

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

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA EN GEOFÍSICA

**“Interpretación de Sísmica 3D en la Cuenca
Neuquina, área Las Tacanas, provincia de
Neuquén, Argentina”**

Licenciando: Pablo Benjamín Anci Araniti

Asesor: Lic. Martín CEVALLOS

AÑO 2012

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

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA EN GEOFÍSICA

**“Interpretación de Sísmica 3D en la Cuenca
Neuquina, área Las Tacanas, provincia de
Neuquén, Argentina”**

Tribunal Examinador

.....

Dr. Daniel Gregori

.....

Lic. Arturo E. Güell

.....

Lic. Lucia Ruzycki

Licenciando: Pablo Benjamin Ancí Araniti

Asesor: Lic. Martín Cevallos

AÑO 2012

AGRADECIMIENTOS

Con un profundo sentimiento, mucho amor y pocas palabras quiero agradecer a aquellas personas y aquella institución (personas que conforman la FCEFN – UNSJ) que han hecho posible no sólo la realización de éste trabajo, sino también el desarrollo de todo mi carrera.

A mis padres quienes me dieron la vida y junto a ellos a toda mi familia: mi abuela, hermanos, tíos y primos; quienes estuvieron siempre a mi lado.

A mis suegros y cuñados por su amor y compañía.

A aquellos grandes y preciados amigos que, cosechados en la carrera y a lo largo de la vida, formaron parte fundamental de mi existencia.

A mi Director de Tesis, por sus consejos y paciencia.

Al Tribunal de corrección y evaluación, por su predisposición, buena voluntad y por sus valiosas correcciones; que enriquecieron este trabajo.

Y en especial a esa fuerza divina (solo visible a los ojos del corazón, que brinda ese soplo de aliento que nos hace falta en el momento en el que nos sentimos caer), llamada Dios. Por permitirme terminar este largo camino junto a la más maravillosa persona del mundo: MI ESPOSA, quién en esta última etapa de mi carrera me lo dio TODO y de quien estoy profundamente enamorado.

Pablo Benjamin AnciAraniti

ÍNDICE

RESUMEN.....	-5-
INTRODUCCIÓN	
Objetivos.....	-7-
Justificación.....	-8-
Cuenca Neuquina.....	-9-
Marco Estructural.....	-10-
Marco Estratigráfico.....	-11-
Ubicación y Geología Local del área de Trabajo.....	-14-
Sistema Petrolero del área de Trabajo.....	-16-
MATERIALES Y MÉTODOS	
Materiales.....	-17-
Métodos.....	-29-
Carga de pozos.....	-20-
Carga de registros eléctricos de pozos.....	-21-
Carga y Visualización de información sísmica.....	-22-
Calibración de datos de Pozos y Sísmicos.....	-24-
Definición e Interpretación de horizontes sísmicos guías.....	-30-
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Configuración Estructural General (Cuenca Neuquina, área Las Tacanas).....	-34-
Mapas y Secciones Sísmicos	
Fm. Rayoso.....	-35-
Fm. Huitrín.....	-38-
Fm. Centenario.....	-41-
Fm. Mulichinco.....	-43-
Fm. Quintuco.....	-45-
Fm. Tordillo (BVM).....	-49-
Fm. Auquilco.....	-53-
CONCLUSIÓN.....	-57-
BIBLIOGRAFÍA.....	-60-

RESUMEN

El presente trabajo de interpretación sísmica 3D, tuvo como objeto de estudio el análisis sismo-estructural de una porción de subsuelo, con una superficie aproximada de 227km², ubicada geológicamente en la Cuenca Neuquina en la provincia geológica denominada “Engolfamieta Neuquino” y geográficamente en la “Provincia de Neuquén” de la República Argentina, entre los paralelos 38°46’08” y 38°52’20” de latitud sur y entre los meridianos 68°01’27” y 68°48’47” de longitud oeste.

El bloque estudiado corresponde al “cubo sísmico 3D Las Tacanas”.

Para llevar a cabo el trabajo, se contó con diferentes recursos: Humanos, Económicos, Tecnológicos, Bibliográficos y un Set de Datos conformado por:

- ✓ un cubo sísmico 3D (en formato “.seggy”),
- ✓ y registros eléctricos de pozo (en formato “.las”).

Los datos se cargaron, analizaron e interpretaron utilizando **GeoGraphixTM** (Landmark – Halliburton) como plataforma y herramienta de interpretación geofísica de datos del subsuelo. Esto se llevó a cabo en el Gabinete de Geociencias Aplicado a la Exploración y Producción de Hidrocarburos (GGAEPH), dependiente de los Departamentos de Geofísica y Astronomía y Geología, de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (FCEFyN) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ).

De la carga, análisis e interpretación de la información surgen diferentes Mapas:

- ✓ Mapas Estructurales en Tiempo,
- ✓ Mapas de extracción Amplitud Sísmica RDM,
- ✓ y Mapas de Espesores en Tiempo.

La confección de estos mapas permitió incursionar en las “metodologías” de interpretación sísmica comúnmente utilizadas en la “Geofísica Aplicada” a la exploración de hidrocarburos, desarrollando habilidades no sólo en la manipulación de información hidrocarburifera de sísmica de reflexión 3D y perfiles eléctricos de pozo si no también en el manejo del software antes mencionado y comúnmente utilizado en la industria petrolera.

Los mapas mencionados anteriormente con las secciones sísmicas y secciones de correlación claves, interpretados en forma conjunta o integrada, permitieron fabricar un modelo geofísico sismo-estructural del subsuelo en el área de estudio, poniendo de manifiesto las posibles zonas de escape de fluidos de interés no sólo petrolero sino también minero.

Finalmente y desde el punto de vista geológico, este estudio permitió identificar:

- ✓ un bajo grado de deformación del subsuelo,
- ✓ zonas de ruido, mala calidad del dato sísmico,
- ✓ el tren de fallas principal de alto ángulo con dirección Norte - Sur,
- ✓ y cambios de espesor de horizontes de interés.

Esta información en forma integrada permitió interpretar en algunos sectores una posible deformación plástica del tipo “tectónica salina” y vincular las zonas de ruido, con un tren de fallas y con cambios de espesor, con posibles “zonas de escape” o “fuga de hidrocarburo”.

OBJETIVOS

✓ El principal *objetivo* que se persigue a través de este trabajo, es posibilitar la aplicación de los conocimientos teórico-prácticos adquiridos durante el cursado de la carrera y demostrar capacidad para programar y desarrollar un trabajo y/o tareas de investigación sobre el tema propuesto, con el fin de obtener el título de “*Licenciado en Geofísica*”.

Objetivos Específicos:

✓ Capacitación en el manejo del software de interpretación **Geographix™**, que incluye los siguientes módulos: **Project Explorer** (Generación de un proyecto GGX), **WellBase** (Carga de datos de pozo), **Prism** (Carga de perfiles), **GeoAtlas** (Visualización de mapas) y **SeisVisión** (Carga y Visualización de sísmica 3D).

✓ Incursionar en las metodologías de interpretación sísmica comúnmente utilizadas en la Geofísica Aplicada a la exploración de hidrocarburos, desarrollando habilidades en la manipulación de información hidrocarburífera de sísmica de reflexión (2D - 3D) y de perfiles eléctricos de pozo.

✓ Generar a partir de **Geographix™**, diferentes tipos de Mapas: Mapas Estructurales en Tiempo (Isócronos), Mapas de Amplitud Sísmica y Mapas de Espesores en Tiempo.

✓ Reconocer Secciones Sísmicas y Secciones de Correlación claves.

✓ Interpretar en forma integrada los mapas generados y las secciones destacadas para fabricar un modelo geofísico (sismo-estratigráfico y sismo-estructural), del subsuelo en el área de estudio (**Las Tacanas**), con especial énfasis en las unidades de interés petrolero.

JUSTIFICACIÓN

Motiva el presente trabajo, que según el artículo 3^{ro} del reglamento vigente del Plan de estudios de la Carrera de Licenciatura en Geofísica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan (FCEFYN – UNSJ), me encuentro en condiciones de realizar el Trabajo Final de Licenciatura. De esta manera con el presente trabajo pretendo alcanzar el Título de “Licenciado en Geofísica” que otorga la casa de altos estudios arriba mencionada.

Este trabajo estuvo orientado no sólo a incursionar en las metodologías de interpretación sísmica comúnmente utilizadas en la exploración y producción de hidrocarburos, sino que también al desarrollo de habilidades en la manipulación (selección, análisis e interpretación) de información hidrocarburífera de sísmica de reflexión 3D y perfiles eléctricos de pozo. Esta situación favorece la posibilidad de mi inserción, con capacitación específica, en la Industria Petrolera.

Es importante destacar que para poder llevar a cabo trabajos de este tipo se debe contar con:

- ✓ el apoyo de personas con la experiencia y los conocimientos suficientes,
- ✓ la información hidrocarburífera (en la mayoría de los casos de carácter confidencial),
- ✓ el equipamiento necesario para la correcta manipulación de la información.

Por los ítems arriba mencionados, es que considero necesario destacar que tanto el Gabinete de Geociencias Aplicado a la Exploración y Producción de Hidrocarburos (GGAEPH), dependiente de los departamentos de Geofísica y Astronomía y Geología de la FCEFYN – UNSJ, ubicado en las dependencias de esta facultad, como así también los Profesionales encargados de él, han sido de vital importancia para poder llevar a cabo este trabajo, y juegan un rol muy importante en la capacitación de los alumnos de las carreras de Geofísica y Geología que desean desempeñarse como profesionales de la industria del petróleo.

Cabe también mencionar que GGAEPH contaba, al momento de comenzar con este trabajo, no sólo con el equipamiento específico necesario, en condiciones óptimas; sino que también con datos de dos (2) cubos sísmicos 3D, cuarenta y dos (42) líneas de sísmica 2D y 28 pozos, adquiridos mediante un convenio entre la Universidad Nacional de San Juan, Universidad Nacional del Comahue y a la empresa Energía Mineral S.A., de los cuáles no se darán mayores detalles a lo largo del trabajo para resguardar la confidencialidad de la información, que también fueron de fundamental importancia para la realización de este trabajo.

La Cuenca Neuquina comienza a desarrollarse a partir del Jurásico inferior con depósitos de origen volcánico que se acumularon en depocentros discontinuos generados a partir de una fase tectónica tensional; involucró a rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas de edad paleozoica superior y triásica. Durante el Jurásico, se produce en un amplio sector del Oeste de la República Argentina, la depositación de sedimentos marinos que se expanden en dirección oriental. A partir de ese momento el relleno sedimentario se caracteriza por una notable ciclicidad definida por la presencia de sedimentos marinos y continentales en forma alternada, situación que perdura hasta el Terciario (Felder *et al*, 1987).

MARCO ESTRUCTURAL

El relleno inicial de la cuenca fue desarrollado en un escenario de apertura (*rifting*) con depocentros bien localizados, aislados y desconectados, paralelos a los bordes de la misma (Legarreta *et al*, 2005).

Un primer estadio de estabilización regional permitió la transgresión del mar cuyano durante el Jurásico Inferior. Este periodo de relleno es interrumpido a finales del ciclo Cuyano durante el Triásico Superior Alto – Jurásico Inferior, por un evento de inversión tectónica localizado en el ámbito de la Dorsal Neuquina (Mendiberri & Carbone, 2002).

En el Cretácico Superior se reactiva un fenómeno transpresivo (Discordancia Intersenoniana), localizado a lo largo de la “Falla de Huincul” (Figura 2). Producto de estos eventos, se registran numerosas discordancias angulares (Mendiberri & Carbone, 2002).

En el Terciario un proceso de inversión tectónica permite el ingreso del mar Atlántico. La tectónica andina comienza a manifestarse a partir del Oligoceno Inferior en la faja plegada y fallada, aún activa (Mendiberri & Carbone , 2002).

Los niveles de despegue responsables de los principales corrimientos Terciarios son las margas de la Fm. Vaca Muerta. Estos permitieron el desarrollo de importantes estructuras (Mendiberri & Carbone, 2002).

Los estilos de deformación, con el basamento involucrado, pueden resumirse en: fallamiento extensional antiguo, inversión tectónica y fallamiento de rumbo en la dorsal, estructuras de despegue tanto en la faja plegada y fallada (Figura 2) como en la plataforma no deformada (Mendiberri & Carbone, 2002).

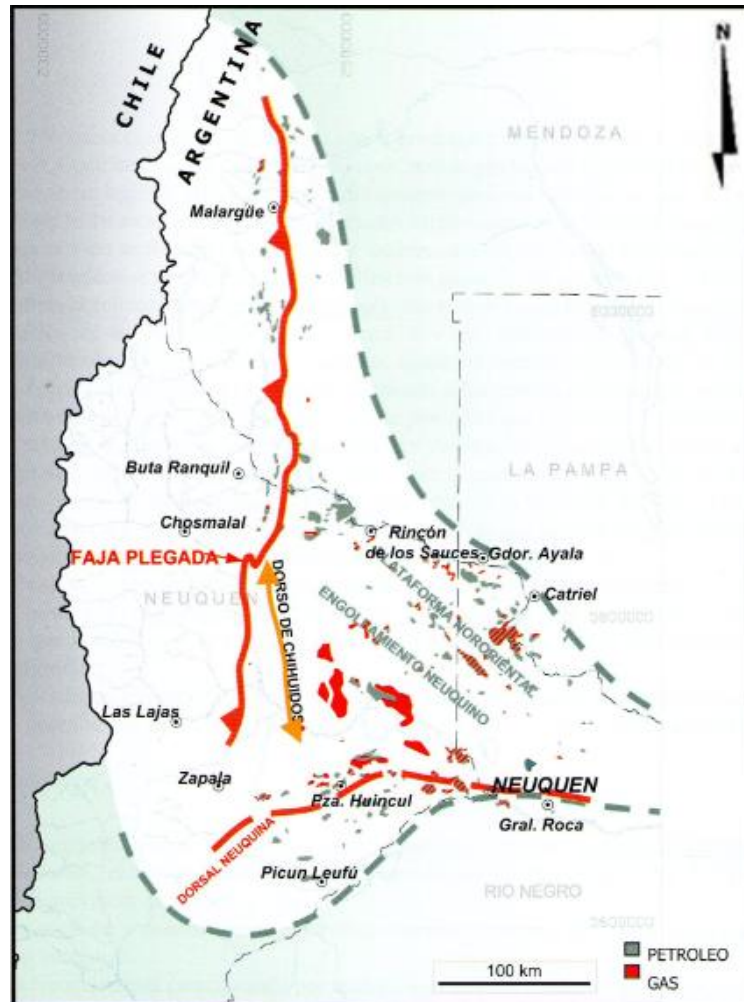


Figura 2: Principales rasgos estructurales de la Cuenca Neuquina. (Mendiberri & Carbone, en V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAGP Octubre 2002).

MARCO ESTRATIGRÁFICO

Durante tiempos Triásicos se desarrollaron en la Cuenca Neuquina una serie de fosas marginales con relleno sedimentario marino y terrestre. Este relleno, en algunos casos excede los 6.000m de espesor (Legarreta & Uliana, 1999); se desarrollaron sobre un extenso *plateau*, dominado por las rocas del Gr. Choiyoi (plutonitas y volcanitas Permo – Triásicas; Mendiberri & Carbone, 2002).

Los depósitos de carácter continental, que llegan al Jurásico Inferior, pertenecen al denominado ciclo Precuyano (Figura 3) y fueron gobernados por regímenes de subsidencia por falla (Mendiberri & Carbone, 2002).

Al Ciclo Precuyano le suprayacen sedimentos correspondientes a la etapa final de *synrift*, seguida por un periodo de hundimiento termal. La secuencia sedimentaria marina jurásica se inicia con el Grupo Cuyo alcanzando 2.500 m de espesor. Sobre el basamento paleozoico-triásico se acumularon conglomerados, areniscas y lutitas (Fm Chacaicó: sedimentos aluviales; Fm Lajas: progradaciones clásticas; Fm Molles: ingresión marina) hasta que una fase regresiva depositó evaporitas (Fm Tábanos) y depósitos terrestres. El intervalo Jurásico se completa con las areniscas y calizas arrecifales lotenianas del Jurásico Medio (Fm Lotena y Fm La Manga) producto de un nuevo avance del mar, el que remata con una espesa secuencia de evaporitas de centro de cuenca (Fm. Auquilco), Figura 3 (Mendiberri & Carbone, 2002). Este proceso es interrumpido por un importante evento diastrófico: reactivación del arco volcánico continental en el Oeste junto con el eje de la "Dorsal Neuquina". En consecuencia, se deposita un espeso intervalo de clásticos terrestres aluviales, (abanicos, fluviales y eólicos (Mendiberri, H. & Carbone, O. 2002).

Este paisaje, inundado en tiempos Tithonianos (Fm. Vaca Muerta), presenta progradaciones clástico-calcáreas proximales de la Fm. Quintuco. Este par de formaciones pertenecen al Gr. Mendoza Inferior (Tithoniano-Valangiano Inferior), (Mendiberri & Carbone, 2002), Figura 3.

A partir de una importante caída del nivel mar en el Valangiano, se depositan importantes depósitos clásticos (Fm. Mulichinco) que posteriormente son cubiertos por otra ingresión marina (Fm. Agrio: equivalente temporal de las areniscas y conglomerados de la Fm. Centenario: importante progradación clástica proveniente del sudeste de la cuenca). Este intervalo abarca el Gr. Mendoza Superior, Valanginiano-Barremiano), (Mendiberri & Carbone, 2002).

Al Gr. Mendoza le suprayace el Gr. Rayoso (Aptiano-Albiano), que representa un evento de desecación importante con depositación de facies clásticas y evaporíticas (Fm Huitrín y Fm Rayoso).

Sobre el Gr. Rayoso apoyan en discordancia, las sedimentitas del Gr. Neuquén integrado por arcilitas y areniscas terrestres del Cretácico Superior (Uliana & Legarreta, 1993).

A principios del Terciario ocurre la transgresión atlántica, depositando arcilitas junto a calcáreos y evaporitas que se asignan al Gr. Malargüe (Mendiberri & Carbone, 2002).

Completan la columna en el sector mendocino, depósitos terciarios con gran participación volcánica íntimamente relacionados con las fases diastóricas andinas.

Cabe mencionar que la gran mayoría de los intrusivos que afectan a casi toda la columna sedimentaria de la cuenca son de edad terciaria (posteriores al Eoceno) relacionados al diastrofismo Andino (Mendiberri & Carbone, 2002), (Figura 3).

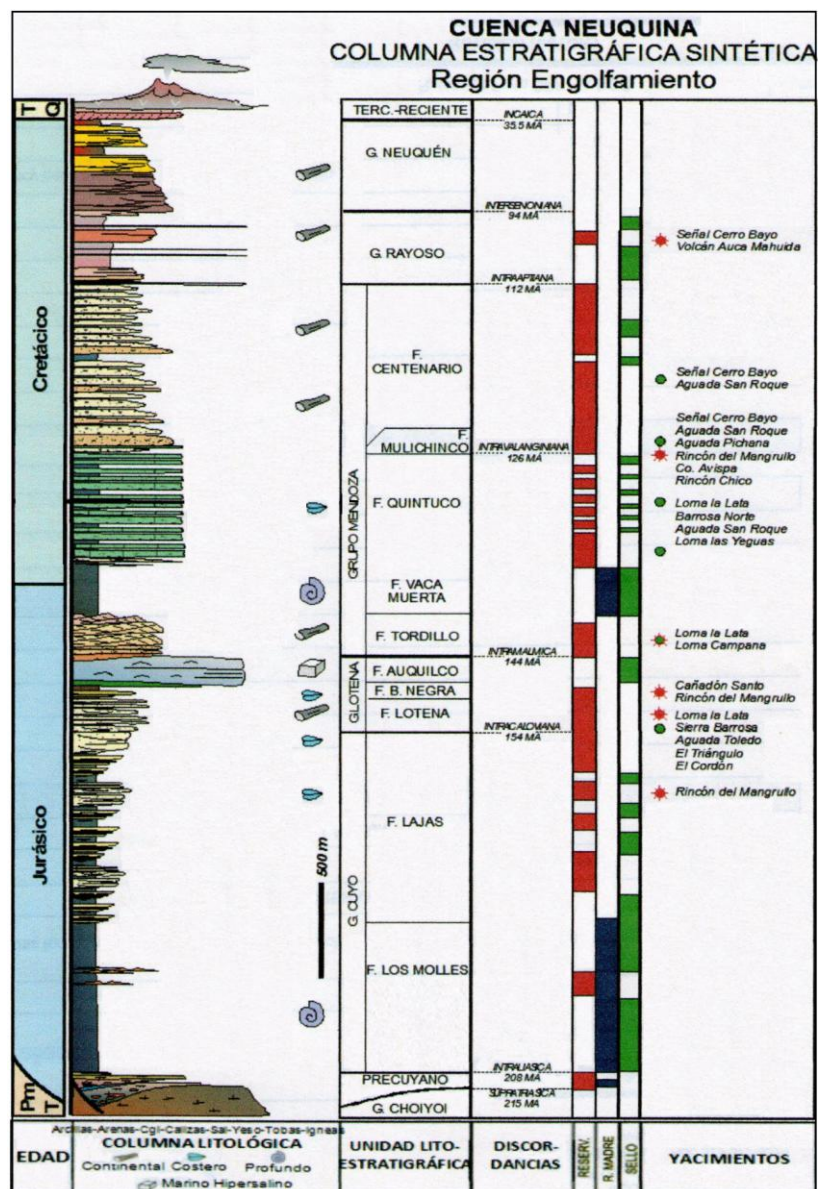


Figura 3: Columna Estratigráfica correspondiente a la zona del Engolfamiento, de la Cuenca Neuquina, (modificada de Olmos et al, 2002; en Libro Rocas Reservorios, IAPG).

UBICACIÓN y GEOLOGÍA LOCAL del ÁREA de TRABAJO

Geográficamente el área donde se desarrolló el trabajo de exploración sísmica del proyecto Las Tacanas, se encuentra situado entre los paralelos 38°46'08" y 38°52'20" de latitud sur y entre los meridianos 68°01'27" y 68°48'47" de longitud oeste. En coordenadas Gauss-Kruger (*Datum*: Campo Inchauspe), el cubo sísmico 3D, tiene como esquinero noroeste las coordenadas x: 2435822 e y: 5775483 y como esquinero sureste las coordenadas x: 2452356 e y: 5753853. Abarca una superficie aproximada de 227km², de la provincia de Neuquén, Argentina, incluido en la Hoja Geológica 3969-I, (Zapala).

El relieve del terreno es muy accidentado y el área está poblada por vegetación de monte bajo semidesértico (Jarilla). La elevación promedio en la zona de estudio es de 838 mmm.

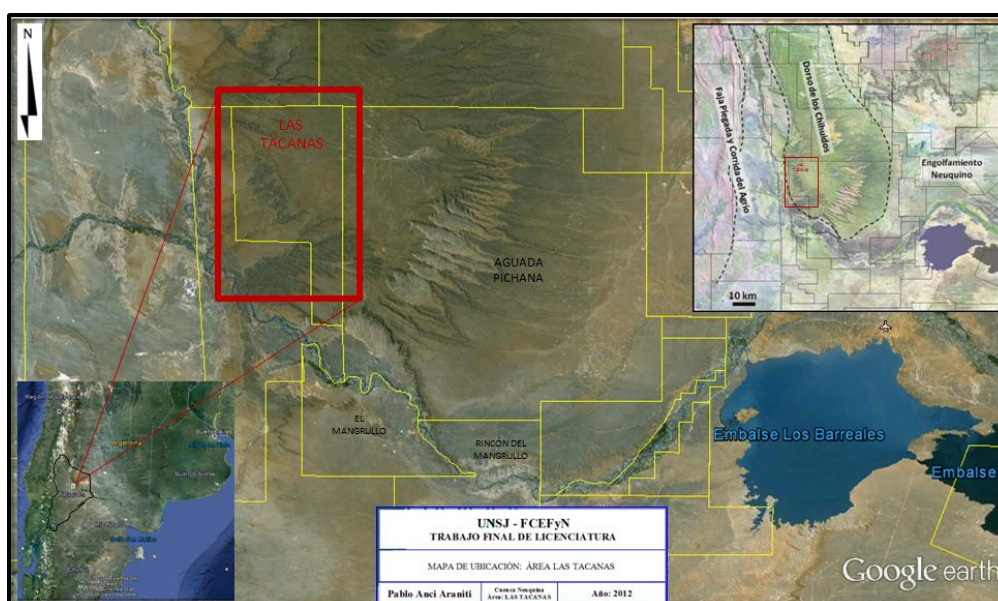


Figura 4: Mapa de ubicación: área Las Tacanas (imagen satelital de Google Earth modificada).

En cuanto a la geología local, los rasgos estructurales más destacados son: al noreste el alto del “Dorso de Los Chihuidos”, caracterizado como una gran estructura anticlinal, elongada en la dirección N-S, con una extensión de más de 70 km y un relieve estructural de unos 600m (Maretto *et al*, 2005) y al suroeste por “La Faja Plegada y Corrida del Agrio” (ver parte superior derecha Figura 4).

Este marco estructural aparentemente simple, de la región occidental del Engolfamiento de la Cuenca Neuquina (área de trabajo), presenta mayor complejidad en el subsuelo (Maretto *et al*, 2005; Mosquera *et al*, 2006; Zamora Valcarce *et al*, 2009, en Brinkworth *et al*, 2011).

La estructura del subsuelo puede separarse en dos niveles, uno somero y otro profundo separados por las evaporitas de la Fm. Auquilco, nivel de donde despegan una serie de fallas inversas de banjo ángulo, con rumbo norte-sur y con vergencia oriental (fallamiento somero de Aguada Pichana; Brinkworth *et al*, 2011), en una zona cercana al área de trabajo.

Al sur y más retirado del área de trabajo, se encuentra la Dorsal de Huincul, rasgo que divide a la Cuenca Neuquina en dos subcuencas: la principal hacia el norte y la subcuenca de Picún Leufú hacia el sur. Esta dorsal ha sido interpretada como un sistema de cizalla dextral E-W (Ploszkiewicz *et al*, 1984; en Uliana *et al*, 1993).

Respecto a la geología sedimentaria, la acumulación de sedimentos del Jurásico – Cretácico, ocurrió en un depocentro de tras-arco (*back arc*) parcialmente cerrado (Figura 5) situado sobre el margen occidental de la Placa Sudamericana y conectada con el Océano Pacífico (Uliana *et al*, 1993; en Legarreta *et al*, 2005) y gobernado por un régimen tectónico extensional (Legarreta, 2002; en Legarreta *et al*, 2005), afectado por reiterados episodios de inversión que potenciaban o retractaban las variaciones eustáticas (Barredo *et al*, 2010).

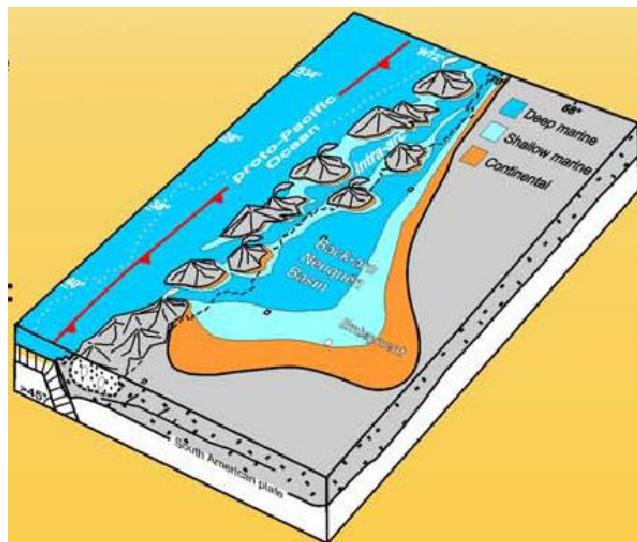


Figura 5: Cuencas de tras-arco. Ej. Jurásico Sup.-Cretácico de la Cuenca Neuquina, en Spalletti *et al*, 2005.

En cuanto a la diversidad de rocas que es posible hallar en el área de trabajo, ésta representa a casi todos los ambientes sedimentarios, como por ejemplo: volcánico-volcanoclástico, marino (profundo, somero, hipersalino), fluvial, evaporítico y eólico, (Mendiberri *et al*, 2002), donde se destaca la reiterada alternancia de acumulaciones detríticas, carbonáticas y evaporíticas, (Legarreta *et al*, 1999) mostrando una estratigrafía cambiante y compleja.

SISTEMA PETROLERO

En nuestra área de trabajo el Sistema Petrolero está constituido por las lutitas negras de la Fm. Vaca Muerta y Los Molles. Los principales reservorios, mayormente portadores de gas y petróleo liviano, son las areniscas de la formación Tordillo y adicionalmente, las formaciones Lajas y la Lotena (Legarreta *et al*, 2008).

Nuestra roca madre, Fm. Vaca Muerta, aporta gas y petróleo no sólo a las trampas estructurales y combinadas de este sector, sino que también posee grandes acumulaciones en la "cocina" de las misma, *Shale Gas* y *Shale Oil*. El sistema de carga vinculado a esta formación muestra niveles con gran riqueza de materia orgánica, buenos reservorios e importantes sellos pelíticos (Legarreta *et al*, 2008).

La migración desde las formaciones: Los Molles y Vaca Muerta hacia los reservorios de la formación Tordillo, habría tenido lugar verticalmente a través de fallas (Legarreta *et al*, 2008).

Las acumulaciones desarrolladas en la formación. Mulichinco estuvieron alimentadas también por la migración vertical desde la formación Vaca Muerta, siendo la zona de evaporitas de la formación Auquilco (300 m), una barrera para la migración de los hidrocarburos (Legarreta *et al*, 2008).

MATERIALES

Para la realización de los objetivos del presente Trabajo Final de Licenciatura de Grado, se dispuso de diferentes recursos: Humanos, Tecnológicos y Económicos. Además se contó con un Conjunto de Datos de carácter confidencial, que fueron fundamentales.

Recursos Económicos

Se contó con el apoyo económico del convenio que integró:

- ✓ El ***Gabinete de Geociencias Aplicadas a la Exploración y Producción de Hidrocarburos*** (GGAEPH), dependiente de los departamentos de Geofísica y Astronomía y Geología, de la Facultad de Ciencias Exactas Física y Naturales (**FCEFYN**) de la Universidad Nacional de San Juan (**UNSJ**). Donde, ubicado en el tercer piso de la casa de altos estudios arriba mencionada, se desempeñó la totalidad del trabajo.
- ✓ La Universidad Nacional del Comahue, que además aportó un set de datos de sísmica 3D, correspondiente al área del Rincón del Mangrullo.
- ✓ La empresa Energía Minera S.A. (EMSA), que además le facilitó al GGAEPH un set de datos de sísmica 3D, correspondiente al área Las Tacanas (*zona de trabajo*) y datos de pozo.

Recursos Humanos

Se contó con el apoyo del:

- ✓ ***Lic. Martín Cevallos***, profesor Adjunto, cátedra de Geología de Combustibles, departamento de Geología, FCEFYN – UNSJ (*Asesor* del presente trabajo).

Y como soporte del Gabinete las:

- ✓ ***Lic. Lucia Ruzycki***, profesora Titular SE (Iterino), cátedra de Geología Aplicada II, "Principios sobre el Análisis de Cuencas Sedimentarias", departamento de Geofísica-Astronomía, FCEFYN – UNSJ.
- ✓ ***Lic. Silvia Tejada***, Interprete Geofísica de Información Hidrocarburífera, Consultoría Privada.

Quienes actualmente, trabajan en conjunto en el GGAEPH, y debido a su gran experiencia, garantizaron un seguimiento completo del trabajo a realizado.

Recursos Tecnológicos

El instrumental utilizado consistió en:

- ✓ una “Estación de Trabajo de escritorio” (*Workstation*), que consiste en una computadora, conformada por dos pantallas de alta resolución, teclado y mouse,
- ✓ una “Estación de Trabajo Portátil” (*Noteboock*), a la que se le conectó una pantalla de alta resolución.

Ambas computadoras facilitan a los usuarios el acceso a los servidores y periféricos de una red local y como principal ventaja, el hardware descrito esta optimizado para desplegar y manipular datos complejos, para soportar el diseño y modelado en 3D y simular datos sísmicos, correlaciones de pozos, etc., donde generalmente se mantienen operacionales en situaciones en las cuales cualquier computadora profesional tradicional dejaría rápidamente de responder.

Respecto al software utilizado, *GeoGraphixTM* (Landmark – Halliburton), es una plataforma de interpretación que contiene varios módulos de geociencias que comparten una base de datos común, pero pueden ser utilizados de manera independiente. Dicho software corre bajo el sistema operativo de Windows - Microsoft Corporation.

Recursos Bibliográficos y Set de Datos de trabajo

La totalidad del Trabajo realizado fue trabajo de gabinete, labor que se realizó, como fue mencionado anteriormente, en el GGAEPH de la FCEFyN – UNSJ con los recursos antes descriptos, soportados por:

- ✓ Información Bibliográfica de la biblioteca de FCEFyN – UNSJ.
- ✓ Información recomendada por el Asesor del Trabajo.
- ✓ Información consultada en Internet.

El conjunto de datos consistió en (Figura 6):

- ✓ Un (1) Cubo sísmico 3D (en formato “.segv”), distrito **Las Tacanas** el cual cubre un área de 227 km² y representa la totalidad de la zona de estudio.
- ✓ Un (1) Cubo sísmico 3D (en formato “.segv”), distrito Rincón del Mangrullo el cual cubre un área de 360 km², al sur-este del área de trabajo.
- ✓ Cuarenta y dos (42) Líneas sísmicas 2D (en formato “.segv”), que suman un total de 465km, distribuidas como se muestra en la Figura 6.
- ✓ Veintiocho (28) pozos con sus respectivos perfiles eléctricos (en formato “.las”), distribuidos como se muestra en la Figura 6.

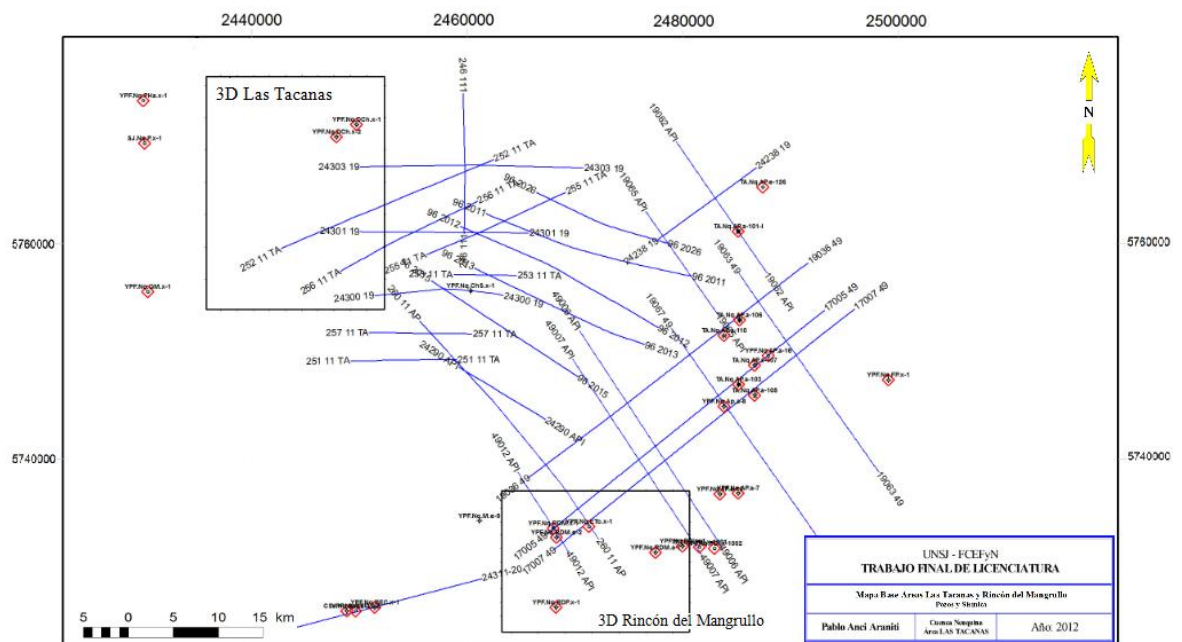


Figura 6: Mapa de Ubicación del Set de datos de Trabajo (módulo GeoMap del software Geographix™).

MÉTODOS

Como fue mencionado anteriormente Geographix™ es una plataforma, diseñada específicamente para la interpretación sísmica, que trabaja con diferentes módulos que comparten una base de datos común pero que también pueden ser utilizados de manera independientes. Resulta importante destacar que la información generada o modificada en la base de datos por un módulo específico, puede ser compartida por los demás.

La primer etapa del trabajo consistió en generar un proyecto en Geographix™, para lo que se utilizó el módulo “**Project Explorer**” (Figura 7). Este módulo muestra la base de datos del proyecto y además permite acceder a los demás módulos de Geographix™. En este paso es

importante destacar el sistema de unidades (Métrico) y el sistema de referencia (Gauss-Kruger Zona 2, Campo Inchauspe) con los que se va a trabajar. Así se importaron los datos de sísmica 2D y 3D (en formato *.seg*) y los perfiles de pozos (en formatos *.las*).

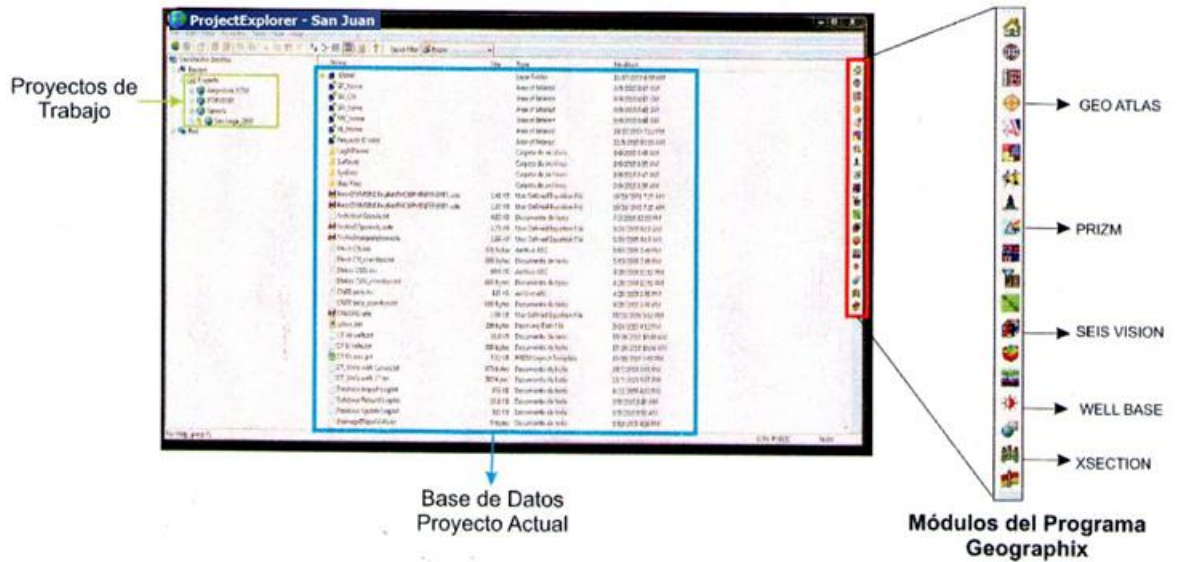



Figura 7: Vista general del módulo “Project Explorer” del software Geographix™.

Carga de Pozos

A través del módulo principal “Project Explorer”, en el menú de íconos de la derecha (ícono: ) ingresamos al módulo “WellBase”, (Figura 8), quien nos brinda la información de los distintos pozos del proyecto y el que nos permite la visualización, modificación y ajuste de los datos de pozo.

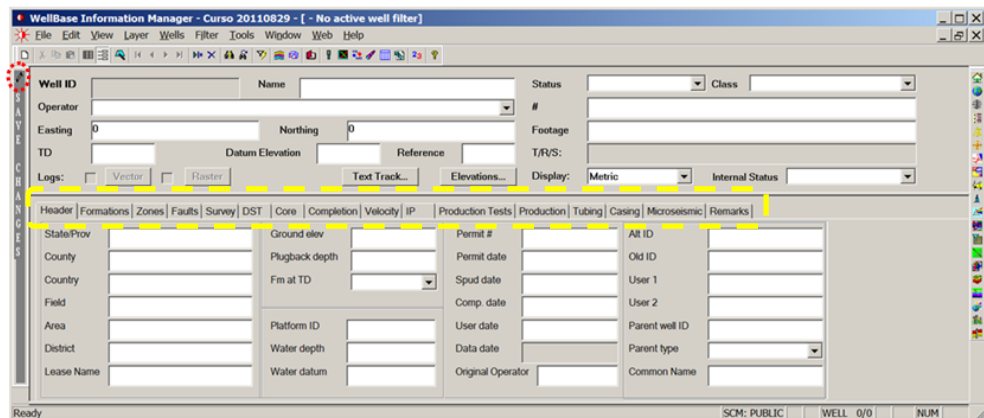



Figura 8: Vista general del módulo “WellBase” del software Geographix™.

Una vez finalizada la carga de pozos (>**File**>**Add new Well**), es importante recordar que para salvar los datos ingresados en el proyecto, se debe hacer click en el “lápiz” que se encuentra arriba de la palabra “Save Changes” a la izquierda de la ventana (círculo rojo, Figura 8), y cuando éste se transforma en un “triángulo negro”, quiere decir que todos los datos ingresados están salvados.

La ventana del módulo “WellBase” también muestra una serie de pestañas (rectángulo amarillo en la Figura 8), con las que es posible ver y cargar los datos del “Cabezal del pozo” (*Header*), cargar topes formacionales, fallas, leyes de velocidad, niveles de “*casing*”, entre otras cosas.

Carga de los perfiles eléctricos de pozo

Finalizada la carga de pozos, con el módulo “**Prizm (Log Analysis)**” en el menú de íconos de la derecha (ícono ) en el Project Explorer (Figura 7), importamos al proyecto los perfiles eléctricos de cada pozo (archivos en formato “.las”: Log ASCII Standard), desde >**File**>**Import**>**LAS/LBS Import**.

Al finalizar vamos al menú superior, >**File** >**Open Well**, opción que lista la base de datos de pozos con curvas cargadas y, seleccionando un pozo y clickiando >**Open** se abrirá un “**Template Gráfico**” que muestra las curvas del pozo en distintos “*Tracks*” (Paneles o columnas) referenciados en profundidad (Figura 9).

Haciendo doble click en algún *track*, se despliega la opción de “**Log Template Properties**”, con la cuál podremos editar escalas, colores, grosores, trazos, etc., de cada *track* y curva. Una vez logrado el *Template*, que nos resulta más útil, puede ser guardado (>**File** >**Save As Template**).

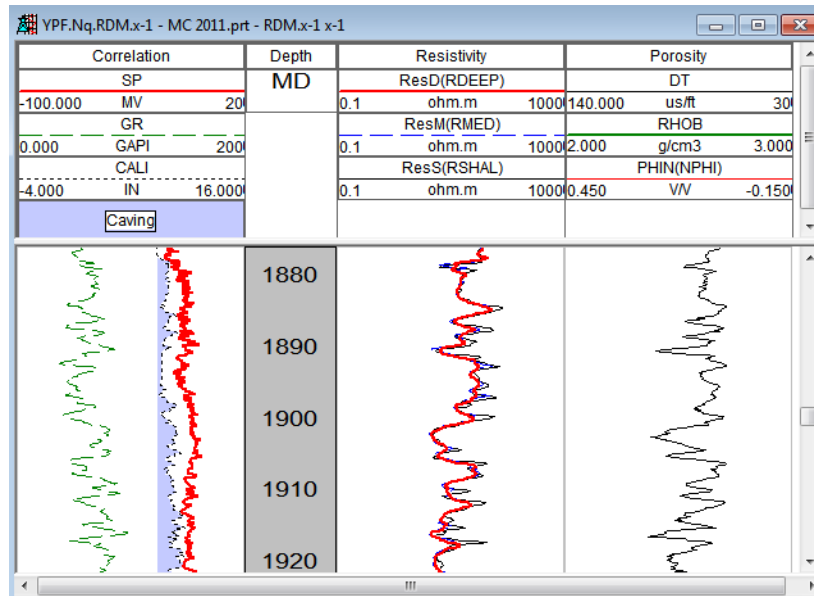



Figura 9: Visualización de curvas de un registro de pozo con el módulo “Prizm” del software Geographix™.

Carga y Visualización de información Sísmica

A través del módulo principal “Project Explorer”, en el menú de íconos de la derecha (ícono: ) ingresamos al módulo “SeisVision”, (Figura 7). Éste, es el módulo principal de interpretación sísmica que permite visualizar las trazas sísmicas en líneas “Crossline” (líneas sísmicas en la dirección de la fuente) o “Inline” (líneas sísmicas en la dirección de los geófonos), colgar pozos, picar horizontes, señalar estructuras como fallas, realizar horizontalizaciones (*flatening*), de acuerdo a una línea de tiempo (u horizonte interpretado), etc (Figura 11).

Para poder llevar a cabo lo descrito anteriormente, primero fue necesario cargar la sísmica en el proyecto. En el menú superior entramos en **>Load Seismic >Load 3D Data** y buscamos en **Input SEG-Y File** el archivo “.sgy” de la sísmica que deseamos incorporar a nuestro proyecto, cargamos los datos de ubicación y coordenadas y luego exportamos el archivo de salida cuyo nombre y formato es: **GGX.3ds**.

Una vez finalizada la carga, se debe generar una nueva interpretación en el módulo “SeisVision”, a través de **>File >New Interpretation**. Luego de nombrar la nueva sesión, se abre la ventana “MapView”; le asociamos los datos sísmicos y los pozos que vayamos a utilizar en nuestro proyecto (Figura 10).

Los íconos resaltados con el recuadro rojo, en la figura 10, nos permiten vincular rápidamente “MapView” con “SeisVision” y visualizar la traza sísmica (*Inline, Xline*, etc.). Se desplegó, a

modo de ejemplo, la *Inline* 336, mediante el botón de selección de *Inline* y se abrió la ventana con la línea seleccionada (Figura 11).

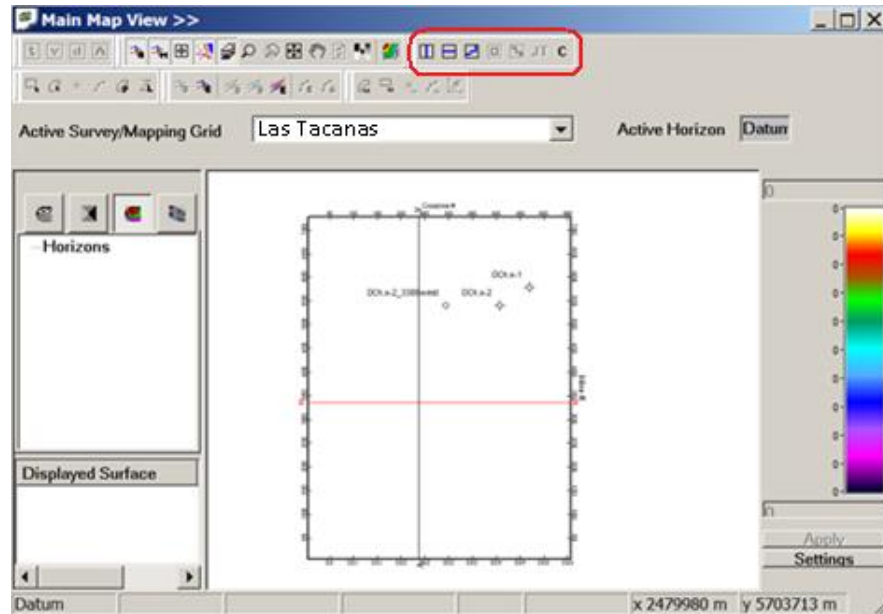


Figura 10: Visualización del módulo “Map View” del software Geographix™.

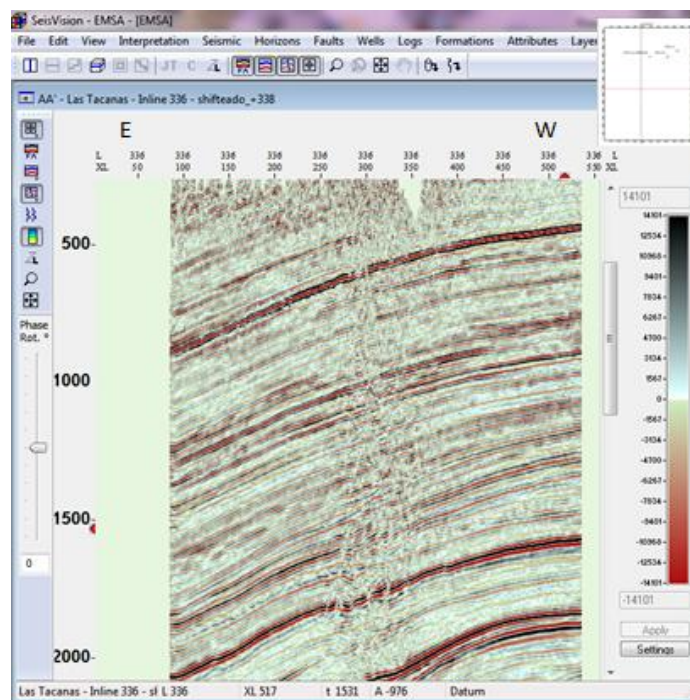


Figura 11: Visualización de la línea sísmica “Inline 336”, en módulo SeisVision de Geographix.

En la parte superior de la Figura 11, vemos las referencias de *InLine* y *XLine* para cada posición de la sección. En la parte inferior vemos referencias, éstas variarán según la posición en la que tengamos el cursor dentro de la sección y son: nombre del registro; nombre de la línea; versión del registro; *InLine* y *XLine*; tiempo en ms (t); amplitud sísmica (A), *Datum*; coordenada X/Y. En la parte izquierda de la ventana (Figura 11) hay una serie de íconos que permiten prender y apagar pozos, anotaciones, fallas, horizontes, trazas sísmicas, paleta de color, medir distancia, hacer *zoom* y *unzoom*.

Una vez generado el proyecto, cargado los pozos con sus perfiles y cargada la sísmica, el siguiente paso consiste en realizar las tareas de: calibrar los datos pozos (identificando pozos claves) con la sísmica; vincularlos los pozos con la sísmica (***colgado de pozos***), lo que involucra la generación de ***sismogramas sintéticos***, correlacionar los pozos y definir e interpretar los horizontes guías.

Calibración de los datos de pozo y sísmicos (“atado de pozos en tiempo” o “atado sísmico de pozos”)

En el área Las Tacanas, no se contó con pozos perforados dentro del ***dato sísmico***, los pozos más cercanos al dato sísmico son el DCh.x-2 y DCh.x-1 (Figura 12), ubicados 1.4 km y 3.3 km hacia el Este respectivamente. Se generó un pozo ficticio (que se identifica en la Figura 12 con color rojo), ubicado a 3.4 km al Oeste y se le cargaron las curvas del DCh.x-2 (Figura 12). Esto se infiere como una buena aproximación, ya que los espesores sísmicos de las unidades a correlacionar no presentan fuertes variaciones. Además, los reflectores sísmicos son bastante homogéneos en amplitud y geometría.

Se trabajó con el pozo Dch.x-2 (desplazado), correspondiente al área “Las Tacanas” y con dos pozos ubicados en un prospecto cercano al área de trabajo, RDM.x-1 y Eto.x-1, del área Rincón del Mangrullo. (Tabla 1).

Área	Pozo	Profundidad Final Alcanzada (m)	DT (tiempo de tránsito sísmico) (us/ft)	RHOB (densidad) (gr/cm3)
Las Tacanas	DCh.x-2 ext	3600	si	A partir de los 2000 m
RDM	RDM.x-1	3700	si	Desde los 1800 m
RDM	Eto.x-1	1900	si	si

Tabla 1: Pozos del área Las Tacanas y Rincón del Mangrullo con sus respectivas profundidades y perfiles indispensables para la generación de los sismogramas sintéticos.

Las curvas DT y RHOB, fueron editadas, mediante filtrado y/o correcciones manuales, en las zonas donde el pozo presentaba malas condiciones (paredes irregulares y/o diámetros muy grandes). De esta manera se reducen los ruidos que se pueden generar en los sismogramas sintéticos.

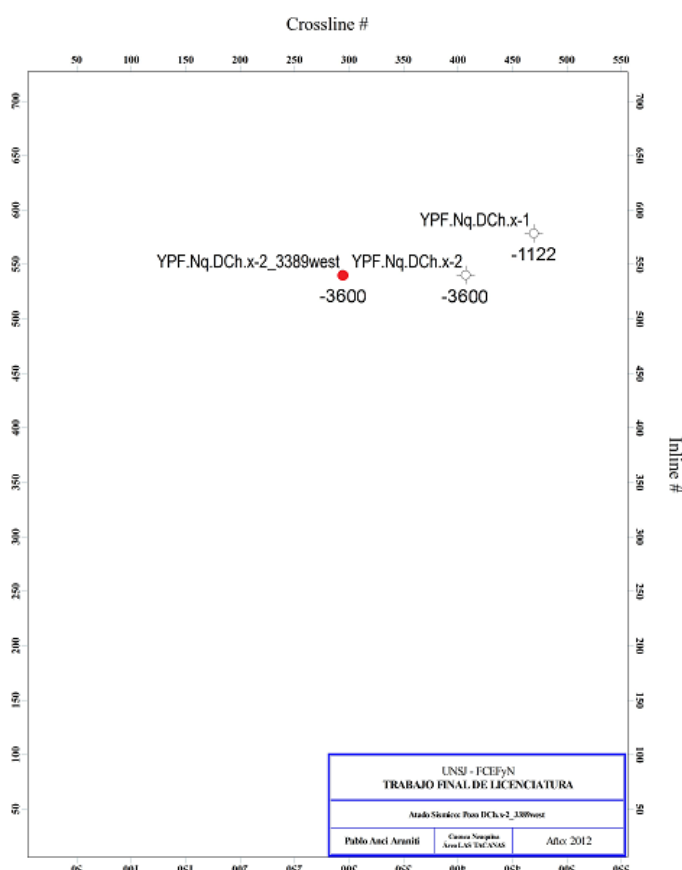



Figura 12: Visualización del área de trabajo, distribución espacial y ubicación areal de los pozos del proyecto.

Gracias a los amplios conocimientos y a la experiencia laboral en la Cuenca Neuquina, del Lic. Martín Cevallos (Asesor del presente trabajo) y a los “pases formacionales” provistos por la empresa EMSA en el marco del convenio antes descripto, fue posible identificar los “*markers* eléctricos” en los perfiles eléctricos de los pozos.

Con esta información se procedió a redefinir los pases formacionales teniendo en cuenta las propiedades petrofísicas, visualizadas en los perfiles, de las distintas formaciones atravesadas por los pozos. Para esto, se utilizó el módulo **XSection** () del software Geographix™ (Figura 7). Donde se desplegaron los perfiles de los tres (3) pozos y se los correlaciono (Figura 13).

La gran cantidad de información geológica provista por los registros de pozo, presenta la limitación de estar sólo circunscripta a las inmediaciones de las paredes del pozo. Es por esto que la sísmica resulta ser un buen complemento para darle a esta información geológica continuidad lateral en el subsuelo. Por lo tanto, al disponer de ambos datos (sísmica de superficie y registros de pozo), resulta de fundamental importancia para el intérprete poder relacionarlos. Una forma de hacerlo, es a través de la obtención de una *traza sísmica sintética* (*sismograma sintético*: forma simple de modelado sísmico unidimensional, registro sísmico, que debe observarse para una determinada secuencia de formaciones rocosas, Gadallah, M. 1994) y por ende una *ley de velocidad* a lo largo de los pozos, la que permita asociar los datos litológicos (escala de profundidad) a los eventos sísmicos (escala de tiempo), a fin de poder identificar la correspondencia entre los reflectores sísmicos y los pases formacionales de interés (*markers* eléctricos) brindados por el pozo.

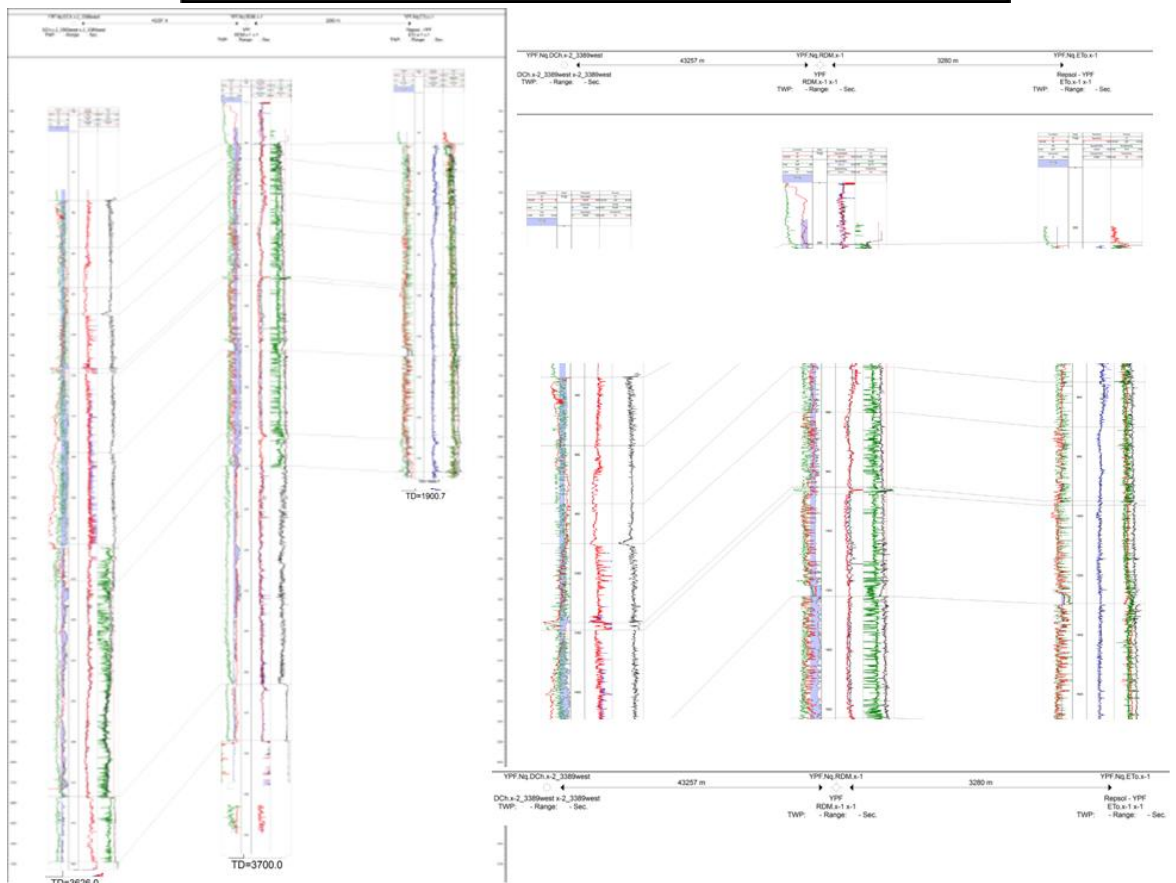
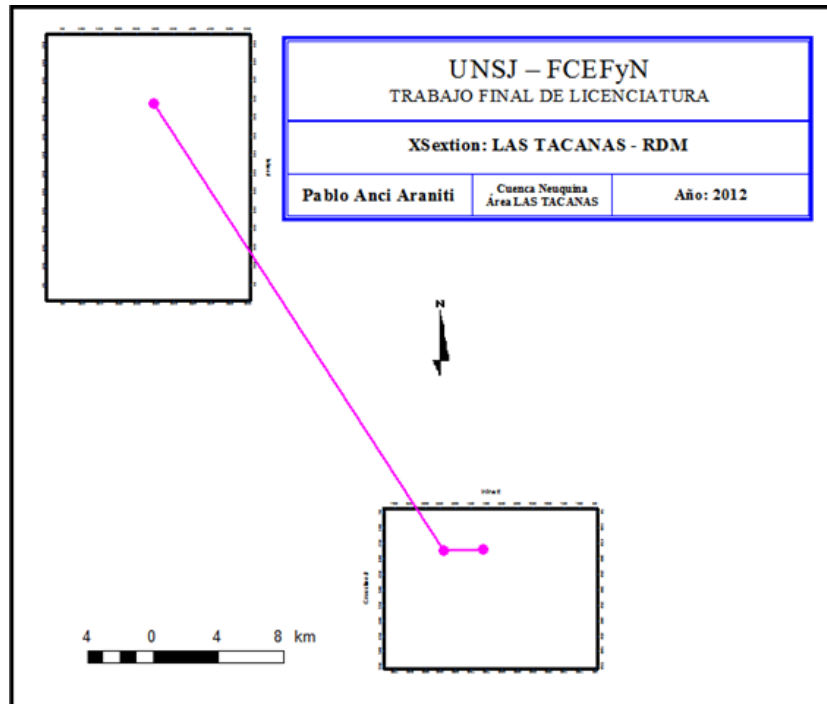


Figura 13: Correlación de pozos y visualización del módulo “XSection” del Software Geographix™.

Para la obtención de los sismogramas sintéticos es fundamental que los pozos cuenten con dos registros en particular: el perfil acústico o sónico y el perfil de densidad, donde este último, en el peor de los casos, podría reemplazarse por una densidad constante.

La generación de los sismogramas sintéticos se realiza a partir de la convolución (operación matemática (Figura 14) de una ondícula genérica, que representa la señal sísmica a la cual se le puede variar la frecuencia, forma, fase, etc., y la serie de coeficientes de reflexión que representa el contraste de las propiedades del terreno, en particular contrastes de impedancia acústica (Z). Siendo esta última una propiedad física del terreno definida a partir de la velocidad y la densidad del mismo.

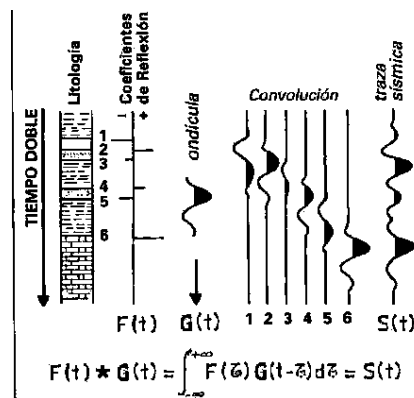


Figura 14: Operación matemática de convolución; modelo de traza sísmica, (Chelotti *et al*, 2010).

En el software la realización de los sintéticos es en forma automática, con el módulo *SeisVision* de GeographixTM. La calidad del sismograma sintético obtenido depende de varios parámetros: la calidad de los registros de pozos, el procesamiento de la sísmica de superficie, la ondícula elegida, la corrección de la deriva del perfil sónico, etc.

En el modulo arriba mencionado se despliega una ventana “**SynView**” que muestra el sismograma sintético del pozo y permite compararlo con las trazas sísmicas del cubo cercanas al pozo, para establecer la correlación entre estos. Así se ajusta la escala en profundidad del sismograma sintético a la escala en tiempo del cubo sísmico 3D (Figura 15).

Una vez realizado el colgado de pozos podemos desplegar la información de los perfiles y markers eléctricos junto con la información sísmica en una misma escala vertical (tiempo). En la Figura 16 se muestra el pozos DCh.x-2, “colgado o atado” en una sección sísmica N-S. A la izquierda del pozo se muestra el “perfil de SP” (en color rojo) y a la derecha el “Sismograma Sintético” (en color azul); todo esto sobre la “Sísmica de Superficie” (cubo 3D “Las Tacanas”).

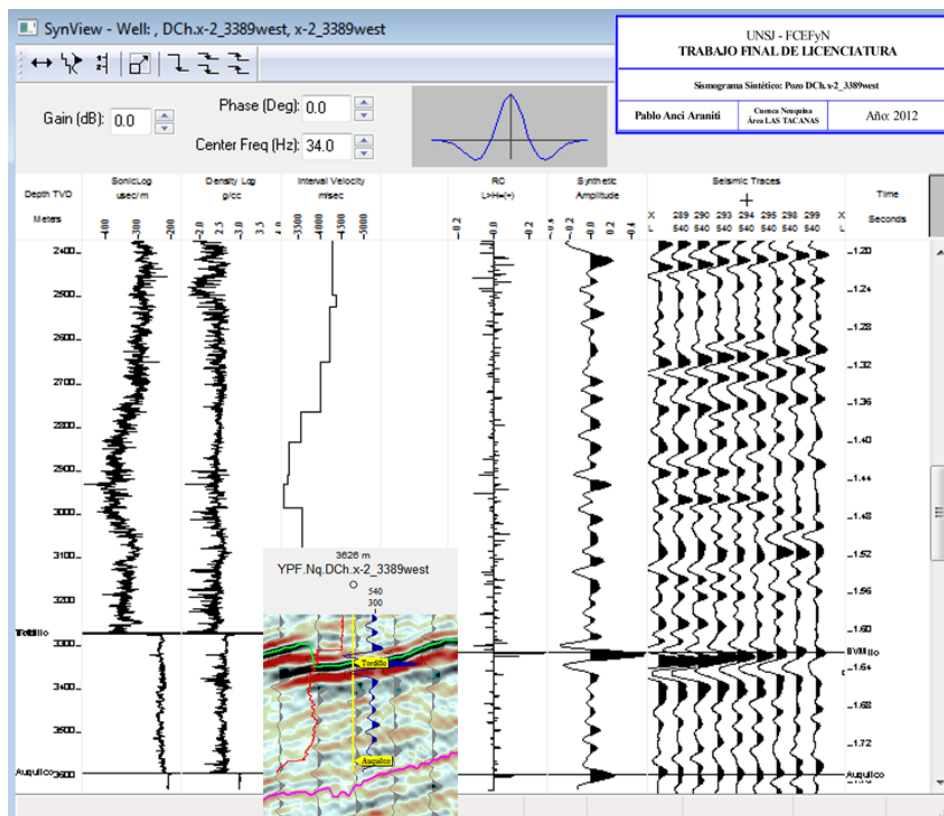


Figura 15: Ajuste entre el Sismograma Sintético y la Sísmica 3D, módulo SynView del Software Geographix™.

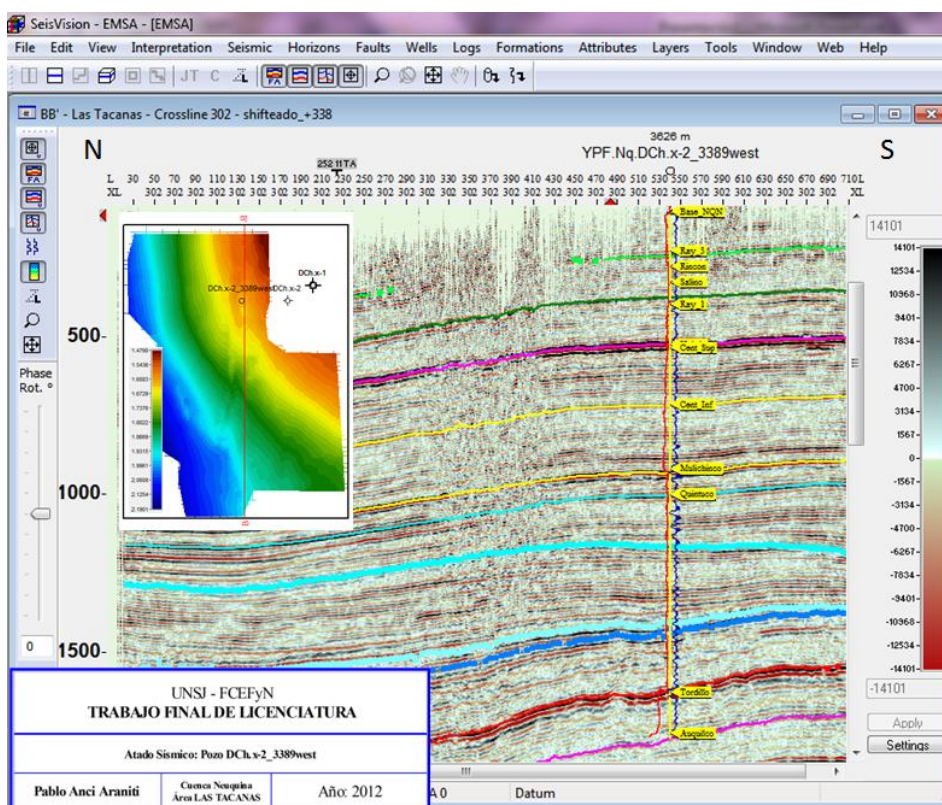


Figura 16: Atado Sísmico del pozo DCh.x-2 en la sísmica de superficie, módulo SeisVision del Software Geographix™.

Definición e Interpretación de horizontes sísmicos guías

Una vez identificados los reflectores sísmicos con sus correspondientes pases geológicos, se procedió a seleccionar los principales horizontes sísmicos a interpretar.

Como criterio para su elección, se eligieron los horizontes sísmicos con mayor continuidad lateral y buena coherencia, fuertes en amplitud y que reflejaban la geología del área de estudio. Cabe destacar que nuevamente la gran experiencia del Lic. Martin Cevallos fue la base consistente para la selección de los horizontes.

Dependiendo de las características de cada reflector guía, se seleccionó para su interpretación un pico, valle o cruce por cero de la ondícula (Figura 17).

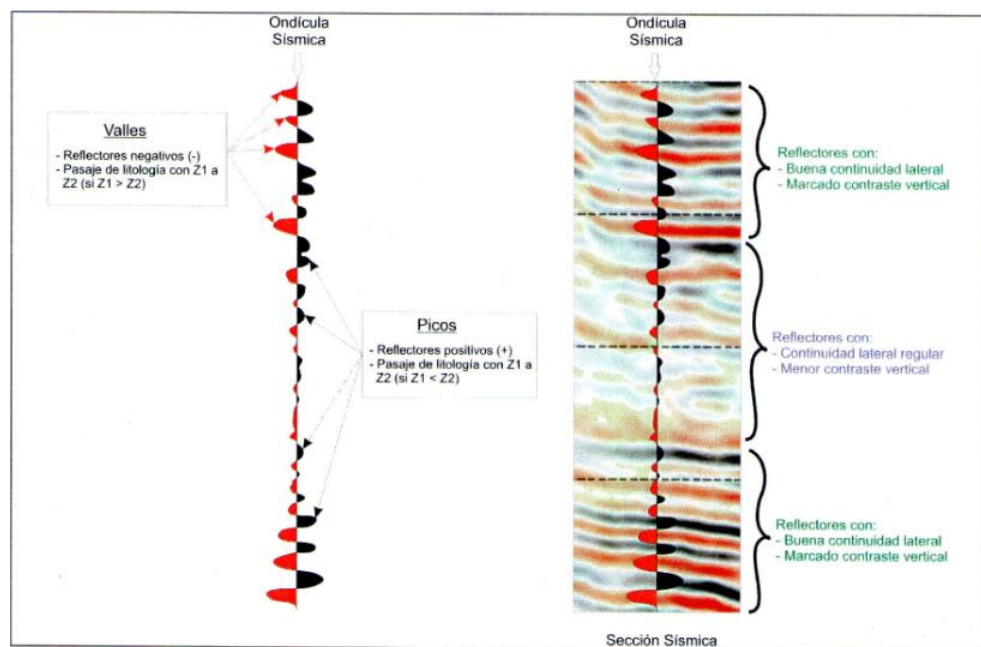


Figura 17: Características de los horizontes interpretados (Tapia Baldis, 2011).

En la Figura 18 se muestran los horizontes sísmicos interpretados a lo largo de este trabajo.

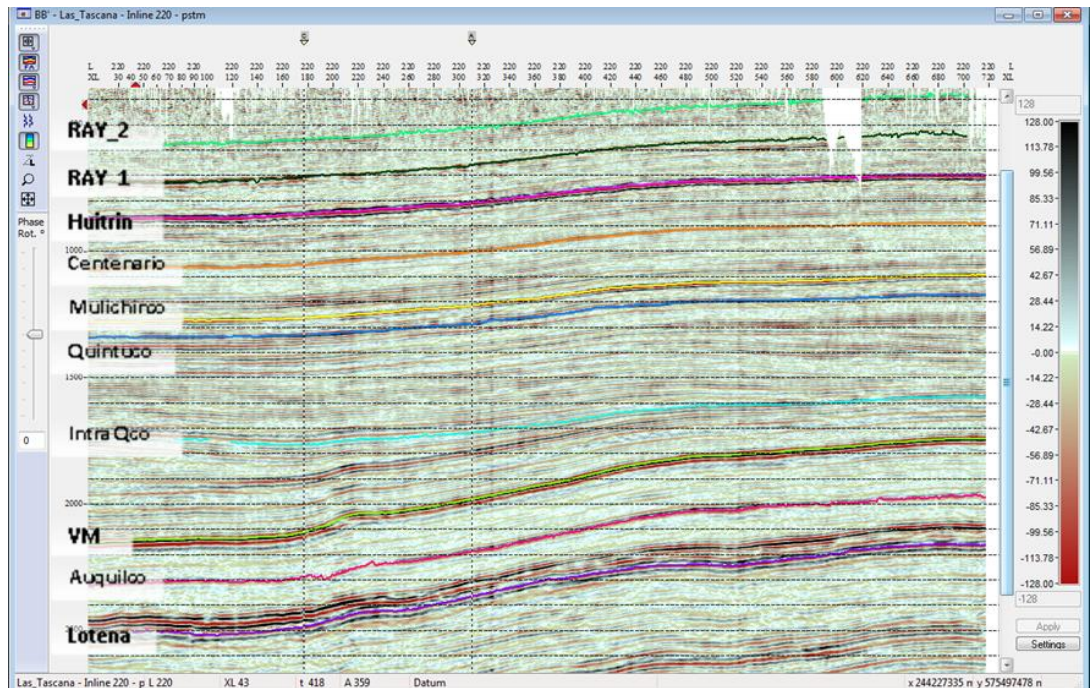


Figura 18: Horizontes interpretados en el Cubo Sísmico Las Tacanas, módulo SeisVision del Software Geographix™.

El "picado, pintado" o *interpretación*, es sencillamente el seguimiento de un horizonte o un reflector a través de una línea sísmica y por todo el cubo. La interpretación de horizontes sísmicos se realiza desde el módulo *SeisVision*, utilizando las herramientas de interpretación del software mostradas en la (Figura 19):

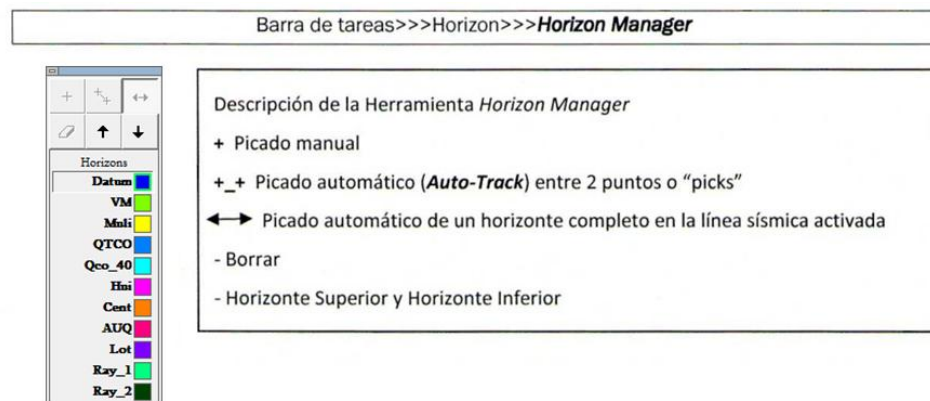


Figura 19: Herramientas de interpretación de horizontes sísmicos, módulo "SeisVision" del Software Geographix™.

La interpretación de un horizonte puede realizarse de *manera manual* (punto a punto), o de *manera automática (autotrack)*, donde el programa a partir de establecer ciertos parámetros de configuración, realiza el seguimiento o picado automático del reflector.

Es importante destacar que la utilización del picado automático necesita un atento control del intérprete, ya que al encontrarse con cualquier irregularidad presente en el dato, la herramienta de interpretación automática podría interpretar de manera equivocada el horizonte.

Los parámetros a tener en cuenta son:

- Tipo de reflector a seguir: Valle (reflector negativo) o Pico (reflector positivo)
- Nivel de precisión: indica cada cuántos msec detectará el tipo de reflector elegido.
- Nivel de detección: señala, cada cuántos reflectores se interpretará.

En las primeras etapas del trabajo de interpretación y/o picado, es conveniente seguir sistemáticamente al horizonte de interés cada 50 o 20 líneas en dirección *InLines* y *CrossLines* lo que nos permite tener una idea general él. Una vez obtenido un modelo satisfactorio del horizonte, puede densificarse la escala de picado cada 5 líneas, o si el dato lo permite con una separación menor en zonas más complejas.

Una vez concluida la interpretación de un horizonte se obtiene un grillado del mismo a través de las distintas *Inlines* y *Crosslines* (Figura 20). Es posible completar los espacios vacíos de este grillado a través de una herramienta de picado automático (*Auto-picking*). Esta herramienta interpola o correlaciona la información de las trazas sísmicas interpretadas y genera de acuerdo a la misma, datos para los espacios vacíos de la grilla.

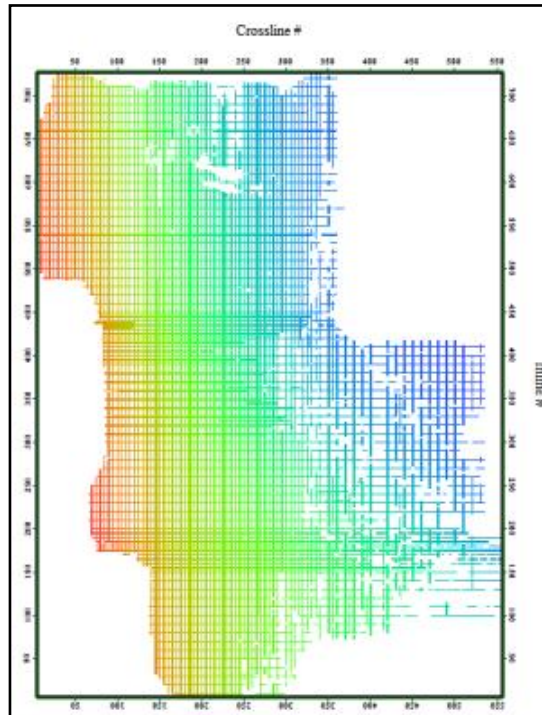


Figura 20: Grillado obtenido a partir de la interpretación de un horizonte sísmico cada 5 *Inline* y *Crossline*, con el módulo “Map View” del Software Geographix™.

El resultado de la interpolación o correlación realizada es la obtención de distintos tipos de mapas.

El más básico que se puede obtener a partir de una interpretación sísmica es un mapa estructural en tiempo, constituido por curvas de igual tiempo de ida y vuelta de las ondas sísmicas en el sentido vertical (escala de segundos o milisegundos).

A partir de estos distintos mapas de atributos sísmicos, como por ejemplo los mapa obtenidos a partir de la extracción de amplitud RMS de los horizontes interpretados y mapas de espesor sísmico en tiempo de las formaciones de interés.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL GENERAL (Cuenca Neuquina, área Las Tacanas)

Diversos estilos estructurales afectaron a la Cuenca Neuquina a través de toda su evolución (Uliana & Legarreta, 1993). Los trenes de fallas principales tienen direcciones son Norte – Sur; Oeste Noroeste - Este Sureste y Noroeste - Sureste (Figura 21).

Desde el Triásico tardío hasta principios del Jurásico, un sistema de fallas extensionales iniciaron el desarrollo de la Cuenca Neuquina. Datos de geología de superficie y datos de pozos, sugieren que durante este tiempo un sistema extensional estuvo activo y controló la depositación de sedimentos (Vergani *et al*, 1995).

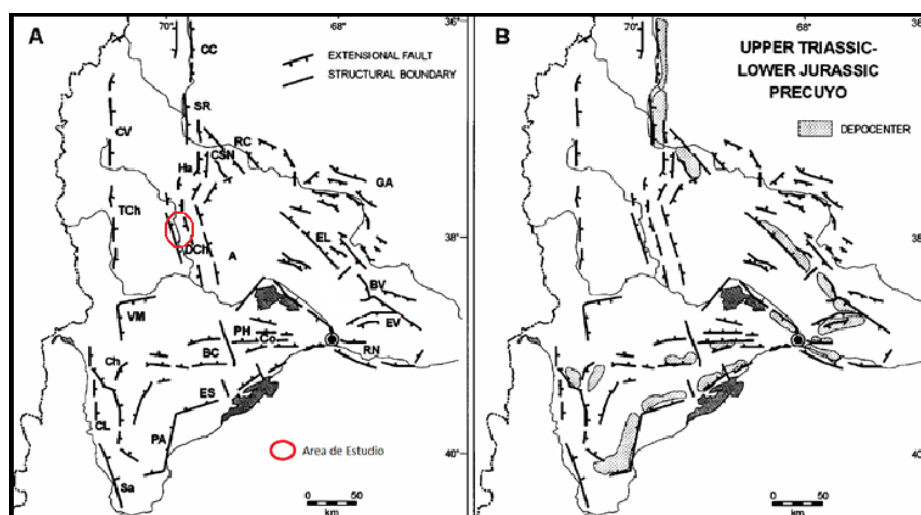


Figura 21: Esquema estructural y principales depocentros de la Cuenca Neuquina y del área de estudio; en Vergani *et al*, 1995.

En el borde oriental de la cuenca, la subsidencia fue controlada por un sistema de fallas extensionales con orientación noroeste – sureste (Figura 21). Este sistema de fallas marca la ruptura entre la plataforma y el núcleo de la cuenca (Vergani *et al*, 1995).

Como fue mencionado en el apartado “*Definición e Interpretación de horizontes sísmicos guías*”, la identificación de reflectores sísmicos, permite obtener un mapa estructural en tiempo de las formaciones interpretadas. Estos mapas en tiempo presentan las mismas características que las de un mapa estructural en profundidad, pero es importante tener en cuenta que las variaciones laterales de velocidad afectarán las geometrías resultantes en tiempo y por ende las estructuras mapeadas a través de la sísmica. Si existen muchos cambios de velocidad, se necesitaría transformar los datos sísmicos de tiempo a profundidad antes de la interpretación de los mapas. Este no fue el caso del área de estudio.

MAPAS SÍSMICOS

✓ FORMACIÓN RAYOSO

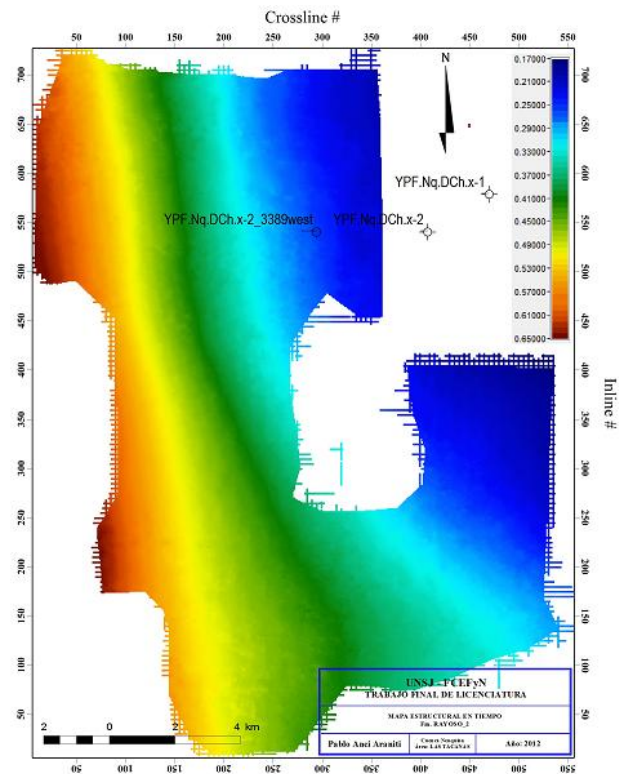


Figura 22: Mapa estructural en tiempo de la Fm. Rayoso a los 500 mseg. (Ray 2), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

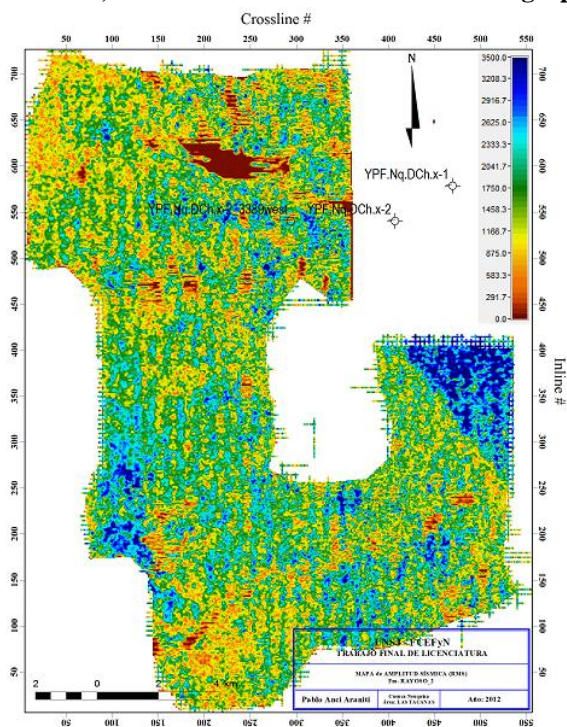


Figura 23: Mapa de Amplitud (RMS), de la Fm. Rayoso (Ray 2), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

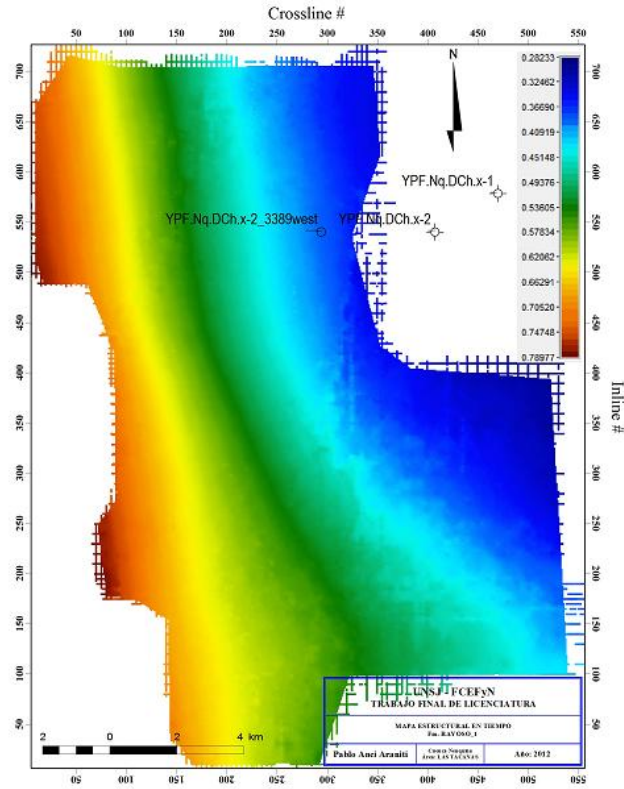


Figura 24: Mapa estructural en tiempo de la Fm. Rayoso a los 620 mseg. (Ray 1), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

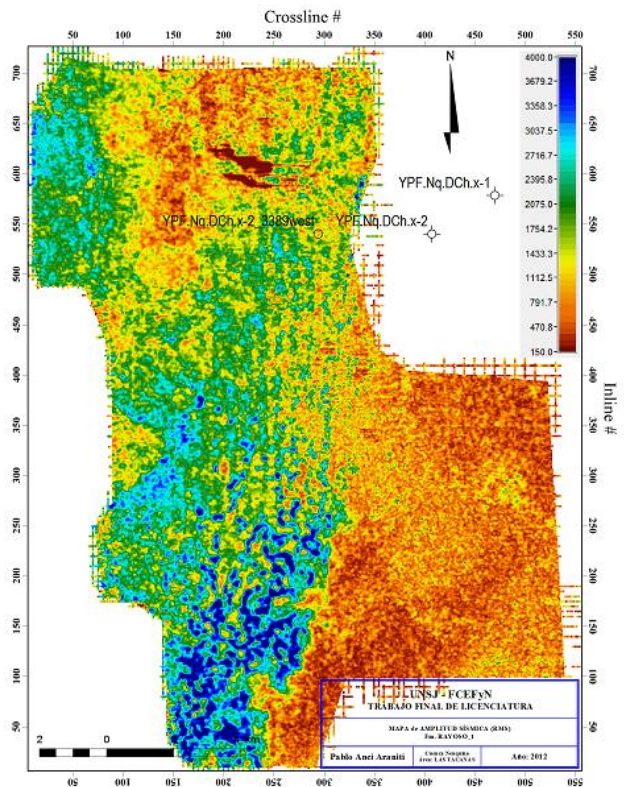


Figura 25: Mapa de Amplitud (RMS), de la Fm. Rayoso (Ray 1), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

En la Fm. Rayoso se interpretaron dos horizontes guías dentro la unidad: Intra-Rayoso 2 y 1 (Figura 18). Los reflectores se encuentran a profundidades (en tiempo) de 500mseg y 620mseg, respectivamente. Estos horizontes, fueron los más superficiales interpretados, presentan discontinuidad lateral y en el zona centro-este, para el horizonte más somero, pérdida total de información (Figura 22), donde se encuentran las mínimas profundidades (menores tiempos).

Sobre la base de lo anteriormente mencionado se los interpretó a ambos horizontes, cuando el dato lo permitió cada 5 líneas en *Inline* y 5 líneas en *Crossline*, siguiendo un pico de amplitud positiva. Y en las partes donde el dato era malo, cada 10 líneas o más en ambas direcciones; en estas zonas, la sísmica tiene muy baja coherencia y amplitud y es posible que domine la presencia de ruido y efectos de irregularidades topográficas.

En las líneas sísmicas se pudo observar que la Fm. Rayoso mantiene su espesor, a lo largo de todo el cubo, por lo que se infiere que la deformación al momento de su depositación fue lenta y sutil.

En los mapas estructurales se puede observar la baja o nula estructuración en niveles del subsuelo próximos a los 500mseg, apreciándose un buzamiento hacia el SW, debido posiblemente, al hundimiento del flanco occidental del Dorso los Chihuidos (Figuras 22 y 24).

Los mapas de amplitudes muestran rasgos del procesamiento incompleto debido a la falta de suma de *gathers*, (*footprint*), identificada en éstos como zonas de muy baja amplitud (colores rojos intensos) en especial al Norte del cubo. Lo antes mencionado, sumado a una baja relación señal-ruido no permitió considerar como valiosos a estos mapas para los análisis estructurales ni de facies (Figuras 23 y 25). La disminución de amplitudes en la zona de borde del área se debe a la menor calidad del dato sísmico en los bordes del registro y no a algún comportamiento específico. Sin embargo una zona de ruido, potencial zona de escape de fluidos, no está bien resuelta en estos mapas de amplitud pero es visible en las secciones sísmicas (Figura 26).

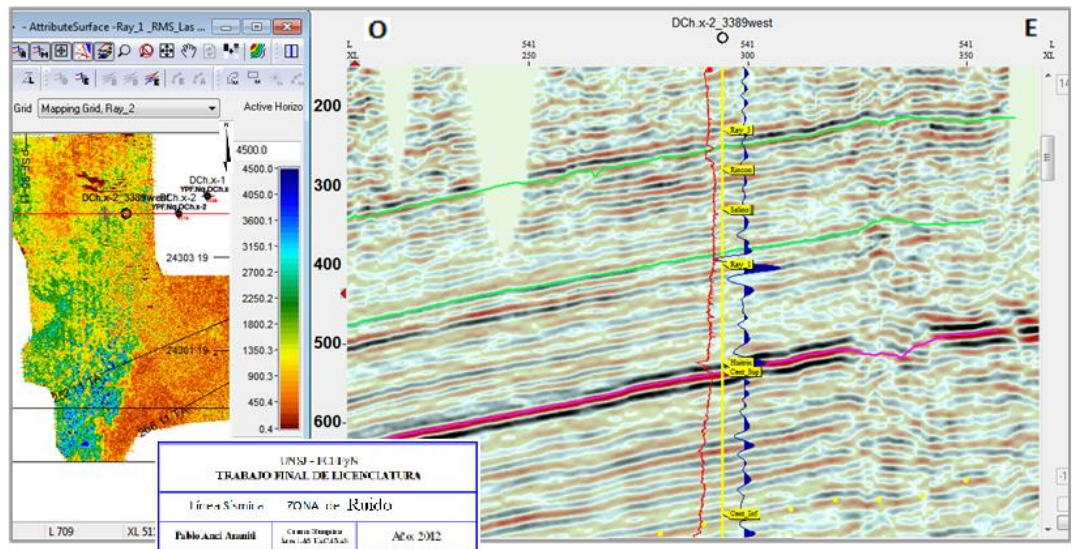


Figura 26: Zona de Ruido, potencial zona de escape de fluidos, módulo SeisVision del Software Geographix™.

✓ FORMACIÓN HUITRÍN

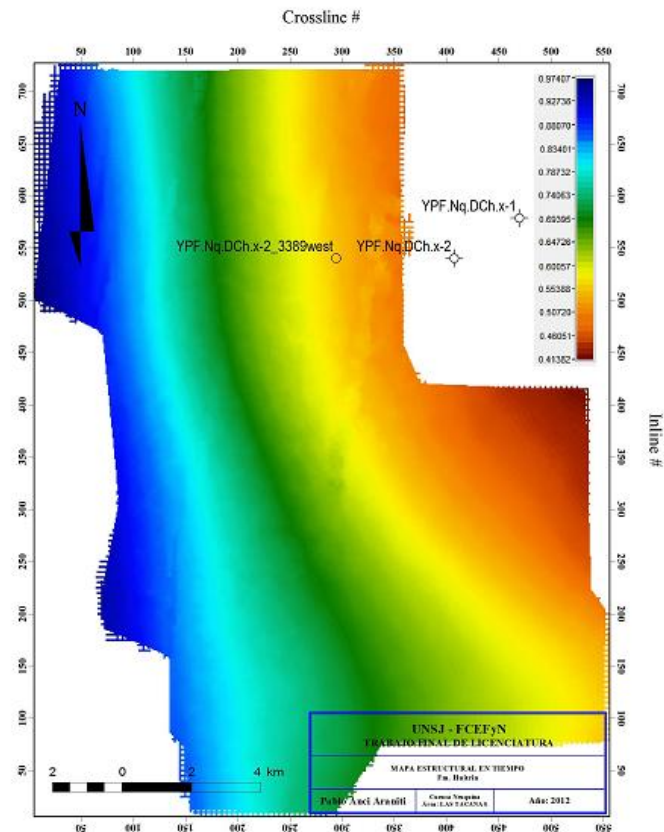


Figura 27: Mapa estructural en tiempo de la Fm. Huitrín a los 740 mseg., área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

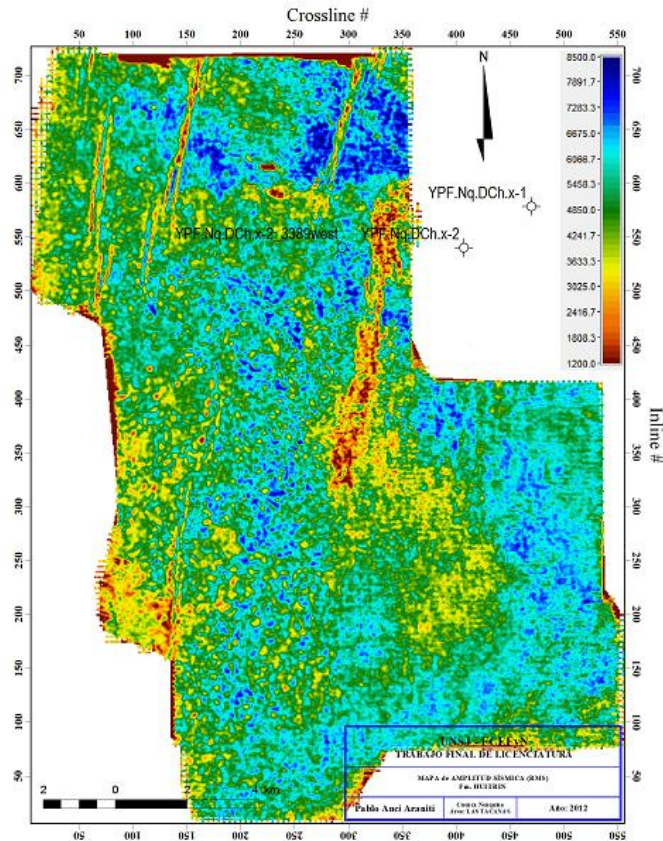


Figura 28: Mapa de Amplitud (RMS), de la Fm. Huitrín, área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

Se interpretó a la Fm. Huitrín con un reflector de muy buena continuidad lateral y alta amplitud a los 740mseg de profundidad, cada 5 *Inline* y 5 *Crossline*, siguiendo un valle (amplitud negativa). Sobre la base de las características del reflector, éste correspondería al Mb La Tosca (60m) de la Fm Huitrín, constituido por calizas y dolomitas con alternancia de calcáreos micríticos y acumulaciones de yeso (Leanza & Hugo, 2001).

En el mapa estructural en tiempo (Figura 27) de esta unidad, se observa que aproximadamente a 120mseg por debajo del horizonte “Fm. Ray1” se mantiene la inclinación de la capa en dirección SW. Además se observa tenuemente (poco relieve estructural) un lineamiento principal NNE-SSW, resaltado y puesto en evidencia en el mapa de extracción de amplitud (Figura 28), donde también aparecen lineamientos paralelos al W, los que no se visualizaban en el mapa estructural. Posiblemente esto es atribuido a zonas de poca coherencia y baja amplitud del dato sísmico, como lo muestran las líneas sísmicas arbitrarias GG’ y EE’ (Figuras 29 y 30 respectivamente), las que también muestran las zonas de fallas y al nivel del “horizonte BVM”. Donde puede observarse como hacia el S (sur) la zona de ruido

que en algunos niveles y sectores puede verse como un lineamiento estructural al nivel del tope de Tordillo (BVM), se encuentra ramificada.

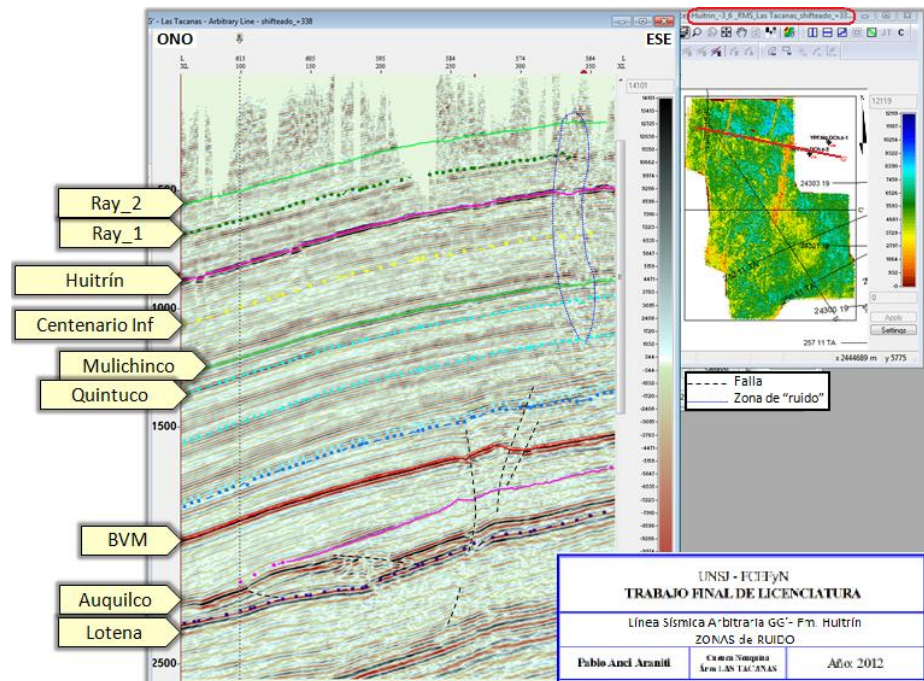


Figura 29: Línea Sísmica arbitraria GG', zonas de ruido Fm Huitrín, módulo SeisVision del Software Geographix™.

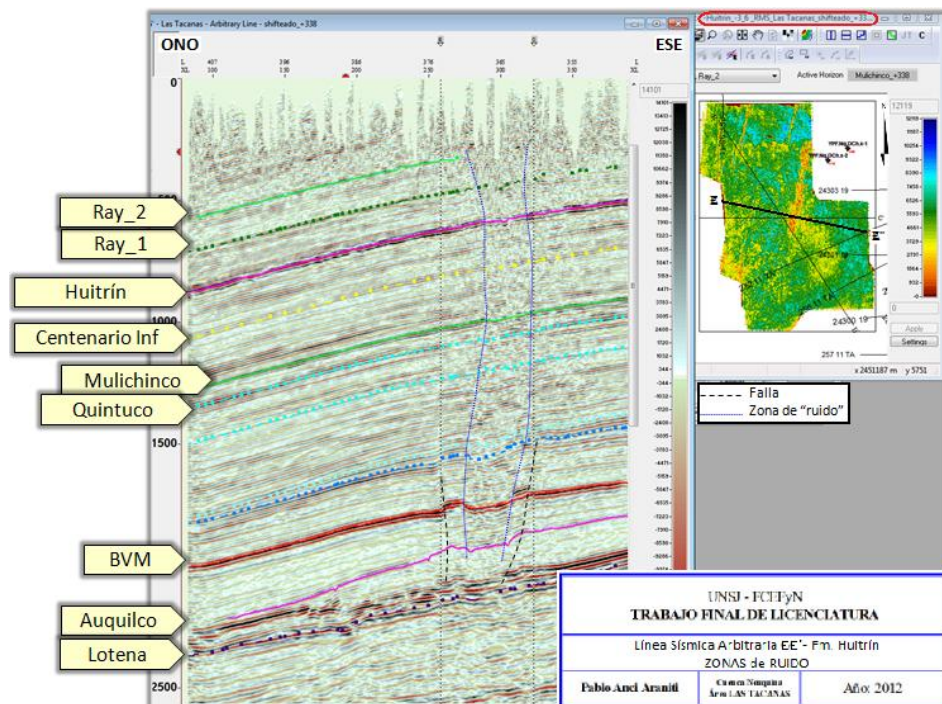


Figura 30: Línea Sísmica arbitraria EE', zonas de ruido Fm Huitrín, módulo SeisVision del Software Geographix™.

✓ **FORMACIÓN CENTENARIO**

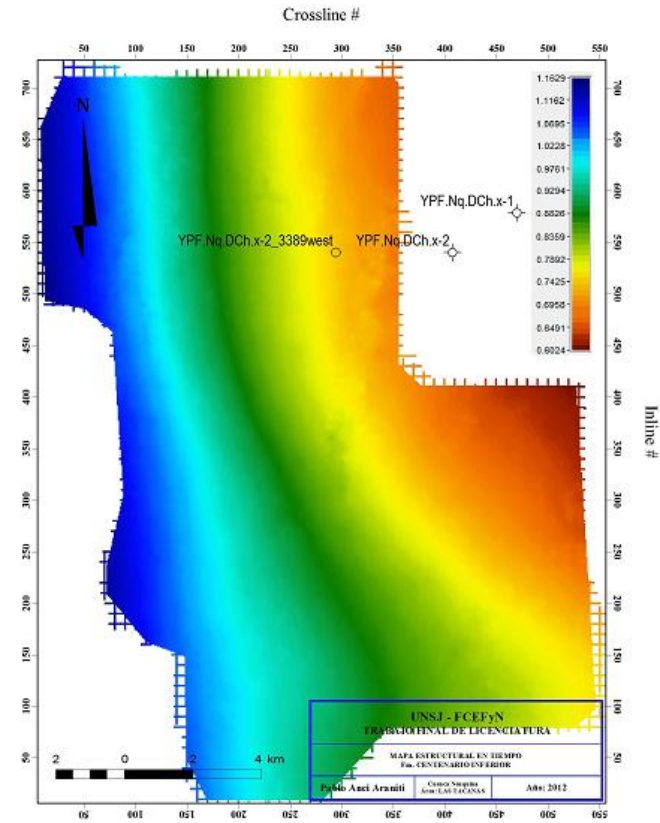


Figura 31: Mapa estructural en tiempo de la Fm. Centenario a los 960 mseg: Centenario Inferior, área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

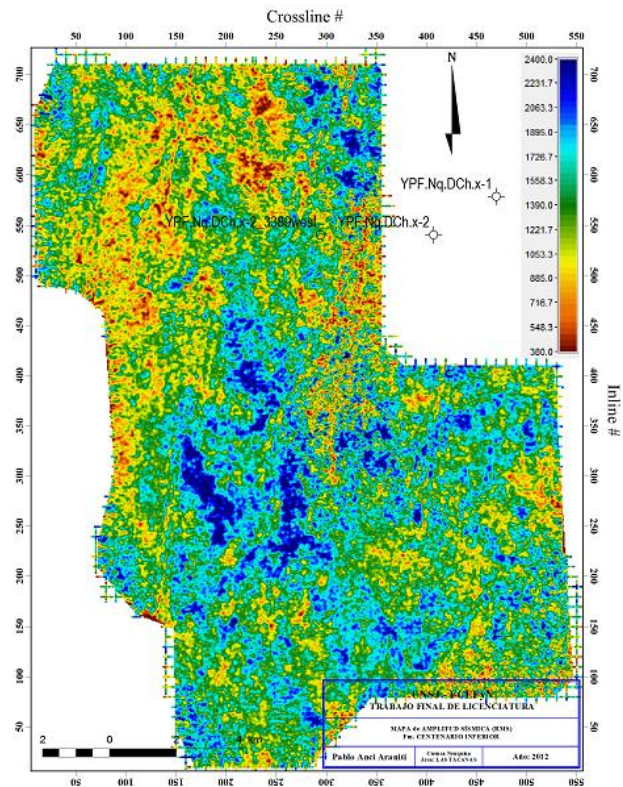


Figura 32: Mapa de Amplitud (RMS), de la Fm. Centenario (Cent. Inf.), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

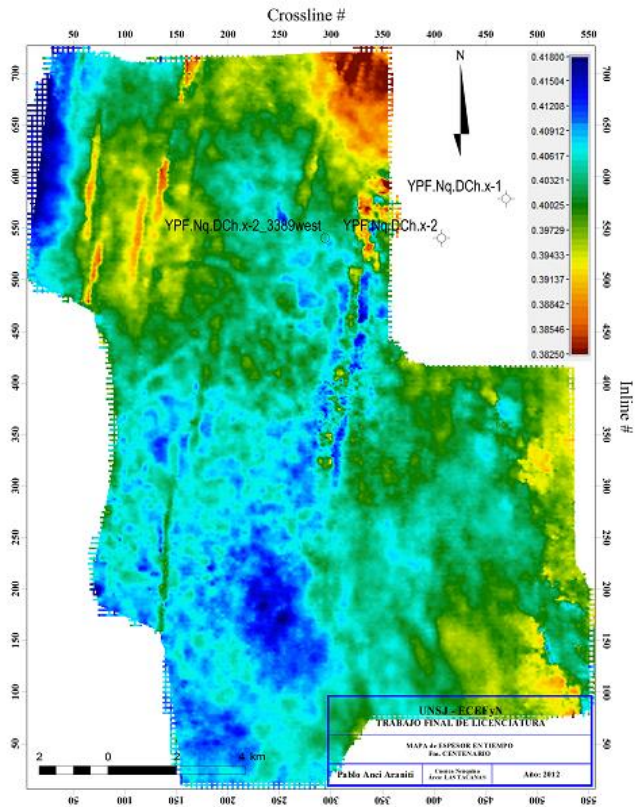


Figura 33: Mapa de Esesor en tiempo de la Fm. Centenario, área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

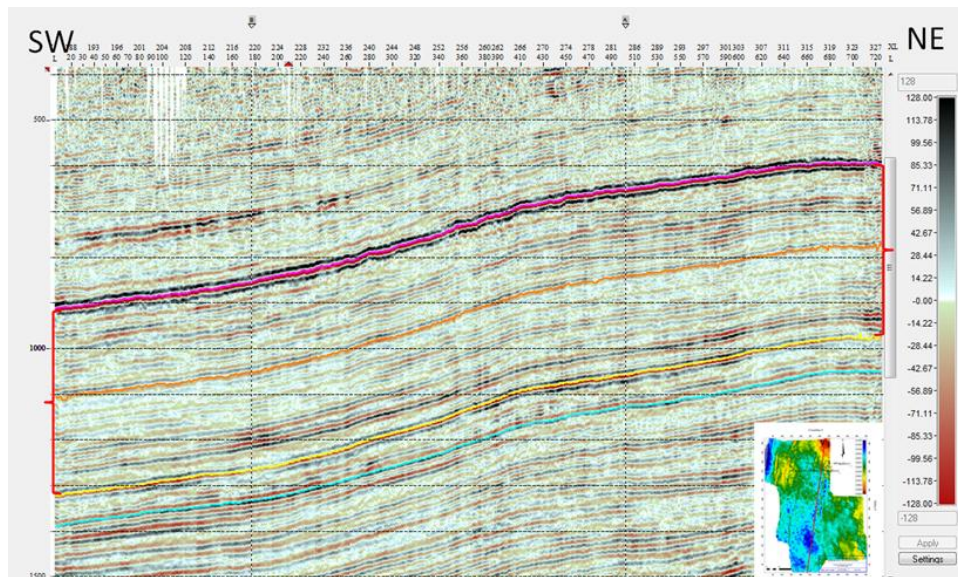


Figura 34: Línea Sísmica Arbitraria (dirección NE-SW), módulo SeisVision del Software Geographix™.

En la interpretación de la Fm. Centenario se ha podido diferenciar sus miembros Inferior y Superior, picándose el horizonte correspondiente al tope del miembro Centenario Inferior a una profundidad de 960mseg, sobre un valle (amplitud negativa), cada 5 *Inline* y 5 *Crossline*. Su mapa estructural en tiempo (Figura 31) no muestra una estructura local. Este reflector se

caracteriza por presentar de baja a moderada amplitud y regular continuidad lateral y coherencia a lo largo de todo el cubo (evidenciando en el mapa de extracción de amplitudes; Figura 32); esto no permite considerarlo como valiosos a este mapa para un análisis estructural ni de facies.

En el mapa de espesor en tiempo (Figura 33), se observa que la variación de espesor es muy poca (aproximadamente 36mseg) con un leve aumento de espesor hacia el SW como, además lo muestra la línea sísmica arbitraria (dispuesta a lo largo de la zona de ruido) de la Figura 34.

✓ FORMACIÓN MULICHINCO

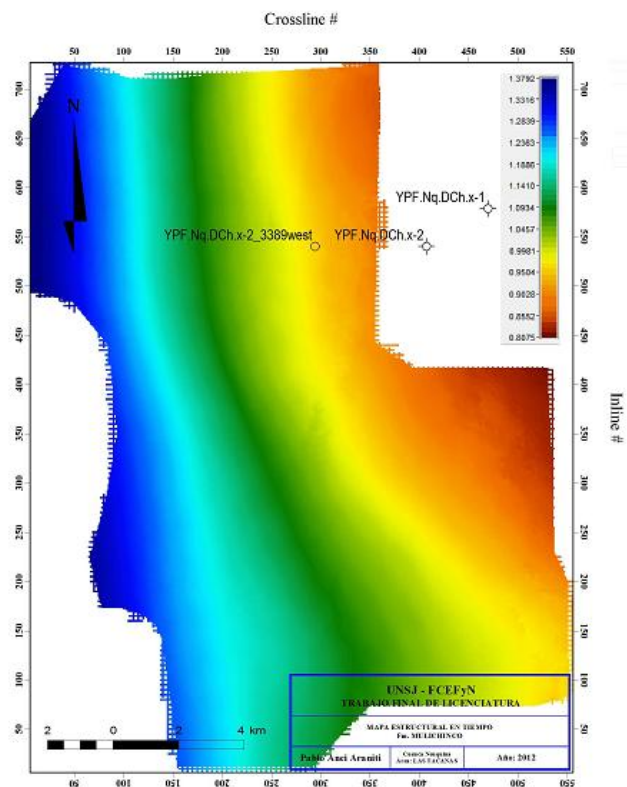


Figura 35: Mapa estructural en tiempo de la Fm. Mulichinco a los 1170 mseg., área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software GeographixTM.

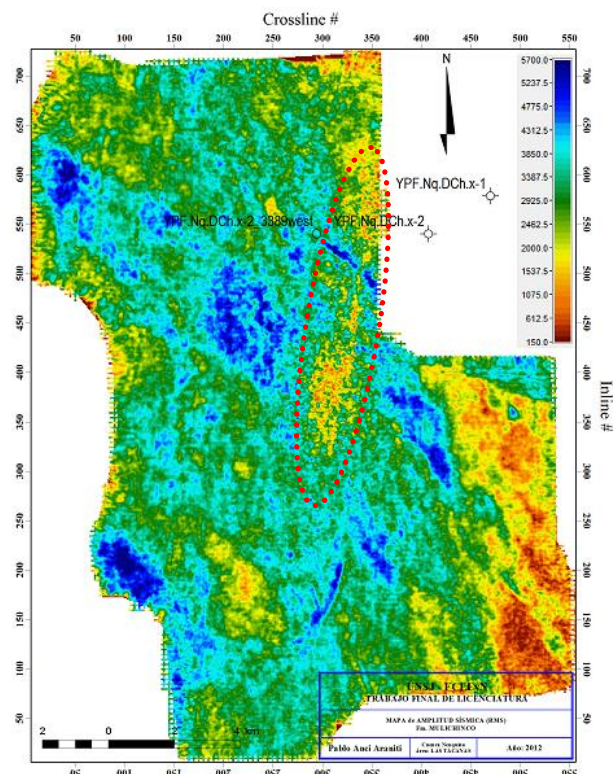


Figura 36: Mapa de Amplitud (RMS), de la Fm. Mulichinco, área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

El análisis de la Fm. Mulichinco (asociación de areniscas y areniscas calcáreas por Leanza & Hugo, 2001), fue llevado a cabo a través de la interpretación de un horizonte cercano al tope de dicha unidad, a una profundidad (en tiempo), de aproximadamente 1170mseg. Fue picado sobre un valle (amplitud negativa) que presentaba buena continuidad lateral y coherencia y amplitudes de medias a altas (Figura 36). Sobre esta base, se interpretó cada 5 *Inline* y 5 *Crossline*.

En el mapa estructural (en tiempo) de este horizonte no se observa estructuración ni anomalías locales, sólo se aprecia la inclinación del horizonte hacia el SW (Figura 35). Cabe destacar que la formación en cuestión, mantiene la forma y el espesor a lo largo de todo el cubo.

En el mapa de extracción de amplitudes (Figura 36), marcado con línea de puntos en color rojo, se observa una zona de ruido que mantiene la dirección N-S, lo que no se distingue en el mapa estructural (Figura 35) y que coincidiría con el lineamiento antes mencionado. A este nivel, los patrones más notables tienen orientación WNW-ESE y parecen ser predominantemente patrones estratigráficos.

✓ **FORMACIÓN QUINTUCO**

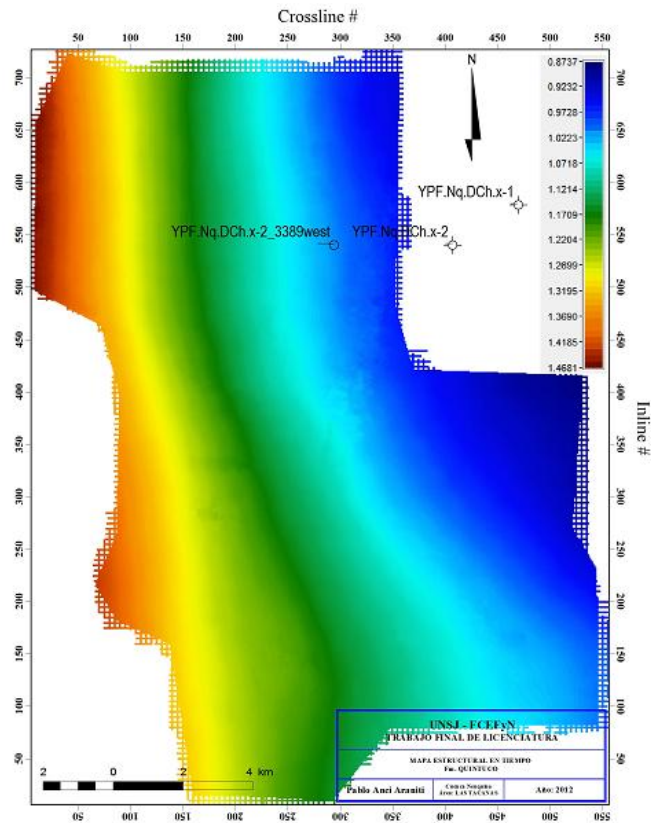


Figura 37: Mapa estructural en tiempo de la Fm. Quintuco a los 1220 mseg., área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

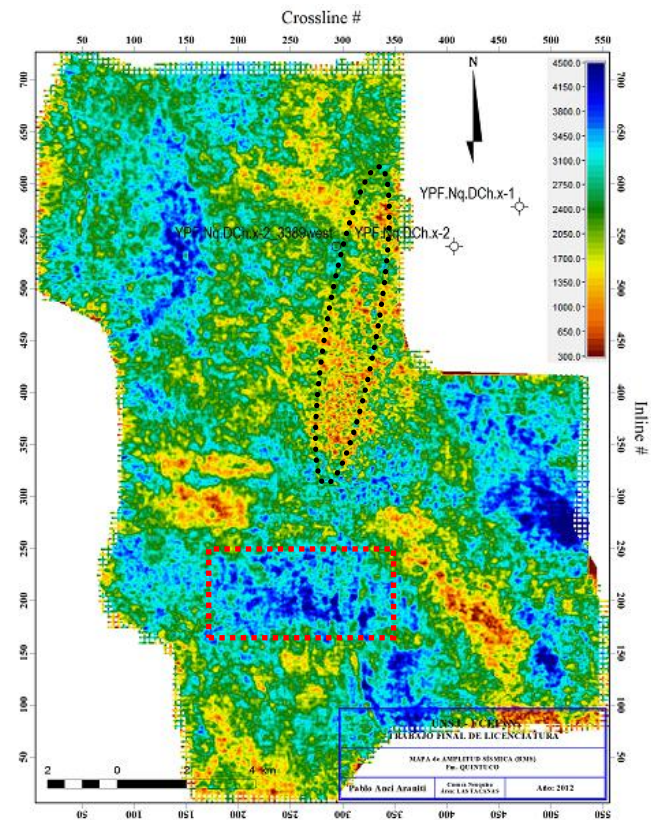


Figura 38: Mapa de Amplitud (RMS), de la Fm. Quintuco, área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

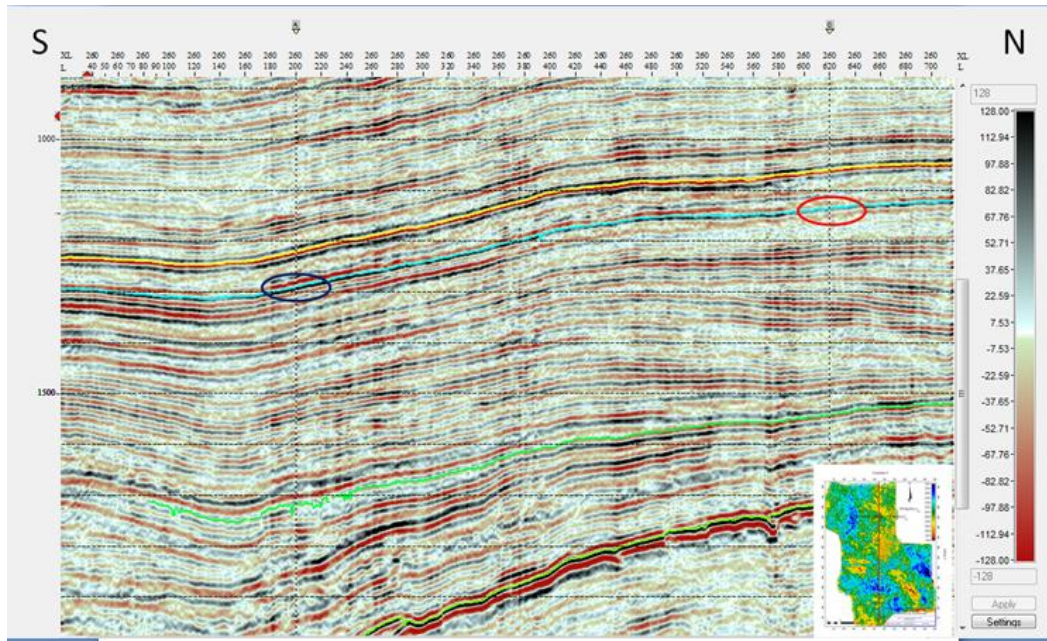


Figura 39: Línea sísmica *CrossLine* 260, en dirección N-S, al tope de la Fm. Quintuco, módulo SeisVision del Software Geographix™.

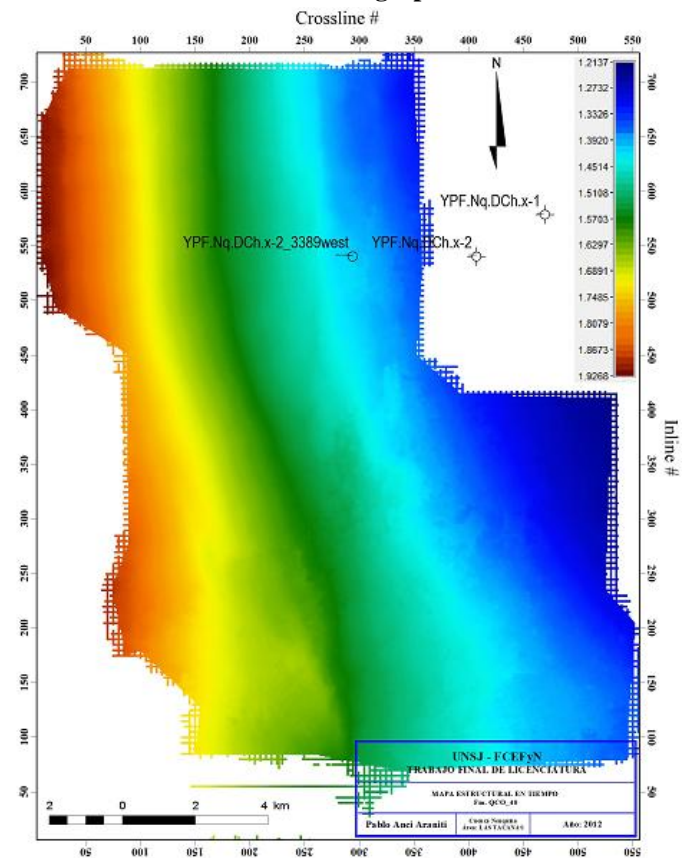


Figura 40: Mapa estructural en tiempo de la Fm. Quintuco a los 1600 mseg. (nivel IntraQuintuco), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

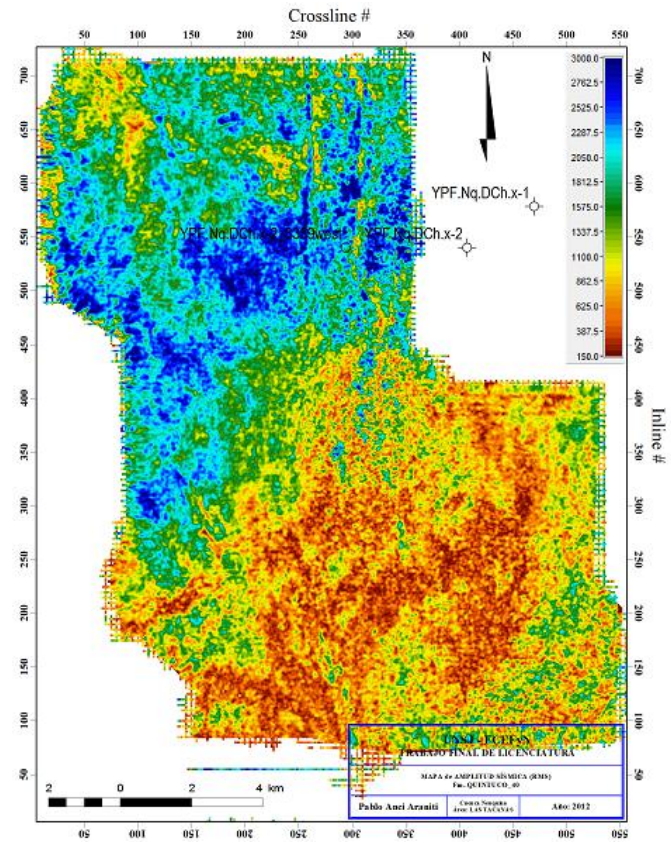


Figura 41: Mapa de Amplitud (RMS), de la Fm. Quintuco (nivel IntraQuintuco), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

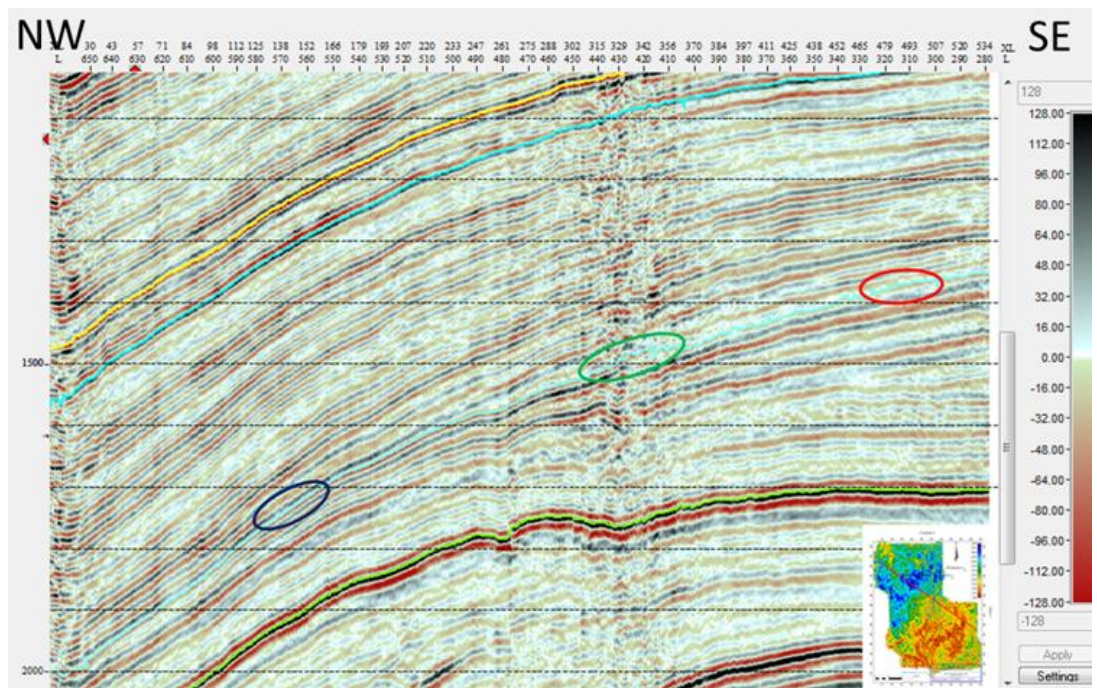


Figura 42: Línea sísmica Arbitraria, en dirección NW-SE, al nivel de la Fm. IntraQuintuco, módulo SeisVision del Software Geographix™.

La interpretación de la Fm. Quintuco se realizó a través de dos reflectores: uno (1) a los 1220 mseg de profundidad (tope de la formación), con buena continuidad lateral y amplitud intermedia, cada 5 *Inline* y 5 *Crossline*, siguiendo un pico de amplitud positiva y el otro (2) dentro de la formación a unos 1600mseg de profundidad aproximadamente, cada 5 *Inline* y 5 *CrossLine*, picando un valle.

El mapa estructural (en tiempo) de la Fm. Quintuco (Figura 37) no puso en evidencia estructura local alguna, sólo muestra el buzamiento de la capa hacia el SW en todo el cubo.

A diferencia del anterior, el mapa de extracción de amplitud (Figura 38) muestra, no con mucha claridad, una zona de ruido de bajas amplitudes, marcada con línea negra de puntos en la parte central del mapa, cuya configuración se aproxima a una línea casi dispuesta en dirección N-S y, hacia el S (sur), una zona de altas amplitudes marcada con un recuadro color rojo. Ambas zonas se ponen en evidencia en la línea sísmica “*CrossLine 260*” (Figura 39).

La Fm. Quintuco, junto a la Fm. Vaca Muerta, integra la sección basal del G. Mendoza (Figura 3). El ciclo Quintuco-Vaca Muerta conforma un evento transgresivo-regresivo que cubre toda la cuenca y representa un contexto depositacional de ambiente marino (Uliana & Legarreta, 1993).

Las sedimentitas de la Fm. Quintuco describen, en rasgos generales, una progradación ampliando el área de sedimentación. Están constituidas constituídas, desde el borde sudeste al centro de cuenca, por: dolomitas y anhidritas con intercalaciones areno-conglomeradicas, margas limosas intercaladas con calizas micríticas y arcillas limosas calcáreas. Este ciclo describe un completo conjunto de clinofomas progradantes a partir de una importante transgresión basal. El aporte de sedimentos fue desde el Este-Sudeste. Evoluciona hacia los términos superiores, a secuencias de plataformas extensas (Vergani, 1995). Su paralelismo puede diferenciarse de los horizontes que se encuentran por debajo (Figura 39).

De la misma manera para el horizonte a los 1600mseg (IntraQuintuco), el mapa estructural en tiempo (Figura 40) no muestra variaciones apreciables respecto del mapa estructural realizado al tope de la unidad. Por el contrario, el mapa de extracción de amplitudes (Figura 41), muestra dos zonas de amplitudes diferentes: altas amplitudes al NNW (círculo azul) y bajas al SSW (círculo rojo). Esto se pone en evidencia en la línea sísmica arbitraria (Figura 42), en la que se puede atribuir la “zona de altas amplitudes”, al acuñaamiento de los horizontes en esa área.

✓ **FORMACIÓN: TORDILLO (tope de Tordillo = base de Vaca Muerta)**

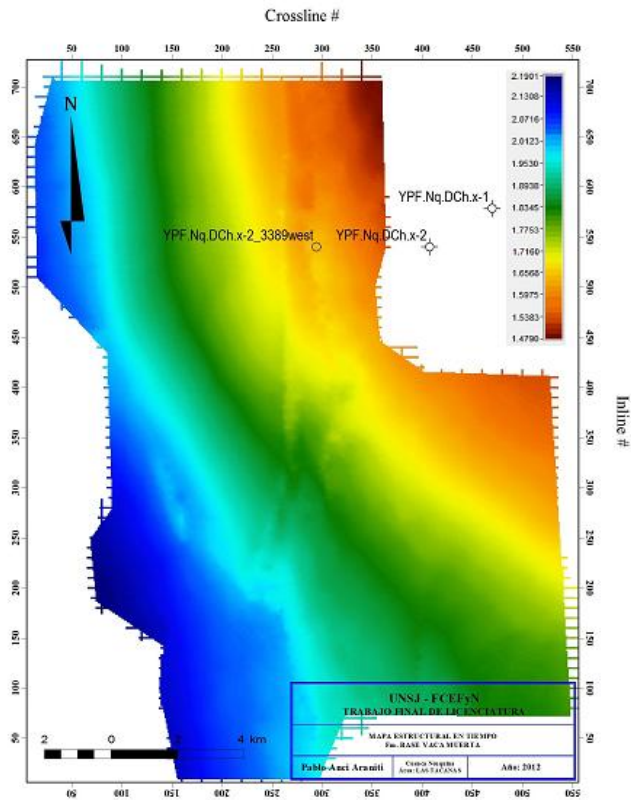


Figura 43: Mapa estructural en tiempo del tope de la Fm. Tordillo a los 2000 mseg. (BVM), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

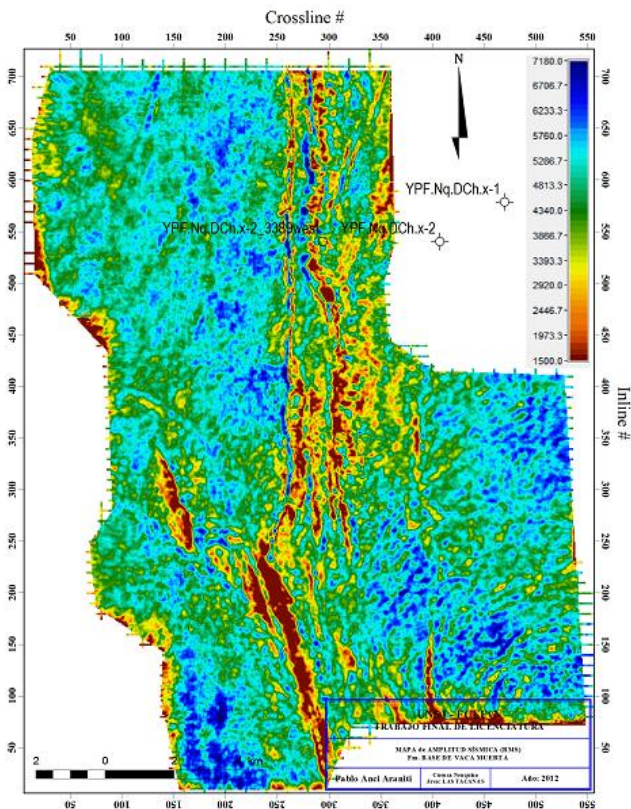


Figura 42: Mapa de Amplitud (RMS), del tope de la Fm. Tordillo (BVM), área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

La Fm. Tordillo (potentes bancos de areniscas y conglomerados) representa condiciones de sedimentación continental, denotando su parte superior (arcilitas) distintas condiciones de sedimentación marino litoral o sublitoral (Leanza & Hugo, 2001).

Su interpretación se realizó en su tope a una profundidad (en tiempo) de aproximadamente 2000mseg, siguiendo un horizonte de muy buena continuidad lateral, buena coherencia y alta amplitud, sobre un pico (amplitud positiva), cada 5 *InLine* y 5 *CrossLine*.

El mapa estructural en tiempo (Figura 43) no sólo muestra que la dirección de inclinación de la capa es hacia el SW, sino también a una alineación en el centro del cubo con dirección N-S. Esta última se observa mejor definida en el mapa de extracción de amplitud (Figura 44), visualizándose también que atraviesa al cubo en su totalidad.

En función de las líneas sísmicas analizadas (Figuras: 44, 45 y 46) se observa que lo puesto en manifiesto en el mapa de amplitud sísmica del horizonte en cuestión, se relaciona con las trazas de las fallas que componen el tren central o principal antes descrito, las que presentan un bloque bajo general en la parte central. Cabe destacar que el lineamiento principal se observa como una zona de ruido en los niveles someros e intermedios.

Además se observan alineaciones NW-SE que se corresponderían a fajas transpresivas de poco ó nulo rechazo vertical con desplazamientos horizontales dextrógiros que afectan a las estructuras N-S (Brinkworth *et al*, 2011).

SECCIONES SÍSMICAS de interés al tope de la Fm TORDILLO

A continuación se muestran una serie de secciones sísmicas, referenciadas al mapa de amplitud sísmica, que muestran las estructuras presentes y las geometrías y disposiciones de las fallas al tope de la Fm. Tordillo.

En el mapa de espesor en tiempo de la Fm. Tordillo (Figura 47) al Oeste, se observa un espesor homogéneo de alrededor de 250 mseg, mientras que al Este se observa un espesor homogéneo de unos 140 mseg. Por lo tanto en líneas generales se observa un aumento de espesor notable hacia el Oeste de aproximadamente 96mseg, siendo importante destacar que en la zona de cambio de espesor es donde se observa el tren de estructuras de fallas principales con dirección N-S, las que podrían haber afectado al espesor de la Fm. Tordillo por supresión o apilamiento.

En la Fm Tordillo se observa una variación de espesor (Figura 48) correlativa a la de la Fm Auquilco, pero en dirección inversa: con espesores mínimos al Este y máximos al Oeste.

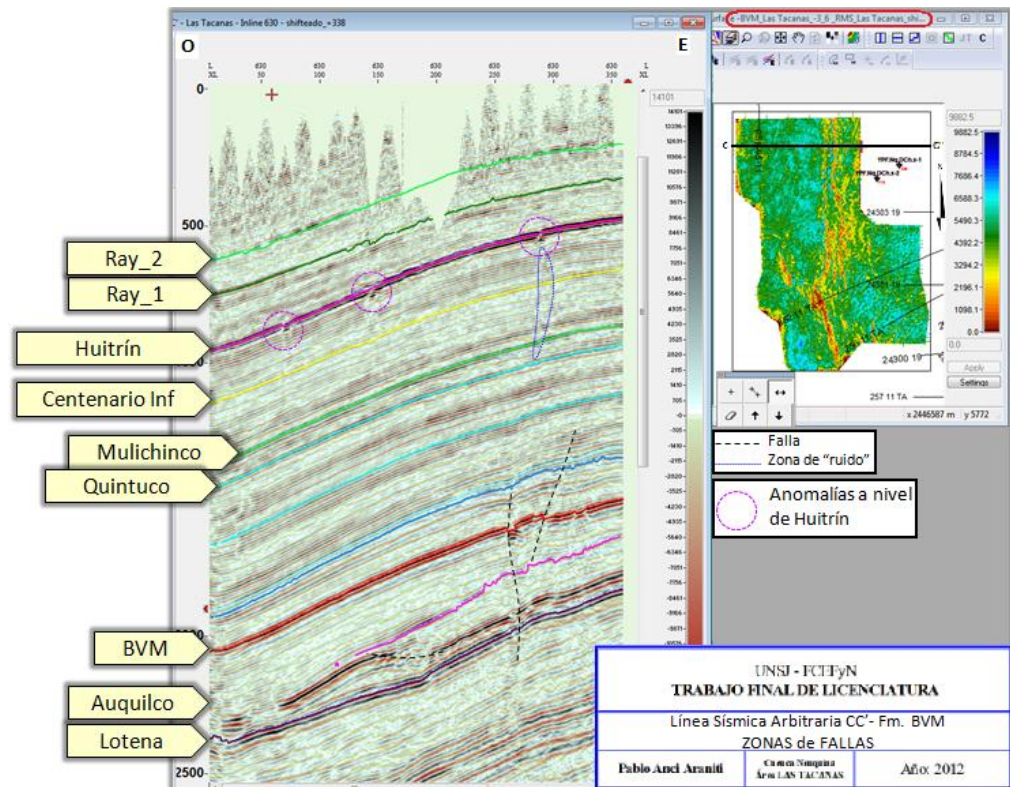


Figura 44: Línea Sísmica Inline 630, dirección E-W tomada al tope de la Fm. Tordillo, módulo SeisVision del Software Geographix™.

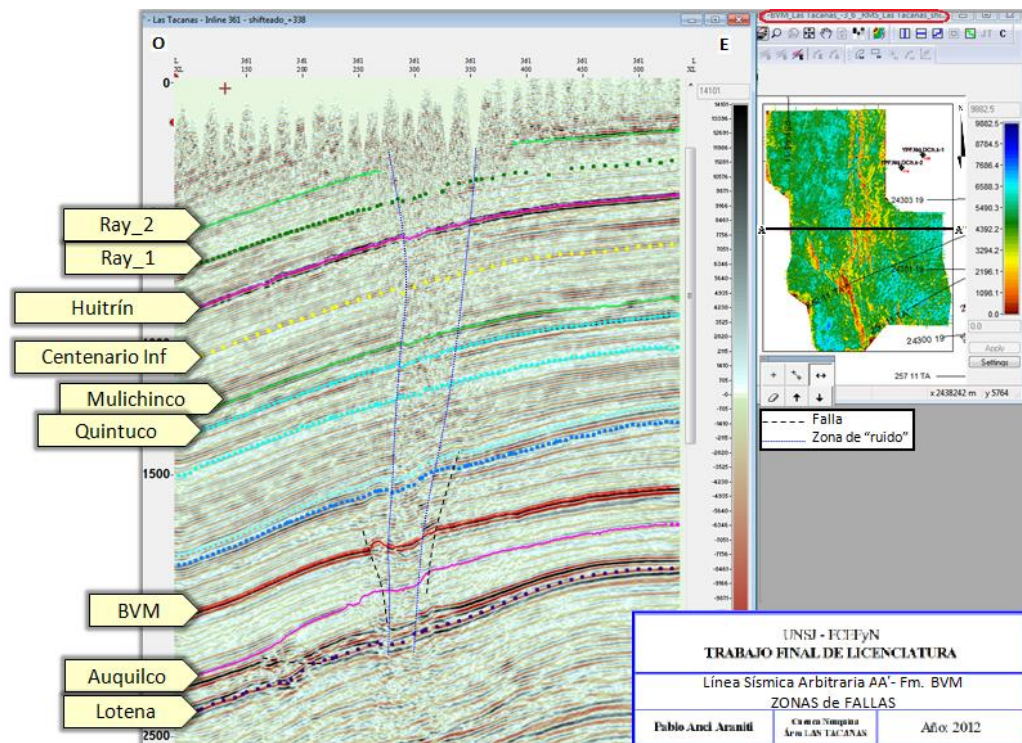


Figura 45: Línea Sísmica Inline 361, dirección E-W tomada al tope de la Fm. Tordillo, módulo SeisVision del Software Geographix™.

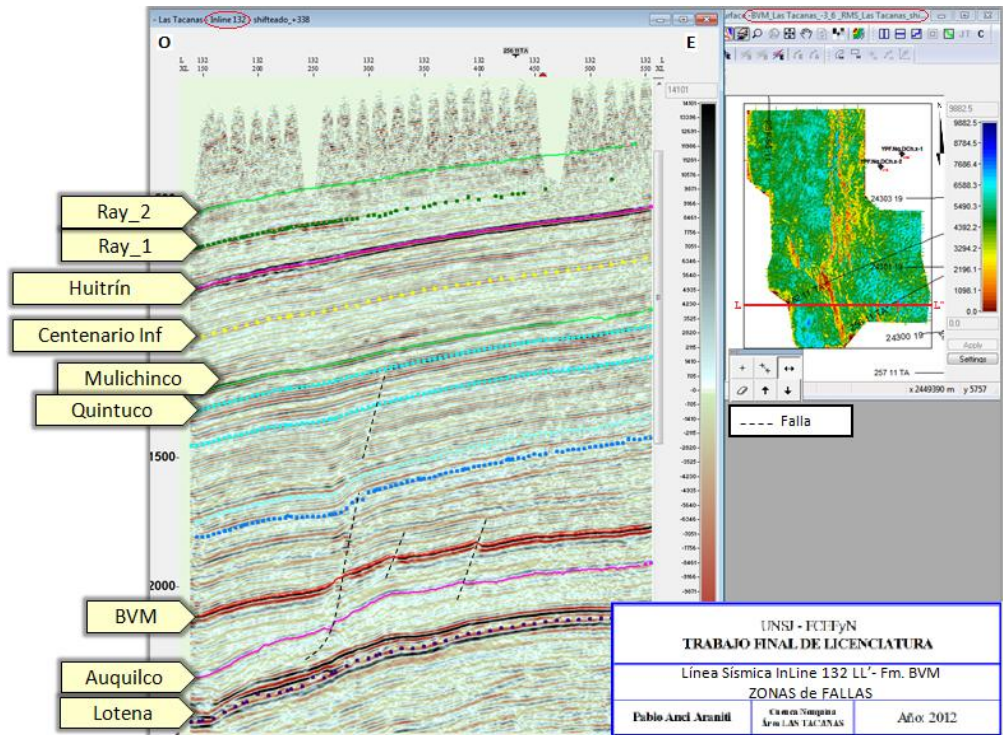


Figura 46: Línea Sísmica *InLine* 132, dirección E-W tomada al tope de la Fm. Tordillo, módulo SeisVision del Software Geographix™. Se observa el rechazo vertical al tope de Trdillo (BVM).

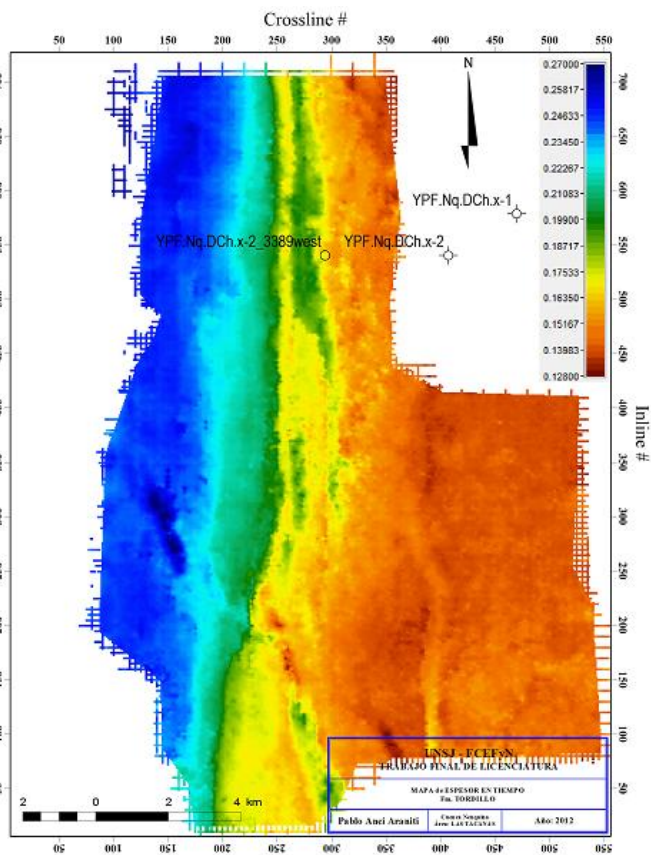


Figura 47: Mapa de Espesor en tiempo de la Fm. Tordillo, área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

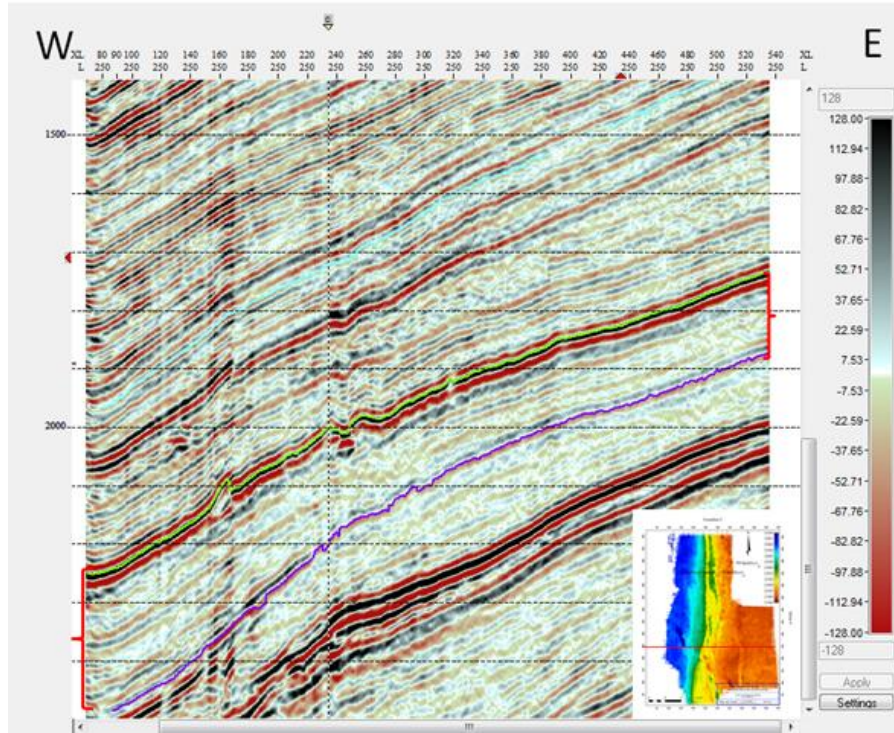


Figura 48: Línea Sísmica Inline 250, dirección N-S, módulo SeisVision del Software Geographix™.

✓ **FORMACIÓN AUQUILCO**

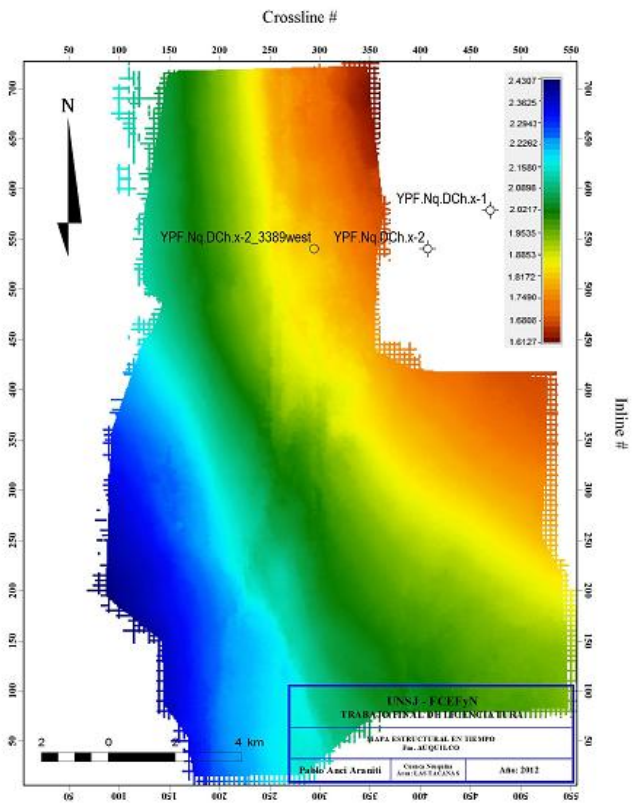


Figura 49: Mapa estructural en tiempo de la Fm. Auquilco a los 2180 mseg., área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

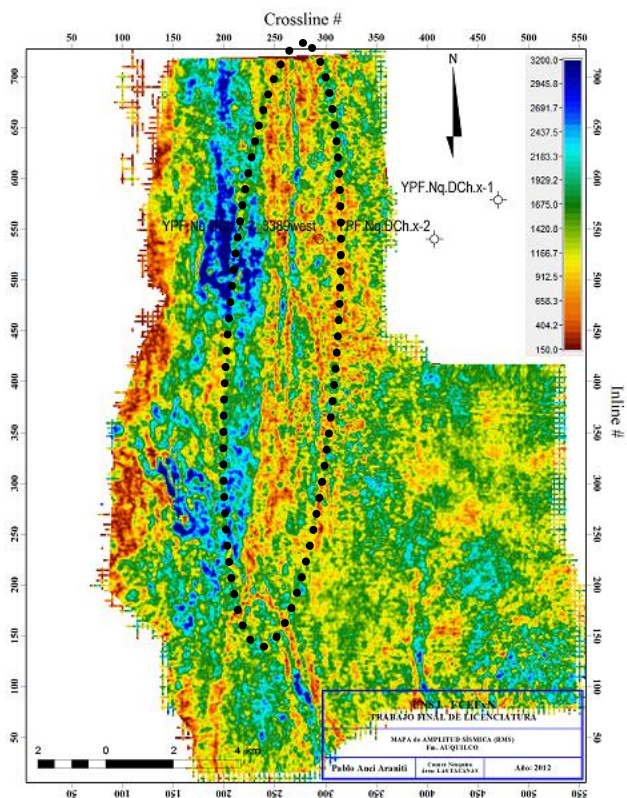


Figura 50: Mapa de Amplitud (RMS), de la Fm. Auquilco, área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

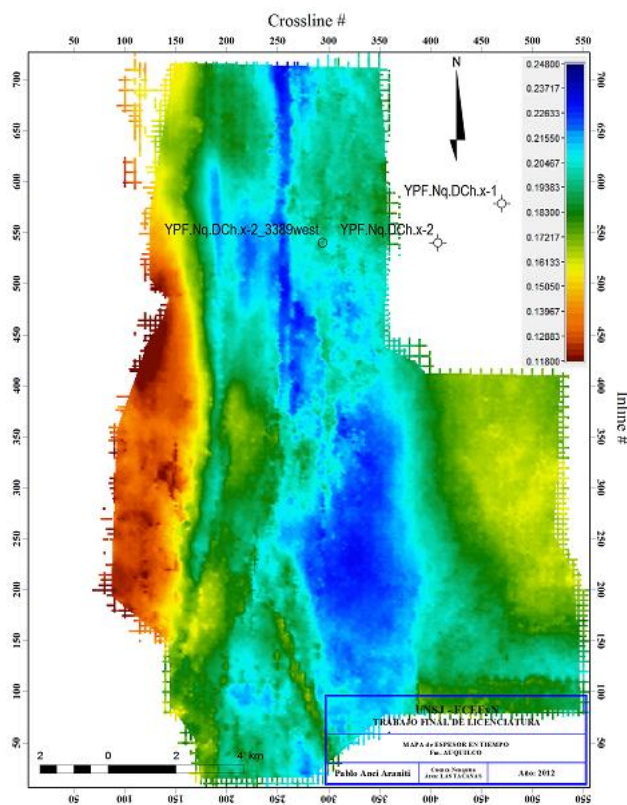


Figura 51: Mapa de Espesor en tiempo de la Fm. Auquilco, área Las Tacanas, módulo GeoAtlas del Software Geographix™.

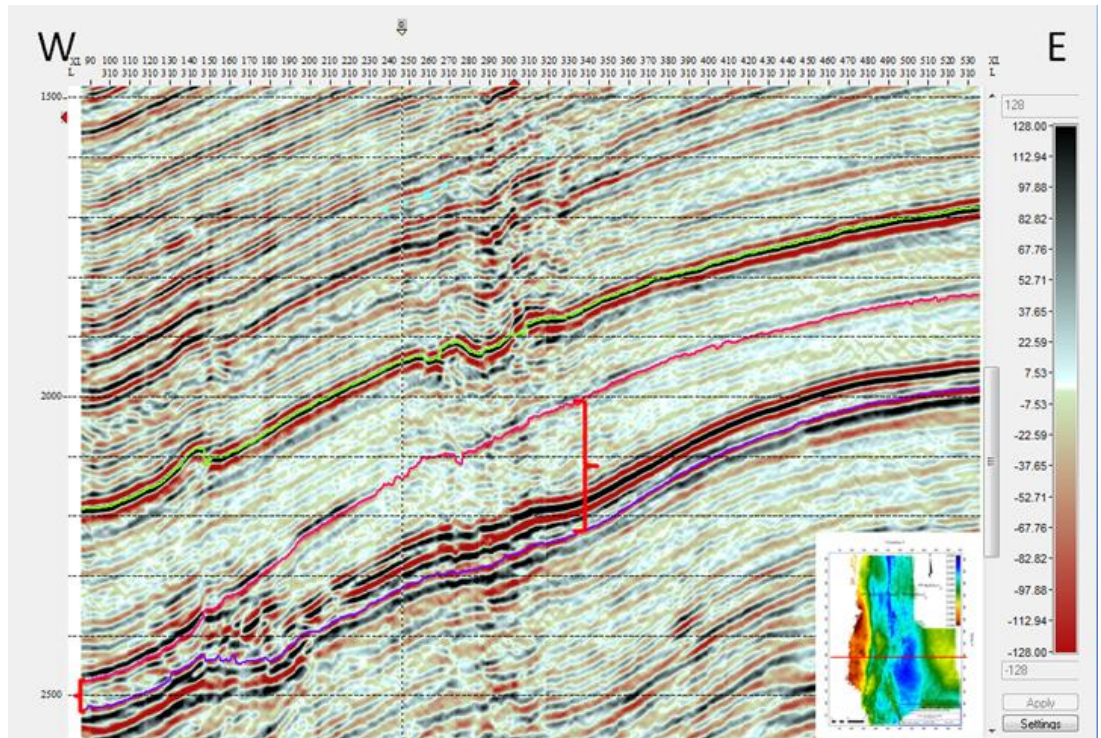


Figura 52: Variación de Espesor Fm. Auquilco, módulo SeisVision del Software Geographix.

La Fm. Auquilco, denominada Yeso Principal (Lambert, 1956) está compuesta por una asociación de areniscas yesíferas calcáreas, calizas yesíferas y yeso con estructura nodular. La asociación de facies de esta unidad indica un ambiente marino poco profundo con salinidad elevada donde los cuerpos evaporíticos de yeso alternan con calizas y clásticos de grano fino. Esta litofacies implica una virtual desecación de la cuenca (Leanza & Hugo, 2001).

El horizonte a partir del cuál se interpretó esta unidad, se encuentra al tope de la misma a una profundidad aproximada de 2180mseg; representa uno de los reflectores más profundos interpretados en el cubo de “Las Tacanas” a partir del cual aún se puede extraer información del subsuelo. Se lo interpretó siguiendo un pico de amplitud moderada y buena continuidad lateral, se lo picó cada 5 *InLine* y 5 *CrossLine*.

En el mapa estructural en tiempo (Figura 49) no se observan estructuras locales. Sí es evidente una inclinación de la capa, con el sector más elevado (tiempos más cortos) al NE, hundiéndose hacia el SW (tiempos más largos) con un buzamiento suave. Además se observa una tenue alineación en dirección N-S, que se ve más resaltada en el mapa de extracción de amplitud (Figura 50), marcada con un óvalo en línea de puntos.

En el mapa de espesor (Figura 51) de la Fm Auquilco se observa una variación de espesor de aproximadamente 161mseg, con espesores mínimos (39mseg) al Oeste y máximos (200mseg)

al Este, pasando por la zona de ruido (posible zona de fuga de hidrocarburos: Figura 52). En esta sección se observa claramente que los bruscos cambios de espesor a niveles de la Fm. Auquilco generan estructuras en los niveles suprayacentes. Además, se aprecia como el lineamiento principal coincide con la zona de ruido en los niveles más someros.

En función de lo antes mencionado, los lineamientos observados podrían estar fuertemente controlados por la deformación plástica de la Fm. Auquilco en el flanco del Dorso, correspondiendo esto a una tectónica salina muy leve. En algunos casos se observan posibles fallas de bajo ángulo a nivel de Auquilco, lo cuál apoya la idea de la tectónica salina. Estas estructuras inicialmente pudieron afectar a unidades suprayacentes (Fm. Tordillo o Vaca Muerta) produciendo su plegamiento y fracturación (Figuras 44, 45 y 46).

CONCLUSION

Para poder llevar a cabo los objetivos de este trabajo, cabe destacar que fue muy importante la experiencia en cuanto a la manipulación de la información hidrocarburifera y de los conocimientos sobre el área de trabajo; no sólo del asesor del mismo (Lic. Martin Cevallos) sino que también de todo el personal que integra el **GGAEPH**, quienes a través de su paciencia y dedicación me orientaron a incursionar en las metodologías de interpretación sísmica comúnmente utilizadas en la “Geofísica Aplicada a la Exploración de Hidrocarburos”, permitiéndome desarrollar habilidades en la manipulación de información hidrocarburifera de sísmica de reflexión (2D - 3D) y de datos y perfiles eléctricos de pozo.

Lo antes mencionado complementado con la capacitación básica impartida por el GGAEPH en lo que respecta al manejo del software de interpretación **Geographix™** y sus respectivos módulos: **Project Explorer**, (Generación del proyecto GGX), **WellBase** (Carga de datos de pozo), **Prism** (Carga de perfiles), **GeoAtlas** (Visualización de mapas) y **SeisVisión** (Carga y Visualización e Interpretación de sísmica 3D), permitieron no sólo la generación de los distintos tipos de mapas utilizados como herramientas de interpretación: “Mapas Estructurales en Tiempo” (Isócronos), “Mapas de Extracción de Amplitud Sísmica” y “Mapas de Espesores en Tiempo”, de los diferentes horizontes de interés; como así también la interpretación integrada de éstos que en adición con secciones sísmicas claves, permitieron fabricar un modelo geofísico “Sismo-Estructural”, del subsuelo en el área de estudio “**Las Tacanas**”, reflejado en la Figura 29.

Respecto de los mapas se observó un bajo grado de deformación tectónica en el subsuelo. Regionalmente el dato se encontró ubicado en el flanco Oeste del Dorso de los Chihuidos. Esto se verifica claramente en el dato sísmico 3D. La estructura predominante corresponde a un flanco buzante al Oeste en el sector Norte y SurOeste en el sector Sur. Esto se debe posiblemente a una rotación o desplazamiento al Este de la cresta del Dorso de los Chihuidos.

El horizonte clave para la interpretación estructural general del área fue el correspondiente a la base de la Fm. Vaca Muerta o tope de la Fm. Tordillo. Este permitió visualizar con claridad las fallas principales de alto ángulo con dirección Norte - Sur mencionadas a lo largo del trabajo. Dichas estructuras en general son visualizadas desde el intervalo equivalente a la Fm. Auquilco, donde en algunos casos se observan posibles fallas de bajo ángulo. Los cambios de espesor que se observan en dichos intervalos, permiten interpretar una **deformación plástica tipo tectónica salina** a nivel de la Fm Auquilco donde se observó una variación de espesor

(Figuras 51 y 52) correlativa a la de la Fm Tordillo (Figuras 47 y 48), pero en dirección inversa.

El cambio de espesor de las Fms. Auquilco y Tordillo se considera clave en la deformación posterior del flanco Occidental del Dorso de los Chichuidos.

Considerando el carácter plástico de las evaporitas de la Fm. Auquilco, éstas pudieron generar las fallas con trazas de más de 20 km y rechazos verticales de máximo de 50 mseg (aproximadamente unos 100 m). Estas estructuras afectan a niveles muy someros por lo que se interpreta que son de edad Terciarias.

Si bien los niveles someros en general no se ven desplazados notablemente, se observa una zona de ruido en el dato sísmico, alineada a las estructuras arriba mencionadas, donde en éstas (aún los horizontes más continuos regionalmente) pierden coherencia.

Las zonas de “ruido” podrían estar relacionadas con posibles zonas de fugas de hidrocarburos (principalmente gas, dada las características del sistema petrolero del área de trabajo), que alteran las propiedades sísmicas de la roca que atraviesan. Esto último se pone en evidencia, con mayor detalle, en los mapas de extracciones amplitud sísmica.

En otras palabras, estas zonas se podrían corresponder a “Chimeneas de Gas”. Para comprobar este origen se debería contar con datos adicionales de pozos que avalen esta hipótesis.

Al tener poca información útil en los niveles someros (Fm. Rayoso), se focalizó la interpretación: por un (1) lado en niveles profundos donde la relación señal/ruido es óptima y por otro lado (2) en la interpretación en secciones verticales para poder determinar la configuración estructural óptima a partir de la cuál se podría identificar las posibles zonas de escape de fluidos.

Las zonas de “ruido” más notorias (por ende las posibles zonas de escape de fluidos) se encontraron asociadas al tren de fallas principal de alto ángulo N-S que surca la parte central del registro 3D casi en su totalidad.

Al Oeste del pozo DCh.x-2 se observa la principal zona de “ruido” que atraviesa desde niveles por debajo de la formación Vaca Muerta hasta niveles superficiales (Figura 53).

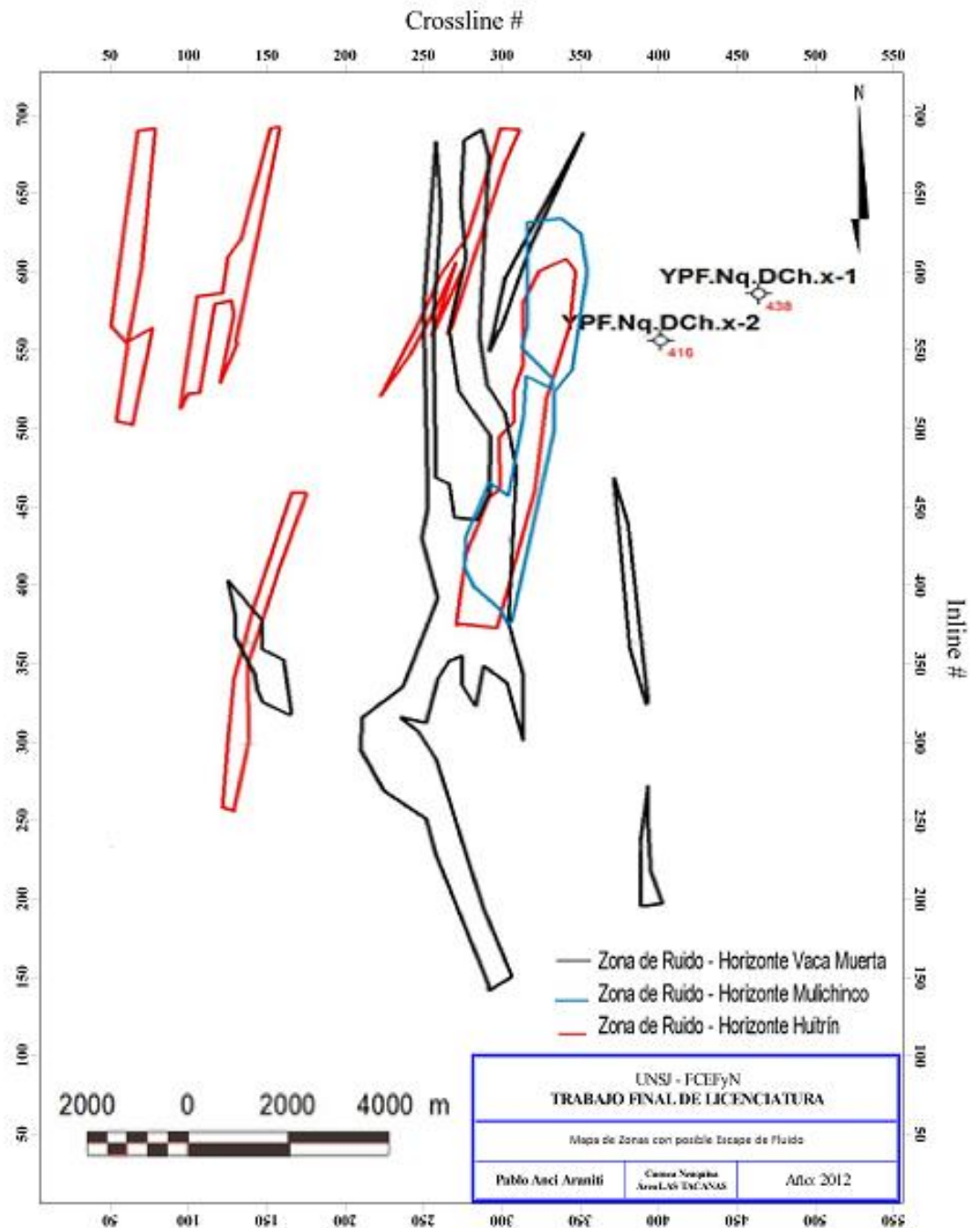


Figura 53: Modelo Geofísico “Sismo-Estructural” del subsuelo en el área de estudio “Las Tacanas”. Mapa de Zonas con posibilidad de Escape de Fluidos (módulo GeoAtlas del Software Geographix™).

BIBLIOGRAFÍA

- Barredo S. & Stinco L., 2010. “*Geodinámica de las Cuencas Sedimentarias, su importancia en la localización de sistemas petroleros en la Argentina*”. Universidad de Buenos Aires.
- Brinkworth W., Pose F. & Gangui A., 2011. “*Rasgos Estructurales del Subsuelo en el Área Aguada Pichana, Provincia de Neuquén, Argentina*”. IAPG, VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.
- Caminos R., 1999. “*Geología Argentina*”. Subsecretaría de Minería de la Nación y Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- Chelotti L., Acosta N. & Foster M., 2010. “*Interpretación Sísmica de Reflexión*”. Cátedra de Geofísica Aplicada, U.N.P.S.J.B., Chubut, Argentina.
- Dobrin M., 1975. “*Introducción a la Prospección Geofísica*”. Ediciones Omega, S. A. Barcelona.
- Ferguson P., Cardama C., Achilli F., Roberts N. & Caminos J., 2005. “*Sísmica 3D en Zonas de Topografía Compleja*”. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: La Sísmica de Reflexión más allá de la Imagen Estructural.
- Legarreta L. & Uliana M., 1999. “*El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina*”. Instituto de Geología y Recursos Minerales: Geología Argentina.
- Legarreta L., Villar H., Laffitte G., Cruz C., & Vergani G., 2005. “*Cuenca Neuquina*”. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: Frontera Exploratoria de la Argentina.
- Legarreta L., Villar H., Laffitte G., Cruz C., & Vergani G., 2005. “*Cuenca Neuquina: Balance de masa enfocado a la evaluación del Potencial Exploratorios de los Distritos Productivos y de las Zonas no Productivas*”. IAGP, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.
- Legarreta L., Villar H., Cruz C., Laffitte G. & Varadé R., 2008. “*Revisión Intergrada de los Sistemas Generadores, Estilos de Migración-Entrampamiento y Volumetría de Hidrocarburos en los Distritos Productivos de la Cuenca Neuquina, Argentina*”. Instituto Argentino de Petróleo y Gas (IAPG).
- Maretto H. & Pángaro F., 2005. “*Edad de Formación de algunas de las Grandes Estructuras del Engolfamiento de la Cuenca Neuquina: Actividad Tectónica durante la formación de la Fm. Quintuco*”. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.
- Marteau V., 2002. “*Fm. Rayoso Cretácico Inferior (Barremiano-Aptiano, Cuenca Neuquina, Argentina)*”, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.
- Mas Cattapan F., 2011. “*Análisis Sismo-Estratigráfico en la Cuenca Neuquina, Área Angostura, provincia de Río Negro*”. Tesis de Lic. UNSJ, San Juan Argentina. Inédito.

Mendiberri H. & Carbone O., 2002. “*Cuenca Neuquina: Marco Geológico y Reseña Histórica de la Actividad Petrolera*”. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.

Mitchum R. & Uliana M., 1985. “*Seismic Stratigraphy of Carbonate Depositional Sequences, Upper Jurassic – Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina*”. Exxon Production Research Company, Texas.

Olmos C., 2002. “*Fm. Quintuco*”. Libro de Rocas Reservorios, IAGP. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.

Pángaro F., Maretto H & Pianelli L., 2002. “*Abultamientos Carbonáticos de Plataforma en la Formación Quintuco en el Área de Rincón del Mangrullo, Cuenca Neuquina, Argentina*”. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.

Sales J., 2011. “*Interpretación de Sísmica 3D en el Área Angostura, Margen Oriental de la Cuenca Neuquina, Provincia de Río Negro*”. Tesis de Lic. UNSJ, San Juan. Argentina. Inédito.

Szelagowski M., Iglesias S., & Sigismondi M., 2005. “*Caracterización Estratigráfica-Estructural del Yacimiento Sierra Chata, mediante Atributos Sísmicos Convencionales y NO Convencionales*”. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: La Sísmica de Reflexión más allá de la Imagen Estructural.

Tapia Baldis C., 2011. “*Introducción a la Interpretación Sísmica 3D, área El Valle, Cuenca del Golfo de San Jorge*”. Practica de IV año. UNSJ. San Juan. Argentina. Inédito.

Uliana M. & Legarreta L., 1993. “*Hydrocarbons habitat in a Triassic-to-Cretaceous sub-andean setting: Neuquén Basin, Argentina*”. Journal of Petroleum Geology, vol. 16 (4).

Valenzuela M. & Comeron R., 2005. “*Trampas Características en los Yacimientos de Petróleo del Norte del Engolfamiento Neuquino*”. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: Las Trampas de Hidrocarburos de las Cuencas Productivas de Argentina.

Vergani G., Tankard A., Belotti H. & Welsink H., 1995. “*Tectonic Evolution and Paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina*”. Asociación Argentina de Petroleo y Gas (AAGP).

Villar H., Legarreta L., Cruz C., Laffitte G. & Vergani G., 2005. “*Los cinco sistemas petroleros coexistentes en el sector sudeste de la Cuenca Neuquina: definición geoquímica y comparación a lo largo de una transecta de 150 km*”. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.