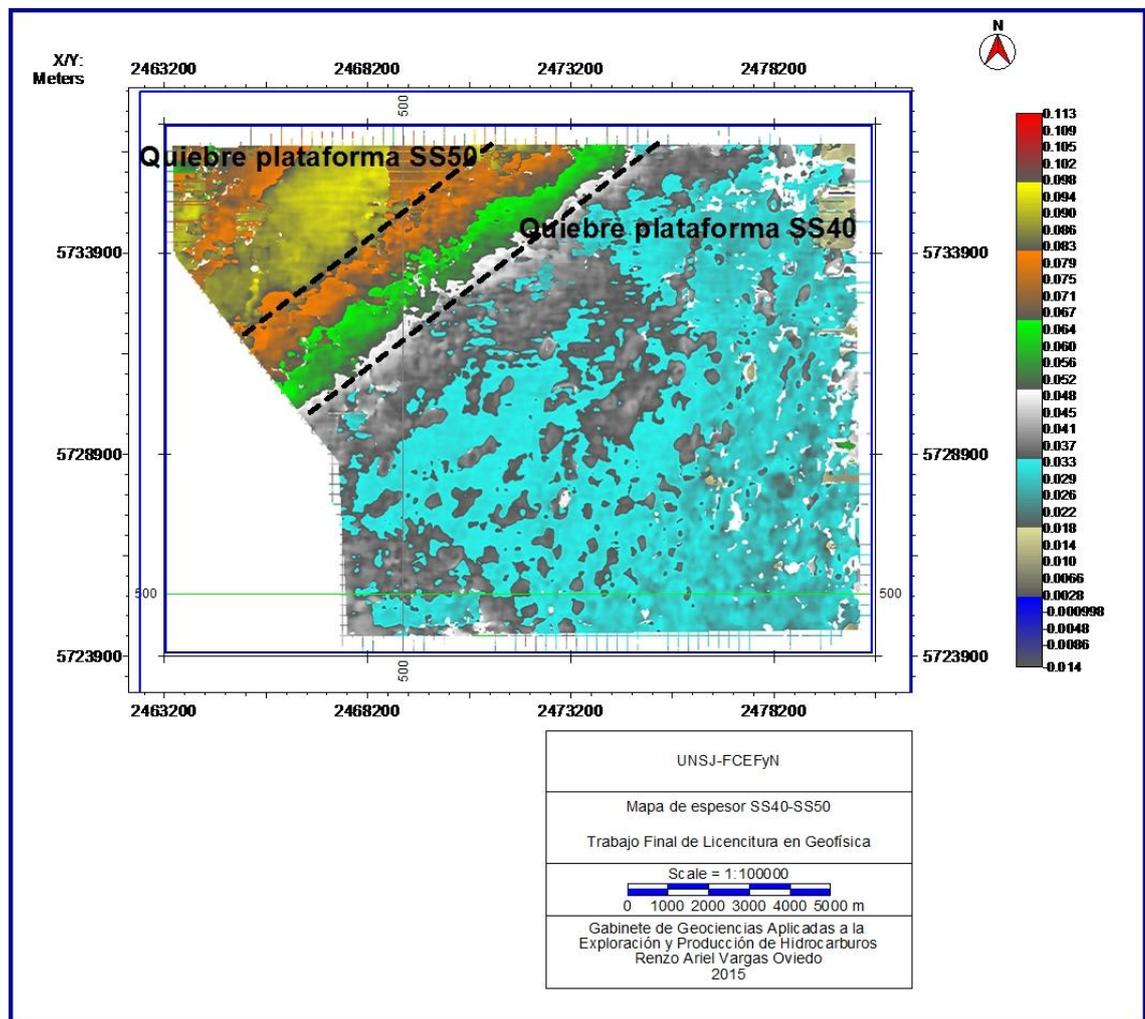


Figura N°49: Mapa espesor en tiempo SS40-SS50

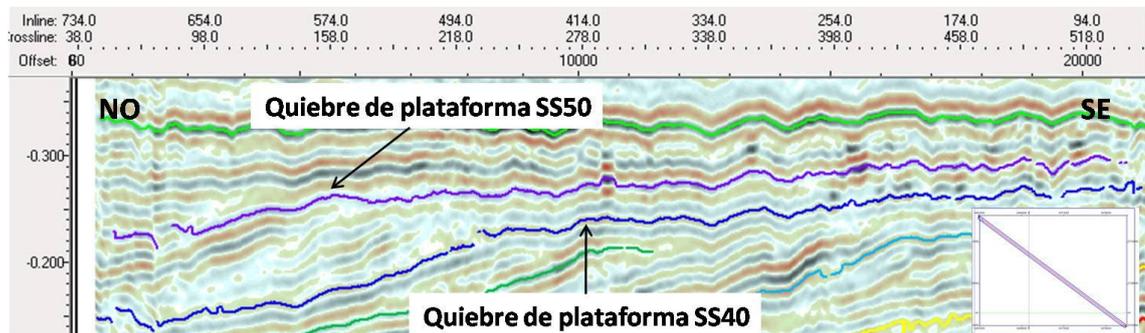


Figura N°50: Línea sísmica que muestra las variaciones de espesor entre SS40 y SS50

Finalmente, un mapa de espesor en tiempo entre SS50 e Intraquintuco se muestra en la figura N°51. En este caso, el espesor aumenta desde el SE hacia la zona de cuenca en forma continua, identificándose un aumento mayor a los 16,5km

el cual se atribuye al quiebre de pendiente de SS50. En la línea sísmica de dirección NO-SE (figura N°52) se ve claramente la variación del espesor en tiempo .

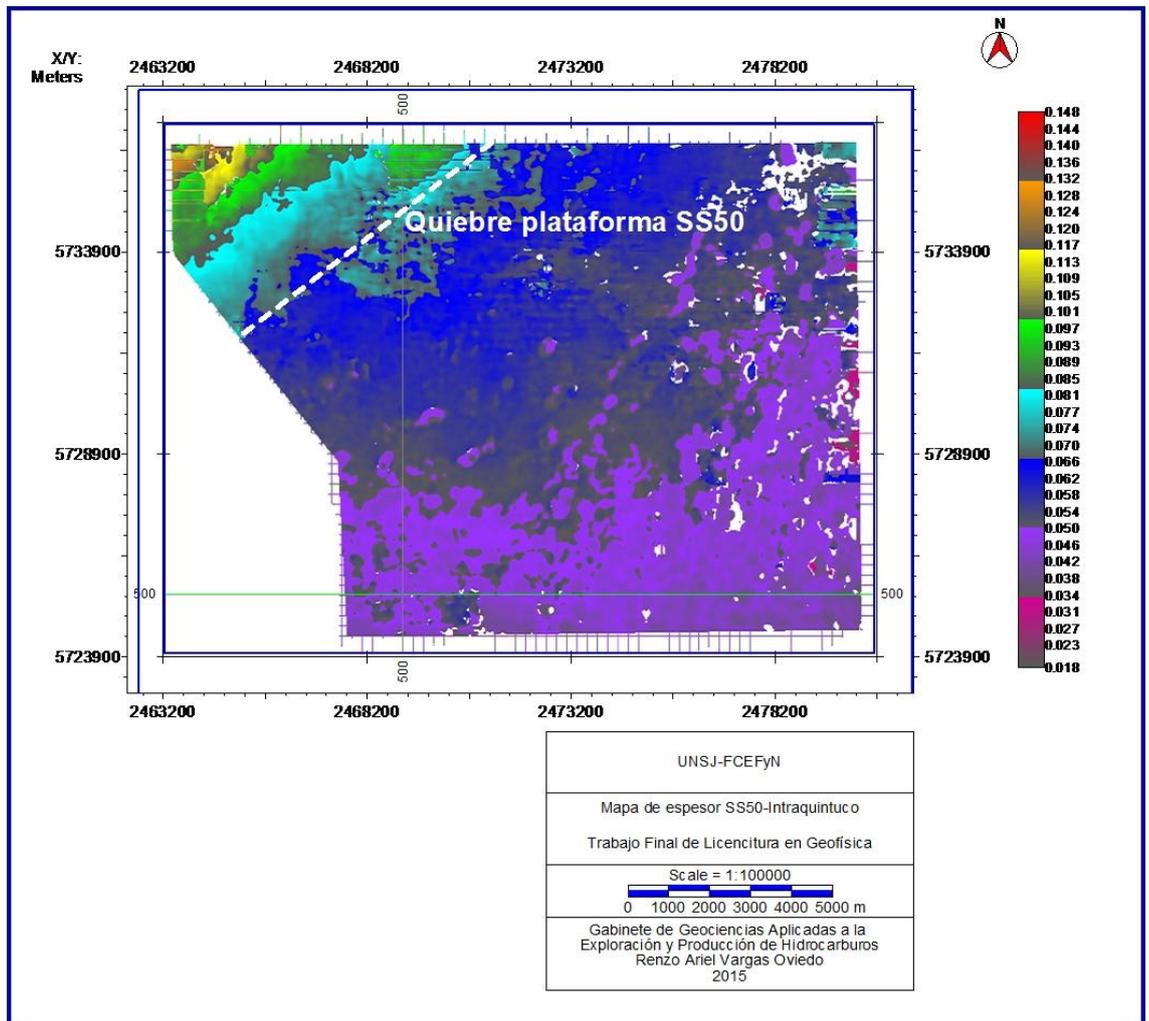


Figura N°51: Mapa espesor en tiempo SS50-Intraquintuco

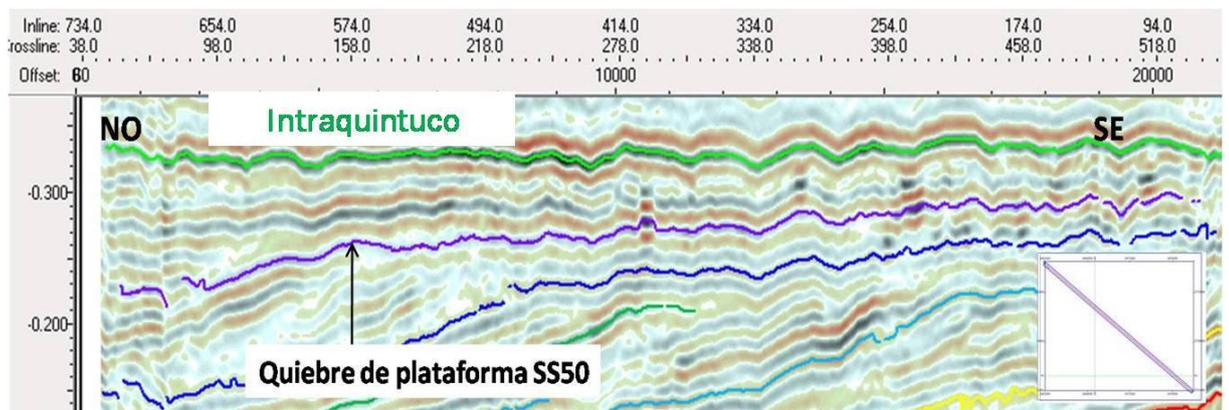


Figura N°52: Línea sísmica que muestra las variaciones de espesor entre SS50 e Intraquintuco

Mediante el análisis conjunto de los mapas de espesor en tiempo ya descritos e identificando los quiebres de pendiente en cada uno de ellos, queda evidenciada la

migración de la línea de costa desde el SE hacia el NO indicando una progradación en esa dirección (figura N°53).

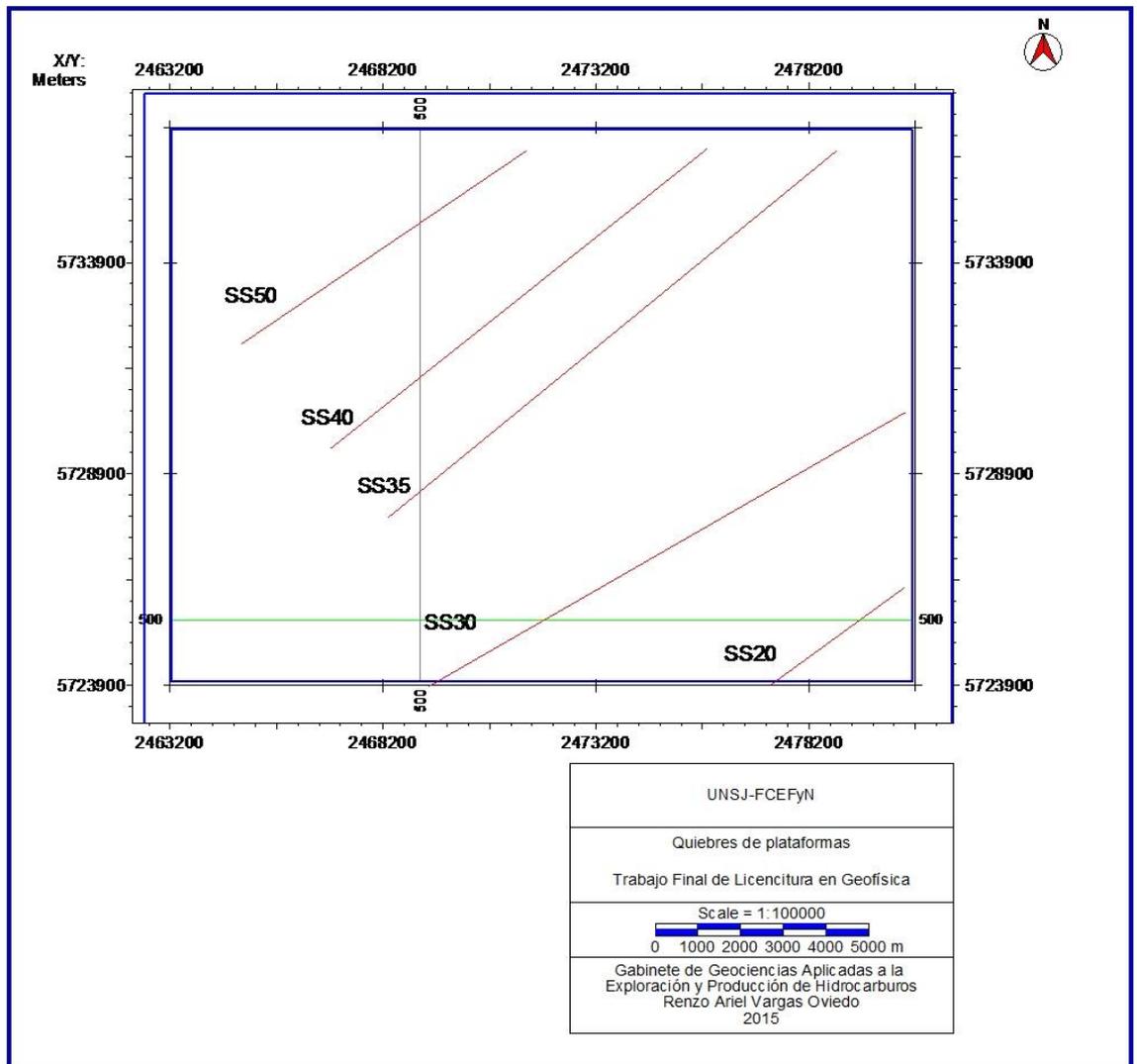


Figura N°53: Mapa en el que se observan los quiebres de plataformas correspondientes a los sigmoides interpretados.

9.4.2 Análisis de cuerpos carbonáticos de la Fm. Quintuco.

En algunos de los mapas en tiempo mostrados en la sección previa se distinguen rasgos subcirculares con diámetros entre 100 y 900 m, que en ocasiones se presentan alineados formando anomalías más extensas y elípticas que pueden superar el kilómetro. Se identifican como abultamientos en los horizontes interpretados y cambios notables en la amplitud sísmica (figura N°56). Esto se aprecia principalmente en los mapas estructurales correspondientes a SS40 y a SS50 (figuras N°40 y N°41) y en los de espesor en los que intervienen dichos horizontes (figuras N°47, N°49 y N°51).

A continuación se hará uso de los mapas ya mencionados y de mapas de amplitud obtenidos a partir de los horizontes SS40, SS50 e Intraquintuco para describir y caracterizar las geoformas:

Tanto en el mapa de amplitud sísmica del sigmoide SS40 (figura N°54) como en el de tiempo (figura N°40), los abultamientos se disponen en fajas sub-paralelas a la línea de costa con un azimut de 230°. Estas fajas o lineamientos llegan hasta una distancia de 7000 m desde la esquina sureste del cubo sísmico y presentan un diámetro promedio de 430 m.

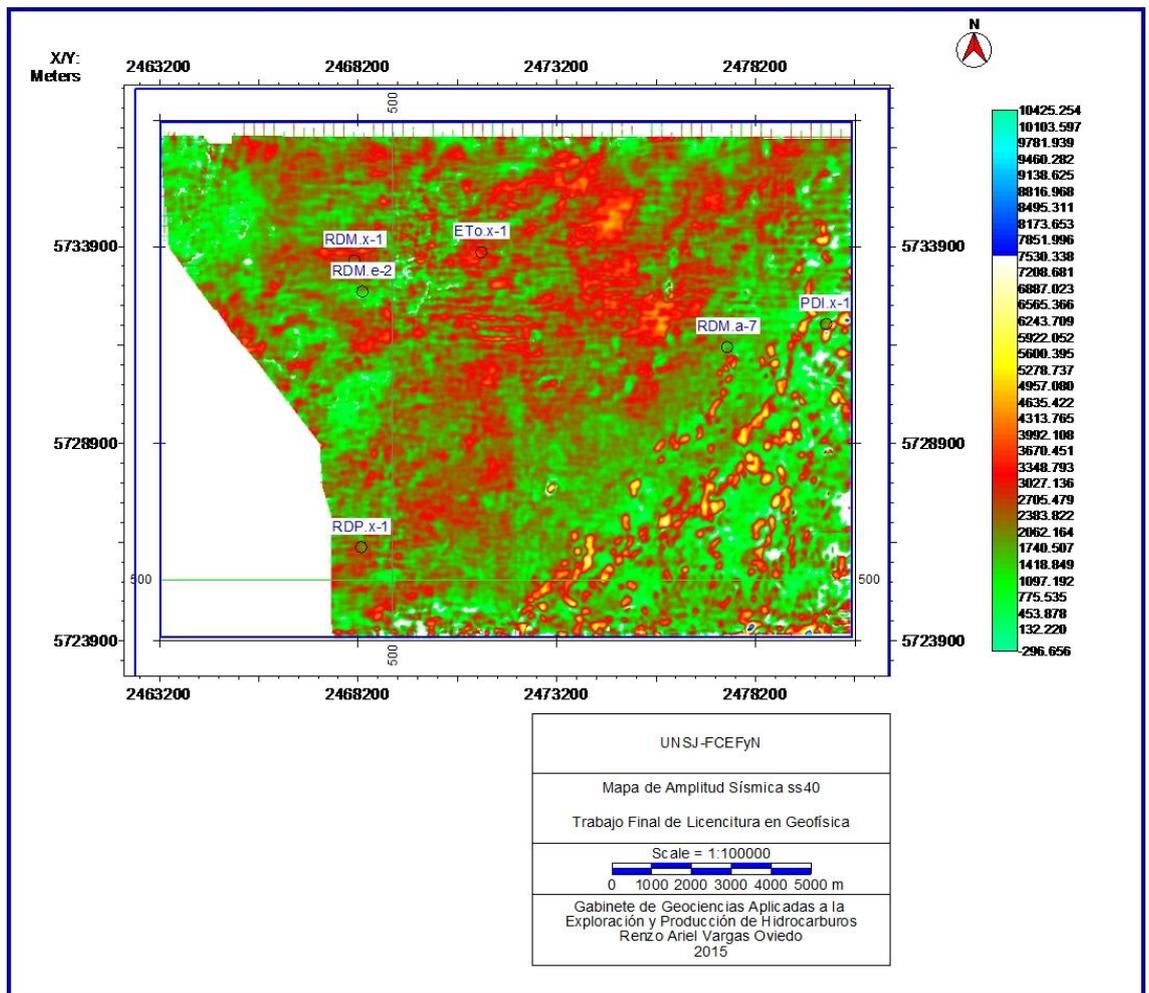


Figura N°54: Mapa de amplitud sísmica SS40

El incremento de la amplitud y el levantamiento del reflector debido a los abultamientos quedan evidenciados en la sección sísmica de la imagen N°55.

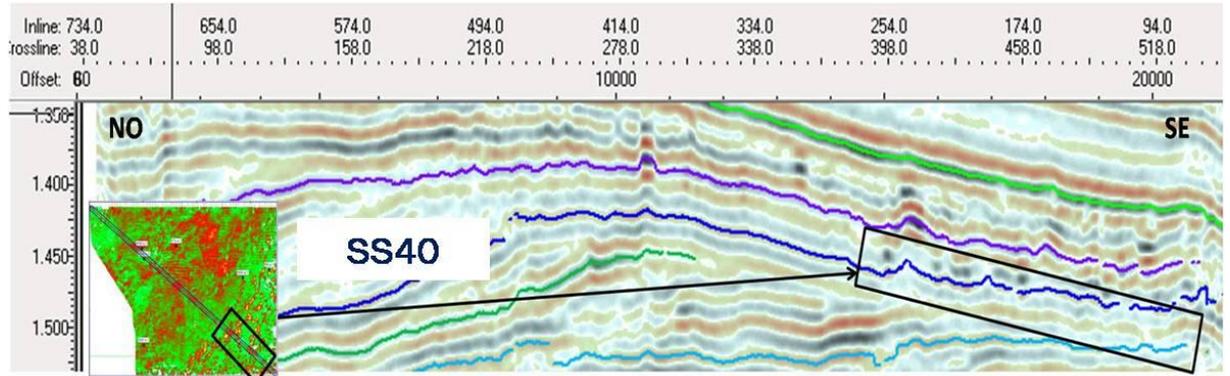


Figura N°55: Sección sísmica que muestra la alteración del reflector frente a los cuerpos carbonaticos de plataforma.

En el caso de SS50 las fajas o lineamientos se extienden hasta 10,5 km y el diámetro promedio es de 900 m (figuras N°41, N°56 y N°57).

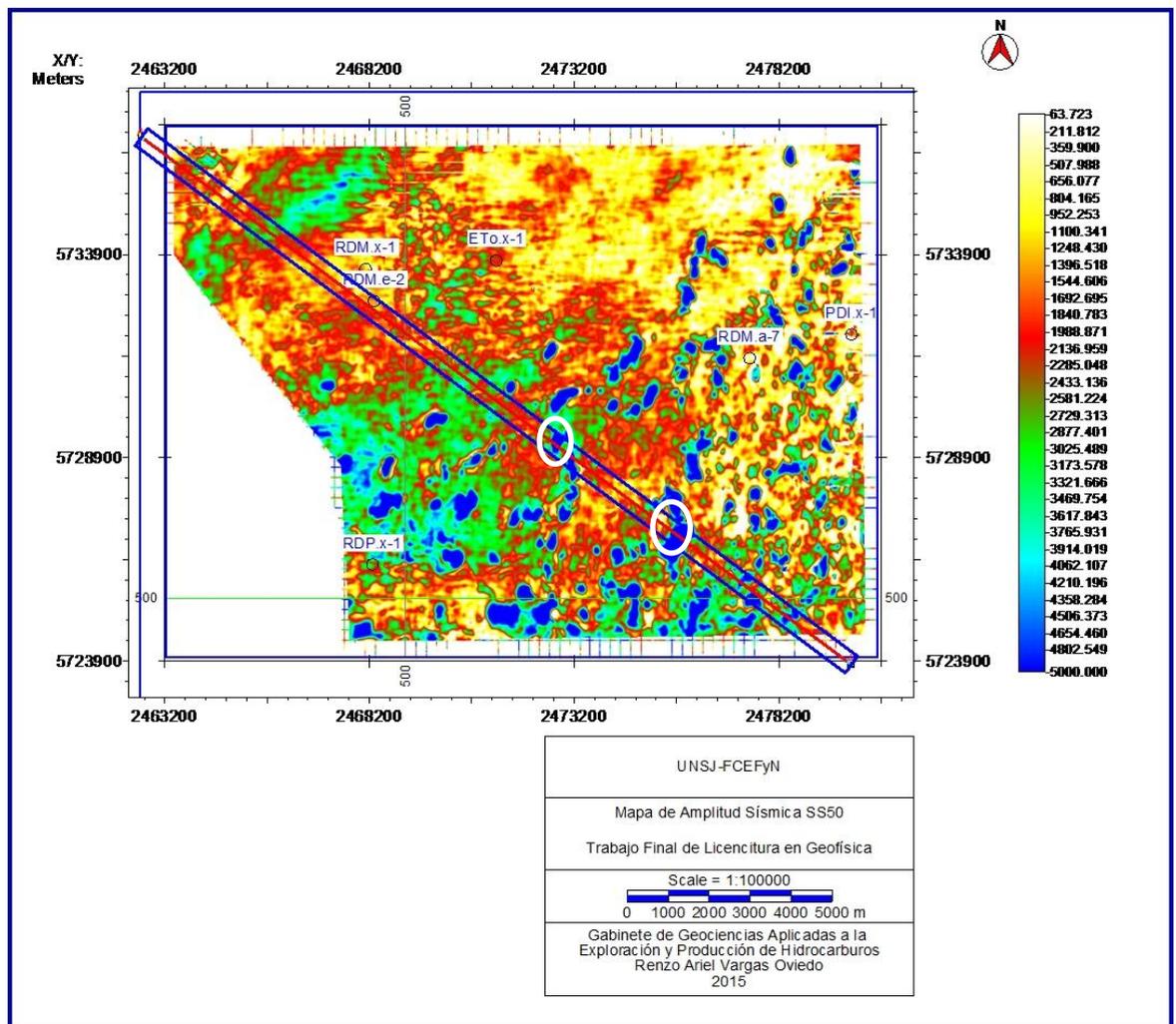


Figura N°56: Mapa de amplitud sísmica SS50

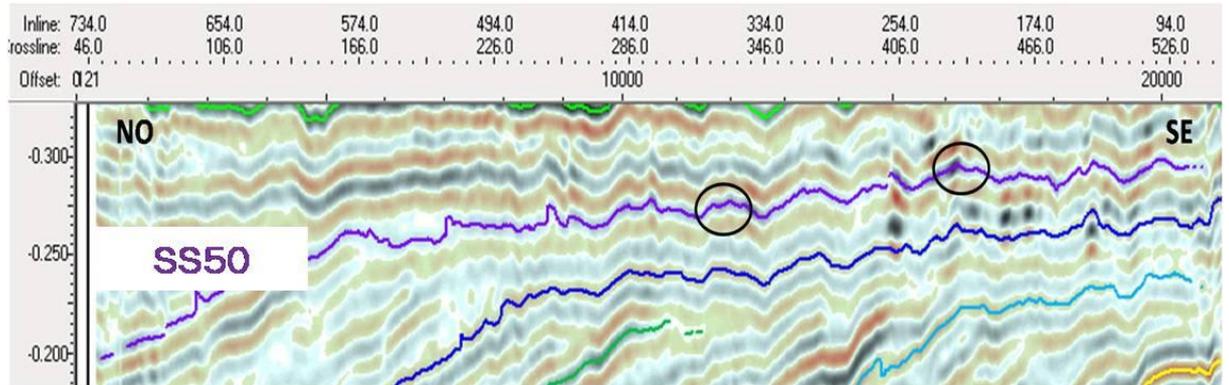


Figura N°57: Sección sísmica que muestra la alteración del reflector frente a los abultamientos. Los círculos negros encierran los rasgos del reflector que producen las variaciones de amplitud que se señalan en el mapa mediante círculos blancos.

En la distribución de amplitud sísmica de Intraquintuco también quedan evidenciados los abultamientos. En este caso particular, tienden a ser independientes unos de otros, es decir, no conforman anomalías elípticas más extensas. Tienen un diámetro promedio de 237 m (figura N°58 y N°59).

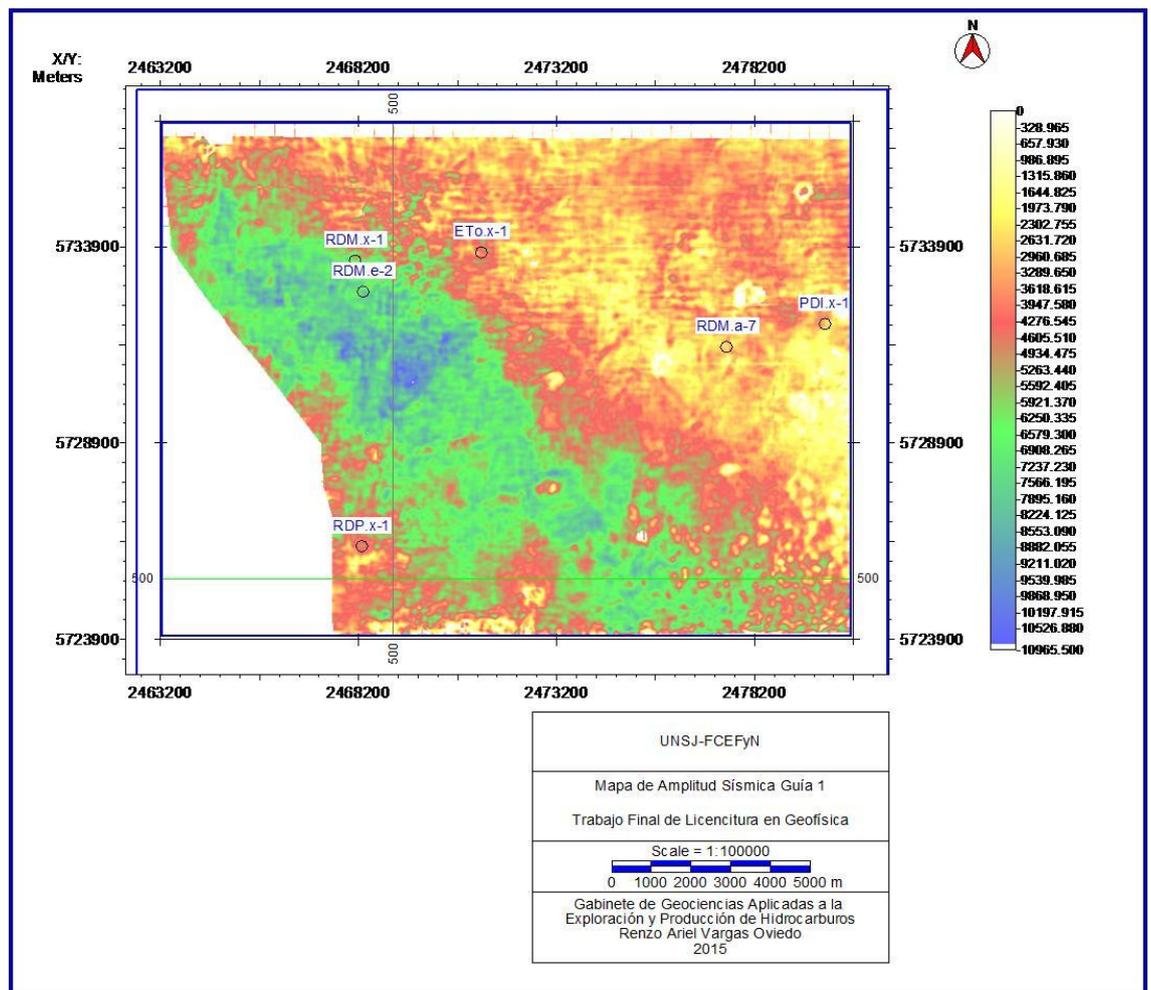


Figura N°58: Mapa de Amplitud del horizonte Guía 1

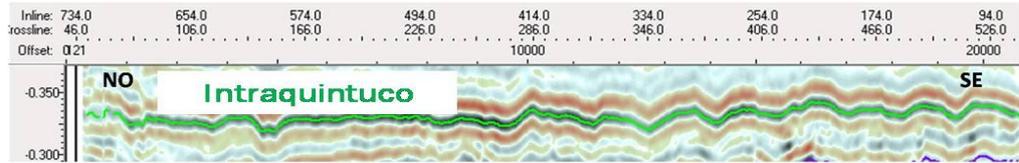


Figura N°59: Línea sísmica NO-SE, en la que se muestran las variaciones de Intraquintuco que corresponden a las geoformas circulares evidenciadas en el mapa.

Además, como ya se mencionó al comienzo de la sección, en los mapas de espesor obtenidos a partir de estos reflectores se distinguen los cuerpos subcirculares. Así, en el mapa de espesor entre SS40 y SS50 (ver figura N°49) los abultamientos llegan hasta una distancia de 11,1 km desde el SE, presentando un diámetro promedio de 420 m. Por otro lado, en el mapa de espesor entre SS50 e Intraquintuco (figura N°51), se extienden prácticamente a lo largo del cubo sísmico (debido a que el horizonte Intraquintuco presenta la extensión de la plataforma en la totalidad del cubo sísmico y por ende evidencia cuerpos carbonáticos en una amplia extensión) con un diámetro promedio de 500 m.

Interpretación:

Los abultamientos solo se han identificado en posiciones de plataformas, en las secuencias E-G (SS40, SS50) y H-M (Intraquintuco) de la clasificación de Pángaro *et al.* (2005). Las demás secuencias presentan la zona de plataforma fuera del dato sísmico.

Se interpreta que el desarrollo de abultamientos que producen la deformación de los reflectores y el notorio cambio de amplitud, se deben a cambios de litofacies en las superficies reflectivas. De acuerdo a lo concluido en el trabajo de Pángaro *et al.* (2005), se interpreta que estas geoformas están asociadas a depósitos carbonáticos de plataforma (ver sección 5: Sismoestratigrafía local. Antecedentes).

Los contrastes de velocidad entre los cuerpos carbonáticos y las facies margosas que los rodean producen anomalías de velocidad que se propagan hacia los horizontes infrayacentes. Esto es conocido comúnmente como “tirones de velocidad” (“*velocity pull ups*”). Esto puede estar asentado por compactación diferencial, siendo la sección carbonática poco compactable, mientras que las facies margosas-arcillosas pueden tener considerables compactaciones. Puede notarse el efecto mencionado en la figura N°55.

A continuación se adjunta una sección sísmica en la que se ha horizontalizado el Tope de la Fm. Tordillo (BVM) (figura N°60). A diferencia de las secciones anteriores donde se indicaban las variaciones de los reflectores para cada horizonte en

particular, en la siguiente imagen se resaltan en conjunto los abultamientos carbonáticos presentes en las plataformas de los reflectores SS40, SS50 e Intraquintuco. Se ha resaltado la parte de la sección donde están presentes los abultamientos carbonáticos que afectan a los tres horizontes a la vez, sin embargo debe tenerse en cuenta que los reflectores SS50 e Intraquintuco también evidencian los efectos de los abultamientos fuera del recuadro tal como se mostró en las secciones sísmicas particulares de cada reflector.

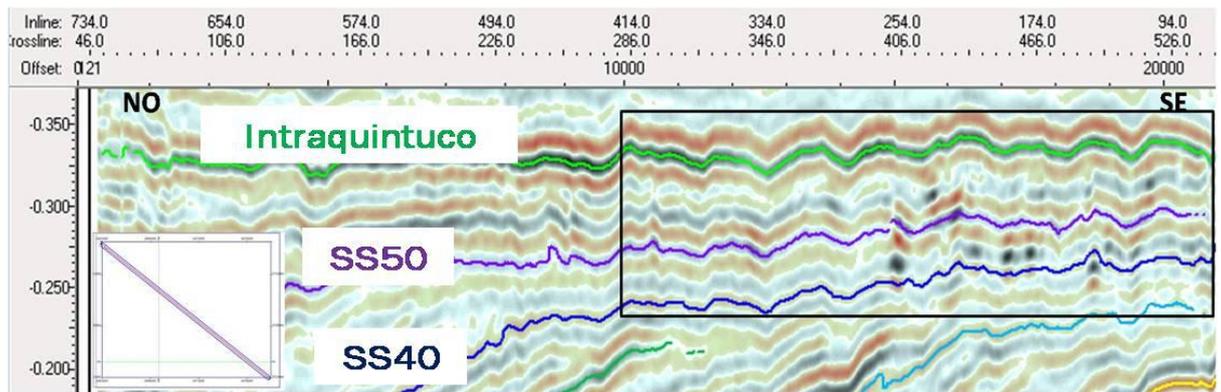


Figura N°60: Línea sísmica NO-SE, en la que se muestran los abultamientos carbonáticos presentes en las plataformas de SS40, SS50 e Intraquintuco.

10. CONCLUSIONES

- La interpretación sismoestratigráfica se focalizó en secuencias del Grupo Mendoza tales como la Fm. Tordillo y la secuencia Vaca Muerta-Quintuco.
- Se identificaron diez horizontes guía, de los cuales tres corresponden a superficies geológicas regionales: Tope de Fm. Auquilco, Tope de Fm. Tordillo y Tope de Fm. Quintuco; y siete son secuencias sigmoides correspondientes a la secuencia Vaca Muerta-Quintuco. A partir de todos ellos se confeccionaron mapas estructurales en tiempo, de amplitud sísmica y de espesor.
- Estructuralmente el área se caracteriza por presentar una estructuración suave con el sector más alto en el centro oeste del cubo que gradualmente se hunde hacia el este. La estructura se interpretó como una nariz estructural suave conformada por un anticlinal de eje buzante (sentido OSO-ENE y buzante hacia el ENE).
- En el análisis particular de los horizontes sigmoides se logró clasificarlos según Pángaro *et al.* (2005) e identificar los quiebres de plataforma, que a la escala de observación de poco más de 10 km, se disponen en líneas bastante rectas y casi paralelas entre sí. Esto permitió interpretar la migración de los mismos en sentido SE-NO, lo cual coincide con las direcciones de progradación generales de la cuenca (Mitchum y Uliana, 1982,1987).
- En el Tope de Fm. Tordillo se identificaron lineamientos en sentido SSO-NNE que fueron interpretadas como megadunas generadas a partir del retrabajo de los depósitos arenosos de Tordillo por acción del oleaje y la marea durante la transgresión Tithoniana. Las crestas de las megadunas son muy rectilíneas y se disponen con una frecuencia de entre 860 y 1620 m. Los relieves de estas megadunas se estimaron cerca de los 20m.
- Dentro de las secciones de plataforma de la secuencia Vaca Muerta-Quintuco se identificaron anomalías sísmicas subcirculares, distribuidas en franjas alineadas paralelas a los quiebres de plataformas. El desarrollo de abultamientos sísmicos y anomalías de amplitud permiten interpretar que corresponden a litofacies de alta velocidad. Estas geoformas fueron interpretados como depósitos de abultamientos carbonáticos de

plataforma por Pángaro *et al.* (2005). Si bien la relación entre estas geoformas no se asociarían a reservorios en Fm. Quintuco, la descripción de los mismos y la relación con las facies circundantes puede ser una guía de futuros estudios para la exploración y desarrollo de esta formación.

- Se conformó una base teórica de la geología regional y local a partir de la búsqueda de material bibliográfico sobre la Cuenca Neuquina y de Rincón del Mangrullo. Se obtuvieron conocimientos avanzados en el manejo e interpretación de datos de subsuelo mediante la utilización de un software de amplio uso en la industria del petróleo. Se adquirió práctica en: creación de proyectos, carga de datos sísmicos y de pozos, generación y uso de sismogramas sintéticos, rutinas para el seguimiento de horizontes sísmicos y generación de mapas.

11. BIBLIOGRAFIA

- ABERG, G. AGUIRRE, L., LEVI. B. and NYSTROM, J.O., 1984. Spreading-subsidence and generation of ensialic marginal basins: an example from the Early Cretaceous of Central Chile. In: Kokelaar, B.P. and Howells. M.F. (Eds). Marginal Basin Geology. *Geol Soc. London Sp. Publ* **16** 185-193.
- ALLEN, P.A. Y ALLEN, J.R., 2005. Basin Analysis: Principles and Applications. Second edition. Ed. Blackwell Scientific Publication, 549 p, Oxford.
- ARREGUI C., 1993. Análisis estratigráfico paleoambiental de la Formación Tordillo en el subsuelo de la Cuenca Neuquina. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, actas, Tomo I: 165-170.
- BARREDO, S., CRISTALLINI, E., ZAMBRANO, O., PANDO, G. Y GARCÍA,R., 2008. VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos; VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Actas 443-446 p. Noviembre 2008.ISBN 978-987-9139-51-6.
- BARREDO, S.P. Y STINCO L.P., 2010. Geodinámica de las cuencas sedimentarias: Su importancia en la localización de sistemas petroleros en la Argentina. *Petrotecnia*.
- BARRIONUEVO M., 2002. Reservorios del Miembro Agrio Superior de la Formación Agrio. Relatorio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- BERMUDEZ, A., 1987. Basaltos alcalinos terciarios en la sierra de Palauco. Provincia de Mendoza. Argentina. *Décimo Congr. Geol. Arg., Simposio Vulcanismo Andino Actas* **4**, 238-242. Buenos Aires.
- CABALEIROA., CAZAUL., LASALLED., PENNAE., ROBLES D., 2002. Los reservorios de la Formación Centenario. Relatorio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- CEVALLOS M.F., GIUSIANO A.E., FRANCHINI M., RAINOLDI A.L., MARTINEZ R.S., CARBONE O.C. Y ALAIMO A.A., 2014 Evidencias de migración en el Dorso de los Chihuidos, Cuenca Neuquina, Argentina. Relatorio del IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mendoza.

- CEVALLOS, M., 2005. Análisis Estratigráfico de alta frecuencia del límite Kimmeridgiano-Tithoniano en el subsuelo de la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata, Argentina.
- CRISTALLINI, E.O., J. M. MARTÍNEZ, E. SÁNCHEZ, S. PERIALE GÓMEZ Y A. LONCARICH, 2005, Evaluación estructural del bloque Bandurria (Provincia del Neuquén, Argentina): YPF, (unpublished), p. 1-73.
- DIGREGORIO, J.H., 1972. Neuquén en A.F. Leanza (Dir. Y Ed.) Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencia. Córdoba, p.439-505. Rep. Argentina. Exploratorios. Tomado de Greenlee y Lehmann (1993).
- GÓMEZOMIL, R.J., SCHMITHALTER, A., CANGINI, L., ALBARIÑO Y A. CORSI, 2002. El Grupo Cuyo en la Dorsal de Huincul, consideraciones estratigráficas, tectónicas y petroleras. Cuenca Neuquina, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, Actas en CD: 22 p.
- GROEBER, P., 1918. Estratigrafía del Dogger en la República Argentina. Estudio sintético comparativo. *Dirección General Minería, Geología e Hidrogeología Boletín* 18. 1-181, Buenos Aires.
- KAY, S.M., RAMOS, V.A., MPODOZIS, C. and SRUOACA. P., 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: Analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology*, 17, 324-328.
- KIN J.H., MALLEA M., GUTIERREZ R. Y MALONE P, 2014. Exploración del Gr Cuyo (Jurásico) en bloques maduros de la Dorsal de Huincul – Puesto Touquet y El Porvenir, Cuenca Neuquina. Relatorio del IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mendoza.
- LAMBIAS, E.J., CAMINOS, R and RAPELA, C.W., 1984. Las plutonitas y volcanitas del ciclo eruptivo gondwánico. *Noveno Congr. Geol. Argentino, Relatorio*, 85-117, Buenos Aires.
- LEGARRETA L. and GULISANO, C.A., 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior), Argentina. In: Chebli, G.A. and Spalletti, L.A. (Eds.). Cuencas Sedimentarias Argentinas, *Serie de Correlación Geológica No. 6*, 221-243 Tucumán.
- LEGARRETA L. and ULIANA, M.A., 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes. In:

- McDonald, D.I.M. Ed). Sedimentation, Tectonics and Eustasy. *I.A.S. Sp.Publ.*, **12**, 429-450.
- LEGARRETA L., VILLAR H.J., CRUZ C.E., LAFFITTE G.A. Y VARADÉ R., 2005. Revisión integrada de los sistemas generadores, estilo de migración-entrapamiento y volumetría de hidrocarburos en los distritos productivos de la Cuenca Neuquina, Argentina. Relatorio del VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
 - LEGARRETA, L. y C. A. GULISANO; 1989. Análisis Estratigráfico de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior – Terciario Inferior). En: Cuencas Sedimentarias Argentinas: 221-243.
 - LEGARRETA, L., G. A. LAFFITTE Y S. A. MINNITI, 1999. Cuenca Neuquina: múltiples posibilidades en las series jurásico-cretácicas del depocentro periandino. IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Tomo I, p. 145-175, Buenos Aires.
 - LEGARRETA, L., VILLAR, H., CRUZ, C., LAFFITTE, G. y VARADÉ, R., 2008. Revisión integrada de los sistemas generadores, estilos de migración-entrapamiento y volumetría de hidrocarburos en los distritos productivos de la Cuenca Neuquina, Argentina. Simposio de Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas. VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Buenos Aires, pág. 79-108, IAPG.
 - MARETTO H., CARBONE O., GAZZERA C. Y SCHIUMA M., 2002. Los reservorios de la Formación Tordillo. Relatorio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
 - MARETTO, H. Y F. PÁNGARO, 2005, Edad de formación de algunas de las grandes estructuras del engolfamiento de la Cuenca Neuquina: Actividad tectónica durante la depositación de la Fm Quintuco, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Trabajos Técnicos, IAPG, N°p., Mar del Plata, Argentina.
 - MENDIBERRI, H. Y CARBONE, O., 2002. Marco geológico y reseña histórica de la actividad petrolera. Relatorio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
 - MESSEGER, G., B. NIEVÈRE, J. MARTINOD, P. LACAN Y J.P. XAVIER, 2010, Geomorphic evidence for Plio-Quaternary compression in the Andean

- foothills of the southern Neuquén Basin, Argentina, *Tectonics*, v. 29, TC4003, doi:10.1029/2009TC002609.
- MITCHUM, R. M. Jr. y M. A. ULIANA; 1982. Seismic Stratigraphy of Carbonate Depositional Sequences, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina: Chapter 15 in Memoir 39: Seismic Stratigraphy II: An Integrated Approach to Hydrocarbon Exploration, 1985 AAPG Special Publication. Pp.255 – 274.
 - MITCHUM, R. M. Jr. y M. A. ULIANA; 1987. Passive margins: regional seismic stratigraphic analysis of Upper Jurassic-Lower Cretaceous carbonates depositional sequences, Neuquén Basin, Argentina. In: *Studies*
 - MORENO PERAL, C.A. and SALVARREDI, J.A., 1984. Interpretación del origen de las estructuras anticlinales del Pérmico Inferior en el Bloque de San Rafael. Provincia de Mendoza. *Noveno Cong. Geol. Argentino Actas*, **2**, 396-413, Buenos Aires.
 - MOSQUERA, A., Y V. A. RAMOS, 2006, Intraplate deformation in the Neuquén Embayment, en S. M. Kay y V. A. Ramos (eds.), *Evolution of an 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, p. 97-123.
 - MPODOZIS, C. and MUHLBURG KAY, S., 1990. Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica de Gondwana; Andes Chilenos (28-31°S). *Rev. Geol. Chile*, **7**, 153-180. Santiago.
 - NASI, C., 1984. Geología de la Cordillera de la Costa de Chile central. Seminario Actualización de la geología de Chile, Apuntes. *Servicio Nacional de geología y Minería, Miscelanea*, **4**, 11 - 117 Santiago.
 - OLMOS M., MARETTOH. LASALLED, CARBONE O. Y NAIDESC., 2005. Los reservorios de la Formación Quintuco. Relatorio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
 - PANGARO F., MARETTO H. Y PIANELLI L., 2002. Abultamientos Carbonáticos de la Plataforma en la Formación Quintuco en el Área de Rincón del Mangrullo, Cuenca Neuquina, Argentina. ¿Un nuevo objetivo exploratorio? Marco geológico y reseña histórica de la actividad petrolera. Relatorio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.

- PINCHEIRA, M. and THIELE, R., 1982. El neocomiano de la Cordillera de la Costa al NW de Vallenar (28°15' a 28°30' L.S.): situación tectónica del borde occidental de la cuenca neocomiana de tras-arco. *Tercer Congr. Geol. Chileno Actas*, **1**, a236-a261. Concepción.
- PLOSZKIEWICZ, J.V., ORCHUELA, I.A., VAILLARD, J.C. and VIÑES, R.F., 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de falla Huincul, estructuras asociadas. Provincia del Neuquén. *Noveno Congr. Geol. Argentino Actas*, **1**, 163-169, Buenos Aires.
- RAMOS V.A. and BARBIERI, 1988. El volcanismo cenozoico de Hauntraico; edad y relaciones isotópicas iniciales. Provincia del Neuquén. *Assoc. Geol. Arg. Revista*, **43**, 210-223, Buenos Aires.
- RAPALINI, A.E., 1990. Variaciones paleolatitudinales de América del Sur en el Carbonífero-Pérmico. Décimo primer Congr. *Geol. Argentino Actas*, **2**, 259-262, San Juan. Lambias and Sato, 1990
- ROBLES D., 1972. El desarrollo de la Formación Loma Montosa en el sector oriental de la Cuenca Neuquina. YPF Gerencia de Exploración Plaza Huincul, informe inédito, BsAs.
- STOREY, B.C. and ALABASTER, 1991. Tectonomagmatic controls on Gondwana break-up models: Evidence from the Proto-Pacific margin of Antarctica, *Tectonics*, **10**, 1274-1288.
- Trend Baldis, 1978
- ULIANA M.A. BIDDLE, K.T. and CERDAN, J., 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basins. In: Tankard, A.J. and Balkwill, H.R. (Eds). *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins. AAPG Mem.*, **46**, 599-614.
- ULIANA M.A. Y LEGARRETA L., 1993. Hydrocarbons habitat in a triassic-to-cretaceous sub-andean setting: Neuquén Basin, Argentina
- ULIANA M.A., BIDDLE, K.T. and CERDAN, J., 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basins. In: Tankard, A.J. and Balkwill, H.R. (Eds). *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins. AAPG Mem.*, **46**, 599-614.
- ULIANA, M.A., and BIDDLE, K.T. 1988. Mesozoic-Cenozoic Paleogeographic and Geodynamic Evolution of Southern South America. *Rev. Brasileira Geociencias*. **18**, 172-190, Sao Paulo.

- VALENCIO, D.A. and VILAS, J.F.A., 1976. Sequence of the continental movements which occurred prior to and after the formation of the South Atlantic. *Annals Academia Brasileira Ciencias Suplemento*, **48**. 377-386. Sao Paulo.
- VALENZUELA M., 2002. Los reservorios del Miembro Avilé de la Formación Agrio. Relatorio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- VERGANI G.D., BELOTTI H.J., WELSINK H.J. Y TANKARD A.J., 1995. Tectonic Evolution and Paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina.
- VICENTE J.C., 1975. Essaid' organisation paléogéographique et structurale du Paleozoique de Andes Méridionales, *Geologische Rundschau*, **64**. 343-394.
- VILAS, J.F.A., 1981. Paleomagnetism of South American rocks and the dynamic processes related with the fragmentation of western Gondwana. In: McElhinny. M.W. and Valencio. D.A. (Eds). Paleoreconstruction of the continents. *Amer Geoph. Union Geodyn Series*, **2**. 106-114.
- VOTTERO A.J. Y GONZALEZ J.M., 2002. Los Reservorios de la Formación Mulichinco. Relatorio del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- ZAMORA VALCARCE, G., T. ZAPATA, V. RAMOS, F. RODRÍGUEZ Y L. BERNARDO, 2009, Evolución tectónica del frente andino en Neuquén, *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (1), p. 192- 203.
- ZIEGLER, A.M., BARRET, S.F. and SCOTESE, C.R., 1981. Paleoclimate. Sedimentation and continental accretion. *Phil. Trans. R. Soc. Lonclon*, **A 301**. 253-264.