



UNIVERSIDAD  
NACIONAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO NEGRO

Licenciatura en Geología

**ANÁLISIS SISMOESTRATIGRÁFICO Y ESTRUCTURAL DEL  
BLOQUE ESTACIÓN FERNÁNDEZ ORO, CUENCA NEUQUINA,  
PROVINCIA DE RÍO NEGRO**

**Autor:** ROBERTS GONZÁLEZ, Juan Agustín

**Director:** CLAA, Rodrigo Alejandro

**Institución:** Universidad Nacional de Río Negro

General Roca2018

**ANÁLISIS SISMOESTRATIGRÁFICO Y ESTRUCTURAL DEL BLOQUE  
ESTACIÓN FERNÁNDEZ ORO, CUENCA NEUQUINA, PROVINCIA DE RÍO  
NEGRO**

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA

**Autor:** ROBERTS GONZÁLEZ, Juan Agustín

**Director:** CLAA, Rodrigo Alejandro

**Institución:** Universidad Nacional de Río Negro

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y ESTRUCTURAL DEL BLOQUE ESTACIÓN FERNÁNDEZ ORO,  
CUENCA NEUQUINA, PROVINCIA DE RÍO NEGRO**

ROBERTS GONZALEZ Juan Agustín

**RESUMEN**

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis estructural y sismoestratigráfico del bloque Estación Fernández Oro (EFO) a partir de un cubo sísmico y datos de 30 pozos, aplicando técnicas, softwares de interpretación sísmica y geofísica de pozos.

El área EFO está ubicada geográficamente entre los 38°58' y 39°4' S y los 67°44' y 67°58' O, en las cercanías de la ciudad de Allen. Geológicamente está dentro de la cuenca Neuquina, en el sector denominado Dorsal de Huincul.

La falla de Rio Negro es la principal estructura reconocida en este bloque, y controla los principales rasgos del subsuelo para esta región, con un hemigráben asociado de varios kilómetros. Esta falla estuvo activa al menos desde la depositación del Ciclo Precuyano, con varios eventos de deformación y una posterior inversión reconocida desde el Jurásico Superior, con un importante pulso de movimiento durante el Cretácico Temprano para esta región.

Las formaciones basales del Grupo Cuyo (Formación Los Molles y Formación Lajas) exhiben para esta área un fuerte control en la sedimentación por la actividad de la falla Rio Negro, mostrando los mayores espesores en el hemigráben, estando ausentes hacia el sur de la estructura principal y con un fuerte acuñamiento hacia el este, asociado a altos del basamento.

## **AGRADECIMIENTOS**

*A toda mi familia por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como en la vida.*

*A mi novia, por apoyarme incondicionalmente durante tantos años.*

*Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, experiencias y el ánimo recibidos de mis amigos y compañeros, con los que pude compartir la experiencia del aprendizaje a través de los años.*

*Mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado directa o indirectamente en la realización del presente trabajo, y en particular al Dr. Víctor García quien ideó el plan de trabajo y al Lic. Rodrigo Claa por su guía durante la elaboración.*

*Una mención especial a Lic. Rodrigo Suarez y Lic. Federico Más, por sus valoraables y desinteresados aportes.*

*A la UNRN por aportar los datos necesarios para la realización de este trabajo.*

*A todo el equipo de geología y geofísica de C.G.C. S.A. por su guía y enseñanzas, tanto para la realización de este trabajo, como para mi formación profesional.*

*A todas las personas que día a día luchan por la educación pública.*

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>OBJETIVOS</b> .....	7
Objetivos Generales .....	7
Objetivos Específicos.....	8
<b>CUENCA NEUQUINA</b> .....	9
Ubicación Geológica.....	10
Reseña Geológica .....	12
<b>ÁREA DE ESTUDIO: ESTACIÓN FERNÁNDEZ ORO</b> .....	14
<b>ESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN DE LA CUENCA NEUQUINA EN EL ÁREA DE LA DORSAL DE HUINCUL</b> .....	16
<b>EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA DORSAL DE HUINCUL</b> .....	23
<b>SISTEMA PETROLERO</b> .....	28
Elementos del Sistema Petrolero en la Dorsal de Huincul.....	30
<b>METODOLOGÍA</b> .....	35
Dato Sísmico .....	35
Interpretación Datos de Pozos.....	38
Integración de Datos de Pozo a los Datos Sísmicos .....	39
Interpretación Sísmica de Reflectores .....	44
Interpretación de Fallas .....	46
Atributo Sísmico .....	47
<b>DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL</b> .....	48
Techo Formación Los Molles.....	53
Techo Formación Lajas .....	55
Techo Formación Loma Montosa .....	58
Techo Formación Centenario .....	60
<b>EVOLUCIÓN TECTOSEDIMENTARIA</b> .....	61
<b>CONCLUSIONES</b> .....	65
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	68

## INTRODUCCIÓN

En el presente Trabajo Final de Licenciatura se presentan una interpretación sísmica de las unidades geológicas presentes en el subsuelo del bloque de explotación hidrocarburífera Estación Fernández Oro (EFO), elaborados en la plataforma Kingdom Suite® de HSI, a partir del análisis integrado de los datos de subsuelo, constituidos por un cubo sísmico 3D y perfiles eléctricos y topes geológicos de 30 pozos, suministrados por la Universidad Nacional de Río Negro, repositorio de los datos de subsuelo de la provincia de Río Negro.

El área de estudio está ubicada geológicamente en la cuenca Neuquina, dentro del sector denominado dorsal de Huincul. Esta cuenca se desarrolla en una posición de retroarco con respecto a la cadena andina, que abarca la provincia de Neuquén, el sector occidental de La Pampa y Río Negro, y la porción meridional de Mendoza hasta aproximadamente los 34° S. Con un extensa área petrolífera de alrededor de 124.000 km<sup>2</sup>, que viene siendo explotada desde hace casi un siglo. El área EFO geográficamente está ubicada entre los 38°58' y 39°4' de latitud sur y los 67°44' y 67°58' de longitud oeste, en las cercanías de la ciudad de Allen.

En el bloque EFO coexiste un extenso desarrollo de chacras dedicadas a la fruticultura, con la explotación de recursos hidrocarburíferos desde la década del '70. Este bloque es hoy en día un área estratégica para la provincia de Río Negro, siendo uno de los mayores productores de gas de la misma.

El análisis de los datos sísmicos permitió definir las características estructurales del subsuelo de la zona de estudio, reconociendo como rasgo estructural predominante a la falla Río Negro, la que presenta evidencias de una actividad extensional asociada a la depositación del Ciclo Precuyano, y reactivaciones posteriores en el Jurásico Tardío y Cretácico. Por otro lado, se calcularon y analizaron los cambios de espesor en tiempo, los cuales permiten entender algunos aspectos de los procesos sedimentarios y su posible control estructural.

Cabe destacar que los datos y metodologías aplicadas son las de uso más común en la industria petrolera. Por lo que, el desarrollo de este trabajo permitió adquirir las habilidades y metodologías aplicadas en geofísica y geología, para la exploración y desarrollo de hidrocarburos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos Generales**

- Realizar un análisis estructural y sismoestratigráfico del área Estación Fernández Oro, a partir de la integración de los conocimientos geológicos adquiridos en la carrera y técnicas de interpretación sísmica utilizadas en la industria petrolera.
- Caracterizar la falla de Río Negro a partir de la clasificación e interpretación de datos de subsuelo.

- Implicancias de la geometría y movimientos de la falla Rio Negro en la sedimentación de las unidades del subsuelo, y su implicancia en el sistema petrolero asociado.
- Aprender y aplicar flujos de trabajo utilizados en la industria petrolera.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar en detalle la información de subsuelo existente por medio de la utilización del software de interpretación Kingdom Suite®. En particular, carga de datos sísmicos, pozos, interpretación de reflectores sísmicos, etc.
- Identificar mediante la interpretación de registros de pozos los pases formacionales-secuenciales y realizar una correlación con el dato sísmico, para interpretar horizontes guía (basamento, Ciclo Precuyano, y las Formaciones Los Molles, Lajas, Punta Rosada, Sierras Blancas, Quintuco, Loma Montosa, Centenario).
- Establecer las relaciones estratigráficas existentes entre dichas unidades y la geometría de las mismas.
- Interpretar los rasgos geológicos principales que afectan a los horizontes de interés.



- Confeccionar mapas estructurales y de espesores (isopáquicos) en tiempo, que permitan identificar rasgos geológicos en el control de la sedimentación en el área de estudio.
- Analizar secciones sísmicas que muestren las principales características estructurales y estratigráficas de la zona.
- Comprender la evolución tectosedimentaria de la zona estudiada en base al análisis de las relaciones estratigráficas y rasgos estructurales de los horizontes de interés.

## **CUENCA NEUQUINA**

La cuenca Neuquina es una de las principales cuencas productoras de hidrocarburos de la Argentina y ha sido estudiada en profundidad, incentivado en parte por su riqueza geológica, y fundamentalmente, por su interés económico relacionado a sus recursos naturales. Está ubicada en el sector centro-occidental de nuestro país y expone una variedad de secuencias sedimentarias marinas y continentales, depositadas durante una evolución tectonoestratigráfica muy compleja caracterizada por periodos de extensión y compresión con algunas zonas afectadas por procesos transtensivos y transpresivos asociados.

## Ubicación Geológica

La Cuenca Neuquina está ubicada al este de la Cordillera de los Andes y se extiende entre los 34° y 41° de latitud sur aproximadamente, con una superficie de alrededor de 200.000 km<sup>2</sup>, desarrollándose en casi la totalidad de la provincia del Neuquén, el sector norte de la provincia de Río Negro, la región occidental de La Pampa y la porción sur occidental de la provincia de Mendoza. Presenta una orientación elongada en dirección norte-sur, mientras que al sur de los 37° S se amplía hacia el este, y se la reconoce como Engolfamiento Neuquino (Ramos *et al.* 2011a).

Sus límites con las demás provincias geológicas son al noreste y sudeste con el sistema de la Sierra Pintada, y el Macizo de Norpatagónico respectivamente, mientras que el límite occidental lo conforma el arco volcánico actual ubicado en el límite entre Argentina y Chile (figura 1.A) (Ramos *et. al.* 2011a).



## Reseña Geológica

La cuenca Neuquina llegó a acumular en su parte más profunda más de 7000 metros de espesor de depósitos volcánicos y sedimentarios (figura 1B). La deposición en la cuenca Neuquina se inició en el Triásico Tardío relacionado a un sistema de *rift*, que generó grabenes y hemigraben con zonas de transferencia que definieron depocentros aislados (Vergani *et al.* 1995). Estos hemigrabenes fueron desarrollados sobre rocas del Paleozoico superior-Triásico correspondientes al Grupo Choiyoi y rellenados por los depósitos agrupados en el Ciclo Precuyano.

En el Jurásico Temprano el arco magmático migra hacia el oeste, en el actual territorio chileno (Dalziel *et al.* 1987, Kay *et al.* 1989) y se consolida el ambiente de retroarco hasta el Cretácico Inferior, donde comienza a predominar la subsidencia térmica generalizada, y los depocentros aislados se unifican en una gran cuenca, con desarrollo de unidades sedimentarias de extensión regional. En este punto las variaciones eustáticas controlan la alternancia de secuencias marinas pacíficas y continentales (Cristallini *et al.* 2009).

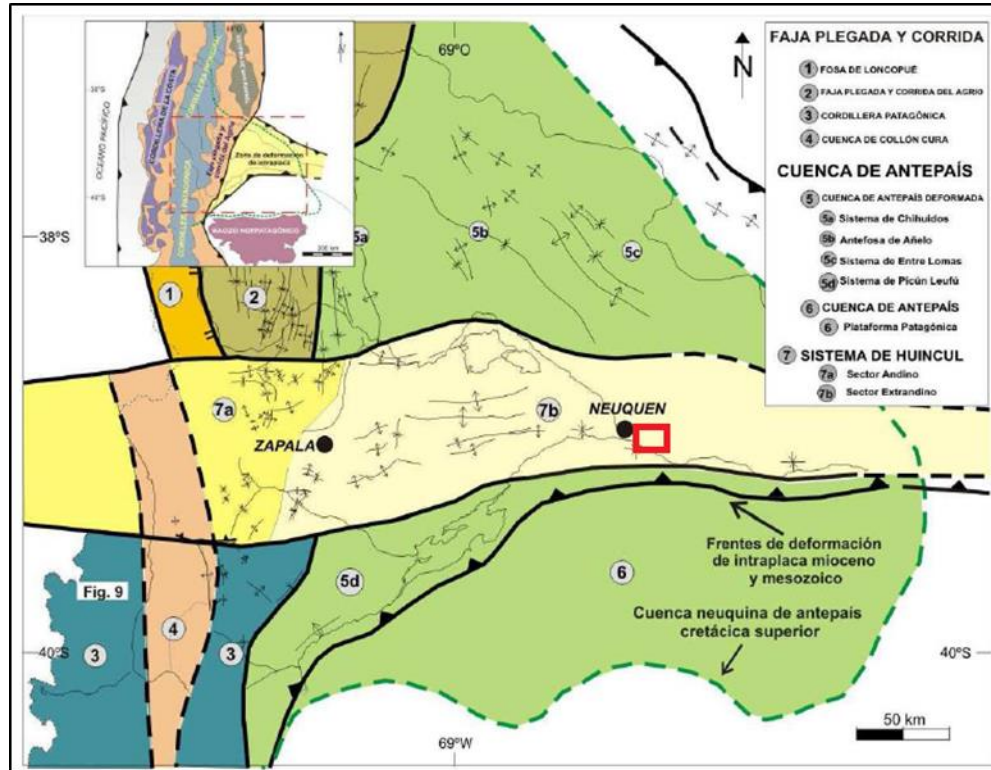
Durante el Jurásico Temprano (Silvestro y Zubiri 2008) comienza la estructuración de la dorsal de Huincul (figura 2). La misma es un rasgo morfoestructural regional sobresaliente, desarrollado a los 39°S, que prácticamente divide a la cuenca Neuquina en dos sectores y genera un fuerte control en la erosión y sedimentación en su cercanía. La misma se extiende con una orientación general E-O desde el frente orogénico andino al oeste hasta la zona de General Roca al

este (Pángaro *et al.* 2009). Estudios geofísicos regionales extienden esta zona a lo largo de 350 km hacia el este en la provincia de Río Negro, con tramos de rumbo E-O entre Neuquén-Choele Choel y E-SE entre Choele Choel-Estancia El Caldén (falla de Huinul, Kostadinoff 2005).

La dorsal de Huinul está compuesta por un tren de estructuras de orientación preferencial E-O fuertemente asimétricas y con vergencia predominante hacia el sur; el rechazo vertical de sus fallas más importantes excede en muchos casos 1,5 kilómetros (Pángaro *et al.* 2009).

Para el Cretácico Inferior alto la cuenca se continentaliza y se desarrolla como una cuenca de antepais típica, perdiendo conexión con el Pacífico y sufriendo solo una corta ingresión marina del Atlántico en el Cretácico Tardío. Durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico, los eventos de deformación concentrados en el sector occidental están vinculados a las variaciones en el ángulo de subducción de la placa, que también controlan la posición del arco volcánico y en consecuencia el desarrollo y distribución de volcanitas (Cristallini *et al.* 2009).

Actualmente la deformación andina está concentrada en el límite de Argentina-Chile, y está representada por zonas compresivas y zonas de colapso con depocentros aislados intramontanos (Folguera *et al.* 2005, 2006).



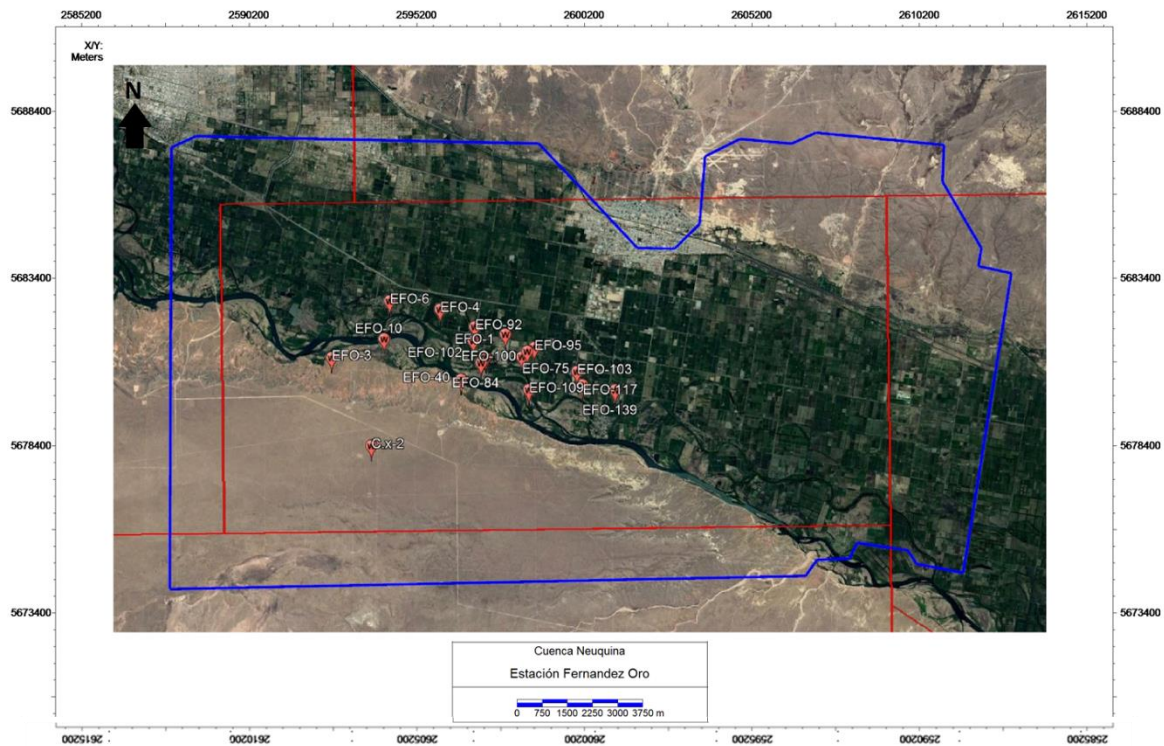
**Figura 2.** Mapa con la ubicación de la dorsal de Huincul dentro de las unidades morfoestructurales de la cuenca Neuquina. El recuadro rojo indica el área de estudio del presente trabajo (modificado de Mosquera *et al.* 2011).

### ÁREA DE ESTUDIO: ESTACIÓN FERNÁNDEZ ORO

El bloque Estación Fernández Oro (EFO) forma parte del conjunto de bloques de exploración y explotación en el que se divide el sector rionegrino de la cuenca Neuquina, y se ubica en el sector denominado dorsal de Huincul. Geográficamente el área se encuentra entre los 38°58' y 39°4' de latitud sur y los 67°44' y 67°58' de longitud oeste (figura 3). Este ha sido objeto de estudios exploratorios desde fines de los años 60', comenzando a producir hidrocarburos en la década del 70' hasta la actualidad. A lo largo de todo este tiempo se ha generado una gran cantidad



información de subsuelo, que incluye adquisición de sísmica 2D y 3D, y la perforación de más de 60 pozos profundos ubicados principalmente al norte del río Negro. Esta es actualmente la zona más productiva de la concesión, alcanzando aproximadamente el 50% de la producción total de la provincia de Rio Negro.



**Figura 3.** En recuadro rojo se muestra la ubicación del área del bloque de explotación EFO, los pozos utilizados para el presente estudio y en recuadro azul la zona abarcada por el cubo sísmico 3D (Sistema de coordenadas: Gauss Krueger Argentina zona 2 / Datum: Campo Inchauspe)

Dentro del bloque EFO, en el sector norte se encuentra la ciudad de Allen y hacia el sur es atravesado por el cauce del río Negro. Toda esta región se caracteriza por ser un área explotada extensivamente por la industria frutícola, lo cual ha condicionado el método de explotación de hidrocarburos, con el uso de múltiples

pozos direccionales desde una misma locación. Las unidades objetivo en este bloque desde el inicio de su producción han sido la Formación Quintuco, Sierras Blancas o Punta Rosada, y en el último período la Formación Lajas y sus reservorios, constituidos por areniscas de muy baja permeabilidad (menor a 0.1 mD), con el fin de aumentar su producción de gas rico en condensado.

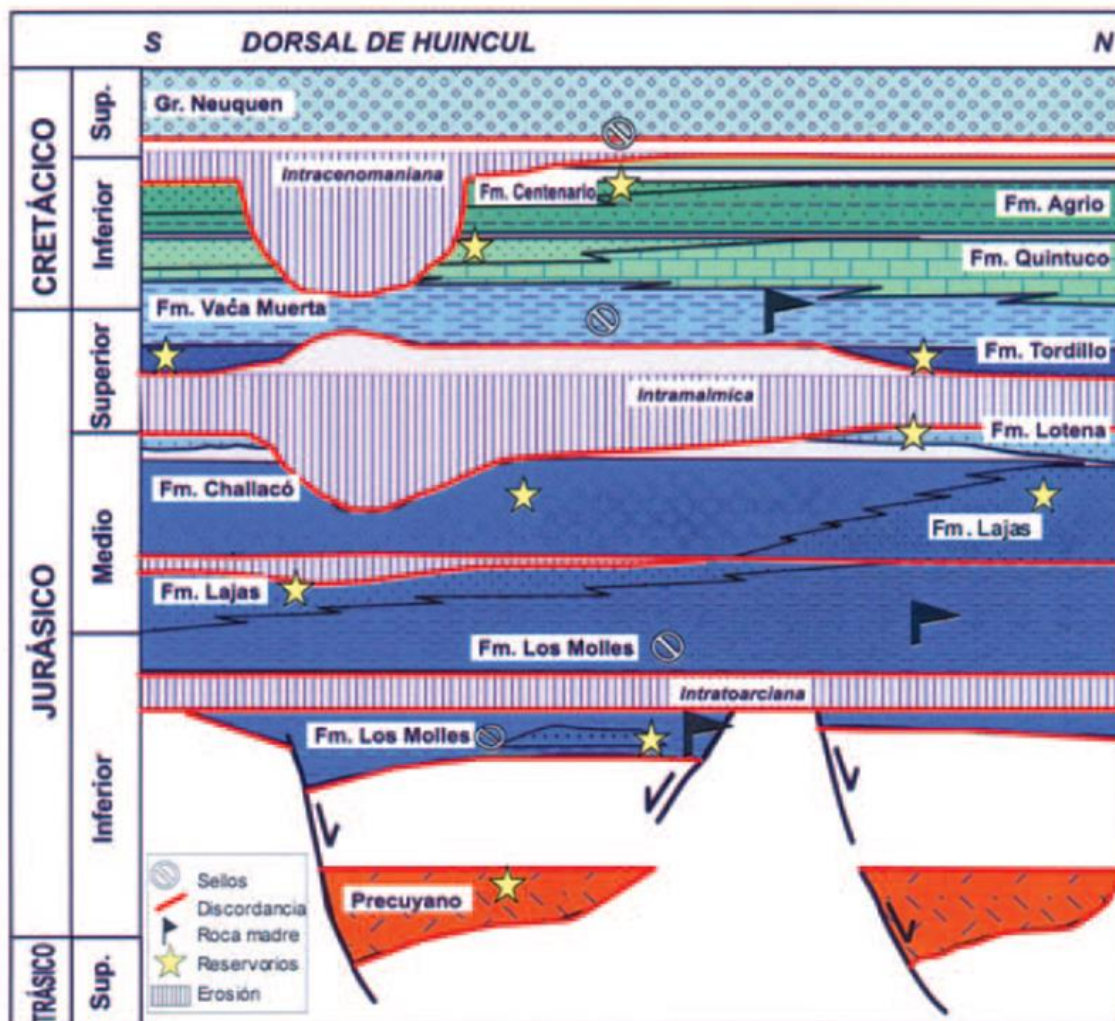
## **ESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN DE LA CUENCA NEUQUINA EN EL ÁREA DE LA DORSAL DE HUINCUL**

La estratigrafía general de la dorsal refleja en forma muy clara la influencia de los distintos eventos de deformación, con la existencia de numerosas discordancias erosivas y un fuerte control de las estructuras sobre las facies de algunas de las unidades estratigráficas (figura 4).

El basamento ígneo-metamórfico de la cuenca Neuquina aflora principalmente en la región sur, conocida como Umbral de Sañico, en el entorno de la dorsal de Huincul y escasos asomos en su región norte (Cingolani *et al.* 2011). Está constituido por rocas metasedimentarias y metavolcánicas de las formaciones Colohuincul (Devónico Superior, Ramos *et al.* 2010) y Piedra Santa (Silúrico-Devónico, Franzese 1995), así como también de granitos foliados de la Formación Mamil Choique (Devónico-Carbonífero, López de Luchi *et al.* 2006). Por otro lado, en la cuenca Neuquina tradicionalmente se ha hablado de “basamento técnico”, siendo este el sustrato en subsuelo de la columna sedimentaria, el cual lo constituyen rocas volcánicas del Paleozoico superior (hasta Triásico Medio) correspondientes al Grupo Choiyoi (Llambías y Sato 2011). En cercanías de la



dorsal de Huincul, afloran los equivalentes intrusivos pertenecientes a este ciclo magmático. El ciclo Gondwánico, durante el cual se desarrolló el Grupo Choiyoi, culmina con la fase Huárpica del Triásico Medio (?), cuya actividad produjo una superficie de erosión que deja al descubierto las plutonitas pérmicas (Llambías *et al.* 2007, Leanza 2009, Llambías y Sato 2011).



**Figura 4.** Cuadro cronoestratigráfico simplificado de la zona de la dorsal de Huincul (Pangaro *et al.* 2005).

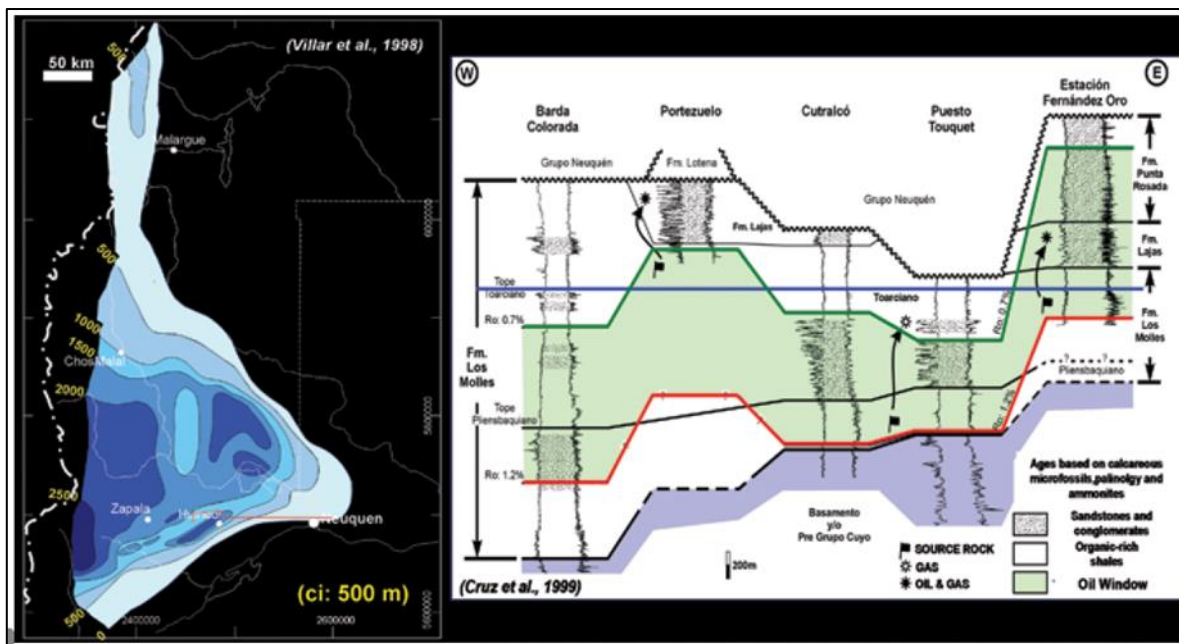
En el Triásico Medio-Tardío, el margen sudoeste de Gondwana estuvo sujeto a una tectónica extensional, vinculada a procesos superpuestos tales como la disgregación del supercontinente Pangea (Ramos 2011) y la actividad proto-andina (Franzese y Spalletti 2001). El estiramiento cortical, controlado por la fábrica del basamento, dio origen a una serie de depocentros de orientación N-S a NO-SE en el centro-oeste de Argentina, que marcó los inicios de la cuenca Neuquina (Arregui *et al.* 2011a y referencias allí citadas).

En estos depocentros aislados o hemigrábenes comenzó la depositación de las facies del sinrift de afinidad volcánica (*sensu* Pángaro *et al.* 2009), conocidas como Ciclo Precuyano (véase síntesis en Carbone *et al.* 2011)). La edad de las rocas volcánicas pertenecientes al Ciclo Precuyano está acotada por edades U-Pb en zircones (edades de cristalización), las cuales restringen la depositación de este ciclo al Triásico Tardío-Jurásico Temprano (210-192 Ma; Schiuma y Llambías 2008, Barrionuevo *et al.* 2013, Naipauer *et al.* 2016).

La transición de la etapa de *rift* a la etapa de subsidencia térmica regional (o *sag*) comienza en el Toarciano Inferior y culmina hacia el Toarciano Superior (Pángaro *et al.* 2009). De esta forma, el efecto de la subsidencia mecánica desaparece dando lugar a un régimen de subsidencia térmica y de alcance regional. El área de aporte de sedimento es claramente desde el sud-sudeste sin que en la zona de la dorsal de Huincul exista ningún obstáculo de origen tectónico para la sedimentación.

De forma sincrónica con la transición de la etapa de sinrift a postrift, durante la cual se produce la unificación de los depocentros aislados, se inicia la depositación

del primer ciclo sedimentario marino en la cuenca Neuquina el “Ciclo Cuyano” (Arregui *et al.* 2011b). Los mayores espesores del Grupo Cuyo (~4000 m) se registran en los sectores donde la depositación se inició en hemigrábenes asociados con la pared colgante de grandes fallas normales, activas durante la etapa de sinrift. La importancia de este primer ciclo de sedimentación marina en la cuenca radica en su impacto en el sistema petrolero, que incluye a la roca madre de la Formación Los Molles y a las areniscas reservorio de la Formación Lajas (Gomez Omil y Giorgetti 2017).



**Figura 5.** Mapa de espesor de la Formaci6n Los Molles y corte estratigr6fico en zona de dorsal de Huincul que ilustra las fuertes variaciones de espesor, facies y maduraci6n t6rmica (Legarreta y Villar 2012).

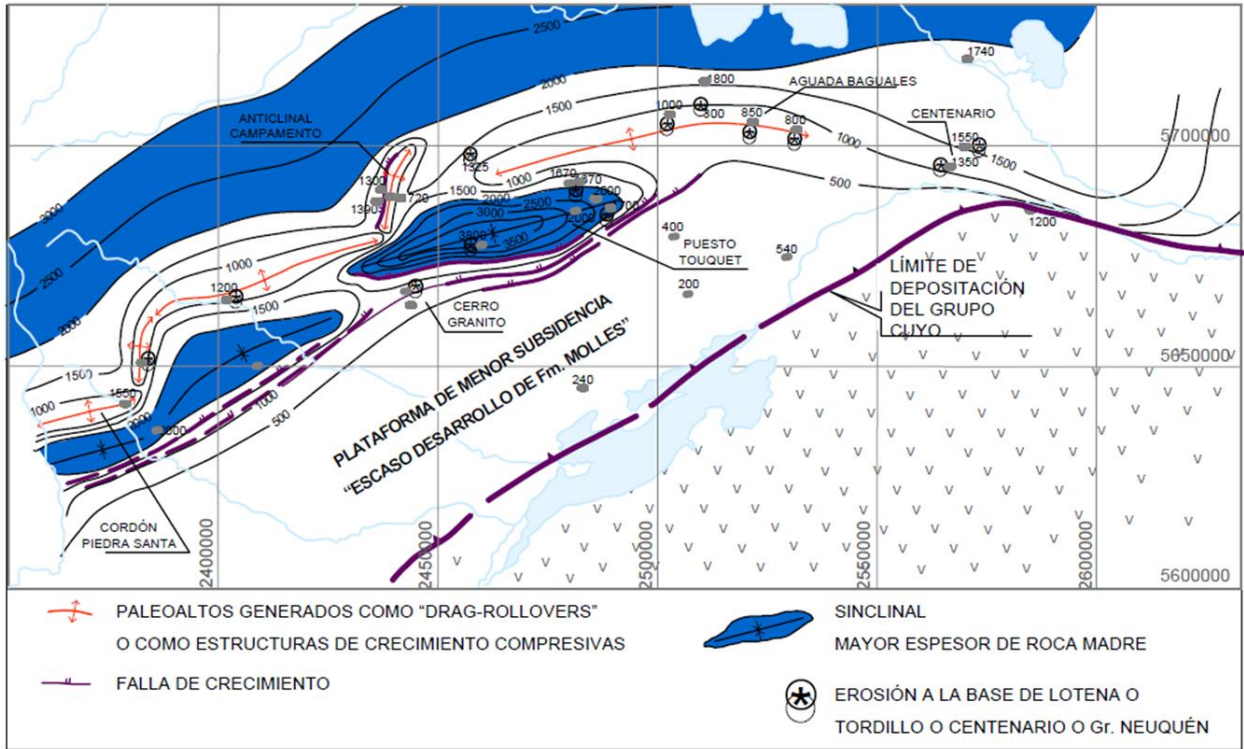
La ingresión marina del Jurásico Inferior proveniente desde el borde Pacífico, la cual se asocia la depositación del Ciclo Cuyano, trajo aparejada la implantación de condiciones relativamente profundas y fondos reductores a disóxicos. En estas condiciones se produjo la depositación de pelitas negras ricas en materia orgánica de la Formación Los Molles (figura 5). Lateralmente, hacia los bordes de la cuenca, las facies marinas gradan a facies deltaicas y fluviales (Legarreta y Villar 2012).

En el ámbito de la dorsal de Huincul, durante la depositación de las unidades del Grupo Cuyo, existía una gran inestabilidad tectónica, registrándose varios pulsos de deformación que condicionaron la sedimentación y erosión desde el Jurásico. Esto queda claramente evidenciado en la distribución de los espesores y facies a lo largo de la dorsal, el cual se reconoce en la actualidad como bloques segmentados e independientes, con una importante erosión en la terminación de los anticlinales (Gomez Omil *et al.* 2002).

En el mapa isopáquico con espesores reconstituidos (Gomez Omil *et al.* 2002), se evidencia una zona de plataforma con menor subsidencia solo cubierto por los niveles superiores del Grupo Cuyo, en areniscas y pelitas fluviales y deltaicas correspondientes a la Formación Lajas y Formación Challaco (figura 6).

Las unidades de la Formación Lajas y Challaco son cubiertas por las areniscas y areniscas conglomerádicas fluviales y litorales del Grupo Lotena, en contacto discordante (discordancia intracaloviana) que para el sector de la dorsal muestra un espesor disminuido. Para esta zona, se considera que la depositación de la Formación Lotena se produjo durante un retorno de la conexión marina. Se

distinguen tres ambientes de depositación bien definidos: fluvio-aluvial en posiciones proximales, fluvio-deltaico en posiciones medias y marino somero en posiciones distales (Casadio y Montagna 2015).



**Figura 6.** Mapa isopáquico restituido de la Formación Los Molles, en el ámbito de la dorsal de Huincul (Gomez Omil *et al.* 2002).

Sobre las rocas del Grupo Lotena, en relación discordante, se apoya la Formación Sierras Blancas perteneciente al Grupo Mendoza, equivalente lateral a la Formación Tordillo y/o Formación Catriel. En subsuelo, está representada por sedimentitas arenosas y conglomerádicas de ambientes fluviales y eólicos, las cuales se encuentran entre la discordancia Intramálmica y las margas bituminosas de la Formación Vaca Muerta (Di Gregorio 1972). Estas sedimentitas están

asociadas a ambientes sedimentarios que abarcan abanicos aluviales, fluviales eólicos, lacustres y fluviales efímeros (Spalletti *et al.* 2014).

El ciclo marino subsiguiente (Tithoniano – Valanginiano Temprano) representado por la Formación Vaca Muerta (Leanza *et al.* 2011), marca la máxima expansión marina para este periodo, pudiéndose reconocer hasta escasos 30 m del borde de la cuenca (Borbolla *et. al.*, 2014), está representado localmente por lutitas calcáreas ricas en materia orgánica depositadas en un ambiente marino escasamente oxigenado.

A los depósitos de la Formación Vaca Muerta los suceden facies clásticas y carbonáticas de plataforma externa y media de la Formación Quintuco y facies carbonaticas-evaporiticas-clasticas de plataforma externa y costa o planicie costera de la Formación Loma Montosa (Borbolla *et. al.*, 2014).

La Formación Loma Montosa (cretácico inferior) posee un espesor variable entre 550 y 400 m. Se la subdivide en un miembro inferior carbonático y otro superior clástico. El miembro inferior comprende calizas, dolomítas, yeso y limoarcillitas. El miembro superior está compuesto por una alternancia de areniscas, arcillitas y limoarcillitas (Scazziota 2012).

Por encima y en relación discordante, se dispone La Formación Centenario que agrupa secuencias continentales de areniscas gruesas y conglomerados con intercalaciones de limoarcillitas rojizas. Hacia el techo de esta unidad, se encuentran areniscas conglomerádicas (Scazziota 2012).

La sucesión mesozoica finaliza con la Formación Rayoso, una espesa unidad clástico-evaporítica acumulada en un medio predominantemente terrestre durante el Cretácico temprano, que marca la desconexión definitiva de la cuenca neuquina con el océano Pacífico. Está compuesta por areniscas finas, limolitas, carbonatos y evaporitas acumulados durante el Barremiano-Aptiano (Zavala y Ponce 2011).

Por último, el Grupo Neuquén conforma una sucesión de depósitos continentales depositados durante el estadio de antepaís de la Cuenca Neuquina entre el Cenomaniano Temprano y el Campaniano Medio (Cretácico Superior; Tunik *et al.* 2010). Estas rocas continentales son de origen fluvial, eólico y lacustre somero, desarrollado. La sucesión alcanza un espesor máximo de 1200 m, encontrándose limitada en su base y techo por las discordancias Patagonídica y Huantráiquica, respectivamente (Garrido 2011).

## **EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA DORSAL DE HUINCUL**

La dorsal de Huincul es una zona de deformación de intraplaca de rumbo general E-O y ancho variable, ubicada al norte de la Patagonia en cercanías de los 39°S (Ramos *et al.* 2004) en forma ortogonal al tren estructural andino (Mosquera *et al.* 2011), teniendo un gran impacto sobre la historia de la sedimentación de la cuenca Neuquina (Arregui *et al.* 2011a)

La evolución tectónica y estructural de esta región está condicionada por rasgos heredados del basamento, así como también, por las variaciones durante el

Mesozoico y Cenozoico del vector de convergencia entre las placas oceánicas (Aluk, Farallón y Nazca) y la placa superior continental (Mosquera *et al.* 2011).

Las estructuras de deformación que exhibe la región de la dorsal de Huincul han sido explicadas a través de diferentes modelos estructurales. Los diferentes modelos propuestos fueron evolucionando, según (Silvestro y Zubiri 2008), en función de dos factores principales: 1) el desarrollo de modelos teóricos y experimentales que permitieran explicar las geometrías observadas y 2) la obtención de datos de subsuelo de mayor resolución, como sísmica y pozos, que posibilitaron mejorar la definición de los rasgos geométricos.

Los primeros modelos estructurales basados en datos de afloramientos, de pozos y de sísmica de baja calidad, surgen para complementar los análisis estratigráficos. Autores como De Ferraris (1947), Ramos (1978) y Digregorio y Uliana (1980) interpretaban las estructuras como un pilar tectónico delimitado por fallas normales que generaron dos depresiones tectónicas, hacia el sur y el norte. Este modelos, permitía explicar los altos de basamento pero no analizaba la génesis de las estructuras en conjunto (Silvestro y Zubiri 2008).

Uno de los primeros modelos que intentaban explicar la evolución de la dorsal de Huincul surge de las propuestas de Orchuela *et al.* (1981), Orchuela & Ploszkiewicz (1984) y Ploszkiewicz *et al.* (1984), quienes interpretaron esta estructura como producida por una zona de transcurrencia denominada falla de Huincul. Los pliegues pequeños y oblicuos al rumbo de la dorsal fueron considerados como pliegues de arrastre de un sistema dextrógiro, que en conjunto



constituirían una estructura en flor positiva en territorio neuquino, la que hacia el este pasaría a una flor negativa dominada por estructuras extensionales, al cambiar el rumbo de la dorsal de noreste a este-oeste (Silvestro & Zubiri 2008)

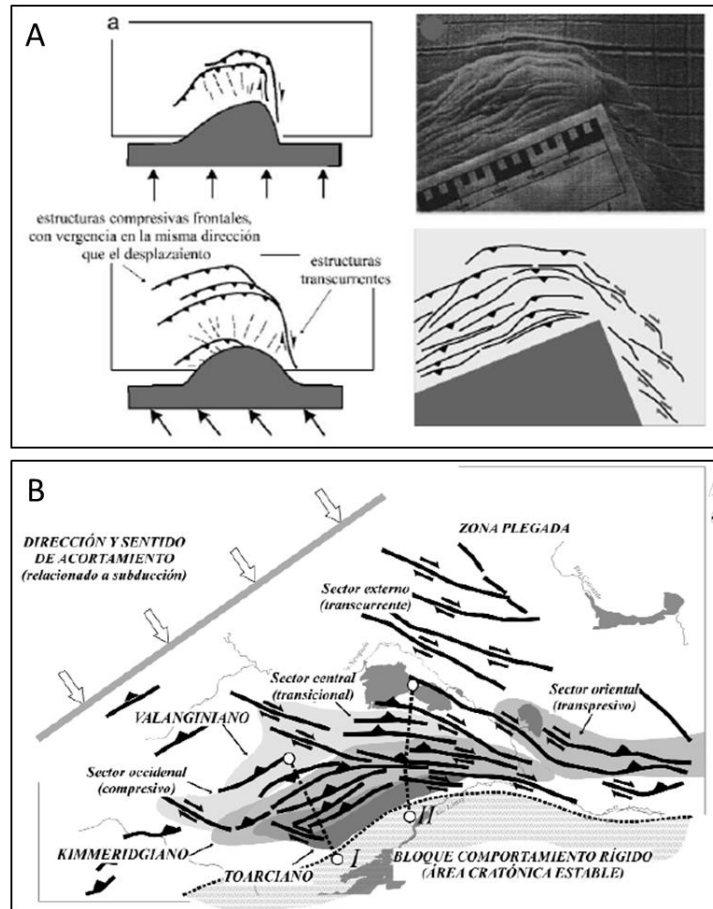
En la década del 90' la teoría de inversión tectónica positiva cobro relevancia y varios autores, tales como Uliana y Legarreta (1993), Uliana *et al.* (1995), Vergani *et al.* (1995) y posteriormente con mayor detalle Vergani (2005) postularon que las estructuras principales de la dorsal de Huincul eran el resultado de la inversión selectiva de hemigrábenes con orientaciones NE-SO a E-O.

Finalmente, un nuevo modelo estructural alternativo surge con el advenimiento de la sísmica 3D y los datos aportados por modelos análogos en cajas de arena. El modelo planteado por Silvestro y Zubiri (2008) explica la geometría y evolución de las estructuras a escala regional, en respuesta a la convergencia oblicua entre dos zonas con comportamiento mecánico contrastante, bajo un campo de esfuerzos NO-SE relacionado a la subducción oblicua de las placa Aluk bajo Sudamérica (Silvestro y Zubiri 2008), entre el Pliensbachiano y el Valanginiano (Mosquera *et al.* 2011).

Hacia el sureste, el Macizo Nordpatagónico se habría comportado como un bloque rígido a modo de contrafuerte (o *buttress*), con límites en los ríos Limay y Negro. Hacia el noroeste de este bloque rígido, la corteza continental adelgazada por extensión y debilitada térmicamente, posibilita la reactivación y desarrollo de estructuras transcurrentes y compresivas, concentrando la deformación en la zona de transición entre las dos unidades corticales diferentes (figura 7).

El límite entre estas zonas con propiedades mecánicas contrastantes se interpreta el resultado de una posible sutura producida por la colisión de la microplaca Patagonia contra el margen sudoccidental de Gondwana durante el Pérmico Temprano (Ramos 2008, Mosquera *et al.* 2011).

Este modelo regional interactúa con las fallas extensionales preexistentes en el basamento generando estructuras con características locales. Esto permite explicar en un único esquema las complejas características estructurales observadas en la dorsal de Huincul, en donde se incluye: 1) rasgos de basamento con hemigrábenes del Triásico Superior-Jurásico de orientación NO; 2) la existencia de un sector occidental dominado por fallamiento inverso y un sector norte y oriental con predominio de estructuras transpresivas; 3) desarrollo de lineamientos estructurales determinando tres orientaciones principales: NE relacionados a las estructuras compresivas sin evidencias de inversión tectónica, NO relacionados a las zonas transcurrentes con control parcial de los rasgos extensionales y E-O que se originan mediante inversión tectónica oblicua con rasgos mixtos de compresión y desplazamiento de rumbo; 4) avance general de la deformación desde el sureste hacia el noroeste, basado en la determinación de las edades de máximo levantamiento de las estructuras (Silvestro y Zubiri 2008).



**Figura 7. A.** Vista en planta de un modelado análogo en el cual se simula la convergencia entre un bloque rígido móvil y niveles dúctiles posibles de ser plegados. Las estructuras compresivas se forman paralelas a la cara frontal del bloque rígido y en sentido ortogonal a la dirección de movimiento, las zonas transcurrentes se generan subparalelas a la cara lateral del bloque rígido. **B.** Mapa simplificado de las estructuras en el entorno de la dorsal, con la distribución de zonas compresivas y transcurrentes, ubicación de los tres estadios reconocidos de máxima deformación y límite aproximado entre el sector de comportamiento rígido y el sector plegado (Silvestro y Zubiri 2008).

Posterior al evento contraccional concentrado en torno a la dorsal de Huincul, se desarrollan fallas normales durante el Jurásico Superior y el Cretácico,

concentradas sobre las fallas precuyanas de los grábenes y hemigrábenes. Este nucleamiento de fallas normales en los bordes de los hemigrábenes es explicado por Cristallini *et al.* (2009) mediante la tensión producida por estiramiento de las capas ante la subsidencia diferencial del relleno de los hemigrábenes. Estas fallas normales tienen en general dirección noroeste (mayor concentración entre 130°N a 160°N y se disponen en forma paralela sobre las estructuras precuyanas de la población noroeste y en echelón sobre la población oeste-noroeste de fallas asociadas al Ciclo Precuyano.

Este hecho es explicado por la superposición de un campo de esfuerzos regional durante el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano, en que el esfuerzo principal máximo ( $\sigma_1$ ) estuvo en la vertical, el intermedio ( $\sigma_2$ ) en la dirección noroeste y el mínimo ( $\sigma_3$ ) en la dirección noreste, y un campo local producido por la subsidencia diferencial. El primero controló las direcciones y el segundo los agrupamientos de fallas (Cristallini 2009).

## **SISTEMA PETROLERO**

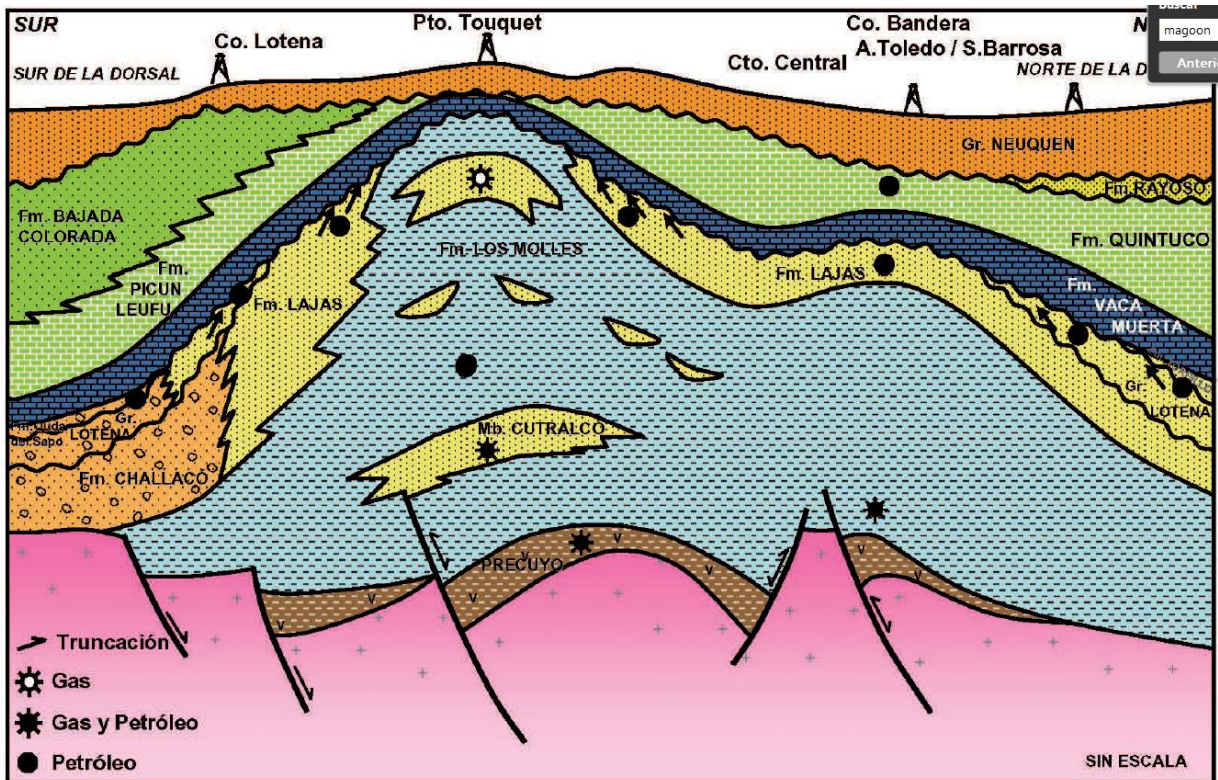
En la cuenca Neuquina, la región de la dorsal de Huincul fue uno de los primeros sitios donde se descubrió petróleo. Esta localidad petrolera, ha sido explotada durante varias décadas y continua productiva en varios bloques. El sistema petrolero Los Molles - Lajas - Challacó - Punta Rosada, contiene aún importantes reservas. El actual desafío son las reservas petrolíferas que se encuentran en rocas de condiciones petrofísicas pobres, donde el conocimiento geológico y la tecnología

deberán evolucionar para enfrentar las dificultades que representan los reservorios no convencionales (Vergani *et al.* 2011).

El concepto de Sistema Petrolero (Magoon y Dow 1994), describe los distintos elementos y procesos que intervienen para que una acumulación de hidrocarburos exista, desde el depocentro sedimentario y roca generadora a la trampa que lo aloja. Los elementos del sistema son: roca madre, reservorio, sello, trampa y las vías de migración.

Los procesos asociados son la generación, migración, acumulación y preservación de los hidrocarburos conjuntamente con la formación de una trampa que los contiene. Cada uno de estos elementos debe estar ubicado en una secuencia de tiempo y espacio compatibles para que puedan formar una acumulación de hidrocarburos (Magoon y Dow 1994).

Podemos sintetizar a las trampas de este *play* (conjunto de factores geológicos combinado con la acumulación de hidrocarburos en un determinado nivel estratigráfico de una cuenca) como todas aquellas acumulaciones ligadas a reservorios del intervalo sedimentario Jurásico en estructuras precenozoicas con generación en rocas del Grupo Cuyo (Formación Los Molles) y del Grupo Mendoza Inferior (Formación Vaca Muerta). Dentro de esta generalización se pueden reconocer muchas variantes relacionadas a sus trampas, fluidos y reservorios (figura 8) (Vergani *et al.* 2011).



**Figura 8.** Sección geológica esquemática de la dorsal de Huincul, con los principales *plays* productivos (Vergani *et al.* 2011).

### Elementos del Sistema Petrolero en la Dorsal de Huincul

A continuación se describe los rasgos generales de los componentes de los sistemas petroleros reconocidos en el área de la dorsal de Huincul, que concuerdan en aspectos generales con los encontrados en el bloque EFO.

*Roca Madre.* La roca generadora principal se encuentra dentro de la Formación Los Molles, cuyos valores de carbono orgánico total (COT) varían entre 1 % y 3%, alcanzando valores de 5% en su mejor expresión. Presenta un kerogeno de tipo

mixto II y II/III (Gomez Omil y Giorgetti 2017), donde la acumulación de gas con escaso contenido de hidrocarburos líquidos puede estar más asociado con el tipo de materia orgánica, que con su estadio de madurez.

El querógeno en la Formación Los Molles muestra una asociación orgánica mixta con participación relativa de material amorfo entre 50 y 70%, en tanto que el resto lo integra material estructurado de tipo inertínico y vitrínico. Los valores obtenidos con los estudios de pirólisis Rock-Eval, evidencian un querógeno tipo II a II-III (Villar *et al.* 1998) y un potencial regular a bueno para la generación de petróleo y gas. Las ocurrencias de hidrocarburos a lo largo de la dorsal indican que esta roca madre aportó petróleos normales, predominantemente parafínicos, livianos y con bajos contenidos de azufre, como resultado de la maduración de un querógeno de origen marino con influencia terrestre (Ulliana *et al.* 2014).

También se reconoce la presencia de una segunda roca madre, la Formación Vaca Muerta, con valores de COT variables entre 3 % y 8%. El querógeno es tipo II, petrolífero e involucra una fuerte componente marina (algal) con mínima o nula contribución continental (Legarreta *et al.* 2008). Sin embargo, en esta región no tiene un amplio desarrollo de espesor y suele estar representado por horizontes pelíticos condensados o por una plataforma carbonática.

En cuanto a la madurez de las rocas madres, las pelitas generadoras de Los Molles alcanzaron variaciones significativas de madurez térmica debido a la presencia de altos estructurales y depocentros en respuesta a la tectónica activa del Jurásico y Cretácico. Así, aquellas zonas deprimidas alcanzaron a generar

importantes volúmenes de hidrocarburos, coexistiendo con vastas regiones de baja madurez a inmaduras (Gomez Omil *et al.* 2002). En cuanto a las pelitas de la Formación Vaca Muerta, las mismas están térmicamente inmaduras a marginalmente maduras para la generación substancial de cualquier tipo de hidrocarburos en el ámbito de la dorsal (Villar *et al.* 2005). Aunque no se descarta la posibilidad de acumulaciones significativas de hidrocarburo provenientes de estos niveles, con migraciones laterales de hasta decenas de kilómetros, reconocidos incluso en el yacimiento EFO (Legarreta *et al.* 2008).

*Reservorios.* Las unidades de reservorio en la región de la dorsal de Huincul son múltiples, destacándose los niveles marinos somero de las Formaciones Lajas, Challacó, Punta Rosada, los fluviales-eólicos de Tordillo-Sierras Blancas, los carbonatos de Quintuco/Loma Montosa y, en menor medida, las rocas volcánicas del Ciclo Precuyano y los depósitos marinos somero de la Formación Centenario (Villar *et al.* 2005). Los principales reservorios en la región de la dorsal son las rocas de origen fluvial y aluvial de la Formación Challacó-Punta Rosada, con espesores de hasta 10 m que se relacionan lateralmente con depósitos clásticos de llanura deltaica o depósitos de “fan delta” con espesores amalgamados de hasta 30 m, correspondientes a la Formación Lajas, productivos en varios yacimientos incluyendo al bloque EFO.

La calidad de las propiedades petrofísicas asociadas a la porosidad/permeabilidad en el ámbito de la dorsal de Huincul, depende principalmente de 4 factores, ambiente sedimentario de depositación, historia de



soterramiento, diagénesis e interrupción de la subsidencia por levantamiento tectónico (Gomez Omil y Giorgetti, 2017). Siendo unas de las más relevantes, su historia de soterramiento, la cual nos permite ver variaciones de calidad petrofísica en cortas distancias por efectos diagenéticos. Esto se puede evidenciar en una misma estructura entre posiciones de culminación y flanco, sin variaciones de facies, en la cual, la porosidad y permeabilidad disminuyen considerablemente asociadas a una diferencia estructural de no más de 600 metros (Gomez Omil *et al.* 2002).

La importante participación volcanoclástica (mayor a 60%) en clastos y matriz de los reservorios, proveniente del Macizo Nordpatagonico, constituye uno de los aspectos negativos en la génesis de estas rocas, magnificados por los severos procesos diagenéticos posteriores (Kugler 1987). La porosidad efectiva remanente es de tipo secundaria y está asociada principalmente a porosidad intergranular e intragranular, escasa móldica y microfracturas en algunos casos, de acuerdo a estudios petrográficos y petrofísicos efectuados sobre testigos coronas (Gomez Omil *et al.* 2002).

La rocas reservorios del sistema cuyano exhiben en promedio mediciones de porosidad de entre 3 y 9 % y permeabilidades de 0,1 a 0,001 mD (*tightsands*), con datos de saturación de gas menor al 50% con sobrepresión del 60% (Gomez Omil y Giorgetti 2017).

*Trampa.* Las trampas en la región de la dorsal de Huincul son estructurales y combinadas. Principalmente se trata de anticlinales fallados con deformación

polifásica, y truncaciones erosivas de cuerpos de arena de la Formación Lajas y Formación Punta Rosada (Pangaro *et al.* 2005).

Por otro lado, se ha propuesto la existencia de trampas estratigráficas dentro de las areniscas *tight* de la Formación Lajas, y posiblemente, dentro de las facies arenosas turbidíticas de la Formación Los Molles, así una importante parte del gas generado se acumuló en estas areniscas durante un proceso ineficiente migración (Gomez Omil y Giorgetti, 2017).

*Migración.* La movilización de los hidrocarburos originados en la Formación Los Molles hacia la trampa es predominantemente vertical. Los fluidos migran a través de sistemas de fallas complejas que conectan las “cocinas” con las estructuras. Los desplazamientos laterales o migraciones secundarias de media a larga distancia, aunque no queda excluido, se ve limitado por la baja calidad petrofísica de los *carriers* del sistema. Por otro lado, los hidrocarburos originados en la Formación Vaca muerta, tiene un patrón de migración lateral de moderada a larga distancia, a través del eficiente *carrier* Sierras Blancas (Cruz *et al.* 2002).

*Sello.* En la dorsal de Huincul el principal sello es la Formación Vaca muerta y en menor medida, las formaciones Lotena y La Manga. Existen, además, sellos pelíticos internos y sellos locales correspondientes a discordancias angulares (Gomez Omil y Giorgetti, 2017).

En otros casos, la presencia de rocas impermeables es producto de la diagénesis acaecida en la historia de soterramiento de las rocas. Otro tipo de rocas

sello, especialmente laterales, tiene que ver con cambios petrofísicos en la rocas reservorio a veces ligados a condiciones primarias en la sedimentación o a su diagénesis posterior (Vergani *et al.* 2011).

## **METODOLOGÍA**

Para el presente trabajo se contó con un cubo sísmico 3D que cubre un área de 300 km<sup>2</sup> dentro del bloque Estación Fernández Oro y datos de subsuelo de 30 pozos (figura 3), que incluye registros eléctricos y control geológico, además de un registro *checkshot*, para uno de los pozos estudiados. Cabe destacar que los datos fueron proporcionados por la Universidad Nacional de Río Negro, la cual es repositorio de la información de subsuelo de la provincia de Río Negro.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó el software KINGDOM SUITE (KS) con licencias para uso comercial, prestadas por Compañía General de Combustibles S.A. Esta plataforma permite una interpretación integrada geocientífica del subsuelo incluyendo geología y geofísica.

### **Dato Sísmico**

El presente trabajo fue realizado en base a un cubo sísmico 3D de 300 km<sup>2</sup>, cuya adquisición estuvo dividida en dos etapas, la primera durante el 2006 y la segunda en el 2007, con parámetros de adquisición muy similares (figura 9), y procesado

durante los años 2007 y 2008 por WesternGeco's Buenos Aires processing center, encargado por la operadora Apache.

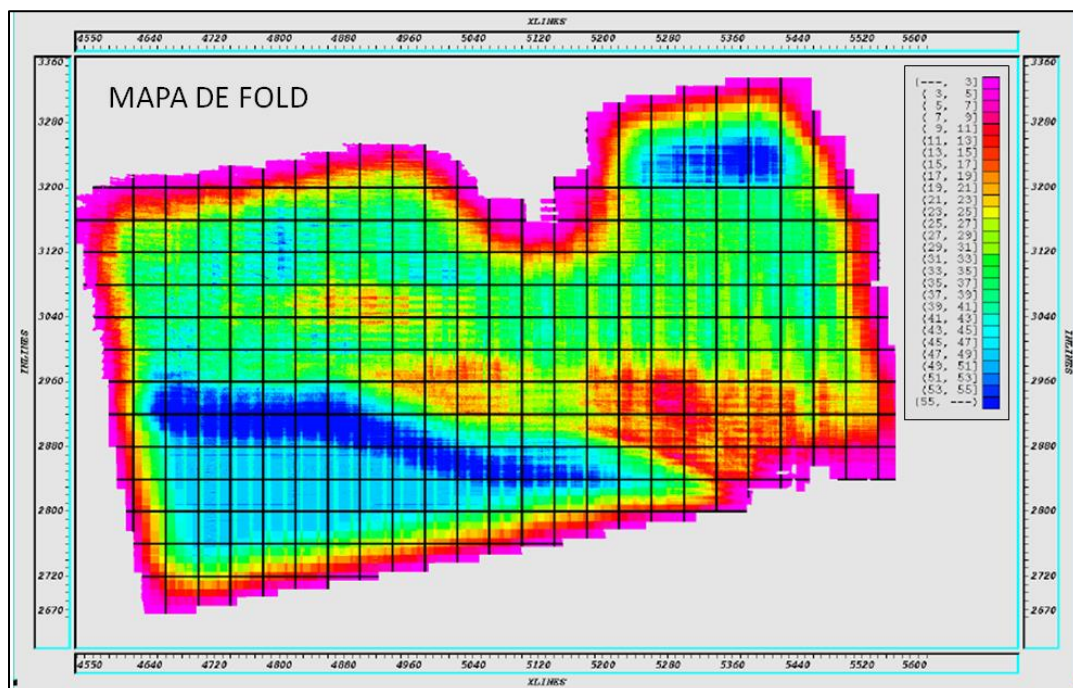
Instrumentales	Fuentes
<b>Tipo:</b> I/O System II <b>Formato:</b> SEG-D (8058) IEEE <b>Intervalo de muestreo:</b> 4 ms <b>Duración de registro:</b> 6 s <b>Filtro de corte baja:</b> 3Hz, 12dB/Oct <b>Filtro de corte alto:</b> ½ Nyq min fase (135Hz) <b>Filtro Notch:</b> Fuera <b>Polaridad:</b> SEG Normal	<b>Tipo de Fuente:</b> Vibroseis <b>Barridos:</b> 1 <b>Duración de barrido:</b> 20 sec. <b>Tiempo de adquisición:</b> 6 sec. <b>Tipo de barrido:</b> Linear  <b>Frecuencia barrido:</b> 6-120 Hz <b>inicio/fin:</b> 300/200 ms <b>Espacio entre líneas:</b> 515m
Patch	Cobertura (Fold)
<b>Líneas por patch:</b> 14 <b>Receptores por línea:</b> 140 <b>Canales:</b> 1960 <b>Maximum offset (2006):</b> 4500 m <b>Maximum offset (2007):</b> 6200 m	<b>Tamaño de bin:</b> 25 x 25 m <b>Azimuth:</b> 100° <b>fold Nominal (2006):</b> 45 <b>fold Nominal (2007):</b> 49
Receptores	
<b>Tipo:</b> Sensor SM-24 (10Hz) <b>Arreglo:</b> 12 geófonos en línea <b>Espaciamento:</b> 4.17 m <b>Espacio entre líneas:</b> 515 m <b>Intervalo de estaciones:</b> 50 m	

**Figura 9.** Parámetros de adquisición durante las campañas 2006 y 2007.

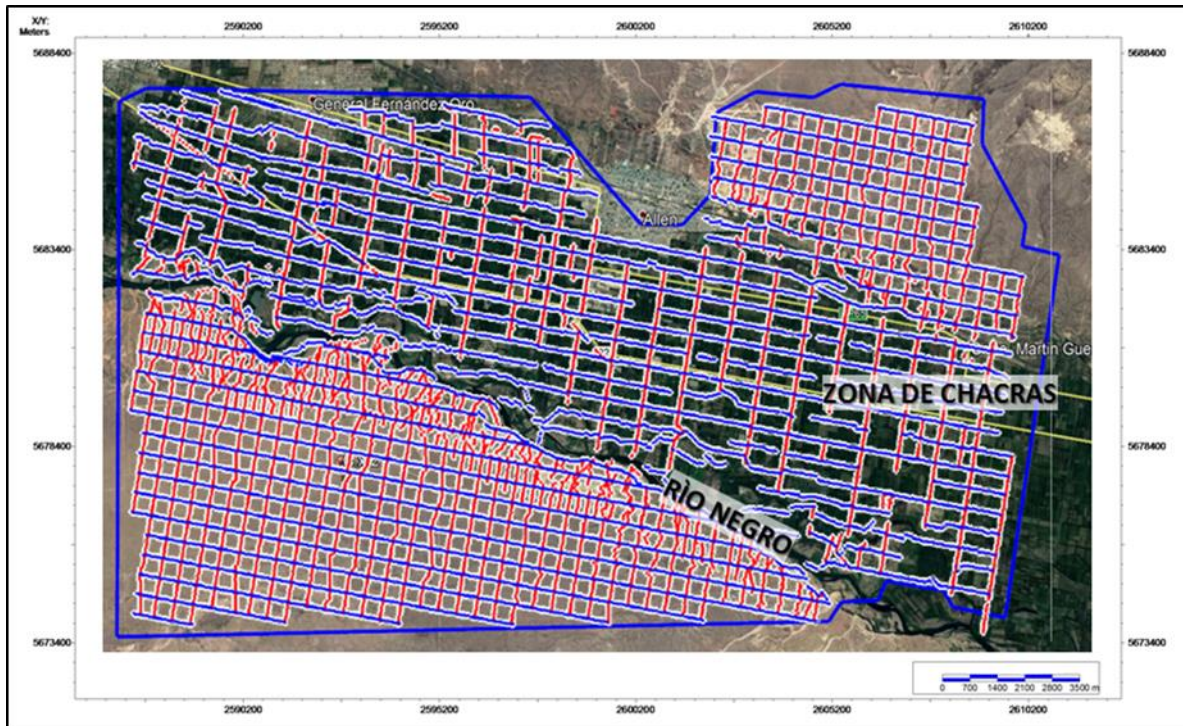
En ambas campañas hubo dificultades para la adquisición, sobre todo en la variación del *fold* (figura 10) que se define como la cantidad de trazas sísmicas de un punto medio común, igual a la cantidad de receptores que registran el dato de un mismo punto o en espacio de la celda muestreada (*bin*) y del *offset*, que es la

distancia entre la fuente y el receptor. Fue motivado por la dificultad de la instalación de receptores y las operaciones de los camiones vibradores (figura 11) en el cauce del río Negro y en las cercanías de la ciudad de Allen, y en menor medida en todo el sector de chacras dedicadas a la fruticultura. Esto tuvo como consecuencia el desmejoramiento del dato sísmico en algunos sectores, dificultando la interpretación.

El procesamiento estuvo compuesto por una secuencia estándar y una secuencia *Post Stack Migration* (*stack, 3d random noise attenuation, migration velocity field, post stack kirchhoff, migration, time variant band-pass filter y seg-Y conversión*).



**Figure 10.** Mapa de fold del cubo utilizado para el presente trabajo, la escala de colores indica la cantidad de Fold.



**Figura 11.** Distribución de las estaciones durante la adquisición. Las fuentes están representadas por líneas en rojo, y los receptores (geófonos) por líneas azules.

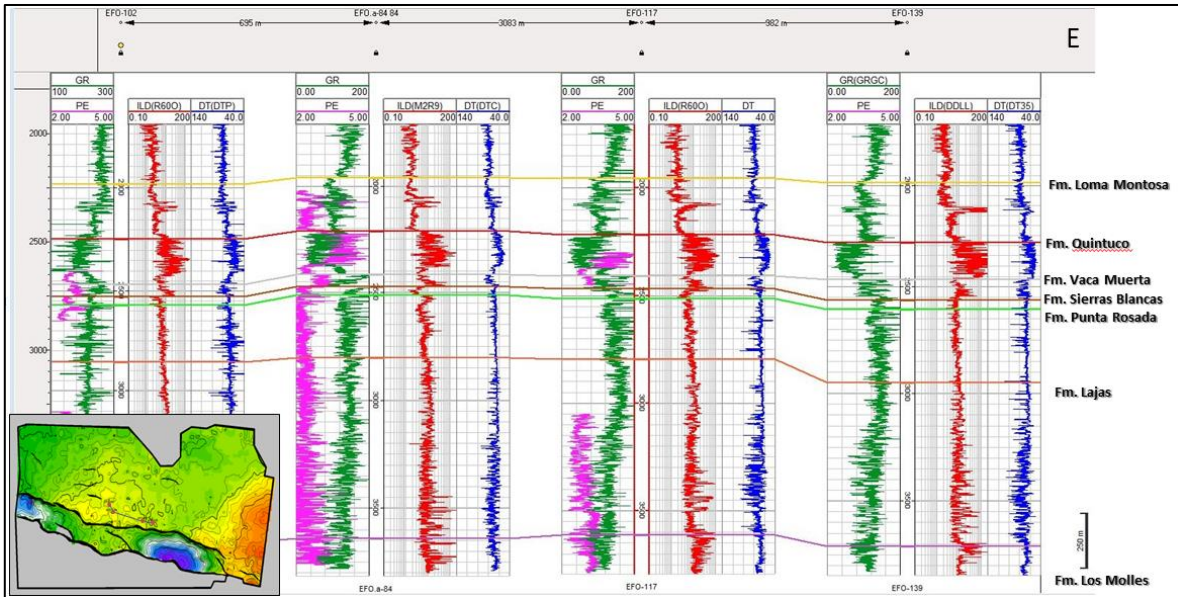
### Interpretación Datos de Pozos

Para la generación de la base de datos de pozos se utilizó, la ubicación geográfica (ubicación en x, y, z), registros de desviación en caso que corresponda y el archivo .LAS (Log ASCII Standard), que contiene la información de los registros eléctricos, los cuales son observados en distintos formatos de presentación gráfica, denominados *template*.

En primer lugar se identificaron los ciclos sedimentarios, correspondientes a las formaciones del subsuelo del área de trabajo por medio de interpretación en detalle



de los registros eléctricos, con ayuda del control geológico y bibliografía de apoyo. La correlación entre pozos del área permitió reconocer los rasgos geológicos, así como variaciones de espesores, geometrías, relaciones estratigráficas y posición estructural (figura 12).



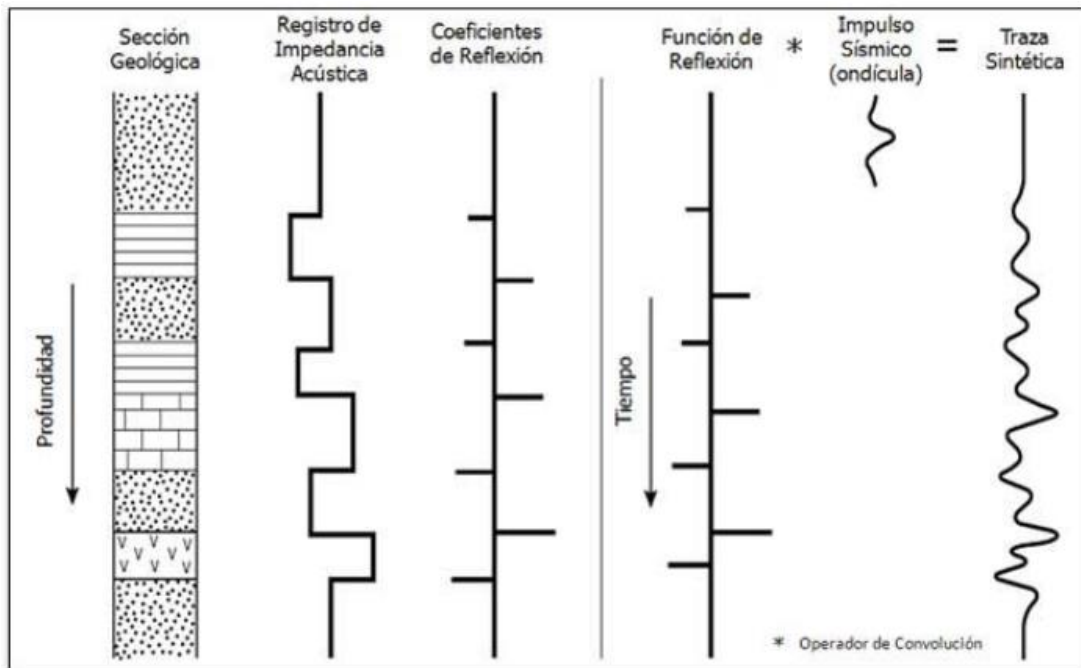
**Figura 12.** Correlación de pozos en profundidad (O-E). También se puede apreciar la correlación de los techos de las formaciones en base a los registros eléctricos e información de control geológico y en el mapa estructural del techo de la Formación Lajas la ubicación de la sección.

### Integración de Datos de Pozo a los Datos Sísmicos

Para la integración del dato de pozo con el registro de sismica 3D fue necesario “atar” la información del pozo, puntual y en profundidad, al dominio del tiempo de la sismica. Para ello se debe generar sismogramas sintéticos que permiten crear una

ley de velocidad y así unir el dominio de la profundidad en metros con el dominio del tiempo. Los sismogramas sintéticos son el resultado unidimensional de la respuesta sísmica al paso de la energía acústica a través de distintas discontinuidades. Para ello se utilizan los registros eléctricos de densidad y sónico, a partir de los cuales se obtiene la impedancia acústica y los coeficientes de reflexión.

Mediante la convolución de una ondícula con los coeficientes de reflexión se obtiene una traza sintética (figura 13), que es correlacionada con las trazas sísmicas del cubo 3D en la cercanía del pozo, asignándole de esta manera una ley de velocidad y poder visualizarlo en el dominio del tiempo sísmico

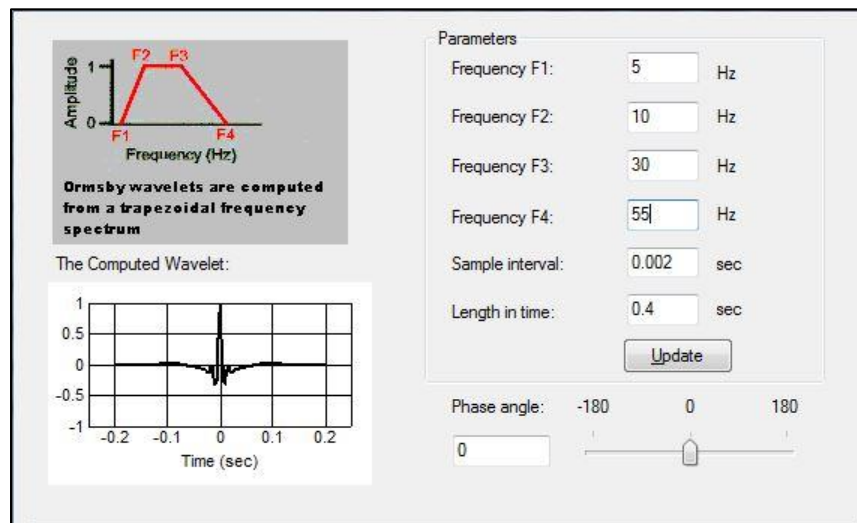


**Figura 13.** Sismograma sintético y su relación con las propiedades físicas de las capas geológicas. La traza sintética se obtiene como respuesta de la convolución



(\*) entre los coeficientes de reflexión y el paso de una ondícula (Modificado de Kearey *et al.* 2002).

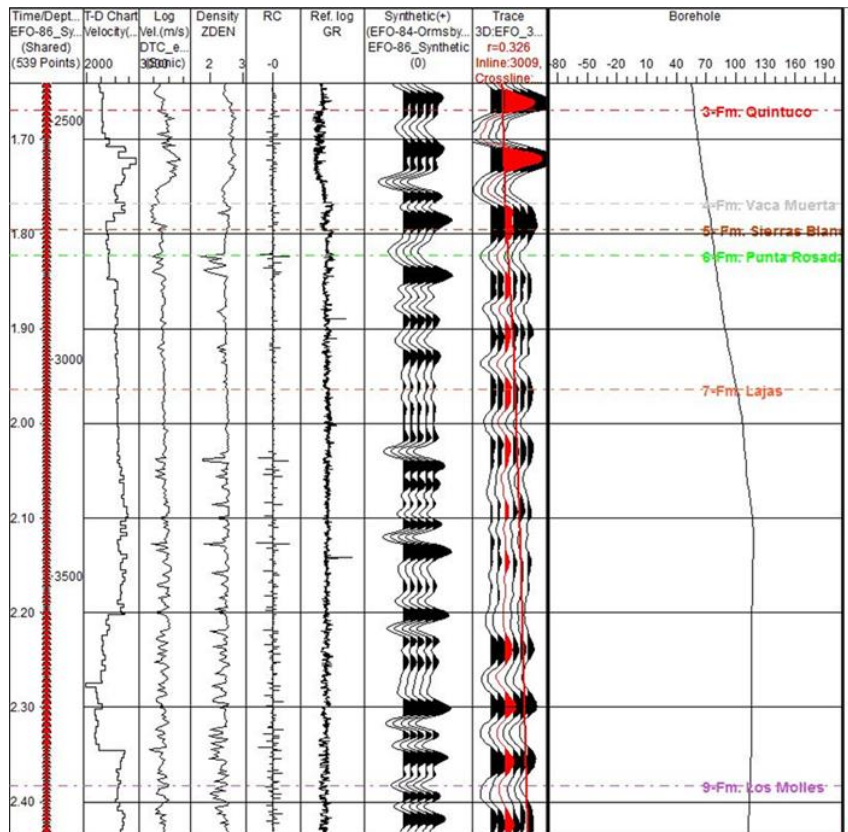
La ondícula utilizada es del tipo *ricker* diseñada a partir de los atributos sísmicos (amplitud, fase y frecuencia) (figura 14) más representativos para la zona de estudio. Esta fue luego utilizada para la generación de los sismogramas sintéticos y el colgado de los pozos en la sísmica.



**Figura 14.** Parámetros físicos de la ondícula utilizada para la generación de los sismogramas sintéticos.

Por último, a partir de las similitudes entre el sismograma sintético y la traza extraída de la sísmica en la cercanía del pozo a colgar, se fue realizando la unión entre los mismos (figura 15). Cabe destacar que se debe utilizar los eventos de mayor amplitud que estén fuertemente representados tanto en la sísmica como en el sismograma sintético, y no todos los eventos menores ya que tanto en la sísmica como en registro del pozo pueden estar originados por ruido

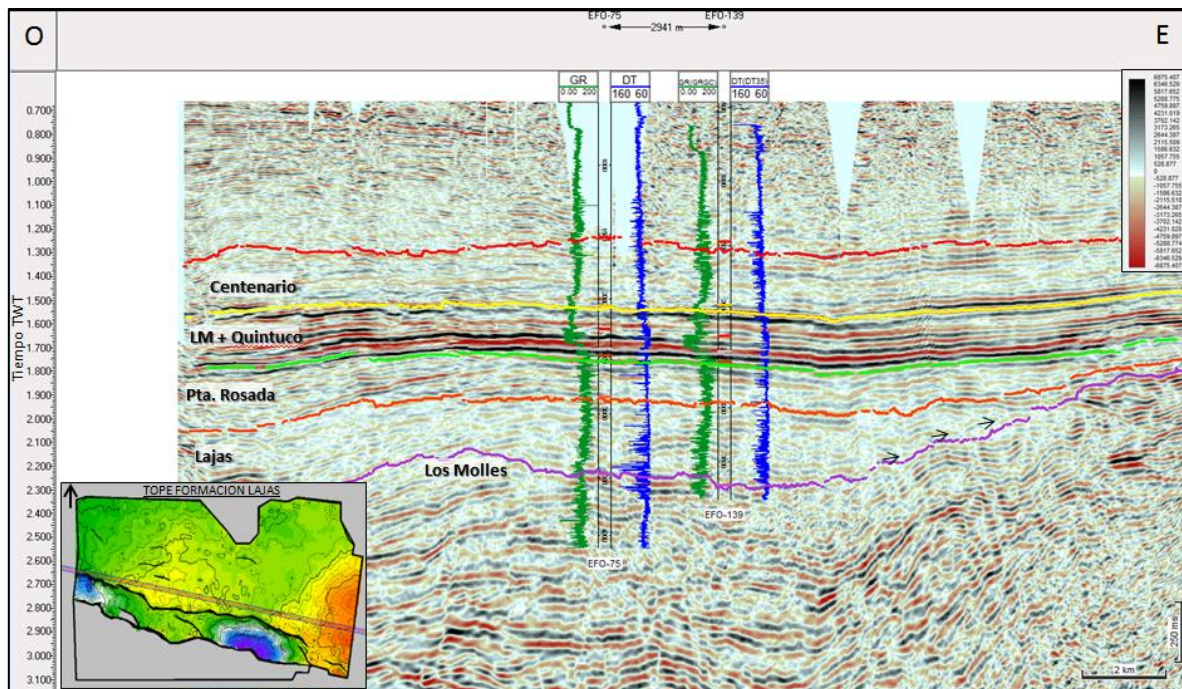
Como resultado de la correlación de los datos de pozos con los datos sísmicos, se obtuvieron tablas tiempo ida y vuelta (TWT)-profundidad, que muestran la relación entre la profundidad de un reflector y el tiempo (TWT) de viaje del pulso sísmico, correspondiente a la ubicación geográfica de cada uno de los pozos colgados.



**Figura 15.** Sintético EFO-86, se presenta de izquierda a derecha T-D Chart (Curva de velocidad), Sonico (m/s), Densidad, coeficiente de reflexión, Registro de referencia *Gamma Ray* (GR), Sismograma Sintético, trazas de la sísmica en superficie

En la figura 16 se muestra como la aplicación de esta técnica permitió observar los distintos niveles de interés interpretados a partir de registros eléctricos de pozos en el dominio de la sísmica, y así identificar los horizontes sísmicos relevantes para el desarrollo del presente trabajo.

En el caso del pozo EFO.a-84 se obtuvo una ley de velocidad partir de un registro *checkshot*, el que consiste en las mediciones de tiempos de arribo a diferentes profundidades con geófonos en el interior del pozo y una fuente en la superficie, comúnmente camiones vibradores.



**Figura 16.** *Inline* 2984 (orientación O-E), donde se puede observar las variaciones de espesor de las Formación Los Molles y Lajas hacia el este, con la relación de *on-lap* de los horizontes sobre un alto de basamento.

## Interpretación Sísmica de Reflectores

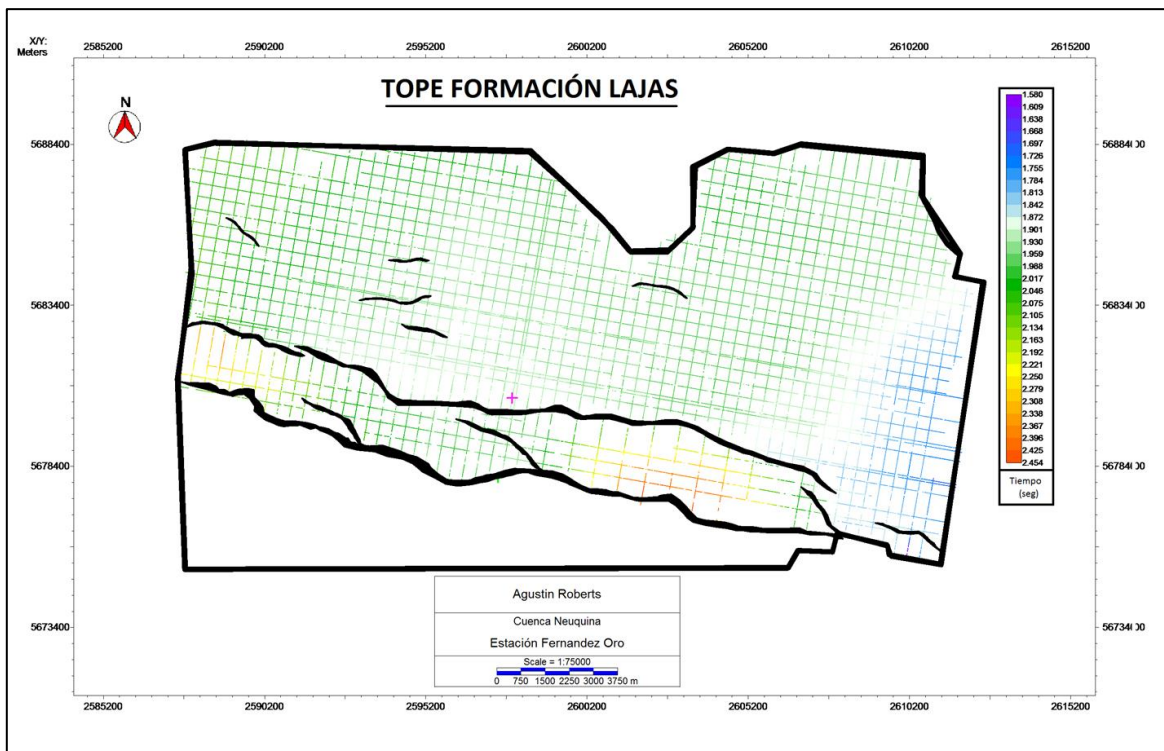
Una vez establecidos los reflectores de interés, se procedió a interpretarlos, mediante esta técnica que consiste en la correlación visual de las trazas sísmicas a lo largo del registro 3D, tanto en las líneas N-S (*inline*, líneas sísmicas en dirección de los geófonos) como en dirección O-E (*crossline*, dirección de la fuente sísmica utilizada). La frecuencia de “picado” varía de 5 a 20 líneas, dependiendo del carácter sísmico y la continuidad del reflector, y para una mejor correlación se eligieron los horizontes de acuerdo a su continuidad lateral y amplitud, lo que permitió una buena correlación a lo largo de todo el cubo 3D.

Al finalizar el “picado” se obtuvo una malla de interpretación de cada horizonte (figura 17), a partir de la cual se interpreta de manera automática con la herramienta “3D Seeker”, la cual permite definir un índice de “*correlation*” y una ventana de búsqueda en tiempo, logrando una mayor continuidad del picado, respetando los parámetros de búsqueda.

Por último, para llenar los espacios sin dato (aquellos que no hayan cumplido con los parámetros asignados para el *3D seeker*), se interpolan los datos utilizando la herramienta “*Flex Picker*”, que utiliza un algoritmo para interpolar los datos existentes, obteniendo así un mapa estructural en tiempo para todo el área de trabajo.

El software utilizado también cuenta con algunas herramientas que facilita la interpretación, sobre todo en sectores de mayor complejidad, como pueden ser

zonas de fallas o discordancias. Entre otros, el “polígono de correlación” que permite una correlación visual mediante el recorte y desplazamiento de un polígono de la línea sísmica, los cambios de escala vertical y horizontal que suelen ser útiles para observar eventos de distinta magnitud y el aplanamiento de horizontes que permite restar la deformación de los horizontes, para el tiempo de depositación interpretado para un reflector, y mejora la observación de las características estratigráficas.

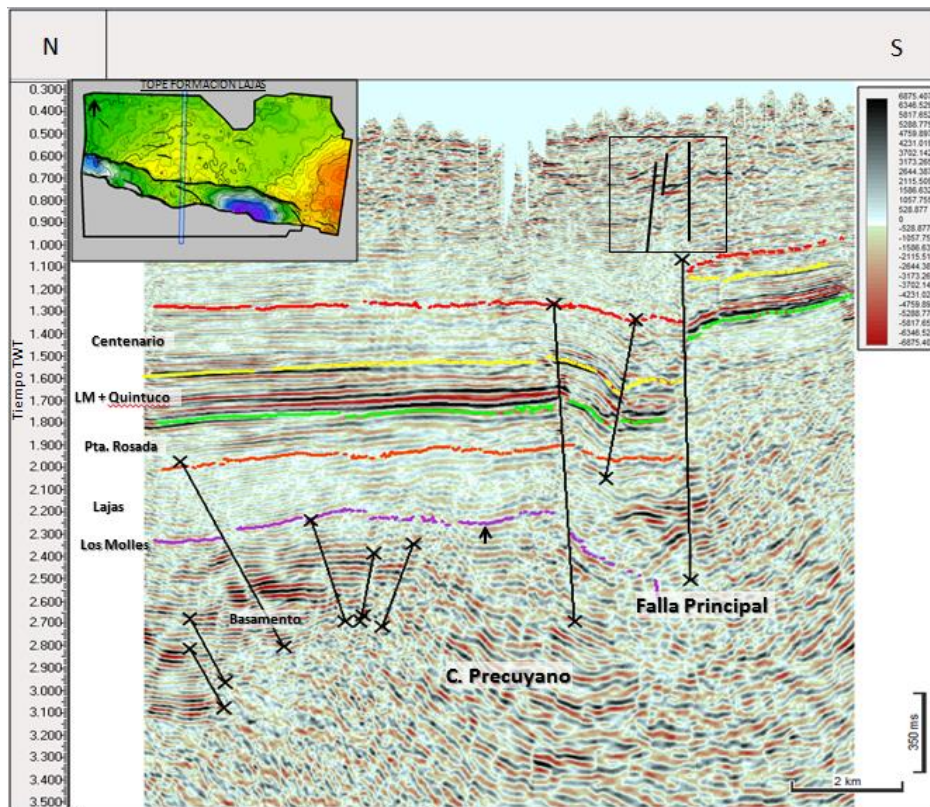


**Figura 17.** Grilla del picado para el techo de la Formación Lajas (Sistema de coordenadas: Gauss Krueger Argentina zona 2 / Datum: Campo Inchauspe).



## Interpretación de Fallas

Las fallas producen un desplazamiento en las rocas de los bloques de falla, los cuales pueden observarse por los desplazamientos en los límites formacionales o de secuencias sedimentarias de los reflectores sísmicos. Cuando estas fallas si ocurren sincrónicamente con la sedimentación pueden generar otros tipos de rasgos geológicos, como cambios de espesor que son identificados en la sísmica.



**Figura 18.** Arbitrary Line (N-S), mostrando el picado de fallas. Los planos de las fallas principales se unen para formar los polígonos de fallas, observados en planta en el plano que cortan al horizonte interpretado. En el recuadro, fallas reconocidas

sobre los horizontes más superficiales, interpretadas como posibles fallas tensionales producidas por compactación diferencial.

El “picado” de las fallas consiste en generar líneas de falla colocando nodos en las discontinuidades y luego uniendo con rectas los mismos (figura 18). En este caso el seguimiento de fallas se realizó cada 10 líneas para las estructuras principales y cada 5-2 líneas en zonas de mayor complejidad o con rasgos más difusos. El picado se realizó en general sobre las *crosslines*, buscando observar las fallas en un sentido perpendicular al rumbo.

Una vez interpretadas las fallas, se realizó una interpolación de las líneas de falla, para de esta manera generar polígonos de falla en planta.

### **Atributo Sísmico**

Un atributo sísmico es una característica descriptiva y cuantificable de los datos sísmicos, que se puede mostrar en la misma escala que los datos originales. Los atributos representan subconjuntos de la información total contenida en los datos sísmicos originales. El análisis de atributo sísmico es por lo tanto una descomposición de los datos sísmicos en los atributos constituyentes. A diferencia de la mayoría de los métodos de descomposición, no hay un conjunto formal de reglas que establezcan cómo deben ser calculados los atributos. Como resultado, los atributos se calculan por una gran variedad de métodos, con lo cual las

relaciones entre los diversos atributos a menudo son complejas. Independientemente del método, todos los atributos se calculan fundamentalmente por la misma razón: para eliminar la información superflua en las tendencias o patrones reveladores, no visibles en los datos originales (Barnes, 1999).

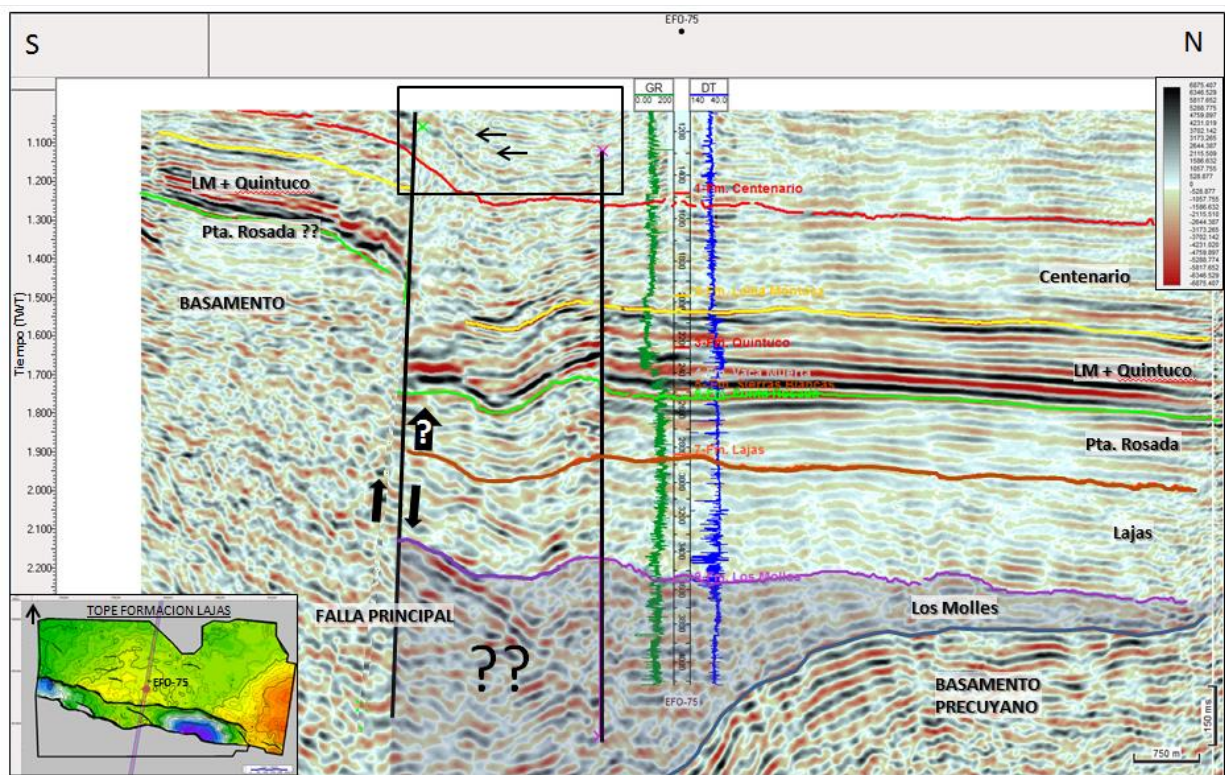
Para el presente trabajo se utilizó el atributo sísmico “*Similaridad*”, calculado a partir del dato original por medio de una interfaz del software Kingdom Suite, este resultado útil para la interpretación de fallas y discontinuidades de los reflectores, ya que en un sentido simplificado muestra el parecido de una traza con las trazas más cercanas.

## **DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL**

En el área de estudio la estructura más importante corresponde a la falla rio Negro, esta se habría generado como una zona importante de fallas normales de rumbo general ONO-ESE, durante el Triásico Superior – Jurásico Inferior (Orchuela y Ploszkiewicz, 1984; García, 2015). La zona estudiada está comprendida entre dos fallas mayores con planos subverticales y rechazos verticales que oscilan entre los 0.2 y los 0.6 segundos (TWT), mostrando una disminución paulatina hacia los horizontes más modernos y controlando un hemigráben de escala kilométrica. La zona determinada entre estas fallas tiene un ancho de entre 2 y 2.5 km, dentro de la cual se pueden observar fallas normales de menor escala y otras estructuras asociadas, como pliegues de arrastre (Figura 19).



La falla Rio Negro genera un importante control estructural sobre la sedimentación, claramente evidenciado por el cambio de espesores que exhiben las formaciones basales del Grupo Cuyo entre el sector al sur y al norte de dicha estructura. En el bloque norte es posible reconocer la secuencia estratigráfica completa incluyendo los depósitos volcánicos de Ciclo Precuyano y un buen desarrollo de los depósitos de la Formación Lajas y Formación Los Molles, en cambio, en el bloque sur existe una discordancia erosiva o de no depositación, y allí se encuentran exiguos espesores de la Formación Punta Rosada apoyados directamente sobre el basamento (figura 19).

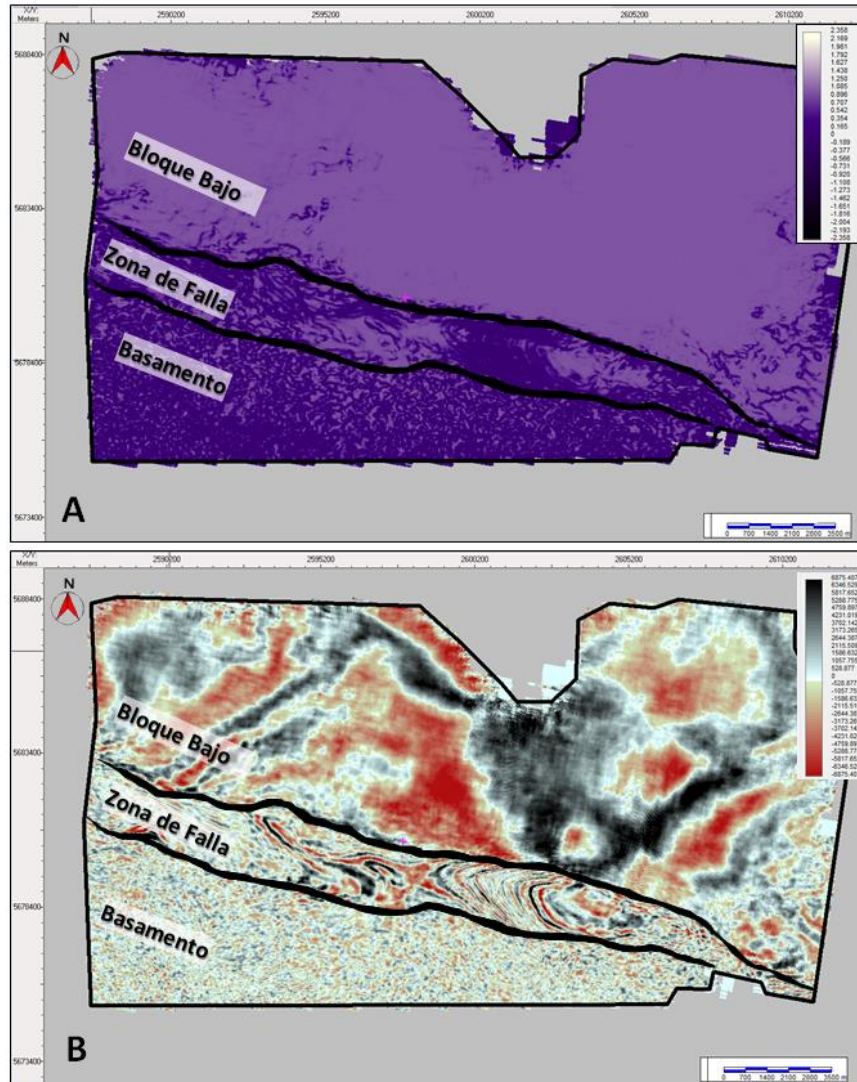


**Figura 19.** Crossline 5000 (orientación S-N), donde se puede observar la variación de espesor de la Formación Los Molles, alcanzando el mayor espesor

hacia la falla rio Negro. Hacia el sur de la misma los depósitos basales del Grupo Cuyo están ausentes y los depósitos de la Formación Punta Rosada se apoyan directamente sobre el basamento. En el recuadro se muestra la relación de *on-lap* de los horizontes suprayacentes a la Formación Centenario.

En un *time slice* en 1.762 segundos (figura 20), se puede observar la alteración en la respuesta sísmica que genera la zona de falla, y la posibilidad de discriminar el área en tres sectores para su estudio. En el bloque ubicado al norte los horizontes muestran una buena continuidad, lo que permite una buena interpretación y correlación de estos. En la zona cercana a la falla, donde está concentrada la mayor deformación, la continuidad de los reflectores se ve alterada y no resulta sencillo realizar una buena interpretación sísmica. Por último, en el bloque sur para este tiempo se puede reconocer en todo el sector el basamento de la cuenca; cabe destacar que para tiempos más someros los horizontes se vuelven muy continuos y muestran menor deformación.

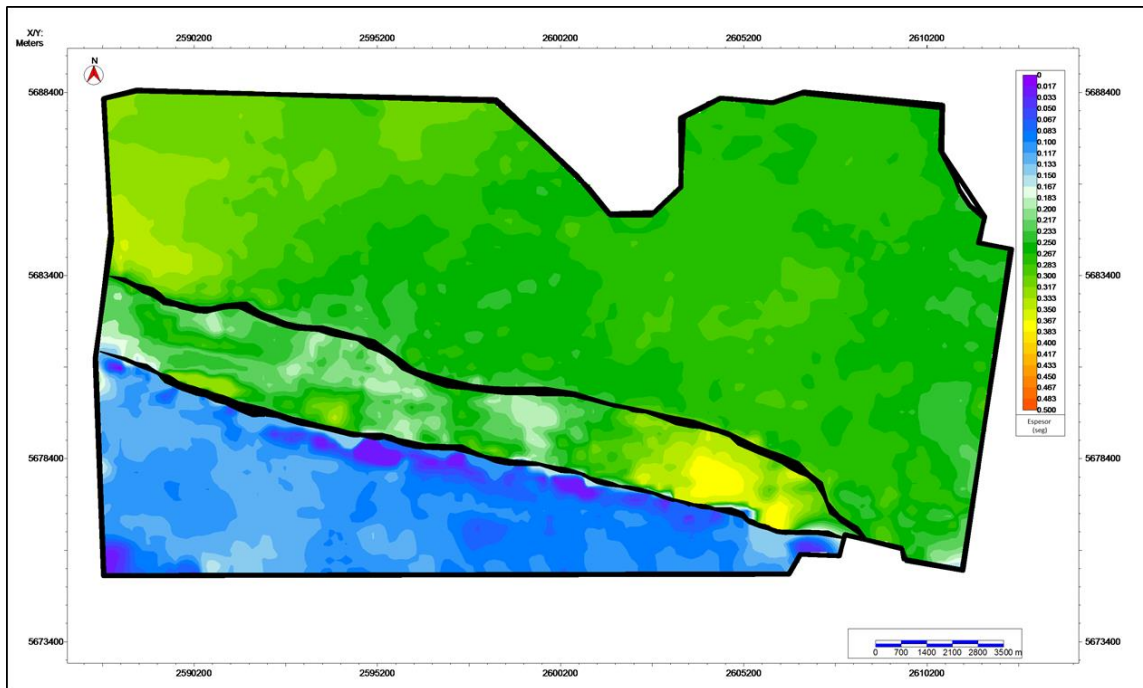
La falla rio Negro, reconocida también en el cubo 3D General Roca (García 2015), experimento una reactivación con variadas cinemáticas, que pueden evidenciarse principalmente en las inflexiones de la estructura. En el SE del cubo General Roca, esta muestra un cambio de rumbo hacia el ENE que controla la localización de un par anticlinal-sinclinal con una longitud de onda menor a los 2 km, interpretado por (García 2015), como consecuencia de una reactivación transpresiva durante el Jurásico Tardío.



**Figura 20.** *Time Slice* 1,762 segundos. **A.** atributo sísmico de Similaridad. **B.** Valores de amplitud. Nótese como el área de estudio puede ser discriminada en tres bloques en base a las respuestas sísmicas para este tiempo.

En el cubo General Roca las unidades más modernas, en particular la sección inferior de la Formación Centenario, muestra control estructural durante su depositación, con disminución de espesores hacia el sur del río Negro (García

2015). Este aspecto también se exhibe en el bloque EFO (figura 19 y figura 21), lo que también indicaría un movimiento considerable durante el Cretácico Temprano.



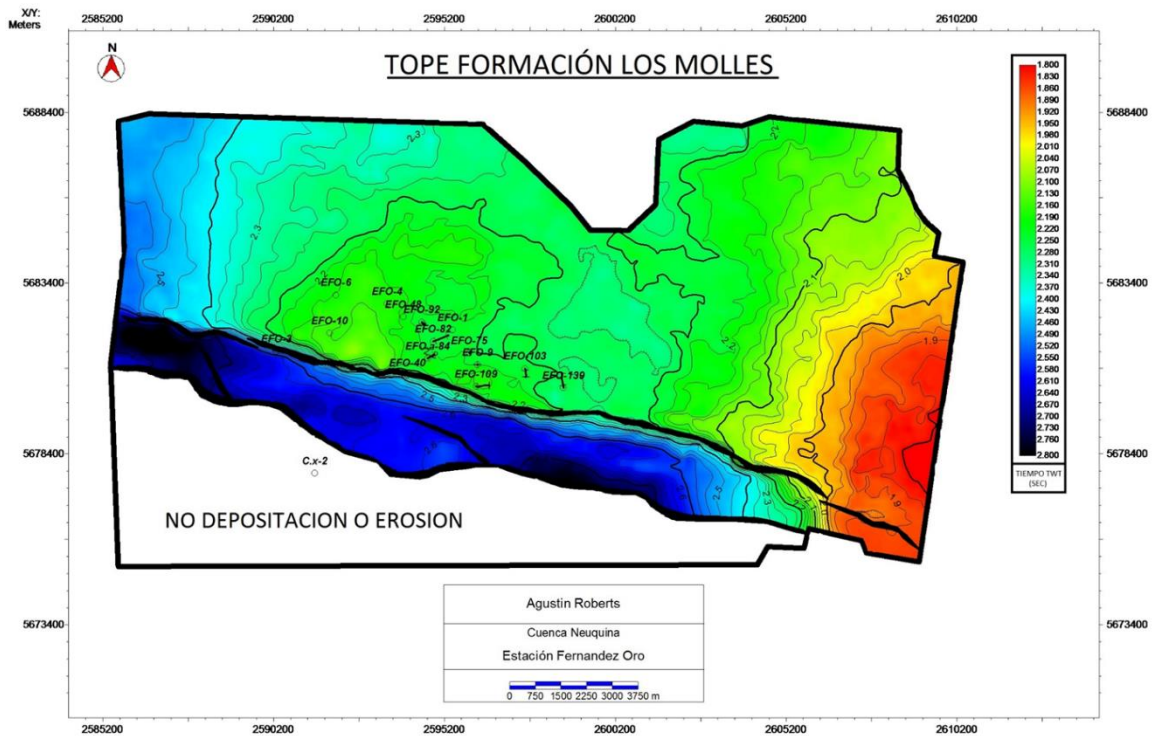
**Figura 21.** Mapa de espesor en tiempo de la Formación Centenario (Sistema de coordenadas: Gauss Krueger Argentina zona 2 / Datum: Campo Inchauspe).

Los estratos de crecimiento reconocidos para la Formación Centenario y las relaciones de *on-lap* de los horizontes suprayacentes (figura 19) serían en principio compatible con un movimiento importante de cinemática inversa y/o tranpresiva a partir del Cretácico Temprano, esta conclusión es igual a la interpretada por García (2015) para los estratos de crecimientos identificados en el cubo General Roca.



## Techo Formación Los Molles

El mapa isócrono del techo de la Formación Los Molles (figura 22), representa el horizonte más profundo interpretado, debido a que la disminución de la relación señal/ruido del dato sísmico aumenta considerablemente la incertidumbre para interpretar niveles inferiores correspondientes al basamento o a los depósitos del Ciclo Precuyano.



**Figura 22.** Mapa estructural en tiempo del techo de la Formación Los Molles (Sistema de coordenadas: Gauss Krueger Argentina zona 2 / Datum: Campo Inchauspe).

El rasgo más relevante para este horizonte es la ausencia hacia el sur de la falla río Negro, ya sea por erosión o no depositación (figura 19). Esta ausencia, junto con las variaciones de espesor en inmediaciones de la falla, permite inferir en este sector del bloque EFO, un importante control estructural sobre la acumulación de la Formación Los Molles durante el Jurásico. Esta característica es ampliamente reconocida para la región de la dorsal, en donde las zonas con menor subsidencia solo son cubiertas por los niveles superiores del Grupo Cuyo, en facies fluviales y deltaicas correspondientes a la Formación Lajas o Challacó (Gomez Omil *et al.* 2002).

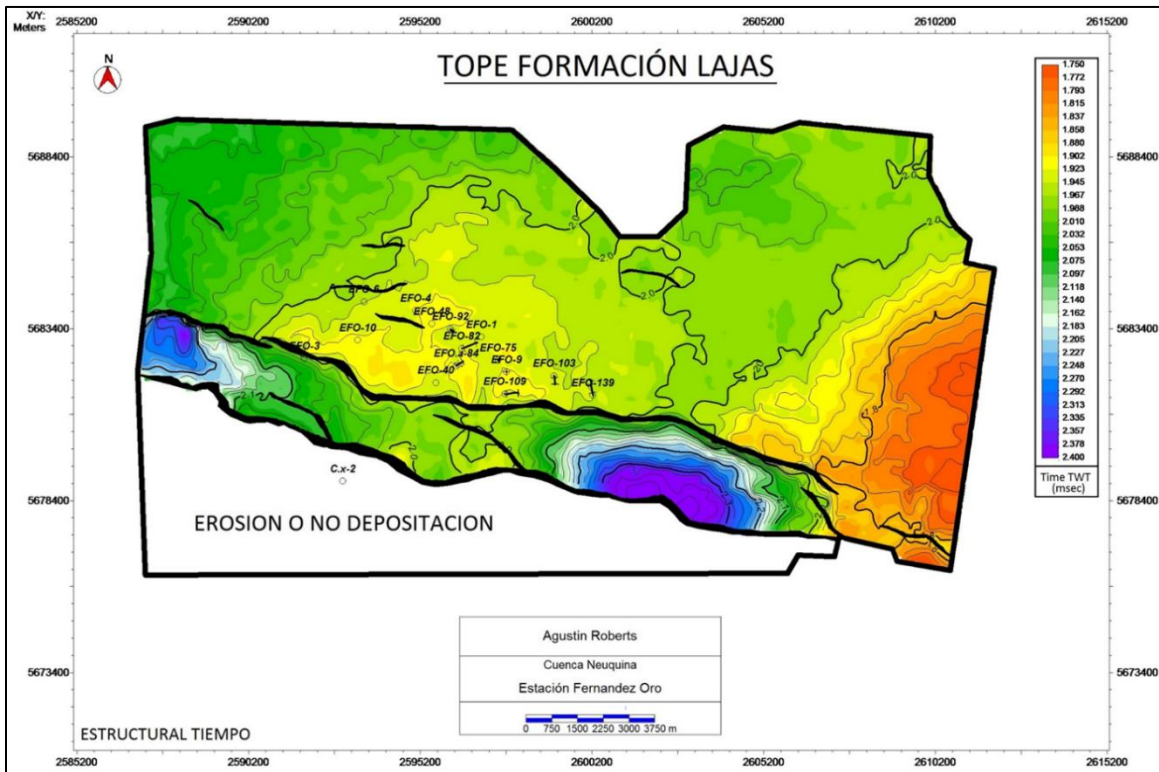
Regionalmente para el techo de la Formación Los Molles se observa un buzamiento estructural hacia el ONO, reconociéndose para este área dos elevaciones, una hacia el este con un contraste estructural de 0.4 segundos en su máxima expresión que continua fuera del bloque de estudio y una segunda de menor contraste ubicada hacia centro de la misma. En estas elevaciones asociadas a altos del basamento, también se puede apreciar una importante pérdida de espesor. Así mismo, en estas zonas se observa un aumento de la deformación y concentración de fallas, este nucleamiento de fallas en los bordes de los hemigrábenes o altos del basamento es explicado por la tensión producida por estiramiento de las capas ante la subsidencia diferencial de los sedimentos, evidencia para la región de la dorsal de Huincul, como por ejemplo para en el bloque Entre Lomas (Cristallini *et al.* 2009).

El mayor bajo para este horizonte coincide con el hemigráben de orientación ONO-ESE, asociado con la falla río Negro, que es también donde se reconocen los mayores espesores para esta la Formación Los Molles, aspectos que evidencian el control estructural que tuvo el desarrollo de esta falla a partir de por lo menos la depositación del Grupo Cuyo.

### **Techo Formación Lajas**

En el mapa estructural en tiempo para el techo de la Formación Lajas (figura 23), o base de la Formación Punta Rosada, se presentan características estructurales similares al techo de la Formación Los Molles, como el buzamiento general hacia el ONO, y las mismas elevaciones en el centro y el este del área. También está ausente en el bloque sur de la falla principal, y de la misma manera se evidencia los cambios de espesor controlando tanto por la falla principal como por los altos del basamento.

En el mapa de espesor en tiempo para esta formación (figura 24), se puede observar como el espesor aumenta considerablemente hacia el hemigráben asociado a la falla Rio Negro, por lo que se infiere una actividad sinsedimentaria en este período.



**Figura 23.** Mapa estructural en tiempo del techo de la Formación Lajas (Sistema de coordenadas: Gauss Krueger Argentina zona 2 / Datum: Campo Inchauspe).

El espesor de esta formación también sufre un adelgazamiento relacionado con los altos del basamento, particularmente importante hacia el este donde se observan claras evidencias de *on lap* de los reflectores contra el basamento. Por esta pérdida de espesor podría llegar incluso juntarse con el techo de la Formación Los Molles (figura 25). Este aspecto resulta particularmente importante, considerando que los depósitos basales de esta formación son el objetivo principal en el actual desarrollo gasífero de este bloque.



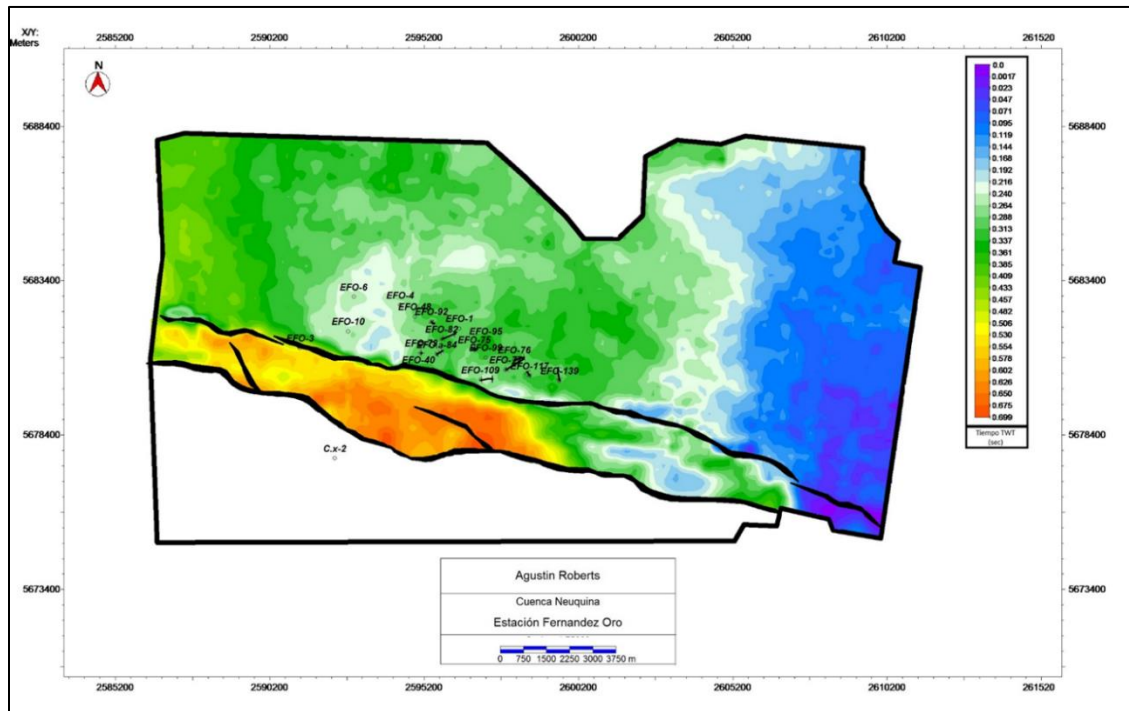
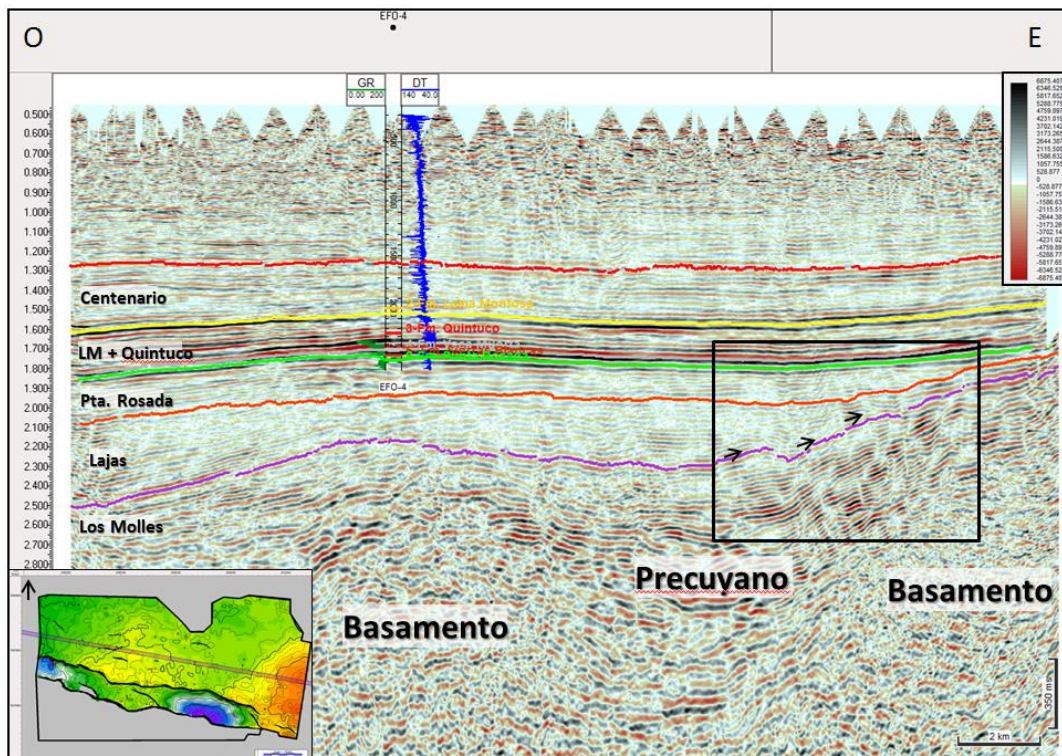


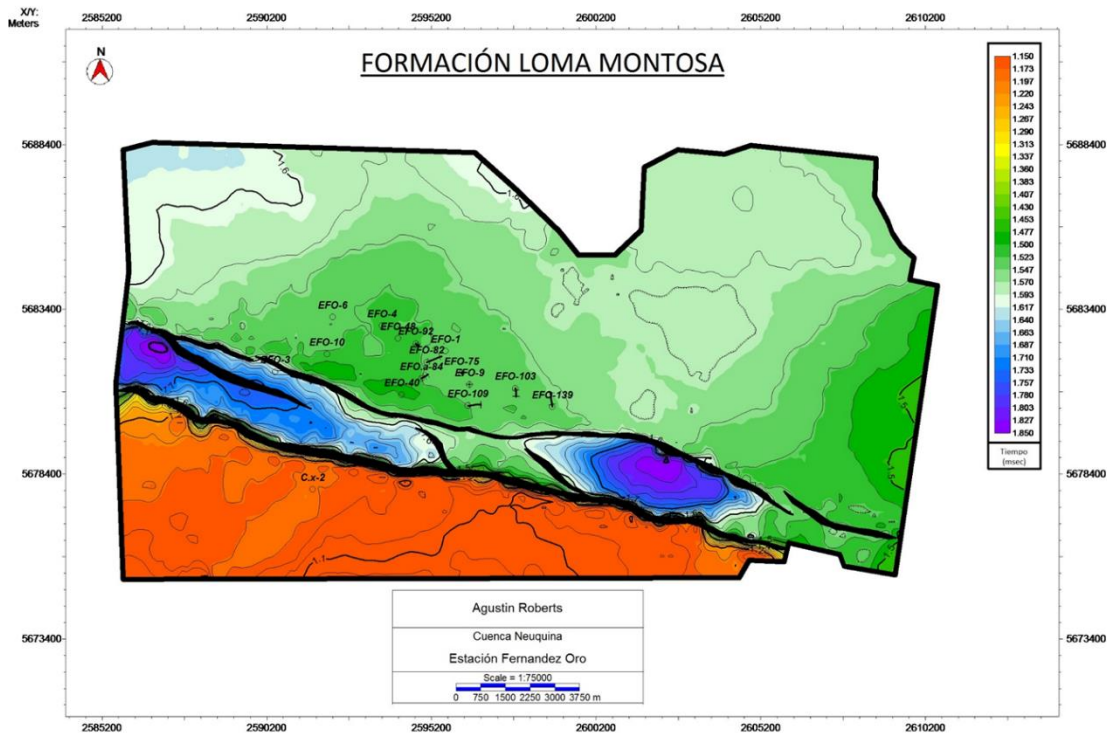
Figura 24. Mapa de espesor en tiempo de la Formación Lajas (Sistema de coordenadas: Gauss Krueger Argentina zona 2 / Datum: Campo Inchauspe).



**Figura 25.** *Inline* 3050 (orientación O-E). En esta se observa para la Formación Lajas el *on lap* de los reflectores contra un alto del basamento y su pérdida de espesor hacia el este.

### Techo Formación Loma Montosa

El mapa estructural en tiempo del techo de la Formación Loma Montosa (figura 26), representa para este tiempo la depositación en un contexto tectónico donde, sin estar ausente, ha disminuido notablemente el control estructural sobre la sedimentación en relación al existente al momento de la depositación de las formaciones Lajas y Los Molles.



**Figura 26.** Mapa Estructural en Tiempo del techo de la Formación Loma Montosa (Sistema de coordenadas: Gauss Krueger Argentina zona 2 / Datum: Campo Inchauspe).

El primer aspecto a remarcar es la presencia de estos depósitos a lo largo de todo el bloque, a diferencia de los depósitos de la Formación Lajas y Formación Los Molles que se encuentran ausentes en el segmento sur. Si bien el control estructural en los espesores para esta formación se observa de manera muy incipiente, no deja de estar presente para la depositación de este periodo, aunque probablemente la compactación diferencial de los depósitos subyacentes también juega un rol considerable.

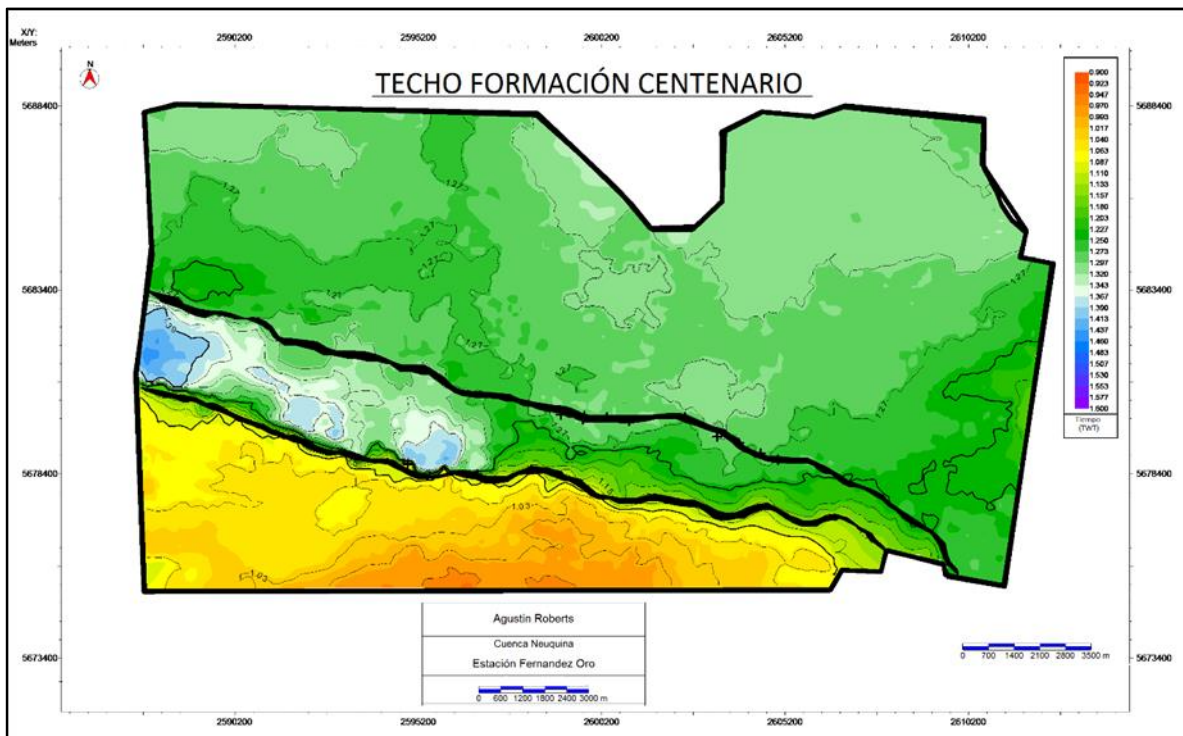
En otros aspectos las características estructurales del techo de la Formación Loma montosa resulta muy similar a la de los depósitos basales del Grupo Cuyo, exhibe un buzamiento general hacia el ONO, con los mismos resaltos estructurales en el este y centro del bloque, aunque con un contraste estructural mucho menor, de 0.081 segundos en su mayor expresión. De la misma forma, las mayores depresiones para este horizonte están asociados al hemigráben producto de la falla principal, y coincide con las mayores depresiones también reconocidas para el los demás horizontes interpretados.

En el bloque norte se observa una buena continuidad de los reflectores, sin importantes resaltos y escasas evidencias sin deformación, lo que evidencia de la menor influencia de la falla principal hacia el norte del bloque. Por otro lado, la inexistencia de resaltos o elevaciones de basamento en esta área, puede ser indicio de la mayor exposición a la erosión del basamento, lo que permitió el labrar un relieve más homogéneo donde se depositaron las formaciones suprayacentes.

## Techo Formación Centenario

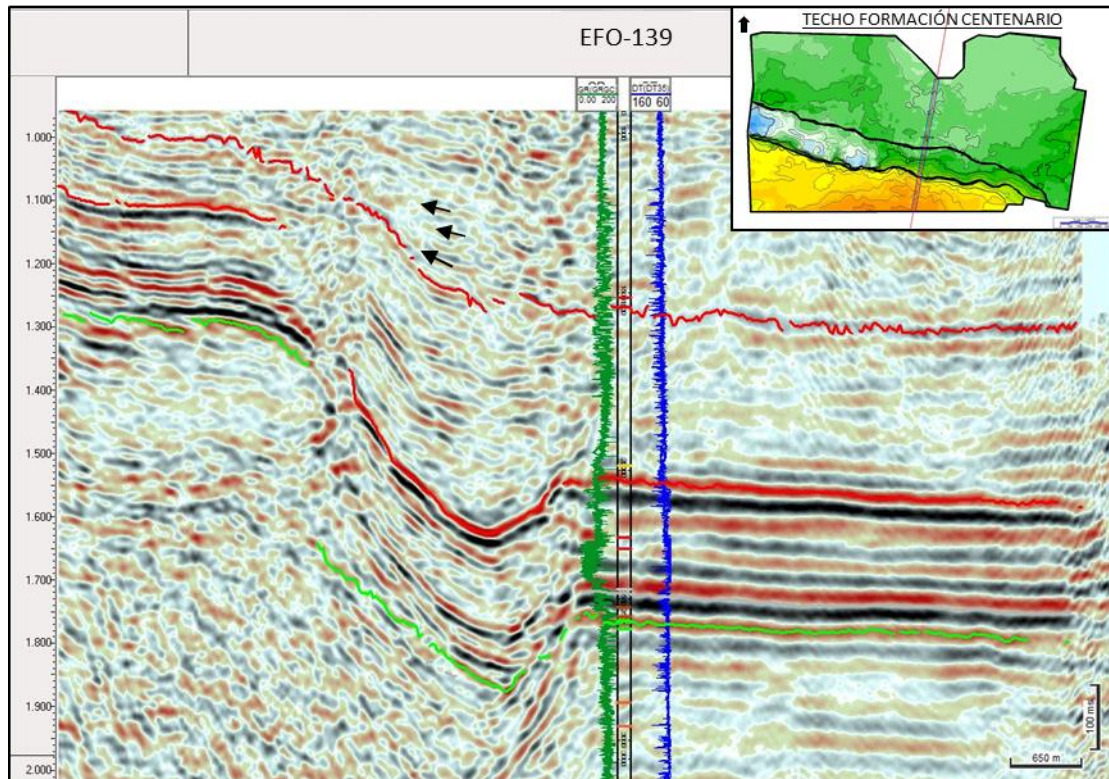
El mapa estructural en tiempo del techo de la Formación Centenario (figura 27), es el horizonte más moderno interpretado en el presente trabajo debido al desmejoramiento del dato sísmico hacia tiempos más superficiales.

Éste horizonte muestra una distribución muy homogénea a través del cubo analizado, sin resaltos considerables exceptuando una elevación menor de 9 ms en el sector oeste, como resultado de la influencia de un alto de basamento, estando mejor representado en las unidades inferiores.



**Figura 27.** Mapa Estructural en Tiempo del techo de la Formación Centenario (Sistema de coordenadas: Gauss Krueger Argentina zona 2 / Datum: Campo Inchauspe).





**Figura 28.** *Crossline* 5110 (orientación S-N). En sección se puede observar para la Formación Centenario una inversión tectónica de cinemática inversa y/o transpresiva. Las flechas negras indican el *on lap* de los reflectores suprayacentes contra el techo de dicha formación.

Los depósitos de la Formación Centenario exhiben un control estructural producto de una reactivación de la falla Rio Negro, reconocido por la distribución de sus espesores (figura 21), estratos de crecimiento (figura 28) y relaciones de *onlap* de los horizontes suprayacentes (Figura 19 y 28). Esta unidad refleja un pulso de movimiento de la Falla Rio Negro durante el Cretácico Inferior, que en base a los estratos de crecimiento y relaciones de los horizontes sería compatible con una tectónica compresiva y/o transpresiva.

## EVOLUCIÓN TECTOSEDIMENTARIA

A partir del análisis de las unidades del subsuelo del bloque EFO se puede reconstruir la evolución tectosedimentaria para esta ubicación en la región oriental de la dorsal de Huincul (figura 29).

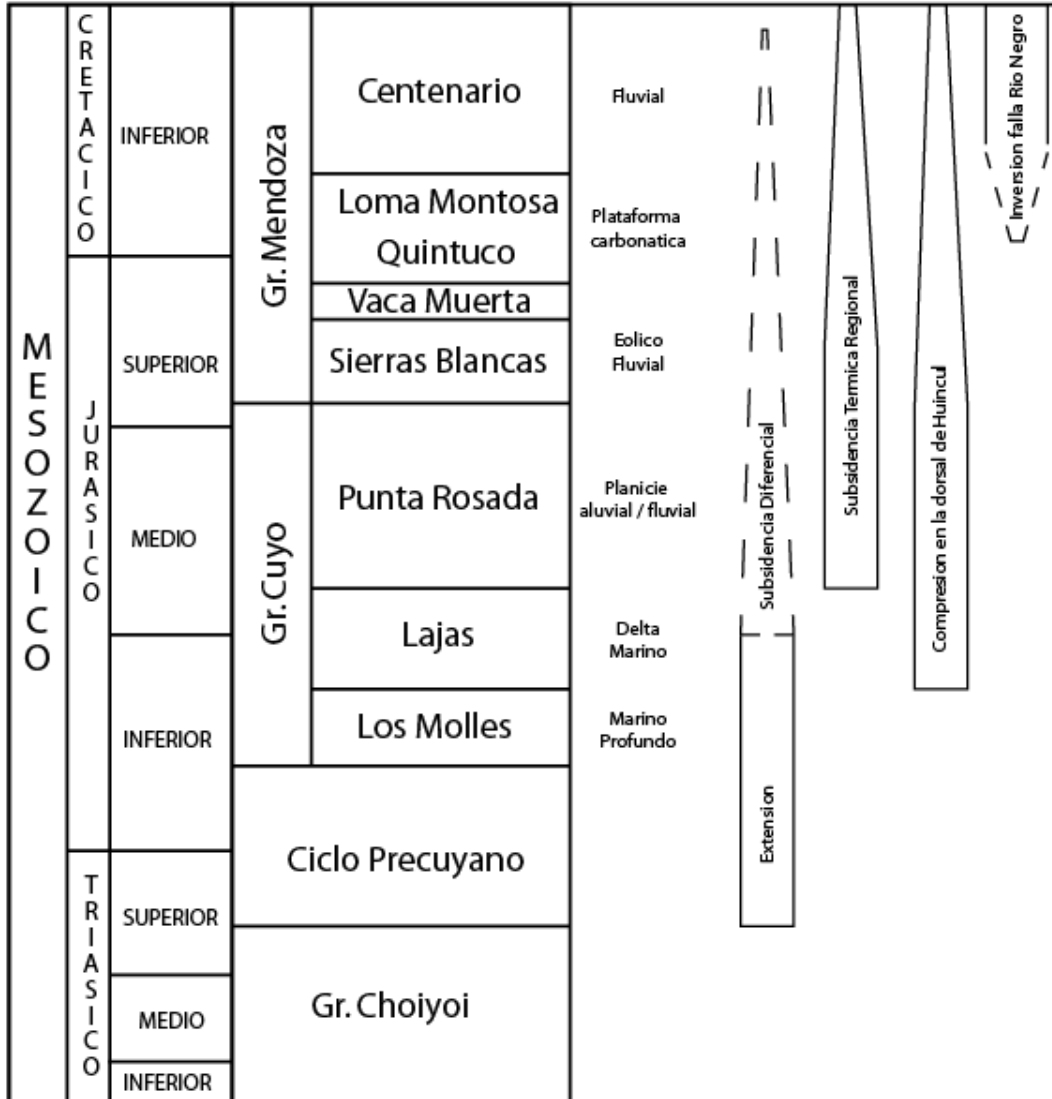
La falla Río Negro se habría iniciado durante un periodo de extensión generalizado como una zona de fallas normales de rumbo general ONO-ESE, en un contexto de extensión generalizada durante Triásico Superior – Jurásico Inferior, controlando el desarrollo de un hemigráben de escala kilométrica, relleno por los depósitos *sinrift* agrupados en el Ciclo Precuyano y los depósitos inferiores del Grupo Cuyo de la Formación Los Molles y la Formación Lajas, que también muestra aunque de forma incipiente un control estructural en el bloque analizado, con indicios de una depositación en un contexto de generación de espacio. Este aspecto contrasta en principio con la tectónica compresiva o transpresiva interpretada por Silvestro y Zubiri (2008) para este periodo para la región occidental de la dorsal de Huincul, donde el levantamiento habría comenzado casi simultáneo con la depositación de la Formación Lajas.

La contrastante evolución tectónica entre los distintos sectores de la dorsal de Huincul puede ser explicada por la variación del ángulo que forman las estructuras preexistentes con el campo de esfuerzo predominante, factor que condicionó la evolución de las estructuras y en consecuencia su sedimentación asociada. Las estructuras en el sector más occidental, de rumbo NE son casi ortogonales al campo de esfuerzos de orientación NO-SE (N30°O), predominando la cizalla pura, con

desarrollo de estructuras compresivas. Las estructuras de orientación NO del sector oriental, se disponen de forma oblicua con respecto a los ejes de las principales estructuras del sector occidental, formando un ángulo de entre 20° y 30° con el campo de esfuerzo, con un movimiento principalmente transcurrente dominadas por cizalla simple (figura 7B) (Silvestro y Zubiri 2008).

A partir de este análisis se divide a la dorsal de Huincul en sectores establecidos en base a la orientación y evolución de sus lineamientos. El sector occidental con predominio de estructuras compresivas NE y vergencia hacia el sureste, un sector central que representa una transición con una orientación de las estructuras E-O con características tanto transcurrentes como compresivas, y el sector oriental que incluye al área de estudio, exhibe mayormente estructuras transcurrentes de orientación NO (Silvestro y Zubiri 2008).

La Formación Punta Rosada y el Grupo Mendoza inferior incluyendo hasta la Formación Loma Montosa, forman parte de los depósitos de rift tardío depositados durante una subsidencia térmica generalizada para la cuenca Neuquina y un efecto incipiente pero no despreciable de compactación diferencial producto de la mayor sedimentación del Grupo Cuyo Inferior en el ámbito del hemigráben. Es así, que para la zona estudiada el efecto del levantamiento de la dorsal de Huincul no fue lo suficientemente importante para dejar una clara impronta de tectónica compresiva en estas unidades, con un predominio de una tectónica transcurrente para este tiempo.



**Figura 29.** Cuadro tectonoestratigráfico con las unidades sedimentarias y procesos analizados en el presente trabajo.

La inversión tectónica para la falla Río Negro en la región oriental de la dorsal de la dorsal de Huincul es reconocida a partir del Jurásico Medio a Superior, en el cubo General Roca en el extremo SE un cambio en el rumbo hacia el ENE de la falla controla la localización de un par anticlinal-sinclinal con una longitud de onda menor a los 2 km,



que según García (2015) es consecuencia de la reactivación transpresiva de la falla Río Negro a partir del Jurásico superior, esta inversión está evidenciada también por los estratos de crecimientos y relaciones estratigráficas presentes en los cubos General Roca (García 2015) y EFO en los horizontes de la Formación Centenario y más modernos.

En este contexto se habría depositado la Formación Centenario con un claro control tectónico en la distribución de sus espesores y relaciones estratigráficas, compatible con una cinemática inversa y/o transpresiva, lo que denotaría un importante pulso durante el Cretácico Inferior Alto.

## **CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se presentó la metodología utilizada y los resultados obtenidos del análisis estructural y estratigráfico del subsuelo en el bloque Estación Fernández Oro. Esto se realizó en base a un cubo sísmico 3D de 300 km<sup>2</sup> y datos de 30 pozos.

A partir del análisis sísmico de los distintos niveles presentes en el subsuelo del bloque Estación Fernández Oro, se describieron las estructuras y rasgos principales del subsuelo en el área de estudio:

- La falla de Río Negro es la principal estructura reconocida en el bloque EFO y controla los principales rasgos del subsuelo para esta región. Ésta estuvo

activa al menos desde la depositación del Ciclo Precuyano, con varios eventos de deformación.

- La falla Río Negro genera un fuerte control estructural sobre la sedimentación, claramente expresado en los depósitos basales del Grupo Cuyo, y en menor medida en las formaciones suprayacentes.
- Las elevaciones estructurales reconocidas en el centro y este de la zona de estudio responden a altos del basamento, generan no solo un resalto estructural sino también un fuerte control en la sedimentación, sobre todo hacia el este, provocando un acuñaamiento y pérdida de espesor de las Formaciones Lajas y Los Molles. Esto resulta particularmente importante, considerando que la primera es el objetivo principal de la explotación de gas en la actualidad, y estaría ausente o con un desarrollo muy incipiente hacia el sector este del bloque EFO.
- La Falla Río Negro divide al área de estudio en tres sectores con características distintivas:

El sector norte donde los depósitos basales del Grupo Cuyo se apoyan sobre el basamento o los depósitos del Ciclo Precuyano con altos bien desarrollados, los cuales controlaron la sedimentación. De esta forma, la presencia de la falla Río Negro también generó un fuerte control en la sedimentación y en los espesores, sobre todo en las Formaciones Lajas y Los Molles, observando los mayores

espesores hacia el sur de este sector. Los reflectores correspondientes a las formaciones más nuevas son más continuos y las evidencias sugieren un menor control de la sedimentación por parte de las fallas.

El sector al sur de la falla Río Negro es una zona caracterizada por la ausencia de las sedimentitas más basales del Grupo Cuyo, ya sea por erosión o no deposición. Esto sugiere que la zona sur fue un alto durante la deposición de la base del Grupo Cuyo, comportándose posiblemente como una zona de aporte o de bypass para la sedimentación durante este periodo. De esta forma, los sedimentos de la Formación Punta Rosada, de un desarrollo incipiente están directamente apoyados sobre el basamento, el cual no presenta al menos en el área estudiada importantes elevaciones. Por otro lado, los reflectores suprayacentes muestran una buena continuidad y una baja deformación, que indicaría la menor influencia de la deformación en este sector por parte de la falla principal.

Estos dos sectores están separados por una depresión elongada de rumbo ONO-ESE que corresponde al hemigráben asociado a la falla principal, esta zona es donde se acumula la mayor deformación, y los mayores espesores para las formaciones Lajas y Los Molles. La interpretación sísmica en este sector es particularmente dificultosa debido a una combinación de una alta deformación y una baja calidad del dato sísmico debido a la presencia del cauce del río Negro.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Arregui, C., Carbone, O. y Leanza, H.A.** 2011a. Contexto Tectosedimentario. En Leanza, H. A., Arregui, C., Carbone, C., Danieli, J. C. y Vallés, J. M. (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. 18º Congreso Geológico Argentino, Relatorio 29-39, Neuquén.
- **Arregui, C., Carbone, O. y Martínez, R.** 2011b. El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano-Medio) en la Cuenca Neuquina. En Leanza, H. A., Arregui, C., Carbone, C., Danieli, J. C. y Vallés, J. M., (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. 18º Congreso Geológico Argentino, Relatorio 77-90, Neuquén.
- **Barnes, A.E.** 1999. Seismic attributes past, present, and future. SEG Technical Program Expanded Abstracts 1999: pp. 892-895.
- **Barrionuevo, M., Arnosio, M. y Llambías, E.J.** 2007. Nuevos datos geocronológicos en subsuelo y afloramientos del Grupo Choiyoi en el oeste de La Pampa: implicancias estratigráficas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63(4): 644 – 652.
- **Borbolla M., Cruz C., Villar J., Annizzotto N., Benites P. y Cattaneo D.** 2014. Formación Vaca Muerta: variación lateral de facies y su implicancia en

los cambios de espesor hacia el borde de cuenca. Perspectivas exploratorias en shale oil en la plataforma de Catriel, Cuenca Neuquina, Argentina. Simposio de Recursos No Convencionales: ampliando el horizonte energético, pp. 321-329.

- **Canale N., Ponce J. J., Carmona N. B., Drittanti D. I., Olivera D. E., Martínez M. A., y Bournod C. N.** 2015. Sedimentología e Icnología de Deltas Fluvio-Dominados Afectados por Descargas Hiperpícnicas de la Formación Lajas (Jurásico Medio), Cuenca Neuquina, Argentina. *Andean Geology* 42 (1): 114-138.
- **Casadio S. y Montagna A. O.,** 2015. Estratigrafía de la cuenca neuquina. En *Geología de la Cuenca Neuquina y sus Sistemas Petroleros*. Ponce J. J., Montagna A. O., Carmona N. (editores): 9-21. Neuquén.
- **Cristallini, E., Tomezzoli, R., Pando, G., Gazzera, C., Martínez, J. M., Quiroga, J., Buhler, M., Bechi, F., Barredo, S. y Zambrano, O.,** 2009. Controles precuyanos en la estructura de cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(2): 248-264.
- **Cruz, C. E., A. Boll, R. Gómez Omil, E. A. Martínez, C. Arregui, C. Gulisano, G. A. Laffitte y H. J. Villar.** 2002. Hábitat de hidrocarburos y

sistema de carga de Los Molles y Vaca Muerta en el sector central de la Cuenca Neuquina. Argentina. V.º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, Actas IAPG CD-ROM.

- **Dalziel, I.W.D., Storey, B.C., Garrett, S.W., Grunow, A.M., Herrod, L.D.B. y Pankhurst, R.J.** 1987. Extensional tectonics and the fragmentation of Gondwana. En Coward, M.P. (ed.) Continental Extensional Tectonics, Geological Society Special Publication 28: 433-441, London.
- **Digregorio, J. H.** 1972. Neuquén. En: Leanza, A.F. (Ed.): Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, 439-506.
- **Franzese, J.R. y Spalletti, L.A.** 2001. Late Triassic-early Jurassic continental extensión in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. Journal of South American Earth Sciences 14: 257-270.
- **Folguera, A., Ramos, V.A., Zapata, T.R., Spagnuolo, M. y Miranda, F.** 2005. Pliocene to Quaternary retro-arc extension in the Andes at 35°-37°30'S. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (Barcelona), Extended Abstracts: 277-280.
- **Folguera, A., Zapata, T.R. y Ramos, V.A.** 2006. Late Cenozoic extension and the evolution of the Neuquén Andes. 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: 267-285.

- **Garrido, A. C.** 2011. El Grupo Neuquén (Cretácico Tardío) en la Cuenca Neuquina. En Leanza, H. A., Arregui, C., Carbone, C., Danieli, J. C. y Vallés, J. M. (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. 18º Congreso Geológico Argentino, Relatorio 231-244, Neuquén.
- **García, V. H.** 2015. Caracterización cinemática de la falla río Negro en el bloque sísmico General Roca, cuenca Neuquina, provincia de Río Negro. Acta resúmenes 16º Reunión de Tectónica, p. 170, General Roca.
- **Gomez Omil, R. Giorgetti, M. y Borghi, P.** 2017. El grupo Cuyo en la Cuenca neuquina (engolfamiento y dorsal de Huincul). Modelo sedimentario y sistema petrolero. XX Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán. Sesión técnica numero 12: 59-64.
- **Gómez Omil, R., Schmithalter, J., Cangini, A., Albariño, L. y Corsi, A.** 2002. El grupo Cuyo en la dorsal de Huincul, consideraciones estratigráficas, tectónicas y petroleras. Cuenca Neuquina, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata Actas en CD: 22 p.

- **Hechem, J.** 2011. Yacimiento Loma La Lata. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén: XVIII Congreso Geológico Argentino, 18º Congreso Geológico Argentino, 669-676, Neuquén.
- **Kay, S.M., Ramos, V.A., Mpodozis, C. y Sruoga, P.** 1989. Late Palaeozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: Analogy to the middle Proterozoic in North America? *Geology* 17: 324-328.
- **Kearey, P., Brooks, M. y Hill, I.** 2002. An Introduction to Geophysical Exploration. Ed. Blackwell Science Ltd, 43-97, Oxford.
- **Kugler, R. L.** 1987. Regional petrologic variation, Jurassic and Cretaceous sandstone and shale, Neuquén Basin, west central Argentina. Ph. D. Thesis Dissertation University of Texas at Austin, 523p. (inedito).
- **Leanza, H.A., Hugo, C.A. y Repol, D.** 2001. Hoja geológica 3969-I, Zapala (escala 1: 250.000), provincia del Neuquén. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina a escala 1: 250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Boletín 275: 1-128. Buenos Aires.
- **Legarreta, L., Villar, H.J., Cruz, C.E., Laffitte, G.A. y Varadé, R.** 2008. Revisión integrada de los sistemas generadores, estilos de migración-entrapamiento y volumetría de hidrocarburos en los distritos productivos de la Cuenca Neuquina, Argentina. En Simposio de Sistemas Petroleros de las



Cuencas Andinas, VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Ed. C.E. Cruz, J.F. Rodríguez, J.J. Hechem, H.J. Villar), Buenos Aires, pp. 79- 108, IAPG.

- **Legarreta, L. y Villar, H.,** 2011. Geological and Geochemical Keys of the Potential Shale Resources, Argentina Basins. Search and Discovery Article #80196.
- **Legarreta, L y Villar, H.J.** 2012. Las facies generadoras de hidrocarburos en la Cuenca Neuquina. Petrotécnica. 14-39.
- **Llambías, E.J., Leanza, H.A. y Carbone, O.** 2007. Evolución tectono-magmática 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.
- **Llambías, E. J. y Sato, A. M.** 2011. Ciclo Gondwánico: la provincia magmática Choiyoi en Neuquén. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M., (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, 18º Congreso Geológico Argentino, Relatorio 53-62, Neuquén.

- **López de Luchi, M.G., Cerredo, M.E. y Wemmer, K.** 2006. Time constraints for the tectonic evolution of the SW corner of the North Patagonian Massif, Argentina. Fifth South American Symposium on Isotope Geology, short papers 221: 114-118. Punta del Este, Uruguay.
- **Magoon L.B. y Dow, W.G.** 1994. The Petroleum System, Chapter 1, Part 1. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60: 3-24.
- **Mosquera, A. Silvestro, J., Ramos, V. A., Alarcón, M. y Zubiri, M.,** 2011. La estructura de la Dorsal de Huincul. En Leanza, H. A., Arregui, C., Carbone, O. Vallés, J. M. y Danieli, J. C. (Eds.): 18<sup>o</sup> Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 385–398.
- **Naipauer, M. y Ramos, V.A.** 2016. Changes in source areas at Neuquén Basin: Mesozoic evolution and tectonic setting based on U-Pb ages on zircons. En Folguera, A., Naipauer, M., Sagripanti, L., Ghiglione, M., Orts, D. y Giambiagi L. (eds.) Growth of the Southern Andes, Springer Earth System Sciences, 33-61, Amsterdam.
- **Orchuela I. A. y Ploszkiewicz, V.** 1984. La Cuenca Neuquina. En V.A. Ramos (ed.) Geología y recursos naturales de la provincia de Río Negro. 9<sup>o</sup> Congreso Geológico Argentino, Relatorio, 1(7): 163- 188, S. C. de Bariloche.

- **Pangaro F. Melli, A. T., Malone P., Cevallos M., Soraci A., Mosquera A. y Hyung Joo Kim**, 2005. Modelos de Entrampamiento de la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. Simposio Las Trampas de hidrocarburos en las cuencas productivas de la argentina. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 331-369. Mar de Plata.
- **Pángaro, F., Pereira, D.M. y Micucci, E.** 2009. El sinrift de la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina: evolución y control sobre la estratigrafía y estructura del área. Revista de la Asociación Geológica Argentina 65(2): 265-277.
- **Ploszkiewicz, J.V., Orchuela I., Vaillard J.C., y Vines, R.** 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de Falla Huincul, estructuras asociadas, Provincia del Neuquen. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas II: 163- 169. Bariloche.
- **Ramos, V. A.**, 2008. Patagonia: A paleozoic continent adrift? Journal of South American Earth Sciences 26(3):235- 251.
- **Ramos, V.A., García Morabito, E., Hervé, F. y Fanning, C.M.** 2010. Grenville-age sources in Cuesta de Rahue, Northern Patagonia: constrains from U/Pb SHRIMP ages from detrital zircons. GEOSUR, bolletino de Geofísica 51: 42-44.

- **Ramos, V.A., Folguera, A. y García Morabito, E.** 2011a. Las provincias geológicas del Neuquén. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M., (Eds.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, 18º Congreso Geológico Argentino, Relatorio, 317-326. Neuquén.
- **Ramos, V.A., Mosquera, A., Folguera, A. y García Morabito, E.** 2011b. Evolución tectónica de los Andes y del Engolfamiento Neuquino adyacente. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M., (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, 18º Congreso Geológico Argentino, Relatorio, 335-347. Neuquén.
- **Ramos, V. A. y Riccardi, A.C.,** 2004. Límites naturales del norte de la Patagonia. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59(4): 785–786.
- **Ramos, V. A., Zapata T., Cristallini, E. y Introcaso A.,** 2004, The Andean thrust system — Latitudinal variations in structural styles and orogenic shortening, in K. R. McClay, ed., Thrust tectonics and hydrocarbon systems: AAPG Memoir 82, p. 30 – 50.
- **Scazzioti, F.** 2012. Geología, estructura y análisis del potencial exploratorio en el bloque Lago Pellegrini, cuenca Neuquina, Río Negro. Petrotécnica 16-36.

- **Schioma, M. y Llambías, E.J.** 2007. New ages and chemical analysis on Lower Jurassic volcanism close to the dorsal de Huincul, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(4): 644 – 652.
- **Silvestro, J. y Zubiri, M.,** 2008. Convergencia oblicua: modelo estructural alternativo para la Dorsal neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(1): 49-64.
- **Spalletti, L. A., Veiga, G. D., Schwarz, E.** 2014. Geoquímica inorgánica como indicador de procedencia y ambiente sedimentario en sucesiones de lutitas negras: Los depósitos transgresivos titonianos (Formación Vaca Muerta) de la Cuenca Neuquina, Argentina. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Andean Geology*; 41; 2; 6-2014; 401-435.
- **Sylwan, C.** 2014. “Source rock properties of Vaca Muerta Formation, neuquina basin, Argentina”. 9 Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, p.: 365-386. Mendoza.
- **Tunik, M., Folguera, A., Naipauer, M., Pimentel, M. y Ramos, V. A.** 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén Basin: Constraints on the Andean uplift from U–Pb and Hf isotopic data of detrital zircons. *Tectonophysics* 489: 258–273.

- **Uliana, M. A., Legarreta, L., Laffitte, G. A. y Villar H. J.** 2014. Estratigrafía y Geoquímica de las Facies Generadoras de Hidrocarburos en las Cuencas Petrolíferas de Argentina. 9º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos Simposio de Recursos No Convencionales: Ampliando el Horizonte Energético. Mendoza, pp. 1-92.
- **Vergani, G.D.,** 2005. Control estructural de la sedimentación Jurásica (Grupo Cuyo) en la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. Modelo de falla lístrica rampa-plano, invertida. Boletín de Informaciones Petroleras, 1(1): 32-42.
- **Vergani, G., Mendiberri, H. y Carbone, O.** 2011. “Sistemas Petroleros y Tipos de Entrampamiento en la Cuenca Neuquina”. Relatorio del 18º Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, p.: 645-656. Neuquén, Argentina.
- **Vergani, G., Tankard, A., Belotti, H., Welsink, H.** 1995. “Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén basin, Argentina”. En Tankard, A., Suárez, R., Welsink, H., Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62, p.: 383 – 402.

- **Villar H., Legarreta L., Cruz C. E., Laffitte G. A. y Vergani G.** 2005. Cinco Sistemas Petroleros Coexistentes en el Sector Sudeste de la Cuenca Neuquina: Definición Geoquímica y Comparación a lo largo de una Transecta de 150 km. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, IAPG CD-ROM 17 p.
- **Villar H., Laffitte G. A. y Legarreta L.** 1998. The source rocks of the Mesozoic Petroleum Systems of Argentina: a comparative overview on their geochemistry, paleoenvironments and hydrocarbon generation patterns, ABGP/AAPG International Conference & Exhibition, November 8-11, 1998, Rio de Janeiro, Brazil, Abstracts, p. 186-187. Republicado en: 1999, IV.º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Tomo II, p. 967-968, Buenos Aires.
- **Zavala, C. y Juan José Ponce, 2011.** La Formación Rayoso (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En Lanza, H. A.; Arregui, C.; Carbone, O. Vallés, J. M. y Danieli, J. C. (editores.): 18<sup>o</sup> Congreso Geológico Argentino. Relatorio 205- 222.