

Caracterización Estructural del Área Bajo Baguales. Cuenca Neuquina, Argentina.

Vásquez, Juan Pablo
2020.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.
Especialización en Geociencias de Exploración
y Desarrollo de Hidrocarburos.

Autor: Juan Pablo Vasquez.
Director: Gustavo Vergani.
Co-director: Rene Manceda.

La Plata, 2018

Índice

- Resumen

- 1) Introducción

- I) Localización y contexto geológico.
- II) Objetivo
- III) Reseña Tectonoestratigráfica
- IV) Estudio y descripción de Columna Estratigráfica zonal.

- 2) Base de datos

- I) Geología de Subsuelo
- II) Información sísmica

- 3) Caracterización estructural del área

- I) Síntesis de la interpretación sísmica/estructural
- II) Descripción geométrica de las estructuras
- III) Tiempos de deformación

- 4) Conclusiones

- I) Resumen de la sucesión de procesos

- 5) Propuesta

- 6) Bibliografía

- 7) Anexos

Resumen

En el presente trabajo, se realizó la caracterización estructural del bloque Bajo Baguales, el cual se encuentra en el sector central de la Dorsal de Huincul, en cercanías de Plaza Huincul, hacia el Oeste de la Ciudad de Neuquén.

A partir de la interpretación de datos sísmicos 3D, y con la ayuda de la información provenientes de legajos de pozos, se pudieron identificar en el área varias estructuras, siendo la de mayor importancia para este estudio un gran pliegue anticlinal localizado en el sector norte del cubo, producto de la propagación de una falla inversa con rumbo Este – Oeste ubicada en este sector, la cual presenta un notable rechazo vertical de alrededor de 700 metros, elevando el basamento cristalino y los depósitos Precuyanos, ambos de gran interés como roca reservorios de hidrocarburos.

Las estructuras que podemos encontrar en el área de estudio son el producto de una inversión tectónica, donde un sistema extensional de edad Jurásico fue reactivado en diversos eventos como producto de los esfuerzos provenientes del margen convergente occidental. Dichos esfuerzos presentaron un cambio en la orientación del vector del esfuerzo máximo horizontal de alrededor de 90° desde el Jurásico temprano hasta la actualidad.

El reconocimiento de los elementos estructurales, basados en la información sísmica y de pozos exploratorios, fueron utilizados en la confección de secciones estructurales y mapas isócronos para la caracterización estructural de la zona.

1- Introducción

I) Localización y contexto geológico

El bloque Bajo Baguales se encuentra al sur de la denominada Cuenca Neuquina, en el sector central de la Dorsal de Huincul (Figura 1), a unos 28 kilómetros al Este de la ciudad de Cutral C6, y a unos 60 kilómetros al Oeste de la ciudad de Neuqu6n Capital. Presenta una superficie de 350 kil6metros cuadrados aproximadamente (Figura 2).

Dicha cuenca presenta un 6rea de aproximadamente 120.000 kil6metros cuadrados, abarcando las provincias de Neuqu6n, Rio Negro, Mendoza y La Pampa, y cuenta adem6s con un registro estratigr6fico de 6000 metros de espesor con sedimentos que abarcan facies volc6niclasticas, marinas, as6 como continentales y hasta evaporitas, que van desde el Tri6sico hasta el Ne6geno.

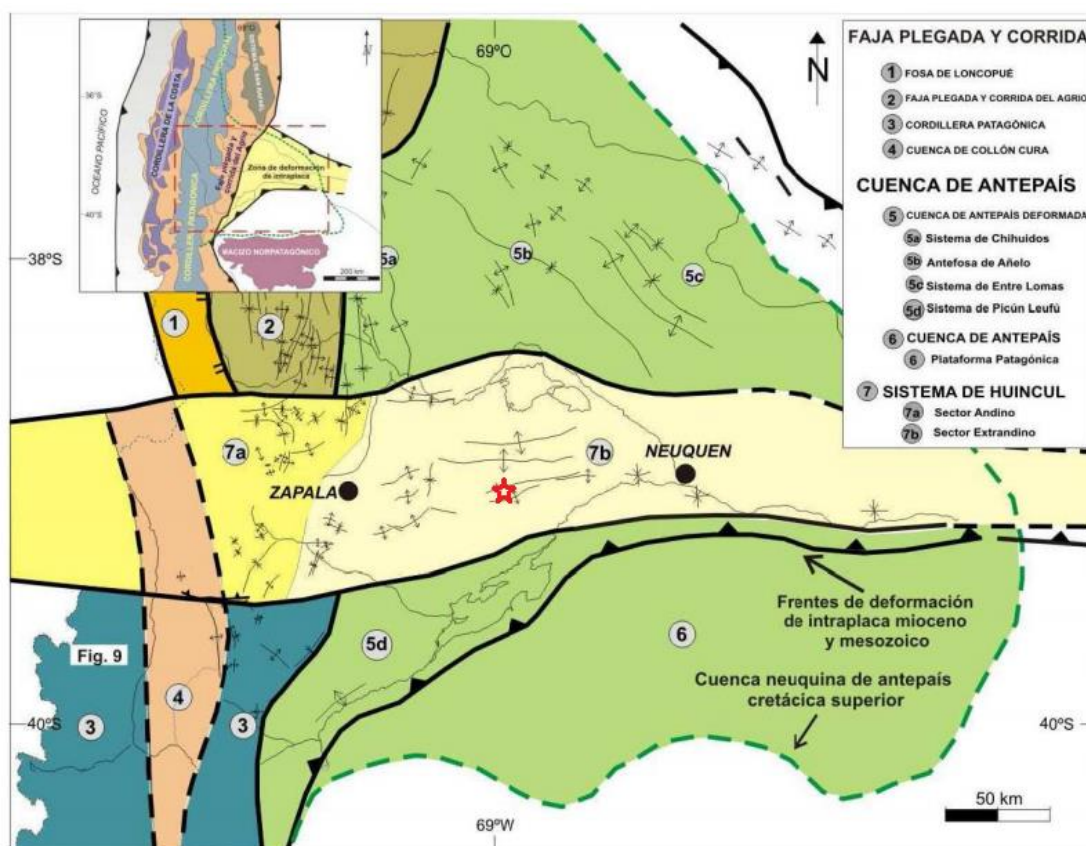


Figura 1: Mapa de ubicaci6n de la dorsal de Huincul dentro de las unidades morfoestructurales de la Cuenca Neuquina (seg6n Mosquera 2008).

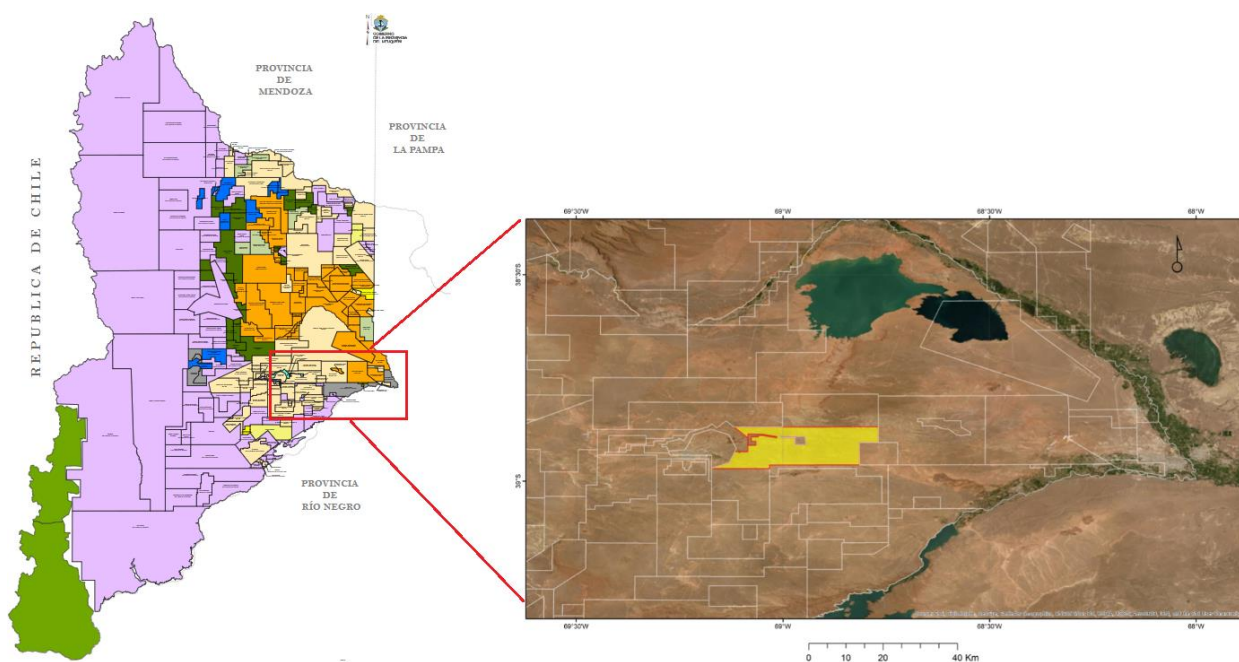


Figura 2: Ubicación del bloque Bajo Baguales, en la Provincia de Neuquén, Argentina.

El inicio de la configuración de la Cuenca Neuquina comienza con un proceso de extensión de retroarco que abarca desde el Permotriásico al Jurásico Inferior, generando depocentros preferentemente aislados y en algunos casos conectados por zonas de transferencias (Momburu & Uliana; 1978), rellenos por depósitos sin-rift volcánicoclásticos estratigráficamente conocidos como Ciclo Precuyano. La evolución prosiguió caracterizada por un sistema de postrift Jurásico Inferior-Tardío al Cretácico Medio, donde se reconoce que la zona ubicada al Sur de la región, actuaba como un contrafuerte con altos de basamento y mayores elevaciones topográficas, mientras que, para el sector Norte de la cuenca, prevalece el desarrollo del engolfamiento y de zonas más profundas en relación con nivel del mar hacia el sector N y NE. (Silvestro, et al. 2008). Esto se encuentra evidenciado con las distintas transgresiones marinas del océano Protopacífico, las cuales presentan una dirección de traslape de Norte a Sur, presentando las mayores profundidades en el sector Norte. También se ve reflejado en la dirección del desplazamiento de Sur a Norte de las turbiditas en el Miembro Cutral-Có de la Formación Los Molles (Meza Arroyo, 2015), y en la continentalización de la secuencia sedimentaria, con el avance de formaciones clásticas continentales con la misma dirección de desplazamiento S-N, como la Formación Challacó. La evolución prosiguió con numerosos pulsos compresivos hasta el emplazamiento del orógeno Andino, desde el Cretácico Superior al presente.

La estructura reconocida en el sector este del bloque de explotación Bajo Baguales se caracteriza por ser una estructura invertida a través de una falla principal de un hemigraben reactivada oblicuamente, lo que generó un rechazo inverso notable en su magnitud, de acuerdo a los sondeos exploratorios, donde se encuentra al basamento cristalino solo a cientos de metros de la superficie, asociado a depósitos del Ciclo Precuyano, confirmando la reactivación de un hemigraben. De manera suprayacente a los depósitos de sinrift, se encuentra el Grupo Cuyo y el Grupo Mendoza con espesores reducidos. Por otra parte, el Ciclo Chacayano-Loténiano no se encuentra en la culminación de la estructura, evidenciando un evento compresivo en esos tiempos. El Grupo Neuquén se apoya de manera discordante sobre el Grupo Mendoza, destacándose otro evento de inversión importante entre ambos grupos. Hacia el sector sur del cubo de información sísmica, en el bloque bajo de la falla, encontramos al basamento cristalino a una profundidad mucho mayor, con miles de metros de

profundidad con respecto al nivel del mar, y donde los grupos antes nombrados presentan un mayor espesor. (Silvestro, et al. 2008).

II) Objetivo

El estudio que aquí se lleva a cabo, presenta como objetivo principal generar un modelo estructural del área Bajo Baguales, realizando mapas estructurales en tiempo (isócronos), de la parte terminal del grupo Cuyo, en el tope de la formación Los Molles (a la cual se le añade la Formación Challacó), y las cuales presentan interés por sus condiciones de roca madre o generadora de hidrocarburos. También se confeccionaron mapas isócronos para el tope del basamento cristalino, conformado en este sector por la formación Huechulafquen, y donde se interpreta que el mismo presenta un extenso sistema de fracturas, las que le permiten poseer una gran calidad como roca reservorio.

Con este análisis, se pretende justificar la propuesta de una nueva zona de interés para la localización de un pozo exploratorio.

El trabajo se desarrolló mediante un exhaustivo análisis bibliográfico, así como de datos provenientes de legajos de pozos¹ los cuales fueron provisionados por la Subsecretaría de Energía Minería e Hidrocarburos, perteneciente al Ministerio de Energía y Recursos Naturales del gobierno de la provincia del Neuquén, y a partir de la interpretación sísmica 2D y 3D realizadas con el Software Petrel Geology & Modeling 2015.

Se considera que la producción de este trabajo es la forma más acabada de integrar todos los conocimientos adquiridos en el transcurso del posgrado, aplicando el correcto uso del software específico.

¹ Los legajos de pozos con los que se cuenta son: YPF.Nq.HP.x-1, YPF.Nq.HP.x-2, YPF.Nq.HPE.x-1, YPF.Nq.NA.a-184, YPF.Nq. NdM-38, YPF.Nq.NX.x-31, YPF.Nq. NX-21 y YPF.Nq. NX-36.

III) Reseña Tectonoestratigráfica

Como se mencionó con anterioridad, el bloque de exploración en estudio se ubica al sur de la Cuenca Neuquina, en el centro de la región morfoestructural denominada Dorsal de Huincul, la cual se interpreta como un cinturón de deformación de intraplaca asociado a un margen convergente (Storti et al. 2003), conformado por un tren de estructuras anticlinales de orientación preferencial Este-Oeste fuertemente asimétricas y con vergencia predominante al Sur (Pángaro et al. 2009).

Esta estructura está emplazada en el sector central de un lineamiento a escala regional con sentido Este- Oeste y con 800 kilómetros de extensión, que va desde la Cordillera de la Costa y la Cordillera principal en Chile (Chotin & Giret, 1978), hasta la localidad de Choele Choel en la Provincia de Río Negro en Argentina (Kostadinoff et al. 2005), delimitando el límite norte del terreno Patagonia (Chernicoff & Zapettini, 2003) (Mosquera & Ramos 2006) (Ramos, 2008). (Figura 3).

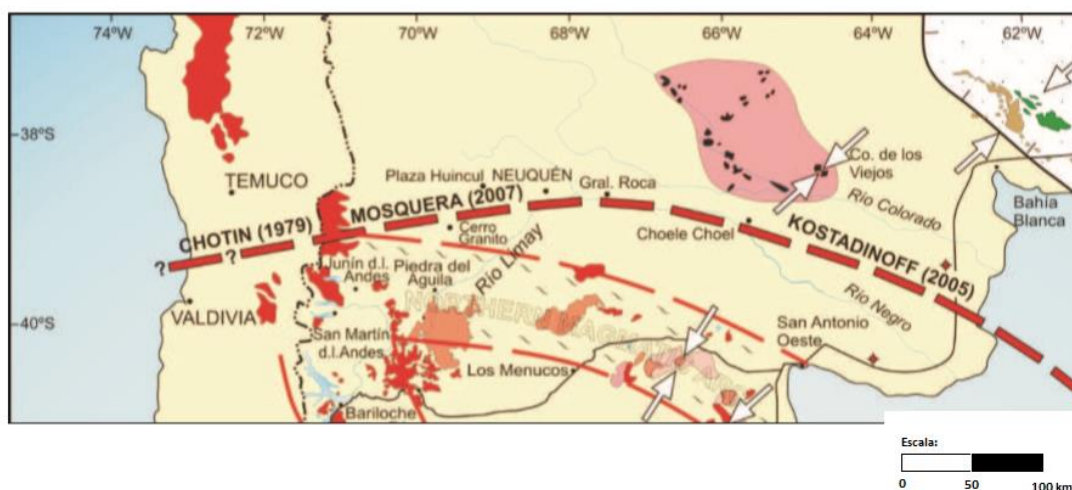


Figura 3: Línea de sutura del terreno Patagonia. (modificado de Ramos, 2008).

Es destacable que dicha zona es interpretada como una línea de sutura entre la microplaca parautóctona Patagonia y el borde occidental de Gondwana, las cuales sufrieron una amalgamación en el Pérmico Temprano (Mosquera & Ramos, 2006).

Sin embargo, el rasgo a resaltar en este trabajo es la etapa posterior a la amalgamación, haciendo énfasis en el comportamiento como una zona de rift, y su progresiva evolución desde una cuenca de trasarco, hasta convertirse en una cuenca de antepaís.

Tanto su historia geológica, como su interpretación estructural aún están en discusión, y las teorías se encuentran en evolución continua. Dentro de los modelos tectónicos propuestos podemos mencionar el modelo de pilar tectónico (De Ferraris 1947, Ramos 1978, Digregorio & Uliana 1980), el cual se basa principalmente en datos de afloramiento, pozos y sísmica de baja calidad, que si bien permitía explicar los altos de basamento no analizaba la génesis de las estructuras en conjunto.

A principios de los años 80 surge el primer modelo estructural propuesto por Orchuela et al. (1981), y posteriormente actualizada por Ploszkiewicz (1984) ambos presentaron un esquema contemplando el movimiento de los bloques en un sistema transcurrente dextral, resolviendo

las estructuras con “flores” positivas o negativas, relacionadas a fallas de basamento de alto ángulo, donde las estructuras anticlinales con rumbo NE corresponden a zonas de convergencia oblicua, mientras que las estructuras de rumbo NO corresponderían a las zonas de divergencia oblicua. Aproximadamente al mismo tiempo Glennie & Boegner (1981, en Mitra 1993) y Harding (1983) definían el concepto de **inversión tectónica**, esta nueva interpretación, consideraba la posibilidad de aprovechar a las fallas extensionales preexistentes como zonas de debilidad, favoreciendo la reactivación en sentido inverso. Este modelo fue rápidamente aceptado y aplicado por Eisner (1991), Uliana & Legarreta (1993), y con mayor detalle Vergani et al. (1995) y Vergani (2005) donde proponen un modelo con predominio de inversión selectiva de hemigrabenos orientados en sentido NE, mientras que la segmentación observada a lo largo del rumbo es explicada por zonas de transferencia que actuaron como límites estructurales durante la inversión.

Por último Pángaro et al. (2006) pusieron en duda este modelo postulando la ausencia total de inversión tectónica, basándose en información sísmica de Sierra Barrosa – Aguada Baguales (hacia el sector norte de la Dorsal) y Piedra Chenque (ubicado hacia el sur de la Dorsal).

Este trabajo, se presenta como un nuevo modelo teórico, considerando una línea de trabajo alternativa basándose en los efectos producidos por la aproximación, colisión y subducción de dorsales pacíficas en los Andes Patagónicos (Folguera & Ramos, 2002), donde el grado de partición de la deformación depende sobre todo de factores dinámicos, entre los que se destacan 1) la fuerza que ejerce el extremo de la placa (Liu et al. 1995) que depende de la longitud de la placa subductada, y 2) la flotabilidad de la placa oceánica que subduce, que viene controlada por su densidad, que es función a su vez de su edad (Middleton & Wilcock, 1994). También se toma en cuenta el modelo de convergencia oblicua (Silvestro & Zubiri 2008), donde se interpreta que la reactivación de antiguas fallas dependen del ángulo que estas formen con la dirección del esfuerzo máximo, donde según Brun & Nalpas (1996) las fallas con alto ángulo de buzamiento comienzan a invertirse cuando el ángulo de incidencia es menor a 45° , es decir con una componente de desplazamiento lateral importante, mientras que para ángulos mayores se desarrollan nuevas fallas inversas.

Se cree de importancia mencionar que el ángulo entre una falla y la dirección del esfuerzo máximo horizontal para su reactivación, puede variar entre los 5° y 85° , sin embargo, se interpreta que a los 45° la inversión oblicua podría ser la que tenga mayor relieve estructural.

Esto último se encuentra íntimamente asociado a la variación en la dirección del esfuerzo principal a lo largo de todo el tiempo geológico (Mosquera & Ramos, 2006) donde según los autores se pueden destacar tres estadios de máxima deformación (Figura 4).

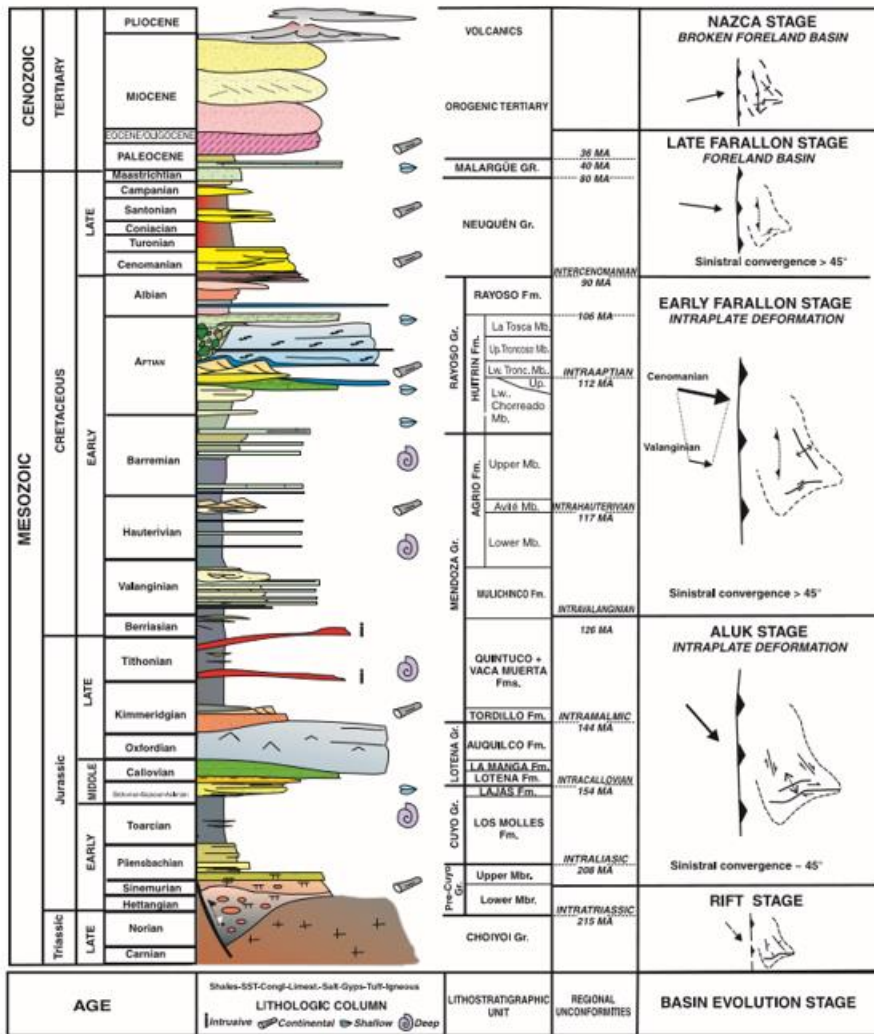


Figura 4: Columna estratigráfica de la Cuenca Neuquina, con los diferentes estadios de deformación tectónica. (Brisson, 1999).

I) **Aluk temprano:** Esta fase comienza en el Toarciense, aproximadamente a los 180 Ma, con una dirección NO-SE del vector del esfuerzo máximo horizontal σ_1 . (Moquera & Ramos, 2006; Silvestro & Zubiri, 2008). Se interpreta que el desarrollo de las estructuras dentro de la dorsal estaba influenciado por la convergencia oblicua de dos sectores con características y comportamientos mecánicos muy diferentes (Silvestro & Zubiri, 2008). En el sector SE encontramos un bloque rígido y fijo que actuó como contrafuerte, correspondiente al límite norte del macizo norpatagónico (Bettini, 1984), mientras que hacia el NO se encuentra una corteza altamente anisotrópica, producto de múltiples eventos colisionales (Mosquera, 2008), adelgazada por la extensión jurásica y debilitada térmicamente, interpretada como ya se mencionó como una línea de sutura.

Según lo expuesto por Silvestro & Zubiri, 2008, se pueden distinguir cuatro sectores con dominios estructurales característicos y diferenciables. (Figura 5).

-**Sector Occidental:** Desarrollo de fallas inversas de rumbo NE, oblicuas a los depocentros extensionales de orientación NO (Silvestro & Zubiri, 2008). Algunos autores postulan la posible reactivación de estructuras gondwánicas, como lo sugiere la orientación NO del anticlinal de Piedra del Águila (Mosquera et al. 2011).

-**Sector Central:** Estructuras compresivas, producto de inversión tectónica oblicua de hemigrabenes precuyanos (Silvestro & Zubiri, 2008), las fallas normales invertidas, presentan una orientación ONO, las cuales se creen generados por el colapso extensional de los

corrimientos gondwanicos (Mosquera, 2008). Se reconoce la formación de estas estructuras de tipo compresivas durante la amalgamación y colisión de terrenos (como por ejemplo Chilenia), en el borde occidental de Gondwana, durante el Ciclo Gondwanico (Devónico Medio- Pérmico tardío), donde, en este lapso de tiempo el área de estudio, formaba parte de la zona de subducción (Figura 6). Posteriormente, y producto de los cambios en el estilo estructural, comenzando en el Jurásico una etapa de esfuerzos transtensivos con la formación de una zona de rift, se genera el colapso extensional en la misma región. Luego de este evento, para el Toarciaco, se generan la inversión de fallas generadas con anterioridad.

-Sector Oriental: Desarrollo de estructuras de convergencia oblicua de orientación NO.

-Sector Norte: Predominio de estructuras únicamente transcurrentes, que involucran al basamento y poseen un desplazamiento lateral puro. (Silvestro & Zubiri, 2008).

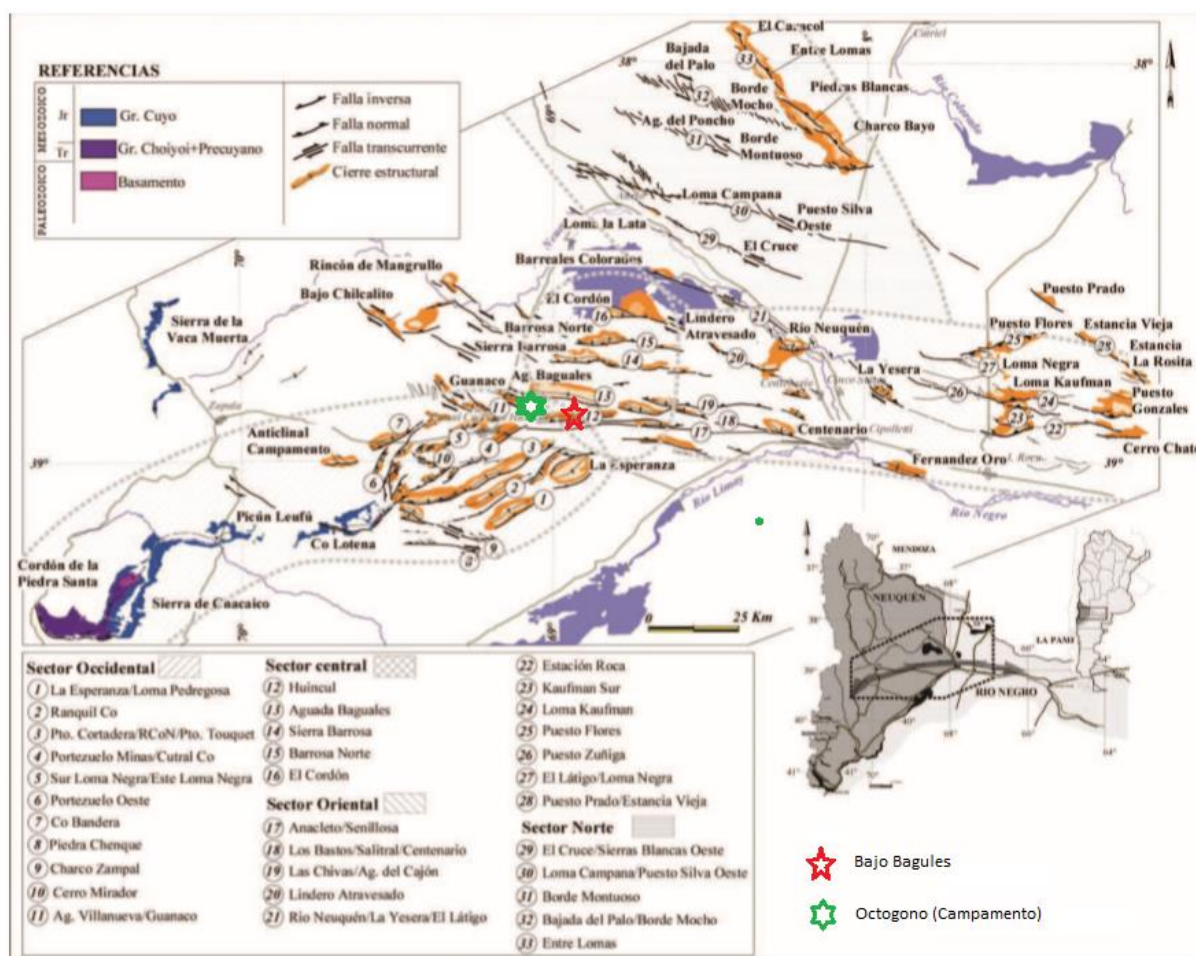


Figura 5: Sectorización de los distintos dominios estructurales de la cuenca neuquina. Modificado de Silvestro & Zubiri (2008)

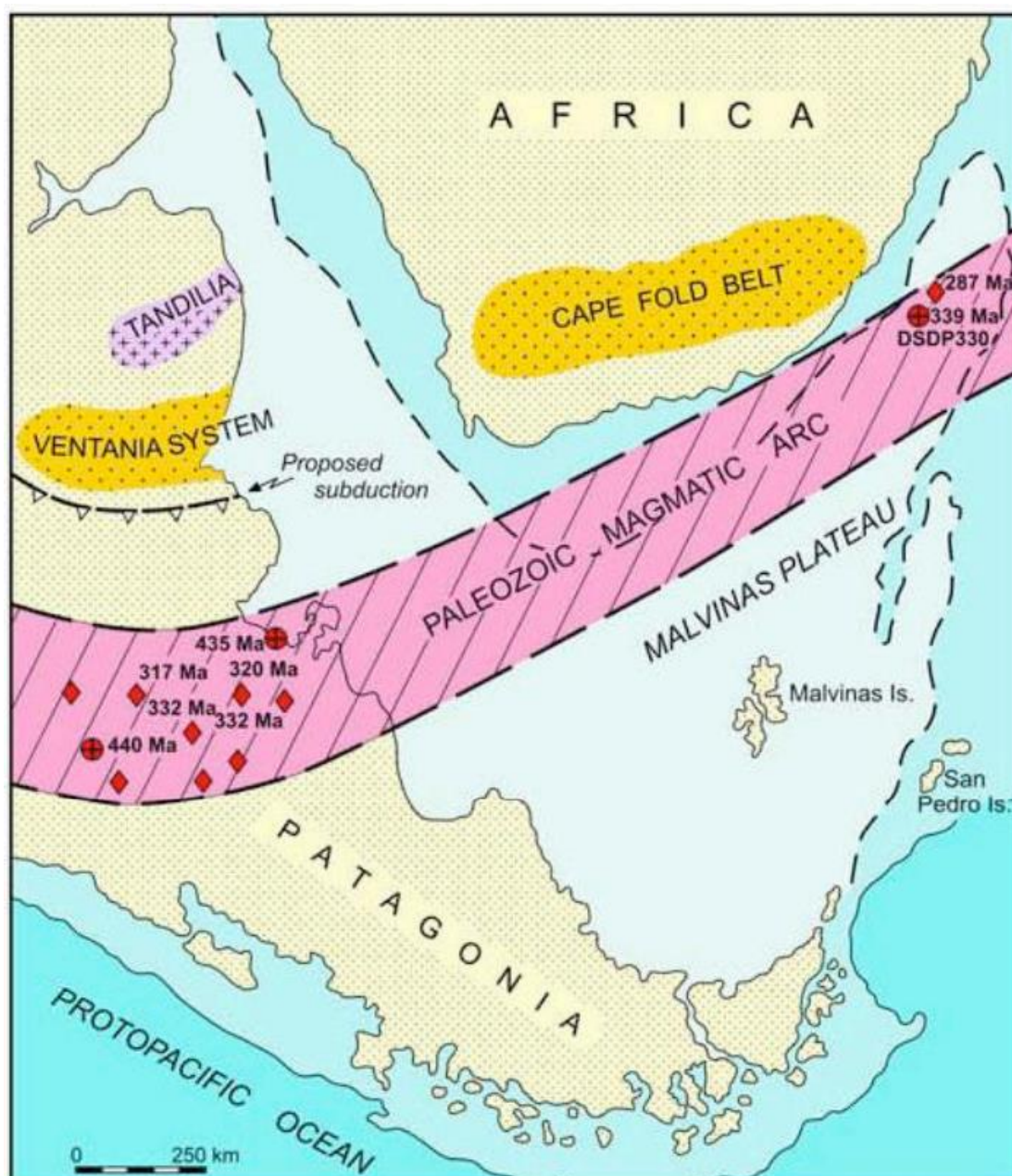


Figura 6: Arco Magmático Paleozoico, evidenciando la subducción en el borde occidental de Gondwana, así como la aloctonia del terreno Patagonia. Ramos (1984,1986).

Aluk tardío (Kimmeridgiano -Valanginiano): Se reconoce una incipiente rotación antihoraria del vector de convergencia, presentando una angularidad de $N340^\circ$ (Mosquera & Ramos 2005, 2006), sin embargo, el esfuerzo principal σ_1 continuaba en el cuadrante NO. Esta fase presenta una importante reducción areal de la deformación, alrededor del 30% (200 km en sentido E-O, y unos 65 km en sentido N-S), como también un descenso en la intensidad de la actividad tectónica (Mosquera et al. 2011).

II) Farallón Inicial (Valanginiano - Cenomaniano): Producto de la reconstrucción de las placas oceánicas realizadas por Zonenshayn et al (1984,1987), se reconoce que el vector de convergencia entre la placa de Pacífico y Sudamérica es diferente, el cual presenta un cambio de rotación con una orientación $N300^\circ$ encontrándose de manera casi ortogonal para tiempos de Cretácico medio. Existe una reactivación en la deformación en la zona central y occidental

de la dorsal. Se puede destacar también en esta etapa el incipiente desarrollo de la faja plegada y corrida del Agrio.

Farallón Final: Comienza en el Cretácico tardío y es coincidente con la generación de la faja plegada y corrida del Agrio conformando la zona de retroarco.

III) Nazca: En este estadio se pueden reconocer un conjunto de eventos de deformacionales. Caracterizada por estructuras como la faja plegada y corrida del Agrio, la cual se encuentra datada en el Cretácico Medio? a Cretácico Superior, por la presencia de diques basálticos subverticales y discordantes, de rumbo E-O y con una edad aproximada de 100 Ma, dichos diques atraviesan la estructura del Cerro Mocho, y se entienden como el inicio de la estructuración de la parte interna de la faja plegada y corrida. (La parte interna de la faja se sitúa en la zona occidental de la misma, presentando un estilo estructural controlados por altos del basamento, y donde se pueden identificar una serie de grandes braquianticlinales, producto, de manera parcial, de la inversión de estructuras previas). Este evento provocó la consecuente exhumación del sector occidental de la dorsal y una reactivación de las estructuras en el sector central, generando los anticlinales que conforman los afloramientos del Grupo Neuquén tanto en el sector central como occidental de la dorsal. (Groeber, 1929; Herrero Ducloux 1946; Vergani et al 2005; Mosquera 2008).

Otra evidencia de un evento pre-Paleoceno es la presencia de un leucogranito que instruye al Grupo Choiyoi, en el cual se puede determinar una edad de enfriamiento para una biotita de 69 +/- 0.13 Ma (Kay; et al, 2006), y donde se reconocen los depósitos del grupo Neuquén, discordantes sobre el Grupo Bajada del Agrio, los cuales serían la respuesta sinorogénica a este evento. (Zamora Valcarce; et al, 2009).

Por otra parte, estudios recientes sobre edades de trazas de fisión sobre circones (Corbella; et al, 2004) y sobre apatitas (Zamora Valcarce; et al, 2009), marcan la existencia de un primer evento de enfriamiento/levantamiento entre los 70 – 50 Ma.

Este estadio de deformacional fue consecuencia de una somerización de la placa subducida (Ramos & Folguera, 2005; Ramos & Kay, 2006), lo que provoca la migración del arco volcánico hacia el Antepais, quedando instaurado en la región de Colipilli, demostrando que la deformación comenzó en la parte interna de la faja plegada y corrida del Agrio en el Cretácico Medio-Superior y habría migrado al Antepais, afectando al actual Dorso de los Chihuidos en el Cretácico Superior- Paleoceno Inferior.

El segundo evento se reconoce en el Mioceno Medio-Superior, y se encuentra bien documentado por depósitos sinorogénicos de las Formaciones Puesto Burgos y Rincón Bayo, así como también por el Conglomerado Tralalhué. En esta fase de deformación hay una reactivación de toda la faja plegada, con el levantamiento de nuevos bloques del basamento y de las principales estructuras, con la consecuente configuración del relieve actual. Por último, mediante la información de trazas de fisión de apatitas provenientes del Dorso de los Chihuidos, se evidencia dos eventos adicionales de levantamiento/enfriamiento a los 11 Ma y otro a los 6 Ma. (Zamora Valcarce; et al, 2009).

IV) Estudio y Descripción de Columna Estratigráfica Zonal.

El análisis de este estudio, hace foco en los horizontes profundos del bloque de explotación Bajo Baguales, ya que se consideran de interés para la prospección de hidrocarburos.

El basamento cristalino, comprendido por la Formación Huechulafquen (Turner, 1965), se encuentra compuesto principalmente por granodioritas brechadas y alteradas de color gris a

rosa naranja moderado. La alteración, según la asociación mineralógica presente (calcita, clorita, epidoto, prehnita y laumontita), así como venillas y fracturación, se interpreta que tuvo su origen en condiciones de metamorfismo de bajo grado por soterramiento asistido por fluidos. Además, se pueden reconocer la coexistencia entre fracturas de origen tectónico y las producidas a causa del enfriamiento propio de la roca (Velo et al, 2014).

Su datación se efectuó con el método K-Ar sobre mineral de biotita, arrojando los resultados de 256 +/- 25 Ma para el pozo Nq-394, mientras que para el pozo Nq-395 la edad es 266 +/- 26 Ma, ambos pozos se ubican en la zona de Campamento (Figura 5), por lo que se interpreta que el basamento en este sector presenta una edad permo-triasica (Bruveris & Pioli, 2010).

También se efectuó la datación mediante el método U-Pb de un cristal de circón, extraído de una muestra de granodiorita procedente de la corona de un pozo exploratorio ubicado en Anticlinal Campamento. (Figura 5). Dicha muestra está compuesta por 50% de plagioclasas, 25% feldespato Potásico, 20% de cuarzo y 5% de biotita con alteración a clorita y sercita, y posee una edad de 286.5 +/- 2.3Ma. (Schiuma & Llambias, 2008). Según estos autores, este basamento se encuentra intruido por diques de andesitas con una edad de 284 +/- 1.3 Ma. (Figura 7).

Por encima del basamento encontramos el relleno de sin-rift del Ciclo Precuyano, el cual presenta una importante asimetría en la distribución de las facies de su secuencia sedimentaria. Esto se debe a la generación y reactivación de fallas normales durante la apertura de nuevos depocentros, vinculado a varios periodos de reactivación tectónica de los hemigrabenes, controlando así las características y distribución de las facies de sin-rift (Franzese & Spalletti, 2001).

Se pueden reconocer tres etapas de relleno de los hemigrabenes (Pángaro et al. 2009):

- Etapa I (sin-rift volcánico): vinculado a hemigrabenes inconexos, y con gran participación volcánica, asignada al Ciclo Precuyo. Se cuenta con la datación de una fenoandesita brechada, con textura glomeroporfirica, la cual fue clasificada químicamente como una dacita. Dicha muestra, procedente del sector Anticlinal Campamento, arroja una edad de 199 +/- 1.5 Ma. (Schiuma & Llambias, 2008). (Figura 7). La edad tope para el Precuyano, está acotado por los sedimentos marinos del Pliensbachiano. (Leanza & Hugo, 1977).
- Etapa II (sinrift clástico): comienza en el Sinemuriano, con una merma en la actividad volcánica, y donde comienza a esbozarse una subsidencia regional generalizada, con la depositación de potentes secuencias clásticas, provenientes de tres protolitos bien diferenciados: esquistos devónicos de la formación Piedra Santa, granitoides del Complejo Plutónico del Chachil y volcanitas del Precuyano. (Pereira & Gozalvez, 2006). Se reconocen en esta etapa, sedimentos pertenecientes a una fuerte transgresión marina Pliensbachiana alta, depositando arcillas y margas de ambiente de baja energía.
- Etapa III (sin-rift tardío): se reconoce de manera regional que durante el Toarciano Inferior, existe un cambio en la polaridad de los sistemas depositacionales, los cuales dejan paulatinamente de ser controlados por la geometría de los hemigrabenes de orientación NO y O-NO, presentando una sedimentación con una clara dirección de transporte de los sedimentos hacia el N y NNO. (Pángaro et al, 2009).

Es importante mencionar que la subsidencia mecánica producida durante la etapa de sin-rift desaparece en el Toarciano Inferior, dando lugar a la subsidencia térmica regional, la cual en un principio se creía acotada hasta el Toarciano Superior, reconociéndose un área de aporte regional de sedimentos desde el S-SE sin que en la zona de la dorsal de Huincul exista ningún obstáculo de origen tectónico (Pángaro et al.2009), pero estudios posteriores evidencian la

prolongación de la subsidencia térmica durante tiempos Cretácicos, alternándose con episodios de reactivación compresiva.

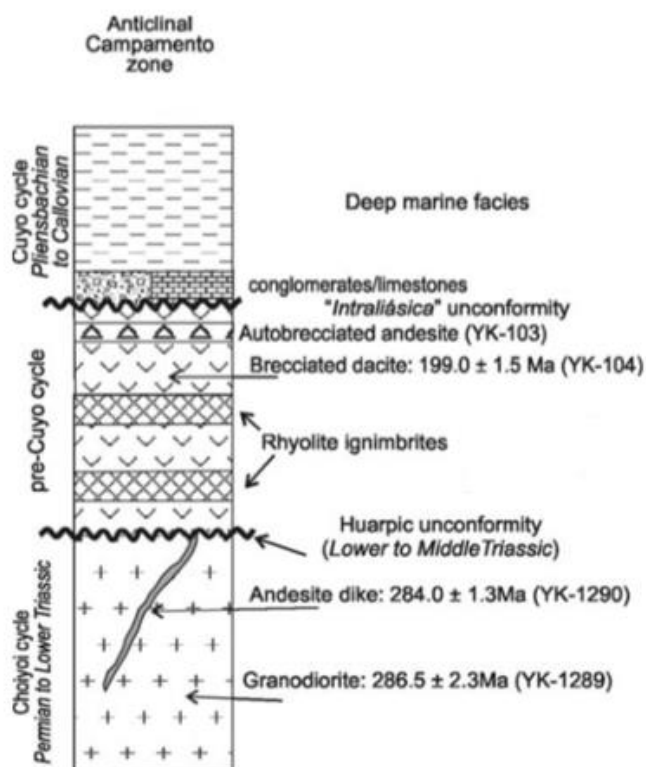


Figura 7: Sección columnar sin escala, confeccionada con los datos obtenidos de testigos coronas de pozos exploratorios ubicados en Anticlinal Campamento (Schiuma & Llambias, 2008).

2- Base de datos utilizada

I) Geología de Subsuelo

Como ya se mencionó anteriormente, se cuenta con la información de nueve pozos exploratorios, realizados todos ellos por la compañía YPF S.A. en distintos tiempos y con diferentes objetivos, pero encontrándose todos en el sector Este del bloque de explotación Bajo Baguales. Además, para la confección de este estudio se tomaron en cuenta los pozos, YPF.Nq.HP.x-2, YPF.Nq.NX -31, y YPF.Nq.NX -36, ubicados en el sector Oeste, Centro-sur y hacia el Este respectivamente, todos ellos dentro del cubo de información sísmica antes mencionado, y los cuales se consideran relevantes en cuanto a su información y representativos de la zona para el análisis que se llevará a cabo.

Los pozos mencionados fueron abandonados por improductivos, sin embargo, se cuenta con sus legajos, así como el informe de exploración y terminación de cada uno, además de los distintos ensayos realizados en los mismos.

Para una mejor comprensión del área, y para poder realizar correlaciones estratigráficas regionales, se tomó en cuenta la información del pozo que se encuentra ubicado en el sector NW, pero que no está dentro del cubo de información sísmica Bajo Baguales. Dicho pozo, YPF.Nq.AB.x-1 pertenece al bloque de explotación Aguada Baguales, situado al norte de Bajo Baguales. Por la proximidad que presenta el pozo YPF.Nq.AB.x-1 al yacimiento en

estudio, como al pozo YPF.Nq.HP.x-2 ubicado dentro del cubo analizado, se considera valida la información proporcionada por el mismo, y se ha tomado en cuenta para el desarrollo de este estudio.

Para una mejor interpretación, se adjunta una imagen donde se puede visualizar las ubicaciones de los distintos sondeos dentro del cubo (Figura 8). A continuación, se confecciona una breve descripción de los mismos, junto con la estratigrafía atravesada durante su desarrollo.

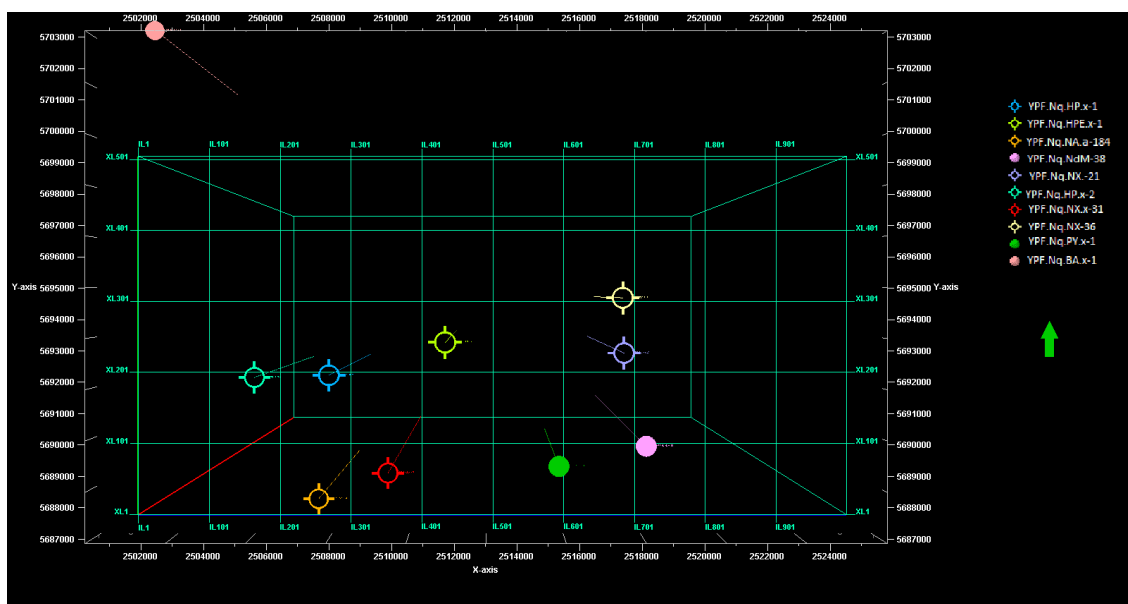


Figura 8: Vista en planta de la ubicación de los 9 pozos exploratorios ubicados en el Cubo de información sísmica perteneciente al bloque Bajo Baguales. (También se puede visualizar el sondeo YPF.Nq.AB.x-1, utilizado en este estudio y correspondiente al bloque Aguada Baguales).

- **YPF.Nq.NX -36:** Se ubica en la zona de Cerro Chico, en el sector NE del cubo. Los trabajos de perforación, mediante un sistema rotativo, comenzaron el día 12 de agosto de 1957, y finalizaron el 4 de octubre del mismo año. Presenta una cota de 467.7 metros sobre el nivel del mar, y una profundidad final de 1357.5 metros bajo boca de pozo. Este pozo se considera de gran importancia para este estudio, ya que es el único que logro dar con el basamento de la cuenca, compuesto en este sector por una roca granítica tenaz y abrasiva, con suave tono rosado, y con grandes cristales de cuarzo hialino y biotita, además se aprecia un mineral verdoso, posiblemente originado por la alteración de la biotita. El testigo corona, obtenido entre 1356 y 1357,5 está afectado por una fractura de 65° de buzamiento, así como por espejos de fricción y grietas microscópicas rellenas con cristales de calcita. La estratigrafía atravesada es la siguiente:

Formaciones atravesadas	Techo
	mbbp
Gr. Neuquén / Fm. Estratos con Dinosaurios / Mb. Huincul	
Gr. Neuquén / Fm. Rio Limay / Mb. Candeleros	202
Gr. Mendoza / Fm. Bajada Colorada	403
Gr. Mendoza / Fm. Agrio	866
Gr. Mendoza / Fm. Quintuco (Fm. Calcárea)	954
Gr. Mendoza / Fm. Vaca Muerta (Margas Bituminosas)	1069

Gr. Cuyo / Fm. Lajas	1182.5
Gr. Cuyo / Fm. Los Molles	1240
Complejo Colohuincul / Fm. Huechulafquén	1339
Profundidad Final	1357.5

- **YPF.Nq.NX -31:** Este sondeo se encuentra en la zona NE de Challacó (Figura 9), hacia el sector SW del cubo. Su perforación, utilizando un sistema rotativo comenzó el día 2 de febrero de 1956, y finalizó el 16 de febrero de 1957. Presenta una cota de 412.95 metros sobre el nivel del mar, y cuenta con una profundidad final de 2163 metros bajo boca de pozo, sin dar con el basamento cristalino. El objetivo principal del mismo, fue establecer la relación estructural existente entre las distintas formaciones, comparándolas con los resultados obtenidos en el pozo YPF.Nq.NX -32, el cual se encuentra a 1350 metros al WSW del primero. Por las relaciones establecidas, y considerando que todas las formaciones atravesadas se encuentran estructuralmente más elevadas, se llegó a la conclusión que el pozo YPF.Nq.NX -31 se ubica sobre una faja deprimida de carácter regional, y con una marcada pendiente ascendente hacia el W. La columna estratigráfica atravesada fue la que se detalla a continuación:

Formaciones atravesadas	Techo mbbp
Gr. Neuquén / Fm. Estratos con Dinosaurios	
Gr. Mendoza / Fm. Bajada Colorada	407
Gr. Mendoza / Fm. Agrio	932
Gr. Mendoza / Fm. Quintuco (Fm. Calcárea)	1094
Gr. Mendoza / Fm. Vaca Muerta (Margas Bituminosas)	1231
Gr. Mendoza / Fm. Tordillo	1394
Gr. Lotena / Fm. Challacó	1428
Gr. Cuyo / Fm. Los Molles	1662
Profundidad Final	2163



Figura 9: Localización de la zona de Challacó, ubicada aproximadamente a unos 25 kilómetros de la ciudad de Cutral C6.

YPF.Nq.HP.x-2: El pozo exploratorio Huella Perdida comenzó a desarrollarse el día 11 de agosto de 1975 y se abandonó el día 4 de septiembre del mismo año. Presenta una cota de 485 metros sobre el nivel del mar, y alcanzó una profundidad final de 1554 metros bajo boca de pozo, sin llegar a dar con el basamento de la cuenca. La finalidad del mismo fue continuar con la investigación petrolera de las formaciones Quebrada del Sapo, Lotena y Los Molles, en una posición estructural más elevada que el pozo YPF.Nq.HP.x-1, ubicado hacia el E. Dicho sondeo cumplió con el objetivo de analizar las formaciones nombradas, y mediante los perfiles registrados y el control geológico se evidenció la presencia de niveles arenosos con condiciones físicas aptas para reservorio, pero con contenido acuífero. La secuencia estratigráfica quedó conformada por:

Formaciones atravesadas	Techo
	mbbp
Gr. Neuquén / Fm Bajada Colorada	
Gr. Mendoza / Fm. Centenario	400
Gr. Mendoza / Fm. Quintuco y Fm. Vaca Muerta	574
Gr. Mendoza / Fm. Quebrada Del Sapo	696
Gr. Lotena / Fm. Lotena	725
Gr. Cuyo / Fm. Los Molles	909
Profundidad Final	1554

YPF.Nq.AB.x-1 (Aguada Baguales): Este pozo se encuentra por fuera del cubo sísmico suministrado para llevar a cabo el presente trabajo, pero se utilizó de todas formas para poder realizar una correlación estructural con el pozo YPF.Nq.HP.x-2, encontrándose el ESE del mismo, y siendo el más próximo de los pozos ubicados dentro del cubo.

Este sondeo está ubicado en el sector sur del bloque de explotación Aguada Baguales, fue realizado por la empresa YPF S.A. en el año 1963, es un pozo productivo de petróleo, desde la Fms Lajas y Los Molles Superior, y que actualmente se encuentra abandonado. Cuenta con una cota de 570, 87 metros sobre el nivel del mar y una profundidad final de 1482.20 metros bajo boca de pozo. Aunque no llegó a encontrar el basamento cristalino, el pozo confirma que las formaciones atravesadas se encuentran estructuralmente más elevadas, en comparación con el pozo YPF.Nq.HP.x-2, y se debe destacar el tramo desde los 809 a los 814 metros bajo boca de pozo, en donde la Formación Los Molles (actualmente renombrada como Formación Lajas) presenta impregnación total de petrolero liviano. La columna estratigráfica atravesada se encuentra compuesta por:

Formaciones atravesadas	Techo	Espesor
	mbbp	
Gr Neuquén		208.5
Gr. Mendoza / Fm. Centenario	208.5	554
Gr. Mendoza / Fm. Vaca Muerta	762.5	33.5
Gr. Cuyo / Fm. Los Molles	796	686.2
Profundidad Final	1482.2	

II) Información sísmica

La adquisición de los datos sísmicos fue realizada en el mes de diciembre del año 1999 y su procesamiento culminó en Junio del año 2000. Todo esto estuvo a cargo de la compañía PIONEER Natural Resources (Argentina) S.A. (Ver Anexo I).

La geometría de la adquisición contó con un número de in-lines igual a 1000 y con orientación N-S, mientras que se registraron un numero de Cross-line de 505 y de orientación E-O, ambas con un distanciamiento de 25m. (Figura 10).

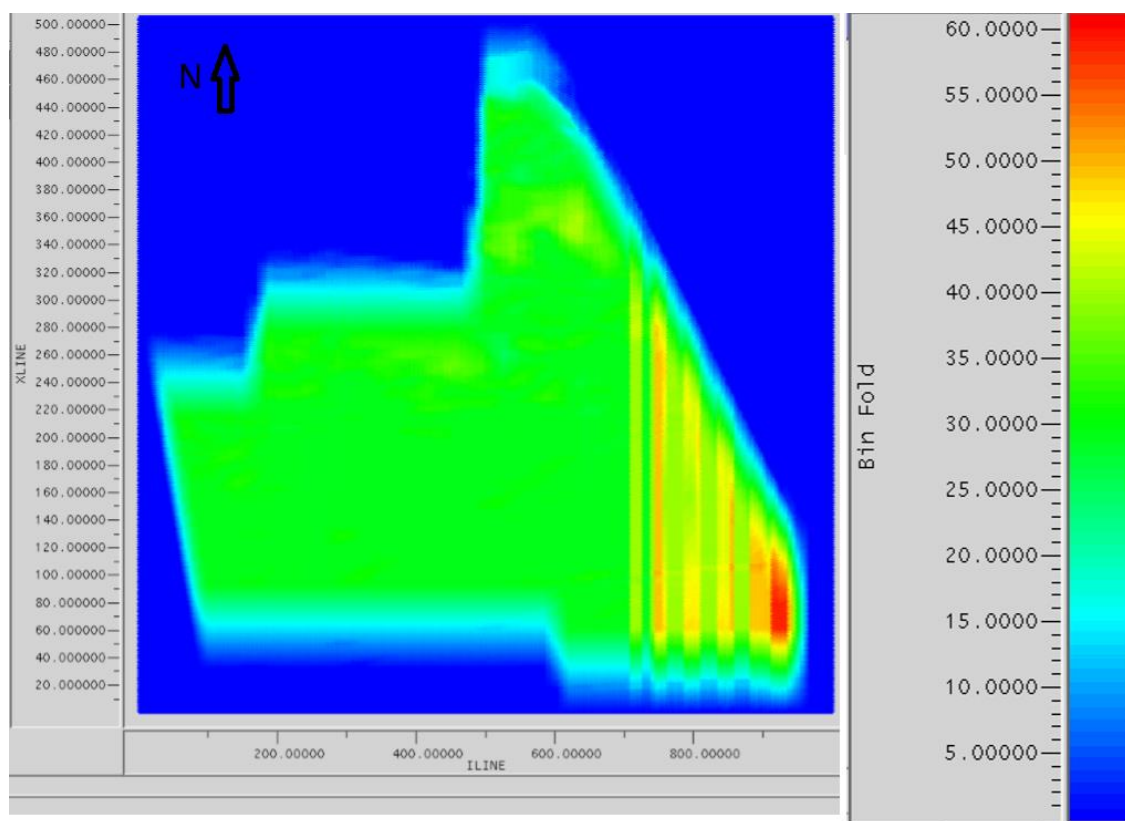


Figura 10: Mapa de Recubrimiento sísmico CDP (Common Depth Point), mostrando la geometría de la adquisición y la orientación de las in-lines y cross-lines..

Además, para su procesamiento (en tiempo) se utilizó un datum de 620 metros, para poder anular el efecto producido por el weathering y conjuntamente una velocidad de reemplazo de 2200m/s para poder realizar la una corrección estática.

Como resultado final, se obtuvo un cubo de información sísmica correspondiente al sector este del bloque de explotación de Bajo Baguales.

- **Facies sísmicas:**

En este módulo se describen las posibles configuraciones que pueden presentar los reflectores sísmicos, como respuesta entre la interacción de las ondas sísmicas propagadas y las diferentes características del medio donde se desplazan (cambios litológicos, presencia de estructuras, entre otros).

Entre las distintas respuestas posibles que se visualizan en las inlines números 451, 471 y 496 (Figura 11), se pueden destacar:

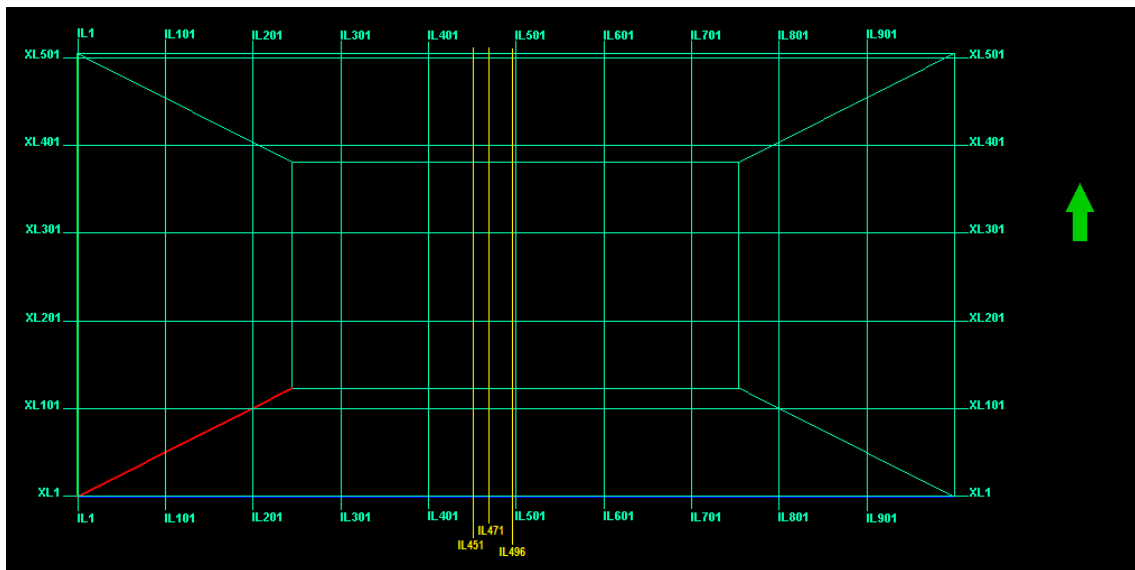


Figura 11: Ubicación de las Inlines número 451, 471 y 496 dentro del cubo sísmico.

- **Basamento Cristalino:** Al encontrarse la onda con el basamento cristalino (en este sector rocas cristalinas granodioritas y metamórficas de bajo grado), las cuales presentan una alta reflectividad, la respuesta que podemos observar son reflectores pequeños, disgregados, sin continuidad y sin ningún patrón aparente. (Figura 12).

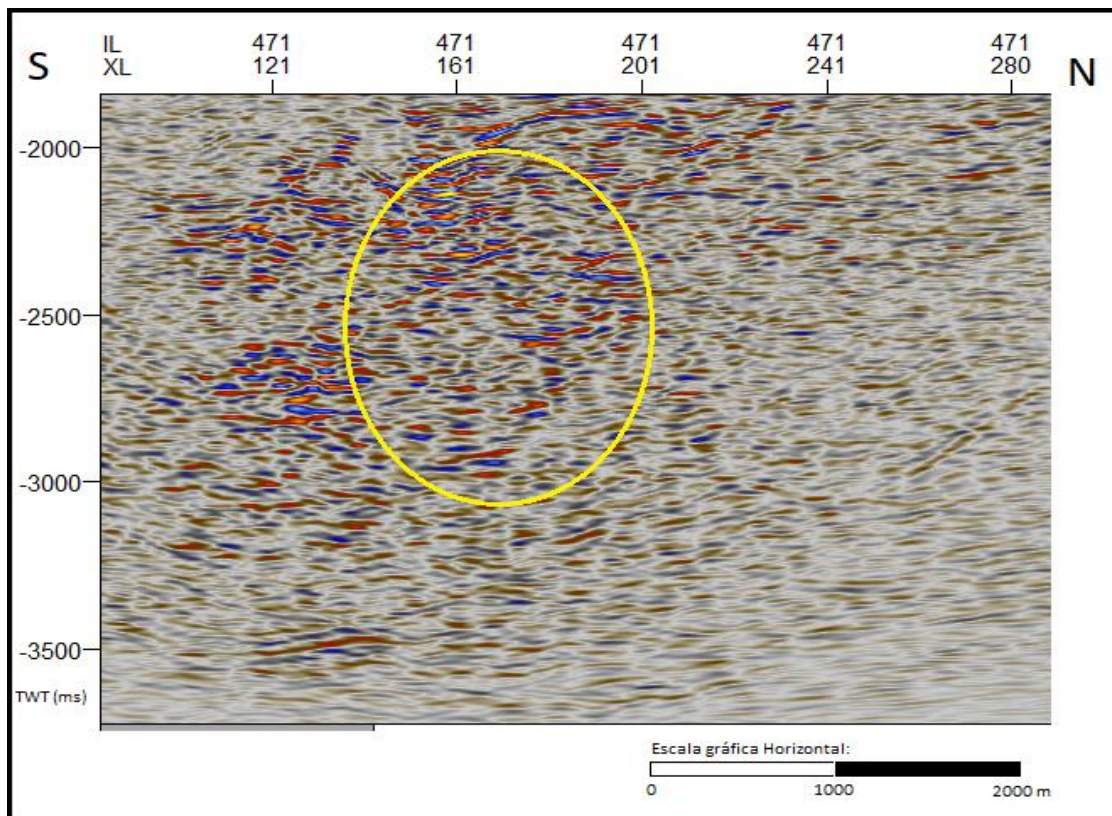


Figura 12: Inline número 471. Respuesta sísmica del basamento cristalino.

- **Sectores de fallas:** En estos sectores, la configuración de los reflectores es confusa e irregular, presentándose los mismos de manera discontinua y poco uniforme. En algunos casos se registra una total ausencia de registro sísmico, presentándose una zona sin reflectores y carente de respuesta sísmica, asociados a zonas de fallas (Figura 13).

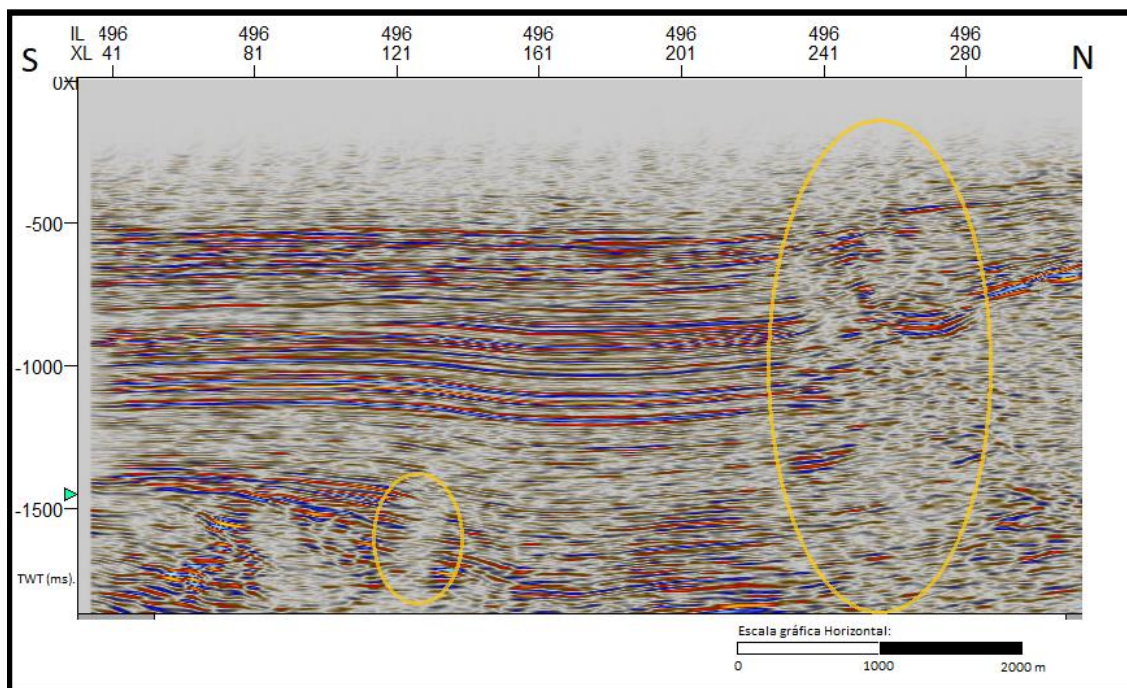


Figura 13: Inline número 496. Comportamiento sísmico en zonas de fallas.

- **Paquetes sedimentarios:** En estos casos se presenta una respuesta sísmica más favorable, donde se puede observar cierta regularidad de los reflectores, los cuales se disponen de manera paralela y continua, facilitando su interpretación. (Figura 14).

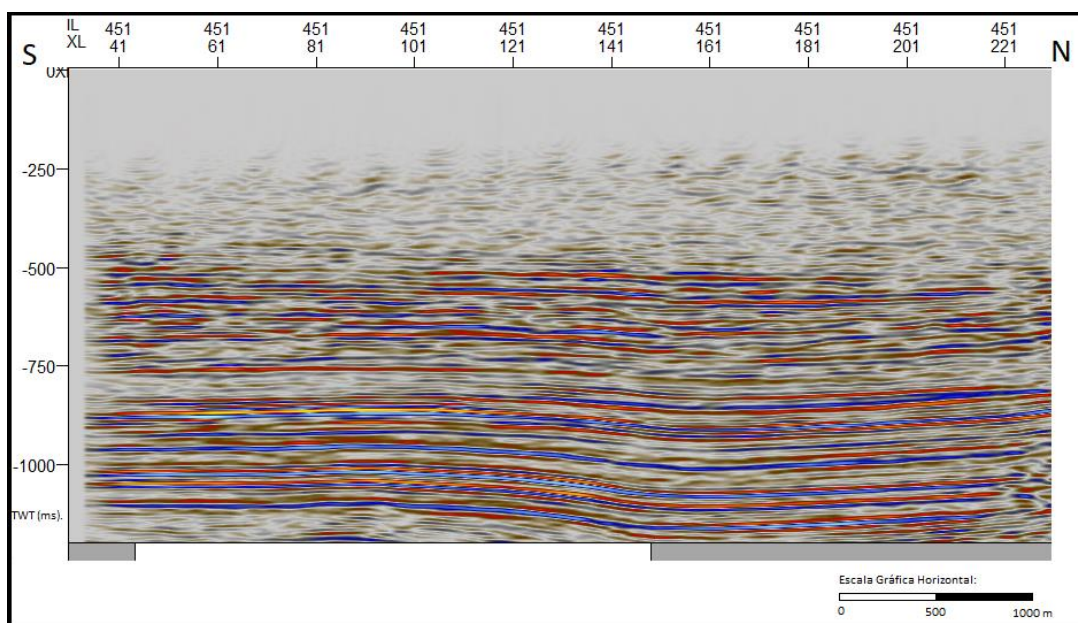


Figura 14: Inline número 451. Respuesta sísmica de paquetes sedimentarios. Obsérvese la regularidad de los reflectores y su paralelismo.

- Descripción y análisis de las secciones sísmicas seleccionadas:

Para la confección de este trabajo se tomaron en cuenta secciones sísmicas de orientación N-S correspondientes a in-lines (Figuras 15, 16, 17 y 18). Su elección es producto de que a lo largo de sus trazas se pueden visualizar distintas estructuras, reconociéndose pliegues anticlinales, planos de fallas y en algunos casos el desarrollo completo de toda la columna estratigráfica del lugar (Figura 16). Sobre las nombradas líneas sísmicas, se ubican también los pozos YPF.Nq.NX -31, YPF.Nq.NX -36, y YPF.Nq.HP.x-2, los cuales proporcionaron la información dura, como por ejemplo los topes formacionales atravesados por cada uno de ellos, los cuales fueron utilizados conjuntamente con la información sísmica suministrada por las in-lines para realizar la interpretación estructural de la zona de estudio. Para dicha interpretación se realizó el mapeo en las in-lines de distintos horizontes sísmicos, interpretados como topes formacionales, entre los cuales se pueden identificar el tope de la Formación Centenario, el tope de la Formación Quintuco, el de la Formación Vaca Muerta, el tope de la Formación Los Molles (incluida dentro del mismo la Formación Challacó), y los **topes del Precuyano y el basamento fracturado**, siendo estos últimos los más relevantes para este estudio, y en los cuales posteriormente se realizó el desarrollo de un modelado 3D, con la visualización sísmica de dichos horizontes a ambos lados de la falla principal presente en el cubo.

Hay que destacar que la información suministrada por las cross-lines, fue de utilidad para certificar el correcto mapeo de los horizontes seleccionados para este estudio.

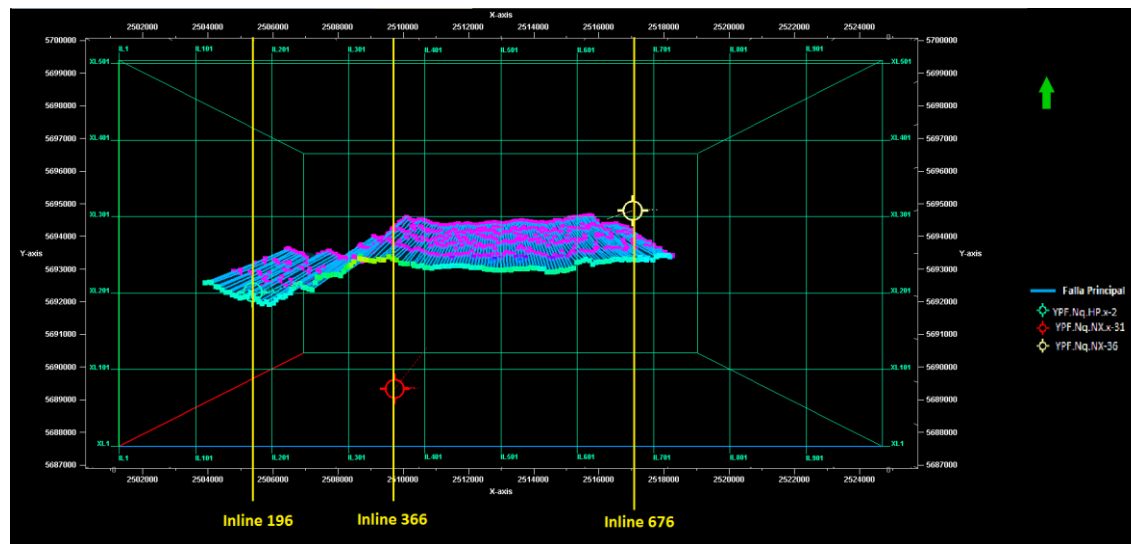


Figura 15: Vista en planta de las Inlines 196, 366 y 676 con sus respectivos pozos exploratorios. Además, podemos observar la disposición en planta de la Falla Principal presente en el área de estudio.

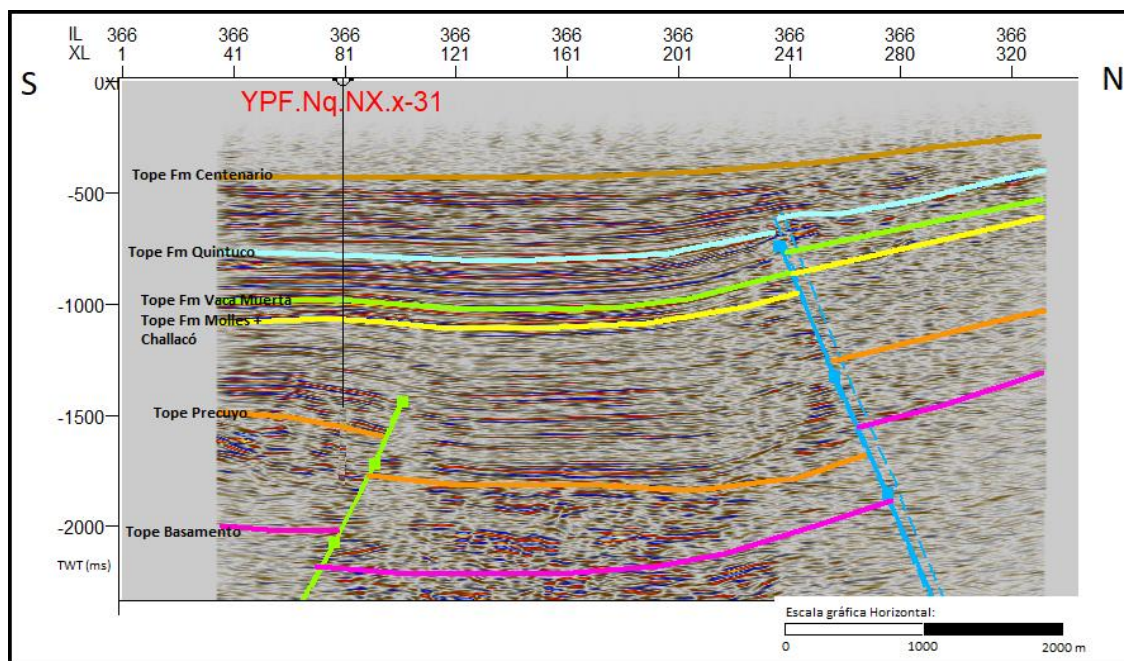


Figura 16: In-line número 366, sobre la cual se ubica el pozo YPF.Nq.NX.-31.

La figura número 16, corresponde a la inline 366, ubicada en el sector centro del cubo de información sísmica, en la cual podemos visualizar el pozo YPF.Nq.NX.-31 situado hacia el sector sur del cubo. Además, en dicha línea sísmica, se identifican en el sector sur, reflectores regulares, dispuestos de manera paralela y continua, correspondientes a los topos formacionales de Los Molles (donde se incluye a la Formación Challacó), Vaca Muerta y Quintuco, los cuales se encuentran cortados por la falla principal hacia el sector norte, y se consideran como evidencia del desarrollo sedimentario de la cuenca, presentando el completo desarrollo de la columna estratigráfica de la zona de estudio. En este sector, se destaca también la presencia de una falla de rumbo E-O y con inclinación en sentido S, de menor magnitud que la falla principal, y que solo afecta al basamento, a los depósitos del Grupo Precuyo, y en parte al Grupo Cuyo, presentando su punto ciego dentro de este último grupo, como producto de una suave inversión oblicua. Con respecto al sector N, podemos observar la presencia de la falla principal, de rumbo E-O y con inclinación al N, la cual evidencia un claro proceso de inversión tectónica, elevando el basamento y los depósitos del Grupo Precuyo, y donde se observa una disminución del rechazo vertical de la falla hacia los estratos superiores, como se puede ver ejemplificado en el tope de la Formación Quintuco. En este sector del cubo, se observa de manera incipiente el desarrollo del pliegue anticlinal (el cual resulta de importancia para este estudio), producto de la propagación de la falla principal, y se cree que presenta un mayor desarrollo hacia el N. Se considera que el rechazo vertical en esta zona, no es tan preponderante como en los sectores Este y Oeste, lo cual se ve reflejado en el tope de la Formación Quintuco.

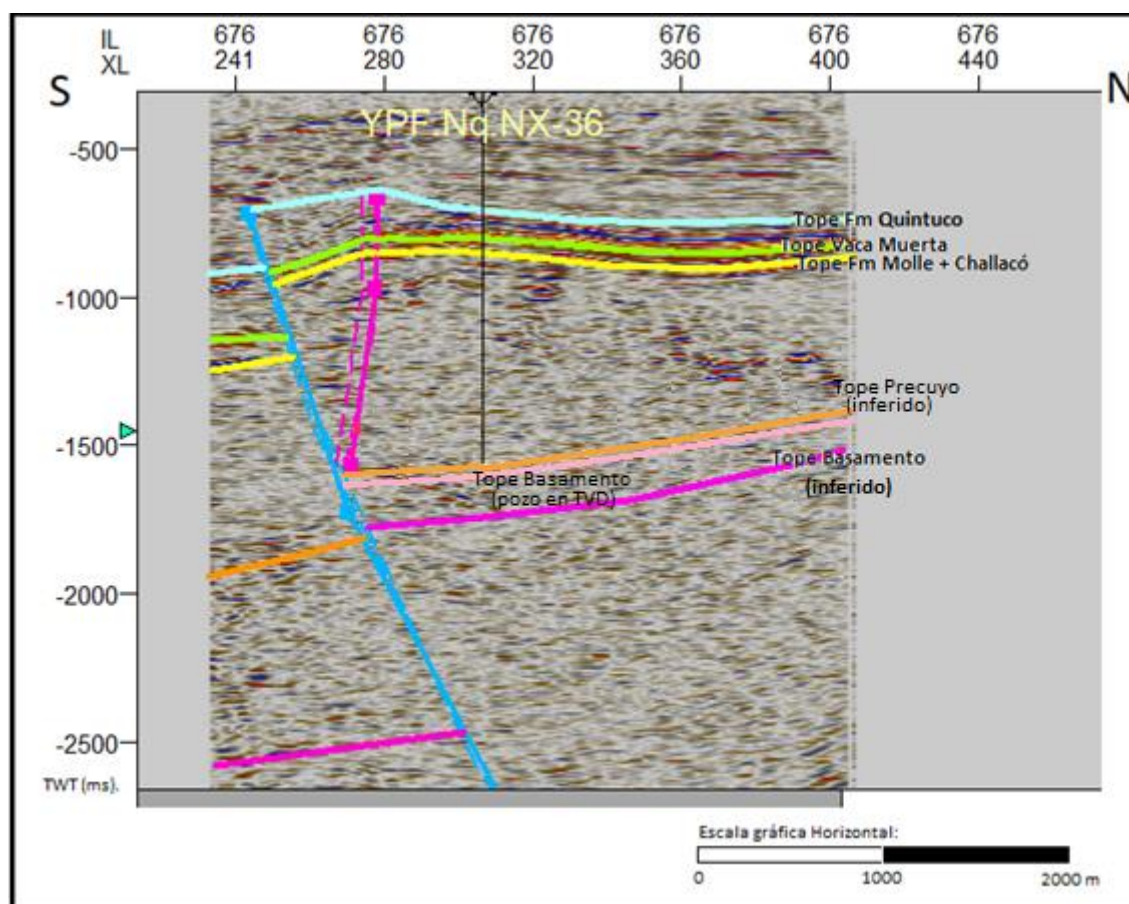


Figura 17: In-line número 676, sobre la cual se ubica el pozo YPF.Nq.NX-36.

Con lo que respecta a la figura 17, la cual es correspondiente a la inline 676, ubicada en el sector Este del cubo, sobre la cual encontramos el sondeo exploratorio YPF.Nq.NX-36, ubicado hacia el sector NE del cubo, se debe destacar que, es el único sondeo (de los utilizados para este estudio), que da con el basamento cristalino de la cuenca (comprendido por la Formación Huechulafquen), ya que se encuentra ubicado en la parte cuspidal de la estructura anticlinal. Sobre la inline, se destaca la presencia de la falla principal, de rumbo E-O y con inclinación hacia el N, la cual evidencia una clara inversión tectónica, observándose un rechazo vertical de gran magnitud, que afecta desde el basamento cristalino, hasta el tope de la Formación Quintuco. Producto de la propagación de dicha falla, se forma hacia el sector N, el pliegue anticlinal. También se puede visualizar, una falla de menor medida, emplazada dentro de la estructura anticlinal, la cual presenta el mismo rumbo que la falla principal, pero cuenta con una inclinación opuesta, es decir, hacia el sector S, la cual se desarrolla desde el tope del Grupo Precuyo, hasta el tope de la Formación Quintuco, sin afectar a los estratos situados por encima de esta última formación. Dicha estructura es interpretada como producto de una reactivación de una falla antitética, durante una fase post-Quintuco y asociada a la deformación general de la zona convergente oblicuo.

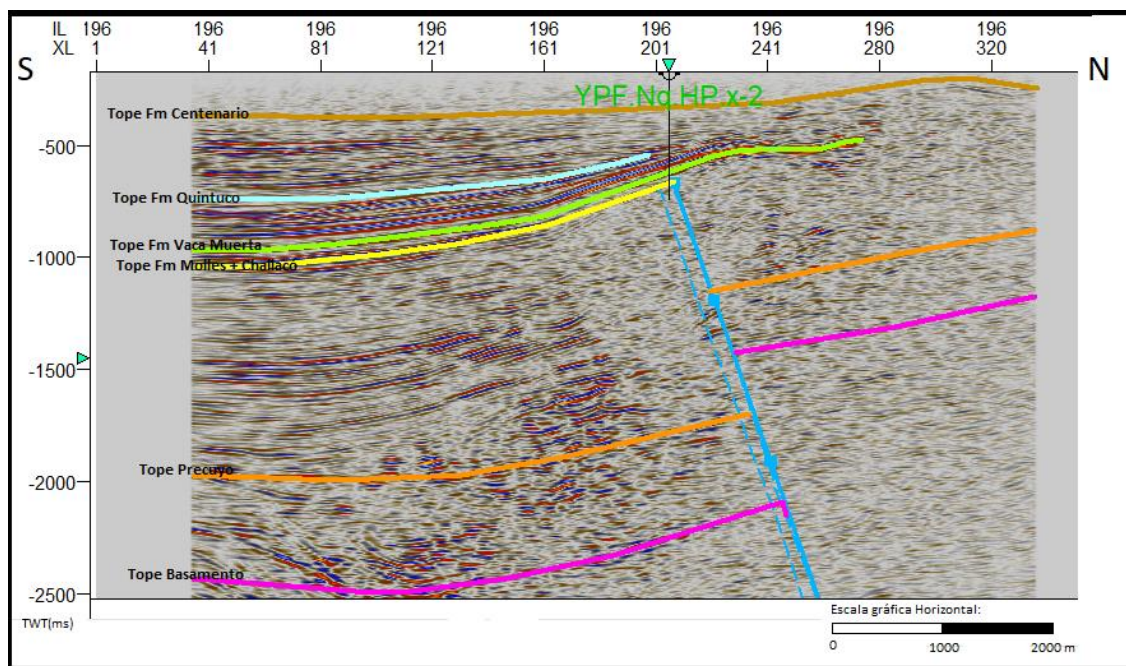


Figura 18: In-line número 196, sobre la cual se ubica el pozo YPF.Nq.HP.X-2.

Por otra parte, sobre la línea sísmica inline 196, ubicada en el sector Oeste del cubo, y donde podemos ubicar el pozo YPF.Nq.HP.X-2, se visualiza hacia el sector sur, el desarrollo de reflectores dispuestos de manera continua, y de forma paralela, los cuales presentan cierta regularidad, evidenciando la depositación de varios paquetes sedimentarios, y representando la totalidad de la columna estratigráfica correspondiente a la zona de estudio. Además, se puede destacar que la falla principal, persistente a lo largo de todo el cubo con un rumbo E-O, y con una inclinación hacia el sector N, no corta a los horizontes superiores, entre los que encontramos los topes de las formaciones Los Molles (donde se encuentra incluido la Formación Challaco también), Vaca Muerta y Quintuco, donde este último, presenta un notable acuñaamiento en sentido S-N, hacia la zona de falla. Dicha falla, presenta en el sector N del cubo, un marcado proceso de inversión tectónica oblicua, elevando tanto al basamento cristalino como a los depósitos del Grupo Cuyo, y generando de manera muy incipiente, producto de la propagación de falla el pliegue anticlinal.

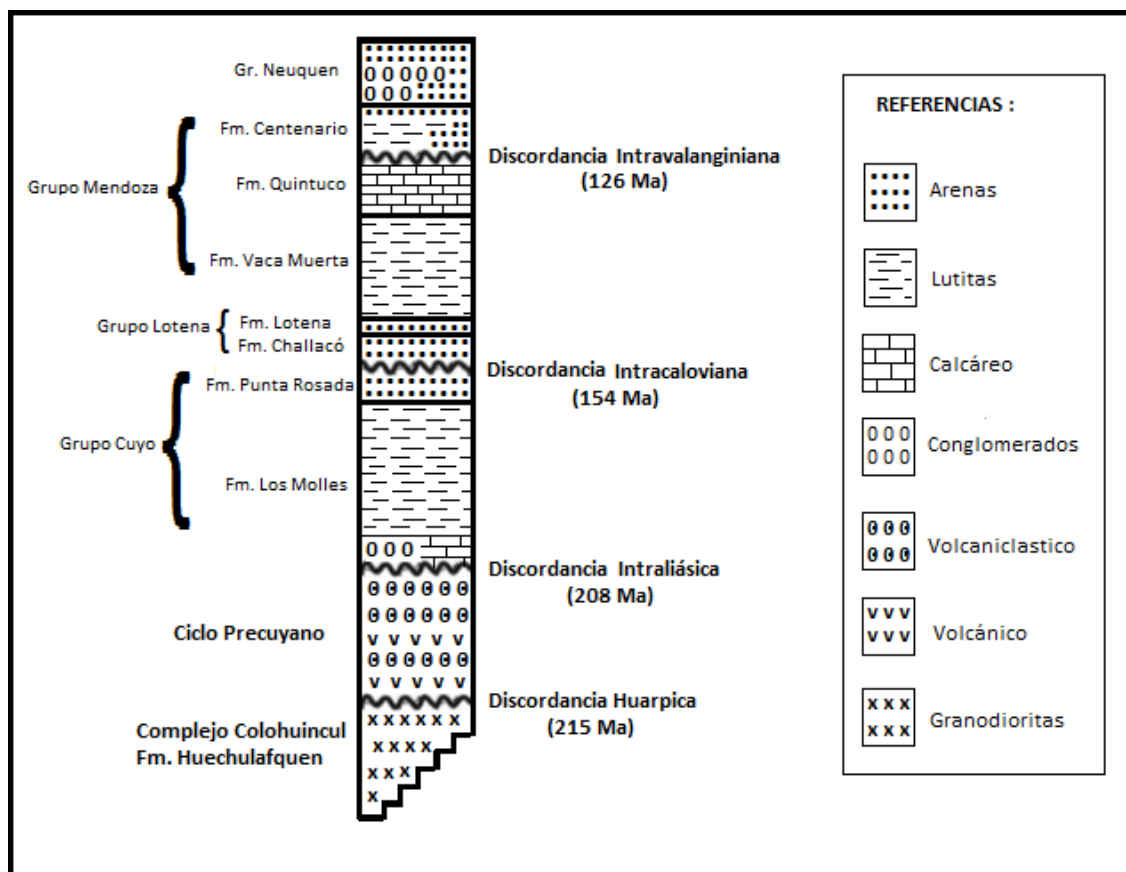


Figura 19: Columna Litoestratigráfica presente en este sector de la Dorsal de Huincul. Realizada a partir de los datos obtenidos al realizar este trabajo.

3 – Caracterización estructural

I) Síntesis de la interpretación sísmica/estructural

La caracterización estructural del área, se llevó a cabo a partir de la interpretación conjunta de la bibliografía seleccionada, los datos duros aportados por los legajos de pozos exploratorios, y la interpretación de la información proveniente del cubo sísmico perteneciente al sector este del bloque de explotación Bajo Baguales, prestando especial atención a los rasgos estructurales presentes, y haciendo énfasis en el mapeo detallado de reflectores distintivos en las secciones sísmicas seleccionadas (In-lines). Dichos reflectores son interpretados como topes formacionales, y son utilizados posteriormente para la confección de mapas estructurales isócronos tanto del basamento como del Precuyo, a ambos lados de la falla principal, los cuales nos ayudan a visualizar el gran rechazo vertical que presenta la falla, y como mediante la misma se ponen en contacto el basamento y el Ciclo Precuyo con la formación Los Molles de manera lateral.

II) Descripción geométrica de las estructuras

La primera estructura a destacar es una notable falla de rift invertida, que cuenta con una orientación casi E-O. Dicha falla se encuentra a lo largo de todo el cubo, y eleva al basamento alrededor de 800 metros por encima de su posición inicial. (Se arribó a esta conclusión a partir de la información extraída de los legajos de los pozos YPF.Nq.NX-36 y YPF.Nq.NX-21, donde se pudo constatar la presencia de la Formación Lajas en ambos pozos mencionados, pero presentando el NX-36 una diferencia de cota estructural de 606 metros por encima del pozo NX-21, el cual está ubicado dos kilómetros hacia el sur del mismo). (Figura 8). Además, segmenta de manera indiscriminada, desde el basamento hasta la formación Centenario, siendo de carácter profunda y abarcando miles de metros en el eje vertical. (Figura 20). La reactivación de esta falla genera un extenso pliegue anticlinal de propagación de falla. El plano axial de esta estructura también presenta una dirección E-O a lo largo de todo el cubo sísmico, perdiendo su carácter hacia el Oeste. (Figura 21)

El segundo elemento importante a considerar son un conjunto de fallas, ubicadas en la parte cuspidal del anticlinal antes mencionado. Estas fallas se interpretan como un sistema de fallas que pertenecían al colapso crestal del hemigraben en su etapa inicial, reactivadas levemente durante el Cretácico. (Figura 22).

Para una mejor interpretación tanto de la falla principal, como la elevación del basamento cristalino y la consecuente formación de la estructura anticlinal, se presentan las visualizaciones 3D, realizados al tope del basamento (Figura 23) y el correspondiente al tope del Grupo Precuyo (Figura 24). En ambos se puede visualizar el rechazo vertical de gran magnitud que presenta la falla reactivada, y las estructuras relacionadas con la propagación de dicha falla.

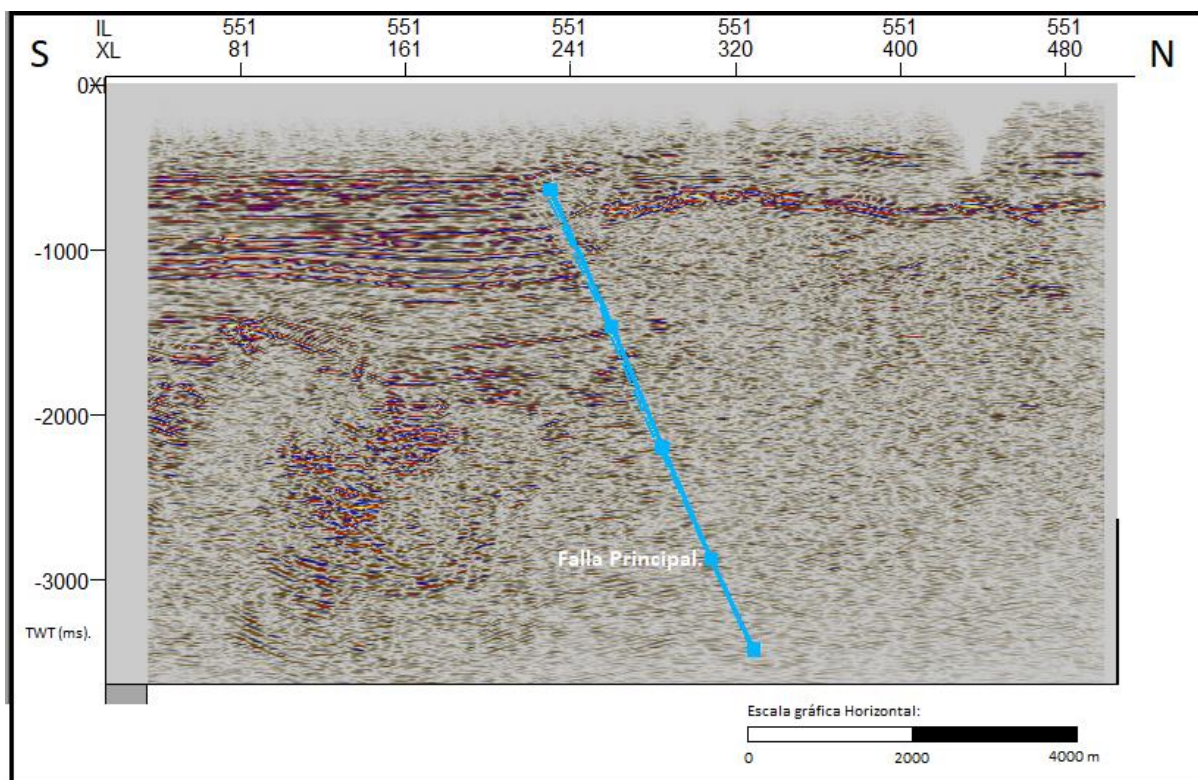


Figura 20: In-line número 551, donde se puede observar la falla principal que afecta al basamento a lo largo de todo el cubo.

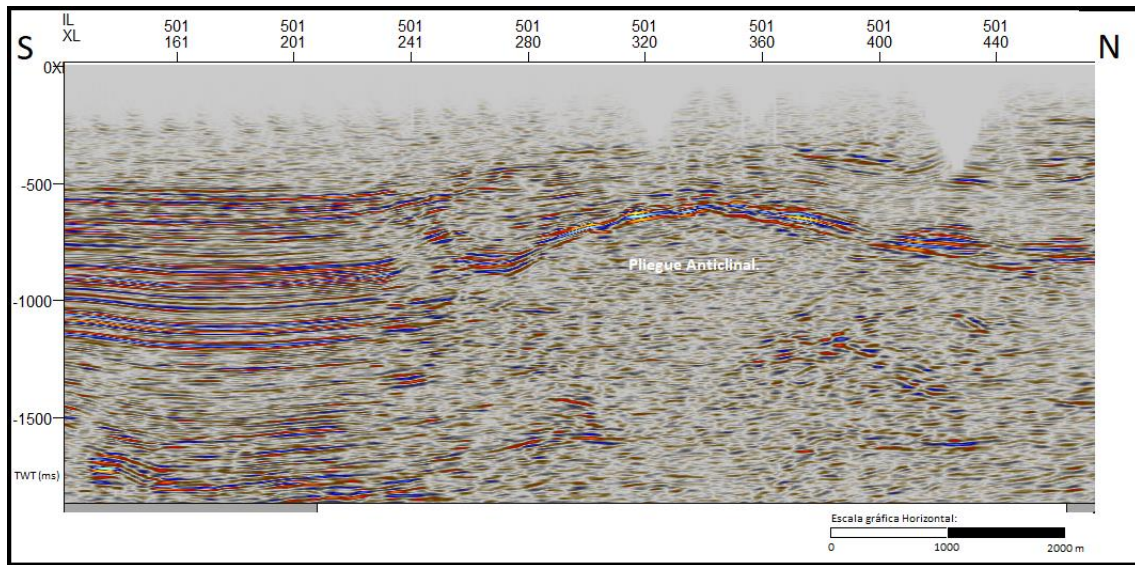


Figura 21: In-line número 501, donde se puede observar el pliegue anticlinal producto de la inversión y propagación de falla.

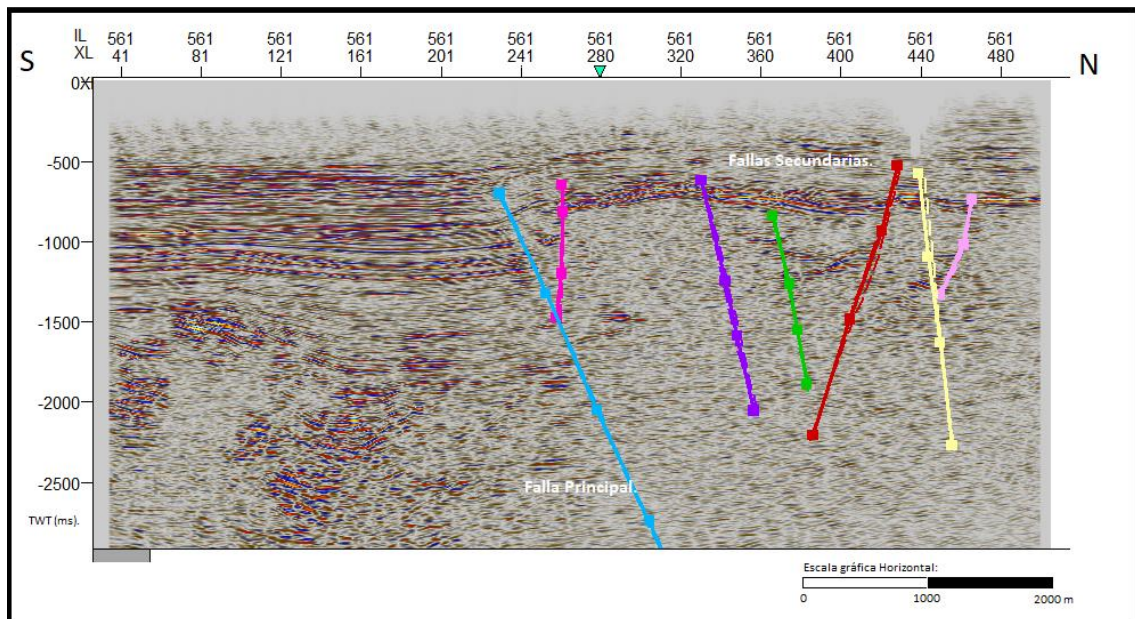


Figura 22: In-line número 561, donde se observan la falla principal (celeste), y las fallas secundarias ubicadas en el bloque alto de la falla.

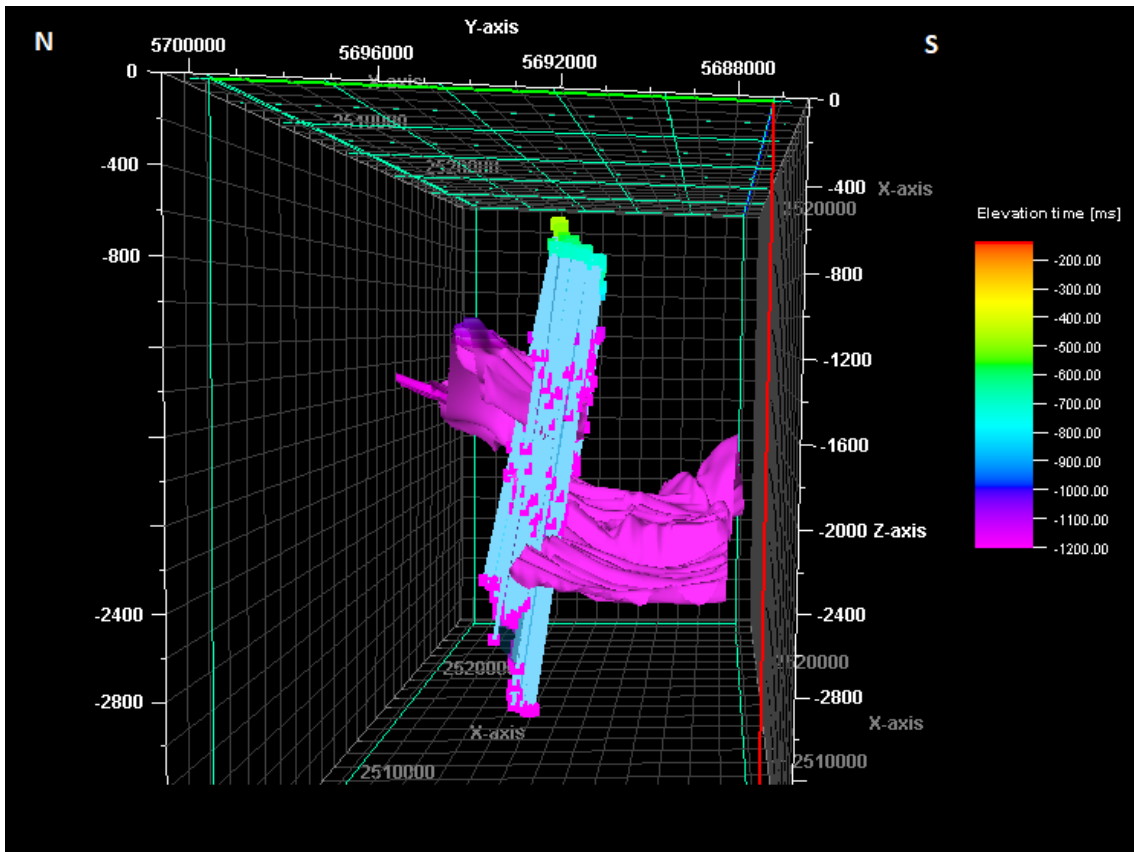


Figura 23: Visualización sísmica (modelo 3D), realizada al tope del basamento cristalino.

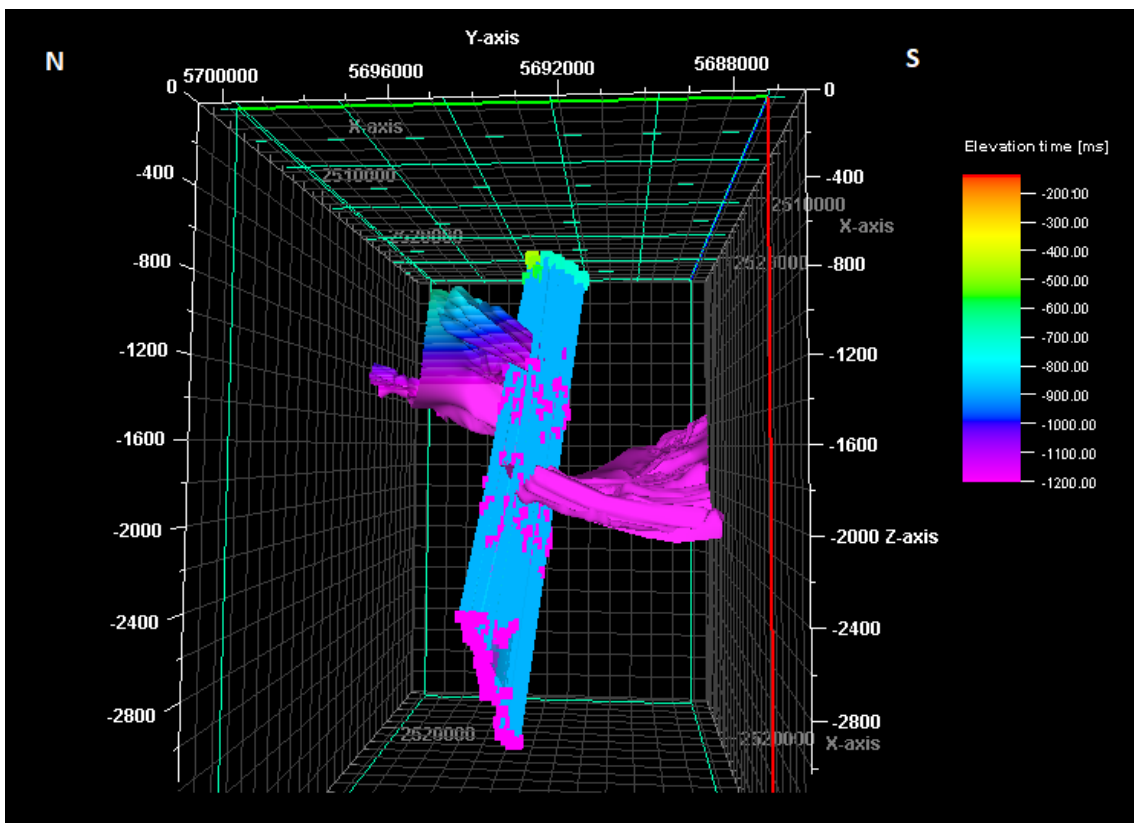


Figura 24: Visualización sísmica (modelo 3D), realizada al tope del Grupo Precuyo.

III) Tiempos de deformación

En base a la interpretación sísmica se pueden establecer diferentes fases o estadios tectónicos para la evolución estructural del área.

La primera fase que se considera de importancia, es la formación de la falla principal, la cual está íntimamente relacionada a la etapa de la creación de la cuenca Neuquina, en sus primeros estadios de rift. Dicha falla, de carácter normal en sus inicios, se encuentra vinculada a un periodo extensional de edad Permotriásica a Jurásica inferior, con la formación de numerosos hemigrabenes de orientación preferencial E-O y con planos de fallas que inclinan hacia el norte, donde se destaca una zona caracteriza como un contrafuerte y representada por altos topográficos en el sector sur de la cuenca, y el desarrollo del engolfamiento y de zonas más profundas en relación con nivel del mar hacia el sector N y NE.

La segunda fase, y la más importante para este estudio, se vincula a la inversión de la falla principal nombrada con anterioridad. Producto de esta inversión tectónica, se desarrolla un gran pliegue anticlinal por propagación de falla. Esta instancia, está relacionada con dos estadios de deformación tectónica, el primero que va desde el Toarciano al Valanginiano, y se encuentra identificado por la Fase Aluk Temprana, donde, producto de la inversión tectónica de hemigrabenes precuyanos, se desarrollan estructuras compresivas en el sector central de la Dorsal de Huincul. Posteriormente, se reconoce un nuevo evento deformacional, el cual está ligado íntimamente a la fase Nazca, la cual se inicia en el Cretácico Superior, y que provocó la reactivación de las estructuras en el sector central de la dorsal de Huincul, conformando los anticlinales donde aflora el Grupo Neuquén. (Groeber 1929; Herrero Ducloux 1946; Vergani et al. 1995; Mosquera 2008).

La tercer y última fase de deformación, es considerada un segundo evento dentro del estadio de deformación de la placa de Nazca, que comienza en el Mioceno Superior-Plioceno, y continua hasta el Cuaternario, finalizando hace aproximadamente 2 Ma atrás. Para este estadio, se consideraba el colapso extensional de las estructuras en el sector axial del pliegue anticlinal, propuesto por Folguera; et al (2008), como formador de un conjunto de fallas de menor magnitud que la falla principal, pero con un azimut similar. Posteriormente se concluyó que, la génesis de estas estructuras está íntimamente relacionado a una reactivación neotectónica focalizada, la cual se encuentra gobernada por sistemas convergentes-divergentes oblicuos, donde podemos observar la existencia de sectores discretos con el desarrollo de estructuras de tipo strike-slip. (Sagripanti; et al, 2012).

Se considera el estadio de inversión de suma importancia, puesto que producto de este evento tectónico de gran magnitud, el basamento, objetivo principal de este estudio, fue afectado de manera directa, elevándolo alrededor de 800 metros de su posición original y generando disgregaciones en la roca cristalina, producto de numerosas fracturas de origen tectónico. Esto le brinda al basamento, una excelente condición como roca reservorio de hidrocarburos.

Resumen de la sucesión de procesos

Tomando en cuenta los principios de la ley de superposición de estratos², así como también los principios fundamentales de horizontalidad original³ y de intersección⁴ y aplicándolo a lo analizado en este estudio, se logró interpretar el siguiente orden para los procesos observados. Durante el periodo Permo-triásico, y mediante un régimen extensivo de tipo rift, se genera el desarrollo del basamento cristalino presente en este sector de la cuenca, el cual se encuentra comprendido por la Formación Huechulafquen, dicha formación está integrada por granodioritas brechadas, altamente fracturadas (Paris et al, 2019). El basamento, que es

identificado a lo largo de todo el cubo de información sísmica, estando presentes en el bloque bajo de la falla, así como en el bloque alto, se encuentra fracturado de manera tectónica. Se arribó a esta conclusión, a partir del estudio de estructuras con relieve y evolución estructural similares, como por el ejemplo el Octógono. (Velo, et al. 2014) y en el sector de Guanaco (Paris et al, 2019).

Por encima del basamento encontramos depositado el relleno de sinrift, el cual presenta una gran asimetría en su distribución, y una marcada diferencia en cuanto a su génesis, donde podemos observar un sinrift de origen volcánico, así como uno de origen clásticos, ambos pertenecientes al Grupo Precuyo. (Esta información es inferida a partir de la descripción del legajo del pozo YPF.Nq.NX -36, donde entre los 1339,5 y 1346 metros, se hace mención a una roca clástica arcillo-arenosa, con restos de pequeños bivalvos, volviéndose una roca carbonática hacia su base), y a partir de trabajos previos, donde se describen estructuras similares, y cercanas a la zona de estudio. (Silvestro et al, 2008). (Figura 25).

De manera suprayacentes a estos depósitos, y de forma discordante se encuentra la Formación Los Molles, ubicada dentro del Grupo Cuyo, y la cual es evidencia de la primera transgresión marina Proto-Pacífica, iniciándose con depósitos marinos someros, y finalizando con depósitos pelíticos de ambiente marino profundo. Simultáneamente a estos depósitos, y para tiempos Toarcianos, se reconoce la primera inversión tectónica para el área de estudio.

Por encima de Molles, podemos observar la depositación de arenas, las cuales presentan un mayor desarrollo en el sector NE del cubo, y entre las cuales se identifican las arenas de la Formación Punta Rosada (equivalente en tiempo de depositación a la Formación Lajas) y por encima la depositación de la Formación Challacó, la cual se identifica como parte basal del Grupo Lotena.

La depositación prosigue con arenas que presentan un mayor desarrollo hacia el sector Oeste del cubo, entre las cuales se destaca la presencia de arenas de la Formación Lotena, agrupada dentro del Grupo homónimo. También son destacables las arenas comprendidas por la Formación Quebrada del Sapo (las cuales son equivalentes en tiempos de depositación a la Formación Tordillo), estas últimas son identificadas como la parte basal del Grupo Mendoza.

Ambas formaciones arenosas, son vinculadas a un proceso de regresión marina, con eventual caída del nivel del mar, y predominio de sistemas depositacionales, primariamente marinos costeros y luego netamente fluviales.

Alrededor de los 144 Ma., coincidente con la génesis de la discordancia Intramálmica, se reconoce la depositación de manera discordante del Grupo Mendoza, el cual se encuentra comprendido por lutitas bituminosas, de ambiente marino profundo, correspondientes a la Formación Vaca Muerta, la cual evidencia una profundización en la cuenca, con una nueva transgresión marina Pacífica.

2 Nicolaus Steno, (1638 – 1686), estableció que en una secuencia no deformada de rocas sedimentarias cada estrato es más antiguo que el que tiene por encima y más joven que el que tiene por debajo.

3 Nicolaus Steno, (1638 – 1686), las capas de sedimento se depositan en general en una posición horizontal.

4 Cualquier proceso geológico es posterior a los materiales que afecta y anterior a los procesos que no han sido afectados por él.

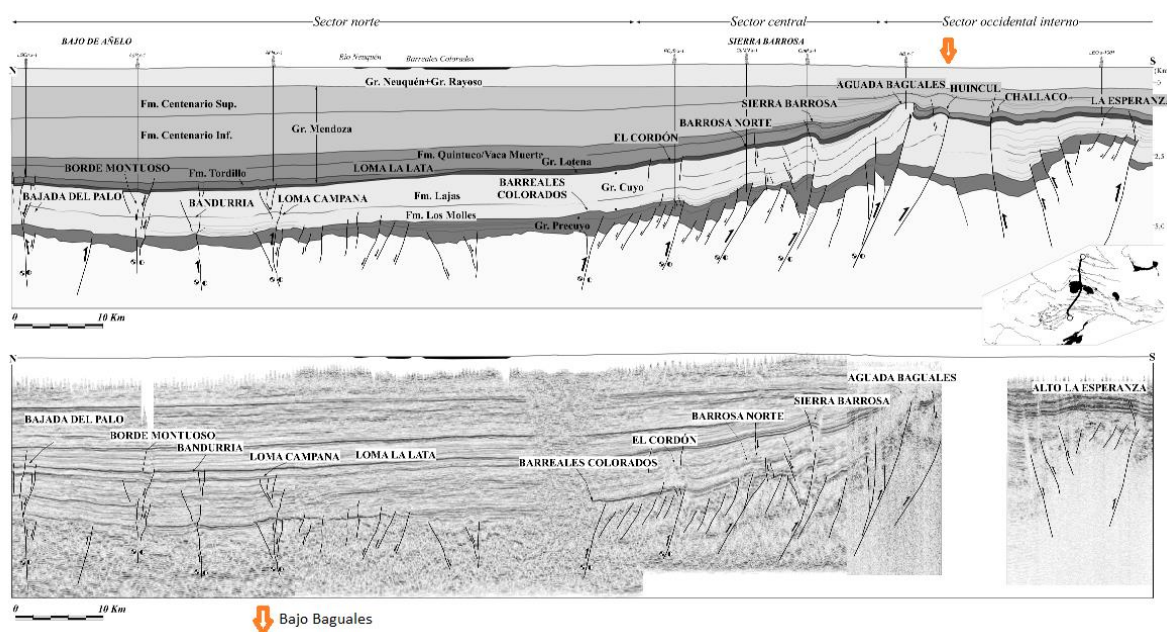


Figura 25: Transecta sísmica N-S, donde se puede visualizar la presencia del Grupo Precuyo a lo largo de la misma. (Modificado de Silvestro et al. 2008).

A dicha formación, le suprayace la Formación Quintuco, de composición calcárea, y la génesis de la cual se interpreta a partir de una somerización de la misma cuenca. Para tiempos Sinnemurianos – Valanginianos, coincidentes con la depositación de la parte superior de Quintuco, se reconoce un nuevo evento deformacional, en el cual se observa nuevamente la inversión tectónica de los hemigrabenes Precuyanos, con el desarrollo de estructuras compresivas en el sector central de la Dorsal de Hiuncul.

Prosiguen en la columna, la depositación de la Formación Arcillas verdes, la cuales se interpretan como la parte cuspidal de Quintuco.

Se reconoce también, hacia el sector S del cubo, de manera suprayacente a Quintuco la depositación de la Formación Bajada Colorada, la cual no presenta ningún interés. Sin embargo, hacia el sector N-NE del cubo, encontramos de manera suprayacente a Quintuco la depositación de la Formación Centenario, la cual es sincrónica con la depositación de la Formación Agrio (Miembro superior) y por sus buenas condiciones pretrofiticas, presenta interés como roca reservorio de hidrocarburos.

Por último, se observa la depositación del grupo Neuquén. Este grupo, cuenta con un gran desarrollo, presentando potentes paquetes sedimentarios con diversas litologías, donde se puede reconocer la Formación Estratos con Dinosaurios, como predominante en esta zona de estudio.

Se reconoce también de gran importancia la reciente actividad tectónica que se desarrolla en el Mioceno Superior-Plioceno, y continua hasta el Cuaternario, finalizando hace aproximadamente 2 Ma atrás. En este estadio de deformación neotectónica, se desarrollan el conjunto de fallas ubicadas en la parte cuspidal del pliegue anticlinal, hacia el sector N del cubo.

4- Conclusiones

Mediante el exhaustivo análisis de los legajos de pozo, así como de la bibliografía tomada en cuenta para este estudio, y según la interpretación que se llevó a cabo en las secciones sísmicas mencionadas con anterioridad, donde se pudieron observar distintas configuraciones para las estructuras presentes en el área de estudio, se pudo arribar a las siguientes consideraciones finales:

- Según los datos obtenidos por los legajos de los pozos, se puede deducir que:
 El pozo YPF.Nq.HPE x-1, ubicado en el sector centro del cubo (Figura 8), se encuentra emplazado en una zona que topográficamente se mantuvo como un alto, desde el Kimmerigiano, hasta el Valanginiano Inferior, lo cual es interpretado a partir de la ausencia de las sedimentitas correspondientes a la Formación Quebrada del Sapo, como así también el escaso espesor de la Formación Vaca Muerta. (En comparación con el pozo YPF.Nq.NX-36, ubicado en el bloque alto de la falla, en el sector NE del cubo sísmico y donde la Formación Vaca Muerta presenta más de 100 metros de espesor). (Figura 8).
 Por otra parte, ubicados en el sector Oeste del cubo y próximos al pozo YPF.Nq.HPE x-1, se identifican los pozos YPF.Nq.HP x-1 y YPF.Nq.HP x-2 (Figura 8), los cuales se interpretan situados sobre una zona plegada, la cual se encuentra segmentada en el sector norte por fallas que limitan meridionalmente a toda la estructura de la Dorsal.
 Al analizar detalladamente los legajos de estos dos últimos pozos, se arribó a la conclusión, de que la zona situada hacia el Oeste del área de estudio, no era parte del alto topográfico Kimmerigiano, ya que ambos encontramos presente la Formación Quebrada del Sapo.
 También, se reconoce que toda el área fue afectada por diferentes eventos tectónicos de gran complejidad, evidenciado por la disminución en el espesor de las Formaciones Centenario, Quintuco, Vaca Muerta y Lotena, desde el sector Este hacia el Oeste del cubo sísmico, es decir, desde pozo YPF.Nq.HPE x-1 hacia el pozo YPF.Nq.HP x-2. Es de suma importancia destacar también una marcada diferencia estructural entre ambos pozos, reconociéndose al pozo YPF.Nq.HP x-2 más elevado, encontrándose los topes de las Formaciones antes nombradas en posiciones más próximas a la superficie, con respecto al sondeo YPF.Nq.HPE x-1.
 Toda esta información, confirma la hipótesis planteada por este trabajo, y es tomada como evidencia de que, hacia el sector Oeste del cubo sísmico Bajo Baguales, la proximidad del basamento a la superficie, sería menor que en el sector Este del área en estudio.
- Se considera al Basamento de la cuenca, con excelentes características petrofísicas para el alojamiento de hidrocarburos, siendo una potencial trampa para los mismos. La porosidad de la granodiorita que conforma el basamento en este sector, es generada a partir del fracturamiento y alteración en diferentes escalas, influenciados netamente por diversos procesos tectónicos, como plegamientos y al levantamiento a una cota superior respecto al entorno. (Velo, et al. 2014) (Paris, et al. 2019).
- Se destaca también el Ciclo Precuyo, como un objetivo de importancia, presentando buenas condiciones petrofísicas, puesto que, se encuentra compuesto de materiales volcánicos alterados, y sumado a la existencia de fracturación, lo convierte en una buena roca reservorio de hidrocarburos. A diferencia del Basamento, este Ciclo, presenta una disposición areal, restringida a hemigraben (Figura 26), por lo que la preservación de hidrocarburos es de carácter principalmente local. (Carbone, et al 2011).

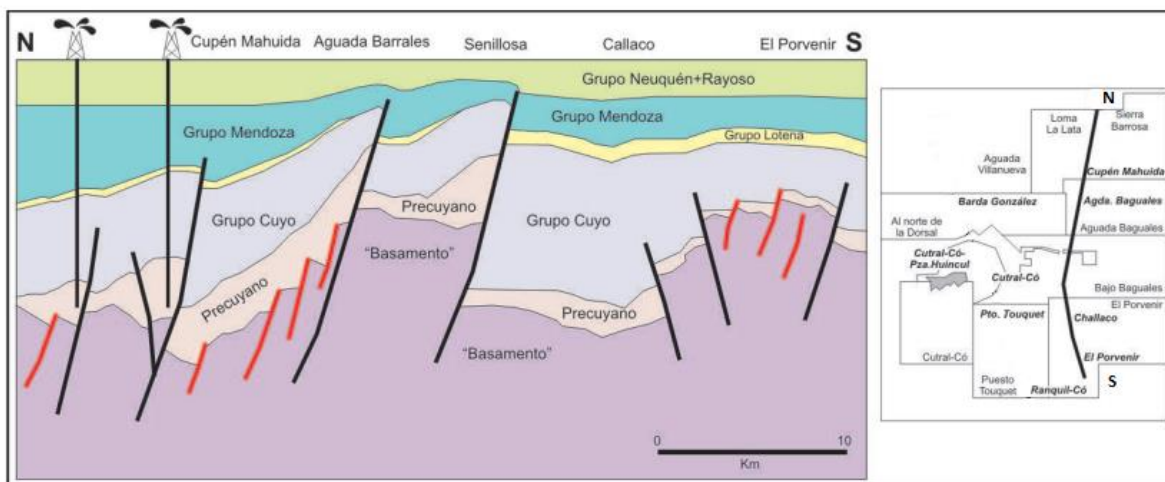


Figura 26: Transecta regional N-S donde se visualizan el Basamento, y la disposición del Ciclo Precuyano con respecto a las fallas principales del estadio inicial de la cuenca (líneas negras). (Modificado de Carbone, et al. 2011).

- Según el mapeo y seguimiento de los reflectores considerados como topes tanto del Basamento como el Ciclo Precuyano, y las posteriores confecciones de visualizaciones 3D (Figuras 22 y 23), se arribó a la conclusión de que, la inversión de la falla principal, pone en contacto de manera directa y de forma lateral, el Grupo Cuyo, con el basamento cristalino y el Ciclo Precuyo. El Grupo Cuyo se encuentra ubicado en el bloque bajo de la falla, hacia el sector S del cubo, donde cuenta con un gran desarrollo sedimentario, presentado un marcado espesor, y donde destacamos la Formación Los Molles, por ser roca generadora de hidrocarburo. Por otra parte, tanto el basamento, conformado por la Formación Huechulafquen, como los depósitos volcaniclasticos pertenecientes al Ciclo Precuyo, se encuentran en el bloque alto de la falla, hacia el sector N del cubo, y cuentan con fracturas de origen tectónico, las cuales les brindan buenas características como roca reservorio de hidrocarburos. (Figura 26)

5- Propuesta.

Como consecuencia del análisis realizado a lo largo de todo el trabajo sobre el área Bajo Baguales, y teniendo en cuenta los indicios de presencia de hidrocarburos dentro de la Formación Los Molles, según lo detallado por el sondeo YPF.Nq.AB.x-1 comprendido en el sector NW, próximo al cubo analizado, y considerando la presencia de hidrocarburos en el Basamento cristalino del bloque Octógono (con la posible presencia de fracturas) el cual está ubicado hacia el Oeste del área analizada, se propone la realización de un pozo exploratorio de carácter profundo, en el sector NO del cubo de sísmico Bajo Baguales Este, sobre el bloque alto de la falla, donde encontramos el basamento en una posición somera, y con la presencia de fracturas, tanto de origen tectónico, como producto del enfriamiento del propio granitoide, siendo estas el lugar propicio para que se aloje el hidrocarburo. (Figura 26).

Lo anteriormente expresado, se puede ver reflejado con claridad, en los mapas estructurales (isócronos) realizados al tope del Basamento (Figura 27) y al Tope del ciclo Precuyo (Figura 28) *. Ambos mapas fueron elaborados a partir del mapeo y continuo seguimiento de reflectores interpretados como los correspondientes topes de cada horizonte, y evidencian la

elevación estructural de ambos hacia el sector NO del cubo de información sísmica, presentando menores tiempos de ida y vuelta de la onda sísmica.

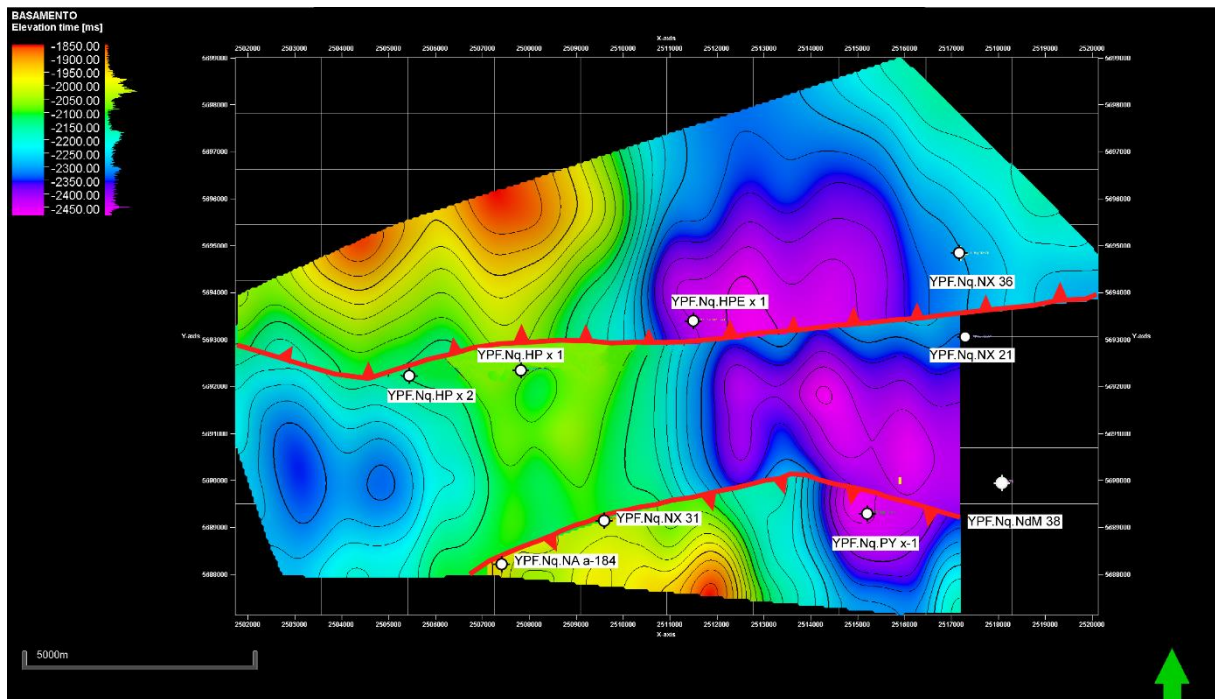


Figura 26: Mapa Isócrono (en planta) del basamento en el bloque Bajo Baguales, donde se puede visualizar con claridad en el margen superior izquierdo, las mayores alturas isócronas, siendo el lugar propicio para la localización de un nuevo pozo exploratorio.

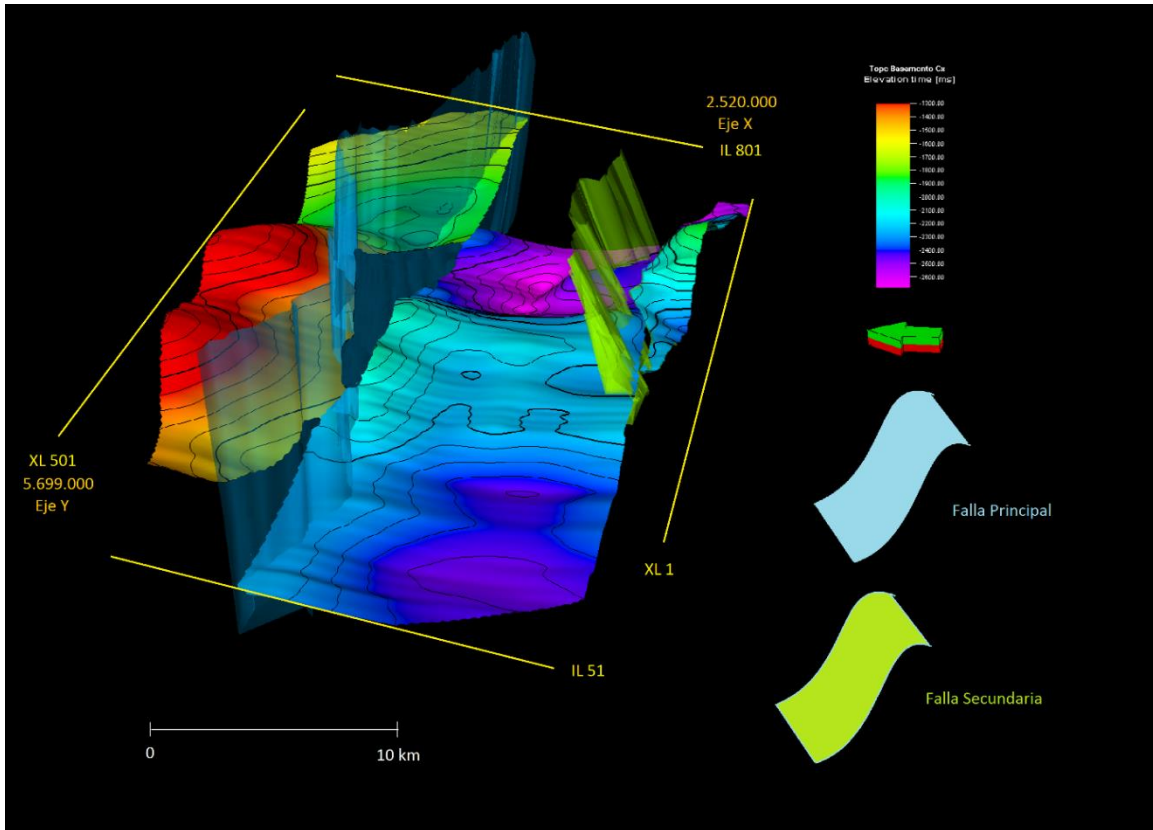


Figura 27: Mapa estructural realizado al tope del Basamento, donde también se visualiza la falla principal de sentido E-O

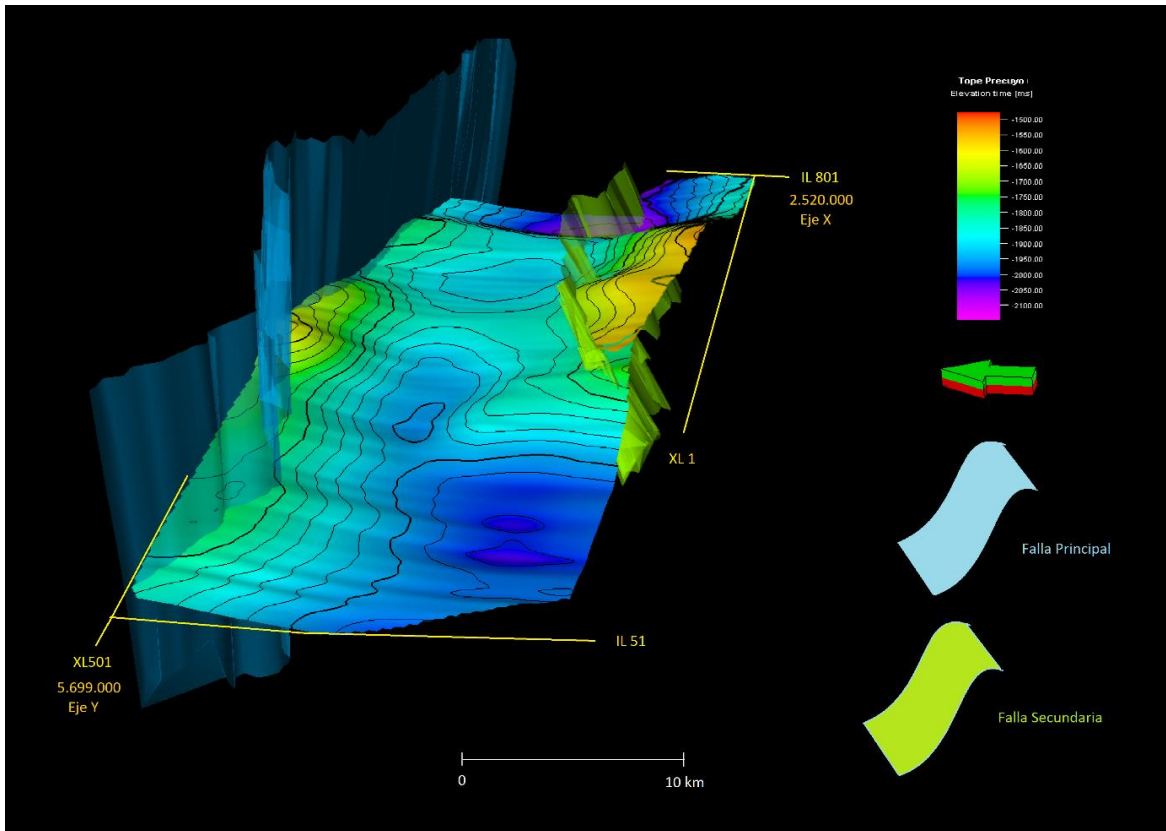


Figura 28 *: Mapa estructural realizado al tope del Ciclo Precuyo, donde también se visualiza la falla principal de sentido E-O.

A su vez, el sistema petrolero (Figura 29), quedaría definido por:

- Formación Los Molles (bloque inferior de la falla, hacia el sector S): roca madre, generadora de hidrocarburos. (esencialmente gasífera)
- Basamento y depósitos del Grupo Precuyo (ambos fracturados tectónicamente): roca reservorios.
- Formación Los Molles (bloque superior de la falla, hacia el sector N del cubo): roca sello.

La migración sería de manera horizontal, con un sentido S-N, por encontrarse en contacto mediante la falla principal invertida, la Formación Los Molles del bloque bajo, con el basamento y Grupo Precuyo del bloque alto. También se reconoce migración vertical en sentido ascendente, por diferencia de presiones entre la formación generadora, y las rocas reservorios.

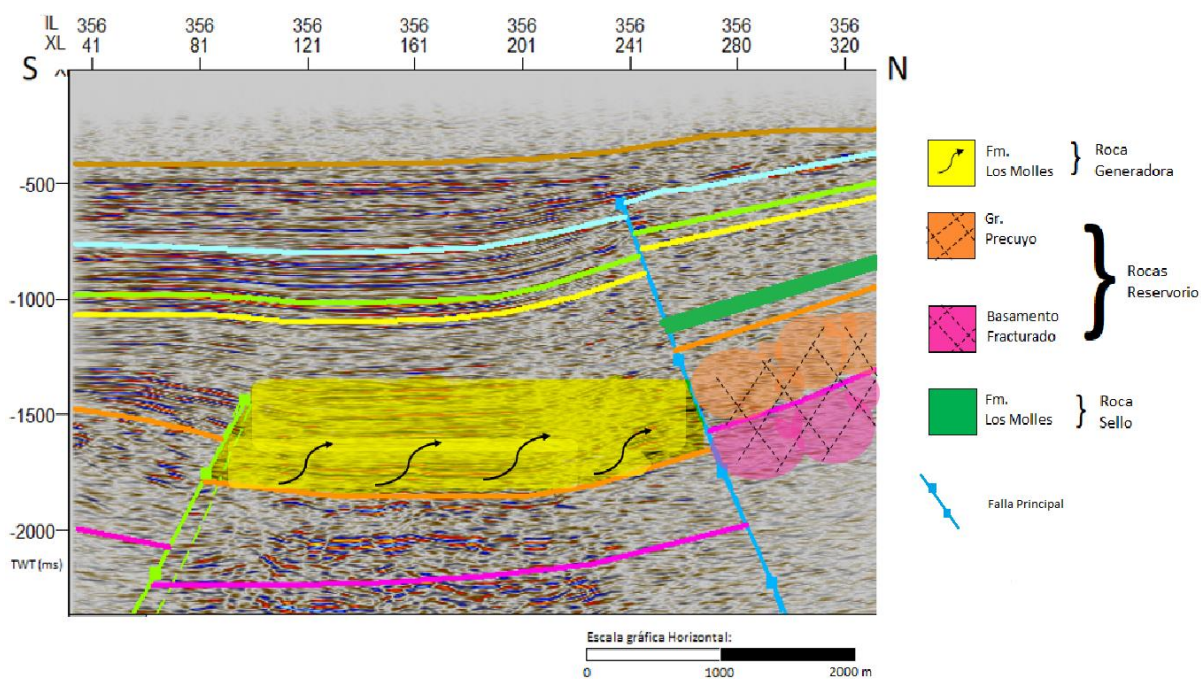


Figura 29: Sistema petrolero interpretado para el área en estudio.

(*) En la falla Norte o Principal de la figura 28, no se pudo mapear el bloque alto del Grupo Precuyano por la carencia de datos en los pozos utilizados.

Para poder brindarle un mayor grado de certidumbre a este estudio, se trata de analizar de manera probabilista el “Éxito Geológico” del sistema petrolero mencionado con anterioridad.

Es de amplio conocimiento que, existen distintos tipos de éxitos relacionados con la exploración y desarrollo de hidrocarburos, como por ejemplo en lo económico, o en lo que respecta a la completación de los pozos, también se reconoce un tipo de éxito incremental, el cual está en relación con los beneficios del pozo. Sin embargo, en este trabajo, hacemos hincapié en el análisis del éxito geológico, el cual hace referencia al descubrimiento de hidrocarburos móviles en un reservorio. Hay que tener en cuenta que, en todo proyecto exploratorio y de desarrollo, existe la posibilidad de no descubrir hidrocarburos, entendiéndose esta situación como el riesgo asociado a la ausencia de los elementos y procesos de los sistemas petroleros. (P. Rosse, 1992).

Por esta misma razón, es necesario brindarle un nivel de riesgo o incertidumbre a cada uno de los elementos esenciales, todos en un marco temporal apropiado. Para lo cual, se asume que tanto los elementos como los procesos, pueden ser tratados como variables independientes entre sí, contemplando probabilidades de existencia (o no) entre 1 y 0, permitiendo calcular la probabilidad de éxito (*chance of success*), mediante la ponderación de las mismas. (P. Rosse, 1992).

Componentes de Origen (ROCA MADRE).	
- Distribución y volumen: Alta. Pcias de Neuquén y Mendoza.	0.9
- Contenido Orgánico Total (C.O.T): varía entre 1 a 5%	0.8
- Madurez termal: Romax (%): entre 0.8 – 2.	0.9
Mínimo Factor	0.8
Componentes de Reservorio (ROCA RESERVORIO).	
- Presencia: Total (en todo el cubo sísmico).	1
- Calidad: Buena. Mayor permeabilidad en Fracturas que en Matriz.	0.6
- Porosidad: Reservorio tipo BA: (65% almacenamiento en la matriz) (35% almacenamiento en fracturas)	0.7
- Cualidades técnicas: Basamento y sedimentos Volcanoclásticos (alterados y fracturados).	0.8
Mínimo Factor	0.6
Componentes de Cierre (ROCA SELLO)	
- Presencia: Presencia total en Tope de la estructura.	0.8
- Calidad: Muy Buena. (Lutitas).	1
- Confiabilidad: Alta (Continuidad y Espesor).	1
Mínimo Factor	0.8
Componentes de Contención (TRAMPA).	
- Tope/Base con Sello Efectivo: Sello efectivo en Tope	1
- Sellos Laterales Efectivos: Bueno a Regular	0.7
- Preservación: Alta. Presente hasta la actualidad.	0.9
Minimo Factor	0.7
Componentes de Migración (TIMING).	
- Timing de Cierre de Trampa:	0.7
- Timing de Expulsión:	0.9
- Migración Efectiva:	0.8
Mínimo Factor	0.7

Por lo tanto, se establece que la probabilidad de éxito asociada a este proyecto es:

Probabilidad de éxito (*chance of success*): $0.8 \times 0.6 \times 0.8 \times 0.7 \times 0.7$: 0.188

Entendiéndose un riesgo de 0.811.

6- Bibliografía.

Arregui Carlos; Carbone O. y Leanza H. A. (2011). *Contexto tectosedimentario*. Relatorio del XVIII congreso Geológico Argentino, Neuquén.

Arregui Carlos; Carbone Osvaldo y Martinez Ricardo (2011). El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano – Medio) en la Cuenca Neuquina.

Bettini, Fernando Hector. (1984). Pautas sobre cronología estructural en el área Cerro Lotena, Cerro Granito y su implicancia en el significado de la dorsal de Neuquén. Provincia de Neuquén, Argentina.

Bettini Fernando Héctor. (2011). *Cerro Lotena y Cerro Granito. Mega afloramiento de la dorsal del Neuquén, un caso de estudio*. XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén.

Brun, J. P, and T. Nalpas (1996), Graaben inversión in nature and experiments, *Tectonics*, 15, 677-687.

Bruveris, P. & Pioli, O. (2010). Informe de re-evaluación sísmico-geológica del bloque Octógono, YPF S.A., Informe inédito.

Cevallos M. F. (2005). Análisis estratigráfico de alta frecuencia del kimmeridgiano-tithoniano en el subsuelo de la dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.

Cevallos, Martín F. (2011). *Rasgos transcurrentes de la Dorsal de Huincul*. XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén.

CHERNICOFF, C.J. Y ZAPPETTINI, E.

Delimitación de los terrenos tectonoestratigráficos de la región centro-austral argentina: evidencias aeromagnéticas

REVISTA GEOLÓGICA DE CHILE; Año: 2003 vol. 30 p. 299 – 316.

Chotin, P; Giret, A. 1978. Analysis of Northern Patagonian transverse structure (Chile, Argentina -38° to 42°S.L.) from Landsat documents. *In Congreso Geológico Argentino*, No. 7, Actas 2: 197-202. Neuquén.

Cominguez Alberto H. & Franzese Juan R. (2005). *The deep seismic structure of the central Neuquén Basin, Argentina*. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005, Barcelona), Extended Abstracts: 178-181.

Corbella Hugo, Novas Fernando E., Apesteguía Sebastian & Leanza Hector (2004). First fission-track age for the dinosaur-bearing Neuquen Group (Upper Cretaceous), Neuquen Basin, Argentina. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.*, ns 6 (2): 227-232.

Cristallini, E; *et al* (2004). Controles precuyanos en la estructura de la cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (2): 248-264 (2009).

Digregorio, J.H. & Uliana, M.A., 1980. Cuenca Neuquina. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. pp. 985-1032. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.

Folguera A; *et al.* Crustal collapse in the Andean backarc since 2 Ma: Tremen volcanic plateau, southern central Andes (36° 40' - 37° 30'). *Tectonophysics* 459: 140 – 160. (2008).
Folguera A. y Ramos V.A. (2002). *Los efectos producidos por la aproximación, colisión y subducción de dorsales pacíficas en los Andes Patagónicos*. *Acta Geológica Hispánica*, v. 37 (2002), nº 4, p. 329-353.

Franzese, J. R. y Spalletti, L. A. (2001). *Late Triassic–early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting*. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 257–270.

GLENNIE KW & BOEGNER PL. 1981. Sole Pit Inversion Tectonics. In: ILLING LV AND HOBSON GD (Eds), *Petrol Geol Cont Shelf Northwest Europe*, p. 110–120.

Gomez Omil, Ricardo; *et al.* El grupo Cuyo en la dorsal de Huinacul, consideraciones estratigráficas, tectónicas y petroleras, cuenca Neuquina.

Harding, T. P. (1983), Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures and positive structural inversion, *AAPG Bull*, 69, 582-600.

Hyung Joo Kim, Martín Mallea, Raúl Gutiérrez, Patricio Malone. (2014). Exploración del Grupo Cuyo (Jurásico) en bloques maduros de la dorsal de huinacul – Puesto Touquet y El Porvenir, Cuenca Neuquina. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mendoza, Argentina.

Iglesia Llanos, María Paula. (2009). Estudio paleomagnético del jurásico marino de la Cuenca Neuquina: correlación magnetoestratigráfica del Jurásico Inferior y una nueva curva de deriva polar aparente para América del Sur. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* v.65 n.2 Buenos Aires oct. 2009.

Leanza, H.A. & Hugo, C.A. (1977). Sucesión de ammonites y edad de la Formación Vaca Muerta y sincrónicas entre los paralelos 35° y 40° l.s., Cuenca Neuquina-Mendocina. *Revista Asociación Geológica Argentina*, XXXII (4): 248 – 264.

Lopez, R. Manceda, R. Hryb, D. Coppo, R. Santiago, E. (2017). Las fracturas naturales de la Formación Lajas en Cupen Mahuida y su impacto en la producción del reservorio. XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán.

Margueliche, Esteban R. (2018). Caracterización estructural del área Puesto Touquet. Cuenca Neuquina, Argentina. Tesis de Posgrado, Especialización en Geociencias de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, UNLP (2017).

McClay, K. R. (1990). Extensional fault systems in sedimentary basins: a review of analogue model studies. Department of Geology, Royal Holloway and Bedford New College, University of London, Egham Hill, Egham, Surrey TW20 0EX, UK.

- McClay, K. R. y Buchanan, P. G. (1992). Thrust faults in inverted extensional basins. Department of Geology, Royal Holloway and Bedford New College, University of London, Egham, Surrey, England TW20 OEX, UK.
- Meza Arroyo, Luis A. (2015). Turbiditas. Trabajo Final Cátedra de Sedimentología Especial, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata.
- Mosquera, A. Silvestro, J. Ramos, V. A. Alarcon, M. Zubiri, M. (2011). La estructura de la dorsal de Huincul. Relatorios del XVIII Congreso Geológico Argentino • Neuquen, 2011.
- Mosquera, Alfonso. Ramos, A. V. (2006). Intraplate deformation in the Neuquen embayment. Geological Society of America. Special Paper 407.
- Orchuela, I.A.; Ploszkiewicz, J.V.; Viñes, R. 1981. Reinterpretación estructural de la denominada "Dorsal Neuquina". *Congreso Geológico Argentino, No. 8. Actas 3*: 281-293. San Luis.
- Pángaro F., Pereira D. y Micuchi 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 (2009).
- Pángaro, F., Melli, A.T., Malone, P., Cevallos, M., Soraci, A., Mosquera, A. y Kim, Hyung Joo (2005). Modelos de entrampamiento de la dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. Simposio Trampas de Hidrocarburos de las Cuencas Productivas de la República Argentina. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- Paris, M., Barrionuevo, M., Rabe, C., Crespo, G. (2019). International Conference & Exhibition. American Association of Petroleum Geologists (AAPG).
- Pereira, D.M. & Gozalvez, G. (2006). El Precuyano de la Sierra de Chacaico. Identificación de facies y modelo geológico, Neuquén, Argentina. Informe interno Repsol YPF (inédito).
- Ploszkiewicz, J.V., Orchard, I.A., Vaillard, J.C. & Viñes, R.F. 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de falla de Huincul, estructuras asociadas, provincia del Neuquén. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 163-169. San Carlos de Bariloche.
- Ramos, V.A. 1978. Estructura. Congreso Geológico Argentino, No. 7, Relatorio Geología y Recursos Naturales del Neuquén: 99-118. Buenos Aires.
- Rosse, P. 1992 Chance of Success and Its Use in Petroleum Exploration.
- Sagripanti, L. Rojas Vera, E. Folguera, A. Ramos, V. (2012). Neotectónica del norte de Neuquén gobernada por sistemas transpresivos y transtensivos. Jornadas abiertas de comunicaciones científicas del IGEBA. (2012).
- Schiama M. y Llambías E. J. (2008). New ages and chemical analysis on lower jurassic volcanism closet o the dorsal de Huincul, Neuquen. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63 (4): 644 - 652 (2008).
- Silvestro, J y Zubiri, M. (2008). *Convergencia oblicua: modelo estructural alternativo para la dorsal Neuquina (39°S), Neuquén*. Revista Asociación Geológica Argentina 63: 49-64.

Storti, F.; Holdsworth, R. E. & Salvini, F. Intraplate Strike-Slip Deformation Belts. Geological Society London Special Publications · January 2003.

Uliana, M. A. & L. Legarreta, 1993, "Hydrocarbon habitat in a Triassic-to-Cretaceous Sub-Andean setting: Neuquén Basin, Argentina", Journal of Petroleum Geology, v. 16, p. 397-420.

Velo Diego, Manceda René, Pioli Oscar, Mallaviabarrena Mario, Creus Fernando, Ugarte Rodrigo, Narrillos Diego, Ciancio Lucía. (2014). Caracterización del reservorio en el basamento cristalino de la cuenca neuquina. Productividad record desde rocas granitoides, caso del octógono fiscal, activo Plaza Huincul-Cutral Có. IX Congreso de exploración y desarrollo de hidrocarburos. Mendoza, Argentina.

Zamora Valcarce Gonzalo, Zapata Tomas, Ramos A. Victor, Rodriguez Felipe & Bernardo Luis M. (2009). Evolución tectónica del frente andino en Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 68 (1): 192-203.

ANEXOS

Anexo

- 1) Parámetros de adquisición de la información sísmica.

3983



DataSeis S.A.
EXPLORATION SERVICES
PROCESSING CENTER

ANEXO
Parámetros de adquisición de la información sísmica.

INDEXED

RECORDS MGMT
APACHE Bs. As.



PIONEER
NATURAL RESOURCES
(ARGENTINA) S.A.

Seismic Data Processing Report
Project: NQM-Bajo Baguales East 3D
Neuquén Basin
Province: Neuquén
Country: Argentina

Recording Date: December 1999

Processing Date: June 2000

1.0 GENERAL

- Software: ProMAX 2D/3D version 7.2s (Landmark Graphics Corporation)
- Hardware involved for this project: ULTRA 60 (Sun Microsystems) / RAM: 1GB / HD: 90 GB

2.0 DATA COLLECTION PARAMETERS

2.1 Field Instruments:

- Instrument: Input/Output
- Model: Sistem Two
- Gain: Sigma Delta
- Record length: 8+5 sec.
- Sample rate: 2 msec.

2.2 Source:

- Type: Vibrators
- Model: Mertz - 27
- Sweep Frequency: 8-112 Hz
- Distance between V.P. stations: 50 m.
- Number of shot lines: 49 (NE-SW)
- Distance between shot lines: 300 m.
- Number of sweep: 4
- Number of shots: 12300

2.3 Receivers:

- Geophone type: sensor SM/4 HS
- Geophone array: 12 (2 x 6) every 4.1 m.
- Distance between receiver stations: 50 m.
- Number of receiver lines: 80 (N-S)
- Distance between receiver lines: 300 m.
- Maximum number of channels per shot position: 960
- Maximum number of receiver lines per swath: 8x120

3.0 PROCESSING REPORT

3.1 Geometry:

- In-lines parallel to receiver lines (N-S)
- Number of in-lines: 1000
- Number of cross-lines: 505
- Distance between in-lines: 25 m.
- Distance between cross-lines: 25 m.
- Number of bins: 505000
- Bin size: 25 m. x 25 m.
- Project size: 25 km. x 12.625 km. (315.62 km²)
- Main Fold: 35
- Farthest sorted offset: 3300 m.
- Azimuth along Y axis of grid: 0

3.2 Lines and bins localization:

	SW corner	NW corner	NE corner	SE corner
In-line	1	1	1000	1000
Cross-line	1	505	505	1
Bin	1	505	505000	504496
CDP-X coordinate	2500528.5	2500528.5	2525503.5	2525503.5
CDP-Y coordinate	5687182.5	5699782.5	5699782.5	5687182.5

3.3 Field Statics:

- 58 refraction test and 17 upholes (13 old and 4 new) were used in the area. Considering a 50 m depth the time values were mapped using 2200 m/sec. weathering velocity and with these values the statics were computed according to:
 - $C_e = (\text{Datum} - \text{Elev} + 50 \text{ m}) / V_o - T_{50}$
 Where: C_e = static correction
 Datum = 620 m
 Elev = receiver/shot elevation
 V_o = subweathering Velocity
 T_{50} = weathering time at 50 m depth
- All this steps were made at Pioneer offices using its software to interpolate and smooth the values.

- FINAL DATUM = 620 m.
- Replacement Velocity = 2200 m/sec.

3.4 Initial Stack:

- An initial stack with elevation statics was performed to evaluate the statics results.
- The following gain recovery tests were done: adjustment in time (T.A.R.), A.G.C. and a combination of both. The third option was chosen.
- To improve the signal-to-noise ratio and frequency, noise filter programs (F-K and Ground roll attenuation) and pre-stack spectral balancing were tested. The option was ground roll attenuation and spectral balancing application.
- Based on the results of autocorrelations, the following deconvolution (trace to trace and surface consistent) were tested:
 - Spiking (200 msec. operator length)
 - Predictive with prediction distance 16, 24 and 30 msec. (200 msec. operator length)
 - The option was surface consistent predictive decon (16 msec. prediction distance / 200 msec. operator length)

3.5 Velocity Analysis:

- One velocity analysis per sq. km was done for the first run via Constant Velocity Stack and semblance. After Surface Consistent Residual statics a second run with four analysis per sq. km was performed (second run).
- To define the super-gather for a best velocity analysis, the following combinations were tested: 9 CDP's (3 in-lines x 3 cross-lines), 9 CDP's (1 in-line x 9 cross-lines) and 15 CDP's (3 in-lines x 5 cross-lines). The option was 1 in-line x 9 cross-lines.
- Automatic stretch mute: 50%
- Datum: NMO datum

3.6 Residual Statics Calculation:

- 2 runs of 3-D Maximum Power Autostatics (Surface Consistent) program with the following parameters were performed after each velocity analysis:

- In-line x Cross-line smash: 3 x 3
- Maximum static allowed/iteration: 12,20,28,36 msec.
- Window center: 1000 msec.
- Window length: 1200 msec.

3.7 DMO corrections:

- After residual statics we run DMO corrections using an offset bin size of 150 m .
- After DMO corrected gather we generate and pick a new set of velocities which later was used to get the final stack and migration.

3.8 Migration test and Post-processing:

- Before migration the following post-stack processes were tested and applied: T.V. Spectral whitening /T.V.B-P filter / A.G.C. / FXY Decon
- Migration test: we pick a set of 100 lines to chose the best fitted algorithm: Stolt (F-K), Phase shift and finite differences; the option was Stolt (F-K) with smoothed 105% dmo velocities.
- After migration the following post-stack processes were tested and applied: 3D trace mix / phase rotation 180 degrees (to match with old projects).

3.9 Final Processing Sequence:

- SEG-D input
- Geometry load
- True amplitude Recovery
- Air Blast attenuation
- Trace editing
- Surface Wave Ground Roll Attenuation
- Time Variant Spectral Whitening 8/12 – 80/110 Hz (3 panels)
- Surface Consistent Predictive Decon (shot/receiver).
Prediction distance: 16 msec. / Operator length: 200 msec.
- Band-pass filter (4/8-90/120 Hz)
- AGC (2000 msec.)
- Field statics application to NMO datum
- First velocity analysis (1/ km²)

- First Surface Consistent Residual Statics (4 iterations)
- Second velocity analysis (4/ km²)
- Second Surface Consistent Residual Statics (4 iterations)
- DMO 3D to gathers
- Third velocity analysis (4/ km²)
- NMO (60 % automatic muting)
- Stack 3-D & datuming (to 620m. with V_R: 2200 m/sec.)
- Time Variant Spectral Whitening 8/12 - 80/110 Hz. (3 panels)
- Band-pass filter:
 - 0-1000 msec.: 8/12 - 90/120 Hz.
 - 1500-2500 msec.: 8/12 - 70/90 Hz.
 - 3000-4000 msec.: 8/12 - 50/70 Hz.
- AGC (500 msec.)
- F-XY decon (3 in-lines / 3 cross-lines)
- 3D Stolt Migration
- 3D mix (3 in-lines / 3 cross-lines): 25% - 100% - 25%
- Phase Rotation 180 degrees (to match with 2-D projects)

4.0 REMARKS

- Because of the numerous velocity test in the area, was not necessary to apply refraction statics calculation, just a good set of initial statics was enough to get the brute stack.
- The frequency obtained was in the expected range.
- Interaction with the Company Geophysicist was necessary to define the stacking velocities.
- Finally, the quality on the results agrees with the expected objective for this project.

5.0 PERSONNEL

The following professionals were involved in the project:

Raúl Stolarza.
Santiago Juranovic
Gabriel Abdala.

6.0 ATTACHED INFORMATION

- Graphics: Base map. Topography. CDP grid map (zoom). CDP fold map. Receiver field statics. Source field statics. Seismic section display (structural and migrated).
- Floppy disk with Database information.

ANEXO

2) Método Sísmico.

- Método Sísmico:

En la actualidad, el método sísmico juega un papel principal en la búsqueda de hidrocarburos.

El mismo, cuenta con tres etapas bien diferenciadas:

1. **Adquisición de los datos**
2. **Procesamientos de los datos adquiridos**
3. **Interpretación de lo procesado**

Es de amplio conocimiento, que los resultados obtenidos se encuentran fuertemente influenciados tanto por los parámetros de adquisición de campo como el procesamiento aplicado. Posteriormente, el geólogo deberá interpretar el dato que recibe.

Nos vemos en presencia de un tipo de problemas, donde partiendo de observaciones externas, se debe deducir lo que hay por dentro. Estos problemas son conocidos como “cajas negras”, donde luego de la recolección de un conjunto de datos experimentales, con el previo conocimiento de las leyes físicas que se aplican al experimento, el experimentador tendrá que desarrollar un modelo del sistema que se encuentra en estudio (siendo la estructura y las propiedades físicas de la corteza terrestre, para este caso).

Es común, que los resultados obtenidos no sean únicos, es decir, que más de un modelo se ajuste adecuadamente o lo explique las mediciones obtenidas, los cuales son muy sensibles a errores relativamente pequeños, tanto en la recolección del dato, su procesamiento y/o análisis.

La forma más simple de pensar la exploración sísmica, es como el equivalente sísmico del radar. Es decir, la exploración geofísica “ilumina” el subsuelo terrestre, donde se reconoce que una fuente de energía, produce ondas de sonidos con sus frecuencias conocidas, direccionadas al subsuelo. Dichas ondas atraviesan las distintas capas geológicas, las cuales son parcialmente reflejadas en cada borde o interfase entre los diferentes tipos de roca. Esta secuencia de reflexiones es captada por diferentes sensores colocados en la superficie marina/terrestre y almacenada para su procesamiento computacional. Dicho proceso se repite a todo lo largo y ancho del área de estudio.

Posteriormente, el dato procesado brinda una **imagen estructural del subsuelo**. La sección sísmica obtenida, se puede utilizar como indicador directo de tipos de rocas así como posiblemente indicador de la presencia de hidrocarburos. También puede calcularse la profundidad a la que se encuentran las diferentes interfaces geológicas, por medio del tiempo de viaje de la onda de regreso a la superficie y la velocidad que presente cada capa.

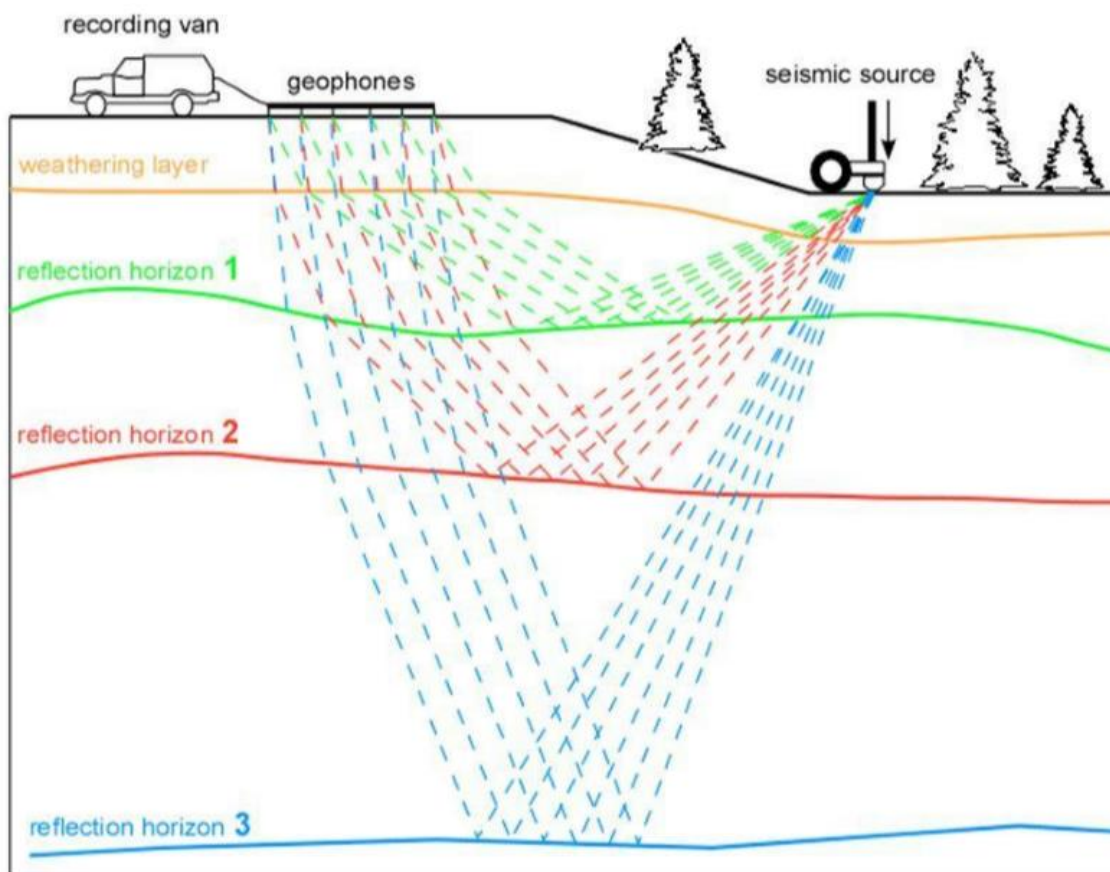
El dato registrado a partir de un disparo (ya sea detonación de un explosivo, un cañón de aire o una vibración de la fuente), por un sensor en una posición específica se denomina **traza sísmica**, y es grabada como una función del tiempo (tiempo transcurrido desde que se realiza dicho disparo).

Este tiempo, es el tiempo que le toma a la energía para viajar por el subsuelo, y reflejarse, y así retornar a la superficie, por lo que se denomina **tiempo de viaje doble**, el cual es medido en milisegundos (cada 2ms), durante una prolongación de 6 segundos, lo que permite registrar información sísmica de hasta alrededor de 10 kilómetros de profundidad.

Las trazas durante su procesamiento, son combinadas de varias maneras, así como modificadas a través de algoritmos matemáticos. Al agrupar varias de estas trazas en su correcta posición espacial, se genera un gráfico denominado **sección sísmica**, y es a partir de este, cuando el geólogo cuenta con una imagen o representación del subsuelo.

Es importante destacar que, para una mayor eficiencia, por cada disparo se graban simultáneamente los resultados en varios receptores ubicados en cercanías (de forma regular y ya estipulada, por ejemplo, cada 50 metros, en ambas direcciones espaciales), y se trabaja sobre la redundancia de los datos.

SISMICA DE REFLEXION

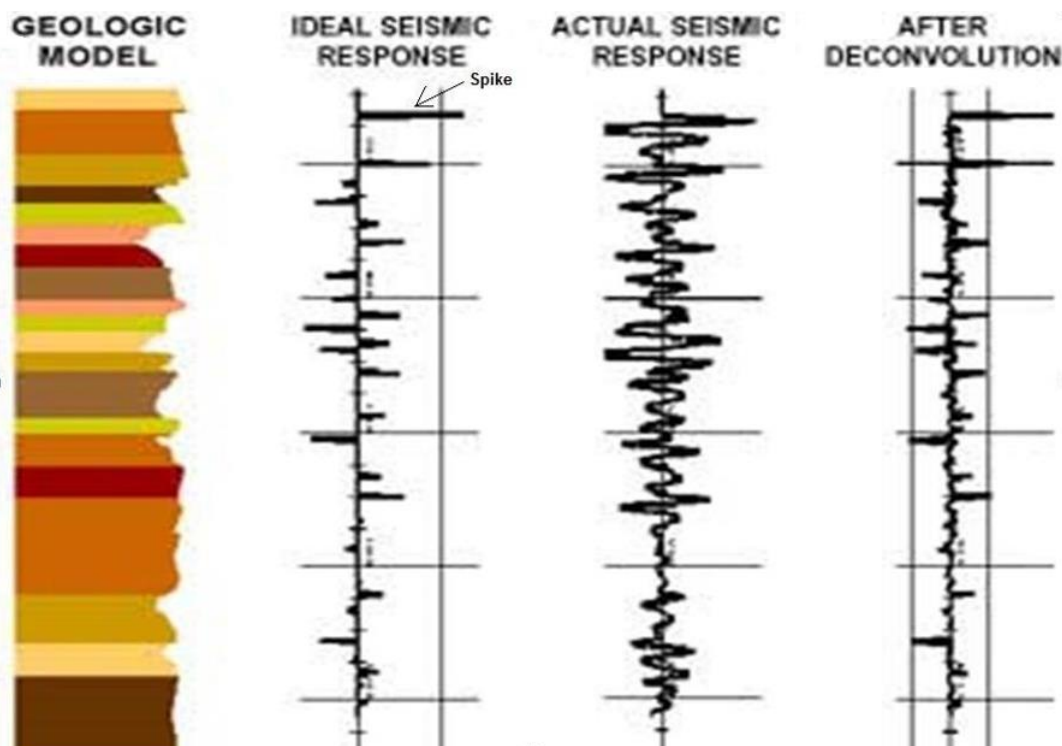


Como se mencionó con anterioridad, la señal de la onda reflejada, que reciben los receptores, debido al cambio en la impedancia en el medio donde se propagan, se denomina **traza sísmica**.

El agrupamiento de varias de estas trazas, en un gráfico, donde se encuentran ordenadas espacialmente, se conoce con el nombre de **sección sísmica**.

El objetivo final, es poder obtener para cada punto de la superficie una única traza que haya viajado a **offset cero**, es decir la traza donde, la posición de la fuente es coincidente con la posición del detector, de manera vertical.

Se entiende que, cada uno de los reflectores sísmicos, es el reflejo en superficie de una **imagen** (salida) del pulso de energía que ha recibido (entrada). Si dicho pulso es un *spike*, la señal que vuelve será entonces una combinación de *spikes* de diferente amplitud, cada una ubicada al tiempo de reflexión correspondiente, y con una amplitud dada.



Es importante destacar que, el método sísmico 3d presenta numerosas ventajas, así como desventajas.

Dentro de las ventajas podemos citar:

- Otorga información tridimensional, “densa” en ambas direcciones espaciales X-Y.
- Cuenta con un recubrimiento areal, no simplemente lineal.
- Optimiza la resolución espacial (es decir, la localización de las estructuras) y la relación señal-ruido de los datos.
- Provee un contexto tridimensional para la comprensión de otras mediciones o datos no sísmicos (modelos geológicos, datos de pozo, datos de campos potenciales).

Por su parte, dentro de las desventajas, se consideran las siguientes como de mayor importancia:

- En algunos casos presenta una adquisición muy difícil y/o costosa. (debido a cuestiones del terreno, la topografía, el clima, las corrientes marinas o la presencia de obstáculos como ríos, caminos, plataformas petroleras o centros urbanos).
- La resolución vertical obtenida está limitada, como máximo, a eventos separados 10 metros entre sí.
- Con el aumento de la profundidad, decrece rápidamente el poder de resolución.
- Se requiere de procesamientos complejos y de alta calidad, para la determinación precisa tanto de velocidades como profundidades.