



Caracterización estratigráfica del Grupo Neuquén en el Sector Oeste del Yacimiento Estación Fernández Oro (EFO): definición de los principales niveles sellos a través de datos de subsuelo.

Autor: Cáceres, Jorge Gastón

Directora: García, María Eugenia
Geofísica de Desarrollo – YPF

Codirector: Claa, Rodrigo
Universidad Nacional de Río Negro - YPF

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA

Caracterización estratigráfica del Grupo Neuquén en el sector Oeste del Yacimiento Estación Fernández Oro (EFO): definición de los principales niveles sellos a través de datos de subsuelo.

Autor: Cáceres, Jorge Gastón

Directora: García, María Eugenia

eugenia.garcia@ypf.com

Codirector: Claa, Rodrigo

rodrigo.claa@ypf.com

LICENCIATURA EN GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO NEGRO



AGRADECIMIENTO

- A mis padres, por brindarme amor y apoyarme siempre en mis decisiones y estar siempre a mi lado en todo momento. Su manera de vivir me enseñó que con trabajo duro, perseverancia y sobre todo honestidad uno puede superarse todos los días.
- A mi hermano y mis hermanas, por el amor y apoyo incondicional que recibo todos los días. Los amo!
- A mi abuelo, tíos/as, primos/as, que siempre me apoyaron durante esta etapa.
- A la Universidad Nacional de Río Negro por darme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios de la Licenciatura en Geología.
- A los docentes que me acompañaron durante la carrera, ayudaron a mi formación y brindaron siempre su apoyo.
- A mi directora, María Eugenia García, quien sin conocerme no tuvo ningún inconveniente en aceptarme como su tesista, de guiarme y brindarme todo su apoyo en esta última etapa de mi carrera. Muchas gracias!
- A mis Co-directores, Rodrigo Claa y Otarola Nayibe, por sus contribuciones y enseñanzas en esta etapa.
- A la Compañía YPF, por ceder los datos que hicieron posible la realización de este trabajo.
- A mis tutores, Germán Serrano quien me dio la oportunidad de realizar este Trabajo Final y a Juan Manuel Martínez, por brindarme su apoyo en esta última etapa de mi carrera.
- A mis amigos/as de la vida, no importa la distancia o el tiempo sin vernos, se que siempre voy a contar con su amistad incondicional.
- A Karina y Valeria, dos grandes amigas que me dio la vida, gracias por sus consejos y por siempre estar apoyándome.
- A mis amigos que me dio la universidad, todos excelentes personas.

RESUMEN

En el presente trabajo se busca evaluar los principales sellos pertenecientes al Grupo Neuquén en el área del Yacimiento Estación Fernández Oro (EFO), con el fin de preservar la calidad de los acuíferos presentes en el área de estudio, ya que actualmente dicho yacimiento tiene un importante desarrollo hidrocarburífero.

Con el objetivo de afrontar este desafío se decidió estudiar y caracterizar los niveles sellos a partir de datos de subsuelo, tales como: los recortes de rocas (*cutting*), perfiles eléctricos y sísmica 2D y 3D (aportados por la Compañía YPF). Sumado a los trabajos de gabinete y de campo, se llevaron a cabo estudios de análisis de roca total y de extendido de arcillas, a partir de muestras de *cutting*. Esto nos ayudó a comprender mejor las características de los sellos estudiados.

Para determinar los principales sellos se analizaron más de 1500 metros de *cutting* para cada pozo perteneciente al Grupo Neuquén, el cual ayudó a reconocer 6 secuencias depositacionales con características físicas y petrofísicas diferentes. Para complementar dicha información se utilizaron diferentes perfiles eléctricos, tales como: rayos gamma, potencial espontáneo, resistividad y sísmico, que permitieron analizar los diferentes parámetros petrofísicos de cada secuencia. Con estos datos y con la ayuda de un *software* de la compañía y el registro sísmico 2D y 3D, se generaron mapas isócronos e isocronopáquicos, los cuales nos brindaron una visión más detallada de la distribución de los espesores y de la disposición en subsuelo de cada una de las secuencias estudiadas en este trabajo.

La integración de los datos analizados y la bibliografía recopilada, permitió identificar dos sellos principales con características muy similares, a profundidades de 180 y 420 metros. Estos se encuentran muy bien representados tanto en planta como en sección vertical. Por otra parte, también se cuenta con la existencia de niveles sellos que se encuentran en zonas más próximas a la superficie, los cuales no cuentan con una continuidad lateral entre ellos. Teniendo en cuenta las características litológicas que constituyen a los sellos y asociándola con la columna tipo del Grupo Neuquén, uno de los sellos correspondería a la Formación Candeleros, mientras que para el otro sello no se puede establecer una relación con dicho grupo, ya que se requieren datos de mayor precisión.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1. OBJETIVOS	- 2 -
2. ÁREA DE ESTUDIO	- 3 -
3. CUENCA NEUQUINA	- 5 -
3.1. EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL.....	- 5 -
3.1.1. Fase de Synrift (Triásico Superior-Jurásico Inferior).....	- 6 -
3.1.2. Etapa de post-rift (Jurásico Inferior-Cretácico Inferior)	- 7 -
3.1.3. Compresión y cuenca de antepaís (Cretácico Superior-Cenozoico)	- 8 -
3.2. EVOLUCIÓN ESTRATIGRÁFICA.....	- 9 -
3.2.1. Triásico Superior-Jurásico Inferior.....	- 10 -
3.2.2. Jurásico Inferior-Cretácico Inferior.....	- 10 -
3.2.3. Cretácico Inferior – Cretácico Superior.....	- 11 -
3.2.4. Cretácico Superior – Plioceno.....	- 11 -
3.3. UNIDADES MORFOESTRUCTURALES	- 13 -
3.3.1. Fosa de Loncopué	- 14 -
3.3.2. Faja plegada y corrida del Agrío	- 14 -
3.3.3. Alto de los Chihuidos.....	- 14 -
3.3.4. Plataforma Nororiental	- 14 -
3.3.5. Engolfamiento Neuquino	- 15 -
3.3.6. Dorsal de Huincul	- 15 -
4. MARCO ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO.....	- 17 -
5. MARCO ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRÁFICO DEL GRUPO NEUQUÉN	- 20 -
5.1. AMBIENTE TECTÓNICO	- 21 -
5.2. ESTRATIGRAFÍA.....	- 24 -
5.2.1. Subgrupo Río Limay	- 24 -
5.2.2. Subgrupo Río Neuquén.....	- 27 -
5.2.3. Subgrupo Río Colorado.....	- 30 -
6. METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO	- 32 -
6.1. TAREAS DE CAMPO	- 32 -
6.2. TAREAS DE GABINETE.....	- 33 -
6.2.1. Control geológico.....	- 34 -
6.2.2. DRX.....	- 37 -
6.2.3. Microscopio electrónico de barrido (SEM)	- 37 -
6.2.4. Perfiles Eléctricos	- 39 -
6.2.4.1. Tipos de registros	- 40 -
6.2.5. Mapas estructurales e isopáquicos.....	- 44 -
6.2.6. Interpretación sísmica	- 45 -
6.3. REVISIÓN DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	- 46 -
7. RESULTADOS	- 47 -
7.1. ANÁLISIS DE CONTROL GEOLÓGICO	- 47 -
7.1.1. Muestras de rocas	- 47 -

7.1.2.	<i>Difractometría de Rayos X (DRX)</i>	- 53 -
7.1.3.	<i>SEM</i>	- 55 -
7.1.4.	<i>Correlación estratigráfica</i>	- 57 -
7.2.	PERFILES ELÉCTRICOS.....	- 62 -
7.2.1.	<i>Pases entre secuencias</i>	- 62 -
7.2.2.	<i>Características petrofísicas de las secuencias</i>	- 63 -
7.2.3.	<i>Correlación a partir de los perfiles eléctricos</i>	- 67 -
7.3.	MAPAS ESTRUCTURALES E ISOPÁQUICOS	- 69 -
7.3.1.	<i>Mapa estructural de la Secuencia 2</i>	- 70 -
7.3.2.	<i>Mapa estructural e isopáquico de la Secuencia 3</i>	- 70 -
7.3.3.	<i>Mapa estructural e isopáquico de la Secuencia 4</i>	- 72 -
7.3.4.	<i>Mapa estructural e isopáquico de la Secuencia 5</i>	- 73 -
7.3.5.	<i>Mapa estructural e isopáquico de la Secuencia 6</i>	- 74 -
7.4.	INTERPRETACIÓN SÍSMICA	- 76 -
7.4.1.	<i>Mapas isócronos e isocronopáquicos de las secuencias</i>	- 78 -
7.5.	RELACIÓN CON EL ESQUEMA ESTRATIGRÁFICO DEL GRUPO NEUQUÉN	- 85 -
8.	NIVELES SELLOS	- 88 -
9.	CONCLUSIONES	- 93 -
9.1.	FUTURAS INVESTIGACIONES.....	- 94 -
	BIBLIOGRAFÍA	- 95 -
	ANEXO A: TABLAS DESCRIPTIVAS	- 101 -
	ANEXO B: MAPAS ISÓCRONOS E ISOCRONOPÁQUICOS	- 108 -

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para el desarrollo de la vida, y para el progreso socioeconómico de una región. Las reservas de agua dulce son las más importantes y a la vez, el recurso menos abundante. Como ya sabemos, las aguas subterráneas son de vital importancia dentro del ciclo hidrológico, ya que constituyen la mayor fuente de agua dulce producto de la escasez de fuentes superficiales. El aumento en la demanda de este recurso sub-superficial conduce a la sobreexplotación de los acuíferos, lo que provoca una disminución del nivel estático y de las reservas de agua y posiblemente una disminución de la calidad del agua del acuífero.

El área del Yacimiento Estación Fernández Oro (EFO) en la provincia de Río Negro, es actualmente uno de los puntos con mayor desarrollo de la industria hidrocarburífera en dicha provincia y ha creado la necesidad de afrontar el estudio de los acuíferos, con el fin de preservar la calidad de las capas de agua dulce presentes en el área de influencia de los pozos. A pesar de esto, la información y el conocimiento sobre las características y el comportamiento de las unidades acuíferas es escaso, por esto surge la necesidad de utilizar métodos indirectos para poder complementarla y así poder tener mayor idea del comportamiento de estas aguas.

Este Trabajo Final estuvo enfocado en el estudio de las características, distribución y disposición de los principales niveles sellos correspondientes al Grupo Neuquén. La compañía YPF otorgó información de subsuelo, tales como: recortes de rocas (*cutting*), perfiles eléctricos (rayos gamma, potencial espontáneo, resistividad y sísmico) e interpretación sísmica, sumado a esto se realizaron análisis de DRX y SEM con el propósito de caracterizar y describir los principales niveles sellos de los acuíferos y de este modo poder preservar la calidad de las aguas subterráneas y así evitar posibles daños futuros.

1.1. Objetivos

El objetivo principal del presente Trabajo Final consistió en la caracterización sedimentológica y estratigráfica del Grupo Neuquén en la zona oeste del Yacimiento Estación Fernández Oro (EFO), en la provincia de Río Negro. Se enfoca principalmente en la definición de los principales sellos, utilizando datos de subsuelo aportados por la compañía YPF.

Para dicha caracterización se trabajó con datos de control geológico (*cutting*), perfiles eléctricos, sísmicas y análisis químicos de roca total, los cuales serán utilizados para generar diferentes mapas estructurales e isopáquicos, que nos permitirán entender la disposición y distribución areal de los diferentes niveles.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El yacimiento EFO (Fig. 1) se ubica al sur de las ciudades de Allen y Fernández Oro, en el Departamento de General Roca, provincia de Río Negro y se accede al mismo por Ruta Nacional N° 22 y caminos rurales. Abarca una superficie de 194 km² y se encuentra dividido en norte y sur por el río Negro, que lo atraviesa en dirección NO-SE. Dicho yacimiento se desarrolla principalmente sobre la llanura de inundación del río, donde se comparte la superficie con la actividad frutícola.

A su vez se encuentra ubicado en el sector sureste de la cuenca Neuquina. La cubeta principal corresponde a un hemigraben ubicado hacia el suroeste del sector Estancia Vieja-Loma Kaufman (Cristallini *et al.*, 2009), limitado al sur por una falla normal de alto ángulo (77° aproximadamente), con dirección oeste-noroeste con vergencia hacia el noreste. Esta falla tiene un importante rechazo cercano a los 400 metros y pone en contacto lateral el basamento con los depósitos del Grupo Cuyo (1500 metros de espesor en EFO).

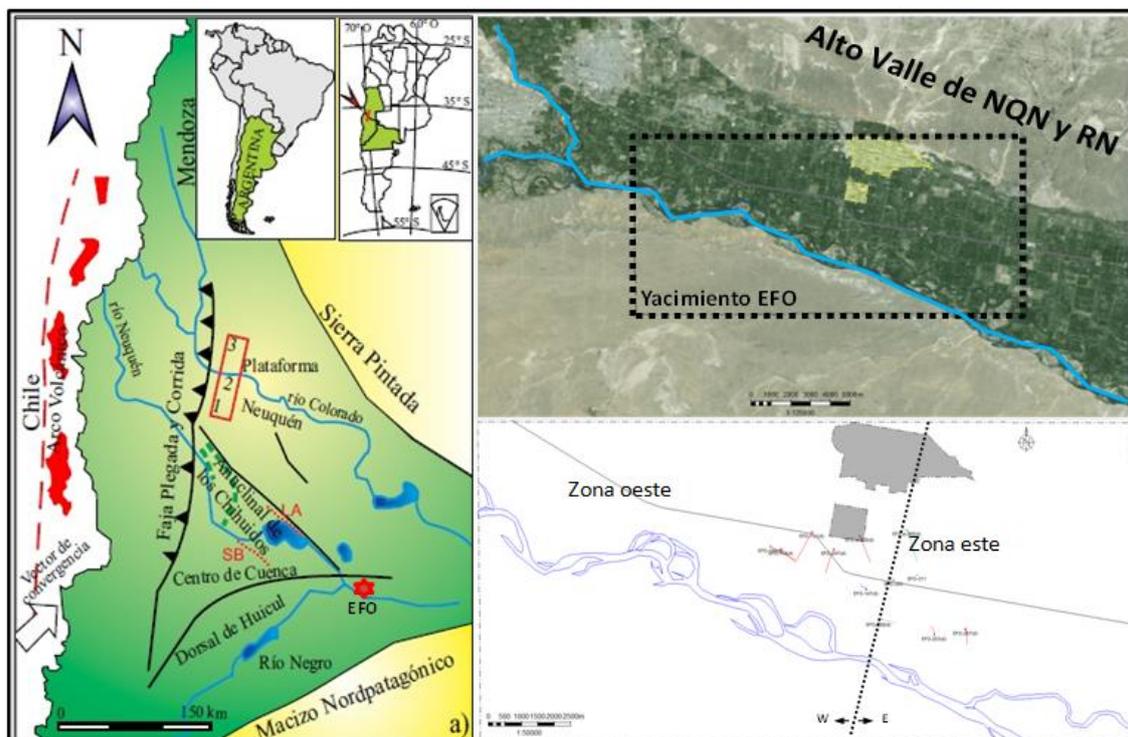


Figura 1. Ubicación geográfica del yacimiento EFO.

El Trabajo Final se desarrolló en la zona oeste del yacimiento EFO y se utilizaron los datos de 7 pozos distribuidos dentro del área de estudio (Fig. 2).

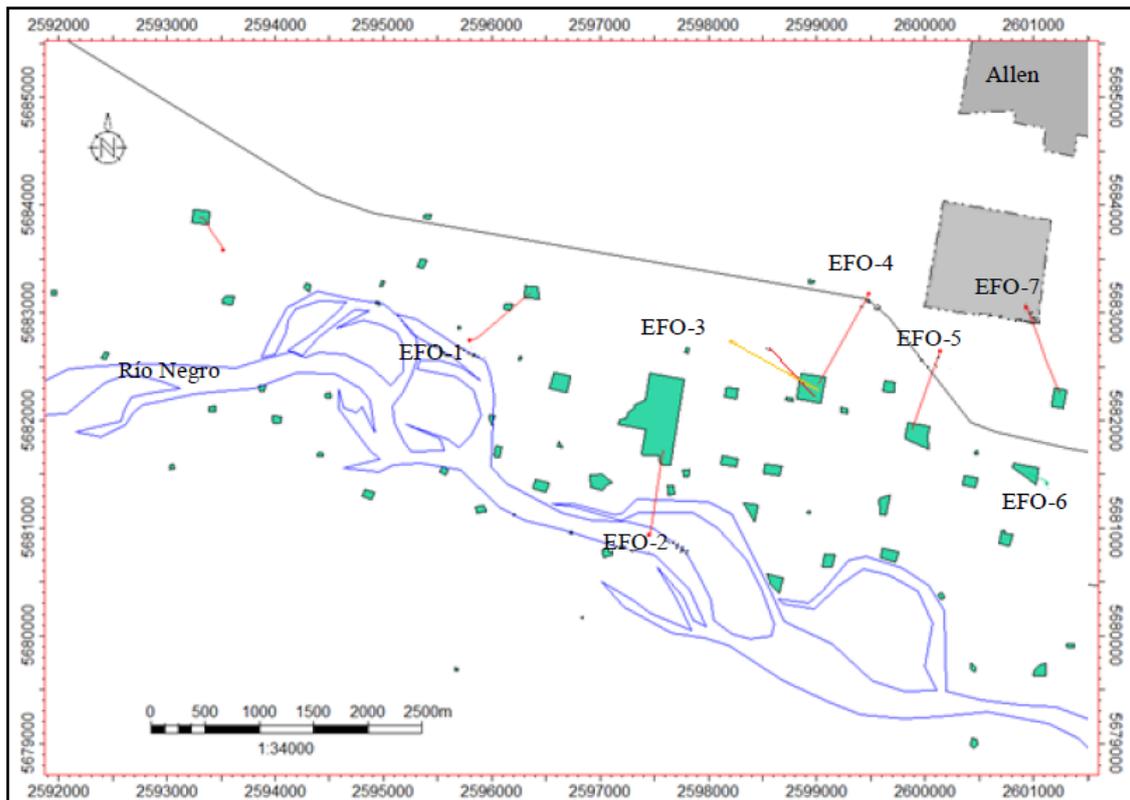


Figura 2. Zona oeste del yacimiento EFO.

3. CUENCA NEUQUINA

Las cuencas relacionadas a procesos extensionales caracterizaron diferentes etapas de la evolución geológica de la Tierra y se desarrollan en diferentes ambientes geodinámicos (Ziegler y Cloetingh, 2004). Este tipo de cuencas se caracterizan por depresiones elongadas y limitadas por fallas directas, con dimensiones del orden de las decenas a centenas de metros y de cientos de miles de kilómetros de largo (Gawthorpe y Leeder, 2000). Están internamente constituidas por depocentros simétricos (grábenes) y/o asimétricos (hemigrábenes), a menudo segmentados, con polaridades opuestas y diferentes tipos de conexiones entre sí (Ziegler y Cloetingh, 2004). Estas a su vez, en muchas ocasiones, presentan importantes recursos minerales e hidrocarburíferos, como es el caso de la cuenca Neuquina.

3.1. Evolución Estructural

La cuenca Neuquina (Fig. 3) es un depocentro con diseño triangular localizada en el centro-oeste de la Argentina y cubre una superficie de 160000 Km² (Yrigoyen, 1991). Actualmente es considerada como una cuenca de retroarco multiepisódica, desarrollada en el margen oeste de Sudamérica durante el Triásico-Cenozoico (Ramos y Folguera, 2005). La cuenca Neuquina registra una columna sedimentaria de 7.000 metros de espesor, que incluye rocas sedimentarias marinas y continentales que abarcan desde el Triásico Superior al Paleoceno (Hower *et al.*, 2005), estando delimitada al oeste por la cordillera de los Andes, al sur por el macizo Nordpatagónico y al noreste por el sistema de la sierra Pintada (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1995). Ocupa gran parte del territorio de la provincia de Neuquén, alcanzando también el sur y suroeste de Mendoza, norte y noroeste de Río Negro y el suroeste de La Pampa.

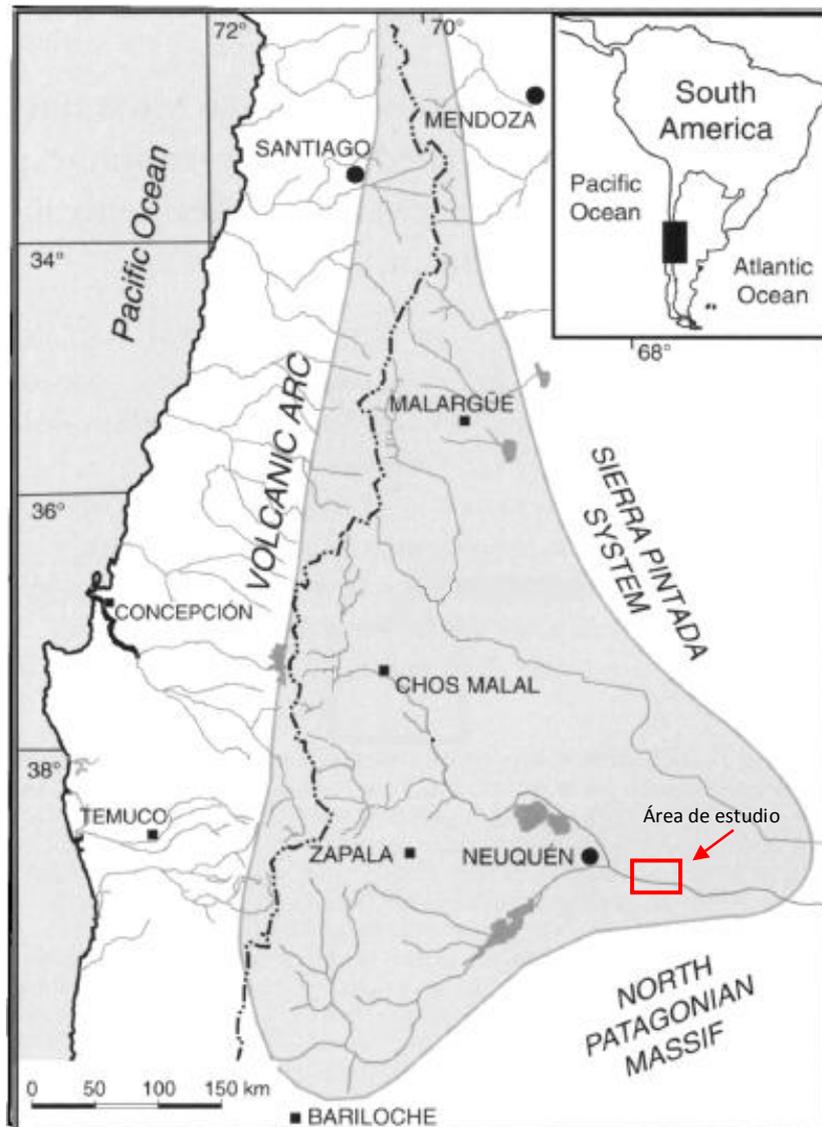


Figura 3. Mapa de la localización de cuenca Neuquina (tomado de Hower *et al.*, 2005).

El contexto geotectónico y la compleja evolución de la cuenca Neuquina pueden resumirse en tres etapas:

3.1.1. Fase de *Synrift* (Triásico Superior-Jurásico Inferior)

Durante el Triásico Superior y el Jurásico Inferior los procesos extensionales de intraplaca generaron un conjunto de *rifts* alargados sobre un basamento integrado por metamorfitas de bajo grado (Formación Piedra Santa, Silúrica-Devónica), plutonitas y vulcanitas incluidas en el Grupo Choiyoi (Carbonífero-Triásico Inferior), que dieron origen a la cuenca Neuquina (Fig. 4), (Gulisano *et al.*, 1984; Franzese y Spalletti, 2001). Se trata de un conjunto de depocentros con geometría de hemigraben rellenos por cientos de metros de espesor (Vergani *et al.*, 1995). Dicho relleno sintectónico está caracterizado por depósitos continentales volcánicos

y piroclásticos con menor participación de facies sedimentarias que se agrupan bajo la denominación de ciclo Precuyano (Gulisano *et al.*, 1984).

A.- Fase de synrift

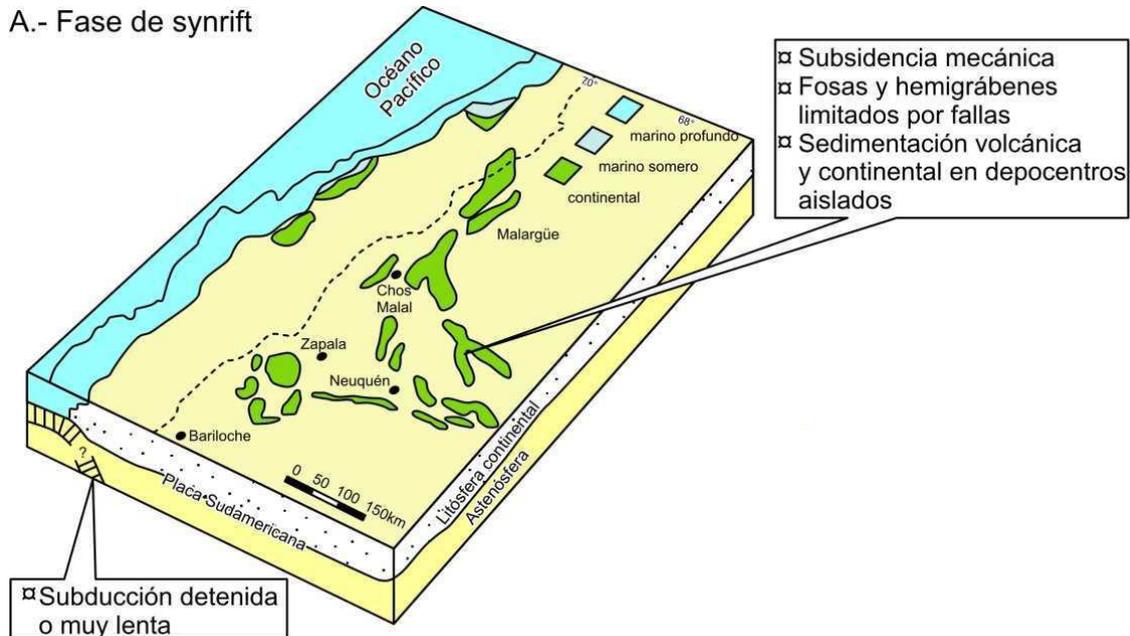


Figura 4. Esquema de la cuenca para el Triásico Superior–Jurásico Inferior (tomado de Howell *et al.* 2005).

3.1.2. Etapa de *post-rift* (Jurásico Inferior-Cretácico Inferior)

Durante el Jurásico Inferior-Medio se desarrolló un margen de subducción activo al oeste de Gondwana (Franzese *et al.*, 2003) y para el Jurásico Superior el arco magmático de los Andes ya estaba bien desarrollado. La caída del nivel de base en respuesta a un aumento del nivel marino global y a la subsidencia térmica (Lagarreta y Uliana, 1996), generó una transgresión marina en toda la cuenca desde el océano proto-Pacífico a través del pasaje en el arco volcánico (Spalletti *et al.*, 2000; Macdonald *et al.*, 2003). Producto de la transgresión, comenzó un periodo de sedimentación marina que dominó los ambientes depositacionales durante el Jurásico e inicio del Cretácico. Se depositaron 4.000 metros de sedimentos, en forma de ciclos transgresivos-regresivos de diferentes órdenes, controlados por cambios en el nivel del mar, la subsidencia termal, procesos extensionales de retroarco y por la topografía generada durante la etapa de *syn-rift* (Fig. 5), (Howell *et al.*, 2005).

B.- Fase de postrift

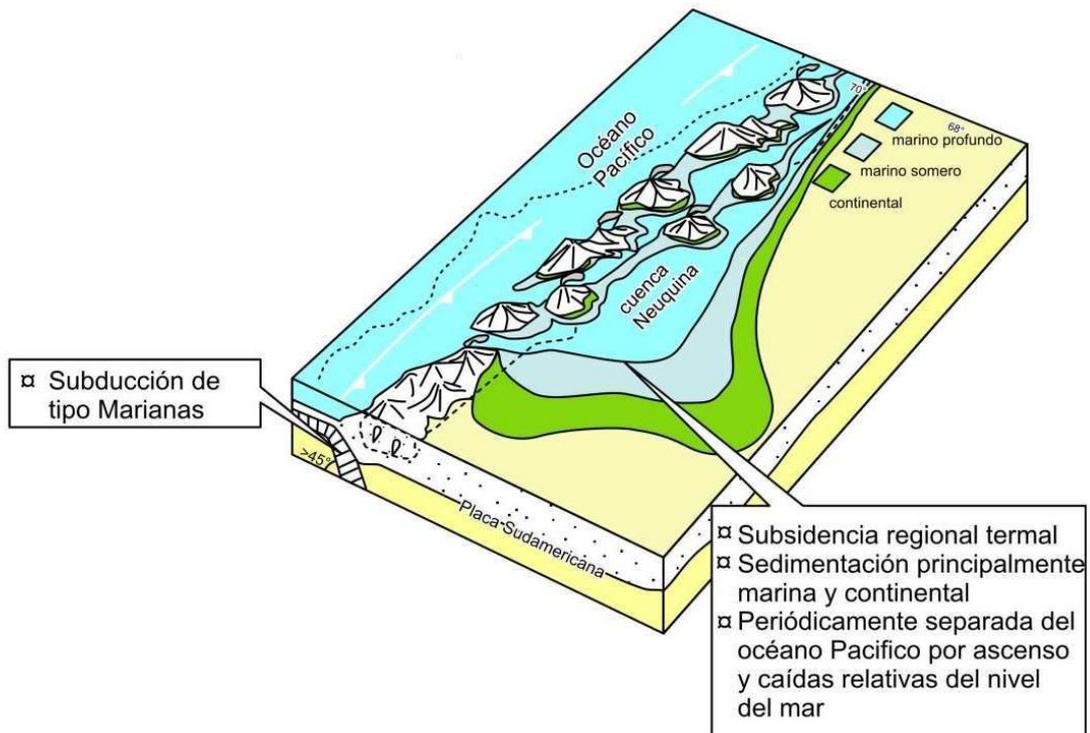


Figura 5. Esquema de la cuenca para el Jurásico–Cretácico Inferior, caracterizado por una subducción en el margen oeste de Gondwana y el desarrollo del arco volcánico, (tomado de Howell *et al.*, 2005).

3.1.3. Compresión y cuenca de antepaís (Cretácico Superior-Cenozoico)

Hacia fines del Cretácico Inferior, los cambios en las tasas de separación y reorganización de las placas Sudamericana y Pacífica junto con la disminución en el ángulo de subducción, resultaron en el desarrollo de un régimen tectónico compresivo causando inversión de estructuras extensionales previas (Vergani *et al.*, 1995) y la cuenca Neuquina adquirió la configuración de una cuenca de retroarco-antepaís (Fig. 6), provocando la migración de los depocentros hacia el este (Franzese *et al.*, 2003).

Esta etapa se caracterizó por la paulatina continentalización de los ambientes depositacionales, controlados mayoritariamente por una tectónica compresiva (Franzese *et al.*, 2003) y minoritariamente por periodos de relajación tectónica (Zapata y Folguera, 2005) e intrusiones marinas. Los sedimentos continentales se encuentran representados en el Grupo Neuquén, el cual se encuentra cubierto por sedimentitas clásticas y carbonáticas de ambiente marino somero del Grupo Malargüe, que representa la primera transgresión atlántica de la cuenca.

Como resultado de los diferentes eventos de deformación, dentro de la cuenca se pueden reconocer dos regiones: los Andes Neuquinos, al oeste y el engolfamiento Neuquino al este y sureste (Howell *et al.*, 2005).

C.- Fase de antepaís

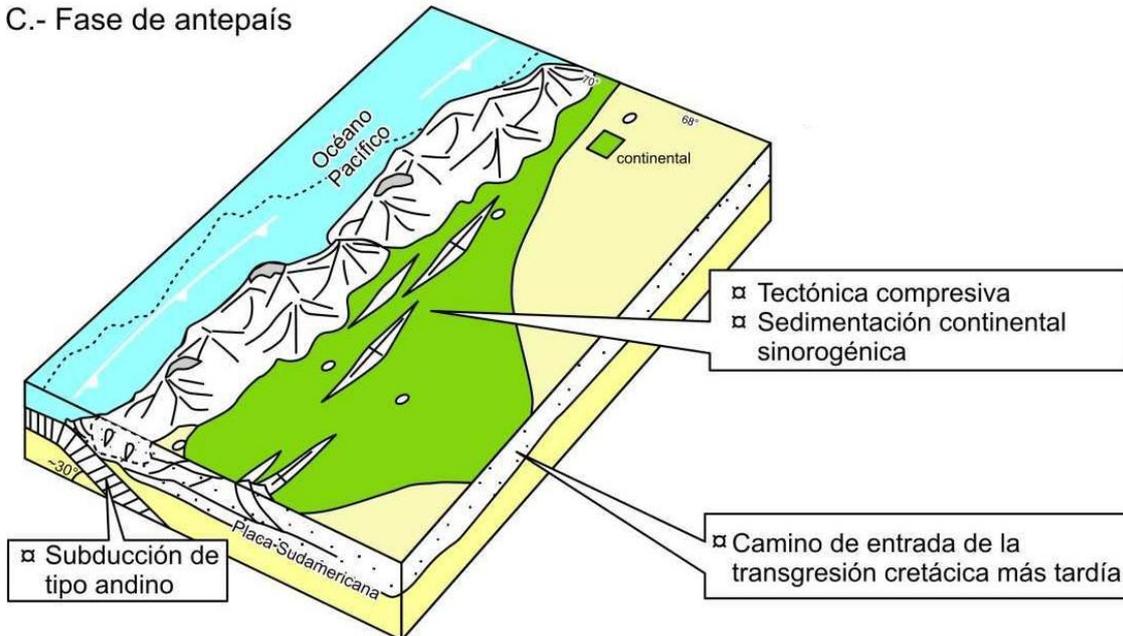


Figura 6. Esquema de la cuenca con el levantamiento de los Andes para el Cretácico Superior. Desarrollo de la cuenca de antepaís casi totalmente continental, salvo por la ingresión marina del océano Atlántico (tomado de Howell *et al.*, 2005).

3.2. Evolución Estratigráfica

La historia de la cuenca Neuquina como área receptora de sedimentos se inicia en el Triásico Superior–Jurásico Inferior y desde allí hasta la formación de la Cordillera de los Andes acumuló unos 7.000 metros de depósitos del Jurásico y Cretácico (Fig. 7). El sustrato de dicha cuenca posee una antigua historia de acreción por colisión de diferentes terrenos conformados por corteza continental durante el Paleozoico (Charrier *et al.*, 2007).

La colisión del terreno de Patagonia generó un frente de deformación adosado que es en tiempo equivalente a los movimientos gondwánides o interpérmicos (Keidel, 1922). El colapso de este orógeno en el Pérmico Superior, dio origen a la provincia magmática Choiyoi que forma parte del basamento de la cuenca Neuquina. Esta actividad magmática generalizada, mesosilícica a silícica, se desarrolló durante el Pérmico y parte del Triásico sobre el margen continental

activo del continente de Gondwana (Llambías y Sato, 2011). Las rocas generadas durante este periodo integran al Grupo Choiyoi.

3.2.1. Triásico Superior-Jurásico Inferior

Según Llambías *et al.*, (2007) este magmatismo continuó durante el Triásico Superior-Jurásico Inferior, pero ya desarrollado dentro de depocentros aislados limitados por fallas, tipo hemigraben. Esto marca el fin del Ciclo Gondwánico, asociado a la fase diastrófica Huárpica, para dar comienzo al denominado Ciclo Andino, y a la etapa de *rift* (Mosquera y Ramos, 2005). El relleno de los hemigrábenes es principalmente de carácter volcánico y volcanoclásticos, sólo es alterado en el engolfamiento Neuquino donde se desarrollan sistemas lacustres y continentales asociados y arealmente restringidos conocidos como depocentros Llantenes, Puesto Kauffmann y China Muerta (Arregui *et al.*, 2011). Estos depósitos se agrupan de forma genérica en el Grupo Precuyano (Gulisano, 1981), limitado por dos discordancias, la Intratriásica a la base (215 Ma) y la Intraliásica al tope (208 Ma).

3.2.2. Jurásico Inferior-Cretácico Inferior

A partir del Jurásico Inferior y hasta el Cretácico Inferior se suceden una serie de ciclos sedimentarios de diferente magnitud tanto en tiempo como en distribución paleogeográfica y espesores que marcan alternancias de sedimentación marina y continental (Arregui *et al.*, 2011). El primero es el Grupo Cuyo que abarca depósitos entre el Hattangiano y el Caloviano Medio y está constituido por lutitas marinas profundas ricas en materia orgánica de la Formación Los Molles seguida por depósitos clásticos correspondientes a la Formación Lajas (Weaver, 1931) y culmina con facies aluviales de las Formaciones Punta Rosada (Digregorio, 1972) y Challacó (De Ferrariis, 1947). El siguiente es el Grupo Lotena (Calloviano Medio-Oxfordiano Superior), también conocido como Ciclo Loteniano-Chacayano (Arregui *et al.*, 2011). El mismo está constituido por sedimentos clásticos y carbonáticos correspondiente a las Formaciones Lotena y Barda Negra (Weaver, 1931) que representan un ciclo transgresivo-regresivo durante el que se depositaron las calizas arrecifales en la base, pertenecientes a la Formación La Manga (Stipanovic, 1966) y evaporitas en la parte superior, de la Formación Auquilco (Weaver, 1931).

3.2.3. Cretácico Inferior – Cretácico Superior

El Grupo Mendoza (Kimeridgiano-Barremiano), da inicio a la depositación del Ciclo Andino (Stipanovic *et al.*, 1968), el cual inicia con una continentalización de la cuenca que está representada por las areniscas continentales de la Formación Tordillo. Estos depósitos continentales culminan abruptamente en el Titoniano y son reemplazados por pelitas oscuras pertenecientes a la Formación Vaca Muerta, los carbonatos de la Formación Quintuco, sedimentos marinos someros de la Formación Mulichinco y clásticos marinos de la Formación Agrio (Weaver, 1931). Los depósitos de la Formación Agrio pueden subdividirse en dos miembros (Pilmatué y Agua de la Mula) (Weaver, 1931; Leanza *et al.*, 2001) separados por sedimentitas continentales correspondientes al Miembro Avilé. El Ciclo Andino se completa con sedimentos continentales, marinos someros y evaporitas de la Formación Huitrín (Uliana *et al.*, 1975) y Rayoso (Aptiana-Albiana).

3.2.4. Cretácico Superior – Plioceno

Durante el Cretácico Superior, la renovada actividad tectónica en los Andes convirtió a la cuenca Neuquina en una cuenca de antepaís (Ramos, 1981). Durante el transcurso de esta etapa, se produjo la acumulación de los depósitos que integran el Ciclo Riográndico, el cual comprende a los subciclos Neuqueniano y Malalhueyano (Groeber, 1946), que se corresponden con los Grupos Neuquén y Malargüe respectivamente. El Grupo Neuquén (Cenomaniano–Campaniano) constituye sedimentos continentales y se encuentra cubierto por las sedimentitas clásticas y carbonáticas de ambiente marino somero del Grupo Malargüe (Maastrichtiano-Paleoceno), estos depósitos representan la primera transgresión marina proveniente del océano Atlántico (Uliana y Dellapé, 1981). Por último, depósitos sinorogénicos del Eoceno y Mioceno, y volcánicos del Plioceno completan el registro sedimentario (Ramos, 1978).

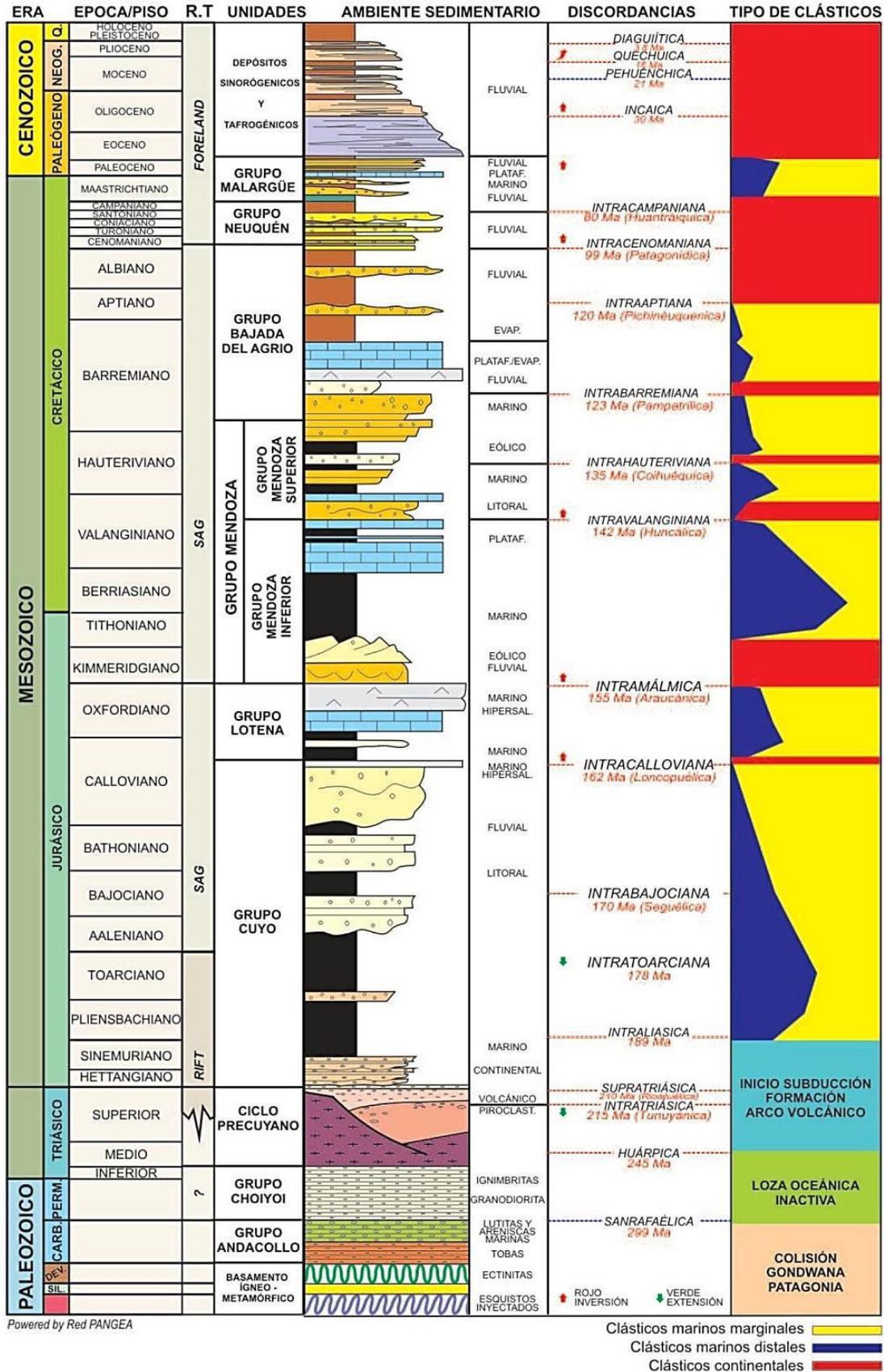


Figura 7. Columna sedimentaria sintética del relleno de la cuenca Neuquina. En ella se identifican las principales discordancias y eventos tectónicos (tomado de Arregui *et al.*, 2011).

3.3. Unidades Morfoestructurales

En la cuenca Neuquina se reconocen seis regiones morfoestructurales (Fig.8): 1) faja plegada y corrida del Agrio; 2) Fosa de Loncopué; 3) Alto de los Chihuidos, 4) Engolfamiento Neuquino; 4) Plataforma Nororiental o externa; 6) Dorsal de Huíncul.

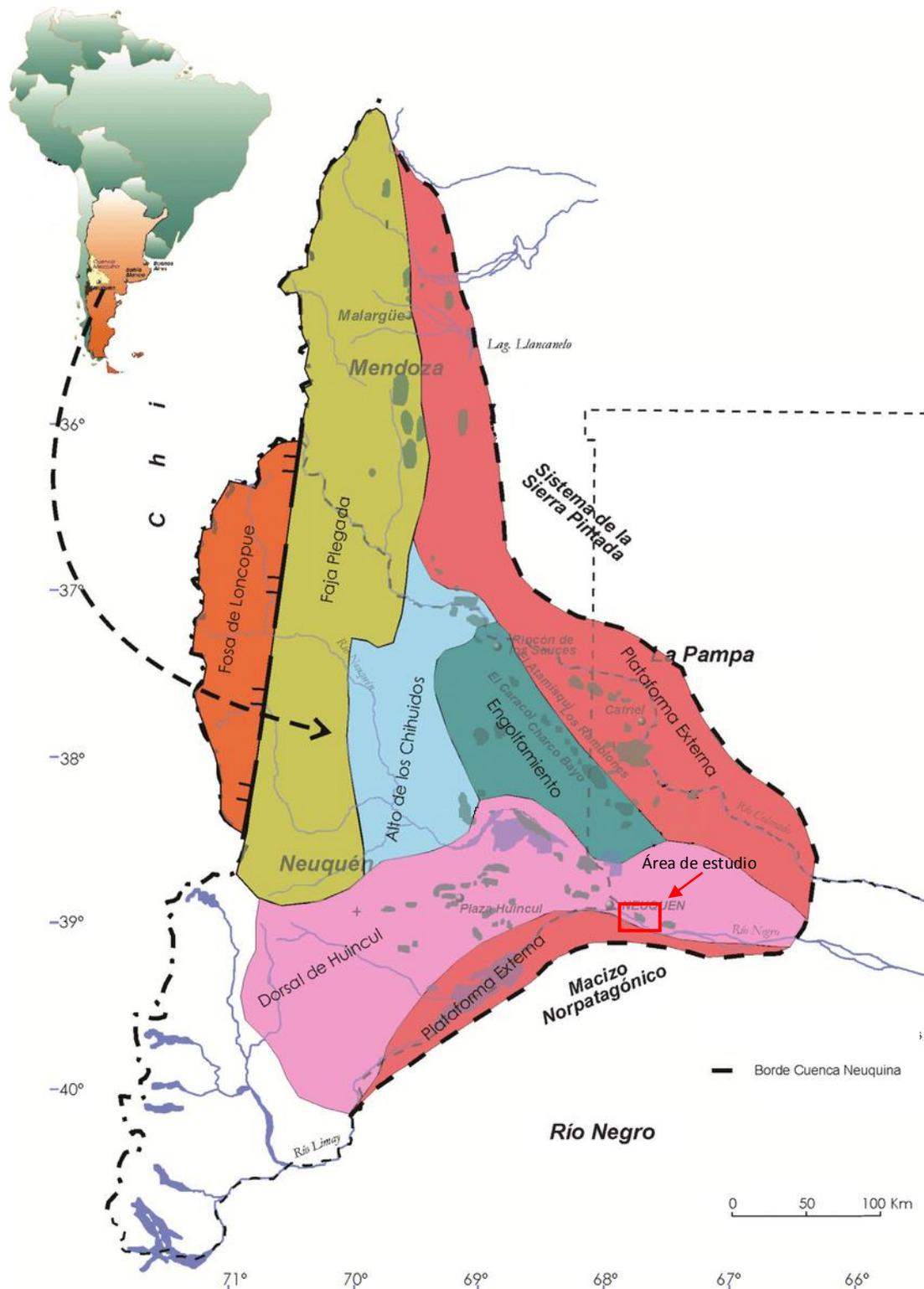


Figura 8. Regiones morfoestructurales de la cuenca Neuquina (tomado de Alonso *et al.*, 2011).

3.3.1. Fosa de Loncopué

Se localiza en el retroarco neuquino, entre los 36°30' y los 39° de latitud sur, entre los Andes Centrales Australes y la Cordillera Patagónica (Rojas Vera *et al.*, 2011). Conformar una depresión plio-cuaternaria que marca el límite de la vertiente oriental de la Cordillera Principal a lo largo de buena parte del territorio neuquino. Está rellena por depósitos cuaternarios cubiertos por importantes coladas basálticas y conos volcánicos de igual composición de naturaleza monogénica (Ramos y Folguera, 2005).

3.3.2. Faja plegada y corrida del Agrio

Se encuentra ubicada en el oeste de la provincia de Neuquén, se caracteriza por una intensa deformación de la cobertura sedimentaria, con desarrollo de amplios anticlinales y sinclinales afectados por fallas (Zapata *et al.*, 2002). Se reconocen dos instancias de deformación con dos zonas bien definidas. Una zona interna, con su estructura controlada por grandes bloques de basamento y una externa controlada por grandes trenes estructurales de deformación epidérmica (Zapata y Folguera, 2005).

3.3.3. Alto de los Chihuidos

Situada principalmente al este del tramo norte-sur del río Neuquén. Es un extenso anticlinal de gran radio de curvatura y rumbo N-S de 70 km de largo y llega a tener entre 15 y 20 km de ancho. Su flanco occidental es empinado, para luego horizontalizarse, mientras que el flanco oriental posee suave inclinación hacia el este entre 2 y 3° (Zamora Valcarce *et al.*, 2009). Esta estructura se ha interpretado como un gran anticlinal controlado por el basamento, adjudicándose un proceso de inversión tectónica, a partir de un antiguo sistema de fallas normales (Cristallini *et al.*, 2005).

3.3.4. Plataforma Nororiental

Al estar ubicada en el borde de cuenca, la cubierta sedimentaria en esta región es relativamente delgada, de unos 2000 metros, disminuyendo hacia el noreste (Legarreta *et al.*, 1999). Presenta un escenario estructural que está dominado por el movimiento diferencial de bloques del basamento producidos por fallamiento extensionales, los cuales estuvieron activos durante la mayor parte de la historia

geológica de esta parte de la cuenca, lo que redundó en un marcado control estructural en la zona (Legarreta *et al.*, 1999).

3.3.5. Engolfamiento Neuquino

Está caracterizada por un plegamiento de las secuencias mesozoicas y terciarias. Su límite occidental está dado por la Cordillera Principal, mientras que el límite nororiental está asociado al borde de cuenca Neuquina en su contacto con el basamento del Bloque de San Rafael y su proyección hacia el sur. El límite sudoriental coincide nuevamente con el de la cuenca Neuquina y su basamento constituido por las estribaciones del Macizo Nordpatagónico o de Somuncurá (Ramos *et al.*, 2011).

La deformación en este ambiente geológico está representada principalmente por fallamiento extensional con un leve componente de desplazamiento de rumbo. La edad de esa deformación es principalmente cretácica. El registro sedimentario en este sector es muy completo y de espesor importante, ya que los procesos erosivos asociados con discordancias estratigráficas o tectónicas en otros sectores de la cuenca, no afectaron mayormente a la sedimentación en esta región (Vergani *et al.*, 2011).

3.3.6. Dorsal de Huincul

Constituye un lineamiento estructural de 300 km de longitud, ubicado a los 39°S, con una orientación E-O transversal al orógeno andino y cuya actividad tectónica durante el Jurásico, Cretácico y en menor medida en el Terciario controló la sedimentación al sur de la cuenca Neuquina (Silvestro y Zubiri, 2008). La evolución tectónica de la dorsal de Huincul (Fig. 9), fue controlada por dos factores principales, por un lado las anisotropías del basamento que controlaron la orientación y estilos estructurales de la deformación de intraplaca y por otro lado, la dinámica del margen convergente pacífico, que definieron la duración de los tres ciclos de deformación de la dorsal (Mosquera y Ramos, 2006). La mayor deformación de la dorsal tuvo lugar en el Jurásico Inferior hasta el Cretácico Inferior, cuando alcanza su máxima expansión. Durante un largo periodo de *rollback* positivo y un vector de convergencia oblicua desde el noroeste entre la paleoplaca pacífica de Aluk y la placa Sudamericana, se produjo la reactivación de una serie de corrimientos de edad pérmica inferior y de depocentros extensionales del Triásico Superior–Jurásico Inferior (Mosquera y Ramos, 2006). Este proceso de

deformación aprovechó una zona de debilidad cortical correspondiente a la sutura entre los terrenos de Patagonia y el de Gondwana Occidental. Esta sutura separó dos bloques con reologías muy distintas: el sector conformado por el macizo Nordpatagónico, al sur, actuó como una resistencia a la deformación, propagándola hacia zonas externas del sistema y reactivando los lineamientos de una corteza más anisótropa y atenuada, ubicada al norte de la sutura (Silvestro y Zubiri, 2008). La convergencia oblicua NO-SE dio lugar al desarrollo de diferentes dominios de deformación, caracterizados por compresión pura, inversión por compresión oblicua, transpresión y transcurrencia (Silvestro y Zubiri, 2008). Este periodo de deformación continua se denominó estadio Aluk (Mosquera y Ramos, 2006). El segundo evento de deformación, también llamado estadio Farallón, se produjo en el Cretácico Superior y estuvo asociado a una rotación antihoraria del campo de esfuerzos al O-E, que provocó una leve deformación en el sector axial y occidental del sistema de Huincul (Mosquera y Ramos, 2006). En el Neógeno se produjo el tercer evento de deformación, denominado estadio Nazca, que estuvo marcado por dos eventos puntuales, por un lado el desarrollo de la faja plegada y corrida del Agrio (Zamora Valcarce *et al.*, 2006) y por otro lado, el colapso extensional de las estructuras del sector axial (Mosquera y Ramos, 2006).

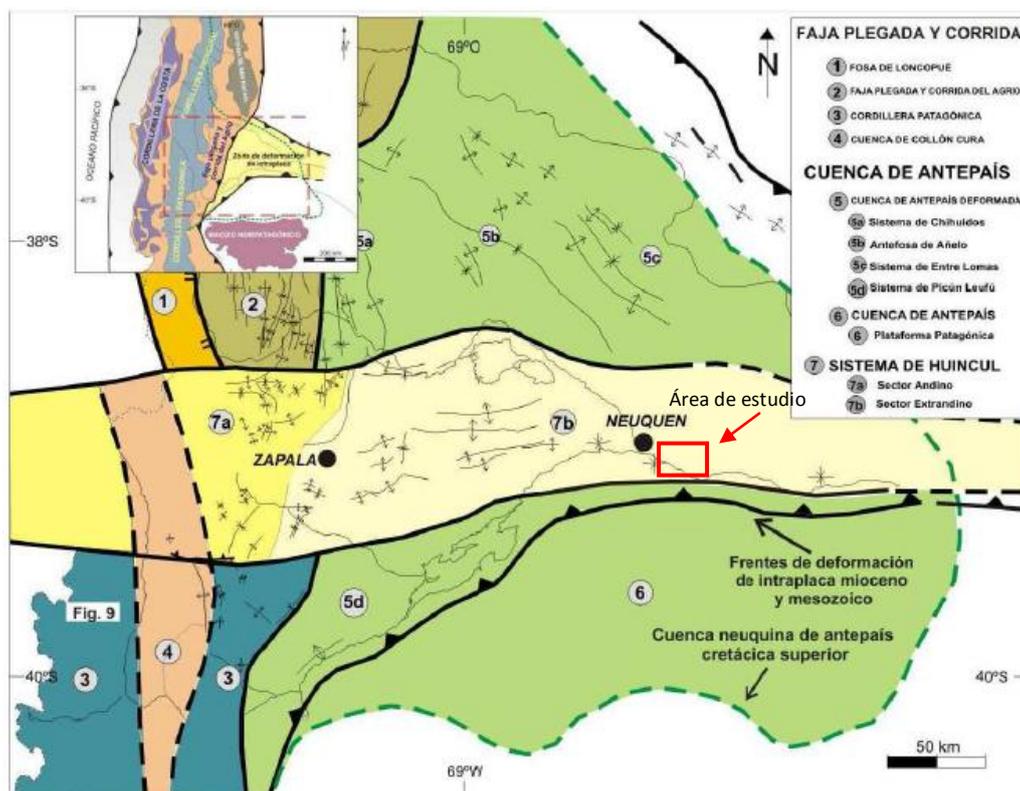


Figura 9. Mapa de ubicación de la dorsal de Huincul dentro de las unidades morfoestructurales de la cuenca Neuquina (tomado de Mosquera *et. al.*, 2011).

4. MARCO ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO

El yacimiento EFO se encuentra ubicado hacia el norte de la dorsal de Huincul en el borde suroriental de la cuenca Neuquina, por lo que su historia estructural comienza en la etapa de *rift* con fallas normales activas que da origen a una serie de fosas aisladas que se desarrollan durante el Triásico Superior-Jurásico Inferior (Franzese y Spalleti, 2001) y el relleno de las mismas se conoce como Precuyano o Grupo Precuyo (Gulisano *et al.*, 1984) y se encuentra constituido por unidades volcanoclásticas, volcánicas y clásticas, que rellenan grábenes y hemigrábenes que comúnmente sobrepasan los 2.000 metros de espesor. Esta extensión se da sobre un basamento anisótropo que condiciona inicialmente el desarrollo de grandes grábenes y hemigrábenes que calcan la dirección noroeste del borde del *rift*.

La extensión no es sólo controlada por el borde del *rift*, sino que aparentemente un graben de orientación este-noreste; oeste-suroeste condiciona el desarrollo de fallas normales con esa dirección (Cristallini *et al.*, 2010). El desarrollo de estas fallas controla fundamentalmente los espesores del Precuyano superior. Al aumentar el porcentaje de extensión del sistema, se empiezan a desarrollar fallas normales de menor porte que las anteriores, pero más abundantes de dirección oeste-noroeste.

El yacimiento EFO presenta una marcada complejidad estructural dada fundamentalmente por la presencia de importantes fallas y altos de basamento. La cubeta principal corresponde a un hemigraben ubicado hacia el suroeste del Sector Estancia Vieja-Loma Kaufman (Fig. 10), (Cristallini *et al.*, 2009), limitado al sur por una falla normal de alto ángulo (77°), con dirección oeste-noroeste con vergencia hacia el nornoreste.

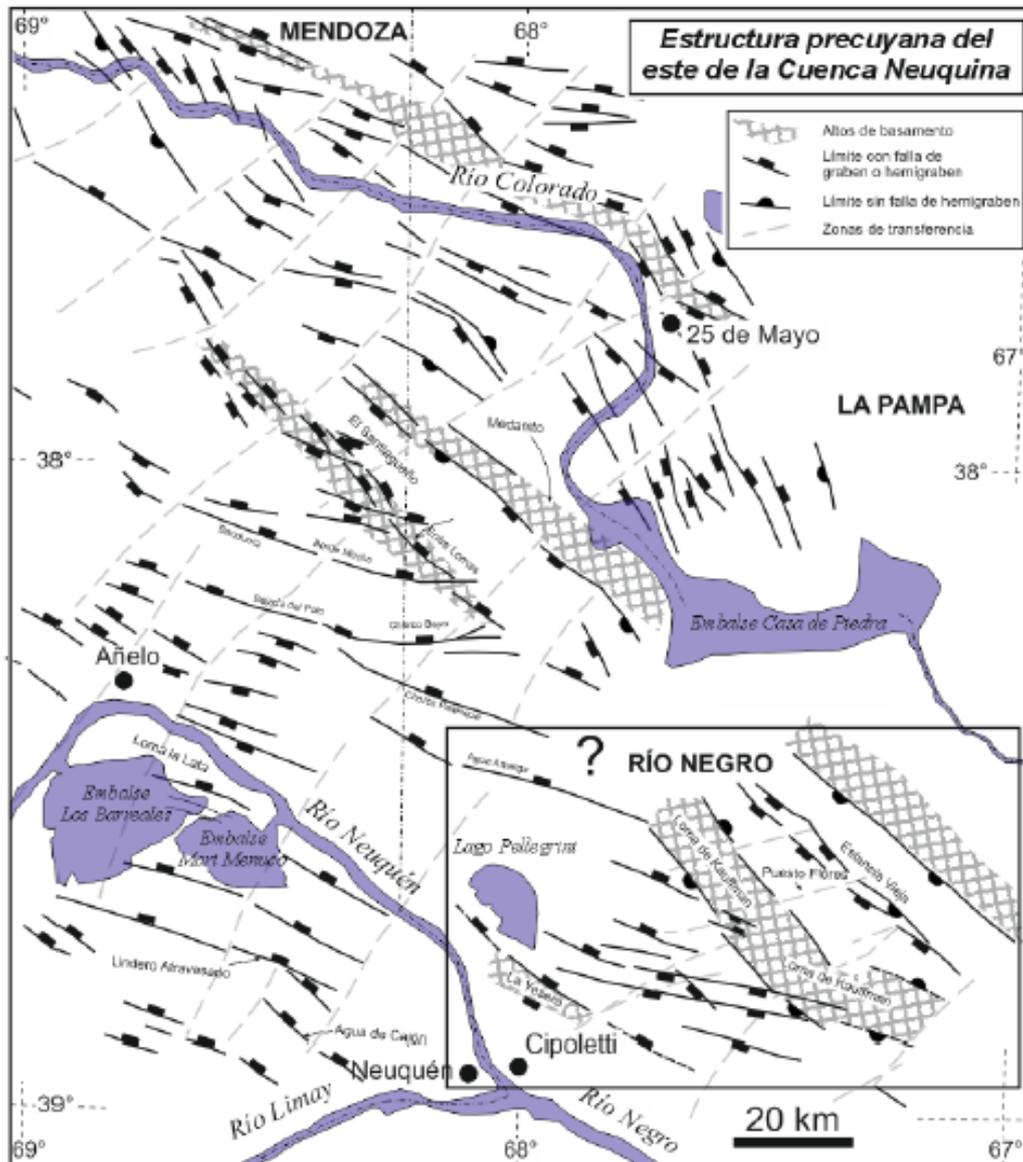


Figura 10. Estructura precuyana del sector del engolfamiento neuquino (tomado de Cristallini *et al.*, 2009).

La estructura en el sector Estancia Vieja-Loma Kaufman está caracterizada por dos sistemas de hemigrábenes con direcciones noroeste-sureste, paralelos entre sí y de polaridad opuesta: sistemas La Yesera y Estancia Vieja, en donde ambos sistemas están separados por el alto de Kauffman (Limeres *et al.*, 2005) que corresponde a una zona de bisagra entre ellos (Fig. 11). El sistema de hemigrábenes Estancia Vieja se encuentra desarrollado a partir de un conjunto de fallas normales que inclinan fuertemente al suroeste y algunas de estas fallas sufrieron inversión tectónica durante el Jurásico Inferior (Cristallini *et al.*, 2009). La etapa compresiva está caracterizada por un esfuerzo principal en la horizontal y con una dirección sureste-noroeste y se propaga de sur a norte invirtiendo parcialmente las fallas de Estancia Vieja y Puesto Galdame. Esta dirección de compresión imprime en algunas fallas preexistentes una componente de

rumbo dextral que va a condicionar la dirección del fracturamiento durante el Jurásico Superior y Cretácico Inferior (Cristallini *et al.*, 2010).

El sistema de hemigrábenes de La Yesera se desarrolla a partir de una falla normal de alto ángulo y dirección noroeste que inclina al noreste (Cristallini *et al.*, 2009).

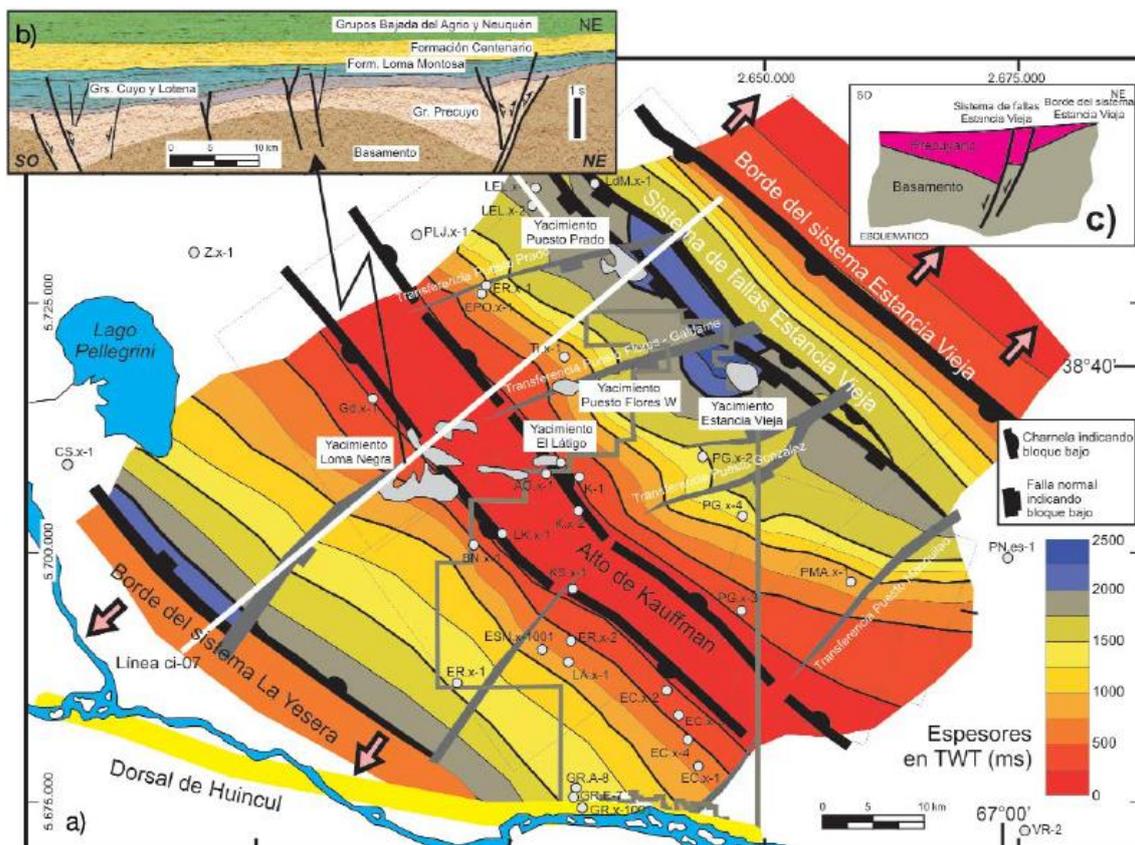


Figura 11. Mapa de las estructuras precuycanas en la región de Estancia Vieja - Loma Kaufman (tomado de Cristallini *et al.*, 2009).

5. MARCO ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRÁFICO DEL GRUPO NEUQUÉN

El estudio del Grupo Neuquén radica en poder tener un mayor conocimiento de las rocas sellos que contiene este grupo, ya que dentro del área de estudio es importante conocer tanto la distribución areal como vertical de esta litología para poder preservar y cuidar de los acuíferos. A continuación se desarrollara un pequeño resumen del Grupo Neuquén con el fin de tener noción de las diferentes litologías que constituyen a las formaciones que integran a dicho grupo.

Bajo la denominación de Grupo Neuquén (Stipanovic *et al.* 1968), se reúne una potente secuencia clástica de naturaleza continental (aproximadamente 1200 metros) desarrollada durante gran parte en el Cretácico Superior, que conforman los afloramientos Mesozoicos de mayor distribución areal dentro de la cuenca Neuquina (Cazau y Uliana, 1973). Esta sucesión de depósitos continentales se encuentra limitada en su base por la discordancia Intersenomaniana o Patagonídica (Leanza, 2009) y en su techo por la discordancia Huantráiquica (Leanza, 2009); ubicadas respectivamente en la base del Cenomaniano (Leanza 2009; Tunik *et al.*, 2010) y en el Campaniano Medio (Dingus *et al.*, 2009). Sus depósitos se encuentran integrados por una sucesión de capas rojas (*red beds*) compuestas principalmente de areniscas, fangolitas y grauvacas; con una reducida participación de horizontes conglomerádicos. Los depósitos tobáceos, tuffíticos y evaporíticos (yeso) representan un bajo porcentaje dentro de la secuencia. Genéticamente estos depósitos son vinculados a un origen predominantemente fluvial, con intercalaciones de episodios eólicos y lacustres someros (Garrido, 2010).

Litoestratigráficamente, el Grupo Neuquén se compone de tres subgrupos y nueve formaciones (Fig. 12). El Subgrupo Río Limay comprende a las Formaciones Candeleros y Huincul, corresponde predominantemente a depósitos de canales de baja sinuosidad. El Subgrupo Río Neuquén comprende a las Formaciones Cerro Lisandro, Portezuelo, Los Bastos, Sierra Barrosa y Plottier, conformando una sucesión alternante de unidades psamíticas y pelíticas de origen fluvial. Finalmente el Subgrupo Río Colorado integrado por las Formaciones Bajo de la Carpa y Anacleto, comprende a depósitos fluvio-lacustres (Garrido, 2010; Paz *et al.*, 2014).

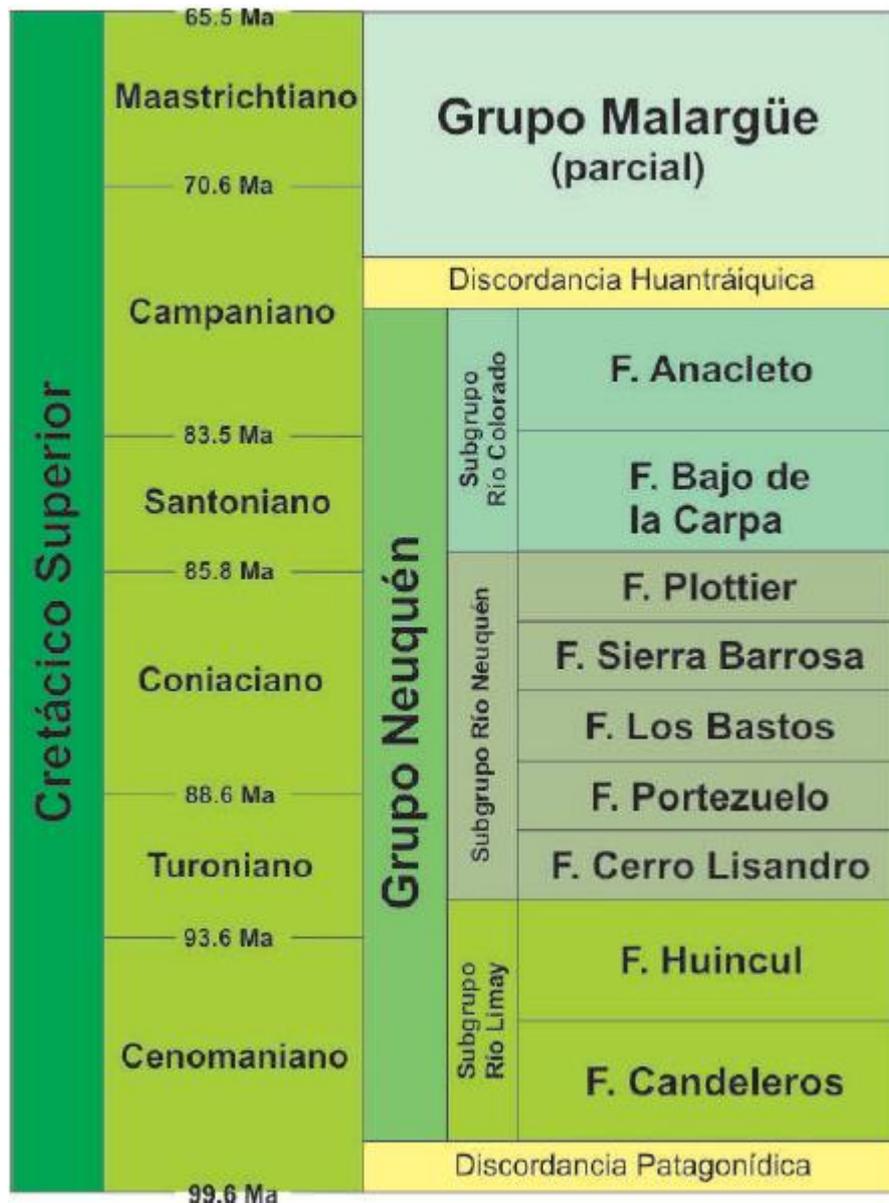


Figura 12. Cuadro litoestratigráfico del Grupo Neuquén (tomado de Garrido, 2011).

5.1. Ambiente Tectónico

Desde el contexto tectosedimentario, el Grupo Neuquén (Fig. 13), ha sido vinculado a un estadio de desarrollo de una fase de antepaís en la cuenca Neuquina, generado como consecuencia del inicio de una tectónica compresional sobre el margen andino a fines del Cretácico Inferior (Tunik *et al.*, 2010). Producto de esta fase compresional se produce la inversión de las antiguas estructuras extensionales con la consiguiente generación de un frente de deformación occidental (faja plegada y corrida) y la migración hacia el este de los depocentros sedimentarios (Ramos y Folguera, 2005; Howell *et al.*, 2005).

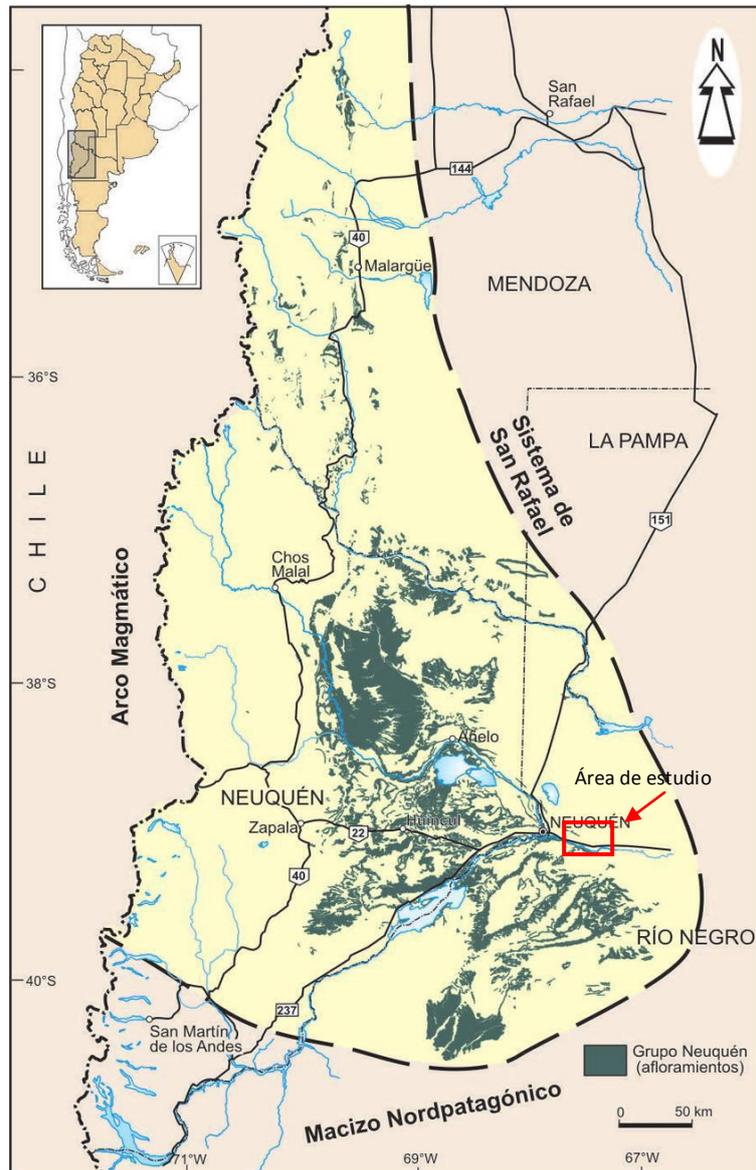


Figura 13. Distribución de los afloramientos del Grupo Neuquén (tomado de Garrido, 2011).

Asociada a esta fase compresiva se produce, a lo largo del eje de la dorsal de Huincul, una nueva elevación de sus bloques, generándose una intensa erosión que llega a afectar incluso a depósitos del Jurásico Medio (Cevallos, 2005). Esta estructura queda de esta manera conformada como un relieve positivo, dividiendo transversalmente a la cuenca en dos cubetas principales de depositación, la cual se habría mantenido como un área positiva hasta al menos, fines de la depositación de la Formación Candeleros. Dicha formación habría recibido aporte de tres áreas principales (Fig. 14): 1) un área occidental, conformada por el frente de deformación de la faja corrida y plegada; 2) un área meridional integrada por el Macizo Nordpatagónico; y 3) un área positiva central conformada por la dorsal de Huincul (Garrido, 2010).

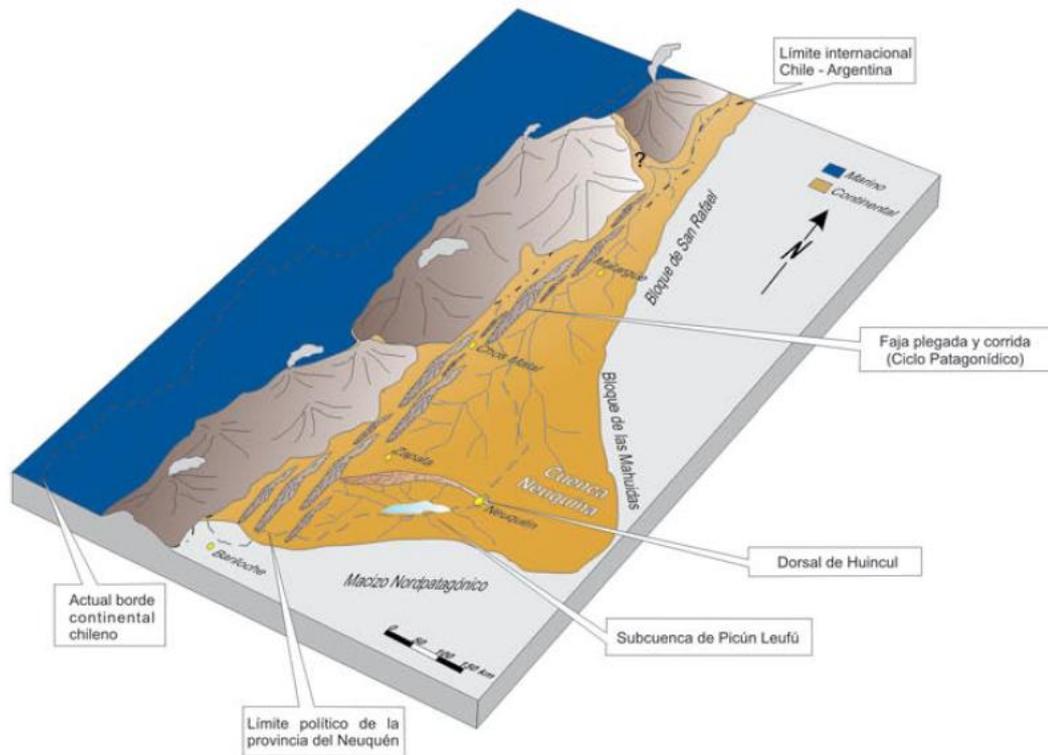


Figura 14. Modelo paleogeográfico durante la sedimentación de la Formación Candeleros (tomado de Garrido, 2010).

A partir de la depositación de la Formación Huincul y hasta la finalización de la depositación del Grupo Neuquén, la situación paleogeográfica es distinta (Fig. 15). La dorsal de Huincul ya no conformaría un elemento divisorio importante dentro de la cuenca durante este lapso de sedimentación. La faja corrida y plegada occidental habría actuado durante este periodo como una importante barrera geográfica, no obstante, su influencia como área de aporte parece haber sido mínima. Contrariamente, los terrenos elevados que conforman el límite austral y nororiental de la cuenca, habrían operado en esta ocasión como las principales áreas de provisión de sedimento (Marchese, 1971; Di Paola, 1973).

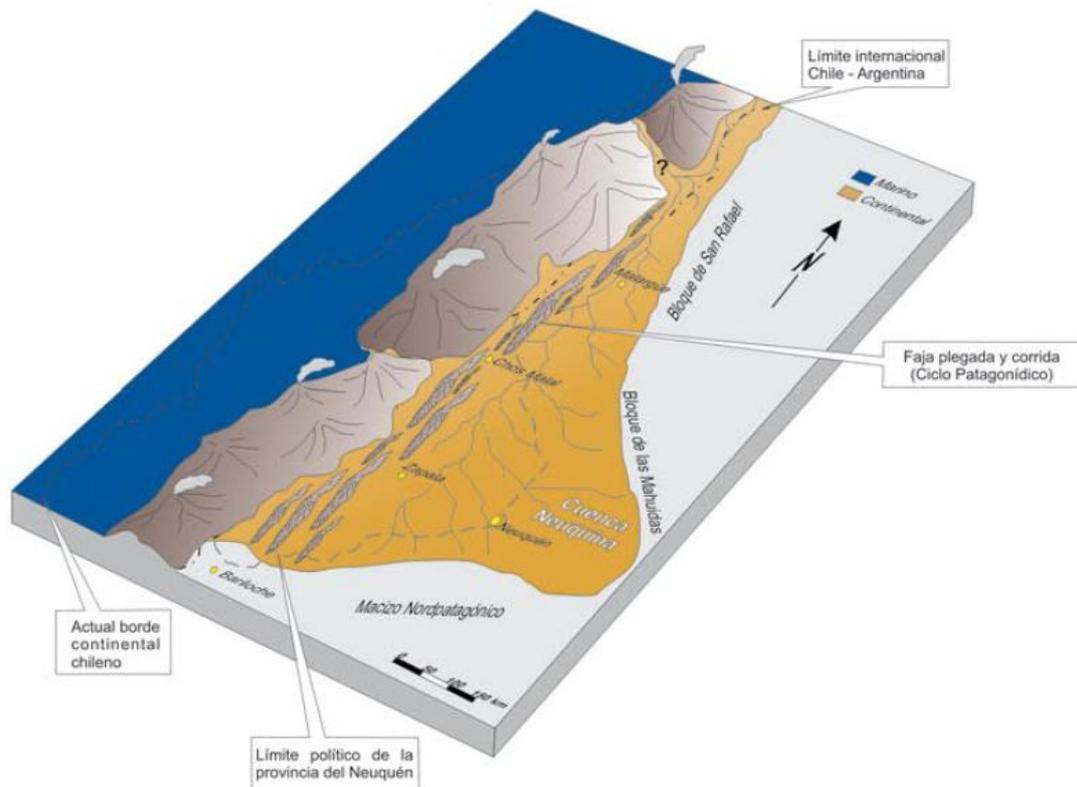


Figura 15. Modelo paleogeográfico durante la deposición de la Formación Huincul y de los Subgrupos Río Neuquén y Río Colorado (tomado de Garrido, 2010).

Los efectos de esta deformación quedan evidenciados en la base del Grupo Neuquén a partir de una marcada discordancia angular y erosiva que define a la discordancia Patagonídica (Leanza, 2009). La culminación de este ciclo sedimentario, se asocia al desarrollo de un arco magmático occidental hacia mediados del Campaniano, asociado a una fuerte subsidencia regional, factor que posibilita el primer ingreso del océano Atlántico a la cuenca (Legarreta *et al.*, 1989). Macdonald *et al.*, (2003) vincula estos último proceso a los cambios en los polos de rotación y reorganización de la placa sudamericana, factor que posibilita la generación de una marcada discordancia regional, denominada Huantráiquica.

5.2. Estratigrafía

5.2.1. Subgrupo Río Limay

El Subgrupo Río Limay representa los depósitos basales del Grupo Neuquén, cuyos afloramientos se distribuyen principalmente a lo largo del tramo medio del río homónimo. Dentro de esta secuencia Garrido (2010) excluye a la Formación Cerro Lisandro, la razón de este cambio es que exhibe características litológicas y genéticas muchas más similares al subgrupo suprayacente. El Subgrupo Río Limay

queda conformado únicamente por las Formaciones Candeleros y Huincul, cuyos depósitos se componen mayormente de areniscas cuarzolíticas de granulometría variada, con alternancia de fangolitas y escasos horizontes conglomerádicos.

Los afloramientos del Subgrupo Río Limay se caracterizan por exhibir extensas superficies de bajo relieve y gran desarrollo areal, rasgo geomorfológico que se caracterizara como “planicies estructurales por arrasamiento” (González Díaz y Ferrer, 1986). Esta característica está dada por la presencia en estas unidades de extensos bancos de areniscas tabulares bien litificados, los cuales ofrecen una mayor resistencia frente a los agentes erosivos, generando grandes superficies de exposiciones planas o escalonadas.

La Formación Candeleros (Fig. 16) se dispone en discordancia angular y/o erosiva sobre diversas unidades del Jurásico y Cretácico Inferior, siendo cubierta por la Formación Huincul a través de una marcada superficie de discontinuidad de carácter regional. Se estima que el espesor máximo para dicha unidad es de aproximadamente 200 metros (Garrido, 2011). Está constituida por una sucesión netamente clástica de granulometría variable, presenta una amplia variedad de componentes litológicos, siendo las areniscas cuarzolíticas, finas a gruesas, con granos subangulosos a subredondeados y moderada a buena selección (Garrido, 2010). La presencia en estos depósitos psamíticos de una abundante matriz fangosa, constituyen un rasgo característico que los distingue fácilmente del resto de las unidades del Grupo Neuquén. Esta matriz es responsable, en gran medida, de la típica coloración morada a rojo hígado que caracteriza a estos depósitos (Garrido, 2010). Es relativamente escasa la participación de los depósitos psefítico, teniendo su mayor desarrollo sobre el sector occidental de la cuenca.

Paleoambientalmente, la Formación Candeleros exhibe una multiplicidad de ambientes de depositación, entre los cuales se destacan: a) sistemas fluviales de tipo entrelazado arenoso y gravo-arenoso, dicha secuencia presenta una sucesión de cuerpos tabulares psamíticos con escasos lentes psefíticos, correspondientes a depósitos de canales multiepisódicos de baja sinuosidad; b) llanura aluvial asociada a depósitos de barreales y cauces efímeros de poco desarrollo (Calvo y Gazzera, 1989); c) en cercanías del embalse de El Chocón, Spalletti y Gazzera (1994) establecen un ambiente de depositación correspondiente a dunas eólicas y de *playa-lake*; y d) en el cañadón Escondido (El Chocón) Sánchez *et al.* (2004); Asurmendi

y Sánchez (2015) sugieren un modelo sedimentario representado por depósitos de abanicos terminales.

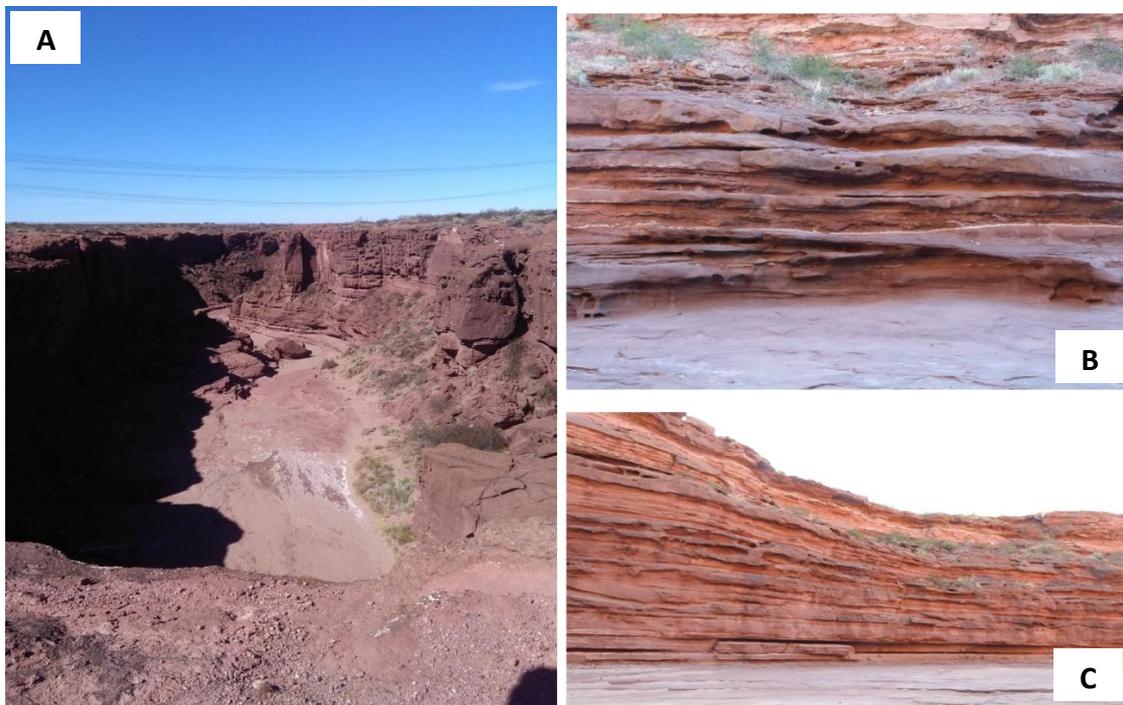


Figura 16. a) Vista de los afloramientos de la Formación Candeleros (área el Chocón); b y c) Geometría lenticular (canales).

Por otra parte, la Formación Huincul (Fig. 17) posee una litología en su mayoría de color amarillento que sobreyace concordantemente a la Formación Candeleros, presentando un contacto neto y marcadamente erosivo. El límite superior de esta unidad está dado por una superficie de discontinuidad regional, sobre la que asienta en relación de concordancia la Formación Cerro Lisandro del Subgrupo Río Neuquén. Posee un espesor máximo del orden de los 250 metros (Garrido, 2010), el cual se encuentra constituido por areniscas cuarcíticas y cuarzolíticas de granulometría variable, presentando escasa matriz y moderado contenido de cemento carbonático. Se encuentra caracterizada por 2 secciones sedimentarias, una sección inferior de entre 20 y 70 metros de espesor, compuesta principalmente por depósitos clásticos finos (areniscas finas y fangolitas) de tonalidades rojizas, gris verdosas y amarillentas pálidas, y una sección superior se conforma por una secuencia granodecreciente de 100 a 185 metros de espesor, en la cual dominan los colores amarillentos (para los niveles psamíticos) y rojizos (para los niveles pelíticos) (Garrido, 2010). Paleoambientalmente, sus depósitos están vinculados a depósitos fluviales de baja sinuosidad de tipo entrelazado arenoso y gravo-arenoso.



Figura 17. Contacto entre la Formación Candeleros y Huincul (tomado de Garrido, 2010).

5.2.2. Subgrupo Río Neuquén

El Subgrupo Río Neuquén está constituido de cinco unidades formacionales, las cuales integran una sucesión alternante de depósitos pelíticos y psamíticos con bajo grado de litificación, con espesores variables del orden de 210 a los 370 metros. (Garrido, 2010). El pasaje entre las formaciones que integran el Subgrupo Río Neuquén es de carácter transicional, factor que dificulta en algunos casos la identificación de los límites entre estas unidades. Cazau y Uliana (1973) consideraron que los cambios en la relación porcentual entre areniscas y fangolitas, conforman la característica más destacable para definir dichos límites.

En líneas generales, sobre el sector centro-austral de la cuenca, las unidades psamíticas del Subgrupo Río Neuquén (Formaciones Portezuelo y Sierra Barrosa), están caracterizadas por depósitos de sistemas de canales arenosos, conformando en conjunto cuerpos tabulares o mantiformes arealmente expandidos. Contrariamente, las unidades fangosas (Formaciones Cerro Lisandro, Los Bastos y Plottier), quedan representadas por depósitos de paleocanales simples, de carga mixta, conformando cuerpos cordoniformes arealmente reducidos (Garrido, 2010).

La Formación Cerro Lisandro (Fig. 18) se presenta en concordancia y a través de una marcada superficie de discontinuidad regional sobre la Formación Huincul. El espesor total de su columna sedimentaria es del orden de los 45 a 70 metros de potencia (Garrido, 2010). Litoestratigráficamente se conforma por depósitos clásticos finos, entre los que predominan potentes bancos de fangolitas rojas que se intercalan con delgados niveles de limolitas y areniscas finas cuarzomicáceas, débilmente consolidadas (Garrido, 2011). Estos depósitos se vinculan a medios fluviales sinuosos de carga mixta o fangosa dominante (Garrido 2000; Salgado *et al.*, 2009), planicies fangosas distales de sistemas fluviales (Leanza *et al.*, 2001) y a complejos de distributarios proximales de abanico terminal (Sánchez *et al.*, 2008).



Figura 18. Afloramientos de la Formación Cerro Lisandro (tomado de Garrido, 2010).

La Formación Portezuelo (Fig. 19) se encuentra en concordancia y de manera transicional sobre los niveles pelíticos de la Formación Cerro Lisandro, haciendo dificultosa en muchos casos la identificación exacta de sus contactos (Garrido, 2010). El espesor máximo medido para esta unidad en su localidad tipo es de aproximadamente 96 metros (Garrido, 2010), encontrándose constituidos por una sucesión de psamitas y pelitas interestratificadas en porcentaje variable, existiendo en general un dominio de la fracción clástica arenosa (Garrido, 2010). Según Garrido (2010) y Salgado *et al.*, (2009), los depósitos de la Formación Portezuelo están vinculados a sistemas fluviales de alta sinuosidad, de tipo meandroso y carga arenosa dominante.



Figura 19. Afloramientos de la Formación Portezuelo (tomado de Garrido, 2010).

La Formación Los Bastos sobryace en concordancia y de manera transicional a la Formación Portezuelo, mostrando la misma relación entre su techo y los depósitos de la unidad suprayacente. El espesor máximo medido para esta unidad es del orden de los 35 metros (Garrido, 2011) y litológicamente, esta unidad presenta características similares a las de la Formación Cerro Lisandro, encontrándose mayormente compuesta por potentes bancos de fangolitas rojas. Estas sedimentitas han sido atribuidas a depósitos de sistemas fluviales sinuosos de carga mixta a fangosa (Garrido, 2010).

La Formación Sierra Barrosa sobryace en concordancia y de manera transicional a la Formación Los Bastos. El espesor medido para la misma es de 62 metros y se encuentra compuesto por una sucesión de areniscas de granulometría mediana a fina, débilmente consolidada, con intercalaciones menores de niveles fangosos. Paleoambientalmente, es atribuida a depósitos de sistemas fluviales de alta sinuosidad y carga arenosa dominante.

La Formación Plottier asienta concordantemente y de forma transicional a la Formación Sierra Barrosa (Fig. 20), siendo cubierta a través de un contacto neto por los niveles basales de la Formación Bajo de La Carpa. El espesor de esta unidad es de 25 metros (Rodríguez *et al.*, 2007); y se compone casi exclusivamente de pelitas rojas a rojizas pálidas, poco consolidadas, con intercalaciones de bancos de

limolitas y areniscas finas micáceas de color preponderantemente amarillento a gris-verdoso (Garrido, 2010). Estas sedimentitas han sido asociadas a depósitos de baja energía, vinculados a amplias llanuras aluviales de escaso relieve (Cazau y Uliana, 1973; Ramos, 1981). Más recientemente, Salgado *et al.*, (2009) y Garrido (2010) atribuyeron a las mismas a depósitos de sistemas fluviales sinuosos de carga mixta a fangosa dominante.



Figura 20. Contacto entre las Formaciones Sierra Barrosa y Plottier (tomado de Garrido, 2010).

5.2.3. Subgrupo Río Colorado

El Subgrupo Río Colorado está integrado por las Formaciones Bajo de la Carpa y Anacleto (Fig. 21). Sus depósitos están conformados por alternancias en porcentajes variables de fangolitas, areniscas cuarzolíticas y conglomerados polimícticos. Dentro del Grupo Neuquén, estos depósitos son los que presentan las mayores variaciones en cuanto a granulometría y color de acuerdo a su ubicación geográfica dentro de la cuenca (Garrido, 2010).

Sedimentológica y paleoambientalmente, las unidades de este subgrupo exhiben fuertes variaciones laterales; mostrando diversos tipos de dominios litológicos ligados genéticamente a depósitos de origen fluvial, eólico y lacustre, alcanzando un espesor del orden de los 105 y 180 metros (Garrido, 2011)

La Formación Bajo de la Carpa se asienta concordantemente sobre los depósitos de la Formación Plottier a través de un marcado plano de discontinuidad regional, delineando un abrupto contacto neto (Garrido, 2010). Según Herrero Ducloux (1939) los espesores rondan entre los 65 a 70 metros de potencia, estando constituida por una sucesión de depósitos predominantemente psamíticos con interstratificación de horizontes pelíticos. La fracción pelítica se encuentra integrada por fangolitas rojizas poco consolidadas, seguidas por depósitos limo-

arenosos (Garrido, 2010). Esta unidad muestra una marcada variación lateral de facies, gradando desde depósitos de claro dominio fluvial de baja sinuosidad a niveles de planicie de inundación distal con fuerte participación de sedimentitas de origen eólico (Garrido, 2011)

La Formación Anacleto asienta concordantemente sobre los depósitos de la Formación Bajo de la Carpa a través de un marcado plano de discontinuidad regional siendo, cubierto en disconformidad (contacto erosivo), por los depósitos de la Formación Allen (Grupo Malargüe). Los espesores andan en el orden de los 90 metros, integrado litológicamente por una sucesión de depósitos pelíticos, integrada por una marcada alternancia de fangolitas y limolitas arenosas poco consolidadas. También, está constituida por depósitos psamíticos finos, principalmente de areniscas cuarzolíticas y cuarzomicáceas, con porcentaje variable de matriz fangosa y débil cemento carbonático. Paleoambientalmente, muestra marcadas diferencias faciales a lo largo de la cuenca. En el sector centro-austral de la cuenca, la misma ha sido interpretada como depósitos de canales amalgamados de baja sinuosidad con intervalos gravosos, gradando hacia el techo hacia un dominio de depósitos de planicie de inundación (Garrido, 2010). Para el sector norte de la cuenca, esta unidad ha sido atribuida a depósitos de sistemas fluviales meandrosos de carga mixta, gradando hacia el techo a depósitos de barreales y cuerpos lacustres someros (Uliana y Dellapé, 1981; Garrido, 2010).



Figura 21. Formaciones que integran al Subgrupo Río Colorado (tomado de Garrido, 2010).

6. METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO

En este apartado se presenta una breve descripción de las tareas desarrolladas en el campo y las llevadas a cabo en el gabinete. Conjuntamente se desarrolla un fundamento teórico que detalla cada uno de los métodos que se tuvieron en cuenta como herramientas para la elaboración de este Trabajo Final. Se explicará el análisis de control geológico, de microscopia electrónica así como también el análisis de extendido de arcilla, de perfiles eléctricos, la generación de mapas estructurales e isopáquicos y por último, la metodología de interpretación sísmica para ajustar los mapas antes mencionados.

Mediante estas tareas realizadas se buscó cumplir con los objetivos planteados en este trabajo de caracterizar y describir los sellos presentes en el Grupo Neuquén, en el área del yacimiento EFO.

6.1. Tareas de campo

El trabajo de campo consistió en primera instancia en realizar una visita al área de estudio con el objetivo de conocer las principales instalaciones en las áreas de operación de la industria hidrocarburífera, además de identificar la procedencia de los datos utilizados en este trabajo, como así también visitar los afloramientos con el fin de identificar los depósitos del Grupo Neuquén en superficie.

Durante las tareas de campo se visitaron tres locaciones del yacimiento EFO y junto al *Company Man* se recorrieron las instalaciones de cada una de ellas y se accedieron a las cabinas de control geológico. Los diferentes geólogos a cargo de esta operación nos explicaron que las muestras del Grupo Neuquén se toman cada 5 metros por no ser una zona de interés y que a medida que avanza la perforación hacia la formación de interés se realizan cada 2 metros. A la hora de realizar las descripciones de las muestras se llevan a cabo con el *cutting* húmedo para poder así obtener mayor información y los datos que se obtienen son características físicas como por ejemplo: tipo de litología, color, mineralogía, tipo de matriz y a las muestras pertenecientes a la formación de interés se les hace la prueba de fluorescencia para determinar si contiene hidrocarburos. El propósito de estas visitas fue aprender a describir cuales son las propiedades físicas que el geólogo describe, a la hora de caracterizar los recortes de rocas (*cutting*).

En unas de estas visitas se conoció un camión de perfilaje de la empresa de servicio Schlumberger y se observó como se realiza el perfilaje de los primeros 600 metros correspondientes al tramo de la cañería guía del pozo, es en este punto donde se coloca el zapato y se realiza el cambio de cañería. Es importante la realización del perfilaje de este tramo porque es la sección que cumple la función de proteger y aislar del pozo a los acuíferos más someros del área y además va a permitir corroborar si la operación de entubado y cementación cumplen con las normas de calidad para continuar con la siguiente fase de perforación del pozo. Los perfiles que se llevan a cabo son: Rayos Gamma (GR), Potencial Espontáneo (SP), Resistividad y Sónico (DT). Dichos perfiles entregan una descripción del subsuelo, en función de su respuesta a distintos fenómenos físicos.

Por otra parte, en cuanto a las visitas a los depósitos del Grupo Neuquén se identificaron afloramientos análogos a la posición del yacimiento EFO. Se visitó únicamente la localidad de Villa El Chocón, con el objetivo de conocer la Formación Candeleros y así tratar de identificar las rocas sellos y poder de esta manera compararlas con lo visto en el *cutting*.

6.2. Tareas de gabinete

Finalizadas las tareas de campo, se procedió a realizar las tareas de gabinete, las cuales estuvieron enfocadas en la descripción e interpretación de los datos obtenidos en los pozos del yacimiento.

Se describieron 1500 metros de *cutting* para cada uno de los siguientes pozos: EFO-1, EFO-2, EFO-3, EFO-4, EFO-5, EFO-6 y EFO-7, con el objetivo de realizar una revisión de los datos tomados por el geólogo de la operación y así poder generar una correlación de los niveles sellos de mayor interés. En un primer lugar, la tarea que se llevó a cabo es la observación del *cutting* a ojo desnudo y posteriormente se observó a la lupa de escritorio, para realizar una mayor descripción del tipo de litología, minerales y granulometría de la muestra, las cuales son tomadas cada 5 metros en el Grupo Neuquén. El *cutting* observado fue comparado con la descripción realizada por el geólogo de la cabina de control geológico para cada uno de los pozos y en el caso de que no coincidiera se procedió a la corrección, donde se volcó todo el relevamiento del *cutting* descrito en tablas (ver Anexo A: Tablas descriptivas), que luego sirvieron para cargar en un *software* llamado Petrel y así

visualizar el nuevo perfil. Cabe destacar que se trabajó con mayor énfasis en la descripción a los niveles sellos, ya que es el tema principal de este trabajo.

Se escogieron 2 muestras de *cutting*. A cada una de ellas se les realizó análisis de roca total y extendido de arcilla a través de DRX y se las observó al microscopio electrónico (SEM). Estas tareas se realizaron con el objetivo de conocer la composición química de las rocas sellos. Dichas tareas fueron realizadas en las instalaciones del Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG) de la ciudad de General Roca.

Posteriormente con los perfiles de control geológico ya corregidos se procedió a realizar una comparación de lo visto con las respuestas de los perfiles eléctricos (GR-SP-Resistivo y Sónico). El objetivo de esta tarea fue distinguir las respuestas de los perfiles antes las diferentes litologías observadas y corregir los pases con mayor exactitud entre los diferentes niveles.

Una vez realizado la descripción, caracterización y haber corroborado los perfiles litológicos juntos a los perfiles eléctricos, se procedió a cargar dichas correcciones al *software* de la empresa que permite visualizar toda la información disponible en un pozo en diferentes *tracks*. Este permite generar diferentes *tracks*, tales como: 1) litológico (a partir de una tabla Excel); 2) perfiles eléctricos; 3) datos de presión; 4) sísmica; 5) comentarios, entre otros. A partir de estos datos previamente cargados se generó una correlación litológica como así también una correlación de perfiles eléctricos. En ellas se pueden observar las diferentes secuencias depositacionales y sus respectivas propiedades petrofísicas. A través de estas correlaciones se procedió a generar los mapas estructurales e isopáquicos de cada una de las secuencias del sector oeste de la zona de estudio.

Por último, se realizó la interpretación sísmica 2D y 3D, la cual se llevó a cabo a partir del picado de los principales reflectores correspondientes a los niveles sellos y se generaron mapas de los mismos a escala de yacimiento.

A continuación se desarrolló una breve descripción teórica de todas las actividades realizadas en el gabinete.

6.2.1. Control geológico

Durante la actividad de control geológico se obtienen datos de fundamental importancia a la hora de diseñar el programa de terminación del pozo. La unidad de control geológico puede monitorear las manifestaciones del pozo durante la perforación del mismo, estos hechos se producen sólo en esta etapa y son únicos e

irrepetibles en el tiempo. Por lo tanto, el control geológico es un registro descriptivo y continuó del terreno atravesado. También es considerado una de las herramientas de “observación directa”, que mediante un muestreo sistemático de los recortes de trepano (*cutting*), de gas y parámetros de perforación, se logra reconstruir la secuencia atravesada (Hawker *et al.*, 2001).

El resultado de esta operación es el *Masterlog* (Fig. 22), el cual es el registro del pozo elaborado en tiempo real, en donde una vez finalizado el pozo suele compararse con los registros eléctricos (por ejemplo: rayos gamma y resistividad) para correlacionar y describir con mayor detalle la evidencia geológica (Valhaug, 2015). Está constituido por 8 *tracks*: 1) contiene la información del cronometraje y de la velocidad de perforación (ROP), datos de lodo, velocidad de perforación y en algunos casos los registros de verticalidad; 2) profundidad de pozo; 3) descripción porcentual del *cutting*; 4) contiene en escala logarítmica, los valores de gas total y cromatografías; 5) porosidad visual; 6) datos de calcimentria; 7) columna de litología interpretada y 8) resumen de la descripción de las litologías interpretadas y dato de fluorescencia de las muestras.

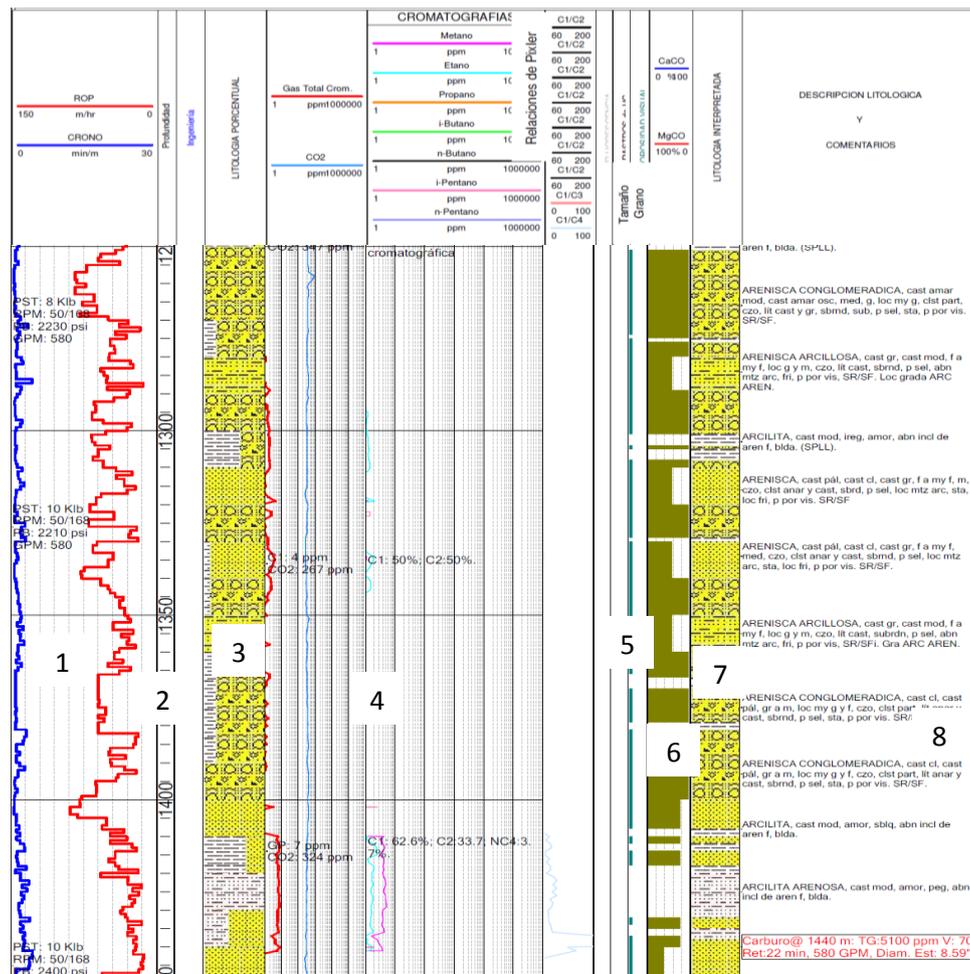


Figura 22. Ejemplo de Masterlog: 1) información del cronometraje, datos de lodo, perforación; 2) profundidad del pozo; 3) descripción porcentual del *cutting*; 4) gas total y cromatografías; 5) datos de porosidad visual; 6) datos de calcimetricia; 7) columna de litología interpretada y 8) descripción litológica y comentarios.

Uno de los datos más importante del control geológico es la cromatografía que consiste básicamente en lograr un retraso de los componentes al atravesar un medio poroso, logrando que los gases con cadenas de carbono más complejas, como el pentano (C_5H_{12}) tomen mayores tiempos de transito que los de compuestos de cadenas más simples, como la del metano (CH_4), estas diferencias se denominan tiempos de retención y son relativamente constantes mientras que las condiciones no varíen. La detección de gas sirve para discriminar el mayor o menor contenido de fluido en los distintos reservorios y los tipos de hidrocarburos contenidos, y por ende nos ayudan a definir zonas con posibles interés, según el resultado de las relaciones cromatográficas (Hawker *et al.*, 2001).

En breves palabras el análisis del control geológico fue de ayuda para tener un mayor conocimiento de las propiedades físicas de la litología estudiada y así poder reconstruir el perfil litológico en el área de estudio.

6.2.2. DRX

Para la caracterización mineralógica de toda la roca es necesario 2 tipos de preparado, el primero como polvo de roca total y el segundo, la separación del contenido arcilloso. De esta manera, las muestras fueron ingresadas al laboratorio, cuarteadas y separadas en 2 fracciones para tal fin. Dichos análisis fueron realizados mediante un difractor de Rx marca Rigaku, modelo SmartLab 3

Para la realización del análisis de polvo de roca total se obtuvo una submuestra representativa de la muestra principal y se la molió manualmente en mortero de ágata, hasta alcanzar un tamaño pasante malla 200 ASTM, equivalente a 74 μm . El material resultante fue distribuido uniformemente en un portamuestra y analizado en el DRX. Hay que tener en cuenta que, la distribución de la muestra sobre el portamuestra, debe realizarse de tal manera que los cristales queden orientados azarosamente, permitiendo que estos sean expuestos a la mayor cantidad de Rayos X posibles. Y que, la identificación de cualquier fase mineral mediante el análisis de DRX, será posible si la proporción de dicha fase es mayor al 5% de contenido en la muestra. El contenido de arcilla se obtuvo a partir de una submuestra representativa (15g aprox.) de la muestra principal. Para ello se colocó dicha submuestra en un tubo tipo *Falcón* con 40 ml de agua destilada y se agitó durante 40 minutos, luego se retiró mediante pipeteo la suspensión que contenía la fracción arcillosa menor a 2 μm . De dicha suspensión, se esparció un mililitro en un vidrio portaobjeto y se dejó secar al aire a temperatura ambiente por 24 horas antes de ser analizados por el DRX. Este procedimiento asegura una sedimentación extendida de los cristales arcillosos preferencialmente sobre sus caras basales una vez que el agua destilada se evapora, lo que permite una correcta identificación. Posterior al análisis DRX del extendido secado al aire (AD), se sometió por 12 hs al mismo extendido, a la solvatación con etilenglicol para luego ser analizado en el DRX. Por último, el extendido de arcillas fue calcinado a 550°C y vuelto a analizar por el DRX.

6.2.3. Microscopio electrónico de barrido (SEM)

Una vez realizada la descripción del *cutting* se decidió tomar 2 muestras de la litología de mayor interés, a una profundidad de 500 metros de diferentes pozos, ubicados a los extremos del área de estudio, con el fin de observarlas al microscopio electrónico.

El microscopio electrónico de barrido (Fig. 23), conocido por sus siglas inglesas SEM, utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo (filamento) que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales de la misma, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes (De Lozano *et al.*, 2014).



Figura 23. Microscopio electrónico del Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG), Universidad Nacional de Río Negro (UNRN).

La técnica que se utilizó fue el de recubrimiento con oro, el cual consiste en recubrir la muestra a analizar con una fina lámina de oro. La Figura 24, muestra esquemáticamente lo que se conoce como "*sputtering*" que consiste en una fuente de alimentación en corriente continua regulable de 1 a 3 KV conectada por una parte a una tarjeta de oro u oro-paladio y por otra parte al portamuestras. El conjunto va acoplado a una bomba de vacío (De Lozano *et al.*, 2014). La introducción de un gas tal como el argón en la campana de vacío provoca que los átomos de argón impacten en la tarjeta de oro y se desprendan átomos de dicha tarjeta que son atraídos hacia la muestra, en la cual quedan depositados proporcionando un espesor de recubrimiento que depende del tiempo de exposición.

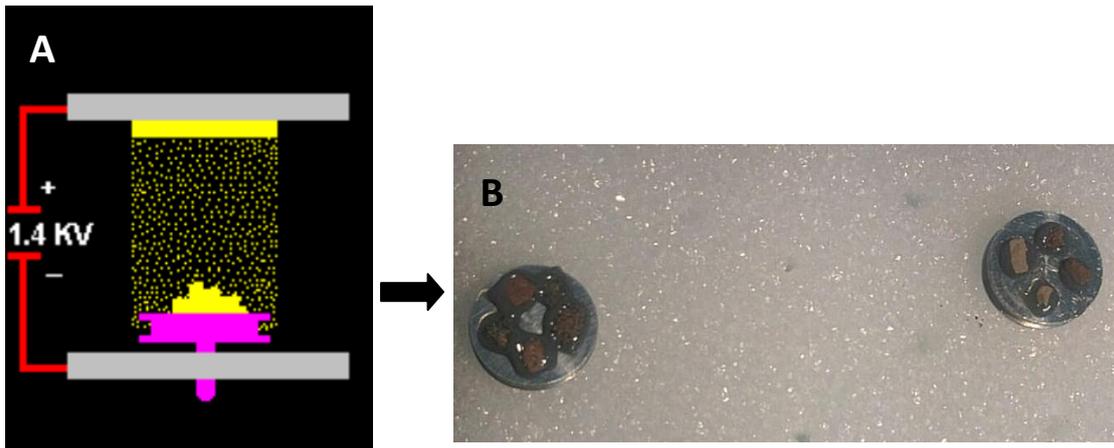


Figura 24. A) Técnica de recubrimiento de oro; B) Muestras obtenidas.

6.2.4. Perfiles Eléctricos

El perfilaje de pozos es la operación mediante la cual son registradas, en función de la profundidad, algunas características de las capas geológicas del pozo. Es importante resaltar que las herramientas hacen mediciones de las rocas cuando estas son inducidas a algún efecto físico o de forma natural.

Para obtener el registro continuó se utiliza una sonda de medición, que es introducida y desplazada progresivamente en el pozo y los resultados son registrados en una gráfica llamada perfil de pozo. Este perfil comprende todas las curvas adquiridas en el pozo y permiten interpretar las características litológicas, propiedades petrofísicas y el contenido de fluido de las mismas.

La Figura 25, es un ejemplo de los perfiles estudiados en este trabajo y de los diferentes *tracks* que lo constituyen.

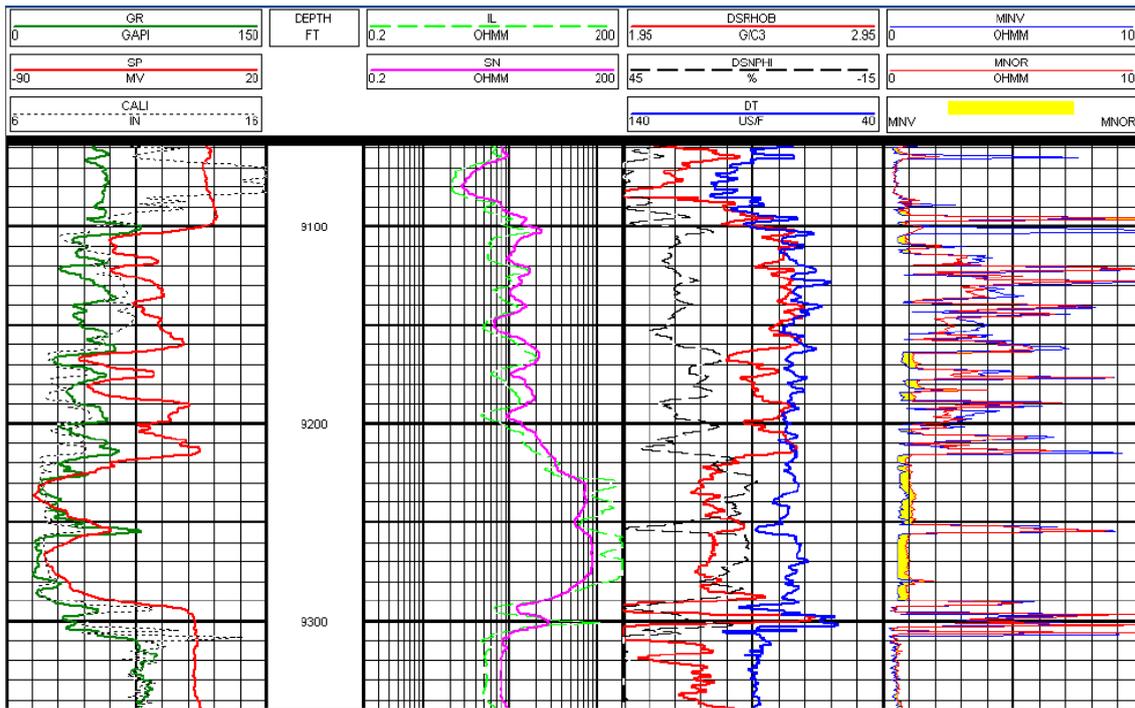


Figura 25. Ejemplo de perfiles eléctricos.

6.2.4.1. Tipos de registros

Las curvas en un perfil pueden representar propiedades de las rocas (resistividades, velocidades del sonido), mediciones geométricas (diámetro del pozo, desviación), y cálculos basados en datos de otros perfiles o combinaciones de cualquiera de ellos. Los métodos de perfilaje se clasifican comúnmente de acuerdo a los principios físicos en que ellos se basan. Existen 3 tipos: acústicos, eléctricos y radioactivos.

Estos tipos de perfiles permitieron interpretar las propiedades petrofísicas de cada una de las secuencias estudiadas. A continuación se detallarán los perfiles utilizados en este trabajo:

➤ Registro de Rayos Gamma (GR)

El registro de rayos gamma (GR) es una medición de la radioactividad natural de las formaciones (en grados API), que depende principalmente del contenido del Potasio (K) y de los elementos radiactivos originados durante el decaimiento de la serie del Uranio (U) y de la serie del Torio (Th).

En las formaciones sedimentarias el registro normalmente refleja el contenido de arcilla, porque los elementos radioactivos tienden a concentrarse en arcillas y lutitas. Las formaciones limpias generalmente tienen un nivel muy bajo de radioactividad, a menos que contaminantes radioactivos como cenizas volcánicas o

residuos de origen granítico estén presentes o que las aguas de formación contengan sales radioactivas disueltas (Schlumberger. Principios/Aplicaciones de la interpretación de registros. *Educational. Services*).

El resultado de la detección de los rayos gamma emitidos por el K, U y Th, es la generación de una curva (Fig. 26) cuyos valores mínimos (GR limpio) corresponden a formaciones con muy bajo contenido de arcillas, mientras que los valores mayores (GR sucio) representan unidades con mayor contenido de arcillas.

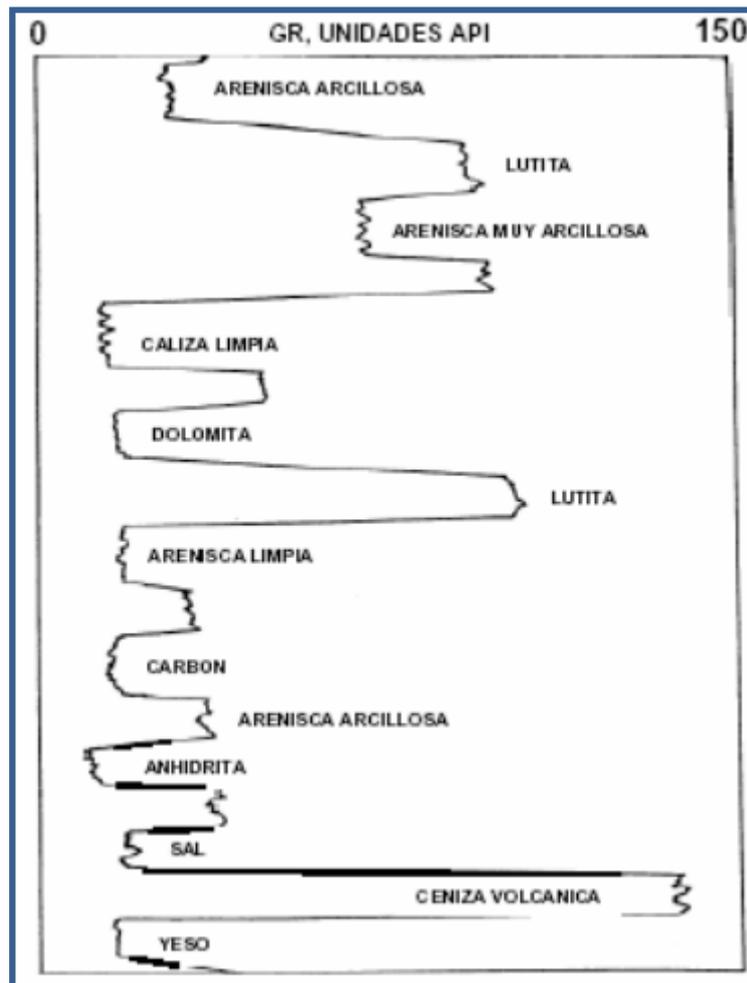


Figura 26. Representación de la curva de GR de acuerdo a la litología presente.

➤ Registro de Potencial Espontaneo (SP)

El potencial espontaneo (SP) es un fenómeno físico que ocurre naturalmente en el pozo en formaciones permeables por la interacción del agua de formación y el fluido de perforación. La curva de SP mide la diferencia de potencial en milivolt (mV) entre un electrodo móvil en el pozo y un electrodo fijo en la superficie en función de la profundidad.

Frente a las lutitas no debe haber deflexiones de la curva SP, por lo que se pueden unir los valores mínimos con una línea recta que se llama línea base de las lutitas o pelitas. En algunos registros se observan desplazamientos de esta línea base, debido a que aguas de formación de diferentes salinidades están separadas por una capa de arcillitas o lutitas que no actúan como membranas perfectas (Schlumberger. Principios/Aplicaciones de la interpretación de registros. *Educational. Service*).

Frente a formaciones permeables, la curva muestra deflexiones con respecto a la línea base de lutitas; en las capas gruesas estas deflexiones tienden a alcanzar una deflexión constante definiendo así una línea de arena. La deflexión puede ser a la izquierda (negativa) o a la derecha (positiva), dependiendo principalmente de las salinidades relativas del agua de formación y del filtrado de lodo (Fig. 27).

La principal aplicación del registro de la curva de SP es permitir diferenciar rocas permeables de rocas no permeables y lutitas. Entre sus aplicaciones secundarias nos permite: a) Definir los límites de las capas; b) Determinar la resistividad del agua de formación, R_w ; c) Indicar de arcillosidad de la capa. Estas últimas aplicaciones son de menor resolución por lo que es recomendable determinarlas a partir de otro registro, por ejemplo: perfil GR o de resistividad (Khatchikian, 2011).

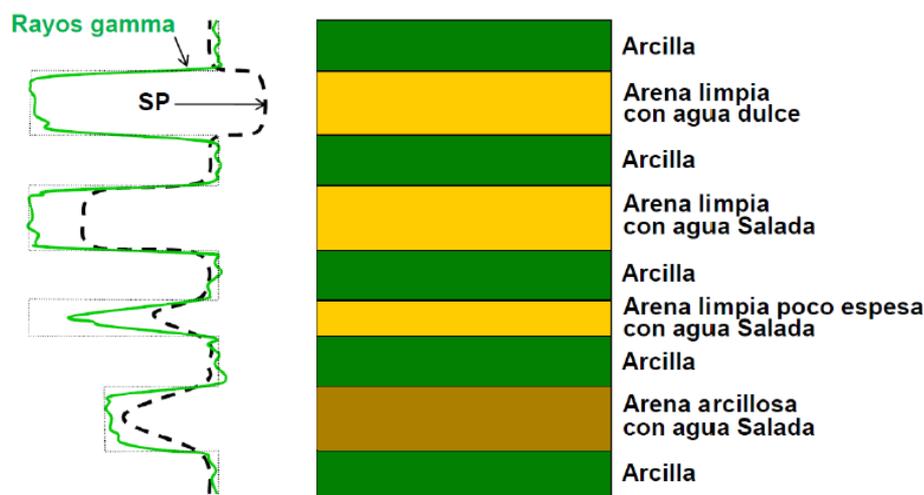


Figura 27. Representación de la curva de SP de acuerdo a la litología presente en un pozo de lodo dulce.

➤ Registro de Resistividad

La resistividad de la formación es un parámetro clave para determinar la saturación de hidrocarburos y puede medirse enviando corriente a la formación a través de electrodos o induciendo dichas corrientes mediante ondas electromagnéticas. La medición depende de la sal disuelta en los fluidos presentes en los poros de las rocas, es decir si los poros contienen agua salada presentará alta conductividad y por lo tanto la resistividad será baja, pero si están llenos de agua dulce, petróleo o gas presentará baja conductividad y por lo tanto la resistividad será alta (Schlumberger. Principios/Aplicaciones de la interpretación de registros. *Educational. Services*).

Hay 2 tipos de dispositivos, los del primer tipo se llaman Lateroperfil y sólo pueden funcionar cuando el lodo es conductivo. Los dispositivos del segundo tipo se llaman Inducción y funcionan con toda clase de lodos. Los perfiles de resistividad (Fig. 28) permiten determinar la resistividad real en la zona virgen (R_t) y en la zona lavada (R_{xo}). La resistividad de una formación depende de:

- La resistividad del agua de formación.
- La cantidad de agua presente.
- La geometría estructural de los poros.

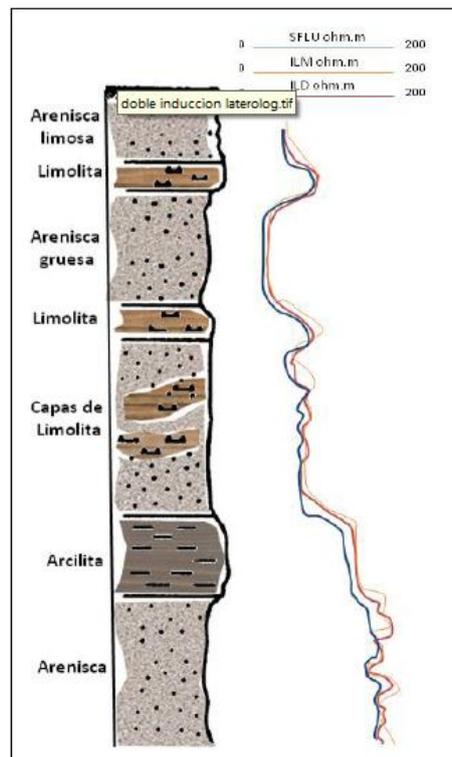


Figura 28. Representación de la curva de Resistividad.

➤ **Registro Sónico (DT)**

El perfil sónico es el registro continuo del tiempo que emplea una onda sonora compresional, para viajar a través de un pie lineal de formación. El tiempo requerido para este viaje, se denomina tiempo de tránsito y se expresa en microsegundos por pie.

El objetivo fundamental de medida de este dispositivo es la porosidad de la formación, ya que la velocidad de propagación del sonido en una formación, depende básicamente de la porosidad de ésta, de la litología y de la naturaleza del fluido que llena el espacio poroso (Schlumberger. Principios/Aplicaciones de la interpretación de registros. *Educational. Services*).

6.2.5. Mapas estructurales e isopáquicos

Un mapa es la representación gráfica y métrica de una población de datos sobre una superficie bidimensional (2D), generalmente plana, a una escala establecida de los rasgos físicos de una parte de la superficie de la corteza terrestre en el subsuelo. Que tenga propiedades métricas significa que ha de ser posible tomar medidas de distancias, ángulos o superficies sobre él y obtener un resultado bastante aproximado a la realidad.

En los mapas es posible representar estructuras del subsuelo de cualquier límite de formación, discordancia o formaciones productoras que pueden ser identificadas y correlacionadas por medio de datos de perforación. En este trabajo se han interpretados dos tipos de mapas:

- **Mapa Estructural:** se puede definir como un mapa elevación de una superficie en subsuelo, esencialmente de una superficie de separación entre dos unidades litoestratigráficas. Un mapa de este tipo muestra la configuración geométrica de la superficie seleccionada, mediante líneas de contorno, las cuales unen puntos de igual elevación o profundidad con respecto a un punto de referencia. La importancia de los contornos estructurales es que con ellos se puede representar la forma del tope o la base de un estrato, los polígonos de fallas, estratos plegados, etc.
- **Mapa Isopáquico:** es un mapa que indica el espesor de cualquier formación, capa, nivel o estrato presente en el subsuelo. Las curvas se llaman isópacas o isopáquicas y unen puntos de igual espesor.

6.2.6. Interpretación sísmica

La sísmica es una técnica ampliamente utilizada tanto en desarrollo como en exploración geofísica que permite obtener información del subsuelo controlando los tiempos de llegada de las ondas elásticas que se propagan a través del terreno y que han sido generadas artificialmente. Su objetivo es el estudio del subsuelo, lo cual permite obtener información geológica de los materiales que lo conforman. La prospección sísmica a partir de su interpretación es una herramienta de investigación, ya que con ella se puede visualizar con muy buena resolución areal pero no tanto en la vertical los primeros metros del terreno hasta varios kilómetros de profundidad. Así, para la sísmica profunda se utilizan fuentes de energía muy potentes (por ejemplo: camiones vibradores) capaces de generar ondas elásticas que llegan a las capas profundas del subsuelo, mientras que para la sísmica superficial se utilizan martillos de impacto, explosivos de baja energía, entre otros. Según esto, la sísmica profunda se emplea en la detección de reservorios petrolíferos (ya sea terrestre o marítima), grandes estructuras geológicas (plegamientos montañosos, zonas de subducción, etc.), yacimientos minerales, domos salinos, etc. Mientras que la sísmica superficial tiene mucha aplicación en la obra pública y la ingeniería civil.

La prospección sísmica se basa en el mismo principio que la sismología, consiste en generar ondas sísmicas mediante una fuente emisora y registrarlas en una serie de estaciones sensoras (geófonos) distribuidas sobre el terreno. Las propiedades físicas que intervienen son la velocidad de propagación de la onda en ese medio y la densidad del medio o roca, y al producto de estas se lo conoce como “impedancia acústica” (Nolen-Hoeksema, 2014). Cuando la onda se refleja, vuelve a superficie y es captada por un geófono que transmite la onda en forma de un señal electromagnética, la que luego son procesadas para generar una imagen del subsuelo (Nolen-Hoeksema, 2014). A partir del estudio de las distintas formas de onda y sus tiempos de trayecto, se consiguen obtener imágenes del subsuelo que luego se relacionan con las capas geológicas (secciones sísmicas, campos de velocidades, etc.).

Una vez adquirida y procesada la sísmica se pasa a la etapa de interpretación que tiene como objetivo transformar las imágenes sísmicas en imágenes geológicas, analizando los cambios de impedancia acústica del subsuelo observadas en las secciones sísmicas o cubos sísmicos.

6.3. Revisión de antecedentes bibliográficos

En esta instancia se realizó una revisión bibliográfica con varios objetivos, por un lado se buscó identificar los principales sellos que circundan los reservorios de agua dulce y salobre, como así también definir a qué grupo o formación corresponden los depósitos del subsuelo de EFO.

Los antecedentes bibliográficos se encuentran relacionados con estudios vinculados a la protección de acuíferos realizados en la provincia de Neuquén. Uno de los trabajos consultado es el de los autores Sánchez y Claa (2015) para la compañía YPF, el cual se llevó a cabo en la zona de Rincón de Mangrullo, en éste los Grupos Rayoso y Neuquén que constituyen los principales reservorios profundos de aguas dulces y salobres. En éste trabajo se estudian los acuíferos dulces con el fin de preservar la calidad ambiental de las capas dulces minimizando los impactos negativos ocasionados en el área de influencia. Para esto se realizó un análisis de las capas acuíferas, sometiéndolas a un *cut-off* de resistividad que responde al límite de salinidad.

Se contó con el con el trabajo de Laurenzano *et. al.*, (2018), que consiste en una recopilación de datos existentes de perfiles eléctricos y control geológico relacionados al Grupo Neuquén y a esto se le suma el aporte de trabajos internos. Todo en su conjunto fue de utilidad para complementar la bibliografía existente y así poder establecer una relación estratigráfica acorde a dicho grupo.

7. RESULTADOS

7.1. Análisis de Control Geológico

7.1.1. Muestras de rocas

Se contó con los recortes de rocas (*cutting*) extraídos durante la perforación de los pozos petroleros, ubicados en la zona oeste del yacimiento EFO. Se describieron y caracterizaron más de 1500 metros de *cutting* para cada pozo, pertenecientes al Grupo Neuquén.

Para la clasificación de las rocas en este trabajo se utilizó la nomenclatura propuesta de Folk *et. al.*, (1970), la cual se basa en el tamaño de los clastos en: “conglomerados” (pséfitas) si están dominadas por clastos tamaño grava, “areniscas” (psamitas) si están formadas principalmente por granos tamaño arena y “pelitas” si predominan clastos tamaño limo y arcilla (Fig. 29).

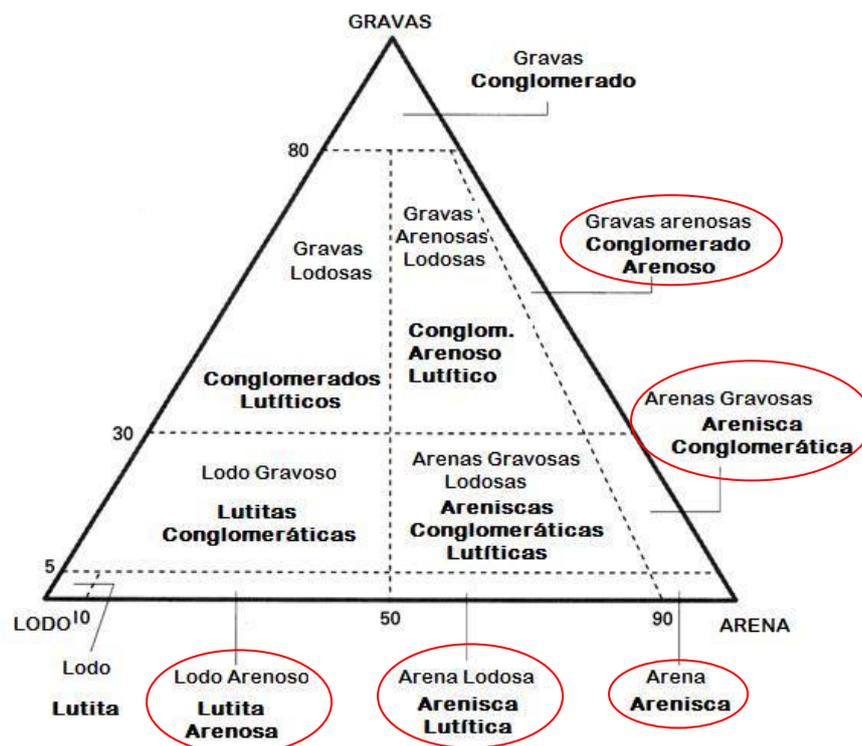


Figura 29. Clasificación de rocas sedimentarias (tomado de Folk *et. al.* 1970).

Durante la descripción se determinaron 5 tipos de litologías, que están muy bien representadas a lo largo de los 7 pozos descritos, entre las cuales tenemos: arcilitas; areniscas arcillosas; areniscas; areniscas conglomeráticas y conglomerados (Fig. 29). La diferencia entre estas 2 últimas litología es difícil de apreciar a partir del *cutting*, debido a la similitud que hay entre ambas.

Es necesario mencionar que la actividad de control geológico se realiza con la muestra húmeda (muestra fresca), pero para este trabajo se contó con la muestra seca, por lo cual se pudieron haber omitidos algunas propiedades físicas; por ejemplo: plasticidad. A continuación se realizara una descripción de las litologías mencionadas anteriormente:

- **Arcilita:** sus características son muy similares a las areniscas arcillosas. Color castaño rojizo oscuro con abundante inclusiones de arena fina a muy fina. Generalmente esta litología se caracteriza por un tamaño de gramo fino a muy fino y por ser una litología blanda. Localmente grada a arcilitas arenosas.

Por otra parte, fue dificultoso poder determinar la mineralogía de dicha muestra ya que su granulometría es muy fina, por este motivo se realizó un estudio de análisis de extendido de arcilla para poder determinar la composición de dicha roca (los resultados se exponen en el apartado siguiente).

- **Areniscas arcillosas:** se caracteriza por su color castaño rojizo oscuro (Fig. 30), de granulometría fina a muy fina. Se encuentra constituida por cuarzo, líticos subredondeados y abundante matriz arcillosa, que en ocasiones genera que agrada a arcilitas arenosas. Presenta buena a moderada selección y una porosidad a nivel visual muy pobre. Estas características se pueden ver en todos los pozos descriptos, lo que indica que su extensión areal a escala de yacimiento es muy representativa.

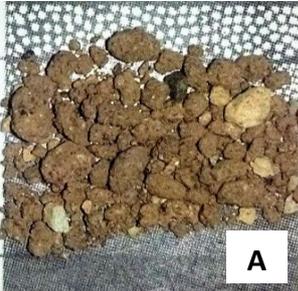
M	350 - 500 $\mu = 1.5 a - 1.0 \emptyset$	
	250 - 350 $\mu = 2.0 a - 1.5 \emptyset$	
F	177 - 250 $\mu = 2.5 a - 2.0 \emptyset$	
	125 - 177 $\mu = 3.0 a - 2.5 \emptyset$	
MF	88 - 125 $\mu = 3.5 a - 3.0 \emptyset$	
	62 - 88 $\mu = 4.0 a - 3.5 \emptyset$	



Figura 30. A) Muestra de arenisca arcillosa de granulometría fina a muy fina perteneciente al Grupo Neuquén; B) Arenisca arcillosa con su color característico (castaño rojizo oscuro); y C) Vista a lupa de escritorio (X20).

- **Areniscas:** las arenas (Fig. 31) caracterizadas para cada pozo presentan propiedades físicas muy parecidas entre ellas. Se destacan por tener una coloración castaño rojizo claro, aunque en ciertos tramos su coloración pasa a grisácea e incluso amarillenta y una granulometría muy variada desde fina a gruesa. Estas arenas también se caracterizan por ser muy cuarzosas, tener escasa a nula presencia de líticos, granos subredondeados; matriz arcillosa que en muchos casos genera una aglomeración de la roca. Presentan buena a mala selección. y pobre porosidad visual.

M	350 - 500 μ = 1.5 a - 1.0 \emptyset	
	250 - 350 μ = 2.0 a - 1.5 \emptyset	
F	177 - 250 μ = 2.5 a - 2.0 \emptyset	
	125 - 177 μ = 3.0 a - 2.5 \emptyset	

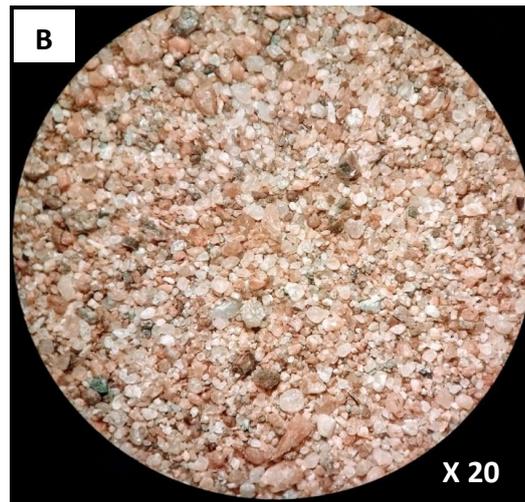


Figura 31. A) Muestras de areniscas finas a medias pertenecientes al Grupo Neuquén; B) Muestras de arenisca vista a lupa de escritorio con un aumento de X 20.

- **Areniscas conglomerádicas:** se caracterizan por su color grisáceo y por estar constituidas por dos fracciones de grano diferente, por un lado una fracción de tamaño media y por otra parte una fracción gruesa a muy gruesa. Compuesta por granos subredondeados y subangulosos de cuarzo, feldespato y abundantes fragmentos sueltos correspondientes a líticos y clastos partidos (Fig. 32). La muestra se encuentra suelta por lo que deja a la vista la mala selección y su escasa matriz arcillosa.

MG	1410 - 2000 $\mu = - 0.5$ a - 1.0 \emptyset		
	1000 - 1410 $\mu = 0.0$ a - 0.5 \emptyset		
G	710 - 1000 $\mu = 0.5$ a 0.0 \emptyset		
	500 - 710 $\mu = 1.0$ a - 0.5 \emptyset		



Figura 32. A) Tamaño de grano de las areniscas conglomerádicas; B) Muestra de areniscas conglomerádicas.

- **Conglomerados:** al igual que la litología anterior tiene un color grisáceo y presenta un tamaño de grano grueso a muy grueso que en menor medida pasa a grano medio. Se encuentra compuesta por cuarzo, abundantes fragmentos de líticos (castaños, verdes, anaranjados); clastos partidos (Fig. 33). Los gramos que conforman a la muestra son subredondeados y subangulosos. Escasa a nula matriz arcillosa. Pobre selección.

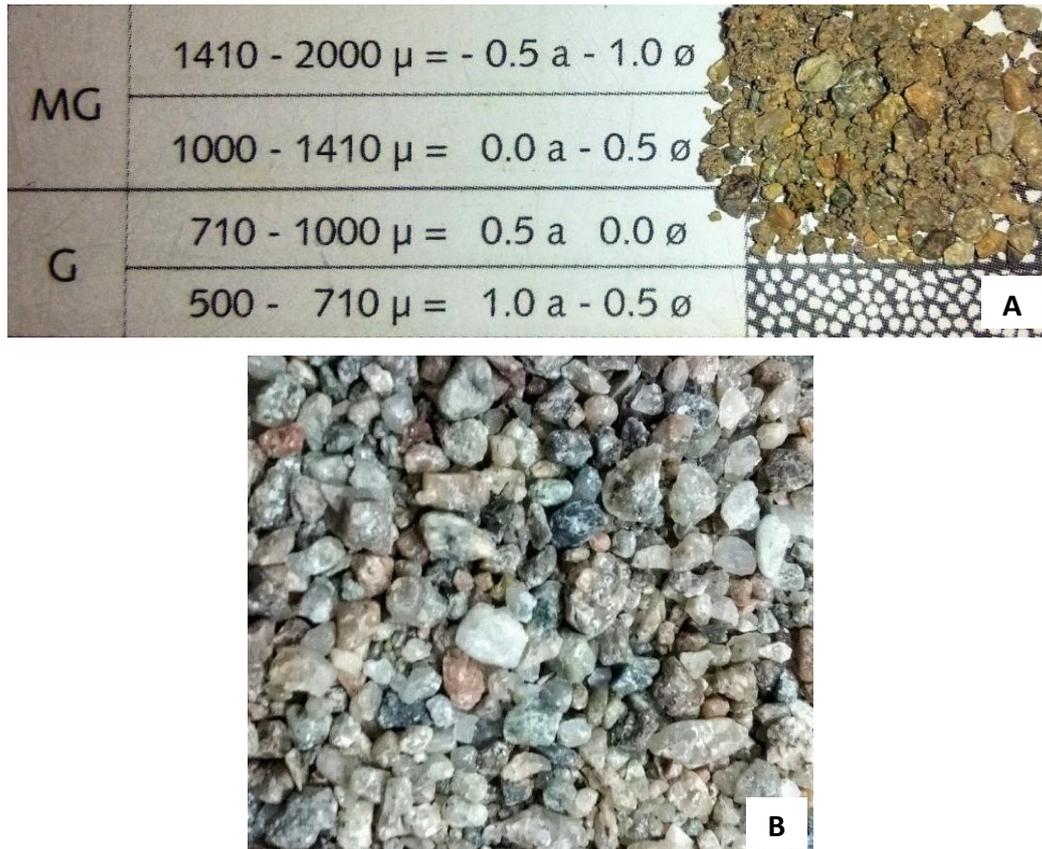


Figura 33. A) Tamaño de grano de los conglomerados; B) Muestra de conglomerados.

Con la caracterización del *cutting* cada 5 metros, se generaron los correspondientes perfiles litológicos (Fig. 34), para cada uno de los pozos de la zona de estudio (Fig. 35), como se muestra a continuación:

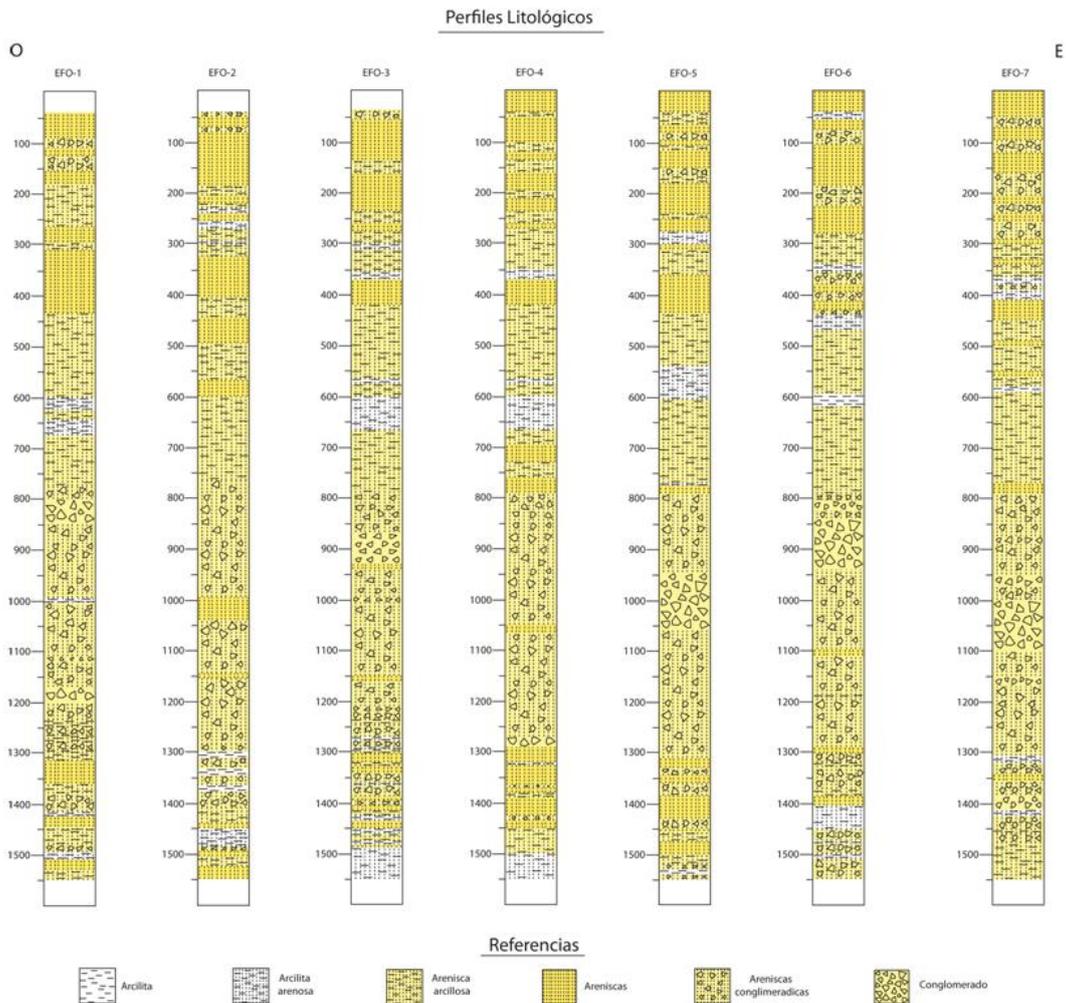


Figura 34. Perfiles litológicos atravesados durante la perforación de cada pozo.

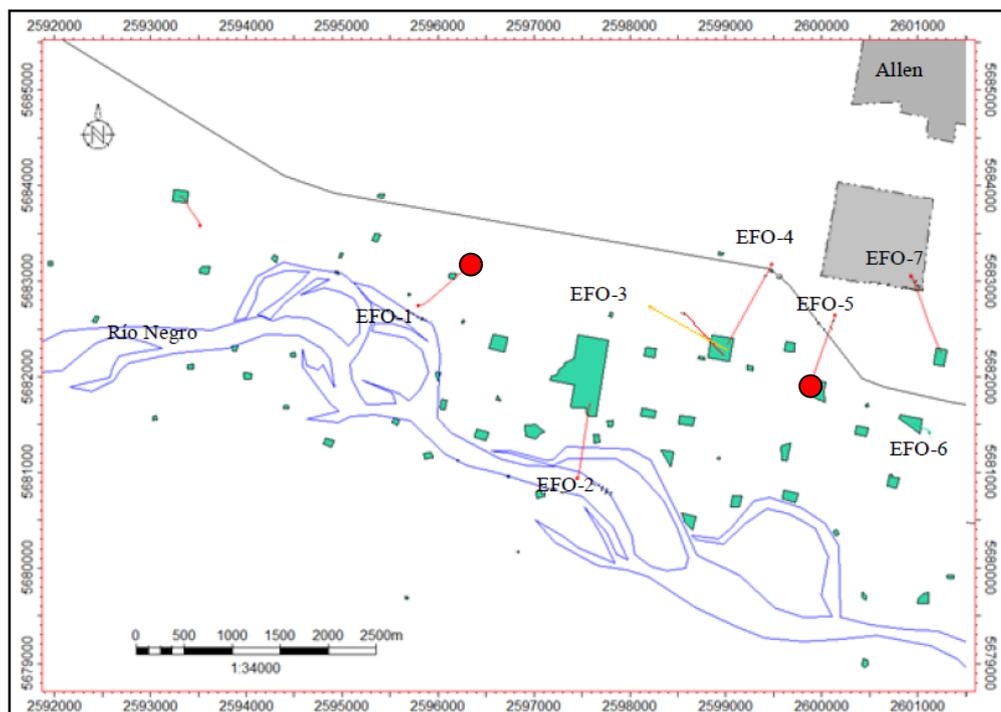


Figura 35. Distribución de los pozos de los que se obtuvieron los diferentes perfiles.

7.1.2. Difractometría de Rayos X (DRX)

Se tomaron dos muestras de la litología de mayor interés a una profundidad de 500 metros de los pozos EFO-1 y EFO-5, con el objetivo de estudiar la mineralogía correspondiente a cada una de ellas para determinar si existen variaciones laterales en su composición (ver Fig. 35). Dichas muestras se encuentran distanciadas aproximadamente a 4 o 5 km dentro de la zona de estudio (sector oeste).

Muestra EFO-1

El estudio macroscópico de la muestra con lupa binocular indica que se trata de fragmentos (*cutting* de pozo) de una arenisca cuarzosa fina-media bien consolidada, con buena selección y redondez. En donde, el estudio de roca total con DRX indicó mayoritariamente un contenido de cuarzo. Y en mucha menor proporción calcita, plagioclasa, analcima, baritina y minerales arcillosos (Fig. 36).

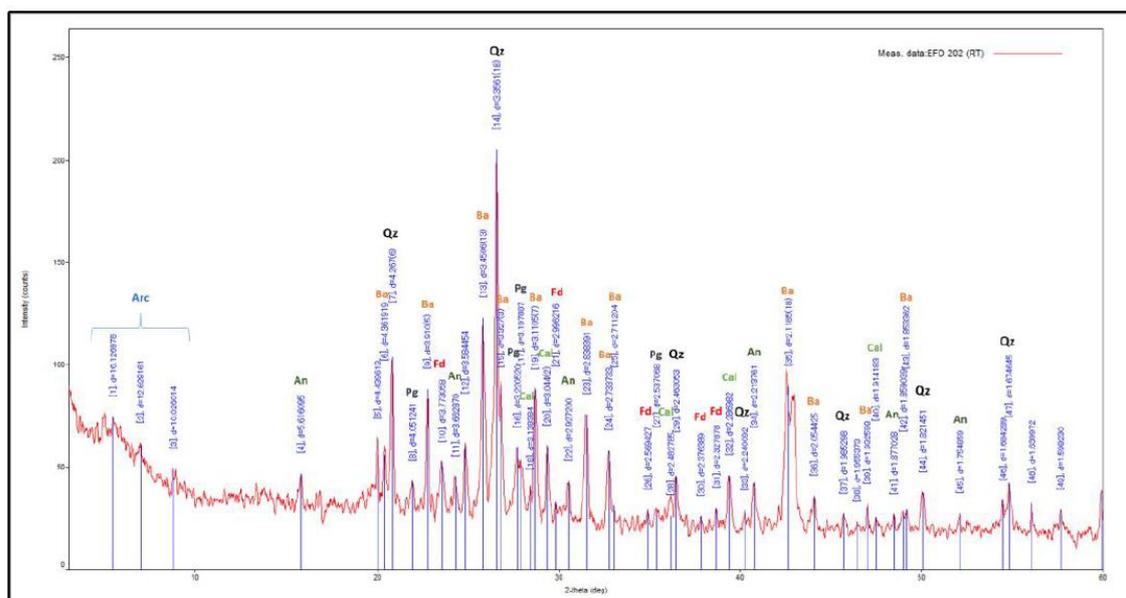


Figura 36. Difractograma de roca total correspondiente a la muestra EFO-1. Qz: cuarzo; Pg: plagioclasa; Fd: feldespato; An: analcima; Ba: baritina; Cal: calcita; Arc: arcillas.

En cuanto al estudio de arcillas con DRX, muestra que los difractogramas (Fig. 37) presentan picos característicos compatibles a una arcilla expansible de la familia de las esmectitas con proporciones menores de illita. En los mismos se observa la presencia de trazas de heulandita, cuarzo y feldespato.

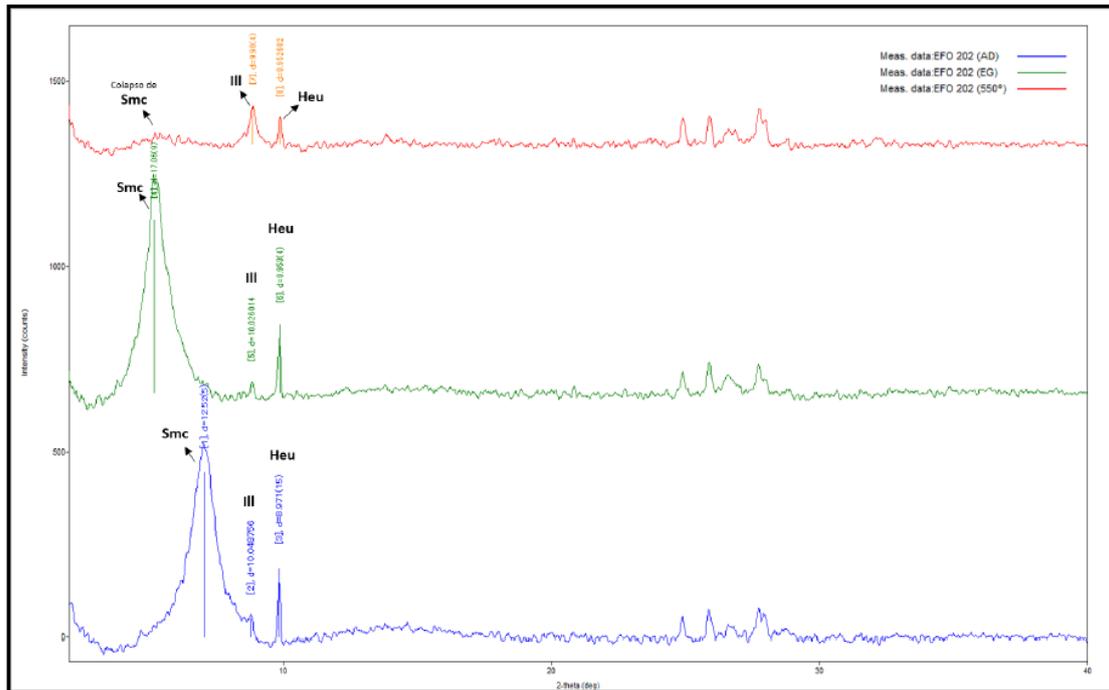


Figura 37. Difractogramas AD: secado al aire; EG: glicolada; 550°: calcinada, correspondientes a la fracción arcillosa de la muestra EFO-1.; Smc: smectita; III: illita; Heu: heulandita.

➤ Muestra **EFO-5**

El estudio macroscópico de la muestra con lupa binocular indica que se trata, al igual que la muestra EFO-1, de fragmentos (*cutting* de pozo) de una arenisca cuarzosa fina-media bien consolidada, con buena selección y redondez, donde, el estudio de roca total por DRX indicó mayoritariamente un contenido de cuarzo seguido por calcita, y en mucha menor proporción plagioclasa, analcima, baritina y otros minerales arcillosos (Fig. 38).

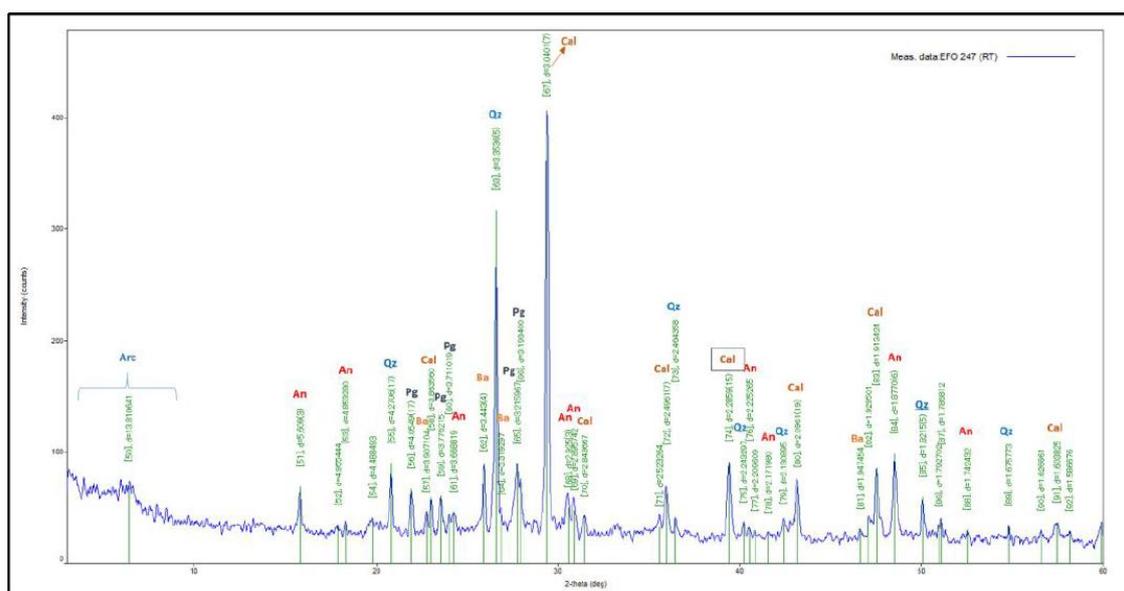


Figura 38. Difractograma de roca total correspondiente a la muestra EFO-5. Qz: cuarzo; Pg: plagioclasa; An: analcima; Ba: baritina; Cal: calcita; Arc: arcillas.

En cuanto al estudio de arcillas con DRX, muestra que los difractogramas (Fig. 39) presentan picos característicos compatibles a una arcilla expansible de la familia de las esmectitas con proporciones menores de illita. En los mismos se observa la presencia de trazas de analcima, cuarzo y feldespato.

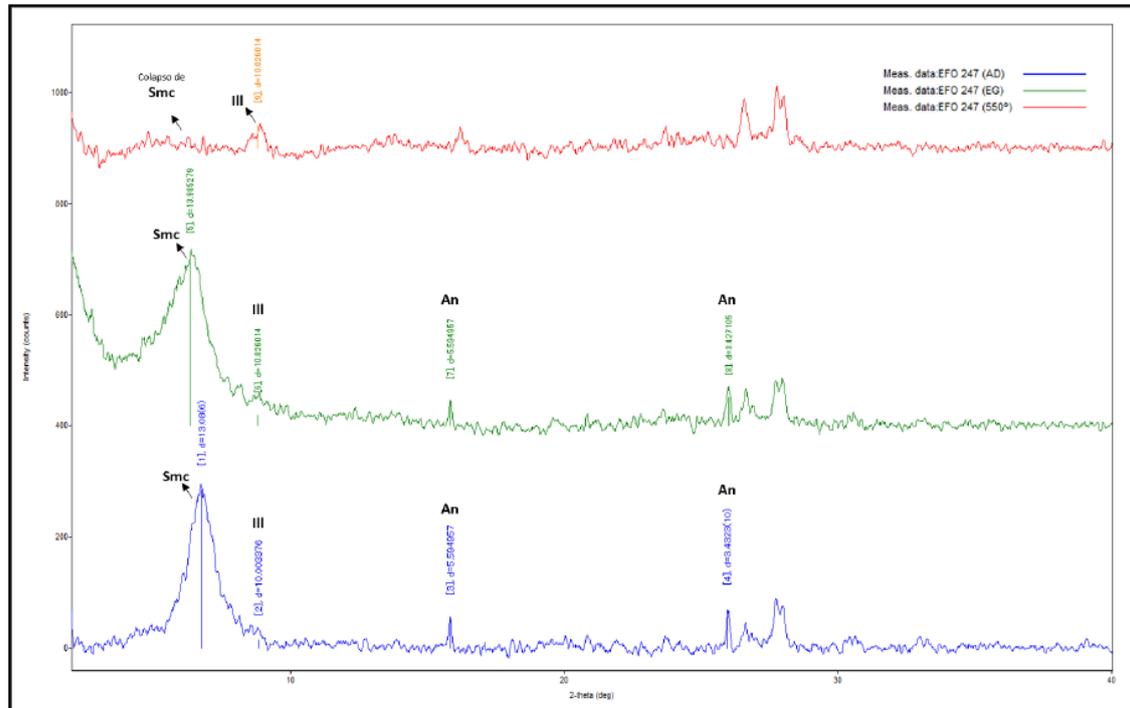


Figura 39. Difractogramas AD: secada al aire; EG: glicolada; 550°: calcinada, correspondientes a la fracción arcillosa de la muestra EFO-5.; Smc: smectita; III: illita; Heu: heulandita.

Como se puede observar los análisis de las muestras EFO-1 y EFO-5, muestran composiciones muy similares, difiriendo ambas solamente en la proporción del contenido de carbonatos y baritina. Sabiendo que las muestras fueron obtenidas durante la perforación de un pozo hidrocarburífero, se sugiere una contaminación de baritina por parte del lodo de perforación. Esto nos da la pauta de que a pesar de haber analizado una muestra para cada pozo, la composición química no muestra variaciones laterales en el sector oeste del yacimiento EFO.

7.1.3. SEM

Mediante el análisis de SEM realizado a las muestras de los pozos EFO-1 y EFO-5, se pudo observar evidencias de contaminación de baritina (Fig. 41) producto del lodo de perforación, abundante calcita (Fig. 40 y 45), dolomita (Fig. 44), cuarzo y materia orgánica (Fig. 42 y 43). Todos estos indicadores concuerdan con los análisis previamente nombrados.

➤ **EFO-1**

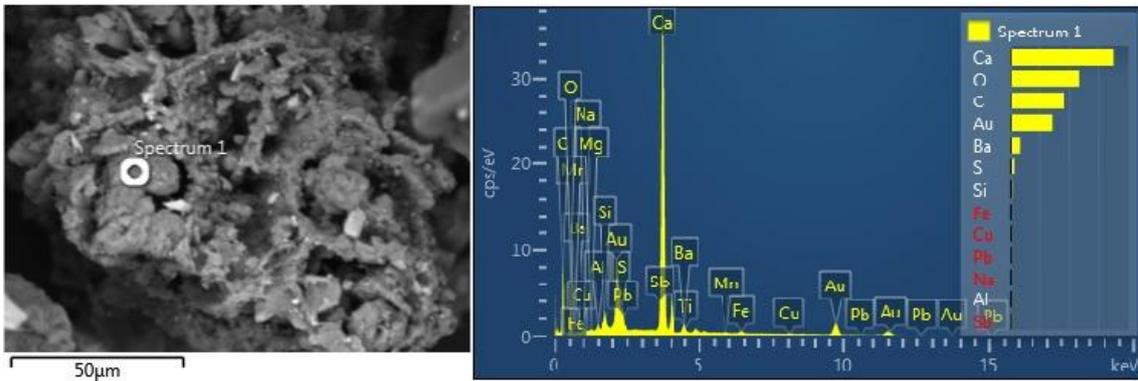


Figura 40. Calcita.

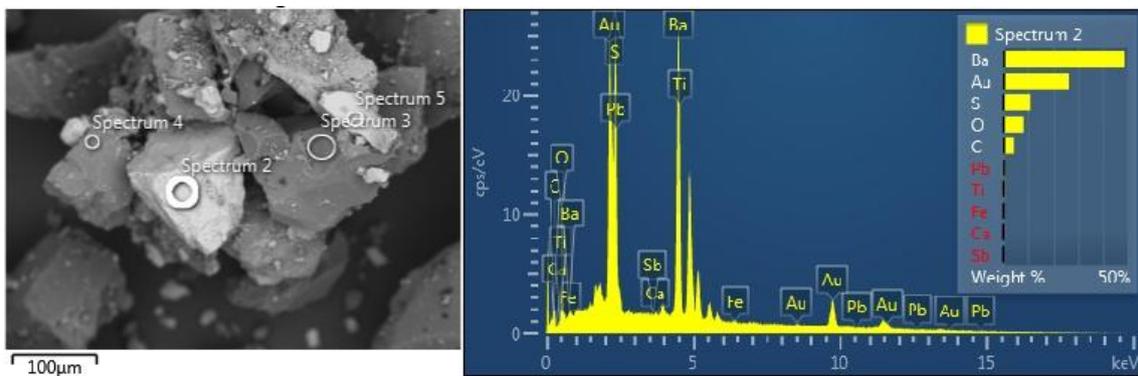


Figura 41. Spectrum 2 cristales de baritina rodeados de cristales de cuarzo (Ej: Spectrum 3).

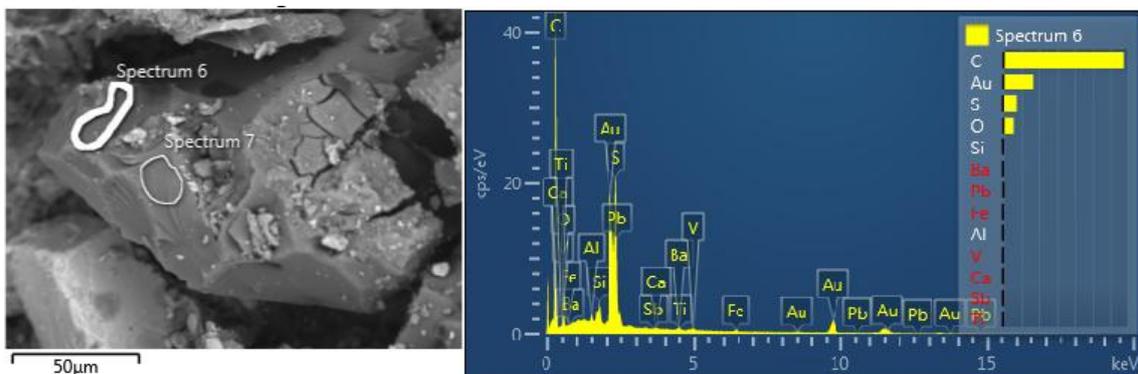


Figura 42. Materia orgánica.

de 6 secuencias depositacionales, con espesores y características propias, que las hacen diferentes entre sí.

Entre las secuencias depositacionales encontramos las siguientes:

- **Secuencia 1:** se encuentra en la base de cada perfil y está muy bien representada en cada uno de ellos. Se caracteriza por el desarrollo de depósitos clásticos finos a muy finos con abundante matriz arcillosa e intercalaciones de pequeños bancos de arcilitas. Este tipo de arreglo tiende a tener un mayor desarrollo hacia el oeste con espesores que rondan entre los 210 y 265 metros, mientras que hacia el este estos espesores son menores, 190 metros. En el sector este, se observan un pequeño aumento del tamaño de grano, esto se debe al desarrollo de pequeños bancos de areniscas conglomerádicas (10 a 15 metros de espesor).

Cabe destacar que el desarrollo de esta secuencia puede ser mayor ya que solo se analizó el *cutting* hasta los 1500 metros y no se pudo determinar la base de dicha secuencia.

- **Secuencia 2:** integrada por un potente banco de areniscas conglomerádicas y conglomerados, el cual se encuentra bien definido a lo largo de cada perfil. Como se puede apreciar en la correlación O-E tiene un gran desarrollo lateral y su espesor ronda entre los 460 y 530 metros, teniendo mayor desarrollo hacia el este del yacimiento. Si observamos en el pozo EFO-2 el espesor de dicha secuencia es de 600 metros, esto puede estar asociado a una zona estructural más profunda que permitió éste mayor desarrollo o puede deberse a que los bancos de arcilita de la Secuencia 1 eran tan pequeños que se pasaron por alto a la hora de describir la muestra o por su muestreo de baja frecuencia. Esta secuencia cuenta con un porcentaje muy pequeño de bancos arenosos aislados que no tienen una continuidad lateral.
- **Secuencia 3:** se caracteriza por el desarrollo de un importante depósito de arenisca arcillosa de granulometría fina a media con intercalaciones, en muchos casos, de arcilita. Por lo que se puede apreciar en la Figura 46, tiene una importante extensión lateral y un espesor muy significativo, entre 340 y 370 metros, siendo muy homogéneo vertical y lateralmente. Aproximadamente a los 600 metros de profundidad de cada pozo nos

encontramos con un paquete significativo de arcilita, que tiene espesores que van desde 10 a los 65 metros, dicho aumento se da hacia el sector oeste del yacimiento. El pozo EFO-2 es una excepción a esto, ya que en él no se visualizó la arcilita, esto no significa que no se encuentra desarrollada en este punto sino que simplemente no se visualizó en el *cutting*.

- **Secuencia 4:** se compone de depósitos psamíticos, preferentemente areniscas de granulometrías finas a medias, que hacia el centro y el este del yacimiento disminuyen de espesor (40 metros), es decir que encontramos mayor desarrollo hacia el oeste (125 metros). Esta variación de espesor dentro del yacimiento no afecta la continuidad lateral de la secuencia.
- **Secuencia 5:** presenta características litológicas muy similares a la ya nombrada Secuencia 3, con la diferencia de que exhibe pequeños bancos de areniscas finas generando así una intercalación entre areniscas arcillosas (más abundante) y areniscas finas. Ambas litologías en conjunto tienen un espesor que ronda entre los 140 y 170 metros en el sector centro-oeste del yacimiento, mientras que hacia el este, su espesor se reduce a 110 metros y en algunos casos llega a alcanzar un espesor mínimo de 75 metros. Esta secuencia tiene una importante continuidad lateral.
- **Secuencia 6:** está constituida principalmente por depósitos psamíticos, es decir que hay un importante porcentaje de areniscas de granulometría variada y que en muchos de los casos se puede encontrar intercalada con pequeños bancos de areniscas arcillosas (20 metros) y areniscas conglomerádicas (15 a 20 metros). En conjunto estas litologías alcanzan espesores que van desde los 180 a 300 metros, teniendo mayor desarrollo depositacional hacia el este del yacimiento. La presencia de diferentes litologías se debe a que nos encontramos en los primeros metros de la perforación y además porque es una zona que estuvo ligada al aporte del río.

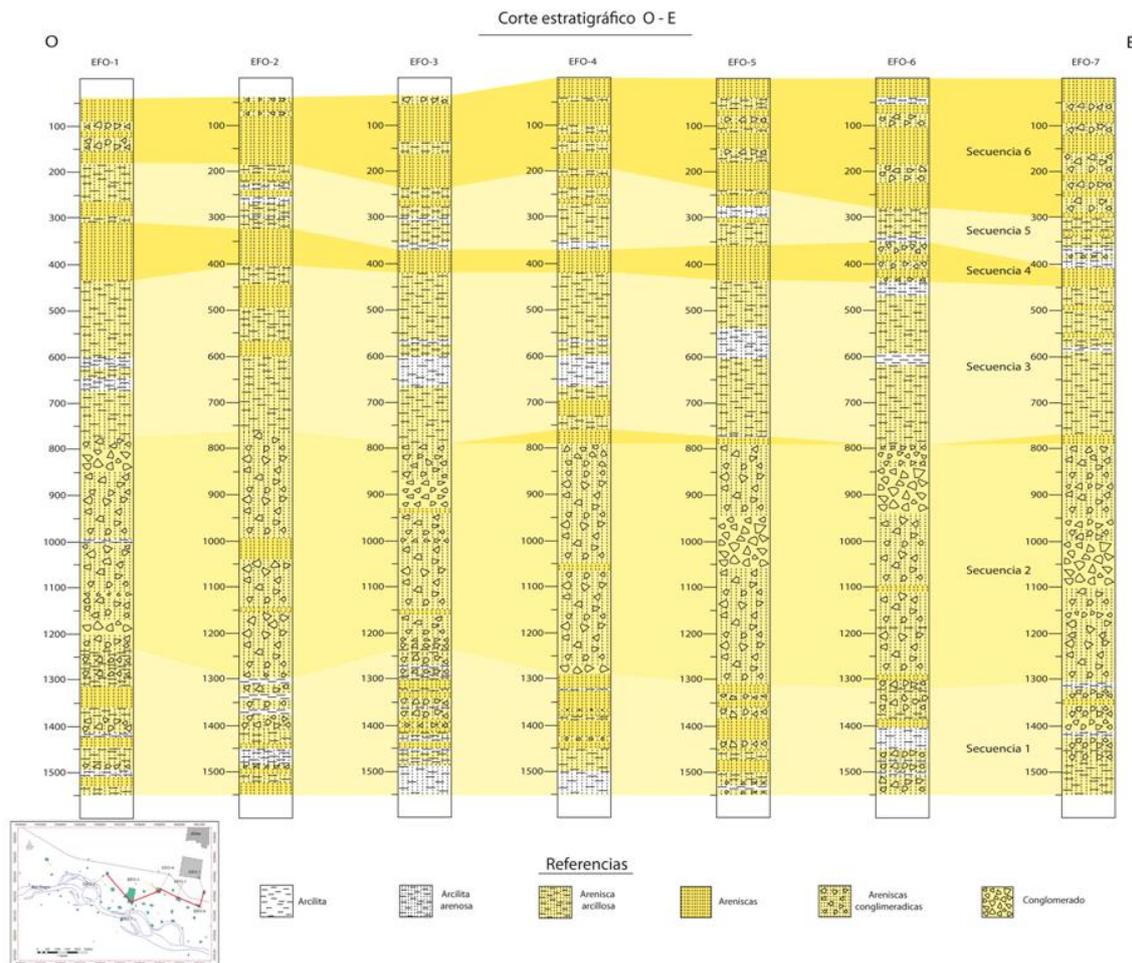


Figura 46. Correlación esquemática de la zona de estudio en sentido O-E.

A partir de la correlación estratigráficas (Fig. 46) y del conjunto de tablas realizadas a partir de descripción del *cutting* para cada uno de los pozos (ver Anexo A: Tablas descriptivas), se procedió a la realización de una correlación en sentido O-E de mayor detalle (Fig. 47) con ayuda del programa Petrel. Este *software* nos permitió delimitar de manera precisa los límites entre las diferentes secuencias, a partir de las litologías atravesadas y de los diferentes perfiles eléctricos.

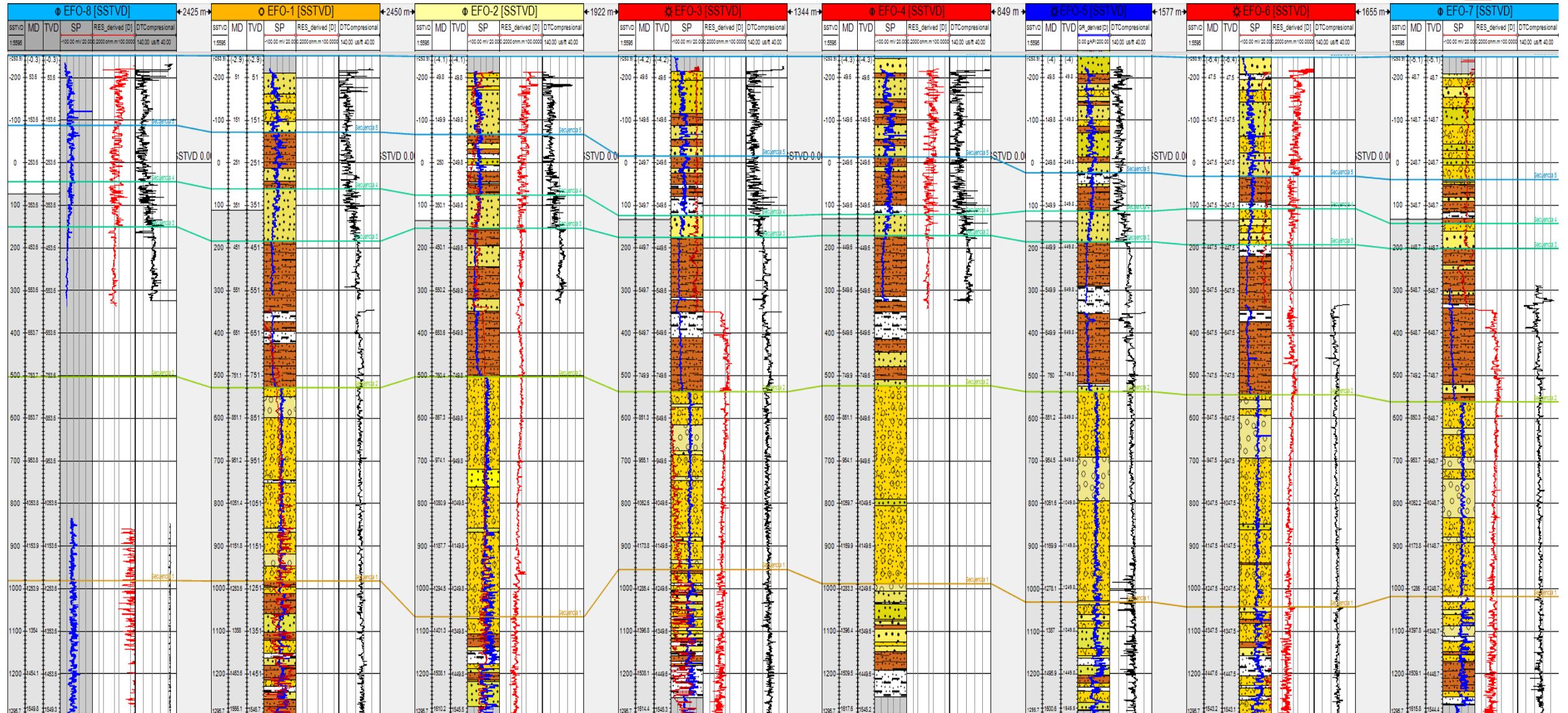


Figura 47. Correlación de la zona de estudio en sentido O-E, generada a partir del software de la empresa.

7.2. Perfiles eléctricos

7.2.1. Pases entre secuencias

En base a la interpretación de los perfiles eléctricos nombrados en el apartado de metodología, se determinó con exactitud los pases entre las diferentes secuencias perforadas y perfiladas en la zona. Si bien todos los perfiles son de gran utilidad y nos aportan información acerca de las propiedades petrofísicas de las rocas, el límite entre las unidades de estudio se puede visualizar con mayor claridad en la curva GR, debido a que las deflexiones de la curva en ciertas secuencias clásticas son más representativas.

Si observamos la Figura 48 y nos centramos en el *track* litológico y en el perfil GR, podemos notar que los contactos entre las secuencias son muy notorios en la mayoría de los casos, esto ocurre a lo largo de todos los pozos estudiados.

Unos de los contactos más significativo es el que ocurre entre las areniscas conglomerádicas (Secuencia 2) y las areniscas arcillosas (Secuencia 3) donde podemos notar un cambio muy abrupto en la deflexión de la curva del perfil GR, esto está asociado en una primera instancia al cambio litológico que se produce en ese punto y posiblemente se lo asocie a la presencia de una discordancia.

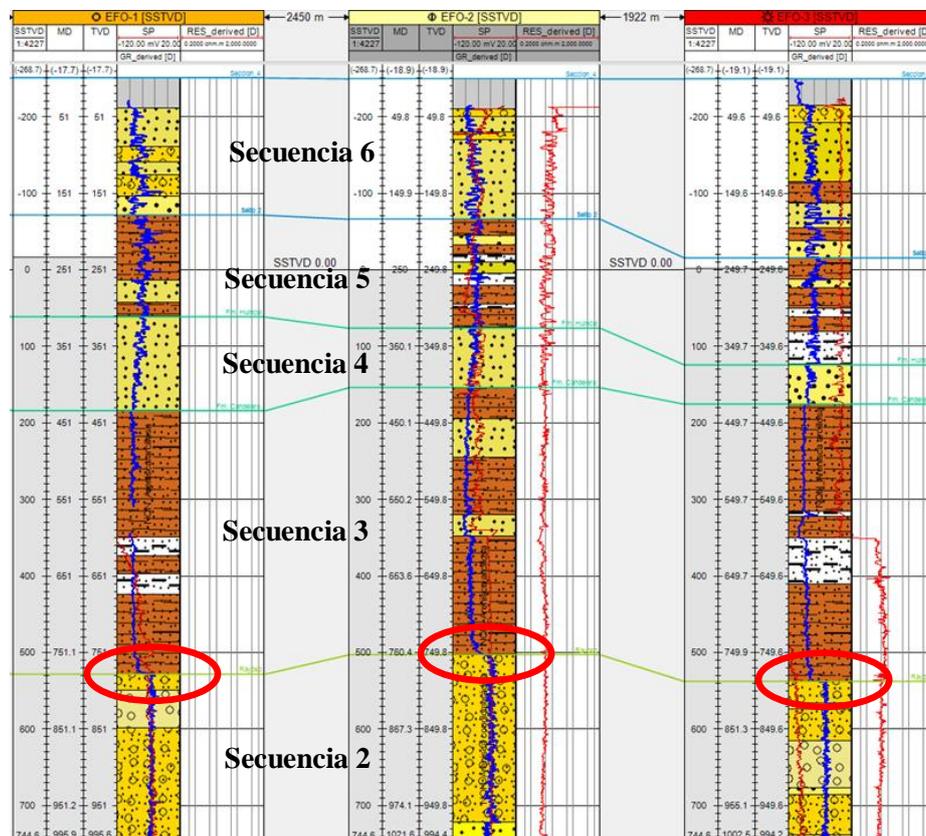


Figura 48. Contacto entre las diferentes secuencias visualizadas en el perfil GR.

7.2.2. Características petrofísicas de las secuencias

- Secuencia 1:** está integrada por el desarrollo de depósitos clásticos finos a muy finos con abundante matriz arcillosa e intercalaciones de pequeños bancos de arcilitas. Dicha secuencia se caracteriza por contener un alto grado de radioactividad (Fig. 49), 110° API, valor extraído de la curva GR. Por otra parte, el perfil SP nos da la pauta de que estamos en presencia de rocas de baja permeabilidad, la cual puede ser corroborada a través del perfil de resistividad, que no presenta deflexiones significativas, dándonos la pauta de que se trata de una roca cerrada, es decir de permeabilidad baja. Este tipo de litología tiene un valor de $DT= 80$ msec/ft, que nos indica que estas rocas contienen una porosidad baja en comparación a las demás litologías.

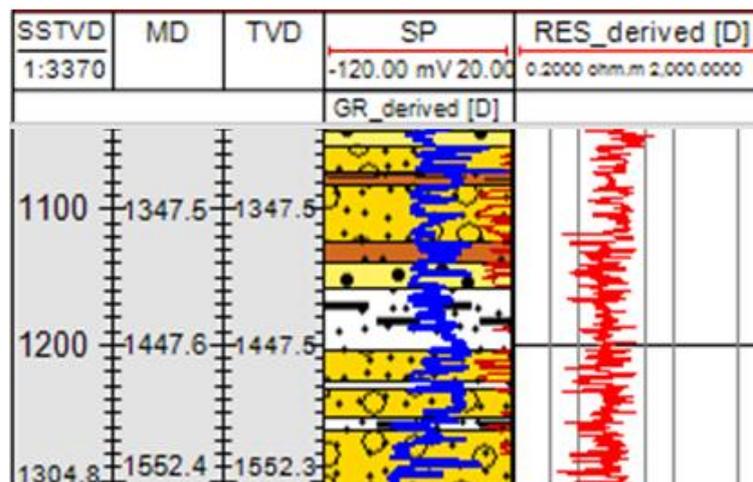


Figura 49. Comportamiento de la Secuencia 1 frente a los diferentes perfiles.

- Secuencia 2:** como ya mencionó esta secuencia (Fig. 50), está integrada por paquete de areniscas conglomerádicas y conglomerados, que se caracterizan por contener un alto grado de radioactividad, 120° API, valor que puede ser observado a lo largo de la curva GR. Por otra parte, en la curva SP y de resistividad no observan deflexiones significativas, al igual que el caso anterior se trata de una roca cerrada, con permeabilidad baja. Este tipo de litología tiene un valor de $DT= 90$ msec/ft, que nos indica que estas rocas contienen una porosidad baja, con respecto al resto de la litología.

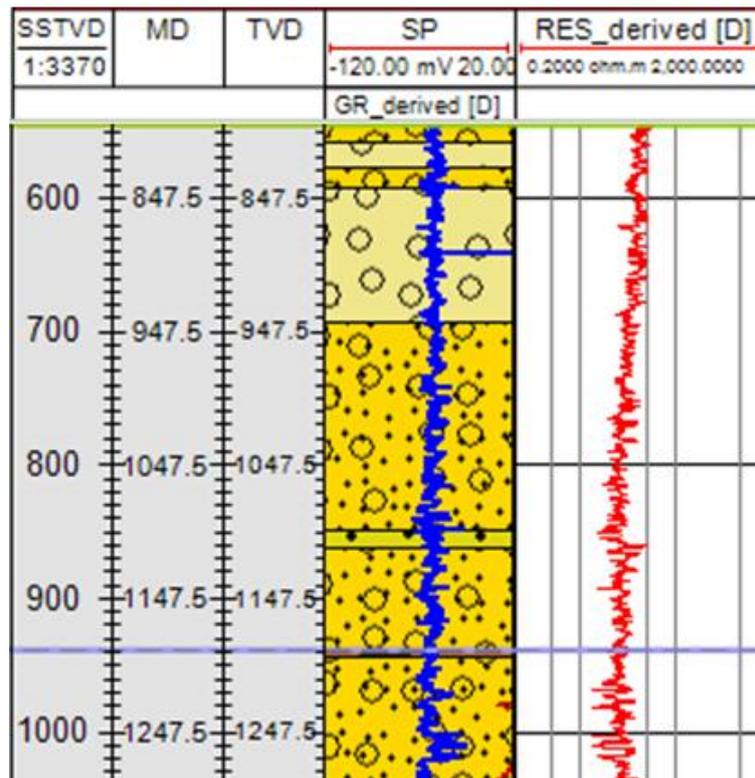


Figura 50. Comportamiento de la Secuencia 2 frente a los diferentes perfiles.

- Secuencia 3:** a partir de los pozos estudiados en el yacimiento, se llegó a determinar que dicha secuencia presenta un valor de GR entre 55° y 60° API, el cual es relativamente “bajo” y se debe sobre todo a que el porcentaje de componentes minerales es mayor que el de las arcillas, que solo se encuentra como parte de la matriz de la roca, (Fig. 51). Como ya sabemos tanto el perfil SP como el resistivo, nos brindan información de forma indirecta sobre la permeabilidad y como se observó a lo largo de los pozos, dicha curva tiene un comportamiento muy particular. En la base no se alcanzan a distinguir deflexiones, mientras que hacía el tope sí, este cambio en la curva puede estar asociado a que en el momento de la perforación se utilizaron dos lodos diferentes, pero en si esto nos indica una permeabilidad baja para esta secuencia, y se puede corroborar con la curva del perfil resistivo. La lectura de este último perfil también nos indica que el fluido presente en la formación es conductivo, por la baja resistividad observada dándonos la pauta de un fluido salino. Las areniscas arcillosas que constituyen esta secuencia tienen un valor de DT= 85 msec/ft, este valor nos indica una roca cerrada y por lo tanto una porosidad baja.

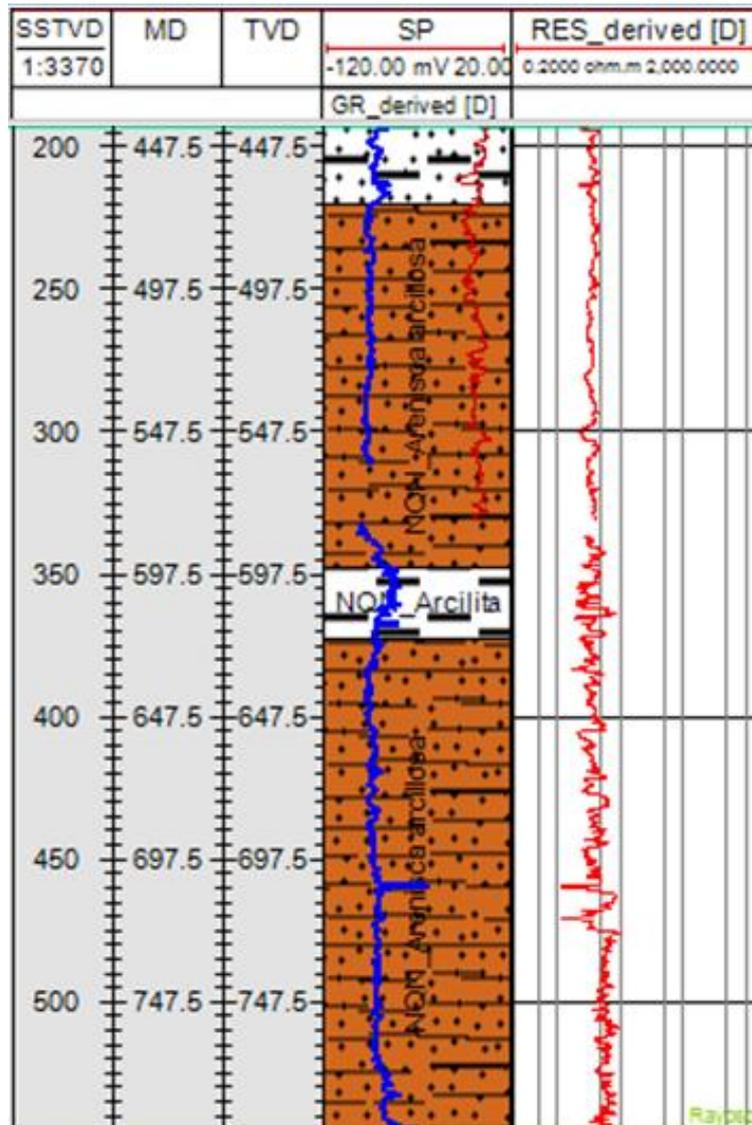


Figura 51. Comportamiento de la Secuencia 3.

- Secuencia 4:** se caracteriza por tener un GR entre 70° y 75° API, siendo más radioactiva que las areniscas arcillosas de la Secuencia 3, esto es producto de la composición química de las areniscas que la constituyen. Las deflexiones de la curva SP nos indican que la litología tiene buena permeabilidad, la cual aumenta desde la base hacia el techo (Fig. 52). Esta misma tendencia ocurre en la curva de resistividad, que también nos indica que los fluidos en la base son más salinos que hacia el tope de la formación. Según los valores observados en la curva del perfil sónico, DT: 110 msec/ft, la porosidad para estos depósitos es moderada a buena, siendo aun mayor hacia el tope de la misma.

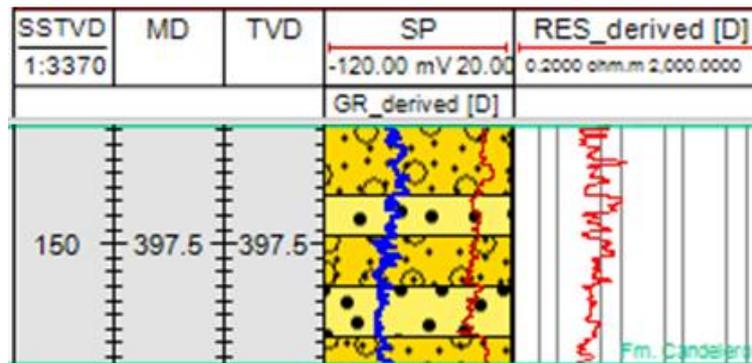


Figura 52. Visualización de propiedades petrofísicas de la Secuencia 4.

- **Secuencia 5:** los depósitos se caracterizan por presentar una litología muy similar a la Secuencia 3 pero con la diferencia que se caracteriza por un valor de GR entre 85° y 90° API (Fig. 53), valor que nos indica que el porcentaje de arcilla es más elevado que el de las rocas de la Secuencia 3. La litología que la constituye tiene una baja permeabilidad, propiedad que se observa en el perfil SP y la porosidad es moderada a buena (DT: 115 msec/ft).

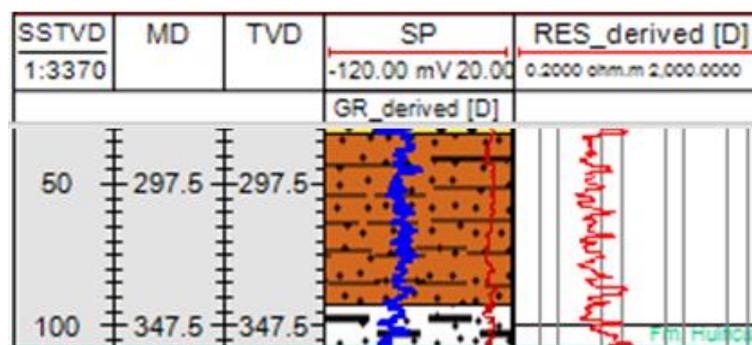


Figura 53. Comportamiento de la Secuencia 5 frente a los diferentes perfiles.

- **Secuencia 6:** es el conjunto de roca que constituyen los primeros 200 metros de la perforación del pozo y se caracterizan por presentar valores variables de radioactividad, siendo más elevados en la base (GR: 90° API) que hacia los niveles más superficiales (GR: 55° API). Son rocas que presentan buenas condiciones de permeabilidad y porosidad (DT: 120-130 msec/ft). Es evidente que los valores de resistividad en los fluidos presente son más elevados que aquellos que se encuentran a mayor profundidad, dándonos la pauta de que los fluidos son menos salinos (Fig. 54).

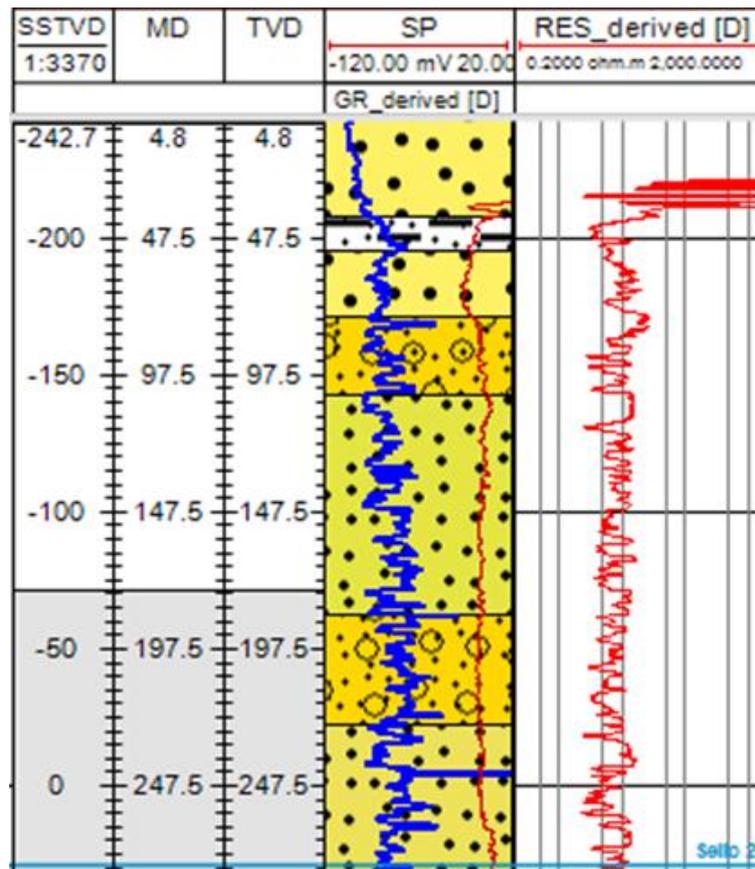


Figura 54. Visualización de propiedades petrofísicas de la Secuencia 6.

7.2.3. Correlación a partir de los perfiles eléctricos

En el área del yacimiento, el límite entre las secuencias de estudio está representado con mayor claridad en la curva de GR. La Figura 55, es una correlación entre perfiles eléctricos en sentido O-E, elaborada a partir de los registros que se llevaron a cabo, en cada pozo estudiado en este trabajo. En dicha correlación, se pueden visualizar el comportamiento de las diferentes curvas, tales como: GR (azul); SP (morado, visualizado en el misma *track* que el GR); resistividad (rojo) y por último, el perfil DT (negro). Se distinguen las 6 secuencias descritas anteriormente, en muchos de los casos el límite entre ellas no se visualiza con claridad en las curvas pero con ayuda de la correlación estratigráfica (Fig. 47), se establecieron los límites correspondientes, esto fue de gran ayuda en aquellos pozos que contaban con escasa información.

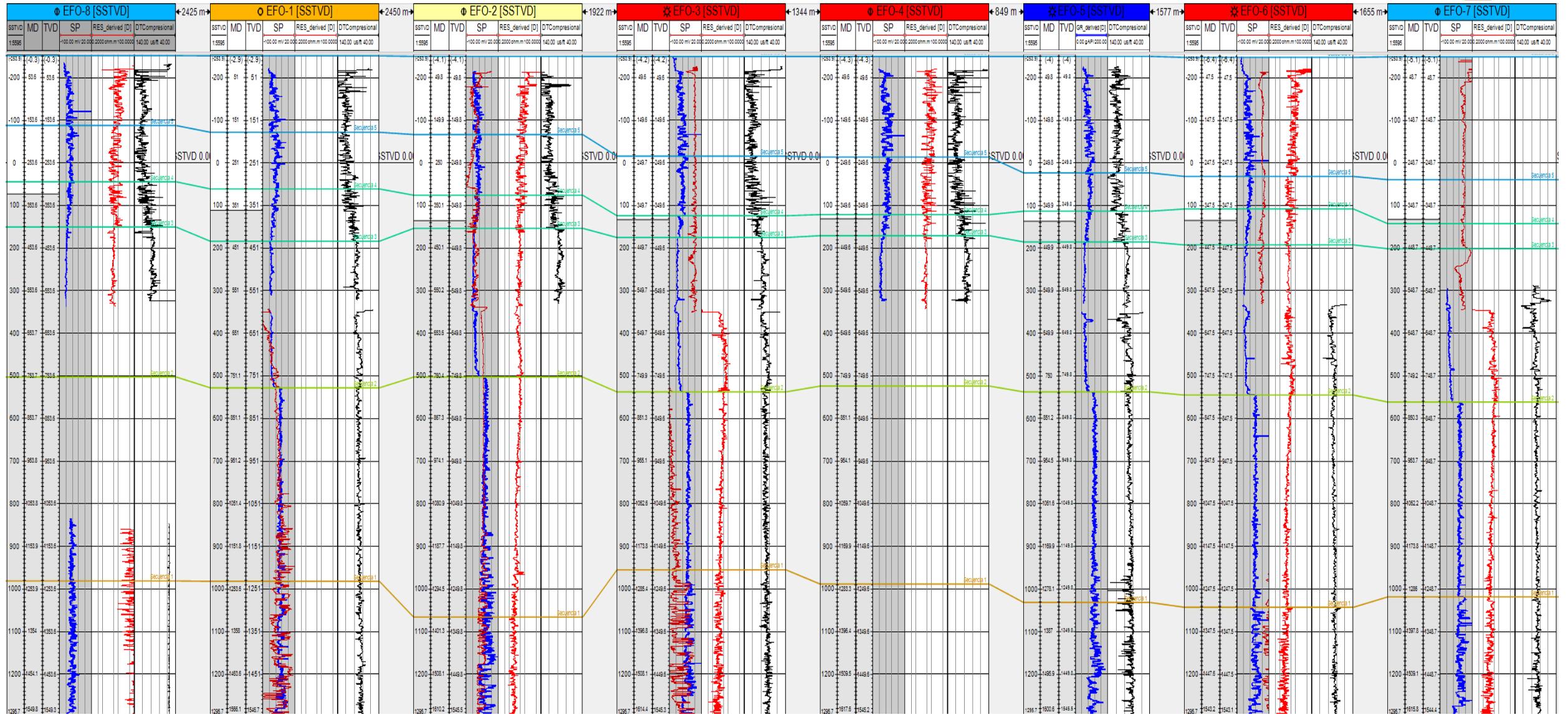


Figura 55. Correlación a partir de perfiles eléctricos.

7.3. Mapas estructurales e isopáquicos

Una vez ubicados los pases de cada secuencia se procedió a la elaboración de los mapas estructurales de cada una de ellas, para esto se utilizó el *software* de la empresa que permite generar contornos al tope de cada secuencia. Como ya se menciono estos mapas son en base a los topes de cada secuencia previamente interpretados, los cuales se van a ingresar en una función del programa denominada *Make/edit surface* (Fig. 56) y a partir de esta función se le van a aplicar una serie de algoritmos para elaborar los mapas. Dada a la cercanía entre las diferentes secuencias, todos los mapas presentan un comportamiento en general bastante parecido a excepción del mapa correspondiente a la Secuencia 6 (ver más adelante). Para los distintos mapas fue utilizada la misma escala de colores para poder apreciar de mejor manera las diferencias en profundidad entre las superficies mapeadas.

En base a los mapas estructurales correspondiente a cada secuencia, se generaron los mapas isopáquicos, determinando de esta manera los espesores de los intervalos estratigráficos.

La interpretación se basó en el análisis de contornos y de los espesores asumiendo rasgos geológicos-estructurales.

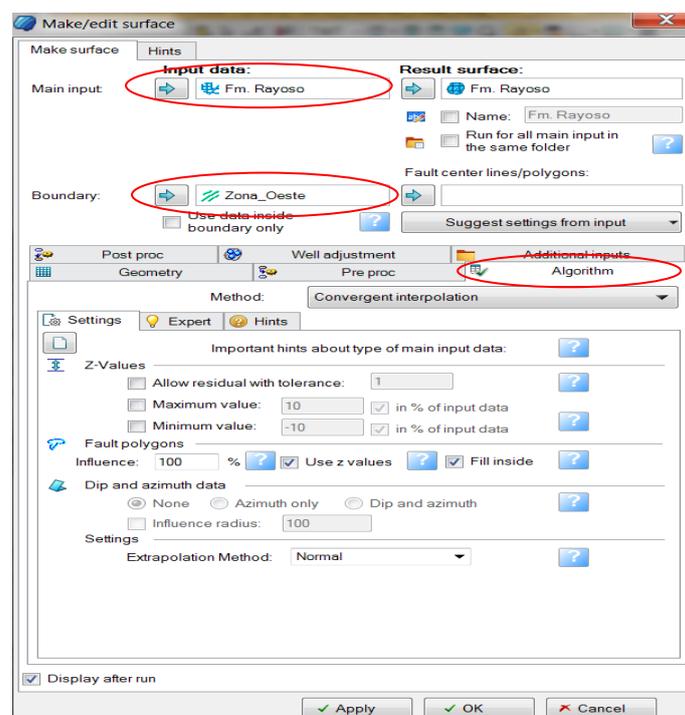


Figura 56. Algoritmos usados en la elaboración de los mapas.

7.3.1. Mapa estructural de la Secuencia 2

El mapa estructural en profundidad de esta secuencia es importante ya que muestra la configuración estructural de la misma. Como se observa en la Figura 57, el tope de la secuencia no se ve afectado estructuralmente por fallas y en cuanto, a las profundidades de las superficies dentro del área de estudio, se encontró que el tope de esta secuencia presenta un rango de profundidades de -500 a -600 metros, y tiende a profundizarse hacia el noreste (NE).

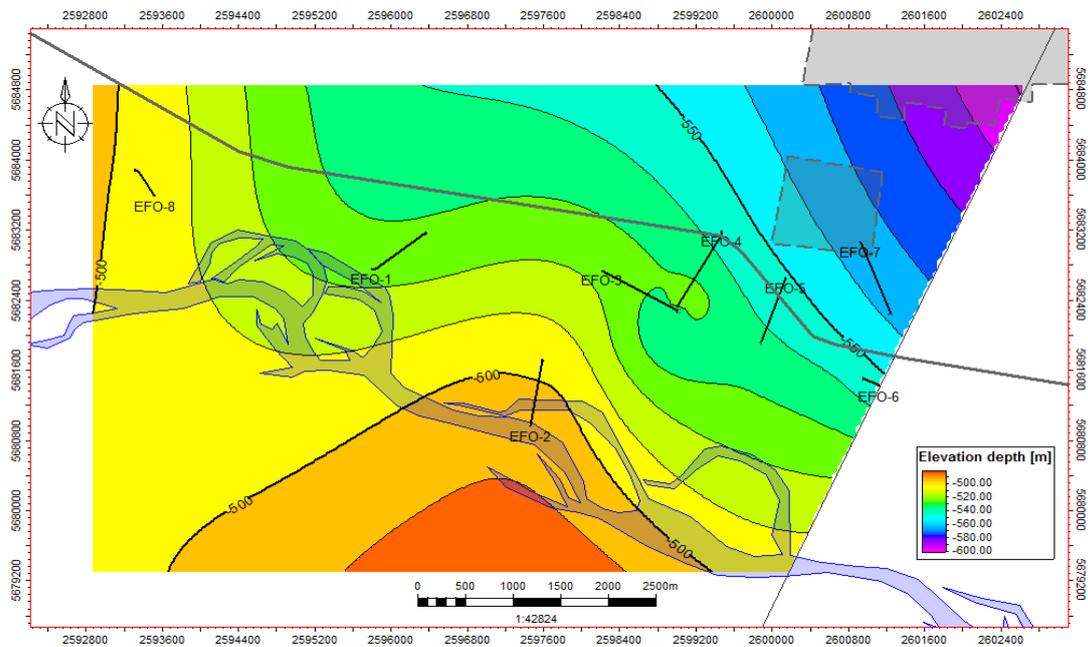


Figura 57. Mapa estructural de la Secuencia 2.

7.3.2. Mapa estructural e isopáquico de la Secuencia 3

Se aplicó la misma metodología que uso para generar el mapa estructural de la secuencia anterior, es decir se ubicó el tope de la Secuencia 3 y a partir de esto se generó el mapa estructural. La Figura 58, nos muestra como los depósitos que integran dicha secuencia se profundizan hacia el noreste (NE) alcanzando una profundidad cercana a los -250 metros.

Como se puede apreciar el mapa de esta secuencia es muy similar al de la Secuencia 2, lo que nos indica que estructuralmente las secuencias están ubicadas en una zona homogénea, es decir que los depósitos de las siguientes sucesiones van a copiar la estructura ya establecida en área.

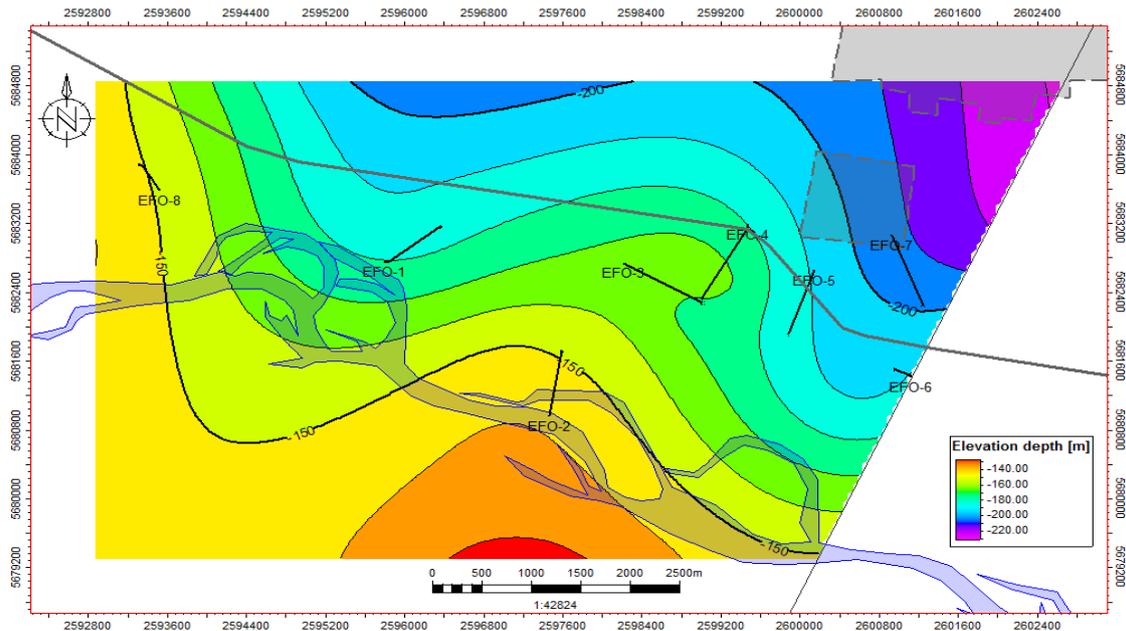


Figura 58. Mapa estructural de la Secuencia 3.

En el área de estudio existen depósitos correspondientes a la Secuencia 2, representados en el subsuelo por areniscas arcillosas con intercalaciones en muchos de los casos de arcilita, que en conjunto llegan a tener un espesor máximo de 370 metros. La Figura 59, es un mapa isopáquico de dichos depósitos y como se puede ver los mayores espesores lo encontramos hacia el noreste (NE) de la zona de estudio coincidiendo con el mapa estructural, ya que hacia ese sector se profundiza el subsuelo. Por otra parte los menores espesores lo encontramos hacia el noroeste (330 metros).

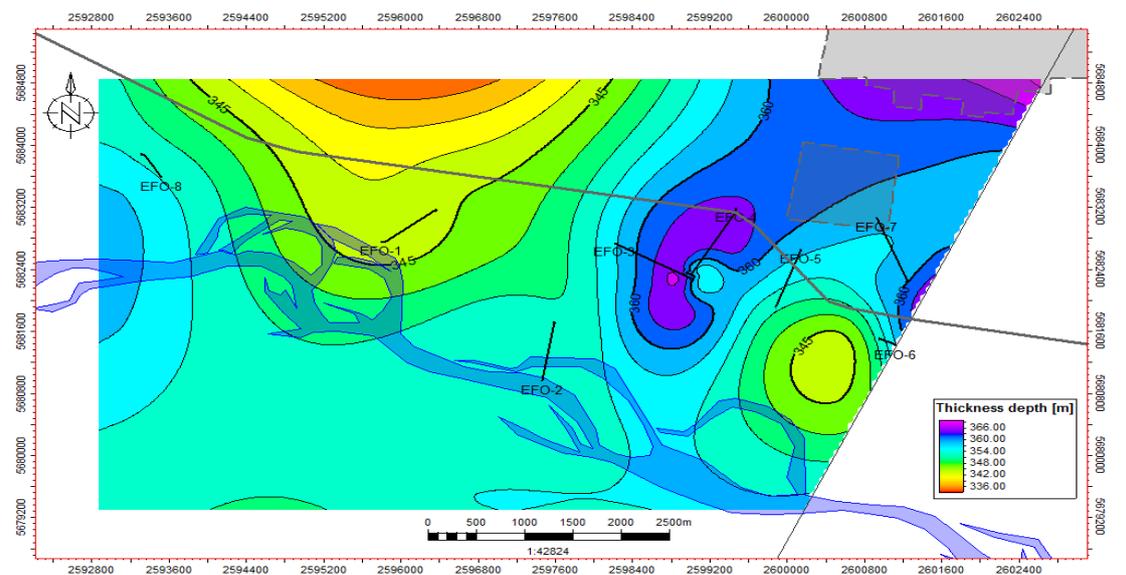


Figura 59. Mapa isopáquico de la Secuencia 3.

7.3.3. Mapa estructural e isopáquico de la Secuencia 4

El mapa estructural de la Secuencia 4 representado en la Figura 60, nos muestra el comportamiento que tiene en subsuelo dicha secuencia y se determina que hacia el noreste (NE) encontramos las mayores profundidades, cercanas a los -180 metros, mientras que en sentido opuesto esta profundidad pasa a ser menor, -50 metros.

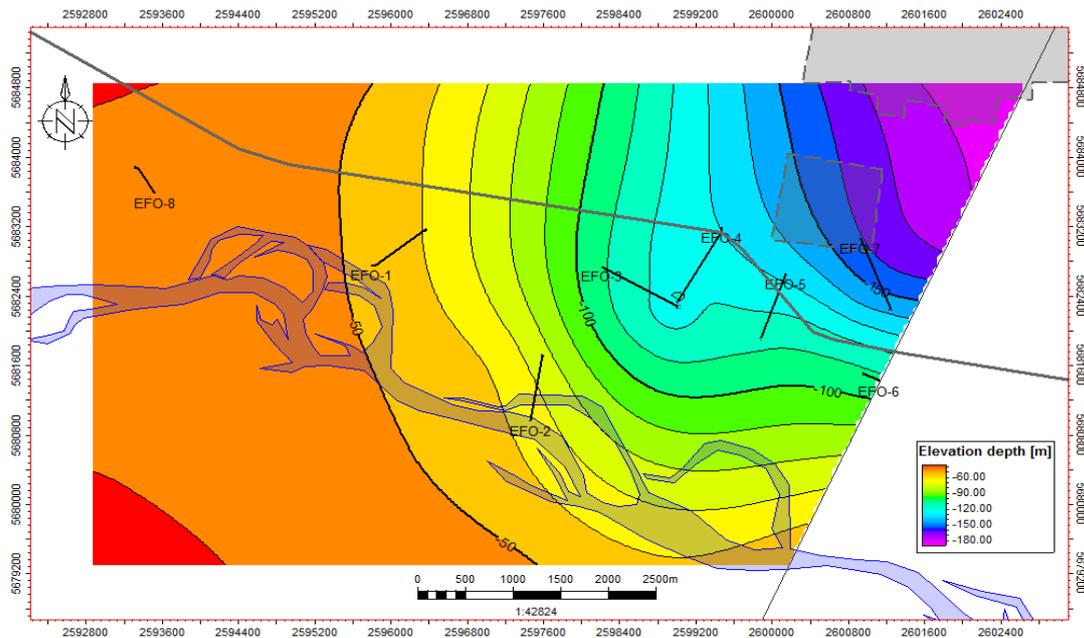


Figura 60. Mapa estructural de la Secuencia 4.

Como ya se mencionó anteriormente esta secuencia está constituida en su totalidad por areniscas, que tienen espesores muy variables a lo largo del área. La Figura 61, es un mapa isopáquico que refleja la distribución de los espesores a lo largo de la zona de estudio, la cual es concordante con la correlación estratigráfica, es decir que los mayores espesores los encontramos hacia al oeste, mientras que hacia el este estos depósitos van perdiendo espesor.

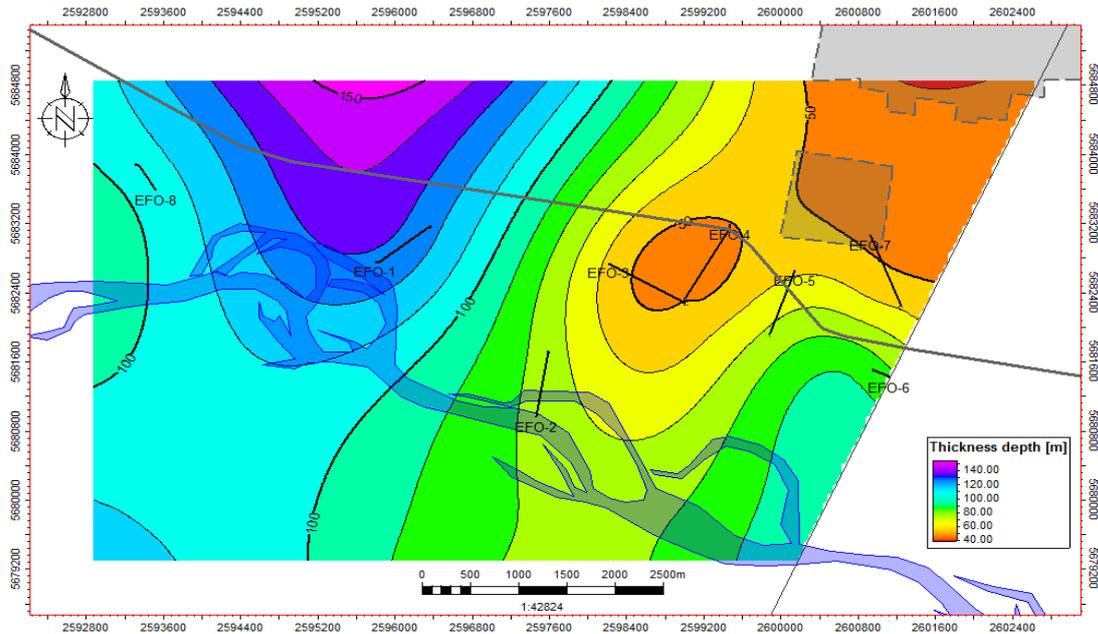


Figura 61. Mapa isopáquico de la Secuencia 4.

7.3.4. Mapa estructural e isopáquico de la Secuencia 5

Como se puede apreciar el mapa estructural de la Secuencia 5 (Fig. 62), presenta características muy similares a los de las secuencias que subyacen a está. Estructuralmente se observa que hacia el noreste (NE) se profundiza, alcanzando profundidades próximas a los -90 metros. Esto nos da la evidencia que en el área de estudio y más precisamente en los 1500 metros estudiado, el subsuelo no presenta grandes variaciones estructurales, teniendo una mayor profundidad hacia el noreste (NE) y manteniendo profundidades relativamente homogéneas en el resto del yacimiento.

Los depósitos correspondientes a la Secuencia 5, se encuentran representados en el subsuelo por areniscas arcillosas con intercalaciones de arcilita, que en conjunto llegan a tener un espesor máximo de 140 metros. La Figura 63, es un mapa isopáquico de dichos depósitos y como se puede apreciar los mayores espesores los encontramos hacia el centro-oeste del yacimiento. Por otra parte los menores espesores se encuentran hacia el sureste (SE), cercanos a los 75 metros.

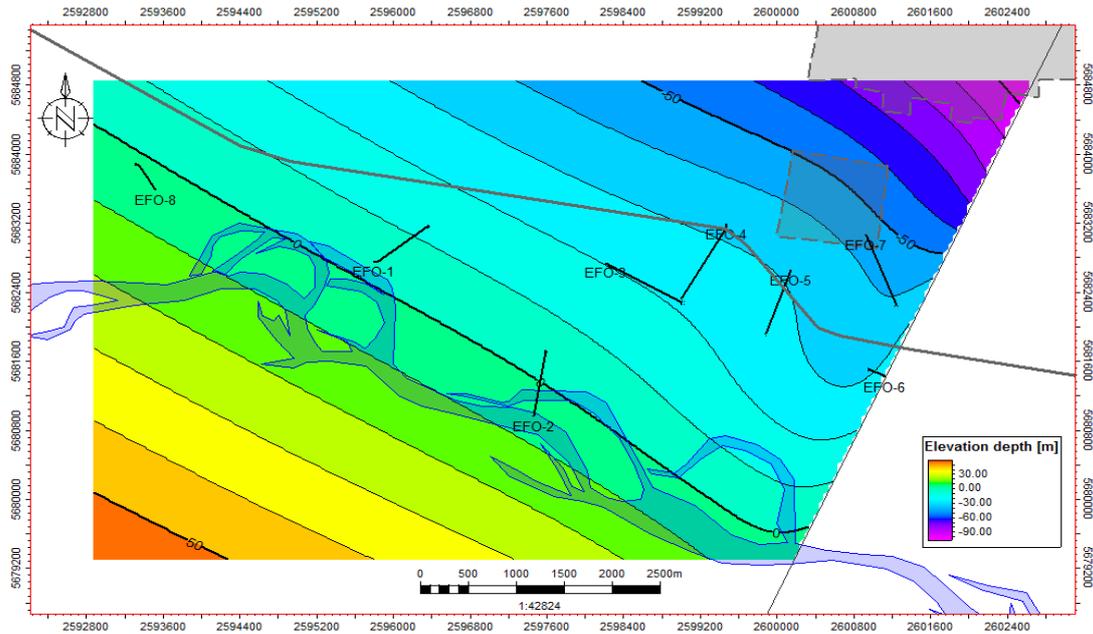


Figura 62. Mapa estructural de la Secuencia 5.

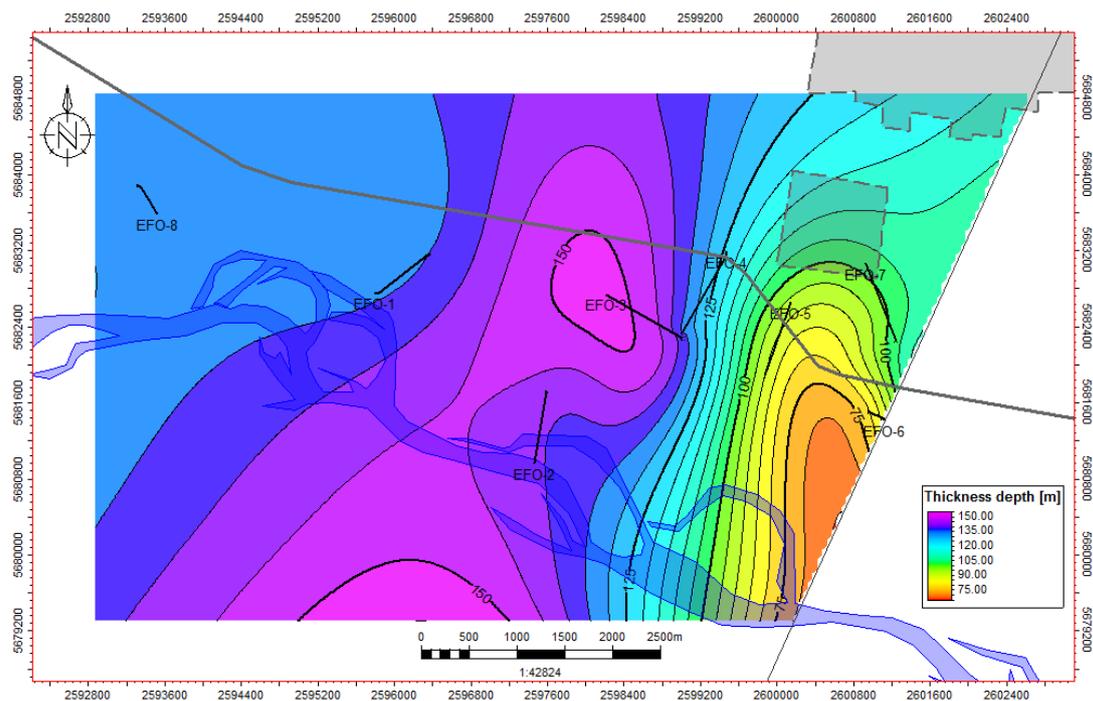


Figura 63. Mapa isopáquico de la Secuencia 5.

7.3.5. Mapa estructural e isopáquico de la Secuencia 6

El tope de la Secuencia 6 está representado por la superficie del terreno mientras que la base corresponde al tope de de la Secuencia 5 y como pudimos observar en el mapa estructural de dicha secuencia tiene valores positivos, esto nos está indicando que tenemos cotas que se encuentran por encima del nivel del mar. Esto

mismo ocurre en el mapa estructural de la Secuencia 6 (Fig. 64), podemos observar valores positivos que nos dan una configuración estructural diferente a la ya vista en la zona, dándonos las mayores profundidades hacia el sureste (SE).

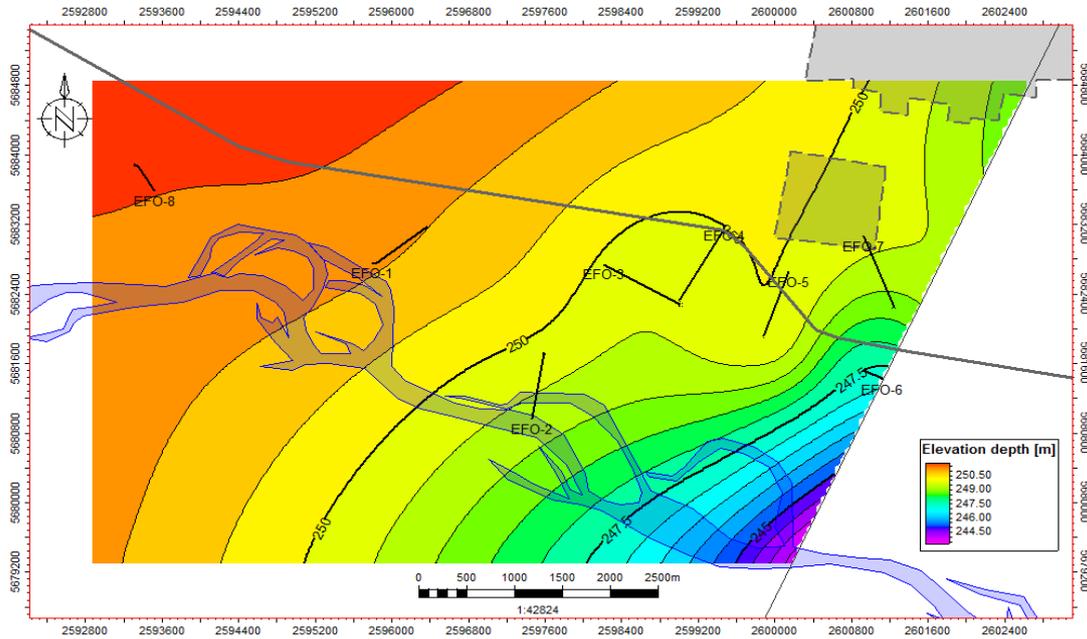


Figura 64. Mapa estructural de la Secuencia 6.

Esta secuencia se encuentra integrada por depósitos psamíticos con intercalaciones de pequeños bancos de areniscas arcillosas y areniscas conglomerádicas. El mapa isopáquico (Fig. 65) de estos depósitos nos indican que tienen un mayor desarrollo hacia el este, más precisamente hacia el noreste, alcanzando espesores máximos de aproximadamente 330 metros.

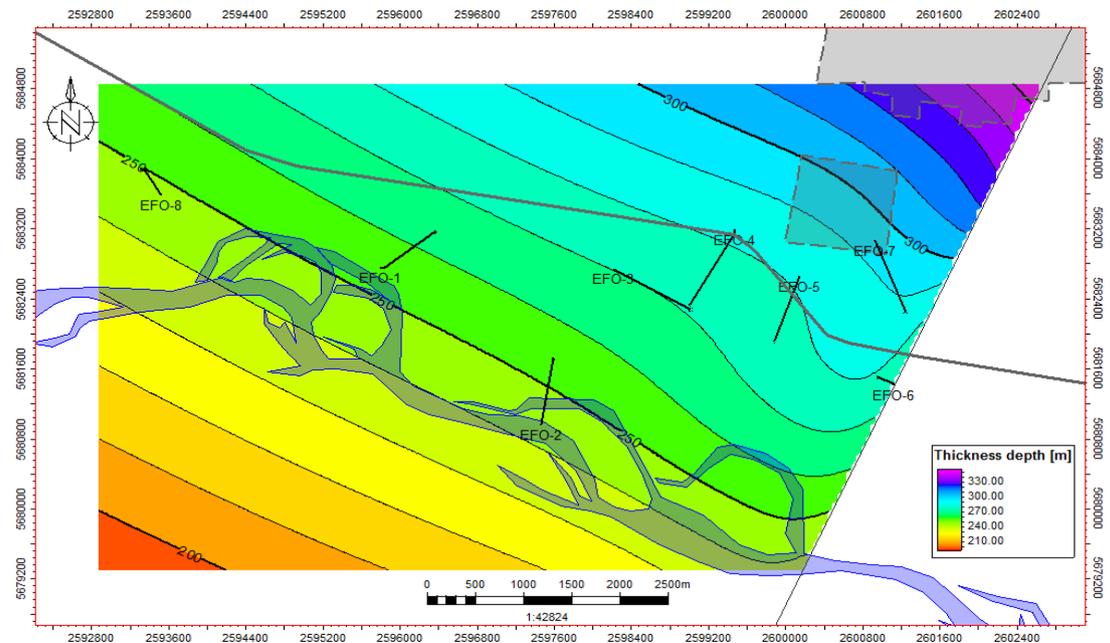


Figura 65. Mapa isopáquico de la Secuencia 6.

7.4. Interpretación Sísmica

El objetivo de realizar la interpretación sísmica 3D fue reproducir con mayor detalle el conjunto de mapas estructurales e isopáquicos construidos a partir de datos de pozos. Dado que la sísmica se encuentra en dominio del tiempo, los mapas se denominarán isócronos e isocronopáquicos, respectivamente. Esto, a su vez, permitirá tener una visión más ajustada de la distribución de las secuencias estudiadas en este trabajo.

Para realizar la interpretación se usó el *software* de la empresa, el cual permite generar un modelo del subsuelo a partir de los datos previamente cargados. En esta instancia se sumó la carga del volumen sísmico del área (3D), junto con una ley de velocidad que permitió trasladar los datos de pozo al dominio del tiempo (Fig. 66).

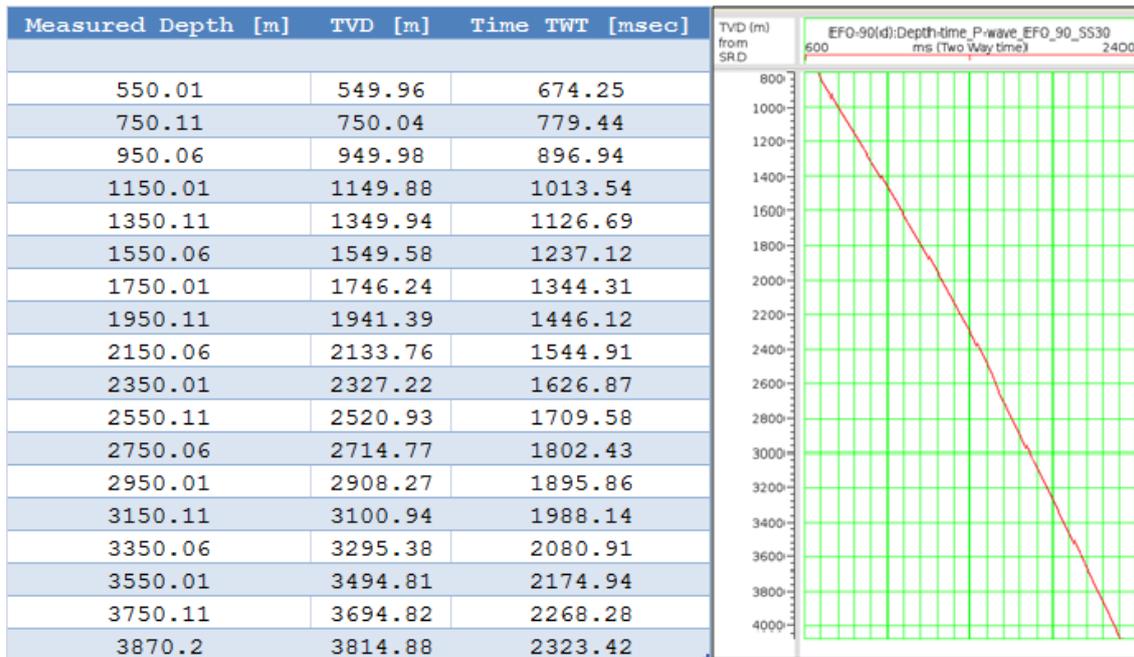


Figura 66. Ley de velocidad.

En un flujo de trabajo normal, se calibran todos los pozos con la sísmica y se definen los cambios de impedancia acústica más importantes que luego serán interpretados y que podrían estar asociados a los límites de secuencia. Debido que para las profundidades en las que estamos trabajando no contamos con el set de perfiles apropiado para esta tarea, densidad y sónico, no se pudo realizar dicha metodología y se trabajó con una ley única para todos los pozos.

Dado que nos se puede definir el contraste de impedancia acústica para cada secuencia y luego asociarlo a un reflector particular, se decidió interpretar el reflector más cercano y representativo de cada tope de secuencia.

La Figura 67, representa un corte de la sísmica utilizada. En ella se puede observar 4 de los 7 pozos que se usaron en este trabajo y la interpretación que se realizó para cada uno de los topes de las secuencias estudiadas. Como se puede apreciar la sísmica presenta una baja calidad, que está asociada a la falta de información, debido al acceso restringido para la adquisición de la sísmica (chacras, rutas, cuidad, río) dificultando la interpretación.

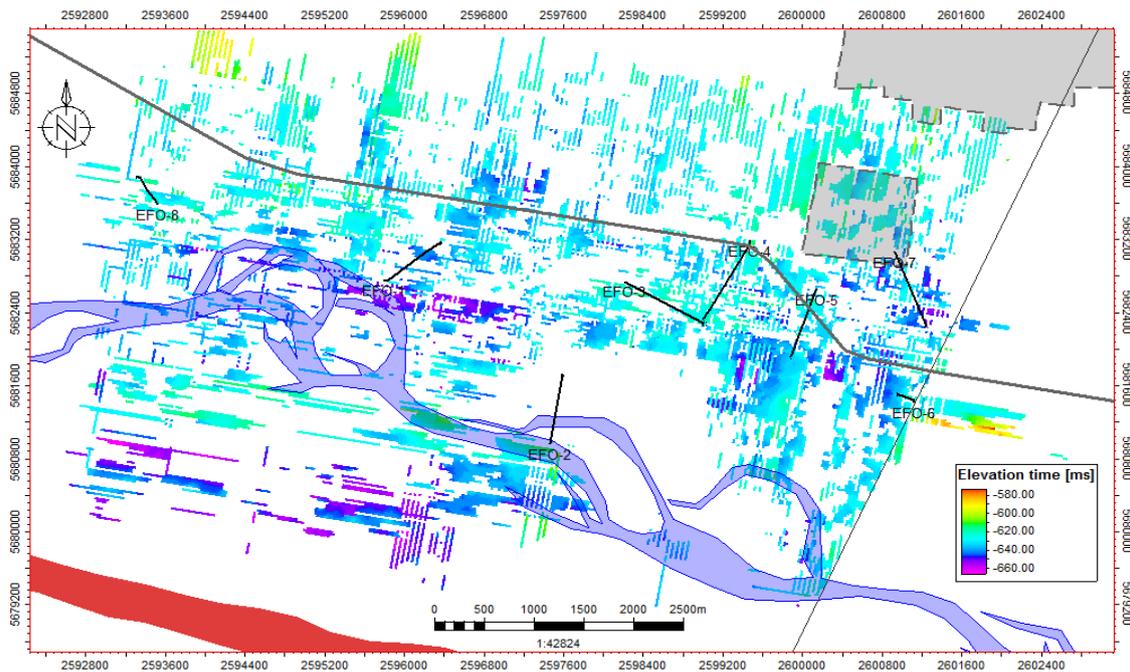


Figura 68. Ejemplo de grilla, producto de la interpretación sísmica.

El mapa isócrono de la Secuencia 2 se encuentra representado en la Figura 69 y como se puede observar las curvas de nivel presentan varias irregularidades que se deben principalmente a la baja calidad de la sísmica y no está relacionado al comportamiento irregular del tope del nivel en subsuelo, esto no solo lo podemos ver en este mapa sino que se observan en el resto de los mapas de las diferentes secuencias. En dicho mapa podemos notar como el tiempo disminuye hacia el SO, donde encontramos tiempos cercanos a los -817 ms, esto está asociado a la presencia de una falla que provoca una mayor profundidad hacia este sector, mientras que hacia el N-NO encontramos los mayores tiempo (-772 ms), dando nos la pauta de que estructuralmente nos encontramos en el bloque alto de la falla. En comparación con el mapa estructural de esta misma secuencia notamos una gran diferencia, ya que en dicho mapa no teníamos una visión tan detallada de la estructura del subsuelo y se pasaban por alto ciertos detalles importantes.

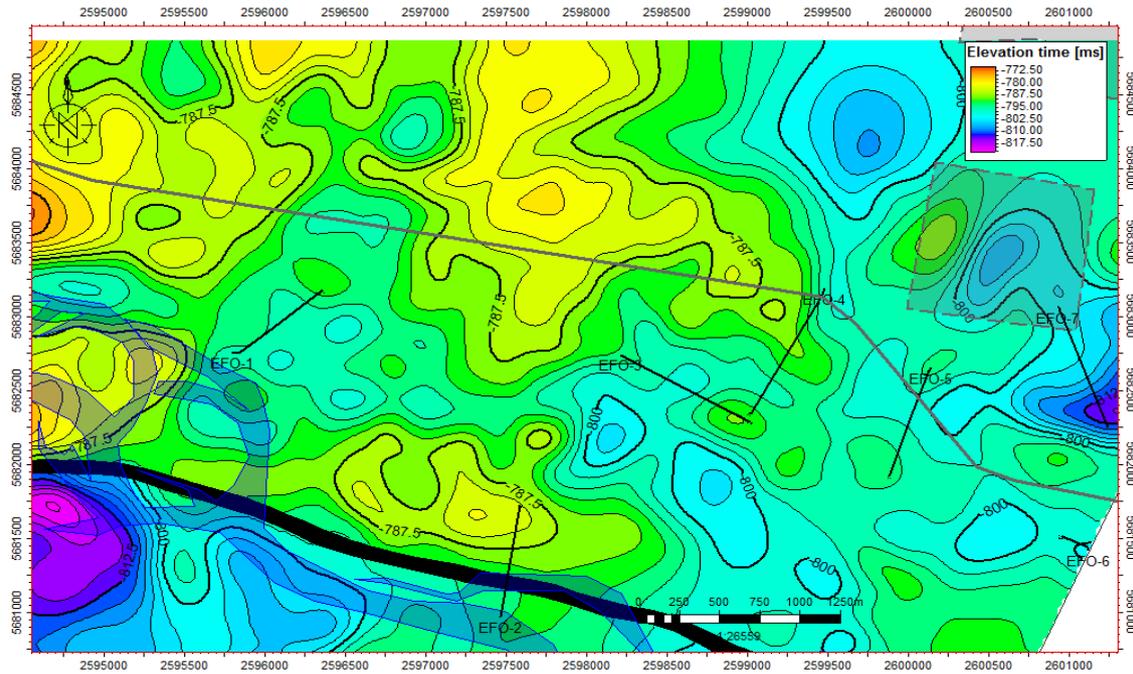


Figura 69. Mapa isócrono de la Secuencia 2.

El mapa isócrono de la Secuencia 3 (Fig. 70) y al igual que el mapa anterior tiene varias irregularidades en sus curvas pero esto no impide poder interpretar que la superficie tiene un bajo estructural hacia SO (-660 ms), el cual coincide con la falla presente en la zona de estudio. Hacia el N-NE nos encontramos con el bloque alto de la falla, representado los tiempos mayores, cercanos a -622 ms. Para esta secuencia también se realizó un mapa isocronopáquico (Fig. 71), ya que es una de las secuencias de mayor interés para este trabajo por las características que presenta la litología que la compone. Dicho mapa representa el espesor de esta secuencia, el cual se encuentra más desarrollado hacia el NE (180 ms), mientras que hacia el sector de la falla estos espesores tienen un menor desarrollo (153-162 ms). Esto nos da la pauta que el espesor que conforma a la Secuencia 3 es muy homogéneo tanto en vertical como horizontalmente.

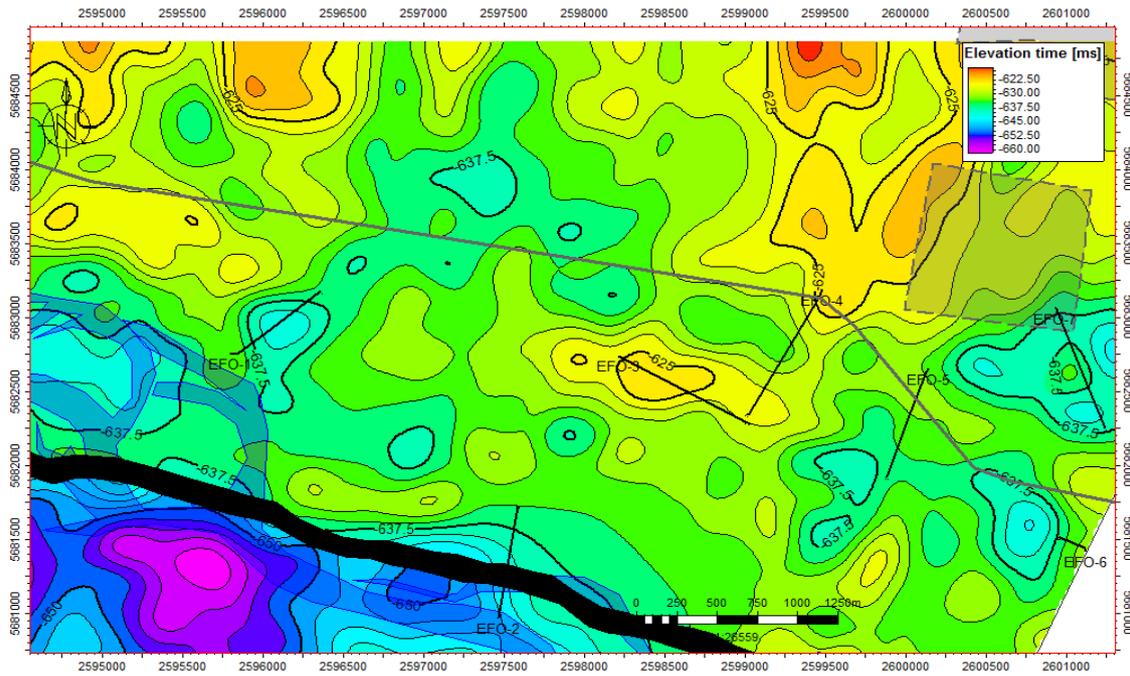


Figura 70. Mapa isócrono de la Secuencia 3.

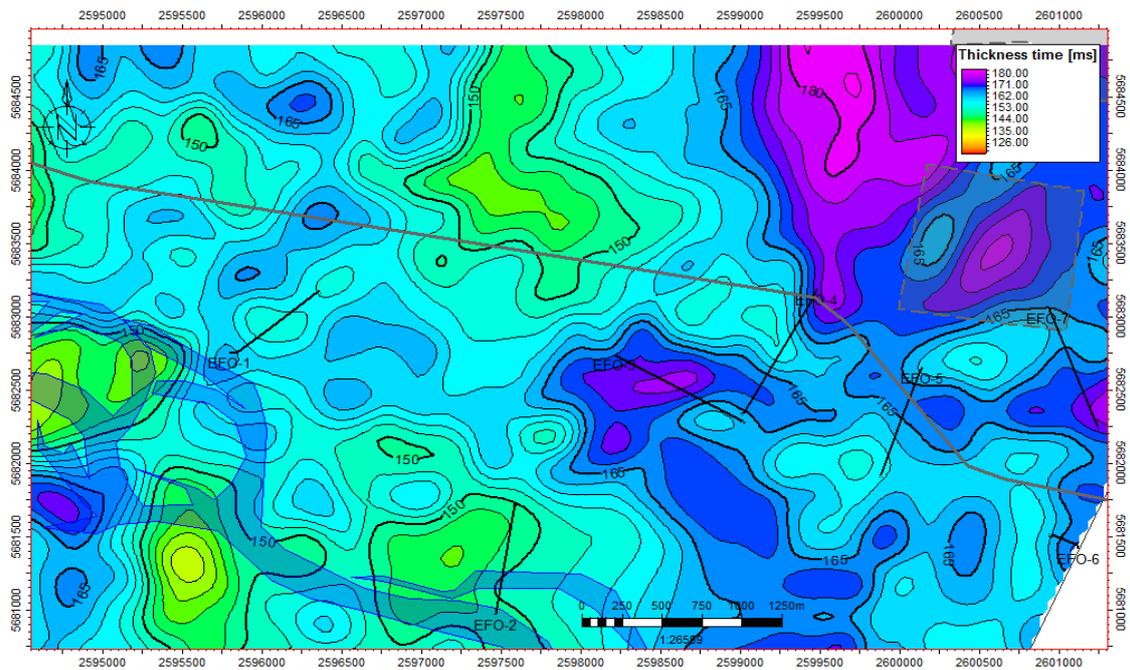


Figura 71. Mapa isocronopáquico de la Secuencia 3.

El mapa isócrono (Fig. 72) representa a la Secuencia 4, en él podemos observar 2 zonas, una hacia el SO y la otra hacia el E-NE en donde los tiempos son cercanos a los -612 ms. El primer caso está asociado a la falla y esos tiempos representan el bloque bajo de la misma, mientras que el segundo caso estaría asociado a una posible falta de información sísmica producto de no haber podido acceder a la toma

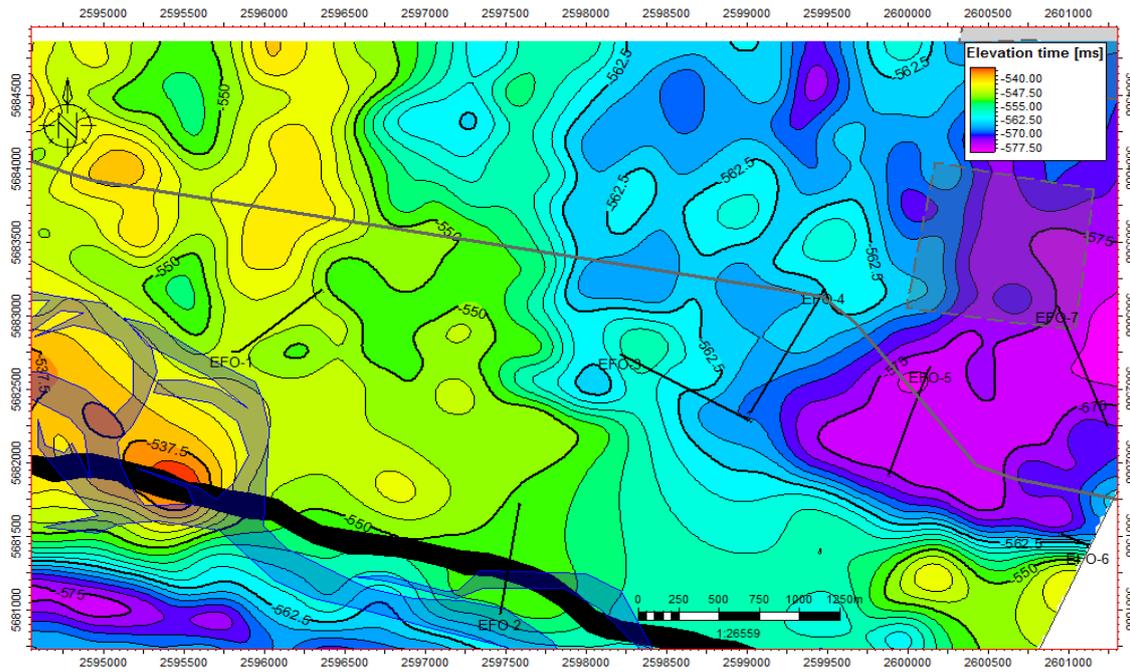


Figura 73. Mapa isócrono de la Secuencia

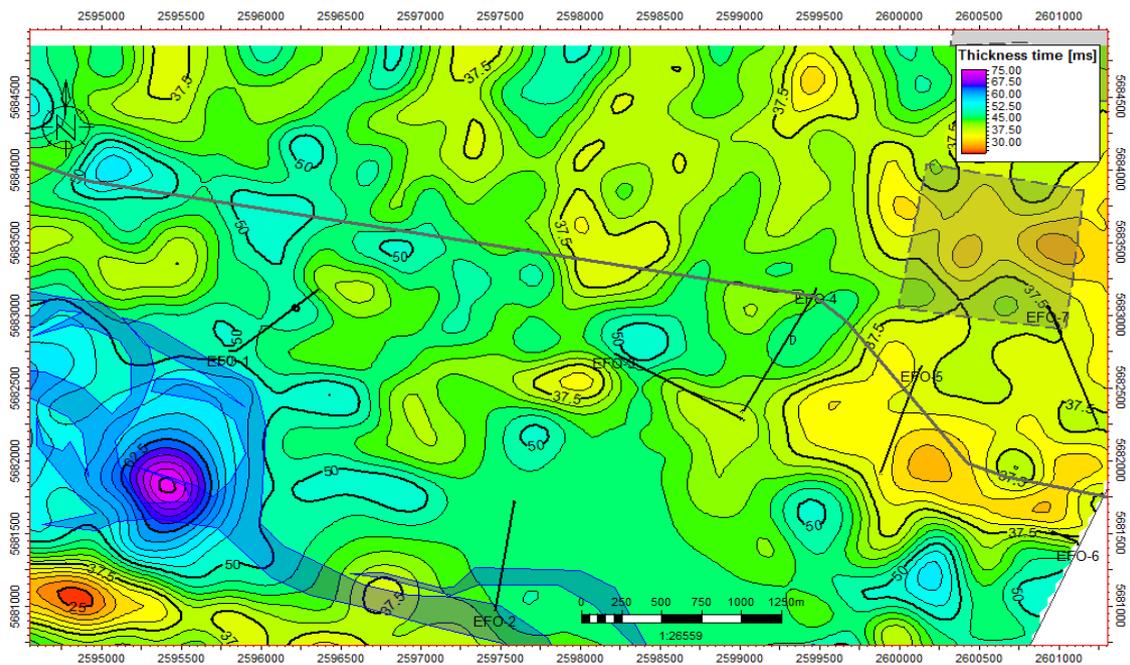


Figura 74. Mapa isocronopáquico de la Secuencia 5.

A partir de los mapas isócronos previamente elaborados, se generó una visualización 3D del subsuelo (Fig. 76), en el cual se puede ver las diferentes secuencias, el comportamiento que tiene la falla que las atraviesa (Fig. 75) y la disposición de los pozos utilizados en este trabajo

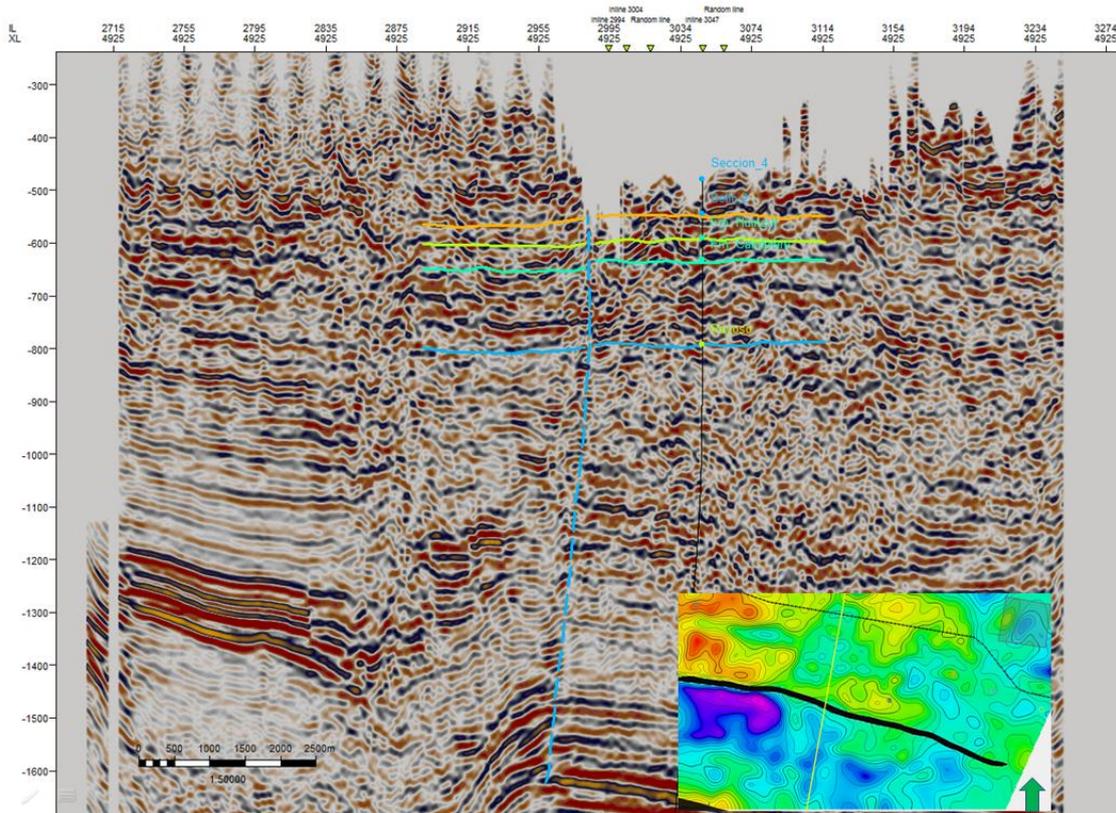


Figura 75. Visualización de la falla en un corte de la sísmica.

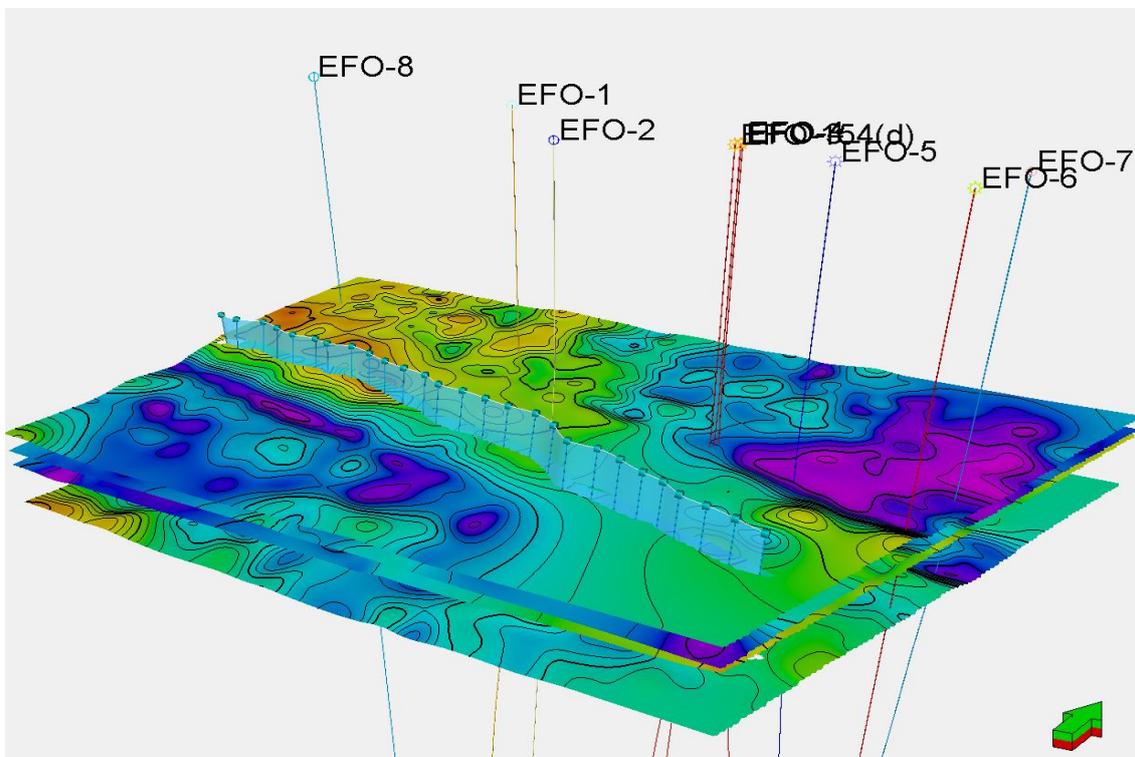


Figura 76. Modelo 3D de las secuencias.

7.5. Relación con el esquema estratigráfico del Grupo Neuquén

En este apartado se buscó establecer una relación entre las seis secuencias identificadas a lo largo de este trabajo con las diferentes formaciones que constituyen al Grupo Neuquén. Para esto, se contó con datos bibliográficos, trabajos internos de la compañía, *cutting*, sísmica y perfiles eléctricos. Esta metodología en su conjunto permitió establecer una comparación entre lo observado en el área de estudio con diferentes antecedentes descritos en distintos puntos de la cuenca.

Según el trabajo de Alonso (2016), realizado en el área del dorso de los Chihuidos (Fig. 77), el límite entre la Formación Rayoso y Candeleros está representado por un cambio brusco en la curva de rayos gamma. La base del Grupo Neuquén está representada por valores bajos de rayos gamma y el tope de la Formación Rayoso está caracterizado por niveles más elevados de radioactividad. Si relacionamos esto con el escenario del área de estudio se podría inferir que se está en presencia del mismo contacto ya que si nos enfocamos detalladamente en la correlación anterior (Fig. 47), vamos a notar que existe una gran deflexión en la curva del perfil GR, la cual está representada por el contacto entre las areniscas conglomerádicas (Secuencia 2) con alto grado de radioactividad y las areniscas arcillosas (Secuencia 3) que presentan un menor grado de radioactividad. Esto nos daría la pauta de que los elevados valores de radioactividad están relacionados con Formación Rayoso que equivaldría a la Secuencia 2 y por ende, los menores valores de radioactividad corresponderían a la Formación Candeleros que equivale a las areniscas arcillosas de la Secuencia 3.

La Figura 78, es una comparación entre las dos zonas y se puede observar una similitud en las respuestas de los perfiles eléctricos.

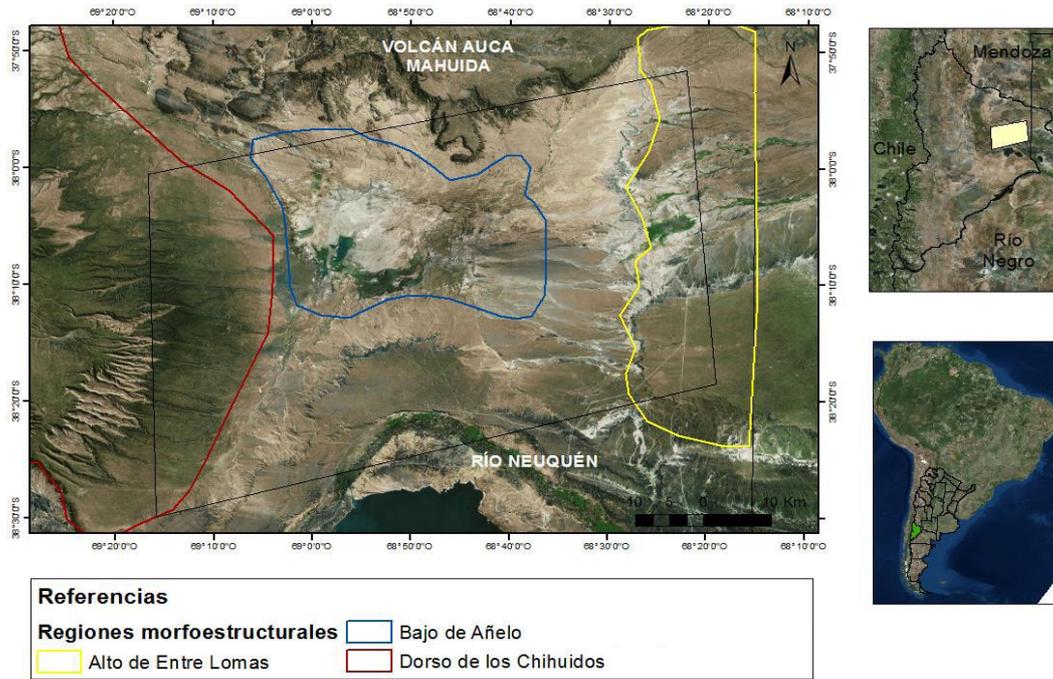


Figura 77. Ubicación del área del dorso de los Chihuidos (tomado de Alonso, 2016).

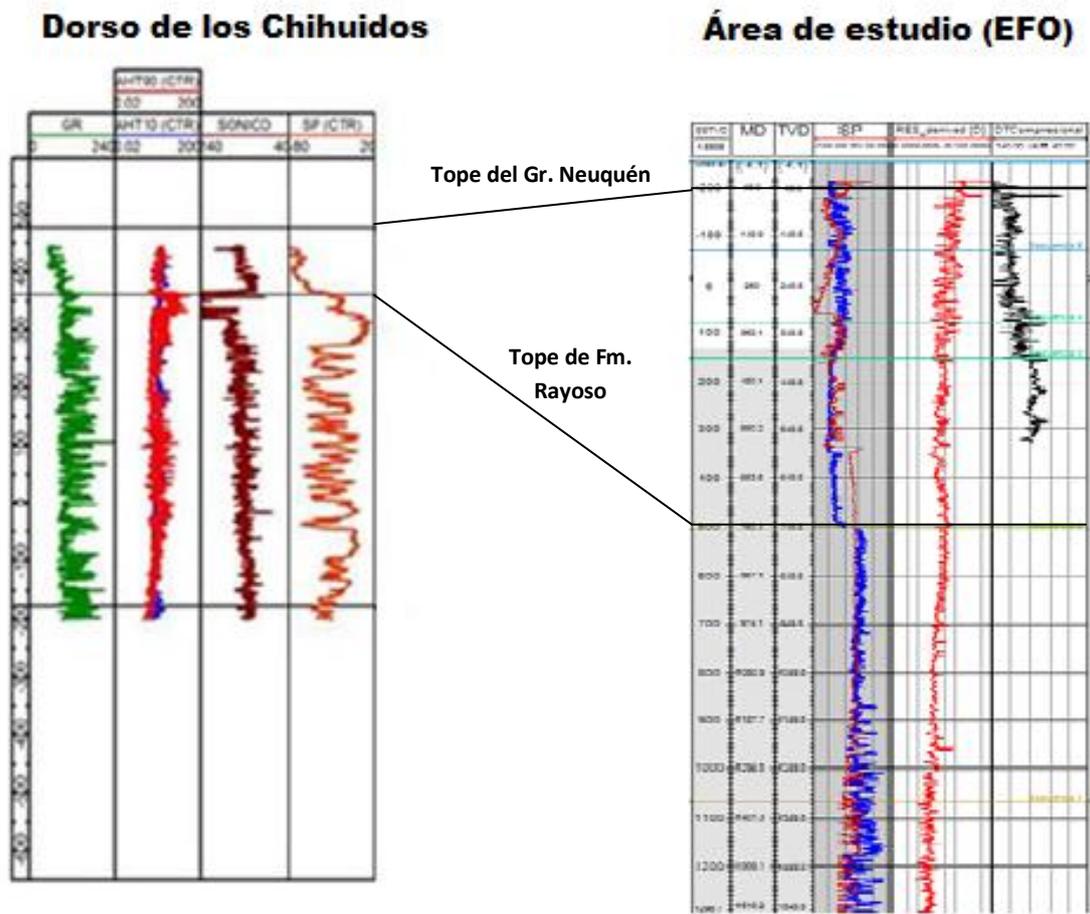


Figura 78. Respuesta de los perfiles eléctricos en el área del dorso de los Chihuidos (tomado de Alonso, 2016) y área de estudio.

No solo se contó con el trabajo de Alonso (2016) sino que se utilizaron diversos trabajos internos llevados a cabo por la compañía, para poder establecer la relación entre las secuencias identificadas y el Grupo Neuquén. De acuerdo a los trabajos de la compañía, la respuesta que se produce en los perfiles eléctricos entre la Formación Rayoso y Candeleros (base del Grupo Neuquén) se puede observar en diferentes puntos de la cuenca. Si tenemos en cuenta el trabajo de Laurenzano *et al.*, (2018), en el cual se llevó a cabo una serie de correlaciones a partir de la recopilación de datos de subsuelo como lo son los perfiles eléctricos y control geológico, se puede ver con claridad como la curva del perfil GR aumenta entre la Formación Rayoso y Formación Candeleros.

La Figura 79, muestra una correlación entre los pozos del trabajo de Laurenzano *et al.*, (2018) y el perfilaje tomado en el pozo EFO-3. En la misma, se pueden distinguir una semejanza en la respuesta, coincidiendo con los diferentes topes formaciones. Esto mismo puede observarse a lo largo de los diferentes pozos estudiados.

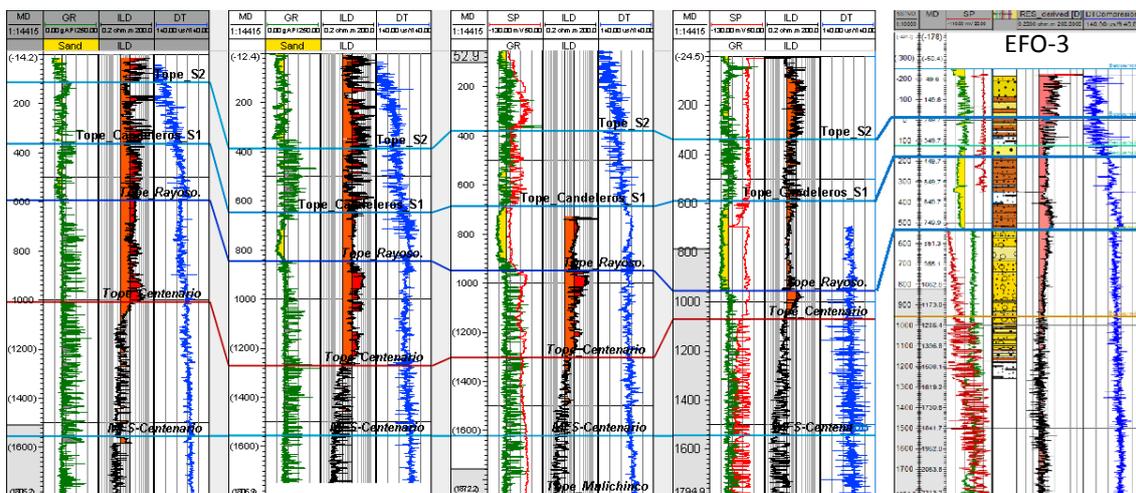


Figura 79. Correlación realizada por Laurenzano *et al.*, (2018) y perfilaje del pozo EFO-3.

En cuanto al resto de las secuencias es difícil poder establecer una ración con el Grupo Neuquén, debido a que este cuenta con varias formaciones y es prescindible contar con otros estudios (por ejemplo: datación) para poder establecer dicha relación.

8. NIVELES SELLOS

Como se planteó al comienzo del trabajo el objetivo es caracterizar y describir las rocas sellos pertenecientes al Grupo Neuquén y en este apartado se buscó poder asociar las secuencias con las formaciones que integran a dicho grupo y proponer un escenario para el área de estudio. A continuación se detallará las características que debe cumplir una roca sello.

Una roca sello es aquella que por su **escasa permeabilidad** o por contener poros de tamaño subcapilar, no permite el paso de un fluido, actuando así de barrera impermeables, por contar con cierta **plasticidad** (ya que a posibles movimientos tectónicos esta se puede romper o abrirse y permitir la fuga de los fluidos); y tener **continuidad horizontal y vertical**, ya que debe cubrir totalmente la roca reservorio, puesto que si tiene pequeñas aberturas, grietas, o discontinuidades en su grosor, puede permitir en escape de los fluidos.

En la zona de estudio contamos con la presencia de dos secuencias que cumplen con parte de las características mencionadas (Tabla 1). De acuerdo a la metodología aplicada en este trabajo se infiere que una de estas rocas sellos corresponde a la Formación Candeleros (Secuencia 3), base del Grupo Neuquén, que como ya sabemos no aflora en la zona de estudio. Según lo analizado en este trabajo se caracterizan litológicamente por areniscas arcillosas con abundante matriz arcillosa y por tener un espesor entre los 340-370 metros. Dicha litología presenta una importante continuidad lateral, característica importante de una roca sello.

Por otra parte, el segundo sello correspondería a la Secuencia 5 que se caracteriza por estar constituida por areniscas arcillosas con intercalaciones de pequeños bancos de areniscas finas. Ambas litologías en conjunto tienen una continuidad lateral y vertical, considerables.

Características de los sellos							
Sellos	Prof. Tope	Espesor	Litología	Cont. Lateral	GR (API)	DT	Permeabilidad
1	125 mts.	25 mts.	Arenas arcillosas	Poca	85	120	Baja
2	180 mts.	140 mts.	Arenas arcillosas + Arcilita	Alta	90	115	Baja
3	420 mts.	360 mts.	Arenas arcillosas	Alta	60	85	Baja

Tabla 1. Resumen de los sellos.

Es importante determinar los principales sellos del Grupo Neuquén, ya que estos sirven como barreras verticales para la protección y preservación de los niveles de agua dulce. Teniendo en cuenta esto, se planteó para el yacimiento EFO el análisis de la curva de resistividad, con la intención de poder identificar cuáles serán los niveles sellos más importantes que ayudarán a resguardar los reservorios de agua dulce, permitiéndonos así conocer las conductividades de la roca y el fluido que contienen.

El dato que debe ser considerado, en primer lugar, es la Resistividad de la formación (**Rt**), que es la Resistividad de la roca más la Resistividad del Fluido (**Rw**). También se requiere determinar la calidad del agua subterránea y para esto es necesario transformar los datos anteriores a **Rw** (resistividad del agua), que es la inversa de la conductividad, $\rho = 1/\sigma$. Se debe tener en cuenta que la conductividad varía en función de la temperatura. Por ejemplo: 3000 CINA se corresponde con 4000 micromhos/cm a 10° de temperatura; que da un $R_w = 2,5$ ohm.m, de la siguiente manera:

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{4000 \text{ micromhos/cm}} \\
 \downarrow \\
 \mathbf{0,004 \text{ mhos/cm}} \\
 \downarrow \\
 \mathbf{0,4 \text{ mhos/m}} \\
 \downarrow \\
 \mathbf{2,5 \text{ ohms.m}}
 \end{array}$$

Por ejemplo: si se considera la temperatura a una profundidad de 450 mbbp es de 40°C, da un $R_w = 1,3$ ohm.m, según el siguiente gráfico (Fig. 80):

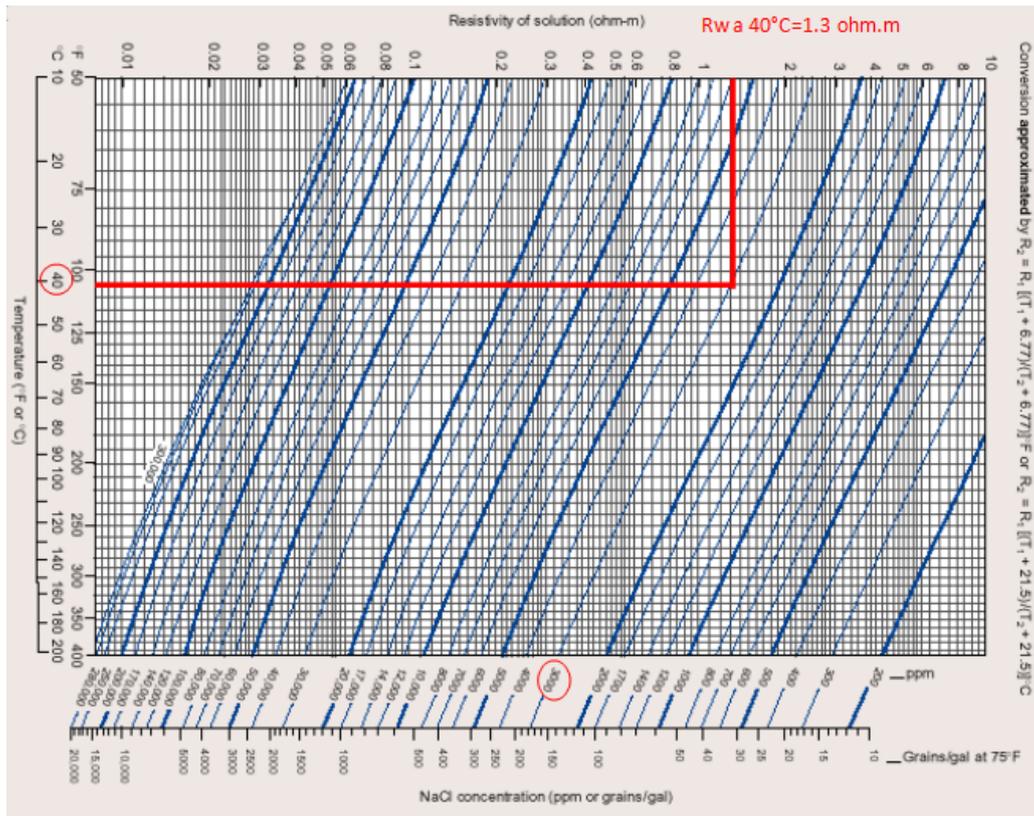


Figura 80. Gráfico Resistividad vs Temperatura en soluciones de NaCl.

Utilizando la Fórmula de Archie, se obtiene:

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{a R_w}{\phi^m R_t}}$$

a: Constante

m: Exponente de cementación

n: Exponente de Saturación

Rw: Resistividad del agua de formación

Rt: Resistividad zona virgen

Según la Tabla 2, se considera los siguientes valores:

Sw: 1(agua)

a = 0,81

m = 2

n = 2

Rw = 1,3 ohm.m

$\Phi = 0,3$

Rt = ?

a	1	Rocas Carbonáticas o Arenas de baja porosidad
	0.81	Areniscas de mediana a alta porosidad
m	2	"Arenas limpias"
	1,7-2	Areniscas Arcillosas
n	2,5-3	Porosidad Secundaria
	1	Rocas fisuradas
n	2	"Arenas limpias"
	1.8	Areniscas Arcillosas
	4	Petróleos pesados

Tabla 2. Valores teóricos para a, m y n.

La porosidad (Φ) que se debe utilizar es la correspondiente a un promedio de las lecturas (herramientas tipo Sónico) de las capas de areniscas de las secciones donde se estima se encuentren los reservorios acuíferos.

Calculado el R_t según el R_w del dato a una temperatura de 40°C:

$$1 = \sqrt[2]{\frac{0,81 \cdot 1,3 \text{ ohm/m}}{0,3^2 \cdot R_t}}; \quad R_t = \frac{0,81 \cdot 1,3 \text{ ohm/m}}{0,3^2}; \quad \text{da como resultado un } R_t = 11,7 \text{ ohm/m.}$$

Considerando que el valor de R_t variará según la profundidad de la capa debido al gradiente geotérmico, lo ideal es elaborar una curva de R_t que contemple esta variable y así utilizarla como *cut-off*.

Este procedimiento teórico es el que se llevó a cabo en *software* Petrel, para poder establecer una línea de *cut-off* y así poder inferir la presencia de agua de baja salinidad. En la Figura 81, podemos visualizar la línea de *cut-off* en color verde, que tiene un valor de Ohm por metros, por encima de la cual se considera que tenemos niveles con agua de baja salinidad. Se observa que estas aguas se encuentran ubicadas tanto por encima del nivel sello principal como del sello secundario, es decir todos aquellos “picos” en la curva azul, que sobrepasan la línea.

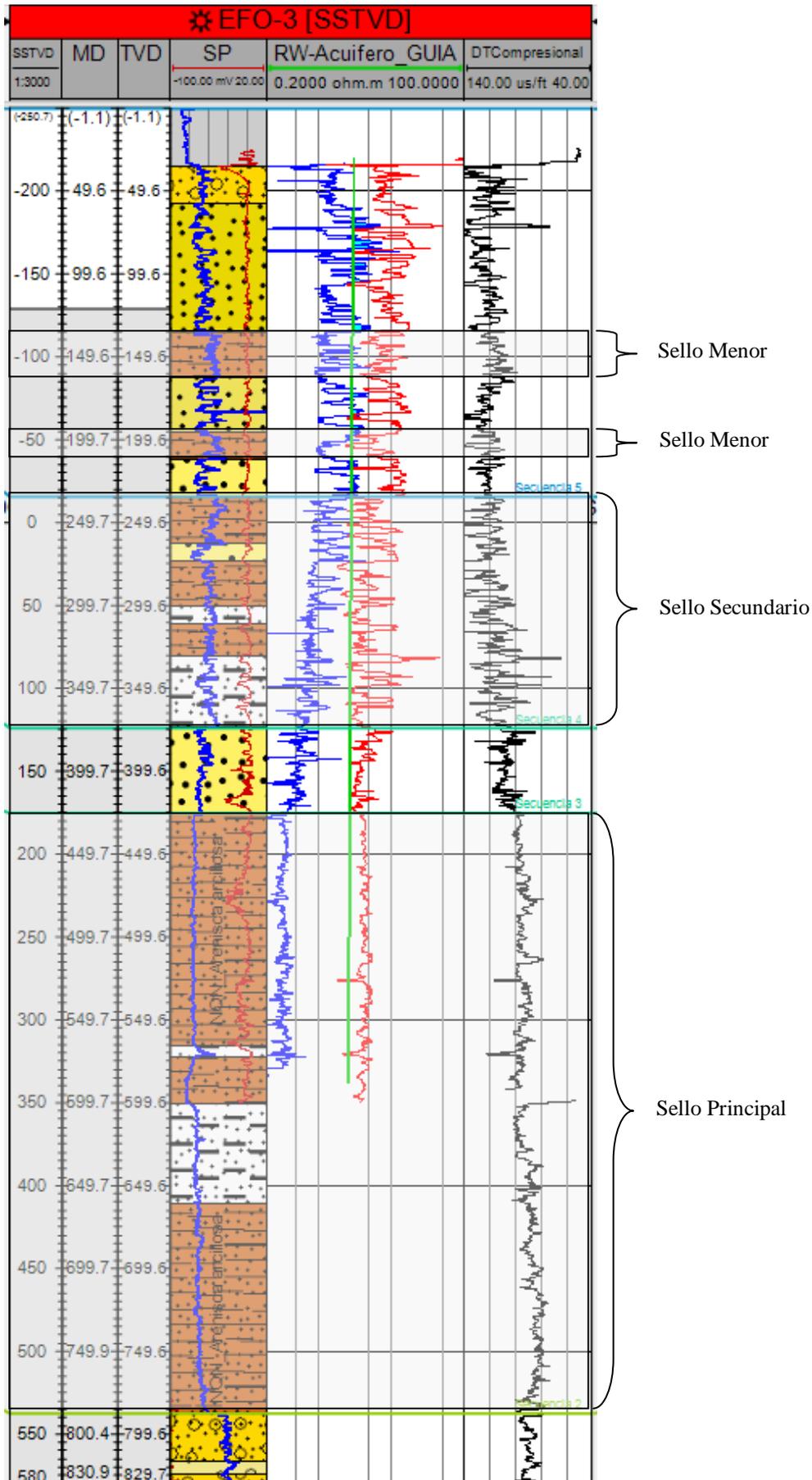


Figura 81. Posible escenario en el yacimiento.

9. CONCLUSIONES

La interpretación de las características litológicas del subsuelo, en base a los datos de control geológico, perfiles eléctricos e interpretación sísmica, aportados por la compañía YPF y sumado a esto los análisis de DRX y SEM permitieron realizar inferencias acerca de la distribución y disposición de las principales niveles sellos del Grupo Neuquén, en el sector oeste del área del Yacimiento EFO.

El estudio realizado de estos datos permitió establecer la presencia de dos niveles sellos principales. Por un lado, el primer sello se encuentra caracterizado litológicamente por areniscas arcillosas y se encuentra ubicado a profundidades entre los 420-780 metros alcanzando un máximo de espesor de 360 metros, mientras que el segundo sello se encuentra a profundidades de entre 180-320 metros y se caracteriza por presentar una litología intercalada de areniscas arcillosas y arcilitas que en conjunto alcanzan espesores de 140 a 170 metros. Es importante resaltar que hacia niveles más superficiales, en algunos pozos nos encontramos con pequeños niveles de areniscas arcillosas, que actuarían como roca sello, pero tienen poca continuidad lateral entre ellos.

Las muestras extraídas, a una profundidad de 500 metros, de la roca sello de los pozos EFO-1 y EFO-5 y analizadas bajo el estudio de DRX y SEM, arrojaron una composición mineral muy similar a pesar de estar distanciadas por 4 Km dentro del área de estudio. Esto a nivel local permitió deducir que el sello principal tiene una importante extensión lateral al igual que el sello secundario, que si bien no cuenta con datos de DRX y SEM, en ambos casos se pudo corroborar la continuidad lateral mediante la interpretación sísmica.

A través del análisis de la curva de resistividad de las rocas y fluidos, se puede inferir que las aguas de menor salinidad se encuentran por encima tanto del sello principal como del secundario.

Como se menciona a lo largo de este Trabajo Final es difícil asociar los niveles atravesados durante la perforación con la columna estratigráfica tipo del Grupo Neuquén, pero a través de la metodología aplicada y con ayuda de los trabajos internos se pudo establecer una relación entre el sello principal (360 metros) del área de estudio con la Formación Candeleros, base de dicho grupo. En cuanto al sello secundario es

difícil poder crear una relación, a pesar de haber utilizado la misma metodología, esto se debe a que nos encontramos en una zona más superficial del terreno y se requieren de otros estudios para poder asociarlo a alguna formación.

9.1. Futuras investigaciones

- Implementar la metodología en toda el área del Yacimiento EFO, a efecto de realizar una caracterización de mayor detalle.
- Estudiar las areniscas conglomerádicas (Secuencia 2), con el fin de determinar si corresponden a una nueva facie de la Formación Candeleros ó si estamos en presencia de la Formación Rayoso ó Centenario.
- Realizar estudios hidroquímicos de las aguas subterráneas, extraídas a diferentes niveles para tener un mayor conocimiento de aquellas aguas que son aptas para el consumo Humano.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M., 2016. Caracterización geológica de la Formación Rayoso y del Subgrupo Río Limay (Grupo Neuquén) y su relación con las aptitudes hidrogeológicas en el sector centro-norte de la provincia del Neuquén. Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ingeniería Lic. en Ciencias Geológicas - Dpto. de Geología y Petróleo.
- Alonso, J., Giusiano, A.E., Chebli, G. y Ibáñez, G., 2011. 'Shale Gas en la Provincia de Neuquén'. Subsecretaría de Hidrocarburos, Energía y Minería, Prov. de Neuquén y Phoenix Oil & Gas, S.A.
- Arregui, C., Carbone, O. y Leanza, H.A., 2011. Contexto tectosedimentario. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., y Vallés, J.M. (eds.). Relatorio Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 29-36, Neuquén.
- Asurmendi, E. y Sánchez, M.L., 2015. Stratigraphy and sedimentology of the terminal fan of Candeleros Formation (Neuquén Group), Lower Cretaceous, Neuquén Basin, provinces of Neuquén and Mendoza, Argentina. *Andean Geology* 42 (3): 329-348. September, 2015.
- Calvo, J.O. y Gazzera, C.E., 1989. Paleoeología en el sector inferior del Miembro Candeleros (Fm. Río Limay, Grupo Neuquén, Cretácico) en el área del Lago Exequiel Ramos Mexía, Provincia del Neuquén, Patagonia, Argentina. VI° Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados, Resúmenes: 3-5. San Juan.
- Cazau, L.B. y Uliana, M.A., 1973. El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 131-163. Buenos Aires.
- Cevallos, M.F., 2005. Análisis estratigráfico de alta frecuencia del límite Kimmeridgiano – Tithoniano en el subsuelo de la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina. *Petrotecnia* (Diciembre): 34-55. Buenos Aires.
- Charrier, R., Pinto, L. y Rodríguez, M.P., 2007. Tectono-stratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En: Gibbons, W. & Moreno, T. (Eds.): *Geology of Chile*, Chapter 3. The Geological Society, London, Special Publication, 21-116.
- Cristallini, E., Fantín, M., Venara, L. y Likerman, J., 2010. Estudio estructural de la región de Loma Negra, La Yesera y alrededores (Provincia de Río Negro). Informe Final. (Inédito)
- Cristallini, E.O., Martínez, J.M., Sanchez, E., Periale Gómez, S. y Loncarich, A., 2005. Evaluación estructural del bloque Bandurria (Provincia del Neuquén, Argentina). YPF (inédito), 73 p., Buenos Aires.
- Cristallini, E., Pando, G., Martínez, J.M., Buhler, M., Tomezzoli, R., Gazzera, C., Quiroga, J., Bechis, F., Barredo, S. y Zambrano, O. 2009. Controles precuycanos en la estructura de la cuenca Neuquina *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (2): 248-264.
- De Ferrariis, C., 1947. Edad del arco o dorsal Antigua del Neuquén oriental de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Buenos Aires.
- De Lozano, S., Morales, V.A. y Yañez, M.J., 2014. Principios y práctica de la Microscopía Electrónica. 1ra. Edición.

- Digregorio, J.H., 1972. Neuquén. En Leanza, A.F. (ed.) Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. República Argentina: 439-506, Córdoba.
- Dingus, L., Garrido, A.C., Scott, G.R., Chiappe, L.M., Clarke, J. y Schmitt, J.G., 2009. The litho-, bio-, and magnetostratigraphy of titanosaurian nesting sites in the Anacleto Formation at Auca Mahuevo (Campanian, Neuquén Province, Argentina). En: Barry Albright III, L. (Ed.): Papers on Geology, Vertebrate Paleontology, and Biostratigraphy in Honor of Michael O. Woodburne. Museum of Northern Arizona Bulletin 65: 237- 258.
- Di Paola, E.C., 1973. Caracterización litoestratigráfica de la Formación Neuquén. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 197- 206. Buenos Aires.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. y Lewis, D.W., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zeland. New Zeland Journal of Geology and Geophysics 13: 937- 968.
- Franzese, J.R. y Spalletti, L.A., 2001. Late Triassic, early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. Journal of South American Earth Science 14: 257 – 270.
- Franzese, J., Spalletti, L., Gómez Pérez, I. y Macdonald, D., 2003. Tectonic and paleoenvironmental evolution of Mosozoic sedimentary basins along the Andes foothills of Argentina (32° - 54° S). Journal of South American Earth Sciences 16: 81 – 90.
- Garrido, A.C., 2000. Estudio estratigráfico y reconstrucción paleoambiental de las secuencias fosilíferas continentales del Cretácico Superior en las inmediaciones de Plaza Huincul, provincia del Neuquén. Escuela de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Trabajo Final para el Título de Grado. 78 pp. Inédita.
- Garrido, A.C., 2010. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (República Argentina): Nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie, 12 (2).
- Garrido, A.C., 2011. El Grupo Neuquén (Cretácico Tardío) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino • Neuquén, 2011.
- Gawthorpe, R.L. y Leeder, M.R., 2000. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins. Basin Research. Vol 12, No 3-4, September 2000 pp. 195 – 218.
- González Díaz, E.F. y Ferrer, J.A., 1986. Geomorfología de la provincia del Neuquén. Relevamiento y priorización de áreas con posibilidad de Riego. Consejo Federal de Inversiones. Informe. Expediente. N° 181, 111 pp. Inédito.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 1. Hoja Chos Malal. Revista de la Asociación Geológica Argentina 1 (3): 177-208, Buenos Aires.
- Gulisano, C.A., 1981. El ciclo cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. 8° Congreso Geológico Argentino 3: 573-592, San Luis.
- Gulisano, C.A. y Gutiérrez Pleimling, A., 1995. Field guide: The Jurassic of the Neuquén Basin. a) Neuquén province. Asociación Geológica Argentina, Serie E, 2: 1-111, Buenos Aires.

- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A. y Digregorio, R.E., 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 236-259.
- Hawker, D., Vogt, K. y Robinson, A., 2001. Manual de Perforación: Procesamientos y operaciones en el pozo (Versión 3.0). Datalog.
- Herrero Ducloux, A., 1939. Estratigrafía y tectónica de los Estratos con Dinosaurios del Neuquén. En: II° Reunión de Geólogos y Geofísicos de YPF. Boletín de Informaciones Petroleras 16(180): 16-17. Buenos Aires.
- Howell, J.A., Schwarz, E., Spalletti, L.A. y Veiga, G.D., 2005. The Neuquén Basin: an overview. En Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.). The Neuquén Basin: a Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics. Geological Society Special Publication 252: 1-14. Londres.
- Keidel, J., 1922. Sobre la distribución de los depósitos glaciares del Pérmico conocidos en Argentina y su significación para la estratigrafía de la Serie de Gondwana y la paleogeografía del hemisferio austral. Boletín Academia Nacional de Ciencias, Tomo 25, Córdoba.
- Khatchikian, A., 2011. Registro de pozos-Principios y Aplicaciones. Buenos Aires.
- Laurenzano, B., Hernández, H., Núñez, I., Sticco, M., Deza, M., Curetti, N., Estivariz, A. y García Bes, P., 2018. Generando instrumentos de gestión para protección de acuíferos mediante cooperación entre empresas operadoras hidrocarburíferas bajo coordinación estatal de la provincia del Neuquén. Subsecretaría de Recursos Hídricos. XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. X Congreso Argentino de Hidrogeología. VIII Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. (Inédito).
- Leanza, H.A., 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie 11 (2): 145-184. Buenos Aires.
- Leanza, H.A., Hugo, C.A. y Repol, D., 2001. (=2005). Hoja Geológica 3969-I, Zapala, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Naturales. SEGEMAR. Boletín 275: 1- 128. Buenos Aires.
- Legarreta, L. y Uliana, M., 1996. The Jurassic succession in west-central Argentina: stratal patterns, sequences and paleogeographic evolution. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 120: 303-330.
- Legarreta, L., Kokogíán, D.A. y Boggetti, D.A., 1989. Depositional sequences of the Malargüe Group (Upper Cretaceous – lower Tertiary), Neuquén Basin, Argentina. *Cretaceous Research* 10: 337-356.
- Legarreta, L., Lafitte, G.A. y Minitti, S., 1999. Cuenca Neuquina: múltiples posibilidades en las series jurásico-cretácico del depocentro periandino. 4° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Limeres, M., Dajczgewand, D. y Orchueta, I., 2005. Estilo de entrapamiento en el yacimiento Loma Negra, Cuenca Neuquina, provincia de Río Negro. En Kozlowski, E., Vergani, G. y Boll, A.

- (eds.) Las trampas de hidrocarburos en las cuencas productivas de Argentina. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mar del Plata): 384 - 390.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M., 2011. Ciclo Gondwánico: La Provincia Magmática Choiyoi en Neuquén. Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino.
- Llambías, E.J., Leanza, H.A. y Carbone, O., 2007. Evolución tectonomagmática durante el Pérmico al Jurásico Temprano en la cordillera del Viento (37° 05' S – 37° 15' S): nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 62(2): 217-235.
- Macdonald, D., Gomez-Perez, I., Franzese, J., Spalletti, L., Lawver, L., Gahagan, L., Dalziel, I., Thomas, C., Trewin, N., Hole, M. y Paton, D., 2003. Mesozoic break-up of SW Gondwana: Implications for South Atlantic regional hydrocarbon potential. Marine and Petroleum Geology. 20: 287-308.
- Marchese, H.G., 1971. Litoestratigrafía y variaciones faciales de las sedimentitas mesozoicas de la Cuenca Neuquina, Provincia del Neuquén, República Argentina. Revista Asociación Geológica Argentina 26(3): 343-410.
- Mosquera, A. y Ramos, V.A., 2005. Intraplate foreland deformation in the Neuquén embayment. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, 28 págs. Mar del Plata.
- Mosquera, A. y Ramos, V.A., 2006. Intraplate de formation in the Neuquén Basin. En Kay, S.M. y Ramos, V.A. (eds.). Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39° S latitude). Geological Society of America, Special Paper 407: 97-124.
- Mosquera, A., Silvestro, J., Ramos, V.A., Alarcón, M., y Zubiri, M., 2011. La estructura de la dorsal de Huincul. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén, 2011.
- Nolen-Hoeksema, R., 2014. Una introducción a las reflexiones sísmicas. Oilfiel review, 26 (1).
- Paz, M., Báez, A.D., Pino, D.A., Yunes, Y.S., Garat, L.M., Ponce, J.J. y Tunik, M.A., 2014. Análisis sedimentológico de depósitos lacustres y eólicos del cretácico tardío en la localidad Paso Córdoba, cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 71 (4): 459 – 471.
- Ramos, V.A., 1978. Estructura. En Rolleri, E.O. (ed.) Geología y recursos naturales de la Provincia del Neuquén, 7° Congreso Geológico Argentino (Neuquén), Relatorio: 9-24. Buenos Aires.
- Ramos, V.A., 1981. Descripción Geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte. Provincia del Neuquén. Servicio Geológico Nacional. Boletín 182: 1-103. Buenos Aires.
- Ramos, V.A. y Folguera, A., 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: Constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation En Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.): The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics. The Geological Society, Special Publication 252: 15-35.
- Ramos, V.A., Folguera, A. y García Morabito, E., 2011. Las provincias geológicas de Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén, 2011.
- Rodríguez, M.F., Leanza, H.A. y Salvarredy Aranguren, M., 2007. Hoja Geológica 3969-II Neuquén, provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Naturales. SEGEMAR. Boletín 370: 1-165. Buenos Aires.

- Rojas Vera, E.A., Folguera, A., Zamora Valcarce, G., Giménez, M., Martínez, P., Ruíz, F., Bottesi, G. y Ramos, V.A., 2011. La fosa de Loncopué en el piedemonte de la cordillera Neuquina. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M. (eds.). Relatorio Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 375-383, Neuquén.
- Salgado, L., Canudo, J.I., Garrido, A.C., Ruiz, J.I., Omeñaca, R.A., García, M.S. de la Fuente., Barco, J.L. y Bollati, R., 2009. Upper Cretaceous vertebrates from El Anfiteatro area, Río Negro, Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research* 30: 767-784.
- Sánchez, G. y Claa, R., 2015. Estudio de acuíferos – justificación de la profundidad de los tramos guías en el Yacimiento Rincón de Mangrullo. YPF. Neuquén. (Interno).
- Sánchez, M.L., Heredia, S. y Calvo, J.O., 2004. Paleoambientes sedimentarios de la Formación Candeleros (Subgrupo Río Limay), Cretácico Superior, en el cañadón El Escondido, sudeste del Neuquén. X° Reunión Argentina de Sedimentología. Resúmenes: 157. San Luis. Sánchez, M.L., J.O.
- Sánchez, M.L., Rossi, J., Morra, S. y Parmas, P., 2008. Análisis estratigráfico secuencial de las formaciones Huincul y Lisandro del Subgrupo Río Limay (Grupo Neuquén – Cretácico Tardío) en el Departamento El Cuy, Río Negro, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 15 (1): 1-26.
- Schlumberger. Principios/Aplicaciones de la interpretación de registros. Educational. Services.
- Silvestro, J. y Zubiri, M., 2008. Convergencia Oblicua: Modelo estructural alternativo para la Dorsal Neuquina (39°S) – Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63(1): 49-64.
- Spalletti, L. y Gazzera, C.E., 1994. Eventos eólicos en capas rojas cretácicas (Formación Río Limay, Grupo Neuquén), sector sudeste de la Cuenca Neuquina, Argentina. En: L. Spalletti (Ed.). Contribuciones de los Simposios sobre Cretácico de América Latina. Parte A: Eventos y Registro Sedimentario. Actas: 89-100.
- Spalletti, L., Franzese, J., Matheos, S. y Schwarz, E., 2000. Sequence stratigraphy of a tidally-dominated carbonate-siliciclastic ramp; the Tithonian of the southern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society*. 157: 433-446.
- Stipanovic, P.N., 1966. El Jurásico en Vega de La Veranada (Neuquén), el Oxfordense y el diastrofismo Divesiano (Agassiz-Yaila) en Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 20 (4): 403-478, Buenos Aires.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F., Baulés, O.L. y Martínez, C.G., 1968. Las formaciones presenonianas del denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina 23 (2): 367-388, Buenos Aires.
- Tunik, M., Folguera, A., Naipauer, M., Pimentel, M. y Ramos, V., 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén Basin: constraints on the Andean uplift from U-PB and Hf isotopic data of detrital zircons. *Tectonophysics* 489(1- 4): 258-27.
- Uliana, M.A. y Dellapé, D.A., 1981. Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión maestrichtiano-eoterciaria del engolfamiento neuquino (Patagonia Septentrional). VII° Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 673-711.

- Uliana, M.A., Dellapé, D.A. y Pando, G.A., 1975. Distribución y génesis de las sedimentitas rayosianas (Cretácico inferior de las provincias de Neuquén y Mendoza). 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 1: 151-176, Buenos Aires.
- Valhaug, M., 2015. Mud Logging. Shumberger.
- Vergani, G.D., Arregui, C. y Carbone, O., 2011. Sistemas petroleros y tipos de entrapamientos en la Cuenca Neuquina. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M. (eds.)
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J., 1995. Tectonic evolution and paleogeography of Petroleum Geologists. Memoir 62: 383-402.
- Weaver, C.E., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. University of Washington. Memoir 1: 1-469, Seattle.
- Yrigoyen, M.R., 1991. Hydrocarbon resources from Argentina. In: World Petroleum Congress, Buenos Aires. Petrotecnia, 13, Special Issue, 38- 54.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Del Pino, D. y Ansa, A., 2006. Structural evolution and magmatic characteristics of the Agrio fold-and-thrust belt. En: Kay, S.M. y Ramos, V.A. (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: 125- 145, doi:10.1130/2006.2407(06).
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Ramos, V., Rodríguez, F., y Bernardo, L., 2009. Evolución tectónica del frente andino en Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 65 (1), p. 192- 203.
- Zapata, T. y Folguera, A., 2005. Tectonic evolution of the Andean Fold and Thrust Belt of the southern Neuquén Basin, Argentina. En Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwaerz, E. (eds.) The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics. The Geological Society, Special Publication 252: 37-56.
- Zapata, T., Corsico, S., Dzelajica, F. y Zamora, G., 2002. La faja plegada y corrida del Agrio: Análisis estructural y su relación con los estratos terciarios de la Cuenca Neuquina Argentina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mar del Plata), Actas. IAPG.
- Ziegler, P.A. y Cloeting, S., 2004. Dynamic processes controlling evolution of rifted basins. Earth-Science Reviews. Volume 64, Issues 1–2, January 2004, Pages 1-50.

ANEXO A: Tablas descriptivas

EFO-1			
Profundidad		Descripción	
Inicial	Final	Litología	Observaciones
40	90	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
90	110	Areniscas conglomerádicas	cast rjzo mod, m-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mtrz arc, mpv.
110	125	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
125	155	Areniscas conglomerádicas	cast rjzo mod, m-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mtrz arc, mpv.
155	180	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
180	265	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
265	295	Areniscas finas a medias	cast amar, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
295	310	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
310	435	Areniscas finas a medias	cast amar, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
435	600	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
600	625	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, bitum, grd aren.
625	645	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
645	675	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
675	775	Arenisca arcillosa	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
775	800	Arenisca conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
800	850	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc,ppv.
850	995	Arenisca conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
995	1005	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1005	1110	Arenisca conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1110	1120	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc,ppv.
1120	1170	Arenisca conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1170	1200	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc,ppv.
1200	1235	Arenisca conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1235	1250	Arenisca arcillosa	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1250	1265	Arenisca conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1265	1315	Arenisca arcillosa	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1315	1360	Areniscas medias a gruesas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1360	1380	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1380	1415	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1415	1425	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1425	1445	Areniscas finas a medias	blnc-gris, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
1445	1480	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1480	1495	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1495	1510	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1510	1530	Arenisca finas a medias	blnc-gris, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
1530	1570	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1570	1600	Areniscas medias	blnc-gris, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.

EFO-2			
Profundidad		Descripción	
Inicial	Final	Litología	Observaciones
40	50	Areniscas conglomerádicas	cast rjzo mod, m-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mtrz arc, mpv.
50	70	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
70	80	Areniscas conglomerádicas	cast rjzo mod, m-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mtrz arc, mpv.
80	185	Areniscas finas a gruesas	cast rjzo mod, f-g, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
185	205	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
205	220	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
220	230	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
230	240	Arcilitas arenosas	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
240	255	Areniscas medias a finas	cast amar, m-f, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
255	270	Arcilitas arenosas	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
270	295	Arenisca arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
295	300	Arcilitas arenosas	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
300	325	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
325	405	Areniscas finas a medias	cast amar, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
405	445	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
445	495	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, bna sel, mtrz arc, mpv.
495	570	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
570	600	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, bna sel, mtrz arc, mpv.
600	765	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
765	995	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
995	1040	Areniscas medias a gruesas	gris mod, m-g, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1040	1145	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1145	1155	Areniscas medias a gruesas	gris mod, m-g, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1155	1365	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1365	1370	Arcilitas arenosas	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1370	1410	Arenisca conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1410	1440	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1440	1450	Areniscas medias	gris mod, m, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1450	1485	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1485	1495	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1495	1505	Areniscas medias a gruesas	gris mod, m-g, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1505	1525	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1525	1590	Areniscas medias a gruesas	gris mod, m-g, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1590	1600	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.

EFO-3			
Profundidad		Descripción	
Inicial	Final	Litología	Observaciones
35	55	Areniscas conglomerádicas	cast rjzo mod, m-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mtrz arc, mpv.
55	135	Areniscas gruesas a finas	cast rjzo mod, g-f, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
135	162	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
162	195	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
195	210	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
210	235	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
235	260	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
260	275	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
275	300	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
300	310	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
310	330	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
330	370	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
370	420	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
420	565	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
565	575	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
575	600	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
600	665	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
665	790	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
790	817	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
817	825	Conglomerados	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc,ppv.
825	867	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
867	930	Conglomerados	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc,ppv.
930	940	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
940	995	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
995	1005	Conglomerados	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc,ppv.
1005	1150	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1150	1160	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1160	1210	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1210	1220	Conglomerados	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc,ppv.
1220	1235	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1235	1245	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1245	1270	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1270	1277	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1277	1290	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1290	1295	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1295	1302	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1302	1320	Areniscas medias	gris mod, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1320	1327	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1237	1340	Areniscas medias a gruesas	cast amar, m-g, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1340	1360	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1360	1365	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1365	1387	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1387	1395	Areniscas medias	gris mod, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1395	1405	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1405	1415	Areniscas medias	gris mod, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1415	1425	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1425	1435	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1435	1450	Areniscas medias	gris mod, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1450	1460	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1460	1475	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1475	1482	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1482	1487	Areniscas medias a finas	gris mod, m-f, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1487	1570	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1570	1600	Areniscas medias	gris mod, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.

EFO-4			
Profundidad		Descripción	
Inicial	Final	Litología	Observaciones
5	40	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
40	50	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
50	100	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
100	120	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
120	135	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
135	160	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
160	195	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
195	210	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
210	235	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
235	260	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
260	270	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
270	350	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
350	370	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
370	420	Areniscas finas a medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
420	565	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
565	575	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, bitum, grd aren.
575	600	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
600	665	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
665	695	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
695	730	Areniscas finas a medias	cast rjzo osc, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
730	760	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
760	790	Areniscas finas a medias	cast rjzo osc, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
790	1050	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1050	1065	Areniscas medias a finas	cast amar, m-f, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1065	1270	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1270	1290	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, eca mtz arc,ppv.
1290	1320	Areniscas finas a medias	cast amar, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1320	1325	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1325	1365	Areniscas medias a finas	cast amar, m-f, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1365	1370	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1370	1380	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1380	1390	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1390	1425	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1425	1435	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1435	1450	Areniscas medias	blnc-gris, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
1450	1500	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
1500	1570	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1570	1600	Areniscas medias	blnc-gris, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.

EFO-5			
Profundidad		Descripción	
Inicial	Final	Litología	Observaciones
0	40	Areniscas medias a finas	cast rjzo mod, m-f, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
40	65	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
65	80	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
80	95	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
95	105	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
105	115	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
115	150	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
150	165	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
165	180	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
180	240	Areniscas medias a finas	cast amar, m-f, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
240	250	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
250	275	Areniscas finas a medias	cast amar, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
275	300	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
300	310	Areniscas finas a medias	cast amar, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
310	360	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
360	435	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
435	540	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
540	605	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc,bitum, grd aren.
605	770	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo,cal, subred, mod sel, abnd mtz arc,ppv.
770	775	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
775	790	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
790	945	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
945	1055	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc,ppv.
1055	1310	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1310	1320	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1320	1345	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1345	1360	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1360	1380	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1380	1430	Areniscas medias a gruesas	cast amar, m-g, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1430	1450	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1450	1455	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1455	1475	Arcilita arenosa	cast rjzo, amorfa, mf-f, abnd arc, grd aren.
1475	1500	Areniscas medias a gruesas	blnc-gris, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
1500	1520	Areniscas arcillosas	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1520	1530	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1530	1540	Arcilita	cast rjzo osc, mf, abnd arc.
1540	1570	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel,mod mtrz arc, ppv.
1570	1590	Areniscas medias a gruesas	blnc-gris, m-g, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
1590	1600	Areniscas finas a medias	blnc-gris, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.

EFO-6			
Profundidad		Descripción	
Inicial	Final	Litología	Observaciones
0	40	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
40	55	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
55	75	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
75	105	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
105	185	Areniscas medias a gruesas	gris mod, m-g, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
185	225	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
225	280	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
280	340	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
340	355	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
355	380	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
380	395	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
395	412	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
412	430	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
430	440	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
440	470	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
470	595	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
595	620	Arcilita	cast rjzo osc, mf, abnd arc.
620	792	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
792	805	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
805	825	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, eca mtz arc, ppv.
825	840	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
840	940	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, eca mtz arc, ppv.
940	1097	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1097	1110	Areniscas medias a finas	cast amar, m-f, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1110	1187	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1187	1192	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
1192	1290	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1290	1302	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1302	1320	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1320	1330	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
1330	1372	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1372	1387	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
1387	1405	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1405	1452	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1452	1475	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1475	1480	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1480	1500	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1500	1510	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1510	1565	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1565	1570	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1570	1600	Areniscas medias	blnc-gris, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.

EFO-7			
Profundidad		Descripción	
Inicial	Final	Litología	Observaciones
40	50	Areniscas finas	cast rjzo mod, f, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
50	70	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
70	95	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
95	120	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
120	160	Areniscas medias a finas	cast rjzo mod, m-f, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
160	205	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
205	220	Areniscas medias a finas	cast rjzo mod, m-f, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
220	240	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
240	255	Areniscas medias a finas	cast rjzo mod, m-f, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
255	290	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
290	295	Areniscas medias a gruesas	cast rjzo mod, m-g, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
295	300	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
300	330	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
330	340	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.
340	365	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
365	380	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
380	390	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
390	410	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
410	450	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
450	490	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
490	500	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
500	550	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
550	560	Areniscas finas a medias	cast rjzo mod, f-m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
560	580	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
580	590	Arcilita	cast rjzo osc, mf, abnd arc.
590	770	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
770	792	Areniscas medias	cast rjzo mod, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
792	810	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
810	875	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
875	890	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc, ppv.
890	945	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
945	975	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc, ppv.
975	1000	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1000	1100	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc, ppv.
1100	1150	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1150	1170	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc, ppv.
1170	1306	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1306	1320	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1320	1342	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1342	1355	Areniscas medias	cast amar, m, abnd crzo, lít, mod sel, abnd mtz arc.
1355	1384	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1384	1412	Conglomerado	gris cl, g-mg, crzo, cltos, lít, p sel, ecsa mtz arc, ppv.
1412	1425	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1425	1452	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1452	1460	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
1460	1477	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1477	1555	Areniscas arcillosas	cast rjzo osc, mf-fina, crzo, subred, mod sel, abnd mtz arc, ppv.
1555	1570	Areniscas conglomerádicas	gris mod, g-mgr, abnd crzo, lít, p sel, mod mtrz arc, ppv.
1570	1590	Arcilita arenosa	cast rjzo, mf-f, abnd arc, grd aren.
1590	1600	Areniscas medias	blnc-gris, m, abnd crzo, lít, p sel, abnd mtz arc.

ANEXO B: Mapas Isócronos e isocronopáquicos

➤ Secuencia 2

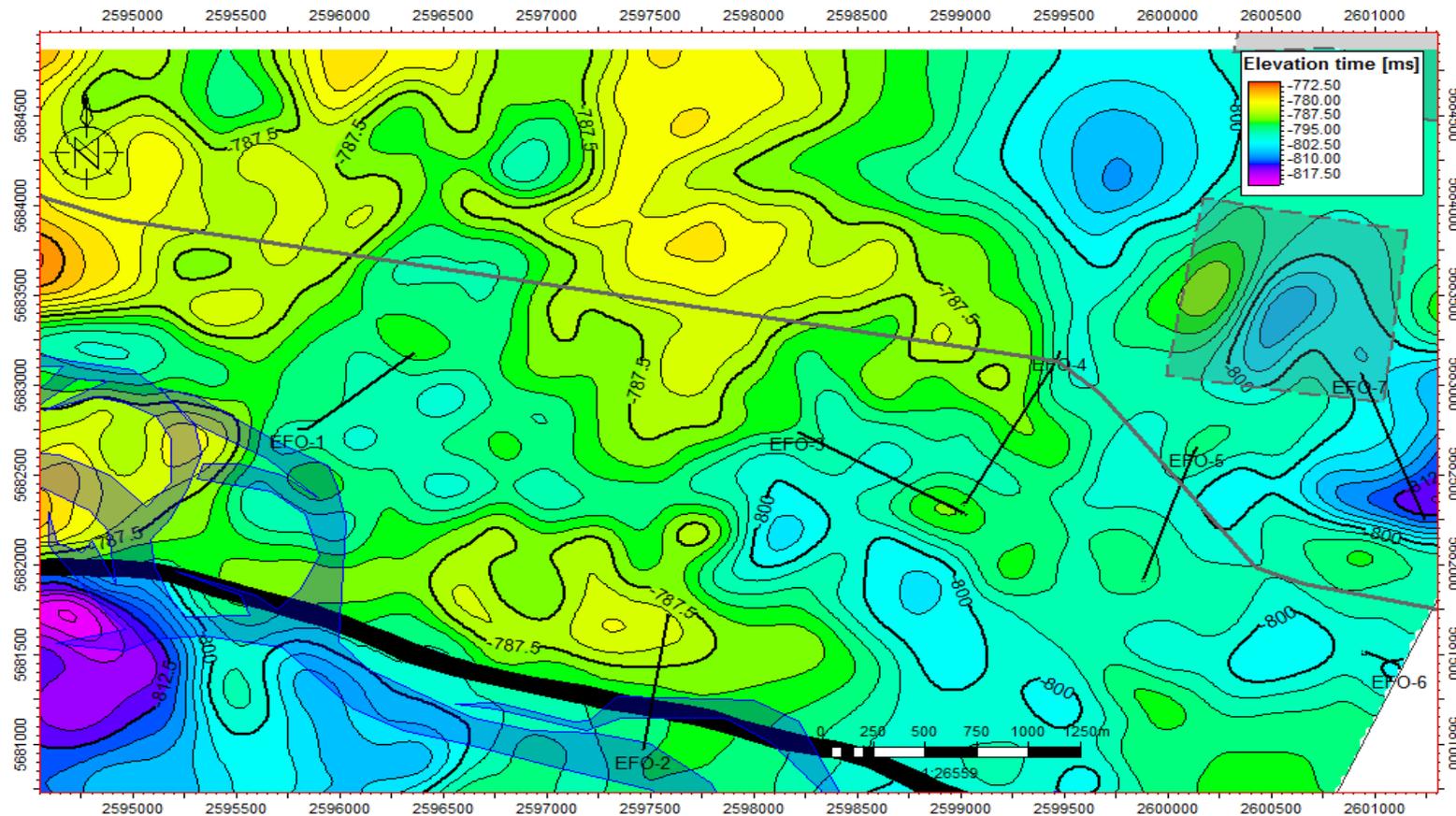


Figura C.1: Mapa Isócrono de la secuencia 2.

➤ **Secuencia 3**

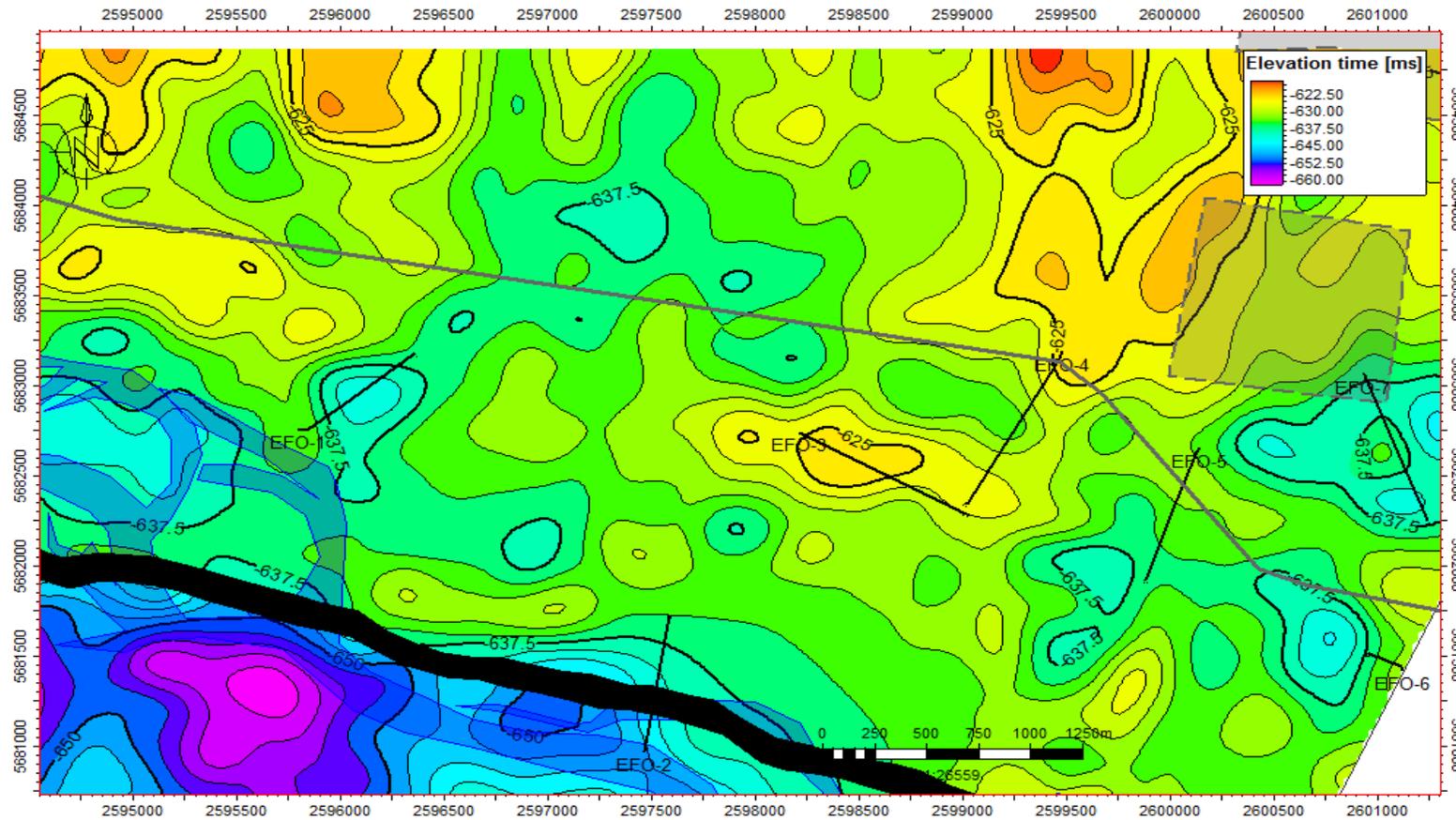


Figura C.2: Mapa Isócrono de la secuencia 3.

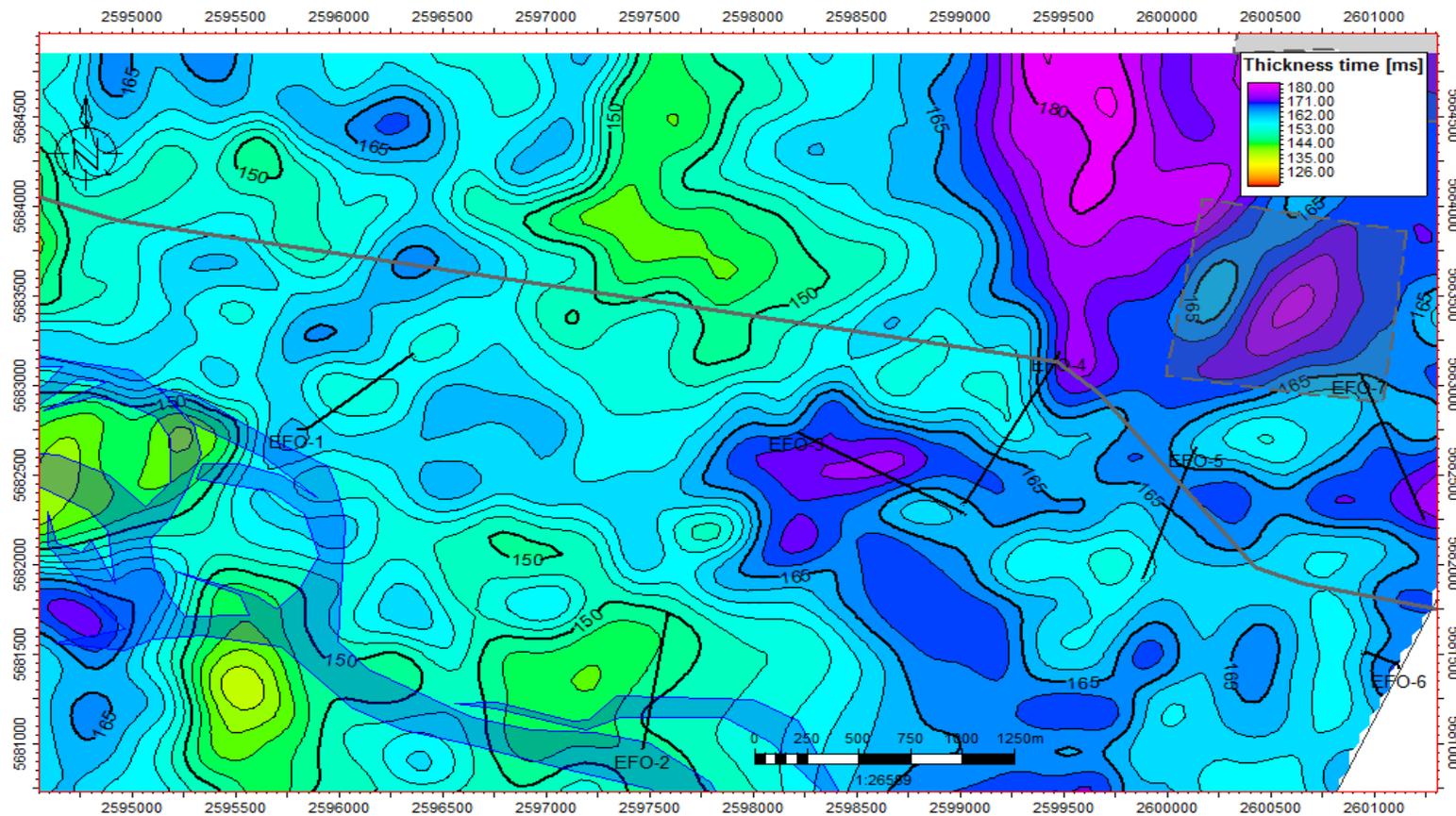


Figura C.3: Mapa Isocronopéutico de la secuencia 3.

➤ **Secuencia 4**

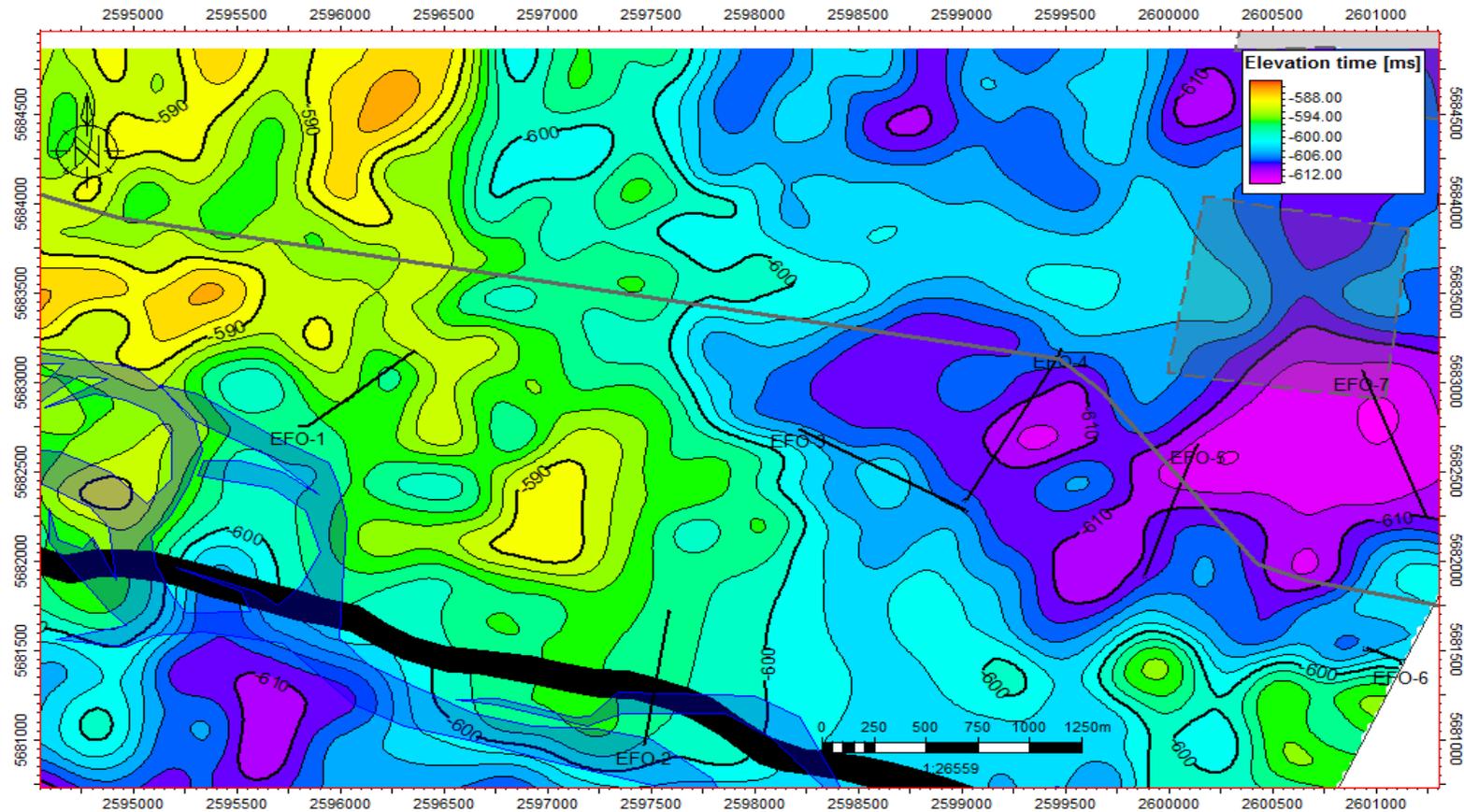


Figura C.4: Mapa Isócrono de la secuencia 4.

➤ **Secuencia 5**

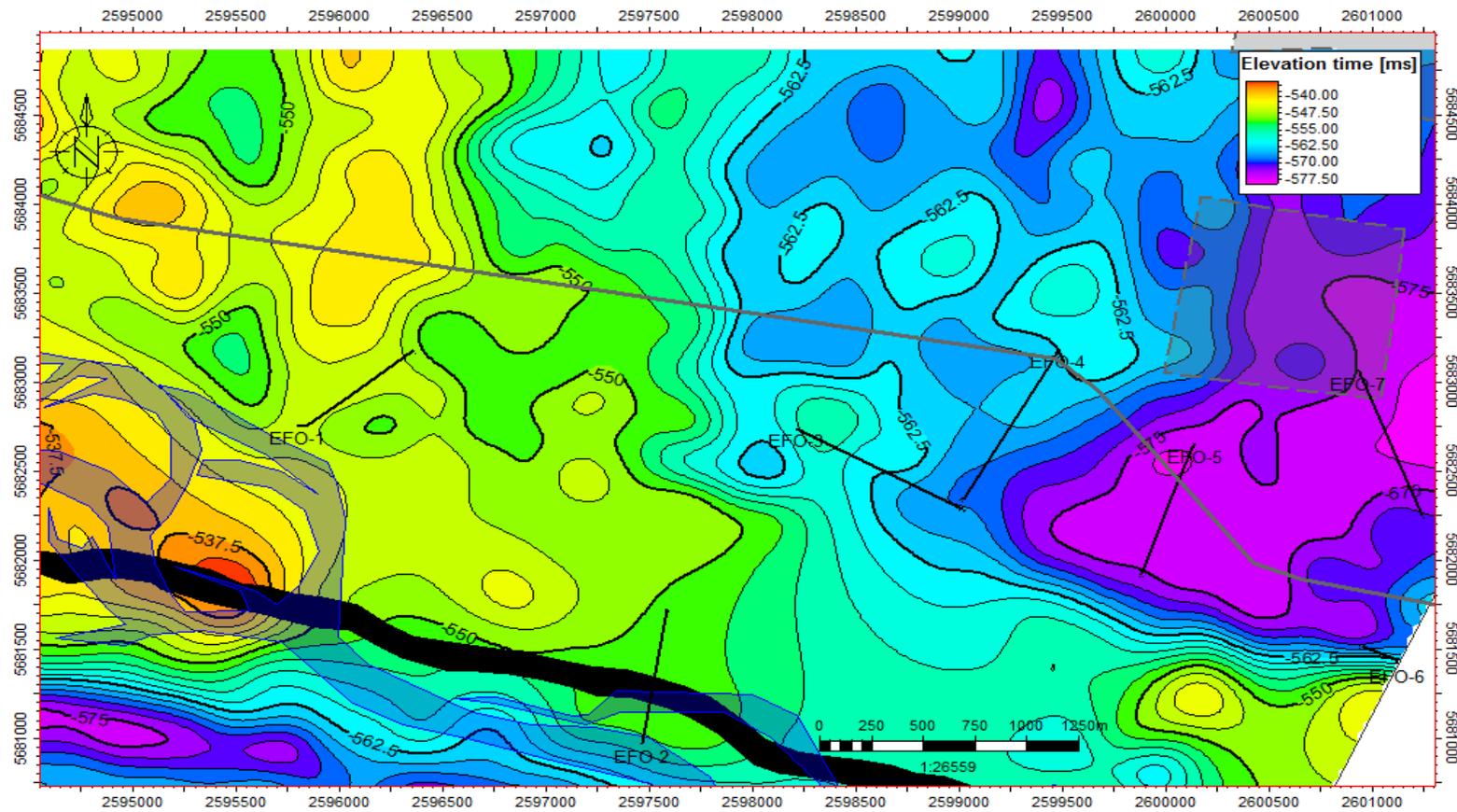


Figura C.5: Mapa Isócrono de la secuencia 5.

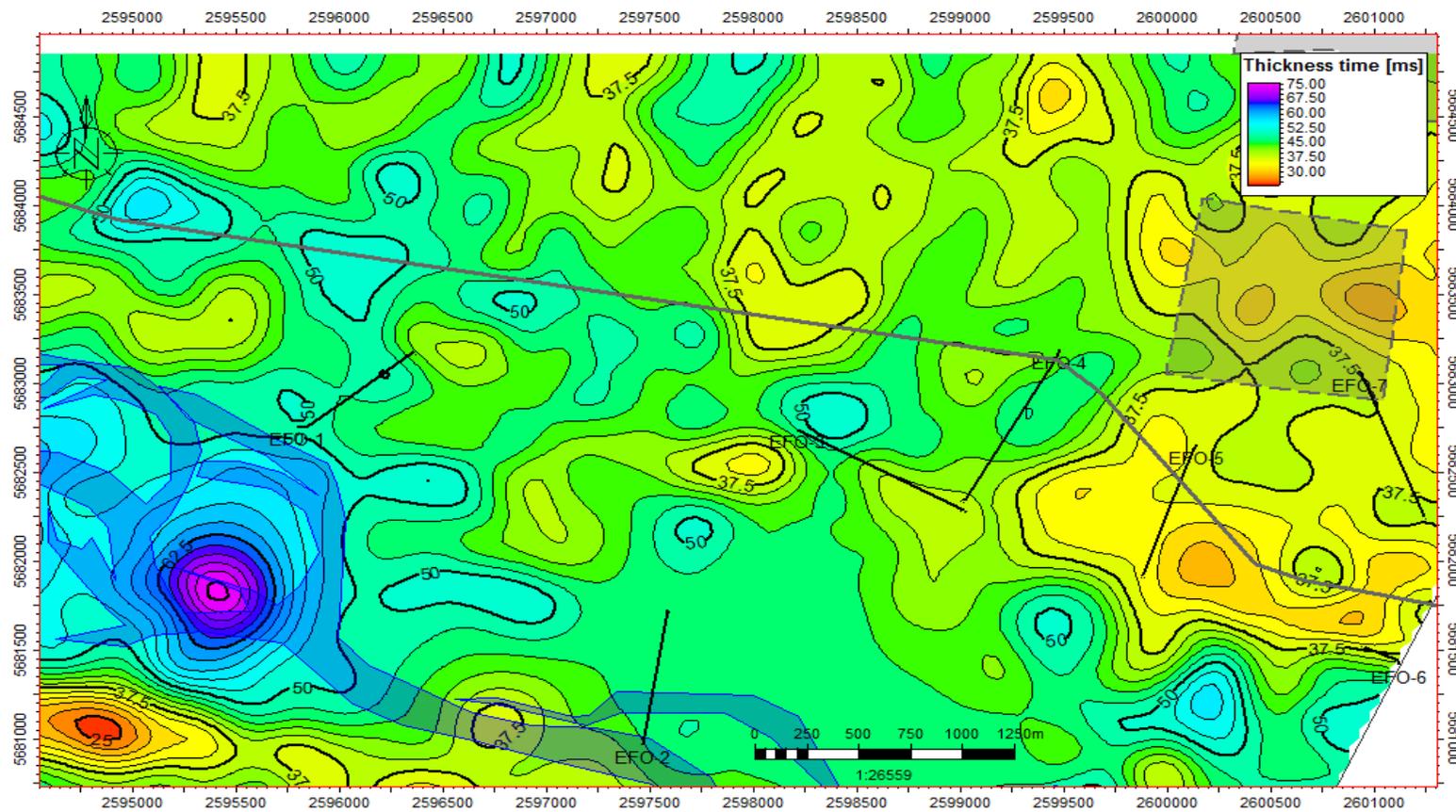


Figura C.6: Mapa Iscronopáquico de la secuencia 5.