



FaIn·UNCo
Facultad de Ingeniería

YPF

DEPTO DE GEOLOGÍA Y PETRÓLEO

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Análisis geológico y estructural para el área Estación Fernández Oro, Río Negro

Autora: Paez, Julieta Agustina

Legajo: ING2984

Directora: Quintana, Ana Laura

Codirector: Arregui, Carlos

Provincia del Neuquén

- 2023-

De acuerdo al contrato de confidencialidad realizado entre la empresa y la autora de este trabajo, los nombres de los pozos utilizados para la realización de este Trabajo Final de Licenciatura han sido modificados y reemplazados por una nomenclatura en orden numérico de los mismos.

RESUMEN

El presente trabajo de licenciatura se centró en la caracterización geológica, estratigráfica y estructural del Yacimiento Estación Fernández Oro para la Formación Lajas, más precisamente Lajas Inferior, el cual constituye un reservorio no convencional, un reservorio *Tight gas Sandstone*. De este modo, a partir de informes de testigos coronas y la interpretación de registros de pozos utilizando el *software* Petrel 2017 se llevó a cabo la descripción de facies, pudiendo reconstruir un modelo paleoambiental para dicha formación y ajustarse en un modelo estructural del área, donde se describieron las fallas actuantes y cómo influyeron éstas en la depositación para el Grupo Cuyo.

El modelo depositacional para la formación estudiada corresponde a un ambiente deltaico fluvio dominado con facies de canales, barras de desembocadura y bahía interdistributaria. Dividiéndose Lajas Inferior en Lajas inferior 1 y Lajas inferior 0, asociándose a la primera con un subambiente de planicie deltaica y la segunda con un frente deltaico.

Palabras claves: Formación Lajas, reservorio tight, facies, ambiente, modelo estructural

ABSTRACT

This final degree project is based on the geological, stratigraphic and structural characterization of Estacion Fernández Oro field for Lajas Formation, specifically on Lower Lajas, which constitutes an unconventional reservoir, a tight gas sandstone reservoir. Thus, based on core reports and well log interpretation using Petrel 2017 software, facies interpretation was carried out, allowing the reconstruction of a paleoenvironmental model of this formation and its integration into a structural model of the area. This involved describing the active faults and how they influenced deposition for the Cuyo Group.

The depositional model of the studied formation corresponds to a fluvial dominated deltaic environment with Channel facies, mouth bars, and interdistributary bay. Lower Lajas is divided into lower Lajas 1 and lower Lajas 0, with the former associated with a deltaic plain subenvironment and the latter with a deltaic front.

Keywords: Lajas Formation, tight reservoir, facies, environment, structural model

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A mi mamá y mi papá, por darme la mejor educación, inculcarme el valor del estudio, apoyarme en este recorrido universitario, a las dos gracias. A mi familia y mis hermanitos, este trabajo también va dedicado para ustedes.

A mi pareja, Leo, por siempre confiar en mí y apoyarme todos estos años para que no bajara los brazos, por ser mi mayor pilar, gracias.

Ana, Leti, Santi porque ustedes también fueron un apoyo incondicional en mi vida y en mi carrera universitaria, los quiero.

A mis amigos de la vida, que con sus palabras de aliento siempre me impulsaron a seguir adelante.

A mi amigo Gaspa, con el que pasamos muchas horas de estudio juntos, apoyándonos en cada parcial y en cada final, gracias por ayudarme siempre.

A mis directores Ana y Carlos. Ana, gracias por confiar en mí y aceptarme como tesista sin conocerme y ayudarme en este recorrido de trabajo final. Carlos, porque no solo que sos un gran docente de esta Universidad que transmite su pasión por esta profesión en cada clase, en cada viaje, sino que me acompañaste y ayudaste en este trabajo, a los dos gracias.

Mención especial para Flavia, quién me contactó con mi directora y quién me brindó material de estudio para este trabajo.

A los amigos que me dio esta Universidad, con los que compartí muchos viajes de campo y de los que me llevo muchas lindas anécdotas.

A la Universidad Nacional del Comahue y a todos los docentes que forman parte de esta institución, a todos ellos gracias por su dedicación.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	2
AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS	3
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Objetivos.....	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos.....	6
1.2 Información disponible.....	7
2. CUENCA NEUQUINA.....	8
2.1 Ubicación	8
2.2 Evolución Geológica	8
2.3 Unidades Morfoestructurales.....	10
3. ÁREA DE ESTUDIO	14
3.1 Ubicación	14
3.2 Estratigrafía.....	15
3.3 Marco Estructural.....	17
3.4 Sistema Petrolero.....	19
3.4.1 Roca generadora	20
3.4.2 Reservorios	21
4. REGISTROS DE POZOS	23
4.1 Perfil de Resistividad	23
4.2 Perfil de Potencial Espontáneo (SP)	24
4.3 Perfil de Rayos Gamma (RG).....	25
4.4 Electrofacies.....	26
4.5 Patrones en las curvas de GR y SP.....	26
4.6 Características de la curva del GR y su asociación con facies	27
4.7 Parámetros Petrofísicos.....	29
5. INTERPRETACIÓN DE PERFILES	29
Interpretaciones generales y mapas.....	67
6. SÍSMICA	72
6.1 Dato Sísmico	72
6.2 Interpretación de horizontes sísmicos	73
6.3 Superficies.....	75

6.4 Interpretación de fallas	76
7. RELACIÓN PALEOAMBIENTAL Y ESTRUCTURAL	81
8. CONCLUSIONES.....	82
8.1 Recomendaciones	83
9. BIBLIOGRAFÍA	84
10. ANEXOS	90

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

Objetivo general

- Realizar un análisis geológico/estructural del yacimiento Estación Fernández Oro y su implicancia en el desarrollo hidrocarburífero, a partir de la integración de los conocimientos geológicos adquiridos en la carrera.

Objetivos específicos

- Analizar la información de subsuelo disponible mediante utilización de *software* específico.
- Realizar una correlación de las formaciones presentes en la columna estratigráfica de la zona de estudio mediante perfiles de pozo.
- Revisar el *survey* 3D del área e interpretar determinadas líneas sísmicas, que permitan la descripción de las estructuras actuantes y zonas de interés.
- Realizar un análisis estructural, integrando las tareas antes mencionadas, que aporte información al modelo estructural del área de estudio para el Grupo Cuyo y Grupo Mendoza.
- Realizar un modelo estratigráfico sustentado en la información de coronas, *cutting*, perfiles de pozos y sísmica para la Formación Lajas.

1.2 Información disponible

Para la realización de este trabajo se contó con la información de 293 pozos del Yacimiento Estación Fernández Oro con registros varios, entre ellos, *Gamma Ray*, Potencial Espontáneo, Resistividad, Densidad, Gas total, entre otros. Así como también, perfiles adquiridos e interpretados por los petrofísicos de la compañía (saturación de agua, porosidad efectiva, volumen de arcilla, etc.)

Se brindaron informes de testigos coronas para tres pozos, en los que se describen análisis geológicos, litofaciales, petrográficos, mineralógicos, diagenéticos, etc.

Se contó con un cubo sísmico 3D PSTM en profundidad. Las adquisiciones de datos se realizaron durante los años 2006 y 2007 por la empresa WesternGeco sobre un área de 200 km² y el procesamiento se realizó en el centro de procesamiento de YPF. El tamaño del *bin* fue de 25 x 25 metros y un *fold* nominal de 45 (año 2006) y 49 (año 2007). Asimismo, se brindaron las fallas interpretadas por los profesionales de la compañía para la Formación Los Molles que se utilizaron en *software* específico.

2. CUENCA NEUQUINA

2.1 Ubicación

La Cuenca Neuquina (figura 1A) constituye una amplia región territorial de forma triangular (Yrigoyen, 1991) ubicada en el centro-oeste de Argentina, entre los 32° y 40° de latitud sur. Es una de las principales cuencas productoras de hidrocarburos de la Argentina, constituye una extensa comarca petrolera que se extiende por casi toda la totalidad de la provincia de Neuquén, sector occidental de La Pampa, el área noroccidental de Río Negro y la porción meridional de la provincia de Mendoza. El límite occidental de la cuenca lo constituye el arco volcánico ubicado entre los límites de Chile y Argentina, al noreste limita con el sistema de la Sierra Pintada y al sudeste con el macizo Nordpatagónico.

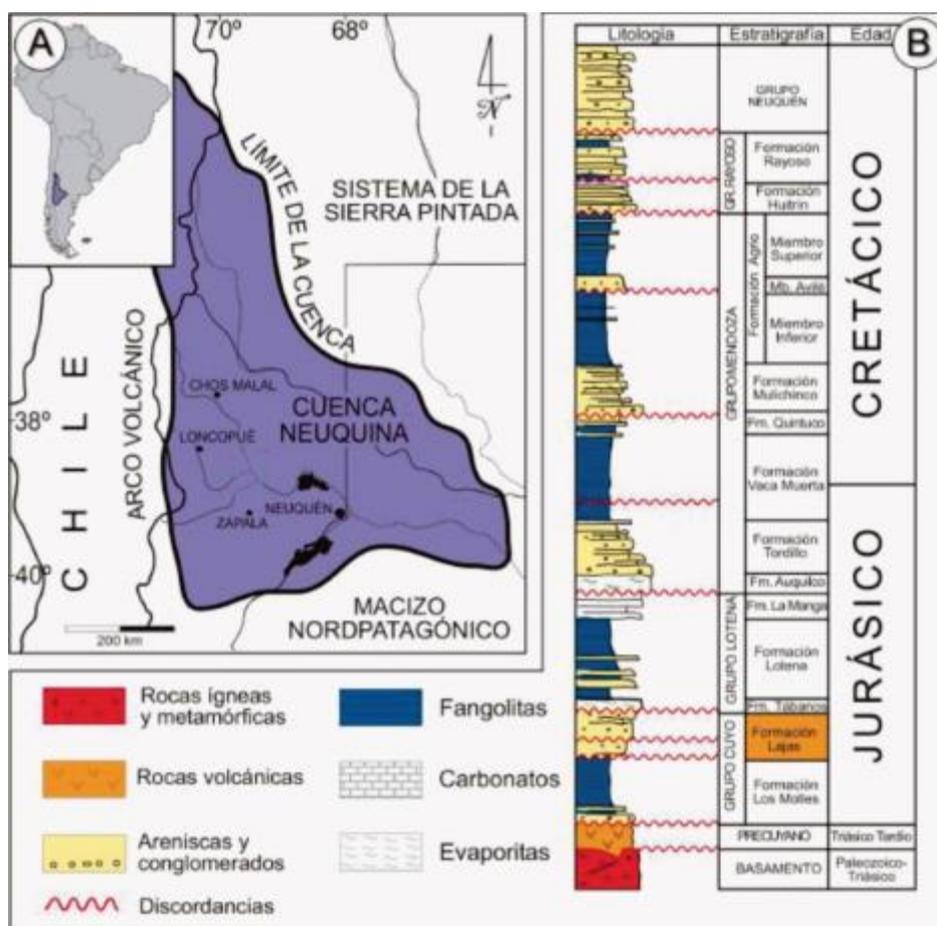


Figura 1: A. Ubicación de Cuenca Neuquina. En B, columna estratigráfica generalizada (modificada de Canale *et al.*, 2015)

2.2 Evolución Geológica

La Cuenca Neuquina tuvo su desarrollo en un contexto de margen de placas convergentes, una de naturaleza oceánica que formó parte del proto-oceano pacífico y otra formada por corteza continental que constituyó el límite sudoccidental de Gondwana (Arregui *et al.*, 2011a). Su historia depositacional comienza en el Triásico tardío – Jurásico temprano y se extiende hasta el Cenozoico, acumulando una columna sedimentaria de más de 6.000 metros de espesor que incluye rocas marinas y continentales que abarcan desde el Triásico Superior al Paleoceno (Howell *et al.*,

2005) y caracterizan distintos ciclos de eventos marinos alternando con etapas de continentalización.

El basamento ígneo-metamórfico de la Cuenca Neuquina está asociado a sucesivos eventos de deformación, fusión, reciclaje cortical y colisión de terrenos alóctonos producidos durante el Paleozoico medio a superior- Triásico. En el Pérmico tardío se genera la provincia magmática Choiyoi que forma gran parte del basamento de la Cuenca Neuquina (Llambias y Sato, 2011) durante esta etapa se interrumpe o disminuye la velocidad de la subducción de la placa oceánica Pacífica por debajo de la Sudamericana, lo que da lugar a un importante magmatismo bimodal (Franzese y Spalletti 2001; Charrier *et al.*, 2007).

La evolución de esta provincia geológica se puede resumir en tres etapas: 1) Etapa de *Rift*, 2) Etapa de *Postrift* y 3) Etapa de Antepaís.

En el Triásico comenzó una etapa de *rift* que comprometió a todo el espesor de la litósfera, extendiéndose hasta el Jurásico temprano. Se genera un contexto extensivo en la cuenca, relacionado al desmembramiento de Pangea y la subducción del proto-océano Pacífico por debajo del límite sudoccidental del Gondwana. Sin embargo, para Uliana y Biddle (1988) la extensión más significativa para la cuenca ocurrió principalmente por sobre la reactivación de antiguos arreglos estructurales extensivos, principalmente paleozoicos. Dicha reactivación de fallas, dieron lugar a la generación de extensos y numerosos grábenes y hemigrábenes, cuyas fracturas profundas permitieron el ascenso del magma desde la astenosfera, generando un intenso volcanismo que rellenó con diversos grados y etapas esos depocentros (Llambias *et al.*, 2007; Arregui *et al.*, 2011b) dando lugar a lo que se conoce como Ciclo Precuyano.

A partir del Triásico tardío alto- Jurásico temprano, finaliza la etapa de *rift* y se instaura un régimen de subducción en el margen occidental de Gondwana con un angosto arco magmático y la presencia de una serie de cuencas extensionales de retroarco (Sánchez, 2015), asimismo Vergani *et al.*, (1995) señalan una principal componente de distensión de orientación noreste-sudoeste profunda, dicho régimen fue el precursor de la subsidencia que constituyó la Cuenca Neuquina. La subsecuente depositación del Grupo Cuyo que abarca el intervalo Jurásico Inferior – Jurásico Medio, inicia con una ingresión marina asociada la culminación de un estadio de *synrift* que posteriormente sobrepasa los depocentros aislados para cubrir gran parte del engolfamiento (Arregui *et al.*, 2011b).

Durante el Jurásico temprano hasta el Cretácico tardío la extensión está vinculada a la subsidencia térmica generalizada (Turic *et al.*, 1987) y la cuenca evoluciona a cuenca de retroarco rellenada por diversos ciclos sedimentarios cuyos depósitos consisten en una repetición ordenada de procesos de inundación, progradación, desecación y posterior erosión. Tales ciclos se encuentran representados por los grupos, Lotena y Mendoza (Arregui *et al.*, 2011b). Tras un prolongado periodo extensional y de subsidencia se acumularon intervalos de rocas generadoras y reservorios jurásicos-cretácicos (Vergani *et al.*, 1995).

Para el Cretácico Superior alto se produce la desvinculación de la cuenca con el océano Pacífico y comienza la continentalización de la misma (Sánchez, 2015), producto del inicio de un régimen compresivo como consecuencia de una rotación en el vector de convergencia entre las placas Farallón y Sudamericana (Ramos *et al.*, 2011) que produce una inversión de las antiguas

estructuras extensionales, con la consiguiente generación de un frente de deformación occidental (faja plegada y corrida) y la migración hacia el este de los depocentros sedimentarios (Garrido, 2010). De esta manera, comenzó la etapa de antepaís de la Cuenca Neuquina representado por los sedimentos sinorogénicos del Grupo Neuquén (Ramos *et al.*, 2011).

Hasta la actualidad, se han documentado cuatro importantes intervalos transgresivos-regresivos (formaciones Los Molles, Vaca Muerta, Agrio Inferior y Agrio Superior) y un intervalo de carácter lacustre-continental (Grupo Cuyo). Dieron lugar a las cinco rocas generadoras de la Cuenca Neuquina, que en conjunto con sus respectivos reservorios conforman los sistemas petroleros de esta cuenca.

2.3 Unidades Morfoestructurales

La geología Neuquina se divide en una serie de unidades discretas para una mejor comprensión de su evolución geológica, siguiendo la definición de provincia geológica cito textual “... *región caracterizada por una determinada sucesión estratigráfica, un estilo estructural propio y rasgos geomorfológicos peculiares, siendo el conjunto expresión de una particular historia geológica...*”. Roller, (1976) en Ramos *et al.*, (2011). Se reconocen diversas provincias geológicas en la Cuenca Neuquina: 1) Fosa de Loncopué, 2) Faja plegada y corrida del Agrio, 3) Alto de los Chihuidos, 4) Flanco Oriental, 5) Dorsal de Huincul (figura 2). A continuación, se describirá brevemente cada una de ellas haciendo hincapié en la Dorsal de Huincul, unidad morfoestructural en donde se encuentra la zona de estudio de este trabajo (recuadro rojo en figura 2).

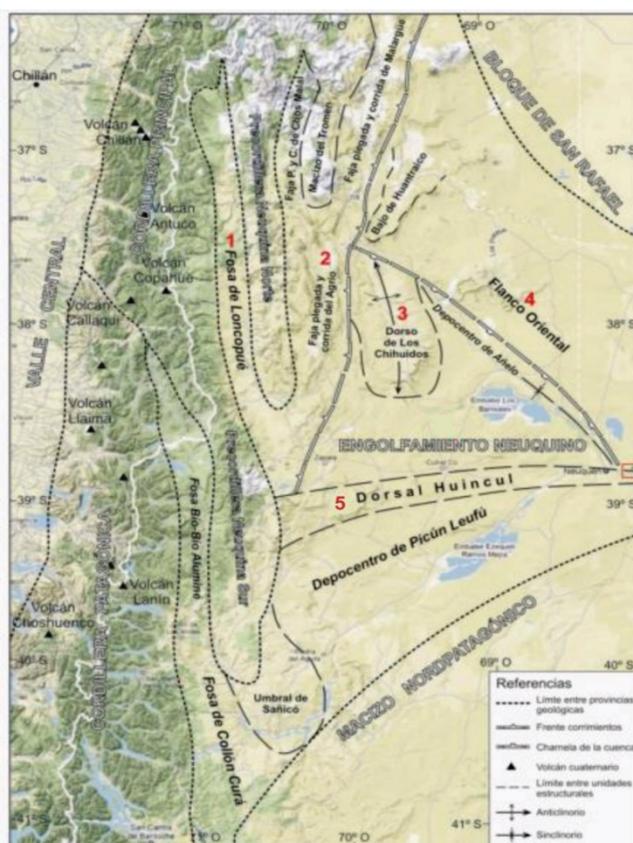


Figura 2: Provincias geológicas de la provincia de Neuquén. El recuadro en rojo indica el área de estudio y los números las unidades morfoestructurales descritas en este trabajo (modificado de Ramos *et al.*, 2011).

1. Fosa de Loncopué

Fue definida con este nombre por Ramos, (1978). Se localiza entre los 36° y 39° de latitud sur, entre la Cordillera Principal y Precordillera Neuquina Norte (figura 2). Los procesos de compresión y extensión que dieron lugar a los Andes de la región neuquina permitieron la formación de esta fosa, la cual consiste en un sistema de hemigrábenes que generan una larga depresión plio-cuaternaria paralela a la Cordillera Principal, rellena por depósitos volcánicos y volcanoclásticos (Ramos y Folguera, 2005). El sector oriental de esta fosa, presenta depósitos de edad mesozoica que se encuentran formando anticlinales, los cuales han sido relacionados con hemigrábenes de la etapa extensiva del Triásico (Vergani *et al.*, 1995).

2. Faja plegada y corrida del Agrio

Se encuentra ubicada en la parte occidental de la provincia de Neuquén, entre los 37° y 38° de latitud sur, limitando al oeste por la Precordillera Neuquina Norte y al este por el Dorso de los Chihuidos (figura 2).

La subducción de la placa tectónica oceánica de Nazca por debajo de la placa tectónica Sudamericana dio lugar a la generación de una intensa deformación estructural en esta provincia geológica. La misma es de gran interés ya que se puede estudiar la secuencia casi completa de la Cuenca Neuquina, dado que se desarrollaron estructuras de gran tamaño en profundidad (Lebinson *et al.*; 2015). Ramos, (1978) la interpretó como una deformación compresiva de retroarco asociada a pliegues y fallas inversas que despegan en niveles evaporíticos.

Se puede dividir la faja en dos sectores, que delimitan dos zonas de deformación bien definidas, una interna y otra externa. La zona interna con una estructura controlada por bloques de basamento y la externa caracterizada por presentar trenes estructurales de deformación del tipo epidérmica (Casadío y Montagna, 2015).

3. Alto de los Chihuidos

Es una estructura braquianticlinal asimétrica ubicada entre los 37° y 39° Sur en la zona de Engolfamiento Neuquino, en la parte centro occidental de la Cuenca Neuquina. Limita con la Faja plegada y corrida del Agrio y el Flanco Oriental (figura 2).

Su morfología actual se debe a los movimientos generados en el ciclo Andino, los cuales provocaron exhumación, erosión y su relieve actual con más de 600 m de espesor (Micucci *et al.*; 2018). En cuanto a su evolución estructural, diversos autores han realizado sus interpretaciones de la estructura de la misma, entre ellos Zamora Valcarce *et al.*; (2009) propusieron tres pulsos de deformación, basándose en trazas de fisión de apatita: el primero en el Eoceno que ocasionó erosión de más de 1000 m de espesor y dos pulsos en el Mioceno que generaron la erosión de 700 y 750 m de cobertura.

4. Flanco Oriental

Considerada como una plataforma en el extremo oriental del Engolfamiento Neuquino, ubicada en el borde de cuenca, formando parte de la cuenca de antepaís y abarcando parte de las provincias de La Pampa, Mendoza y Rio Negro.

Se la describió como una provincia geológica formada por plegamientos que están asociados a fracturas de rumbo con orientación noroeste conocido como sistema Entre Lomas (Mosquera y Ramos, 2006). Posteriormente, Pangaro *et al.*; (2011) la caracterizan como un flanco de una cuenca de *rift* cuyo eje es el Bajo de Añelo y en la cual se puede reconocer un claro relleno de la etapa de subsidencia tectónica activa y de subsidencia termal.

5. Dorsal de Huincul

La Dorsal de Huincul es un lineamiento estructural ubicado en el sector central y occidental de la sutura del terreno Patagonia, desarrollado a los 39°S y se extiende por más de 270 km con una orientación E-O (Silvestro y Zubiri, 2008). Esta estructura divide la cuenca neuquina en dos subcuencas, el depocentro de Picún Leufú al sur y la cuenca principal al norte (figura 3).

Este rasgo estructural fue interpretado en un principio como un alto estructural con fallamiento extensional que se hundía tanto al norte como hacia el sur (De Ferraris, 1947 en Ramos *et al.*, 2011). En los trabajos realizados en los años posteriores, se describen a las estructuras de dicha dorsal como el resultado de la inversión tectónica de fallas extensionales previas. Los estudios de subsuelo y de superficie permitieron definir a esta estructura como una sumatoria de eventos de deformación, con esfuerzos cambiantes a lo largo del tiempo, extensionales y compresivos (Vergani *et al.*, 1995 en Ramos *et al.*, 2011). Por otro lado, la dinámica de la subducción de las placas Aluk y Sudamericana y la generación de un vector de convergencia oblicua, tuvieron una gran influencia en la evolución de esta provincia geológica, reactivando corrimientos pérmicos y depocentros triásicos-jurásicos que generaron estructuras positivas; inversión tectónica con componentes de desplazamiento de rumbo (*strike-slip*) en el Jurásico Superior a estructuras transpresivas a transtensivas en el Cretácico y Cenozoico (Mosquera y Ramos, 2006).

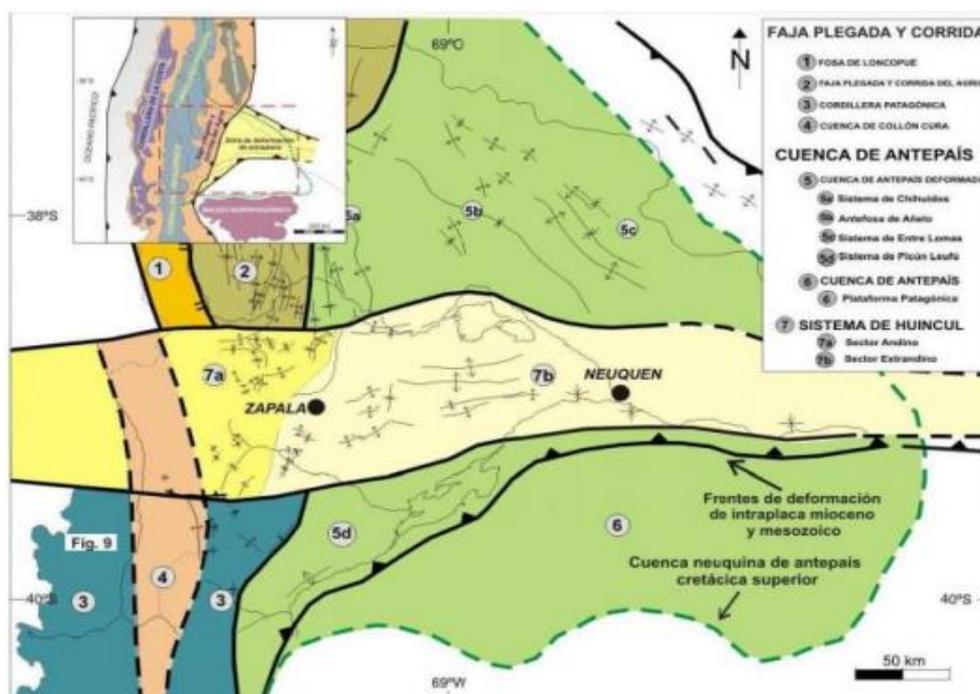


Figura 3: Ubicación de la Dorsal de Huincul en relación con las unidades morfoestructurales de la Cuenca Neuquina (extraída de Mosquera *et al.*, 2011)

Dadas las características estructurales de la dorsal y zonas aledañas, Silvestro y Zubiri, (2008) reconocen cuatro sectores con orientaciones de lineamientos predominantemente al este, noreste y noroeste (figura 4), divididos en:

Sector occidental (1) se caracteriza por el predominio de lineamientos orientados al noreste y vergencia al sureste, los cuales estarían relacionados a estructuras compresivas y fallas inversas de basamento que tienen un rechazo vertical muy importante y que generan pliegues de propagación de falla. El mayor desarrollo de los mismos se puede observar en los corredores estructurales subparalelos de: La Esperanza, Ranquil Co, Puesto Cortadera, Portezuelo Minas y Cerro Bandera. Asimismo, este sector también involucra al Sur y Este de Loma Negra, Portezuelo Oeste, Piedra Chenque, Charco Zampal, Cerro Mirador y Guanaco.

Sector oriental (2) el mismo presenta lineamientos hacia el noroeste, relacionados a zonas de cizalla con desplazamiento lateral dextral y que corresponden a zonas dominadas por transpresión, las cuales dieron lugar a la generación de estructuras de flores positivas y negativas originadas por fallas subverticales. Dicha zona se extiende hasta la longitud $67^{\circ}00'$, 50 km al este de la localidad de General Roca. Las zonas con mayor extensión regional son Lindero Atravesado y Río Neuquén, pero la zona oriental también abarca Anacleto, Centenario, Las Chivas, Estación Roca, Kauffman Sur, Loma Kauffman, Puesto Flores, Puesto Zuñiga, Loma Negra, Estancia Vieja. Cabe destacar que el área de estudio de este trabajo de licenciatura se encuentra en este sector, recuadro rojo de la figura 4.

Sector central (3) considerado como de transición entre los dos sectores previamente mencionados, caracterizado por lineamientos orientales. Las estructuras generadas tienen un fuerte acortamiento y los anticlinales están relacionados a fallas de basamento con un importante rechazo inverso, afectados a su vez por una componente de desplazamiento de rumbo dextral. Involucra las zonas de: Huincul, Aguada Baguales, Sierra Barrosa, Barrosa Norte y El Cordón.

Sector norte (4) ubicado en la zona de engolfamiento, donde se desarrollan estructuras transcurrentes dominadas por cizalla simple y con orientación al noroeste, misma orientación que los lineamientos generados en este sector. Abarca El Cruce, Loma Campana, Borde Montuoso, Bajada de Palo, Entre Lomas.

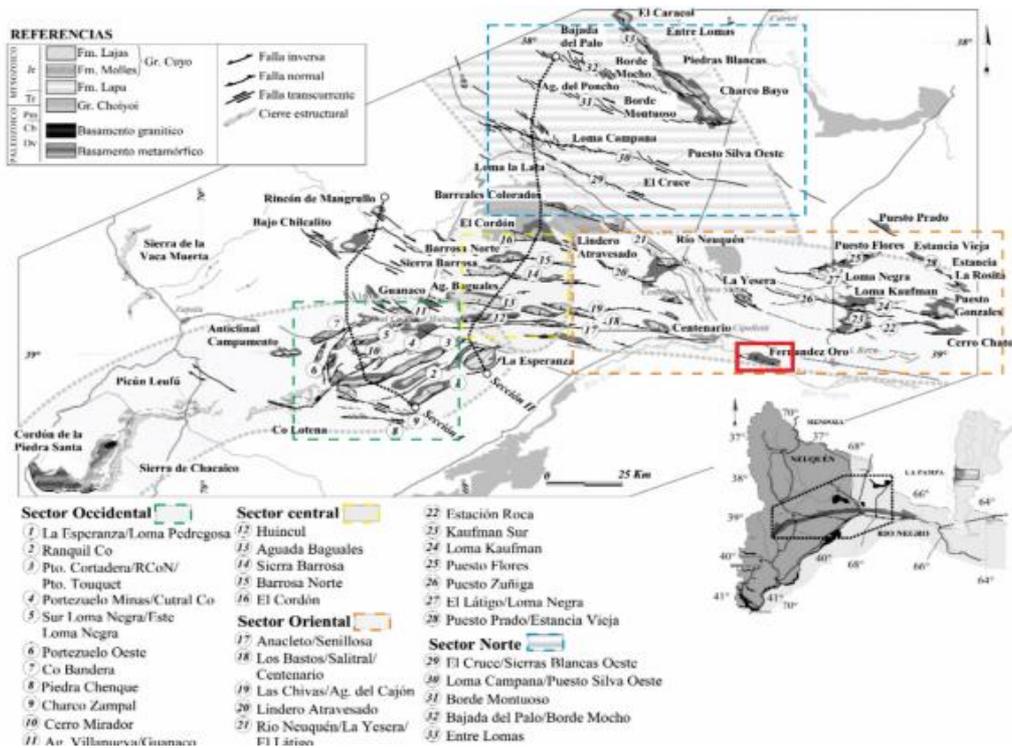


Figura 4: Lineamientos estructurales principales relacionados a la Dorsal de Huincul. Se muestran los cuatro sectores caracterizados por Silvestro y Zubiri, (2008). En recuadro rojo ubicación del área de estudio (Estación Fernández Oro).

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación

El área de estudio es el yacimiento Estación Fernández Oro (EFO) y forma parte de un conjunto de bloques en producción de gas de la Cuenca Neuquina, ubicados en la zona centro oriental del engolfamiento neuquino y sobre el sector oriental según la división de Silvestro y Zubiri, (2008) de la Dorsal de Huincul (figura 4). Geográficamente el área se encuentra entre los 38°58' y 39°4' S y los 67°44' y 67°58' O, en el sector sureste de la Cuenca Neuquina, al sur de la localidad de Allen, provincia de Río Negro (figura 5).

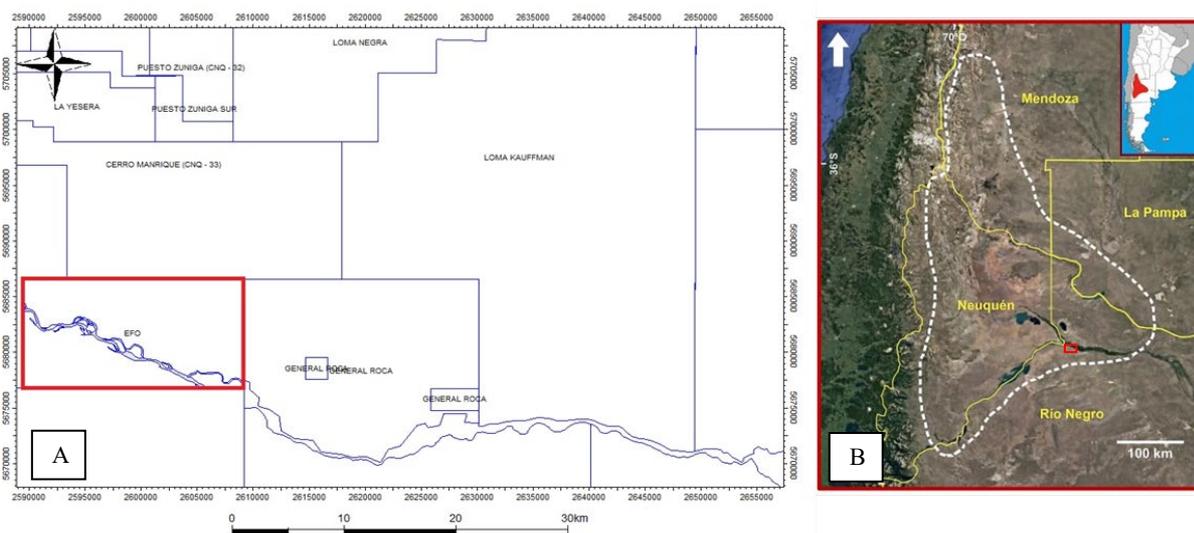


Figura 5. A) Concesiones hidrocarburíferas de la provincia de Río Negro, en recuadro rojo yacimiento Estación Fernández Oro (EFO). B) Mismo recuadro rojo con la ubicación de EFO en la Cuenca Neuquina (modificado de Voglino, 2017)

El yacimiento es operado por YPF y cuenta con más de 116 pozos profundos ubicados al norte del río Negro, siendo ésta la zona más productiva de la concesión (Roberts Gonzalez, 2018). Produce gas y condensado de la Formación Lajas, cuya producción acumulada a julio de 2017 es de 4460 Mm³ de gas y 857 km³ de condensado y petróleo de la Formación Quintuco (García *et al.*, 2018).

En cuanto al contexto superficial, el área se encuentra enmarcada en una zona de desarrollo frutícola y de viviendas, lo cual impacta en el diseño y método de explotación de hidrocarburos: condiciona el diseño de los pozos y como consecuencia sus costos, genera un incremento en tiempos de perforación. Por otro lado, la presencia del río Negro en el yacimiento influye en la producción de los pozos en el margen sur del mismo, ya que no se cuenta con instalaciones de superficie que transporten el hidrocarburo, por lo que en este sector las perforaciones son escasas. Asimismo, existen restricciones ambientales para la existencia de pozos ubicados en locaciones por debajo de la cota de máxima inundación histórica del río, esos pozos deben ser abandonados.

3.2 Estratigrafía

El área de estudio se encuentra en el margen oriental de la dorsal de Huincul y su estratigrafía ha sido controlada por eventos de deformación que ocurrieron, observándose discordancias angulares como consecuencia de un fuerte control de las estructuras sobre las facies de varias unidades estratigráficas. En la figura 6 se resume la columna cronoestratigráfica del yacimiento.

Durante el Triásico Superior a Jurásico Inferior, se generó la depositación de secuencias volcánicas y sedimentarias del denominado Ciclo Precuyano (Gulisano, 1981) también conocido como “primer ciclo”, en una etapa caracterizada por una fuerte subsidencia tectónica. Este ciclo se interpreta como el estadio inicial de relleno de una cuenca en formación, caracterizada por volcanismo bimodal y espesores variables (Pángaro *et al.*, 2009). En el área de estudio, no se cuenta con información detallada de este ciclo.

Suprayace la depositación del segundo ciclo o Ciclo Cuyano (Groeber, 1946) con la sedimentación marina y continental de edad Jurásica de la Cuenca Neuquina. Abarca un lapso de tiempo desde el Pliensbachiano – Toarciano hasta el Calloviano Medio en la provincia de Neuquén (Arregui *et al.*, 2011b). Posteriormente Dellape *et al.*, (1978) propone el término Grupo Cuyo para este Ciclo Cuyano, que limita en la base por la discordancia Intraliásica y en su techo por la discordancia Intracalloviana. Esta mesosecuencia se desarrolla en casi toda la cuenca y está caracterizada por una marcada subsidencia tectónica y una disminución en la actividad volcánica. Se distingue por tener la primera transgresión marina y un estadio de inundación inicial asociado a una etapa de *synrift*. Los continuos avances y retrocesos del nivel del mar dieron lugar a la depositación de distintas secuencias que van desde depósitos pelíticos, areniscas, conglomerados y evaporitas, culminando con un régimen fluvial a litoral (Arregui *et al.*, 2011b). El mismo se subdivide en diferentes rangos jerárquicos, de base a techo, en las formaciones Los Molles, Lajas y Punta Rosada.

La primera ingresión marina (Jurásico Inferior) proveniente del Pacífico, trajo aparejada condiciones profundas y fondos reductores que favorecieron la depositación de pelitas grises y grises oscuras con variable contenido orgánico en el centro y sur de la cuenca neuquina de la Formación Los Molles. Definida por primera vez por Weaver, (1931) y que integra el sector

inferior del grupo. Hacia los bordes de la cuenca, las facies marinas gradan a facies deltaicas y fluviales (Legarreta y Villar 2012).

La Formación Lajas fue definida también por Weaver, (1931) en el flanco occidental de la sierra de la Vaca Muerta. Se caracteriza por depósitos de ambiente mixto (marino somero, deltaico y estuarino) de areniscas, pelitas con restos carbonosos y conglomerados (Arregui *et al.*, 2011a). Dicha formación culmina con facies aluviales que corresponden a la Formación Punta Rosada (Digregorio, 1972), caracterizada por tener capas rojizas de origen fluvial con espesores de hasta 10 metros. Depósitos clásticos regresivos se encuentran en la formación Lajas y Punta Rosada del Jurásico Medio a Tardío (Vergani *et al.*, 2011), consideradas reservorios del área de estudio. Estas areniscas continentales presentan un importante porcentaje de material volcánico y pierden porosidad (menor al 10%) y permeabilidad (menor a 0,1 mD) en condiciones de soterramiento mayor a 3000 metros de profundidad (Casadio y Montagna, 2015).

Suprayace a la Formación Punta Rosada el Grupo Mendoza, integrado en su base por la Formación Tordillo/ Quebrada del Sapo/ Sierras Blancas / Catriel, denominación que cambia en las distintas posiciones dentro de la Cuenca Neuquina, los cuales hacen referencia a los depósitos basales continentales del Kimmeridgiano (Spalletti *et al.*, 2011). La Formación Tordillo conforma una secuencia de areniscas de tamaño de grano grueso con una matriz arcillosa con intercalaciones de arcilitas y limolitas (Scazziota, 2012). Por encima de esta formación, se encuentran las pelitas oscuras de la Formación Vaca Muerta, con elevado contenido de materia orgánica (margas bituminosas). Las mismas fueron definidas por primera vez por Weaver, (1931), y son el resultado de un periodo de máxima transgresión y mar alto (Legarreta y Uliana, 1991). Las suceden progradaciones clástico-calcáreas proximales de la Formación Quintuco (Weaver, 1931). Contemporánea a dicha formación y a Vaca Muerta se encuentra la Formación Loma Montosa. La misma posee en el área de estudio un espesor que varía entre 550 y 400 m y que se la divide en un miembro inferior carbonático y otro superior clástico (Scazziota, 2012).

La columna sedimentaria culmina con las areniscas y conglomerados fluviales de las formaciones Centenario, Rayoso y Grupo Neuquén.

La Formación Centenario es una unidad de subsuelo que es la equivalente en tiempo a la Formación Agrío en el borde de cuenca. Representa las contrapartes proximales de los miembros marinos de la Formación Agrío (Iñigo *et al.*, 2019). En la misma se reconocen dos miembros: uno inferior, compuesto por alternancias de areniscas y pelitas de ambientes litorales, deltaicos y fluviales, dominando hacia el este los depósitos gruesos fluviales; y el superior comprendido por una secuencia basal pelítica transgresiva con niveles de areniscas que termina con facies fluviales (Casadio y Montagna, 2015).

Los depósitos de la Formación Rayoso están compuestos por areniscas finas, pelitas rojas, carbonatos y evaporitas que abarcan 1200 metros de espesor. Esta secuencia indica la desconexión con el paleo-océano Pacífico. Autores como Zavala y Ponce, (2011) proponen que dicha formación se habría depositado en un cuerpo lacustre somero de variable salinidad y en el que alternaban periodos húmedos y áridos.

Finalmente se encuentran los depósitos del Grupo Neuquén definido como una sucesión de depósitos continentales del Cretácico Superior de la cuenca, limitados en su base por la

discordancia Patagonídica (Keidel, 1925; Leanza, 2009) y en su techo por la discordancia Huantráiquica (Méndez *et al*, 1987). Constituye una secuencia de 1200 m de espesor integrada por una sucesión de capas rojas compuesta por areniscas, fangolitas y grauvacas y depósitos tobáceos, tufíticos y evaporíticos (menos de 1% de la secuencia) vinculados a un ambiente continental fluvial, aluvial, lacustre y eólico (Cazau y Uliana, 1973).

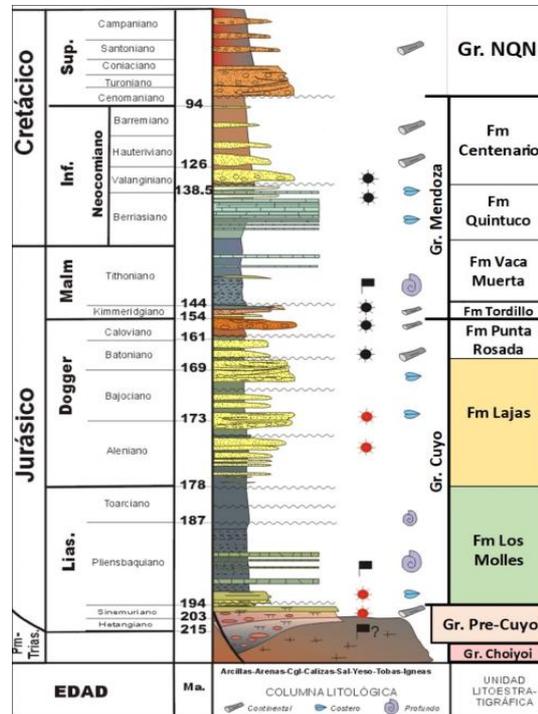


Figura 6: Columna Cronoestratigráfica de la zona de estudio (modificada de Brisson y Veiga, 1999)

3.3 Marco Estructural

El yacimiento Estación Fernández Oro se encuentra ubicado en la zona oriental de la Cuenca Neuquina, sobre la dorsal de Huinul. La historia estructural del bloque comienza en el Triásico Superior - Jurásico Inferior en una etapa de *rift* con fallas normales activas que dieron origen a una serie de fosas aisladas (Franzese y Spalletti, 2001). La influencia de la subsidencia de *rift* está documentada hasta el Toarciense Inferior (Pángaro *et al.*, 2009). Durante este tiempo, se generaron una serie de hemigrabenes de orientación noroeste, típicamente con bloque hundido al noreste; situación que varía hacia el este dando lugar a una orientación noreste. Estos hemigrabenes fueron rellenados con depósitos de 1,5 a 3 kilómetros del Precuyano y sus dimensiones varían entre 10 a 20 kilómetros de extensión (Cristallini *et al.*, 2009; Pángaro *et al.*, 2009).

Desde el punto de vista estructural, es una zona compleja dada la presencia de importantes fallas y altos de basamento. El yacimiento se ubica al suroeste de un sistema de hemigrabenes y grabenes del sector Estancia Vieja – Loma Kauffman (figura 7). Estas depresiones están desvinculadas por altos tales como el Alto Estancia Vieja, Alto de Kauffman y Alto La Yesera. Al suroeste del último mencionado se ubica la cubeta del Yacimiento Estación Fernández Oro. El bloque limita al sur por una falla normal de alto ángulo con dirección oeste-noroeste y vergencia hacia el noreste.

El sector Estancia Vieja – Loma Kauffman se caracteriza por dos sistemas de hemigrabenes cuyas direcciones son noroeste – sureste, paralelos entre sí y de polaridad opuesta: La Yesera y Estancia Vieja, separados por el alto de Kauffman (Limeres *et al.*, 2005), figura 7a. La sección sísmica de la figura 7b atraviesa ambos hemigrabenes y el alto de Kauffman, donde es posible observar claramente la estructura extensional precuana.

El sistema de hemigrabenes de Estancia Vieja se desarrolla a partir de un conjunto de fallas normales que inclinan al suroeste. Algunas de ellas se invirtieron durante el Jurásico Inferior (figura 7c). Mientras que el sistema de La Yesera, se desarrolla a partir de una falla normal de alto ángulo y dirección al noroeste (Cristallini *et al.*, 2009).

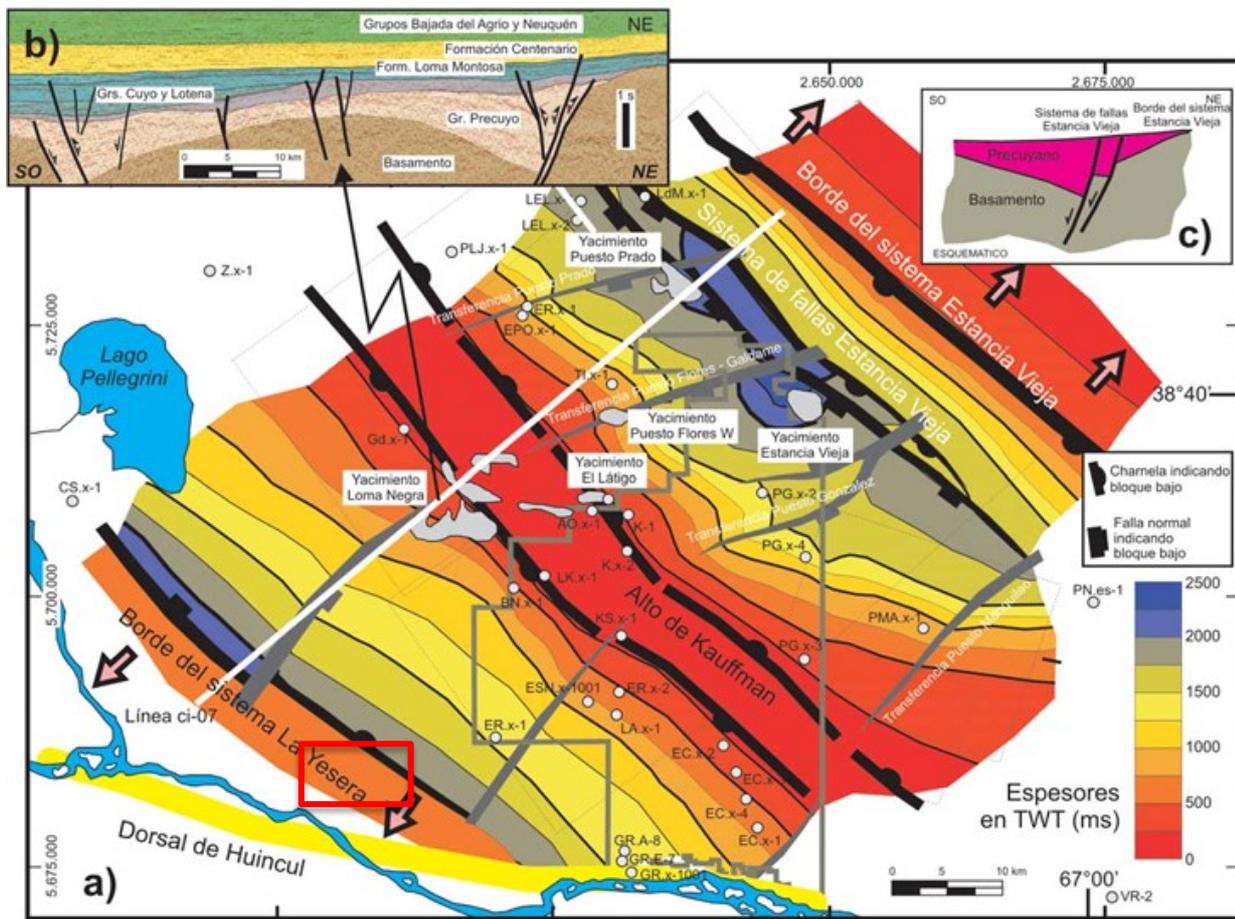


Figura 7: A. Mapa de las estructuras precuanas en cercanías a EFO (recuadro rojo), en la región de Estancia Vieja – Loma Kauffman. B. Sección sísmica c1-07 que atraviesa los hemigrabenes de Estancia Vieja y Loma Kauffman. C. Esquema de la estructura de la cubeta de Estancia Vieja (modificado de Cristallini *et al.*, 2009).

La complejidad estructural deja su impronta en la depositación del Grupo Cuyo. Observándose tanto al este, debido a la presencia del Alto de General Roca, como al Sur, en donde la falla principal de la zona “Entre Fallas” pone en contacto el basamento cristalino con el Grupo Mendoza (Figura 8).

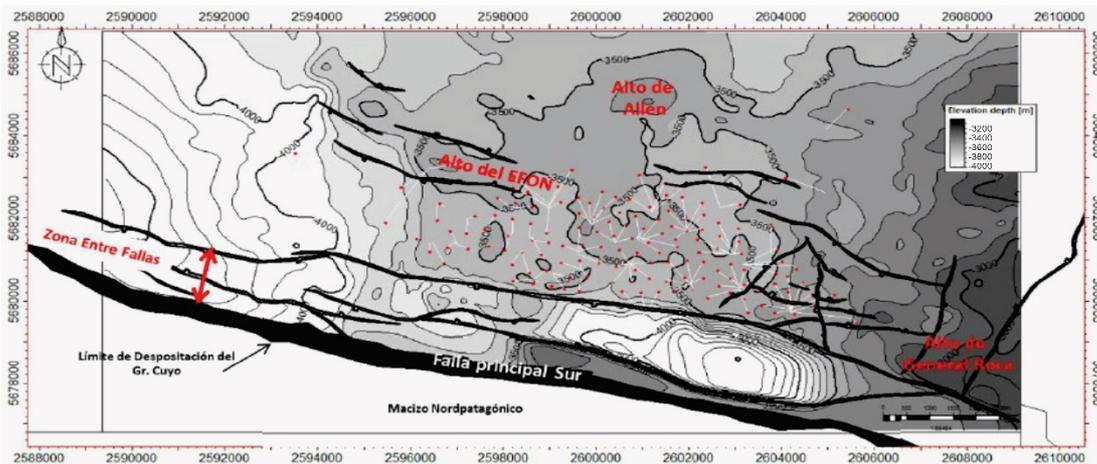


Figura 8: Mapa estructural al tope de Formación Los Molles con los rasgos estructurales principales del área de estudio (extraído de García *et al.*, 2018)

3.4 Sistema Petrolero

Diversos autores entre los que se destacan Magoon y Dow, (1974) y Perrodon y Masse, (1984) propusieron los primeros conceptos de sistemas petroleros. Dow presenta el concepto de Sistema Petrolero para la cuenca de Williston (Estados Unidos) en base a correlaciones entre tipos de petróleo y roca madre. Por otro lado, Perrodon y Masse definen a sistema petrolero como un conjunto organizado de eventos geológicos. En 1994 Magoon y Dow proponen una definición más completa del mismo, como un sistema natural que posee un área de roca generadora activa y todos los elementos y procesos geológicos esenciales para que pueda existir acumulación de hidrocarburos.

Autores como Legarreta *et al.*, (2008) utilizaron el término informal de distritos para agrupar campos con acumulaciones que comparten similitudes en rocas generadoras, reservorios, tipo de migración y trampas (figura 9).

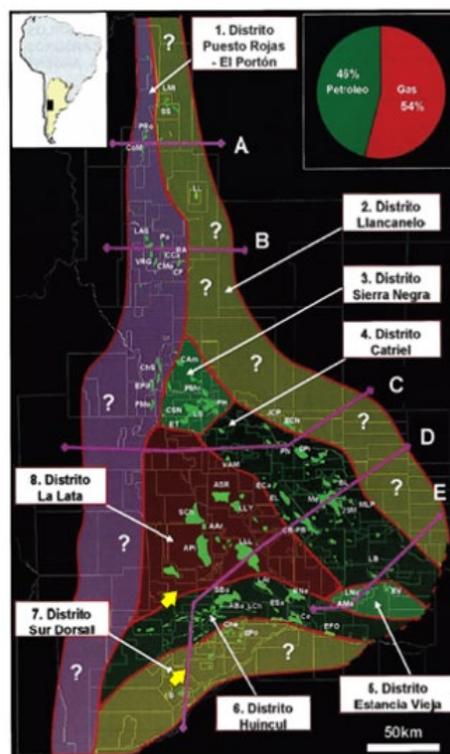


Figura 9: Distritos de la Cuenca Neuquina (extraído de Legarreta *et al.*, 2008)

El área de estudio se encuentra dentro del Distrito Huincul, definido por los autores Legarreta *et al.*, (2008). El mismo abarca las rocas generadoras que corresponden a la Formación Los Molles (Grupo Cuyo) y a la Formación Vaca Muerta (Grupo Mendoza Inferior). Las trampas están relacionadas con fallas compresivas en la zona de la Dorsal y también trampas estratigráficas por acuñamiento de algunas unidades. Los principales reservorios corresponden a las areniscas de las Formaciones Lajas, Punta Rosada, Lotena y Tordillo y las rocas volcánicas del Pre-Cuyo. Asimismo, los sistemas petroleros Los Molles - Precuyano, Los Molles - Lajas - Challacó – Punta Rosada, contienen importantes reservas conocidas y por conocer de rocas de condiciones petrofísicas pobres (*tight*) en profundidades mayores (Vergani *et al.*, 2011). Con respecto a la migración, los hidrocarburos de la Formación Los Molles han sido movilizados verticalmente a través de fallas hacia las trampas, el desplazamiento lateral está limitado por la baja calidad petrofísica de los *carriers*. Mientras que las trampas con hidrocarburos generados en la Formación Vaca Muerta muestran un escenario distinto, favorecidas por un drenaje lateral de pocos a decenas de kilómetros (Legarreta *et al.*, 2008).

El concepto de *play* definido como grupo de acumulaciones conocidas o posibles con una trampa o reservorios comunes es un concepto útil para agrupar los yacimientos principales de la región de la dorsal esquematizados en la figura 10. Tales yacimientos son de petróleo y gas y se puede observar la complejidad estructural y geológica del área (Vergani *et al.*, 2011).

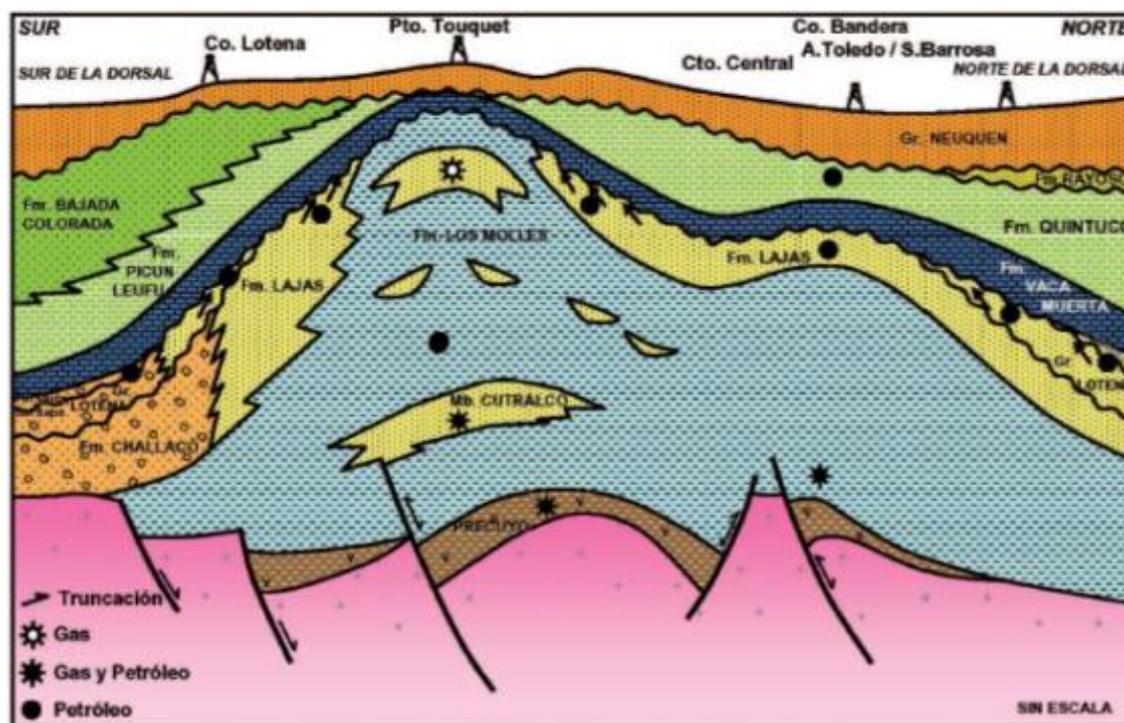


Figura 10: Sección de la Dorsal de Huincul con sus principales *plays* productivos (extraída de Vergani *et al.*, 2011).

3.4.1 Roca generadora

La roca generadora principal del Grupo Cuyo se encuentra en el término basal del mismo, caracterizada por pelitas oscuras de la Formación Los Molles con importantes espesores de cientos de metros. El querógeno es mixto, marino terrestre (tipo II/III), COT 1-4%, predominantemente generadoras de hidrocarburos livianos y gas (Cruz *et al.*, 2002). En el área de Estación Fernández

Oro (figura 11), el tope de Formación Los Molles se encuentra próximo al pico de generación de petróleo (Cruz *et al.*, 1999) y la base supera 1.3% Ro, que indica ventana de generación de gas.

Los petróleos livianos y condensados de Los Molles han sido colectados en reservorios de Lajas y Punta Rosada. Son fluidos maduros de alto contenido parafínico (Ro 0.9 a 1.2 %). Los gases generados por la Formación Los Molles están alojados en Precuyo, Punta Rosada y Lajas. Son gases termogénicos, secos a moderadamente húmedos (Ro 1.2 a 1.5%), es decir en fase tardía de petróleo a post maduración incipiente (Cruz *et al.*, 2002).

La roca generadora más somera en la columna es la Formación Vaca Muerta, correspondientes a margas y lutitas marinas con alto contenido orgánico, un querógeno algal-amorfo (tipo I/II). Su madurez térmica varía en rangos de Ro entre 0.7 y 1.0% y en la zona de estudio se encuentra dentro de la ventana de generación de petróleo (Cruz *et al.*, 1999). Dicha formación ha cargado los reservorios de las formaciones Quintuco- Loma Montosa y Tordillo- Sierras Blancas con petróleo negro (figura 11).

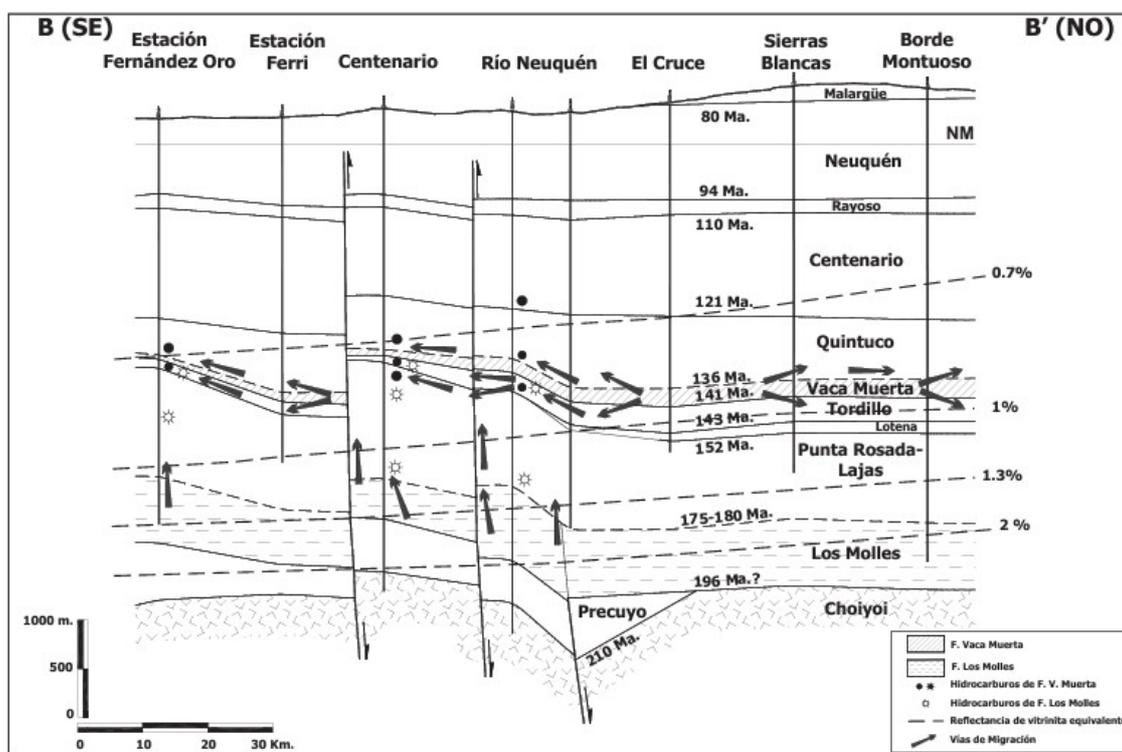


Figura 11: Corte geológico SE-NO con principales acumulaciones de hidrocarburos de distintos yacimientos, entre ellos, Estación Fernández Oro (extraído de Cruz *et al.*, 2002)

3.4.2 Reservorios

Uno de los primeros trabajos que caracterizan los reservorios de la zona, entre los cuales destaca Zumel *et al.*, 2002, describe que las rocas reservorios del Jurásico Inferior corresponden a las primeras secuencias depositacionales del Grupo Cuyo y son productivas a lo largo de la Dorsal de Huincul. Dichos reservorios, son mayoritariamente portadores de gas seco y se caracterizan por tener baja permeabilidad. Malone *et al.*, 2002 describe que las acumulaciones del Grupo Cuyo Superior pertenecen al sistema petrolero Los Molles – Lajas y Los Molles – Punta Rosada.

Desde la publicación de estos trabajos, la exploración y el desarrollo de areniscas compactas (*tight gas sandstones*) ha tomado un papel importante en la producción de gas de la Cuenca Neuquina, especialmente en yacimientos localizados en la zona de la dorsal y centro oriental del engolfamiento (figura 12). Las acumulaciones de *tight gas sandstones* son reservorios que tienen una permeabilidad inferior a 0,1 mD y una porosidad efectiva entre 2 a 12% aproximadamente, agrupados dentro de los denominados reservorios No Convencionales. Se ha propuesto la existencia de trampas estratigráficas dentro de areniscas *tight* de la Formación Lajas y posiblemente dentro de las facies turbidíticas de la Formación Molles (Gómez Omil *et al.*, 2017).

Actualmente, los reservorios del Grupo Cuyo contribuyen con aproximadamente el 25% de la producción de gas de la cuenca, con una producción diaria de aproximadamente 17 MMm³/día de gas (600 MMscf/d), que provienen de seis yacimientos principales: Cupen Mahuida, Río Neuquén, Estación Fernández Oro, Lindero Atravesado Oriental, Centenario y El Salitral. La producción acumulada es de 45.200 MMm³ de gas (1,5 TCF) y 2,2 MMm³ de petróleo y condensado a fines del 2017 (Malone *et al.*, 2018).

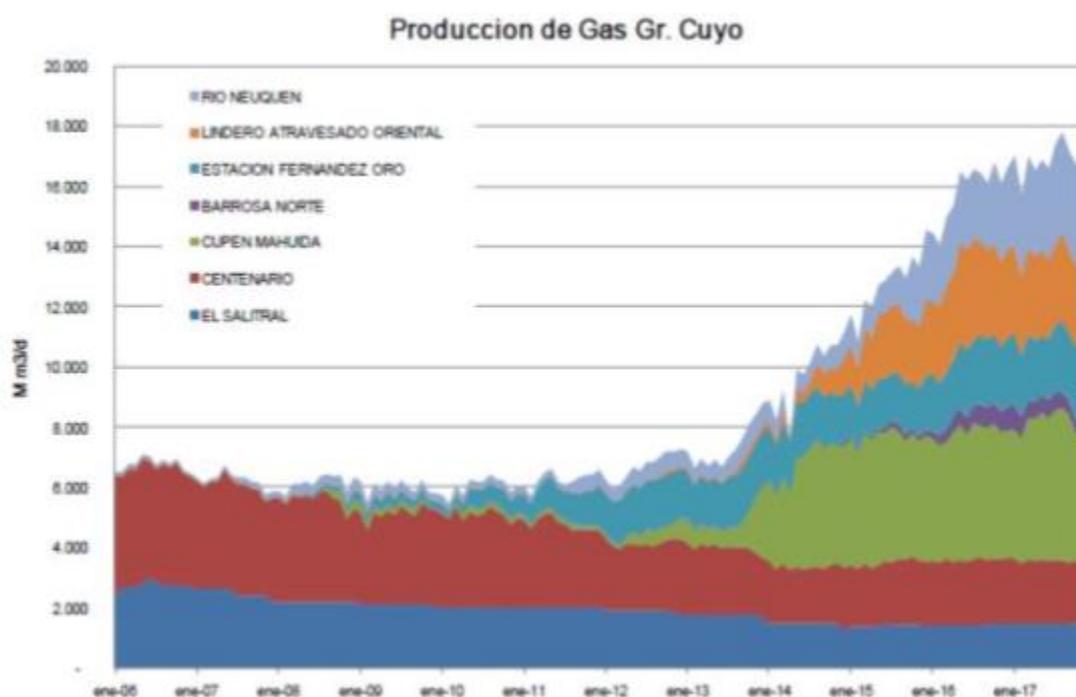


Figura 12: Producción de gas de reservorios *tight* del Grupo Cuyo (desde el año 2006 al 2017) en los principales yacimientos, entre ellos Estación Fernández Oro (extraído de Malone *et al.*, 2018)

Con respecto al Yacimiento EFO, los datos más actualizados de producción de gas promedio por mes brindados por la Secretaría de Energía de la Nación, registran desde el 1° de agosto del 2018 al 1° de marzo del 2022. En el gráfico de la figura 13, se observa el último dato de producción (1° de marzo de 2022) de gas promedio diario de 1430,94 mm³ en la Cuenca Neuquina para este yacimiento, operado por YPF S.A.

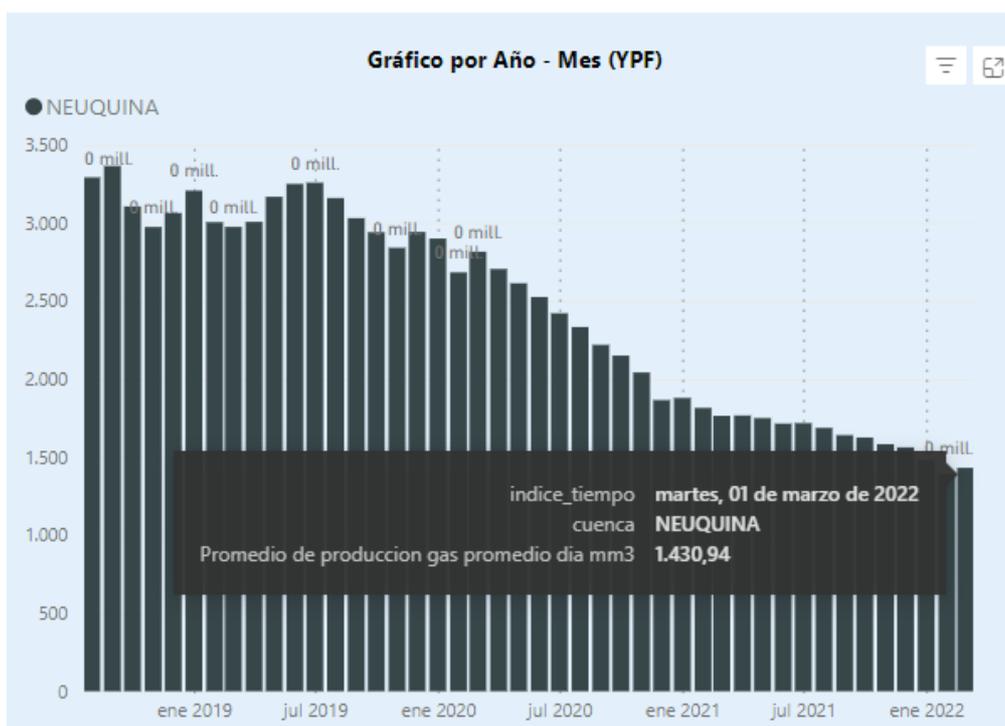


Figura 13: Gráfico que muestra desde el año 2019 hasta el 2022 la producción de gas promedio por mes para EFO (extraído de Secretaría de Energía de la Nación).

4. REGISTROS DE POZOS

El registro de pozos consiste en mediciones hechas con distintas herramientas de las propiedades físicas del subsuelo en función de la profundidad, dentro de la circunferencia de un pozo. Son importantes y muy utilizados en la industria hidrocarburífera, ya que a través de los datos que se adquieren, se realizan análisis y ecuaciones que permiten obtener valores de propiedades de las rocas como densidad, resistividad, densidad, etc; con las cuales es posible estimar propiedades petrofísicas como porosidad efectiva, saturación de agua o de hidrocarburos, de las distintas capas. También es una herramienta útil para determinar la profundidad de las formaciones, el espesor, definir las distintas facies litológicas (electrofacies), correlacionar pozos, presión de los reservorios, caracterización de fluidos, entre otras. Con todas estas mediciones se pueden determinar posibles zonas productivas y calcular reservas de hidrocarburos. A continuación, se explicarán resumidamente algunos perfiles y sus aplicaciones (Khatchikian, 2010).

Existen distintos tipos de registros, entre los cuales, los más utilizados son:

- Registros eléctricos: como bien dice su nombre, es un registro de las propiedades eléctricas de las rocas, también son útiles para obtener las primeras apreciaciones litológicas de un reservorio. Los mismos son: Perfil de Resistividad (Inducción), Perfil de Potencial Espontáneo (SP).
- Registros radiactivos: El perfil más utilizado es el de Rayos Gamma, el cual da información acerca de la medición de la radioactividad natural de las rocas.

4.1 Perfil de Resistividad

La resistividad es una propiedad que mide la resistencia de un material al paso de la corriente eléctrica, antítesis de la conductividad. Este tipo de perfil ilustra los valores de resistividad de las

zonas invadidas por el lodo de perforación y las no invadidas que pueden estar saturadas con agua de formación o hidrocarburos (figura 14). Este concepto es importante ya que permite determinar la saturación de fluido de una zona no invadida en un reservorio, el cual es función de la porosidad y tipo de roca. Una alta resistividad y baja conductividad indica la presencia de petróleo o gas y una alta conductividad y baja resistividad es indicativo de agua con presencia de sales.

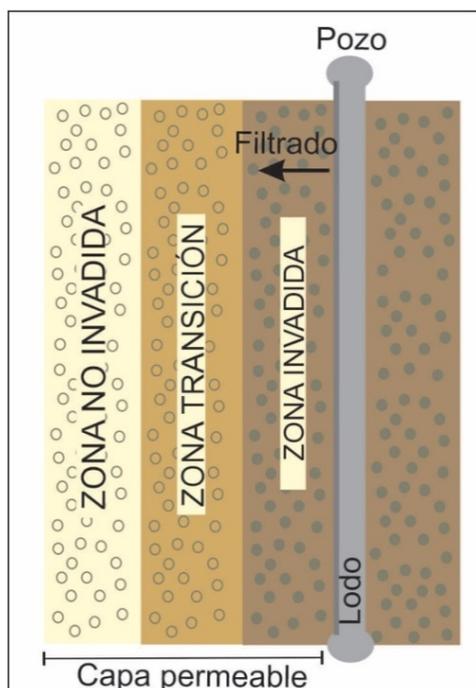


Figura 14: Ilustración del proceso de invasión del lodo de perforación y las zonas generadas en una capa permeable

Dependiendo del tipo de fluido que invada a la roca, la resistividad va a cambiar, en el caso de que el lodo de perforación fuese a base de agua y que el fluido que se encuentre en la formación fuese de baja resistividad, la resistividad irá disminuyendo a medida que se acerca a la zona virgen. En el caso en el que el lodo de perforación sea a base de petróleo, habrá alta resistividad cercana al pozo e irá disminuyendo a medida que se acerque a la zona virgen. Mientras que, si el fluido presente en formación fuese de alta resistividad, la resistividad no tendrá variaciones en la medida que se acerque a la zona virgen.

El *cut off* de resistividad brindado por la compañía es de 5 ohm.m. Valores mayores al mismo, indican presencia de hidrocarburos.

4.2 Perfil de Potencial Espontáneo (SP)

Es un perfil de registro de corriente directa, mide la diferencia de potencial entre un electrodo móvil dentro del pozo y otro que se encuentra en superficie. La respuesta del perfil está relacionada con salinidad del agua de formación, el fluido de perforación y la permeabilidad de la roca y puede registrarse cuando se utilizan lodos a base de agua.

La respuesta de la curva de SP es positiva cuando el fluido de perforación es más salino que el agua de formación. Lo que sucede es que se produce un intercambio iónico del pozo hacia la formación; si ocurre lo inverso, se produce un intercambio iónico de la formación al pozo y la curva es negativa o se desplaza hacia la izquierda.

Teniendo en cuenta estas características, se construyó un perfil tipo de SP en donde se ilustra cómo sería la respuesta de la curva con respecto a las distintas litologías y espesores, particularmente zonas impermeables de lutitas y zonas permeables de arenas (figura 15).

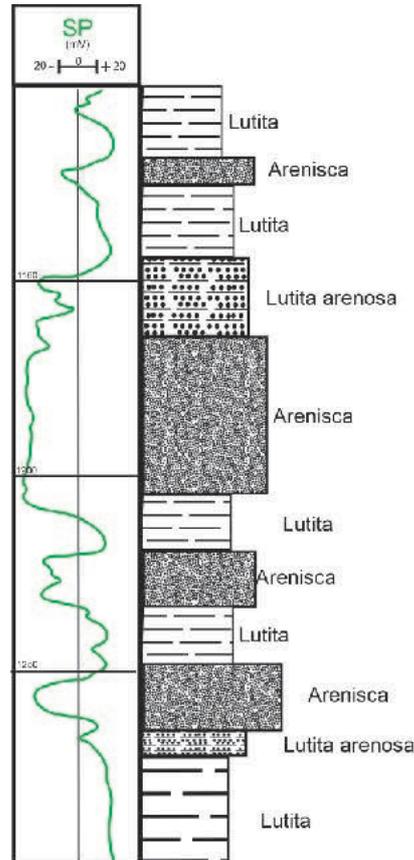


Figura 15: Perfil Espontáneo y su relación en el comportamiento de la curva con las distintas litologías

4.3 Perfil de Rayos Gamma (RG)

Los rayos gamma son ondas electromagnéticas de muy alta energía, emitidas por algunos elementos radiactivos (U, Th, K). Este perfil, que es de tipo pasivo, es decir que mide y registra las emisiones naturales de estos rayos provenientes de algunas rocas, mayoritariamente de arcillas y lutitas. Por lo tanto, permite diferenciar litologías. Cuanto mayor es el contenido de arcillas, mayor es el contenido de elementos radiactivos en sus estructuras químicas, lo que hace que el GR tome valores altos de gAPI; asimismo las presencias de minerales radiactivos en los litoclastos de los conglomerados también presentan esta característica.

Además, permite hacer correlaciones entre pozos, de litologías, de litofacies y estimar el contenido de materiales finos (arcillosidad) en una arenisca o carbonato, ya que éstas últimas mencionadas tienen una radioactividad más baja.

Estas características se representan en la figura 16, en donde se construyó un perfil tipo de GR para ilustrar como sería el comportamiento de la curva con respecto a las distintas litologías y espesores.

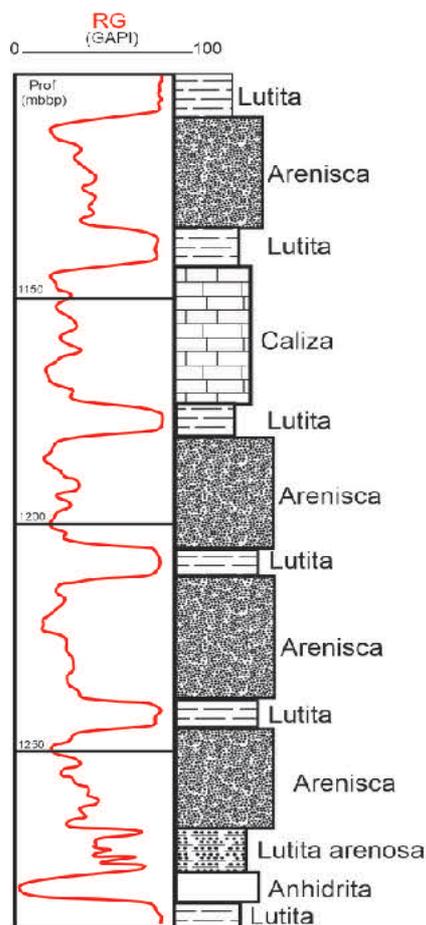


Figura 16: Perfil de Rayos Gamma y su relación en el comportamiento de su curva con las distintas litologías.

4.4 Electrofacies

Se define al término “electrofacies” como al conjunto de respuestas de los parámetros físicos que caracterizan a un estrato y lo diferencian de otro. El objetivo de este análisis es el de caracterizar a las formaciones mediante la repuesta de los registros de pozos y asociarlas entre pozos para poder reconstruir ambientes sedimentarios e interpretar facies sedimentarias.

Los registros de pozos utilizados para este trabajo son el Perfil de Rayos Gamma, Potencial Espontáneo, Resistividad y los parámetros petrofísicos porosidad efectiva (*PHIE*), volumen de arcilla (*Vclay*) y saturación de agua (*SW*).

4.5 Patrones en las curvas de GR y SP

Estos tipos de perfiles son útiles en una primera diferenciación de litologías, principalmente arenas de lutitas.

El carácter de las curvas del GR y/o SP a través de una sección compuesta por arenas y pelitas, es considerada frecuentemente como un perfil de tamaño de grano. En la literatura se reconocen tres formas básicas que adquieren estas curvas y son embudo, campana o cilíndrica, esta característica es útil para describir secuencias granocrecientes (embudo), granodecrescentes (campana) o secuencias que no tengan cambios verticales en la granulometría (cilíndrica), figura 17. De esta manera podemos obtener una interpretación no solo del tipo de granulometría presente en la columna, sino también de los niveles de energía, ambientes, subambientes y facies. Los tipos de

contactos (netos o progresivos) entre arenas y lutitas también son importantes en la caracterización de facies (Esquivel, 2020).

La característica en la forma de lisa o aserrada puede ser indicio de la heterogeneidad u homogeneidad litológica.



Figura 17: Clasificación de las curvas de los perfiles eléctricos GR y SP (extraído de Esquivel, 2020).

4.6 Características de la curva del GR y su asociación con facies

Canales distributarios

La curva del GR tiene una forma típica de “campana” y un contacto abrupto en la base y/o contacto erosivo, formando secuencias granodecipientes hacia el tope o masivas. La litología característica de estos cuerpos son arenas gruesas a finas con estructuras de estratificación cruzada. Los sedimentos finos se depositan en el tope de los canales (figura 18A).

Barras de desembocadura

La curva del GR toma forma de “embudo”, formando secuencias de arenas finas progradantes que forman columnas granocrecientes hacia el tope. El mismo se caracteriza en la base por una depositación de sedimentos de granulometría más fina y por un contacto abrupto en el techo (figura 18B).

Bahía interdistributaria

La curva del GR adquiere forma predominantemente rectilínea. Las litologías presentes son más bien de finos, predominantemente lutitas, pudiendo intercalar con areniscas finas (figura 18C).

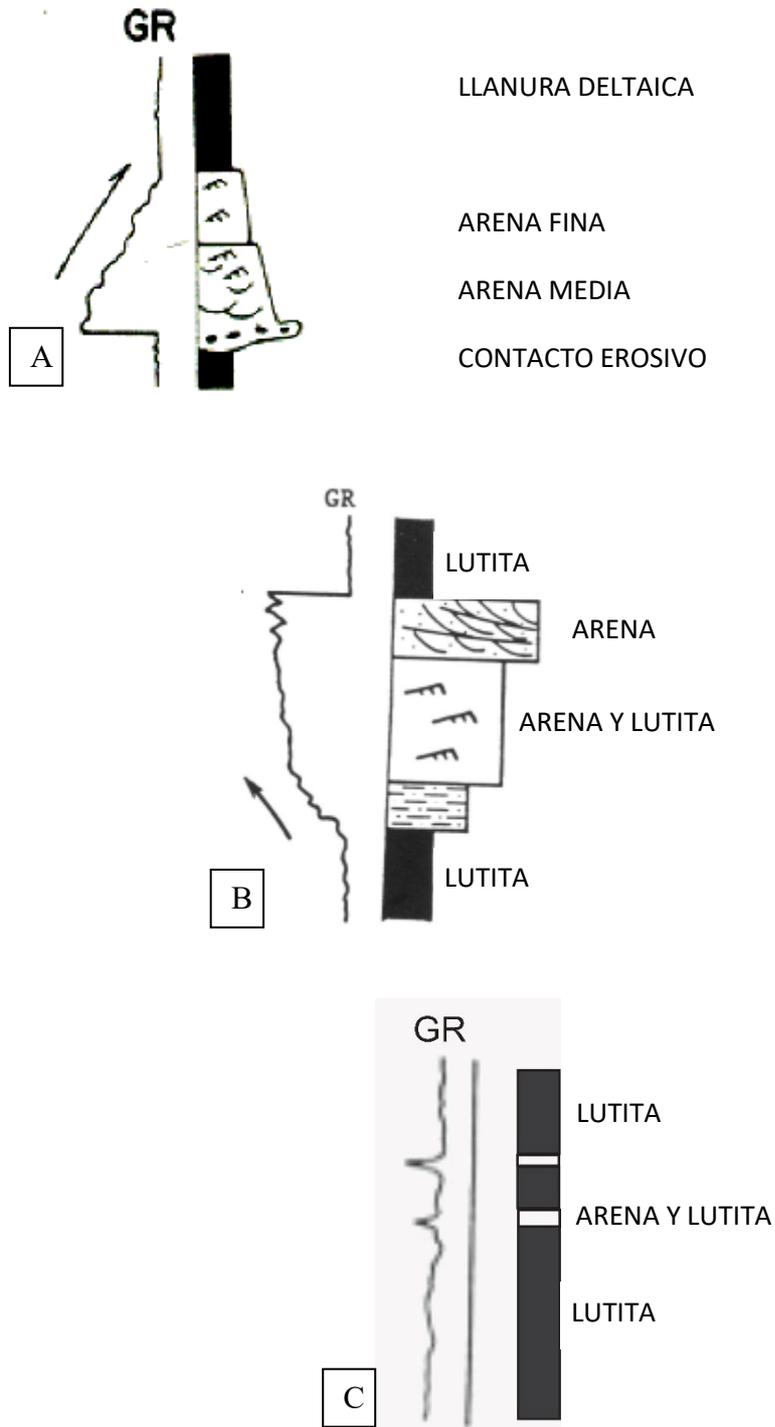


Figura 18: A. Curva de GR característica de canales distributarios. B. Curva GR característica de barra de desembocadura. C. Curva de GR característica de bahía interdistributaria (modificadas de Mousalli, 2010)

4.7 Parámetros Petrofísicos

Los parámetros petrofísicos son propiedades de las rocas que se calculan utilizando fórmulas matemáticas conocidas por los especialistas en petrofísica. Son importantes ya que brindan información del reservorio, tal como el volumen de arcilla (V_{clay}), la porosidad total ($PHIT$), la porosidad efectiva ($PHIE$) y la saturación de agua (SW) presentes en el mismo e importantes para el cálculo de hidrocarburos in situ.

Los *cut off* para el registro de resistividad, y los parámetros petrofísicos de V_{clay} y $PHIE$ utilizados en este trabajo fueron brindados por los profesionales de la compañía, y determinan el umbral de las propiedades para que la roca sea productiva.

- Volumen de arcilla o V_{clay} : se determina a través de fórmulas matemáticas que utilizan como entrada indicadores simples (Perfil de Rayos Gamma, Neutrón y Resistividad) y dobles que son la combinación de dos registros (García y Valera, 2016). El valor de *cut off* brindado por la compañía para el V_{Clay} es de 0,3, valores mayores se considera como no reservorio y valores menores reservorio.
- Porosidad Efectiva o $PHIE$: es el porcentaje de poros interconectados en el volumen total de la roca. Se utiliza porque representa el espacio poral interconectado que contiene los fluidos recuperables (Madrid, 2022). El valor de *cut off* brindado por la compañía es de 5%, valores mayores serán considerados como reservorio.
- Saturación de agua o SW : corresponde a la fracción de poros de la roca que está saturada con agua (volumen de agua/volumen poral). Mientras menor sea este valor, mayor será el porcentaje restante saturado en hidrocarburos. El *cut off* proporcionado es del 60 %, valores menores al mismo son condicionados en términos de espesor útil.

5. INTERPRETACIÓN DE PERFILES

Metodología

Se realizaron tres transectas, una con orientación N-SSO (color blanco) con los pozos P10, P11, P12 y P13. Otra de orientación NNE-SSO (color rojo) con los pozos P7, P8 y P9 y una de orientación NNE-SO (color rosa) con los pozos P4, P5 y P6. Se hizo una primera diferenciación de niveles arenosos de finos para luego poder describir intervalos transgresivos – regresivos de menor frecuencia (escala 1:10000) y otros de mayor frecuencia (escala 1:4000). Siendo característica de un intervalo transgresivo una secuencia granodecreciente de base a techo y de uno regresivo una secuencia granocreciente de base a techo. Para luego realizar una transecta de orientación ONO-E con los pozos P1, P2 y P3, los cuales involucran los intervalos coroneados, que permitieron validar las interpretaciones de ciclos transgresivos - regresivos con los datos de corona e interpretar y caracterizar facies en aquellos informes de coronas que no tienen descripción de las mismas (figura 19).

Finalmente, se procedió a generar mapas de espesores de arenas reservorios para Lajas inferior 0, Lajas inferior 1 y Lajas inferior, utilizando la información de todos los pozos del área, que permitieron realizar la interpretación de un modelo paleoambiental para la Formación Lajas inferior.

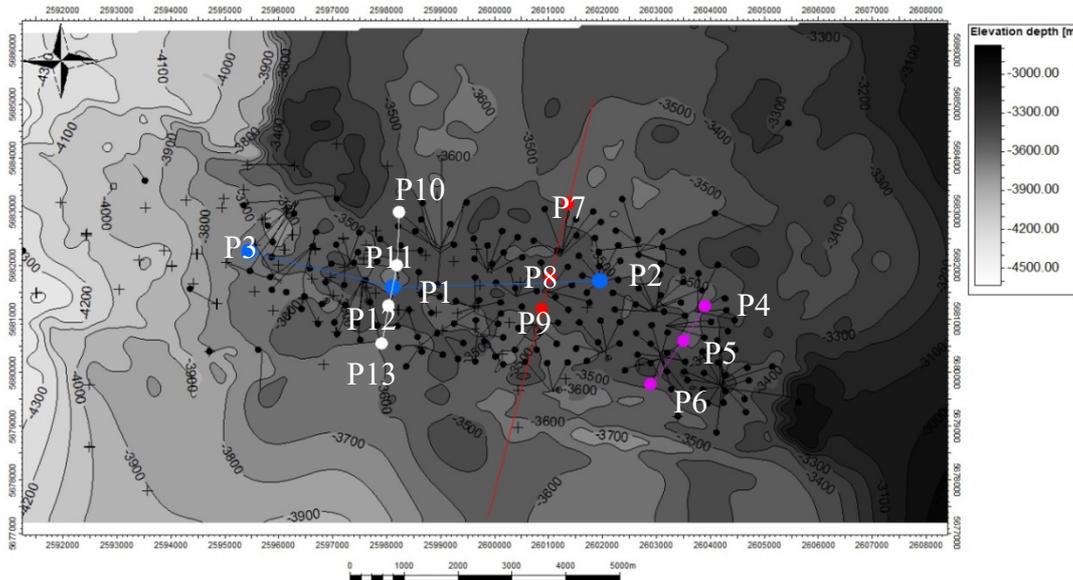
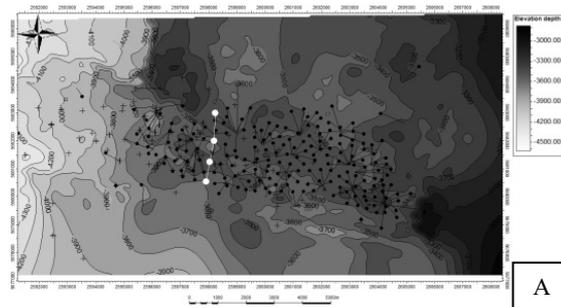


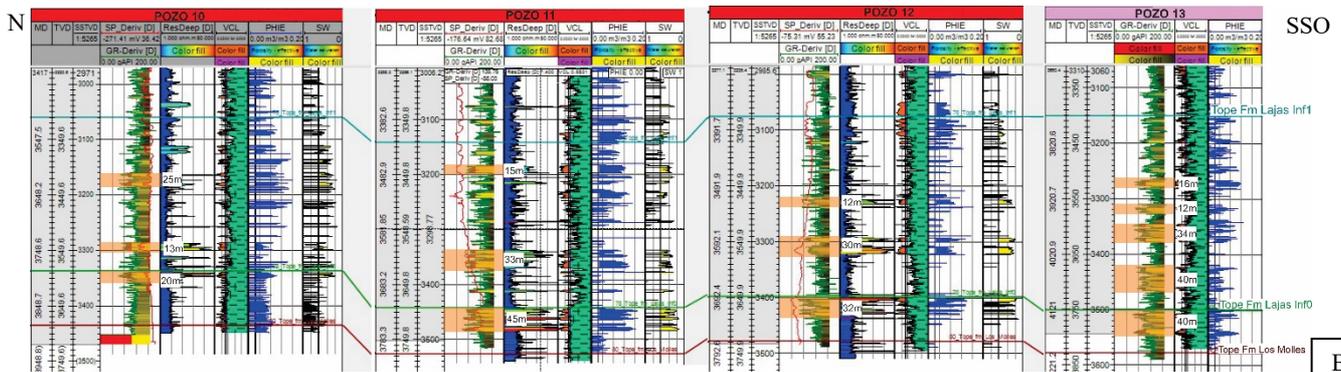
Figura 19: Mapa estructural al tope de Los Molles con todos los pozos y las transectas analizadas en este trabajo (en color blanco “oeste”, en rojo transecta “centro”, en rosa transecta “este” y en azul transecta con pozos con coronas).

Transecta blanca (oeste)

Incluye los pozos P10, P11, P12 y P13 (figura 20A). Se diferenciaron niveles arenosos aproximados en Lajas inferior 0 y Lajas inferior 1. En el pozo 10, vemos que se puede distinguir un nivel de 20 metros de potencia en Lajas inferior 0 y dos niveles de 13 y 25 metros en Lajas inferior 1. En el pozo 11, un nivel arenoso en Lajas inferior 0 con 45 metros y dos niveles de 33 y 15 metros en Lajas inferior 1. En el pozo 12, un nivel de 32 metros en Lajas inferior 0 y dos niveles de 30 y 12 metros en Lajas inferior 1. En el pozo 13, un nivel de 40 metros en Lajas inferior 0 y una mayor cantidad de intervalos arenosos en Lajas inferior 1, con potencias de 40, 34, 12 y 16 metros (figura 20B).



A



B

Figura 20: A. Transecta blanca en mapa estructural al tope Los Molles. B. Corte estratigráfico con los pozos 10, 11, 12 y 13, en naranja niveles arenosos interpretados. Ver en anexos con más detalles.

Posteriormente, se procedió a caracterizar los intervalos transgresivos – regresivos de menor frecuencia (escala 1:10000) y los de mayor frecuencia (escala 1:4000) para cada uno de los pozos P10, P11, P12 y P13 (figuras 21, 22, 23 y 24).

Pozo 10

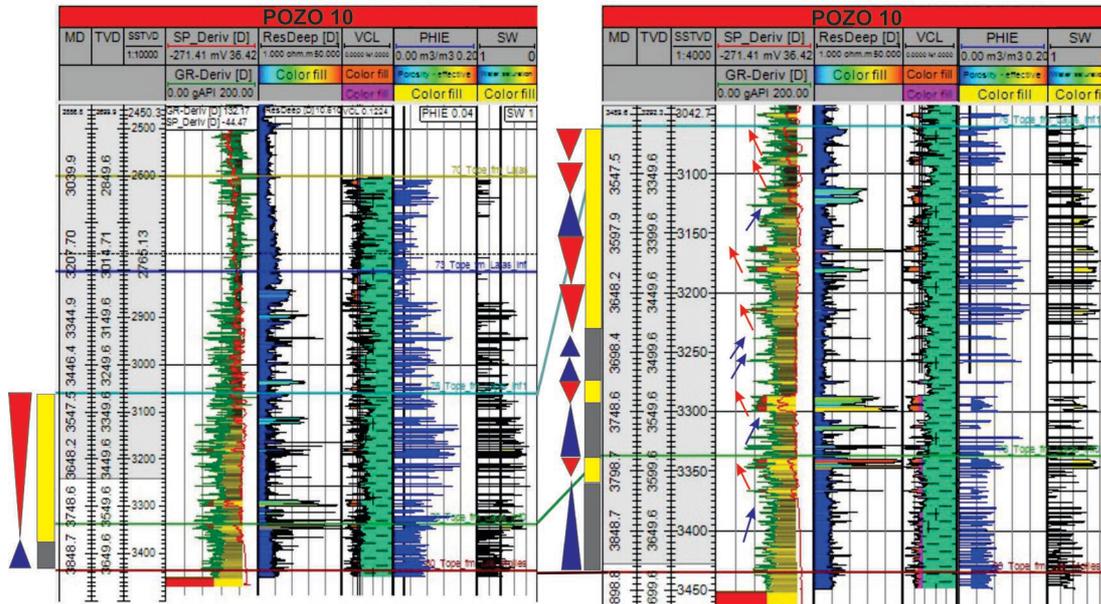


Figura 20: Perfil del Pozo 10 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Pozo 11

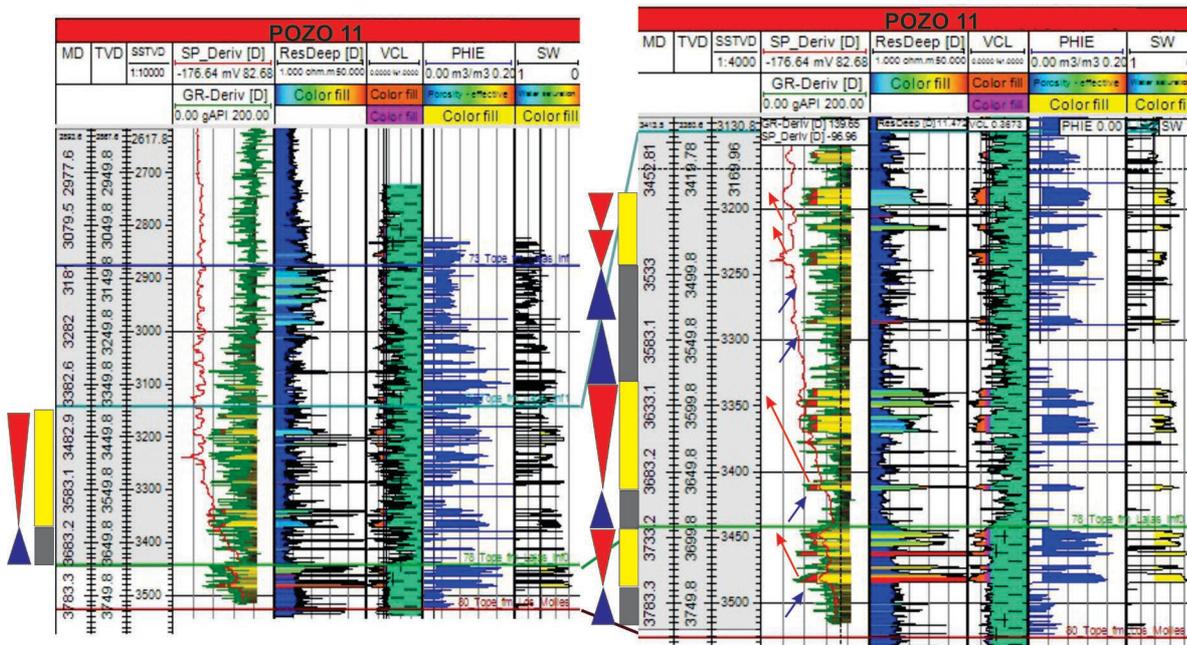


Figura 21: Perfil del Pozo 11 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Pozo 12

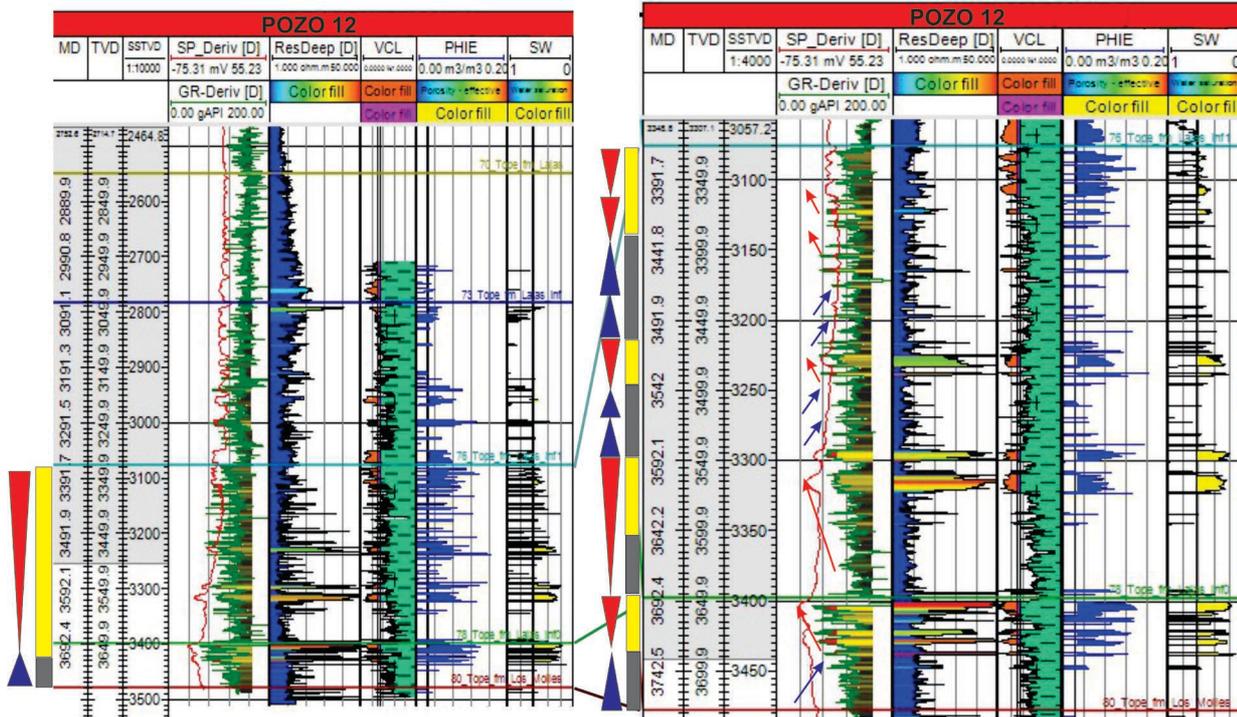


Figura 22: Perfil del Pozo 12 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Pozo 13

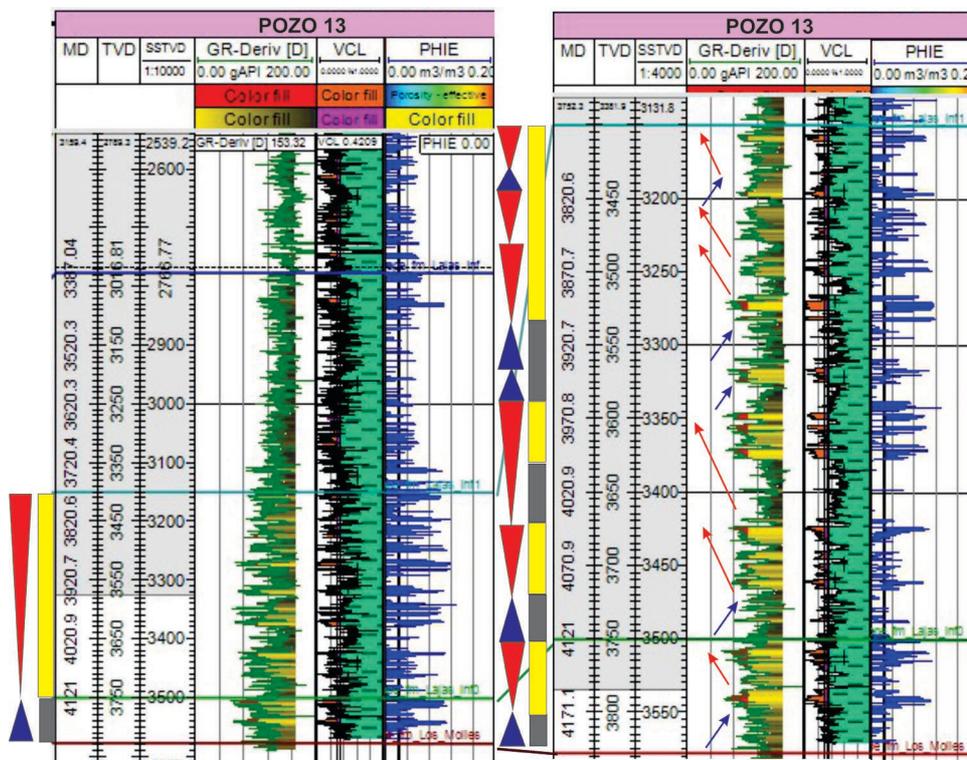


Figura 23: Perfil del Pozo 13 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Transecta roja (centro)

Incluye los pozos P7, P8 y P9 (figura 24A). Se diferencian los niveles arenosos aproximados en los mismos niveles de Lajas inferior que la transecta anterior. En el pozo 7, un nivel arenoso de 16 metros de potencia en Lajas inferior 0 y cuatro niveles de 43, 40 y 22 metros en Lajas inferior 1. En el pozo 8, un nivel arenoso de 22 metros en Lajas inferior 0 y dos niveles de 40 y 26 metros en Lajas inferior 1. En el pozo 9, un nivel de 20 metros en Lajas inferior 0 y dos niveles de 60 y 12 metros en Lajas inferior 1 (figura 24B).

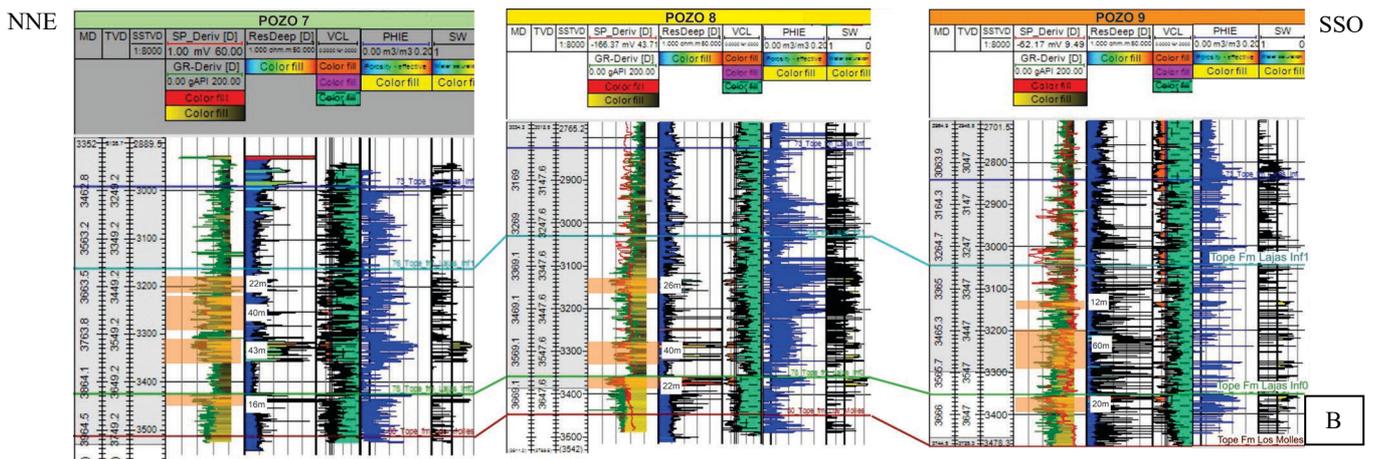
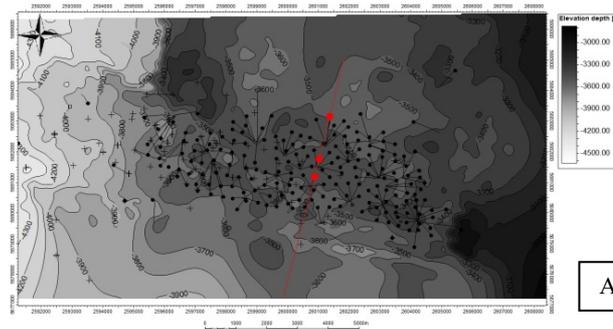


Figura 24: A. Transecta roja en mapa estructural al tope Los Molles. B. Corte estratigráfico con los pozos 7,8 y 9, en naranja niveles arenosos interpretados. Ver en anexos con más detalles.

Al igual que la transecta anterior, se diferencian los intervalos transgresivos - regresivos con las mismas escalas para cada pozo (figuras 25, 26 y 27).

Pozo 7

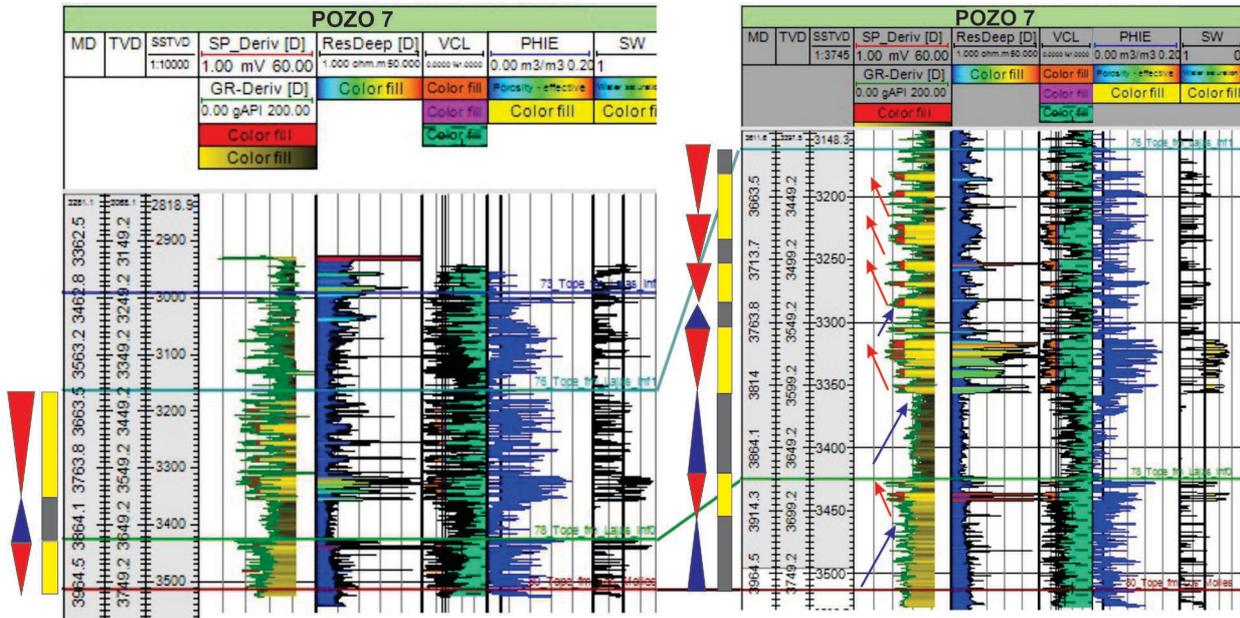


Figura 25: Perfil del Pozo 7 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Pozo 8

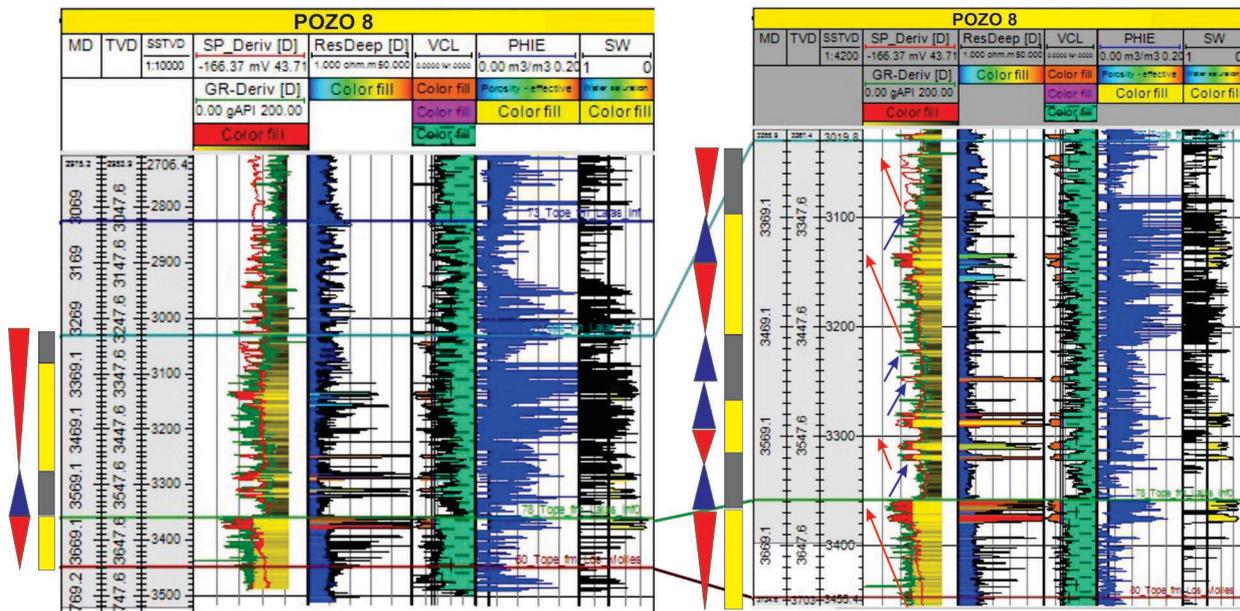


Figura 26: Perfil del Pozo 8 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Pozo 9

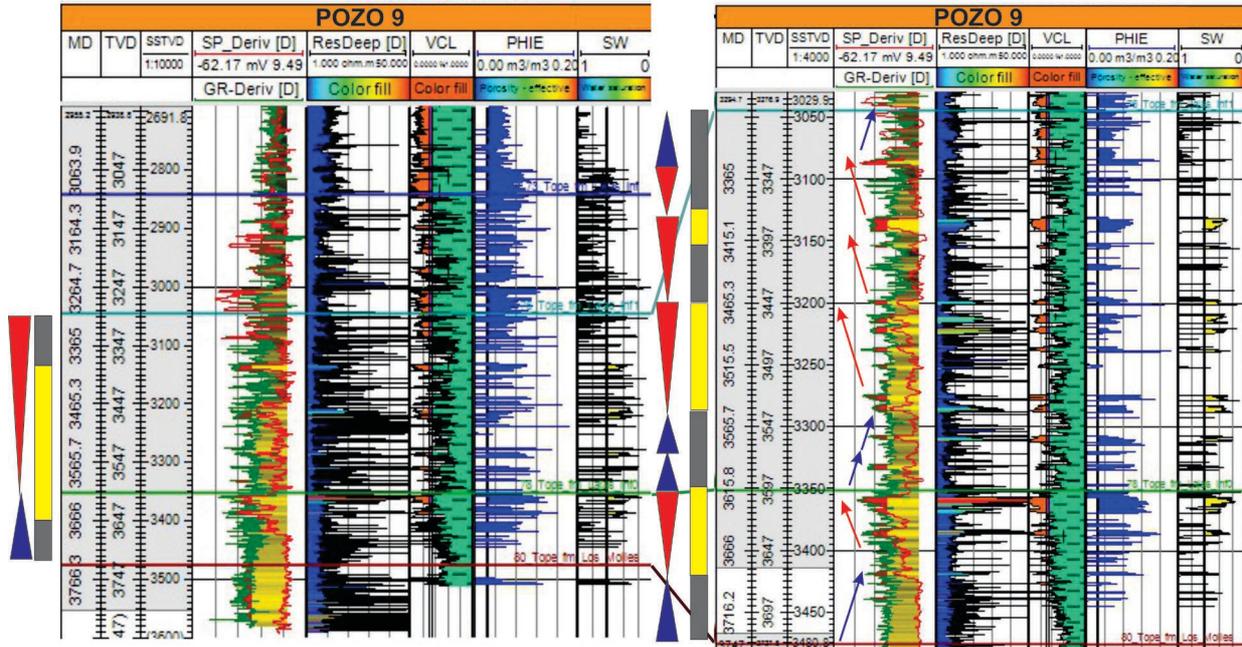
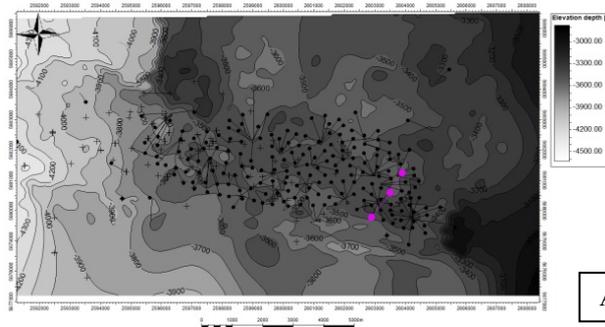


Figura 27: Perfil del Pozo 9 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

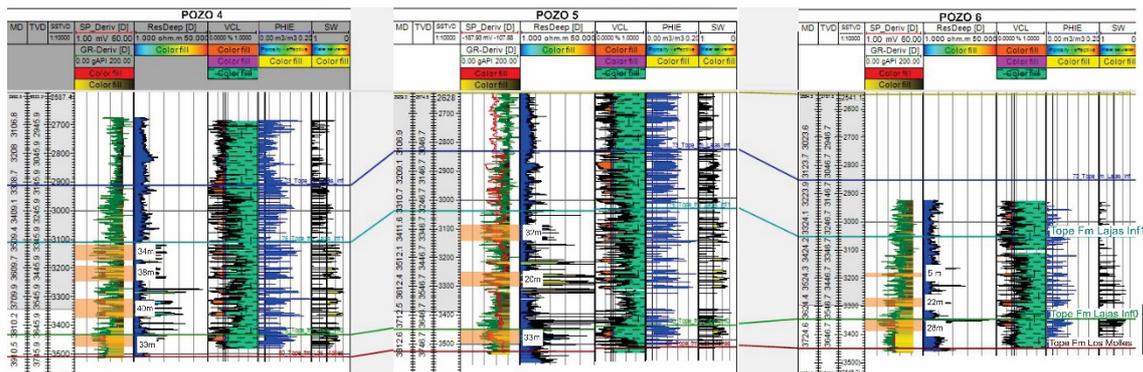
Transecta rosa (este)

Incluye los pozos P4, P5 y P6 (figura 28A). Primero, se diferenciaron los niveles arenosos aproximados para Lajas inferior. En el pozo 4, un nivel de 33 metros de potencia en Lajas inferior 0 y cuatro niveles de 40, 38 y 34 metros en Lajas inferior 1. En el pozo 5, un nivel de 33 metros en Lajas inferior 0 y dos niveles arenosos de 20 y 32 metros en Lajas inferior 1. En el pozo 6, un nivel arenoso de 28 metros en Lajas inferior 0 y dos niveles de 22 y 5 metros en Lajas inferior 1 (figura 28B).



A

NNE



SO

B

Figura 28: A. Transecta rosa en mapa estructural al tope Los Molles. B. Corte estratigráfico con los pozos 4, 5 y 6, en naranja niveles arenosos interpretados. Ver en anexos con más detalles. Ver en anexos para más detalles.

Posteriormente, se marcan los intervalos transgresivos - regresivos con las mismas escalas utilizadas anteriormente, observado en la figuras 29, 30 y 31.

Pozo 4

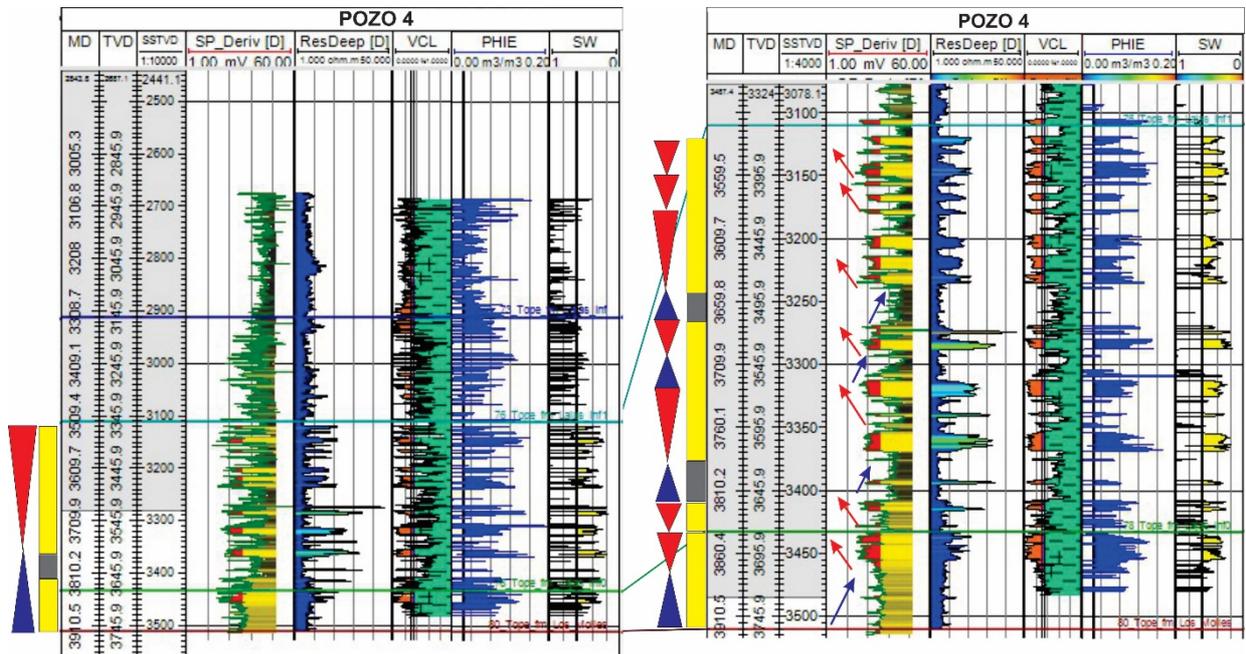


Figura 29: Perfil del Pozo 4 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Pozo 5

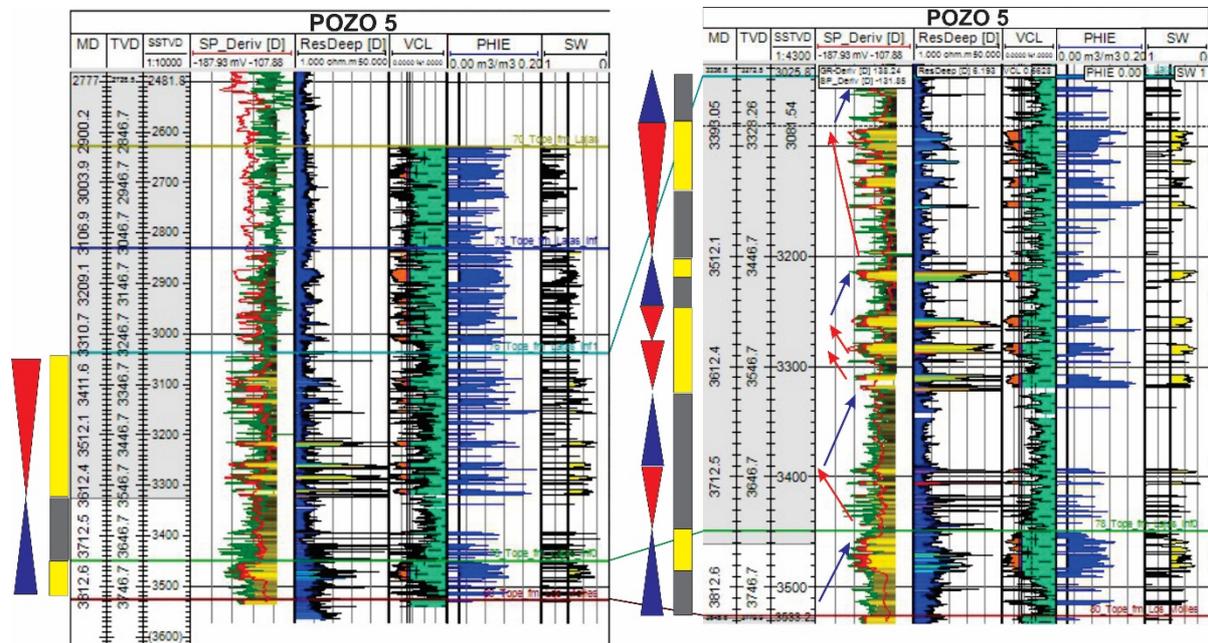


Figura 30: Perfil del Pozo 5 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Pozo 6

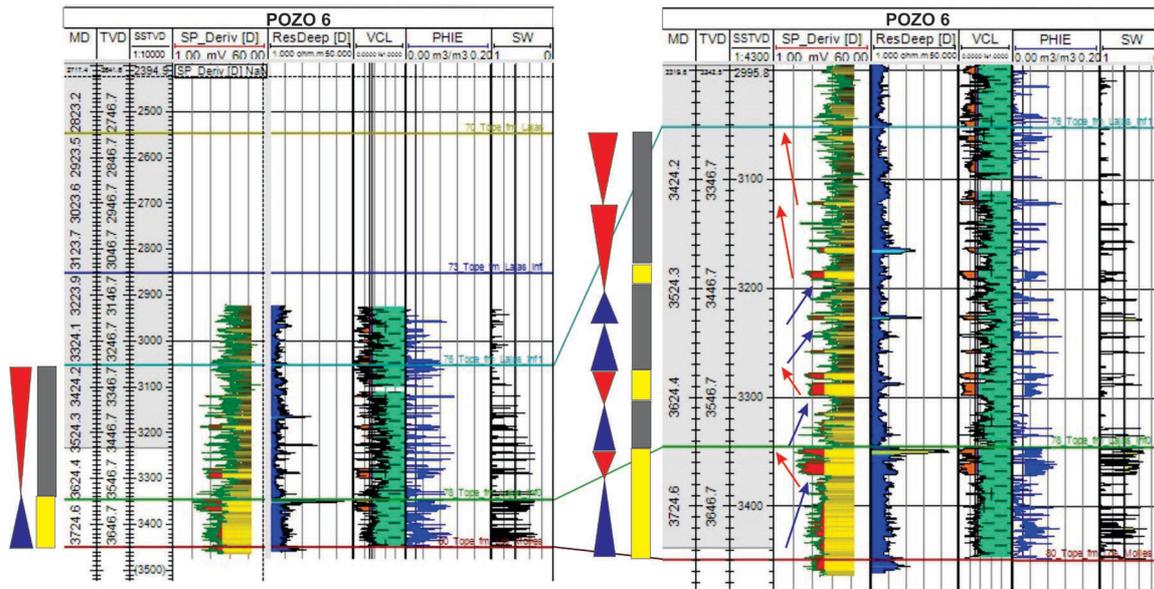


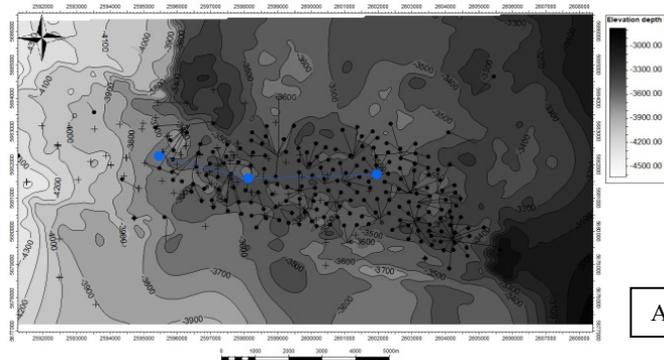
Figura 31: Perfil del Pozo 6 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000

Transecta azul

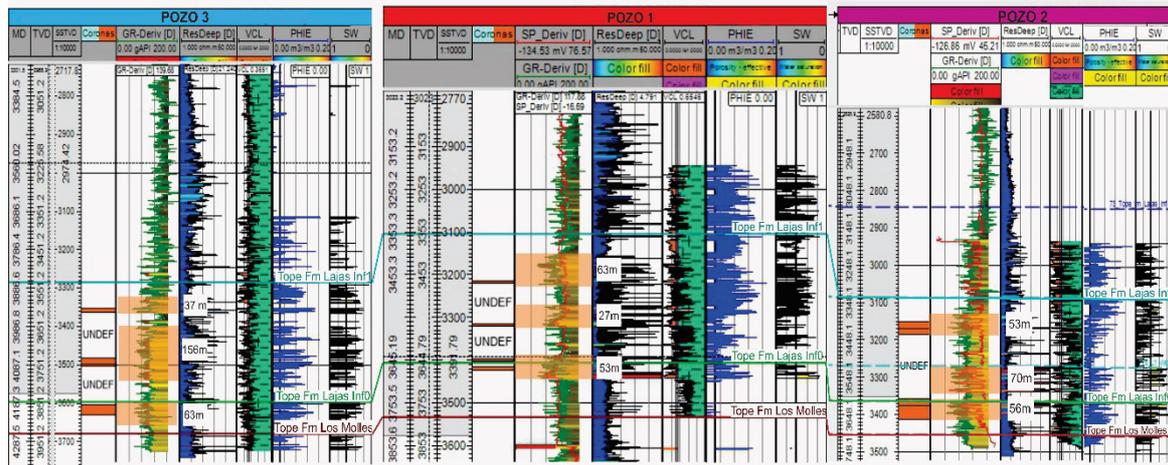
La transecta azul incluye los pozos P1, P2 y P3 (figura 32A). Como bien se mencionó anteriormente, se realizó con el objetivo de validar las interpretaciones de ciclos transgresivos - regresivos con los datos de corona. Asimismo, interpretar y caracterizar facies en aquellos pozos que no tienen descripción de las mismas en los informes brindados y en aquellos que sí, complementar con análisis de los patrones de las curvas de los registros de pozo y con los parámetros petrofísicos.

Se cuenta con tres pozos con intervalos coroneados (*track 4* de la figura 32B), que suman un total de 170 metros para todos los pozos, de los cuales 84,2 metros corresponden a Lajas inferior 0 y 85,8 metros a Lajas inferior 1.

En una primera instancia, al igual que en las otras transectas, se diferenciaron los niveles arenosos de cada pozo, identificándose en rasgos generales tres: el primero cercano al tope del *marker* de Lajas inferior 0, el segundo en el medio de este *marker* y en el de Lajas inferior 1 y el tercero cercano a este último, los cuales varían en potencia en cada uno de los pozos y se muestran en la figura 32B.



ONO



E

B

Figura 32: A. Transecta azul en mapa estructural al tope Los Molles. Corte estratigráfico con los pozos 1,2 y 3, en naranja niveles arenosos interpretados. Ver en anexos con más detalles.

Pozo 1

El intervalo coronado de este pozo se divide en coronas 1, 2, 3 y 4 que se encuentran marcadas en naranja en el *track* 4 de la figura 33. Corresponden a la Formación Lajas inferior. La corona 1 se encuentra en el intervalo de Lajas inferior 0 y las coronas, 2, 3 y 4 se encuentran en el intervalo de Lajas inferior 1.

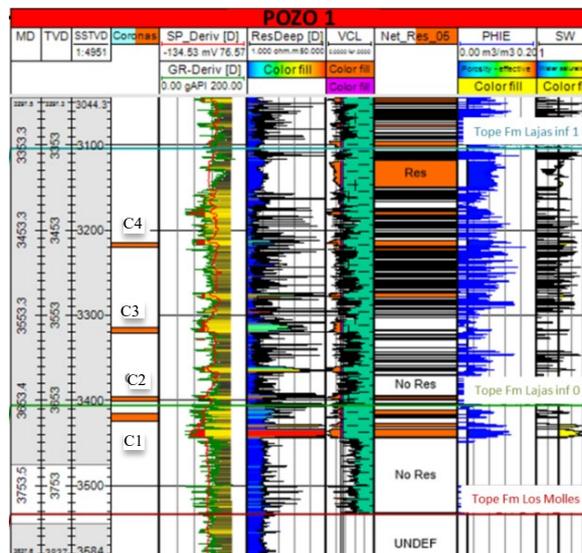


Figura 33: Perfil del Pozo 1 con las cuatro coronas en el track 4.

Primero se diferenciaron secuencias predominantemente arenosas (rectángulos amarillos) de finos (rectángulos grises), marcados en la figura 34 que corresponden a ciclos granocrecientes y granodecrecientes alternantes respectivamente. Las mencionadas secuencias se interpretan como sucesiones transgresivas (triángulo azul- rectángulo negro) y regresivas (triángulo rojo-rectángulo amarillo).

Posteriormente se caracterizaron las facies de las coronas en base al comportamiento del desplazamiento y la forma de las curvas de los perfiles de Rayos Gamma (de color verde, *track 5* de la figura 34), Potencial Espontáneo (de color rojo, *track 5* de la figura 34), Resistividad (*track 6* de la figura 34), *Vclay* (*track 7* de la figura 34), *PHIE* (*track 9* de la figura 34) y la de *SW* (*track 10* de la figura 34). Asimismo, se utilizó la información del informe geológico integral de Rial, 2018 para la descripción de litologías, granulometrías y estructuras sedimentarias de cada corona.

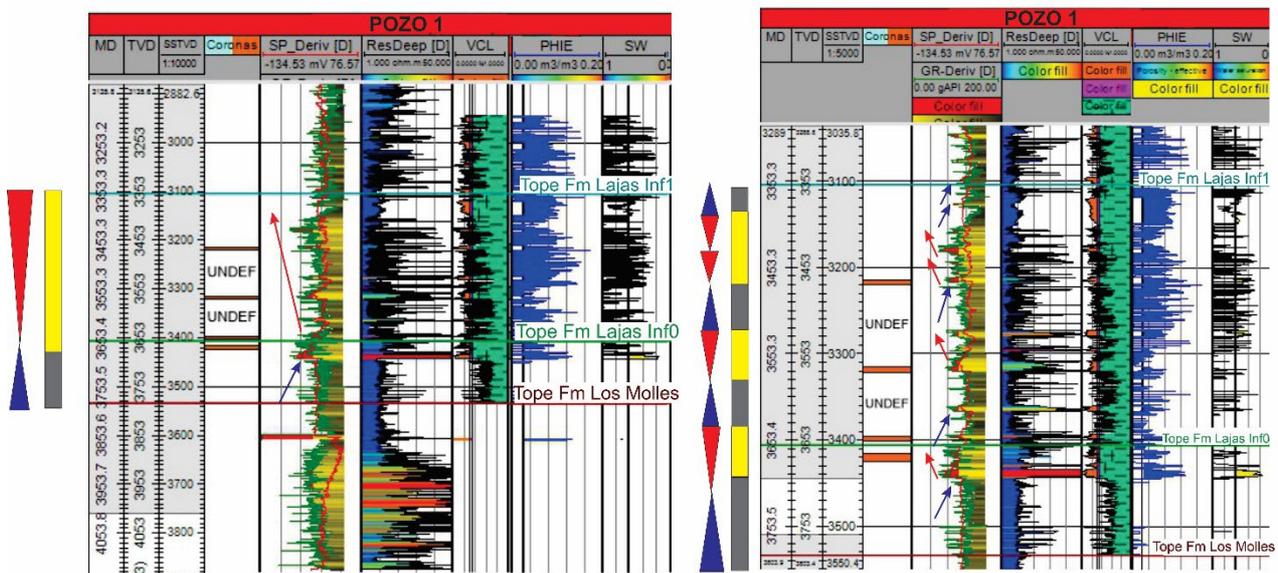


Figura 34: Perfil del Pozo 1 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000.

Corona 1

Esta corona abarca una profundidad de 3678,2 - 3669,2 metros. En el informe se describen depósitos de areniscas líticas en casi toda la totalidad de la misma pero con variaciones en las granulometrías y estructuras sedimentarias y cuyas características se resumen en la tabla 1.

Coronas	Facies	Litología	Granulometría	Estructuras Sedimentarias
CORONA 1	F1	Wacke	Arena fina	Bioturbación horizontal predominante. Bioturbación vertical subordinada. Fina laminación inclinada de bajo ángulo.
	F2	Arenisca lítica	Arena fina a media	Estratificación cruzada planar. Laminación ondulítica de corriente. Probable laminación hummocky. Laminación entrecruzada
	F2'	Arenisca lítica	Arena fina a media	Masiva. Bioturbaciones difusas. Escape de agua (?).
	F3	Arenisca lítica	Arena gruesa a muy gruesa	Estratificación cruzada planar, probablemente en parte estratificación cruzada en artesa

Tabla 1: Resumen de las características de la corona 1 (extraído de Rial, 2018).

En la figura 35, se observa que en toda la corona la curva del GR tiene variaciones en sus desplazamientos, dado por los cambios en las granulometrías que presentan dichas areniscas, y se desplaza tanto a la derecha como a la izquierda, el SP no tiene grandes desviaciones. Se observan dos picos de alta resistividad a una profundidad de 3671,3 m y 3673 m, que superan ampliamente el *cut off* brindado.

Facies interpretadas

En el informe no se describen facies, sino que solo se indica que corresponde a un ambiente marino abierto somero. En los registros se interpreta desplazamientos repetitivos en la curva del GR en toda la corona, el cual adquiere forma de embudo y de campana en distintos intervalos, por lo que, se podría inferir en un primer lugar de que se trata de facies de canales y barras. Sin embargo, las secuencias granocrecientes o granodecrecientes no son claras y podrían corresponder más bien a secuencias agradantes, asociándose más posiblemente con facies de barras de desembocaduras distales (figura 35).

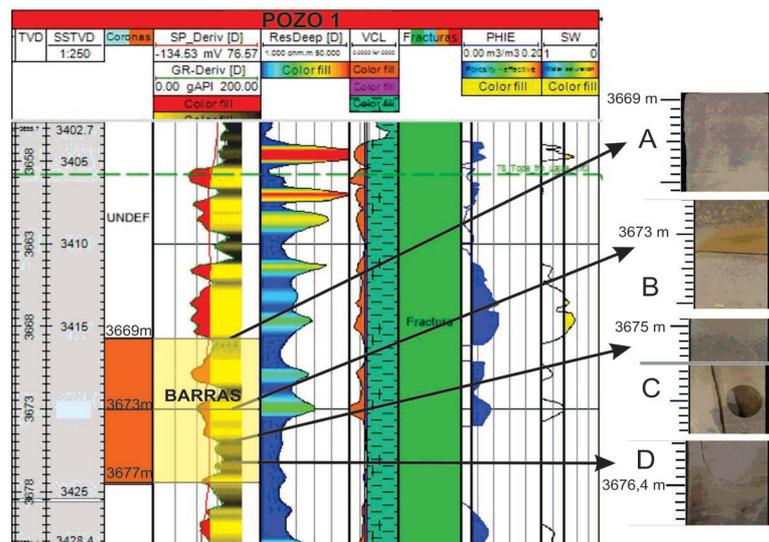


Figura 35: Corona 1 con fotografías de partes de la corona: A) Arenisca lítica fina, profundidad aproximada 3669,2 m. B) Arenisca lítica gruesa a muy gruesa en contacto con arenisca lítica fina a media, profundidad 3673 m. C) Arenisca lítica fina en contacto con arenisca lítica media a gruesa, profundidad 3675 m. D) Wackes a una profundidad de 3676,4 m

Parámetros petrofísicos

Se observan valores de *VClay* menores a 0,3 y *PHIE* con valores de 5-7 % (figura 35) que coincide con las profundidades de los picos de resistividad descriptos anteriormente. Todos estos valores corresponden a la profundidad de las areniscas líticas de granulometría gruesa a muy gruesa.

Corona 2

La corona 2 abarca un intervalo de profundidad de 3655,4 – 3650 metros. En la tabla 3 se muestra el resumen de las características de esta corona descripto en el informe.

Coronas	Facies	Litología	Granulometría	Estructuras Sedimentarias
CORONA 2	F1	Wacke a limolita	Arena muy fina a fina	Regular a intensas bioturbaciones horizontales
	F2	Limolita	muy fina	Bioturbaciones horizontales
	F3	Arenisca lítica	Arena muy gruesa a gruesa con niveles de grava (< 1	Estratificación planar horizontal
	F4	Arenisca lítica conglomerádica	Muy gruesa con alineaciones de clastos grava.	Estratificación cruzada difusa. Laminación convoluta. Clastos de pelitas laminadas y clastos tamaño grava en láminas

Tabla 2: Resumen de las características de la corona 2 (extraído de Rial, 2018).

La corona 2, se subdividió en dos tramos de profundidades aproximadas (figura 36). El primero, desde los 3655 - 3652 metros aproximadamente, se observa que la curva del GR se desplaza hacia la derecha, indicando litologías finas (F2 y F1 de la tabla 2). La curva de resistividades en este tramo toma valores menores al *cut off* brindado.

En el segundo tramo desde los 3652 m hasta los 3650 metros (figura 36), la curva del GR se desplaza hacia la izquierda, indicando litologías gruesas (F3 y F4 de la tabla 2) y la curva de resistividad toma valores altos, superando el *cut off* brindado.

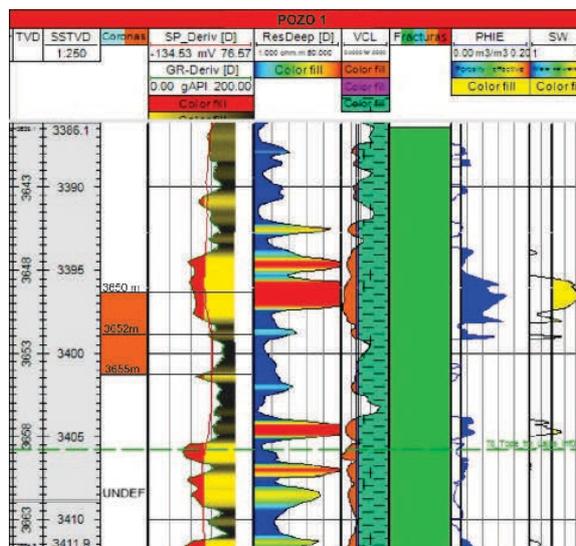


Figura 36: Perfil del Pozo 1 con profundidades aproximadas de la subdivisión de la corona 2.

Facies interpretadas

El informe describe dos tramos de condiciones de energía diferentes, pero no caracteriza facies.

Con las litologías descritas (tabla 2) y con el análisis de las curvas de los registros, se coincide con lo descrito en el informe de que el primer tramo es de un ambiente de baja energía, no pudiendo asociarlo con una facie de bahía interdistributaria, porque el patrón rectilíneo de la curva del GR no es claro. Sin embargo, para el segundo tramo, si se puede observar una forma de embudo en la curva del GR, y una secuencia gradualmente granocreciente al tope, con areniscas líticas y areniscas líticas conglomerádicas, por lo tanto, se la asocia con una facie de barra de desembocadura (figura 37).

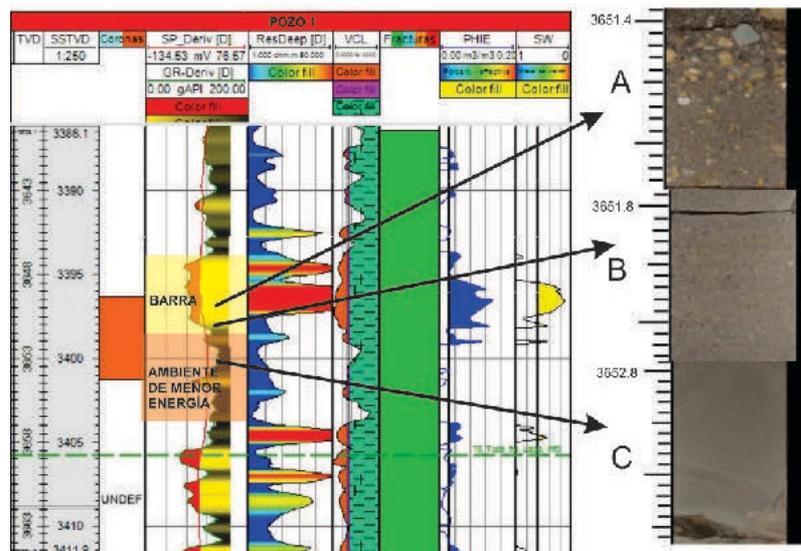


Figura 37: Perfil del Pozo 1 para la corona 2 (3650 hasta los 3655 m) con facies interpretadas; fotografías de las corona. A) Arenisca lítica conglomerádica a los 3651,4 m. B) Arenisca lítica a los 3651,8m. C) Wacke a limolita desde los 3652 m.

Parámetros petrofísicos

Los parámetros petrofísicos (*PHIE* y *SW*) solo se destacan en el segundo tramo de la corona, tomando valores de porosidad efectiva de entre 9-12% y de *SW* con valores menores al 60% en las areniscas líticas (figura 37).

Corona 3

La tercer corona se encuentra entre los 3574,8 – 3568 metros de profundidad. En la tabla 3 se resumen las características descritas en el informe y de la cual se observa una secuencia mayoritariamente granodecreciente con facies F2, F2', F3 y F4.

Coronas	Facies	Litología	Granulometría	Estructuras Sedimentarias
CORONA 3	F1	Limolitas a wackes	Arena muy fina a fina	Bioturbaciones horizontales, laminación convoluta
	F2	Conglomerados clasto sostén en parte matriz arenosa gruesa sostén	Clastos desde < 1 a 5 cm	Alineación de clastos en difusa cruda estratificación cruzada planar de ángulo variable.
	F2'	Arenisca lítica conglomerádica	Arena muy gruesa con alineación de clastos tamaño grava.	Estratificación entrecruzada planar, probablemente en artesas.
	F3	Arenisca lítica	Arena mediana a gruesa.	Estratificación cruzada difusa. Laminación convoluta. Clastos de pelitas laminadas y clastos tamaño grava en láminas marcando planos de estratificación.
	F4	Pelitas (intraclastos pelíticos)	muy fina	Clastos de pelitas alineados en una matriz pelítico-arenosa.

Tabla 3: Resumen de las características de la corona 3 (extraído de Rial, 2018).

En la figura 38, se hizo una subdivisión de la corona 3 en dos tramos con profundidades aproximadas. El primer tramo que va desde los 3574 -3573 metros, se observan las curvas de GR y SP desplazadas hacia la derecha, indiciando sedimentos finos (F4 en tabla 3). Este tramo en particular se describe en el informe sedimentológico como parte de una base erosiva. Asimismo, también se ve que la curva de resistividad supera el valor de *cut off*, pero toma valores bajos (5 – 7 ohm.m) en todo el intervalo.

El segundo tramo, que va desde los 3573 - 3568 metros, vemos en la figura 38 que las curvas del GR y SP se desplazan hacia la izquierda, indicando litologías gruesas (F3, F2', F2 en tabla 3). Cercano a los 3568 metros, las curvas se vuelven a desplazar a la derecha, indicando litologías más finas (F1). Se observa también que la curva de resistividad toma valores mayores a 5 ohm.m, y que se generan picos de mayor valor en las profundidades donde están los conglomerados y areniscas líticas conglomerádicas (figura 39C y D).

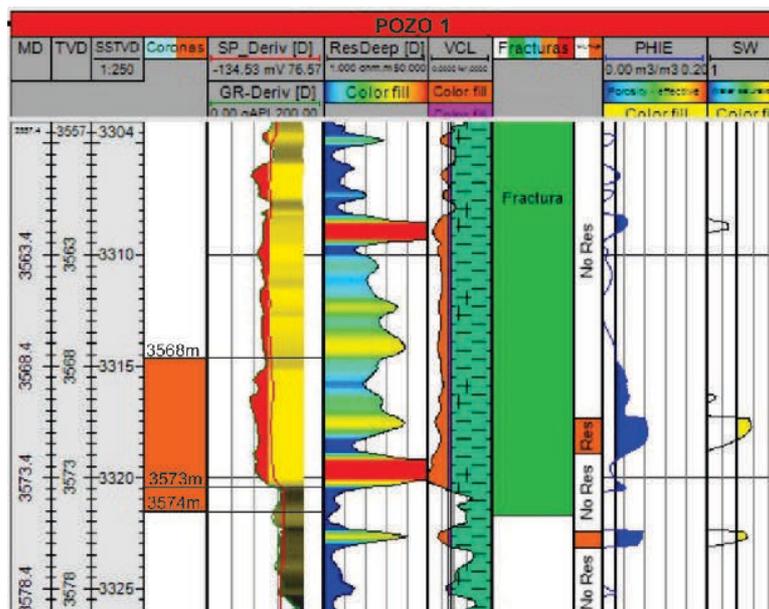


Figura 38: Perfil del Pozo 1 con subdivisión de tramos en el intervalo de profundidad de la corona 3 en el track 4.

Facies interpretadas

La figura 39 muestra la facies interpretada para este tramo. La cual coincide con la descripta en el informe pero se le suma el análisis en las características de las curvas de los registros y se agregan las fotografías de coronas en las profundidades correspondientes.

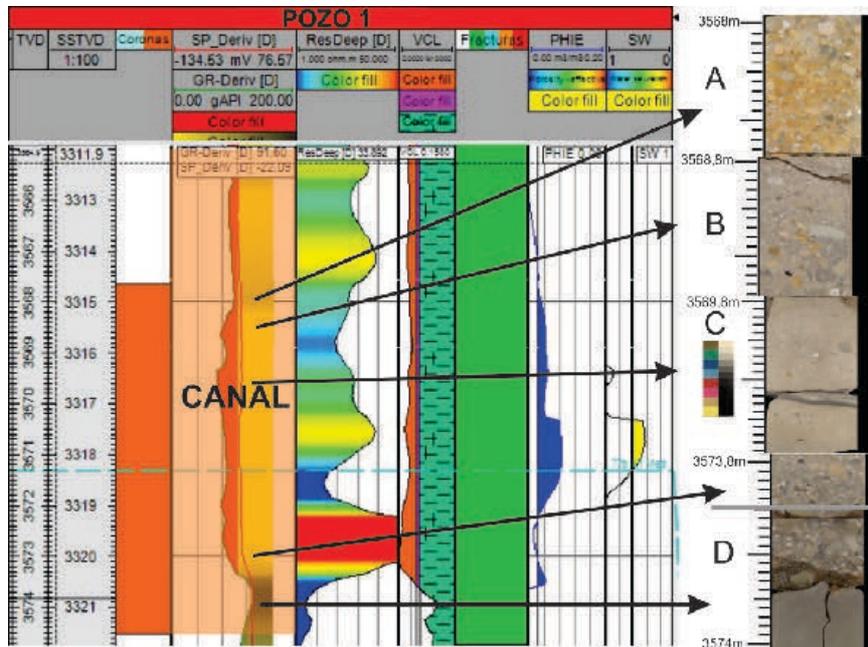


Figura 39: Perfil del Pozo 1 con facies de canal en la corona 3; a la derecha fotografías extraídas de las coronas. A) Conglomerado clasto sostén a los 3568 m. B) Arenisca lítica conglomerádica a los 3568,8 m. C) Arenisca lítica a los 3569,8 m. D) Conglomerados clasto sostén 3573,8 y pelitas a los 3574 m.

Parámetros petrofísicos

El *VClay* tiene valores menores al *cut off* en casi todo el tramo de la corona. Excepto desde los 3574-3573 metros (pelitas).

En cuanto a las curvas de *PHIE* y *SW*. En el primer tramo (3574 -3573 metros) no hay registros de las mismas con los *cut off* brindados. En el segundo tramo (3573 – 3568 metros), la *PHIE* toma valores entre 5 y 8%. La curva de *SW* muestra un solo pico con valor menor a 60% en la profundidad de los conglomerados. En comparación con la corona anterior, estos valores disminuyeron.

Corona 4

La corona 4 abarca una profundidad desde los 3473-3470 metros aproximadamente. En la tabla 4 se resumen las características del informe de corona brindado por la compañía. En términos generales, se observa una secuencia granocreciente, donde areniscas muy gruesas y conglomerados (F2 y F2') se desarrollan en contacto neto con limolitas y limolitas a wackes (F1).

Coronas	Facies	Litología	Granulometría	Estructuras Sedimentarias
CORONA 4	F1	Limolitas y limolitas a wackes	Arena fina	Bioturbaciones horizontales
	F2	Conglomerados	Clastos 1- 5 cm	Alineación de clastos, estratificación planar bajo ángulo a cruzada (?)
	F2'	Arenisca lítica conglomerádica	Muy gruesa	Estratificación entrecruzada. Artesas (?), alineación de clastos

Tabla 4: Resumen de las características de la corona 4 (extraído de Rial, 2018).

Se divide a la corona en dos tramos para un mejor análisis (figura 40). En el primero, entre los 3473 - 3470 metros de profundidad aproximadamente, las curvas de los perfiles de GR y SP se desplazan hacia la derecha. Esto es indicativo de paquetes de granulometrías finas (F1 de la tabla 4) y los valores de la curva de resistividad en este tramo supera el *cut off*, pero toma valores bajos (5 – 7 ohm.m).

En el segundo tramo, entre los 3470 y 3468 metros, las curvas de los perfiles del GR y SP, se desplazan hacia la izquierda (figura 40), indicando la presencia de litologías gruesas (F2' de la tabla 4). Sin embargo, a los 3470 m el valor de GR es de 111 gAPI y este aumento se podría explicar dado que los conglomerados (F1 en tabla 4) son compuestos por litoclastos con alto contenido de minerales radiactivos (figura 41C). En este tramo, los valores de la curva de resistividad en este tramo superan los valores de *cut off* tomando valores altos (entre 20- 30 ohm.m).

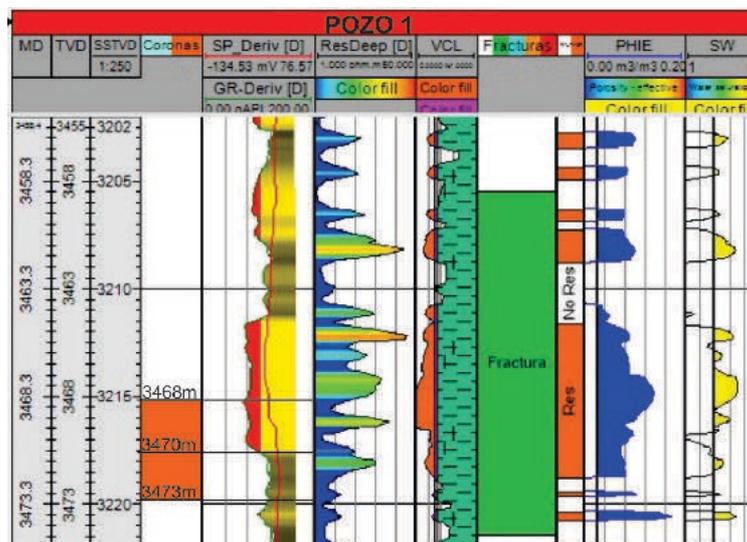


Figura 40: Perfil del Pozo 1 con subdivisión de tramos en el intervalo de profundidad de la corona 4 en el track 4.

Facies interpretadas

El tramo inferior, se describe en el informe que se debe a una sedimentación por decantación subácuca en el que se desarrolló actividad biológica (presencia de bioturbaciones horizontales), asociándolo a un ambiente de menor energía. Sin embargo, se puede interpretar a través de la observación de las curvas del GR y SP, que podría corresponder a una facie de bahía interdistributaria o un desborde de canal ya que la forma de ambas curvas son rectilíneas (figura 41).

En el tramo superior, a pesar de que la forma acampanada que adquiere la curva de GR, puede asociarse con facies de relleno de canal, la escasez en las estructuras sedimentarias y la no clara secuencia granodecreciente, solo puede establecer dos tramos con condiciones de sedimentación diferentes. Por lo que este tramo se caracterizó como un ambiente de mayor energía (figura 41).

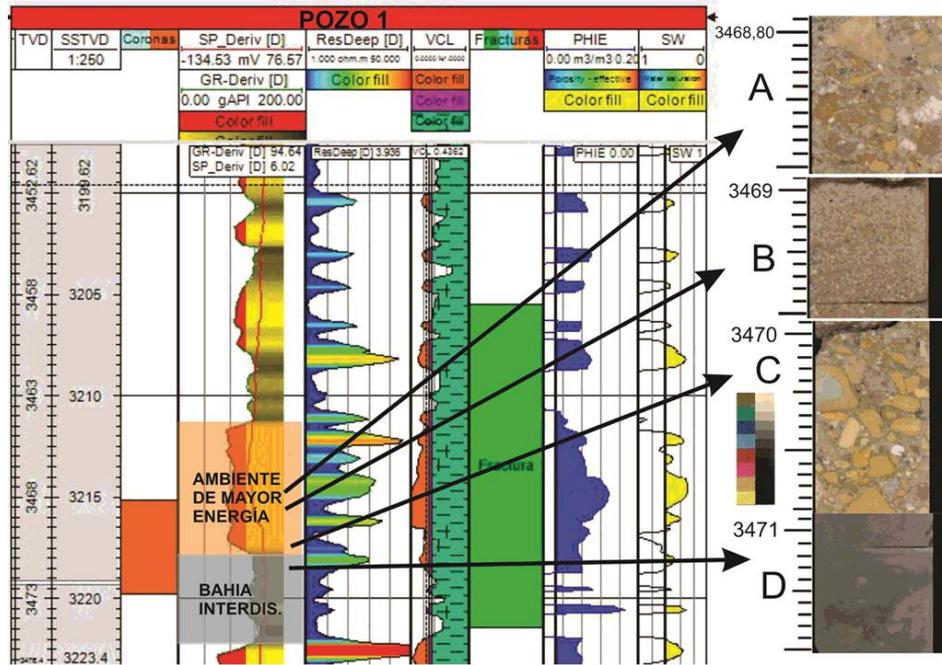


Figura 41: Perfil del pozo 1 con interpretaciones de ambientes para la corona 4; A la derecha fotografías extraídas de intervalos de la corona. a) Conglomerado a los 3468 mbbp, b) Litharenita feldespática a los 3469 mbbp, c) Conglomerado a los 3479 mbbp, d) Limolita y limolita a wacke a los 3471 mbbp.

Parámetros Petrofísicos

Valores menores a 0,3 para el *V_{clay}* predominan en la sección superior de la corona.

En cuanto a la saturación de agua y la porosidad efectiva, en el tramo inferior (3473-3470 metros) la curva de porosidad efectiva (*PHIE*) toma valores de entre 10 y 8% pero no hay registro para la curva de *SW* con el *cut off* brindado. Mientras que, en el intervalo superior (3470 – 3468 metros), la curva de *PHIE* tiene valores entre 8 y 14% y para la curva de *SW* se marcan en amarillo en el *track* 9 (figura 41) los intervalos con valores menores al 60% (*cut off*).

Pozo 2

El intervalo coronado de este pozo se divide en coronas 1, 2, 3 y 4 y corresponden a la Formación Lajas inferior. La corona 1 y la corona 2 se encuentran en Lajas inferior 0, la corona 3 y 4 en Lajas inferior 1 (marcadas en naranja en el *track* 4 de la figura 42).

En primer lugar, se marcaron las secuencias arenosas (rectángulos amarillos) y las finas (rectángulos grises), posteriormente se definieron los intervalos transgresivos y regresivos a escala 1:10000 y 1:4000 (figura 42). Se caracterizaron en las coronas, la interpretación de las formas de las curvas de los perfiles de Rayos Gamma (de color verde, *track* 5 de la figura 42), Potencial Espontáneo (de color rojo, *track* 5 de la figura 42), Resistividad (*track* 6 de la figura 42), *V_{clay}* (*track* 7 de la figura 42), *PHIE* (*track* 8 de la figura 42) y la de *SW* (*track* 9 de la figura 42). Se utilizó la información del informe sedimentológico de Soave y Clark, 2018 para la descripción geológica.

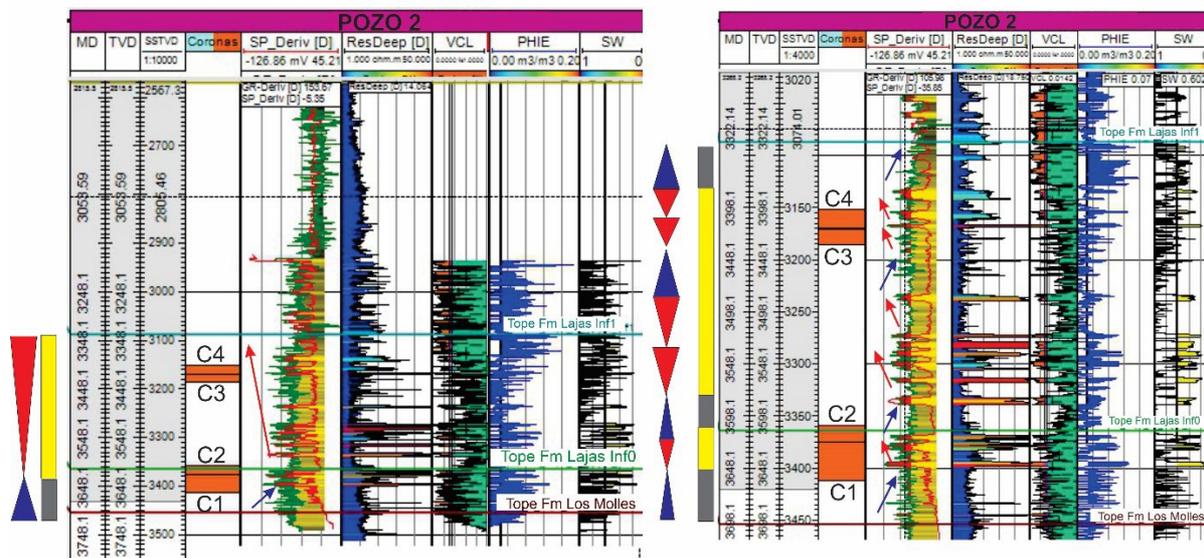


Figura 42: Perfil del Pozo 2 con los intervalos regresivos y transgresivos de Lajas Inferior. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha escala 1:4000. En naranja las coronas de este pozo (C1, C2, C3 y C4).

En la tabla 5 se resumen las características litológicas y de litofacies descritas en el informe de este pozo:

LITOLOGÍA							
MUDSTONE	WACKSTONE	PACKSTONE	GRANSTONE	FLATSTONE	PLUSTONE	MINSTONE	RAFFLESTONE
FRAMSTONE	ECOLIMA	PELITICO	ARENOSO	DOLOMITIZADO	CONGLOMERADO CARBONATICO	ARENITA CALCAREA	ROSA ANHORTA / YESO
ARCILITA	FANGOLITA	INOLITA	ARENITA	ARENITA CONGLOMERADA	CONGLOMERADO	VAZUE	CLASTOS PELITICOS

LITOFACIES	
FI Ireg	Sedimentitas finas (fangolitas, vaques, arenitas muy finas y finas arcillosas) Interestratificadas. Incluye estratificación Irregular (FI Ireg.) por deformación, compactación y/o bioturbación, ocasionalmente con mayor proporción de restos carbonosos (FI Ireg, carbonosa).
FI Ireg (carbonosa)	
Am	Arenitas masivas.
Cch	Conglomerado clasto sostén con estratificación cruda horizontal o sin estructura visible.
Cc	
Cch	
Fm	Sedimentitas finas masivas.
FI	Sedimentitas finas Interlamnadas, con predominio de pelitas.
A cong, masivas	Arenitas conglomerádicas masivas.
Af	Arenitas muy finas con laminación flaser.
A cong, cruzada	Arenitas conglomerádicas con estratificación cruzada.
Ccm	Conglomerado matriz arenosa sostén con cruda estratificación horizontal (o probablemente algo inclinada?).
A/P	Arenitas Interestratificadas con subordinadas pelitas. Algunos intervalos con restos carbonosos y otros muestran estratificación Irregular.
A/P carb	
A/P Ireg	
FI, FI def., FI Ireg, FI(b), P/2.	Sedimentitas finas Interlamnadas (fangolitas, vaques, arenitas muy finas y finas arcillosas) en general con predominio de pelitas, FI Ireg (laminación Irregular por bioturbación y/o def. sin sedimentaria), FI (b) (afectada por bioturbación), FI2 (Interlamnada regular con predominio de arenitas).
Fm, Fm (b), FbI.	Sedimentitas finas de aspecto masivo Intervalos afectados variablemente por bioturbación, (F(b) y FbI).
Aj	Arenitas con laminación paralela, Aj def. (afectada por deformación sin sedimentaria), Aj/Ao (alternante con laminación de menor escala; ondulatoria), Ajc (con contenido carbonoso definiendo la laminación), Aj(h), claramente laminación paralela horizontal
AC	Arenitas conglomerádicas, con estratificación horizontal (ACh) o cruzada (ACc).
Ah	Arenitas con estratificación horizontal.
Cc	Conglomerados clastos sostén, con cruda estratificación horizontal (Cch), horizontal a masiva (Cch-m) o cruzada (Ccc).
Ci	Conglomerado de Intradastos pelíticos.
Ap	Arenitas con estratificación cruzada planar.
Ac	Arenitas con estratificación cruzada de ángulo y dirección de inclinación variable (arriesa, cruzada de bajo ángulo).
Fdef.	Sedimentitas finas arcillosas (vaques, fangolitas arenosas) afectadas por deformación sin sedimentaria (restos carbonosos sin ordenamiento).
C	Niveles conglomerádicos de escaso espesor Interestratificadas con las litofacies AbI y Aj, FbI.
AbI	Arenitas bioturbadas.
Adef.	Arenitas con deformación sin sedimentaria.

Tabla 5: Resumen de litologías y litofacies descritas en el informe (extraído de Soave y Clark, 2018).

Corona 1 y 2

Ambas cercanas al tope de Lajas inferior 0 (*track 3* de figura 43A). La corona 1 desde los 3659 – 3623 metros de profundidad aproximadamente y se subdivide para un mejor análisis en la figura 37B: sección 1 (3659 – 3646 metros), sección 2 (3646 – 3631 metros) y sección 3 (3631 – 3623 metros).

La corona 2 se encuentra entre los 3623 - 3607 metros de profundidad aproximadamente (*track 3* de la figura 43A) y se subdivide en: sección 4 (3623 – 3616 metros) y sección 3 (3616 – 3607 metros) mostradas en la figura 43 B.

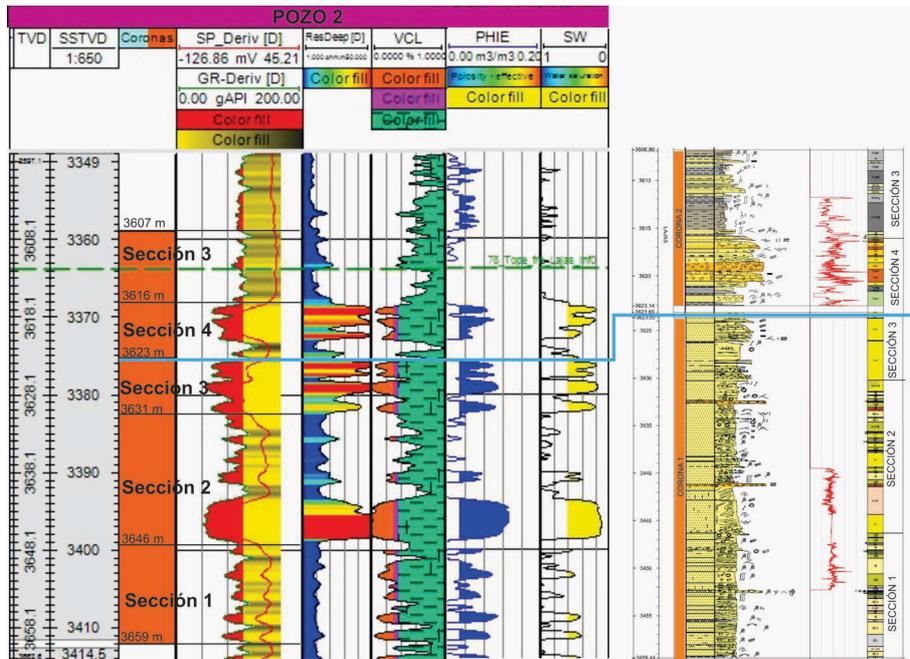


Figura 43: A. Pozo 2 con coronas 1 y 2 en el track 3 separadas por línea celeste. B. A la derecha perfil litológico de ambas coronas con división de secciones y descripción de litofacies (modificado de Soave y Clark, 2018).

En la sección 1 de la corona 1 (figura 44), las curvas del GR y SP se encuentran desplazadas hacia la derecha, sin embargo tienen intervalos donde se desvían hacia la izquierda, lo que da indicio de un cambio en las litologías. En este tramo, se describe en el informe a esta sección como una secuencia integrada mayormente por intercalación de arenitas y sedimentitas finas a muy finas (Abi, Ac, Al, Fl, en tabla 4). También se describe un tipo de bioturbación presente (Ophiomorfa nodosa) en las litologías finas que junto con el tamaño pequeño de las trazas que sugieren variación de salinidad y la presencia de bioclastos, confirman la influencia marina en un medio fluvial. Asimismo, en este tramo, los valores de curva de resistividad superan el valor de *cut off* brindado pero son muy bajos, aproximadamente entre 5 y 13 ohm.m.

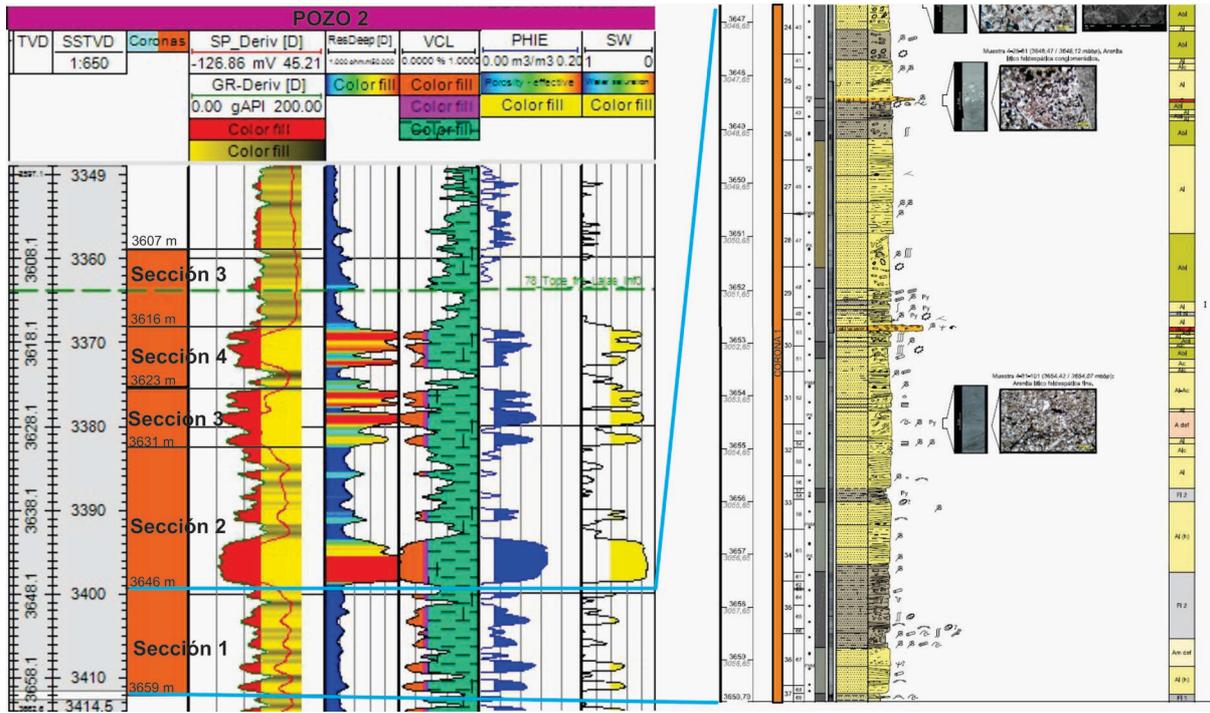


Figura 44: A. Pozo 2 con coronas 1 y 2, en celeste se marca la sección 1 de la corona 1 y en B perfil litológico (modificado de Soave y Clark, 2018).

En la sección 2 de la corona 1, se muestra una mayor participación de conglomerados (C) y litofacies de areniscas que van variando en granulometrías y en estructuras sedimentarias (figura 45B), con respecto a la sección anterior. Esto también se evidencia en las curvas del GR y SP ya que ambos se desplazan hacia la izquierda al inicio de esta sección y hacia la derecha hacia el techo de la misma. Los valores de resistividad superan el *cut off* brindado en esta sección, siendo mayores de 100 ohm.m en los tramos con secuencias de mayor granulometría.

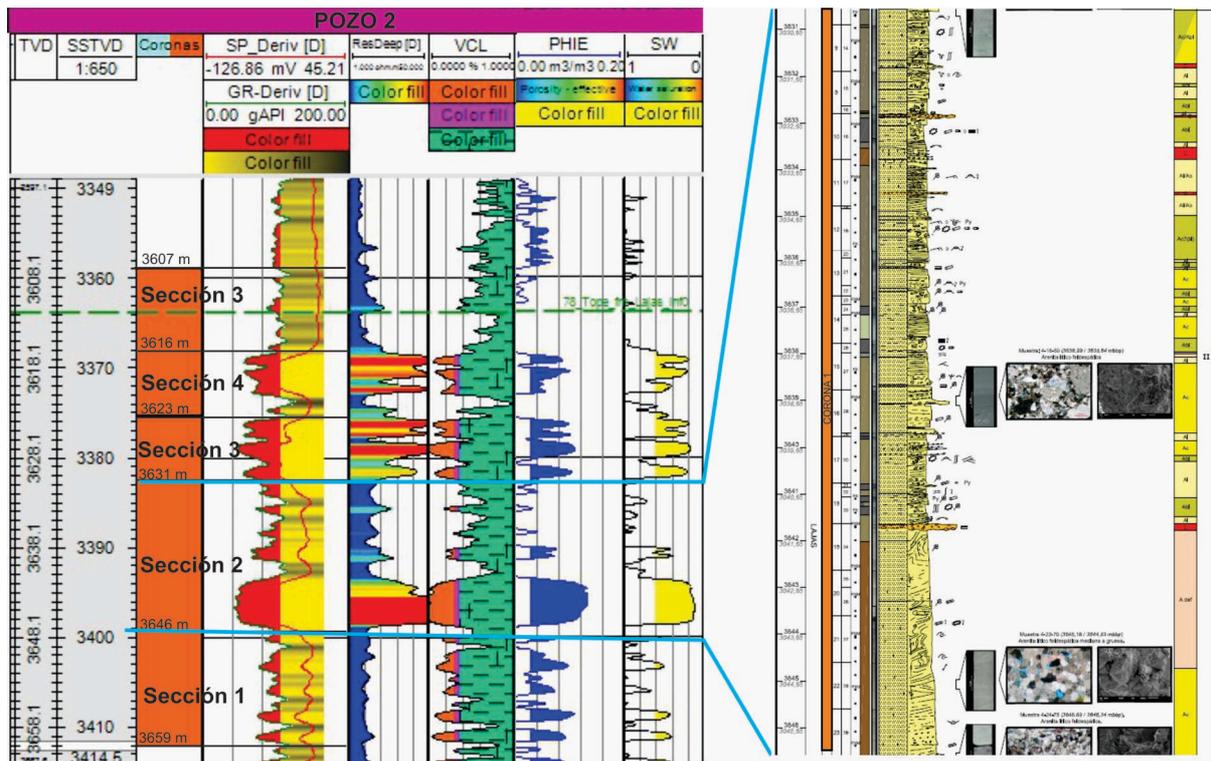


Figura 45: Pozo 2 con coronas 1 y 2, en celeste se marca la sección 2 de la corona 1 y en B perfil litológico modificado de Soave y Clark, 2018).

En la sección 3 de la corona 1, se observa en el perfil litológico de la figura 46B dos paquetes arenosos de 6 metros aproximadamente de potencia (Ac en tabla 4). Entre esos paquetes arenosos intercalan depósitos finos (Fdef y Fm en tabla 4), formando secuencias granodecrecientes menores. Las curvas del GR y SP se desplazan hacia la izquierda, indicando este aumento de granulometría y hacia la derecha en presencia de los finos. En esta misma sección, los valores de curva de resistividad superan el *cut off* brindado, con picos mayores a 50 ohm.m.

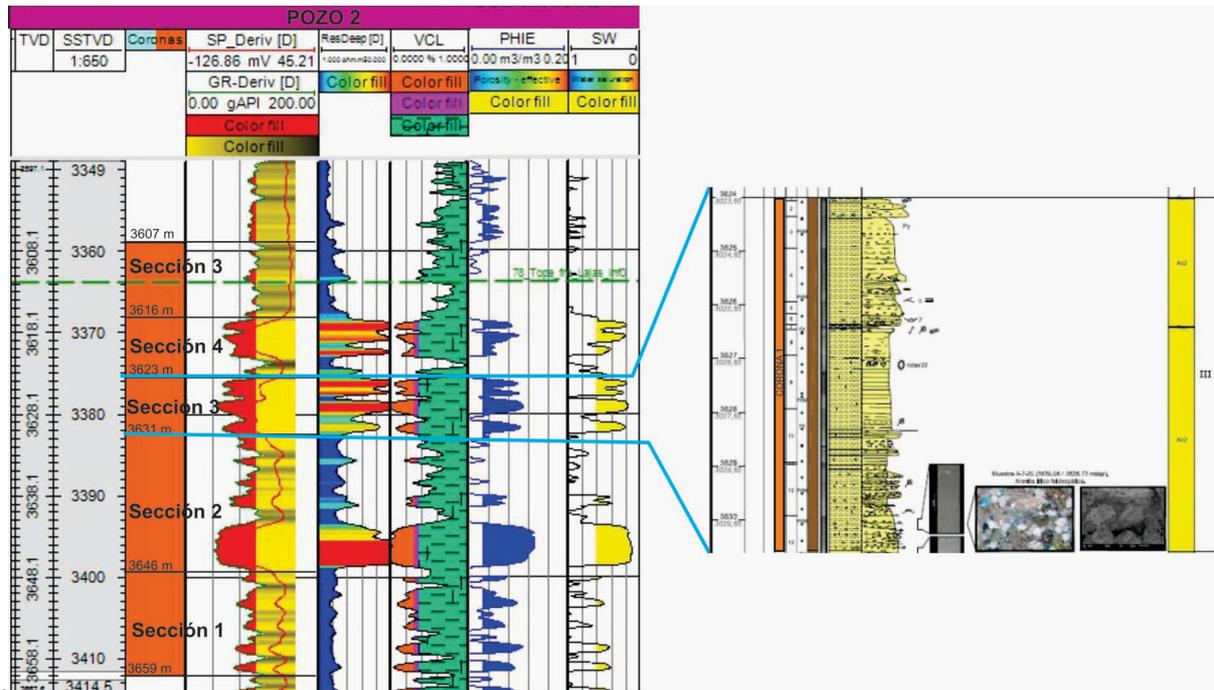


Figura 46: Pozo 2 con coronas 1 y 2, en celeste se marca la sección 3 de la corona 1 y en B perfil litológico (modificado de Soave y Clark, 2018).

En la figura 47 se muestra la sección 4 de la corona 2. En el informe de esta corona, se describen intercalaciones de conglomerados y areniscas de litofacies de Cch, AC, Ap, Ccc (tabla 4), que forman una sucesión general granodecreciente. Las curvas del GR y SP se desplazan hacia la izquierda en las litofacies de mayor granulometría y hacia la derecha a medida que disminuye (figura 37). Los valores de la curva de resistividad superan el valor *de cut off* en este tramo, llegando a superar los 50 ohm.m.

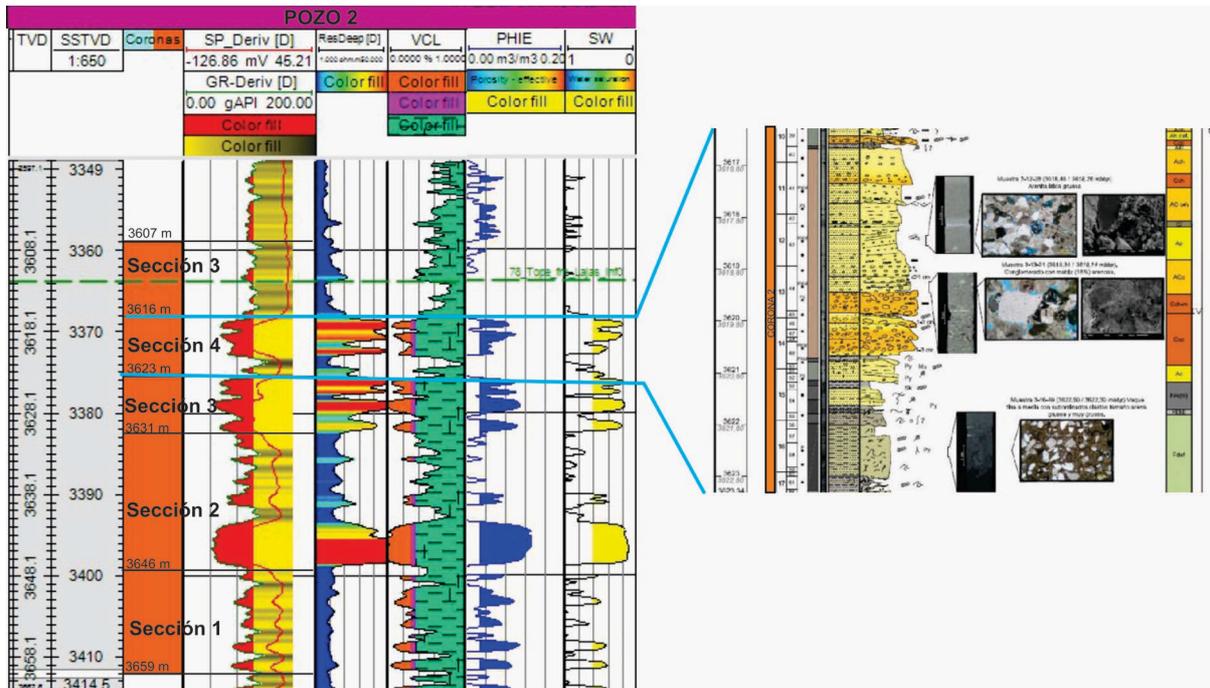


Figura 47: Pozo 2 con coronas 1 y 2, en celeste se marca la sección 4 de la corona 2 y en B perfil litológico (modificado de Soave y Clark, 2018)..

En la sección 3 de la corona 2, el informe describe secuencias de depósitos finos, donde intercalan sedimentitas finas masivas con bioturbaciones (FI, FI (bi) en tabla 4) y areniscas con diversas estructuras sedimentarias (AI, Am, AI def en tabla 4), observado en la figura 48. En ese mismo intervalo, se ve que ambas curvas de GR y SP se desplazan hacia la derecha, principalmente la curva de SP.

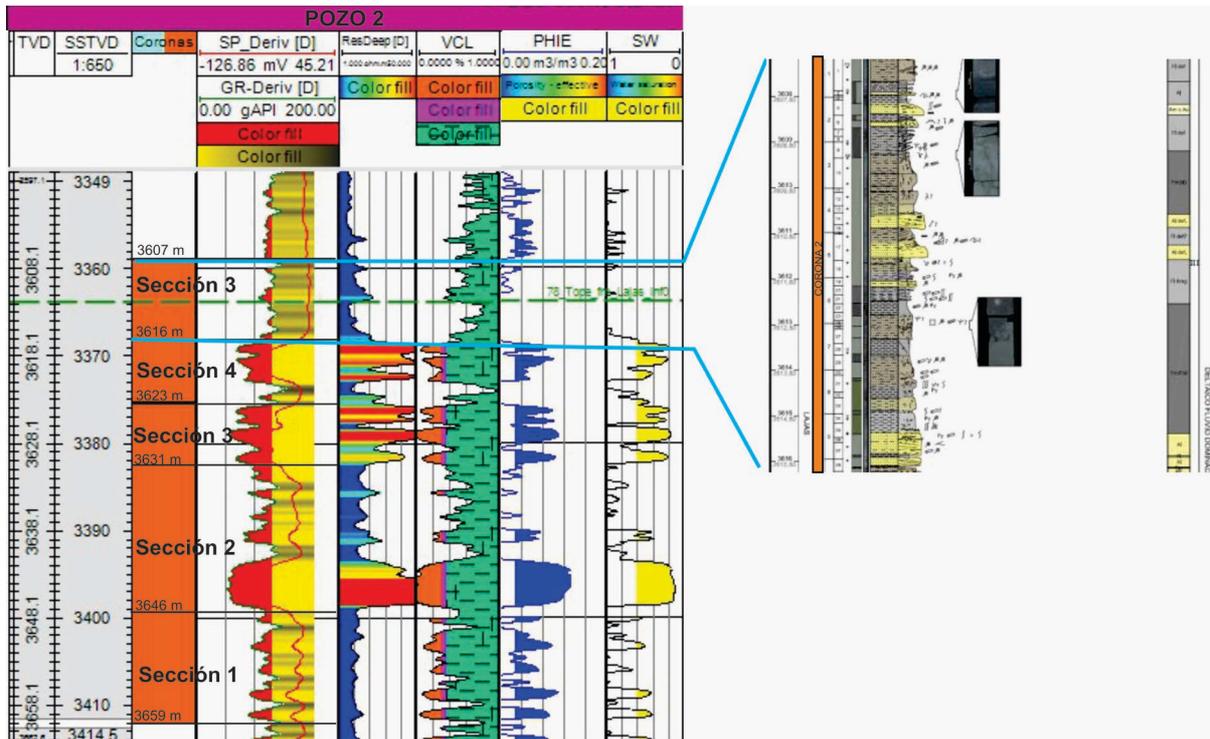


Figura 48: Pozo 2 con corona 3 y perfil litológico de la sección 3 (modificado de Soave y Clark, 2018).

Facies interpretadas

Para este pozo las descripciones de facies en los informes de las coronas son más bien generales, por lo que a continuación se describe en mayor detalle en cuanto a sus relaciones con los registros de pozos:

Se interpretó a todas las secciones de la corona 1 como una sucesión de facies de rellenos de canales y facies de barra de desembocadura, dada por la forma de campana y de embudo que adquiere el GR en las distintas profundidades, en un ambiente de mayor energía, asociándose a un subambiente de frente deltaico (figura 49).

La sección 4 de la corona 2, se interpreta como una facie de relleno de canal distributivo, dada por la secuencia granodecreciente interpretada y la forma de campana que adquiere la curva del GR. La sección 3 de la misma corona, se interpreta como una facie de bahía interdistributaria, dada por el comportamiento rectilíneo que adquiere la curva del GR y por las características descritas de litologías y bioturbaciones presentes en el informe (figura 49).

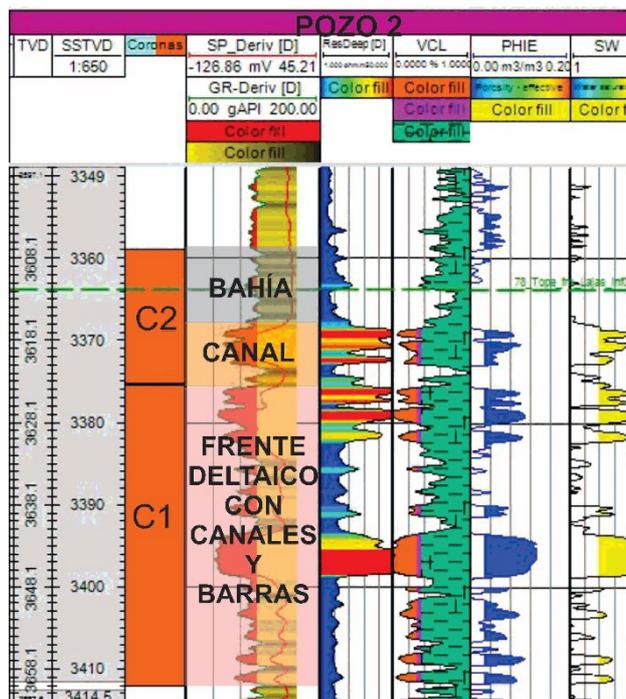


Figura 49: Pozo 2 con coronas 1 y 2 en el track 3, interpretación de facies y subambiente.

Parámetros petrofísicos

En la corona 1, el *VClay* toma valores menores a 0,3 en las secciones 2 y 3. En la corona 2 solamente toma valores menores en la sección 4. Se generan picos en la curvas de *PHIE* en estas mismas secciones, tomando valores de entre 5 y 10% aproximadamente y lo mismo sucede con la curva de *SW*, que toma valores menores al 60%.

Coronas 3 y 4

Ambas se ubican en el nivel correspondiente a Lajas inferior 1. En el *track 3* de la figura 50A se observa la corona 2, que abarca desde los 3433 - 3419 metros de profundidad y corresponde a la sección 1 (figura 50B). En el mismo *track* que la corona 2, la corona 1, a una profundidad de 3418 - 3400 y se divide en una sección 2 entre los 3418 - 3415 metros y en una sección 3 entre los 3415-3400 metros (figura 50B).

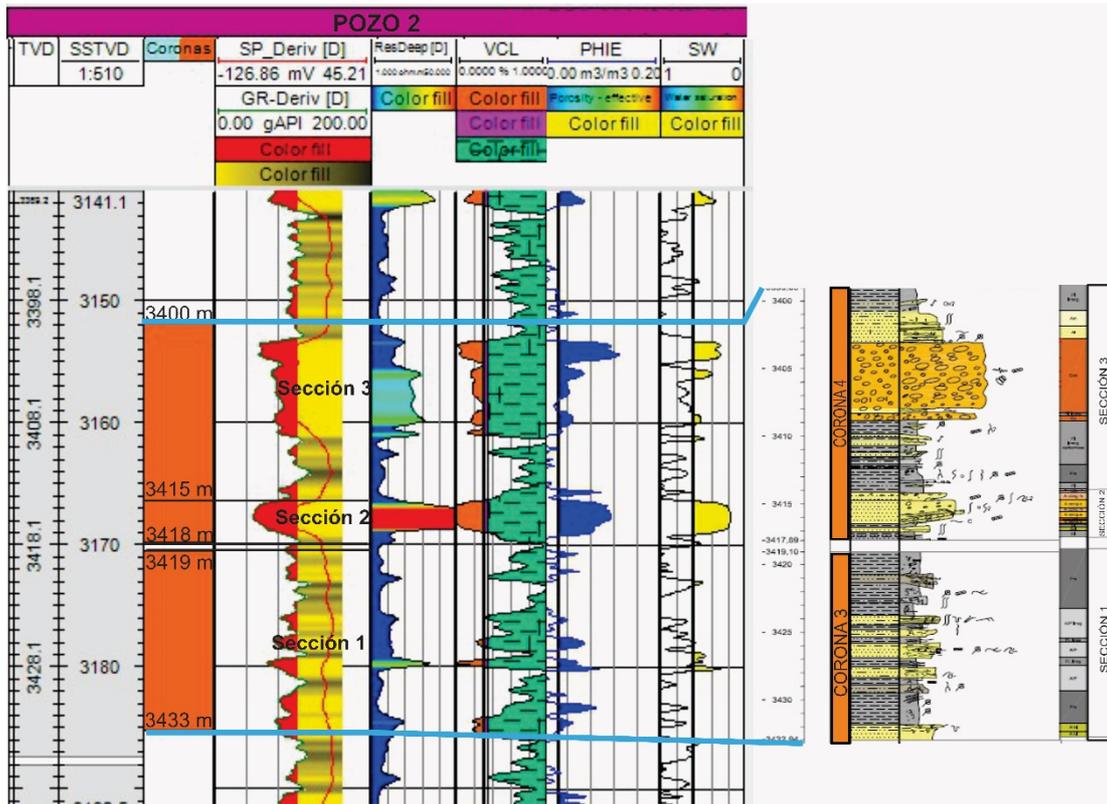


Figura 50: A. Perfil del Pozo 2 con las coronas 3 y 4. B. perfil litológico de ambas coronas con descripción de litofacies, dividido en secciones 1, 2 y 3 (modificado de Soave y Clark, 2018).

En la corona 3, sección 1 se observa que la curva del GR se desplaza hacia la izquierda y la del SP hacia la derecha, indicando una intercalación de litofacies finas (figura 51A). Esto mismo se observa en el perfil litológico de la figura 51B, en donde intercalan las litofacies (Fm, A/P, FI, Abi en tabla 5). Asimismo, también se describen en el informe la presencia de bioturbaciones y grietas de sinéresis (las cuales se forman en sedimentos fangosos que se contraen por diferencias de salinidad). En esta sección, los valores de resistividad superan el *cut off* brindado, pero toma valores bajos, entre 5 – 15 ohm.m (figura 51A).

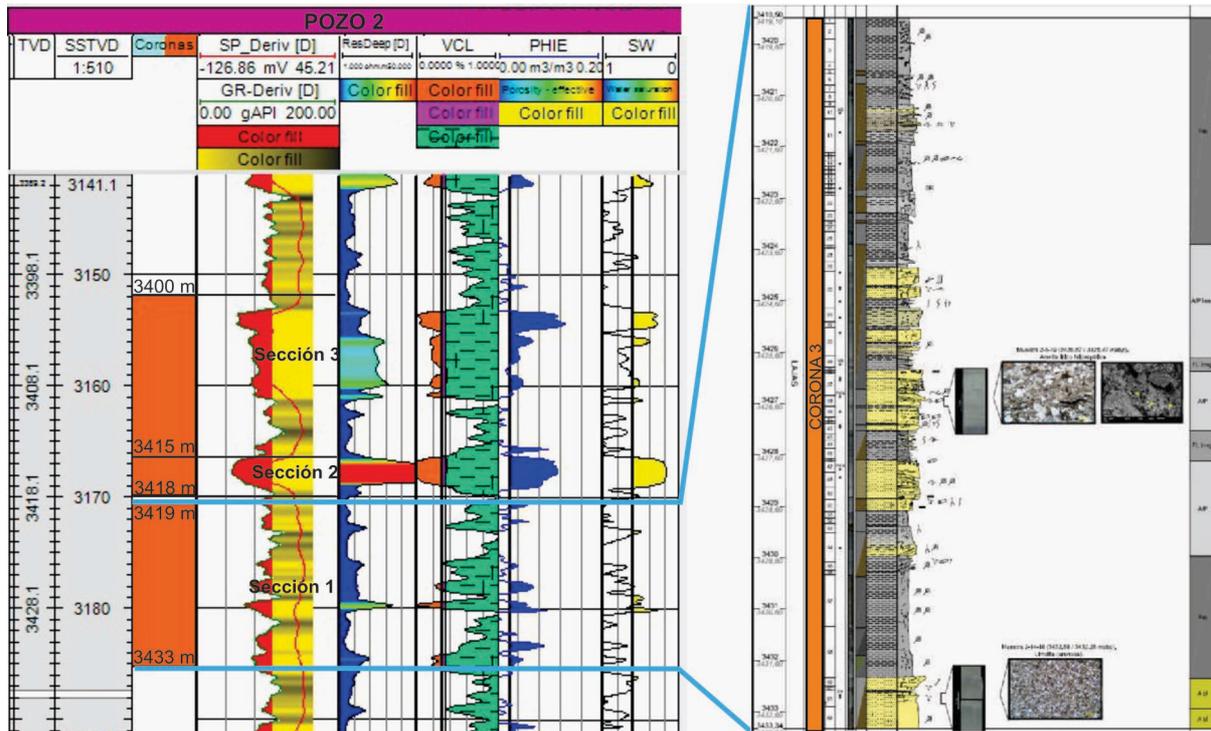


Figura 51: A. Perfil del pozo 2 con coronas 3 y 4. B. Perfil litológico de la sección 1 de la corona 3 (modificado de Soave y Clark, 2018).

En la corona 4 sección 2, se observa un desplazamiento de las curvas GR y SP, hacia la derecha al inicio de la misma y que se va desplazando hacia la izquierda hacia el techo (figura 52A), dada por la presencia de las areniscas conglomerádicas, conglomerados y sedimentitas finas que forman un arreglo general granocreciente (figura 52B). Asimismo, también se observa en el registro de resistividad, que los valores superan el *cut off*, con picos que superan los 60 ohm.m.

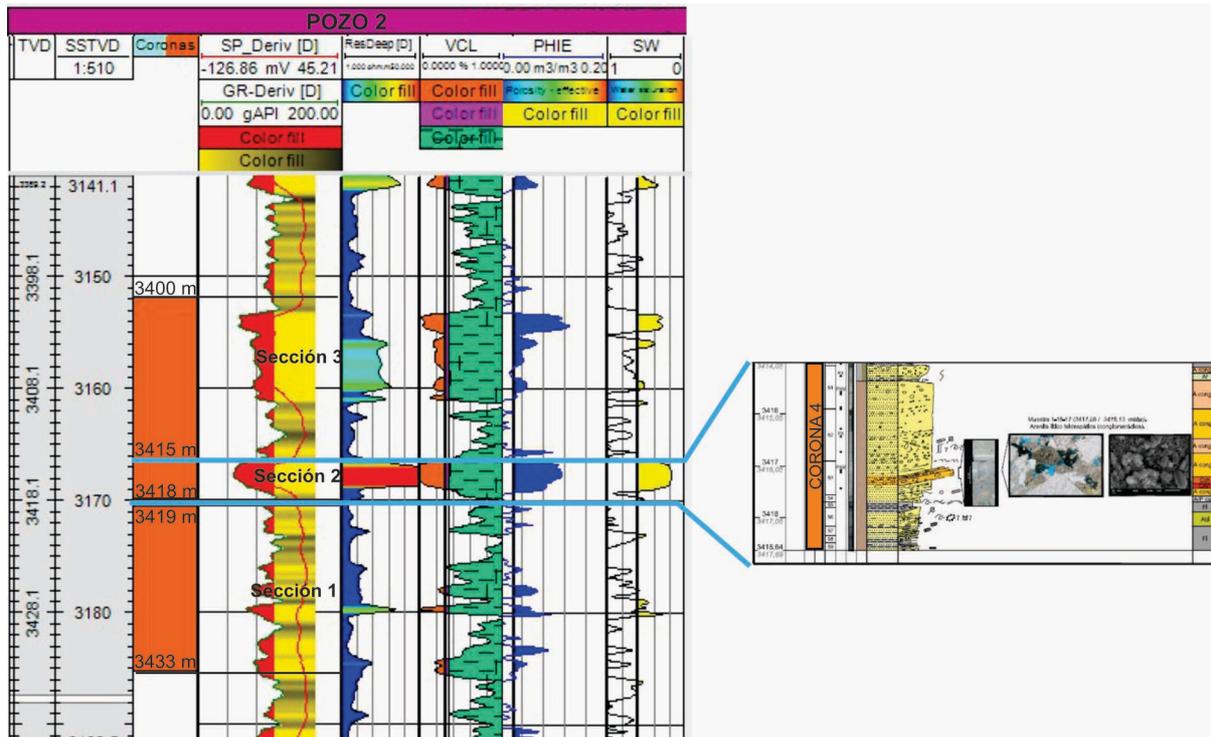


Figura 52: A. Perfil de Pozo 2 con coronas 3 y 4. B. Perfil litológico de la Sección 2 de la corona 4 (modificado de Soave y Clark, 2018).

En la corona 4 sección 3, se observa un desplazamiento de las curvas GR y SP hacia la derecha en el inicio de la corona que va migrando hacia la izquierda hacia el techo, formando una secuencia general granodecreciente al techo, pasando de sedimentitas finas que se ponen en contacto con conglomerados, areniscas y finos hacia el techo (figura 53A). Los valores más altos de resistividad para esta corona se encuentra en el paquete conglomerádico.

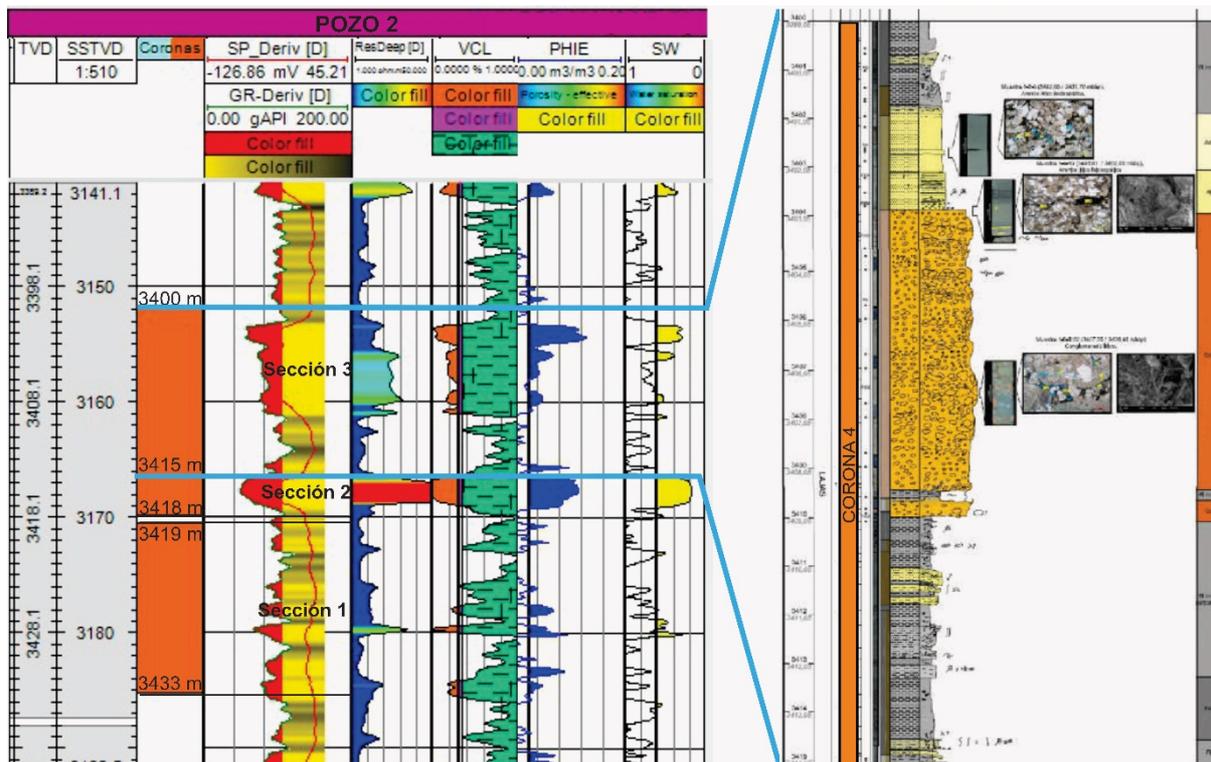


Figura 53: A. Perfil del Pozo 2 con coronas 3 y 4. B. Perfil litológico de la sección 3 de la corona 4 (modificado de Soave y Clark, 2018).

Facies interpretadas

El patrón característico de las curvas del GR y SP junto con la descripción litofacial de secuencias mayoritariamente finas con presencia de bioturbaciones y grietas de sinéresis, indican que la sección 1 de la corona 3, corresponde a una facies de bahía interdistributaria.

La sección 2 de la corona 1, se caracteriza en el informe geológico como correspondiente tanto a una posible facies de barra de desembocadura como a un depósito de relleno de canal. Sin embargo, por lo analizado anteriormente, se observa una secuencia mayormente granocreciente. Las características de las curvas del GR y SP junto con la descripción de las litofacies, se podría asignar a esta sección como una facies de barra de desembocadura por sobre la de un relleno de canal.

La sección 3 de la corona 4, el comportamiento de la curva del GR descrito en esta sección y la descripción litológica, la relaciona con facies de bahía interdistributaria. Hacia el techo de la corona, se caracteriza una secuencia mayormente granodecreciente y se evidencia en el comportamiento de las curvas del GR y SP, correspondiendo a una facies de relleno de canal.

Todo lo descrito se observa en la figura 54.

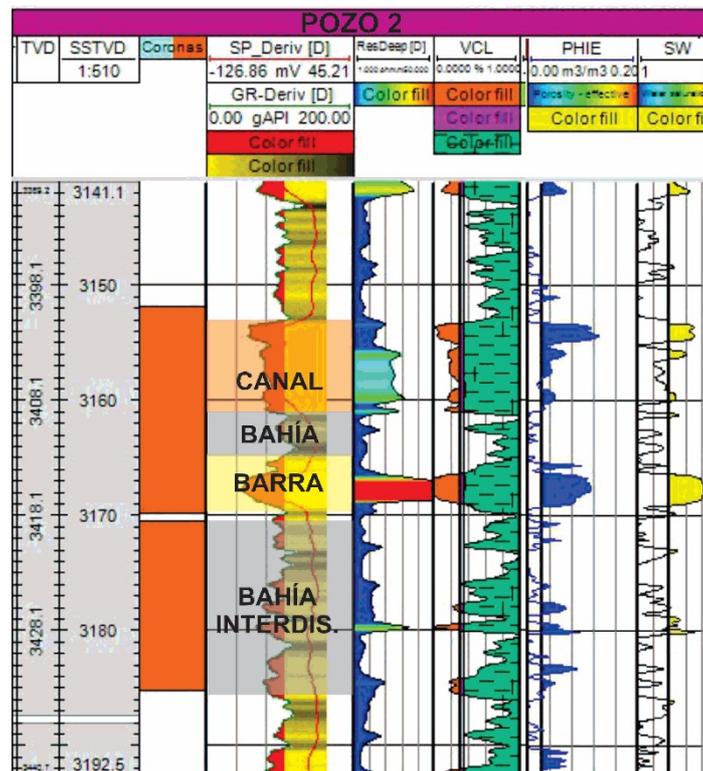


Figura 54: Pozo 2 con interpretación de facies de las coronas 3 y 4

En rasgos generales, se puede resumir un ambiente de mayor energía para las coronas 1 y 2 (Lajas inferior 0) y un ambiente de menor energía para las coronas 3 y 4 (Lajas inferior 1).

Parámetros petrofísicos

En la corona 4, el V_{clay} alcanza valores menores a 0,3 en ambas secciones, en la corona 3 es casi despreciable los valores del mismo. Se generan picos en la curva de $PHIE$, tomando valores aproximadamente de 13% en la secuencia arenosa de la (sección 3) y 11% en la secuencia arenoconglomerádica de la sección 2 de la corona 4. En las mismas secuencias la curva de SW toma valores menores al 60%.

Pozo 3

El intervalo coroneado de este pozo se divide en coronas 1, 2, 3 y 4, que se encuentran marcadas en naranja en el *track* 3 de la figura 55 y corresponden al igual que los otros pozos a la Formación Lajas inferior. La corona 1 en Lajas inferior 0 y las coronas 2, 3 y 4 se encuentran en Lajas inferior 1. En la misma figura, se marcaron las secuencias arenosas (rectángulos amarillos) y los finos (rectángulos grises), posteriormente se definieron los intervalos transgresivos y regresivos a escala 1:10000 y 1:4000. Se caracterizaron en las coronas, la interpretación de las formas del registro de Rayos Gamma (de color verde, *track* 4 de la figura 55), Resistividad (*track* 5 de la figura 55), V_{clay} (*track* 6 de la figura 55), $PHIE$ (*track* 9 de la figura 55) y la de SW (*track* 10 de la figura 55).

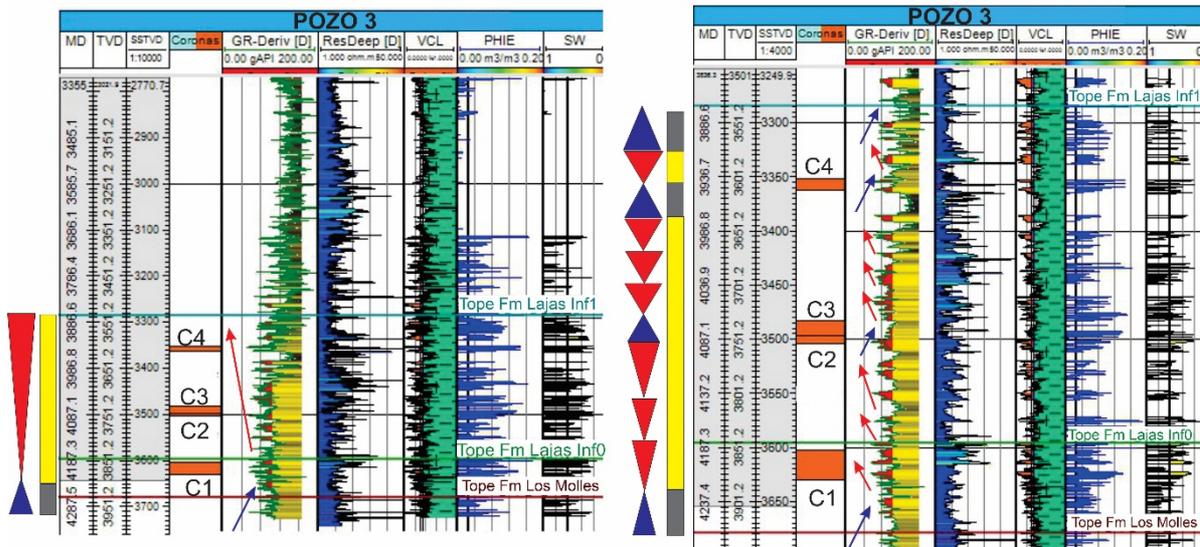


Figura 55: Intervalos transgresivos y regresivos del pozo 3. A la izquierda escala 1:10000, a la derecha 1:4000.

En la tabla 6 se resumen las litofacies en los intervalos de profundidad y las facies interpretadas en el informe geológico. El análisis sedimentológico realizado por los especialistas de YPF (Rodríguez *et al.*, 2020), agrupan estas litofacies descriptas en tres grupos que corresponden a pelitas, vaques y areniscas muy finas, otro grupo que corresponden a areniscas y otro a conglomerados.

Coronas	Intervalos de Profundidad (mbbp)	Litofacies	Predomina
C4	3938 -3941	1 y 2	Pelitas
	3941-3946	3, 4', 4m, 4', 4, 4',4,4',4	Arenas
	3946-3949	2, 1,2,1,2,1 y 4	Pelitas
C3	4070-4072	2d, 1, 3d, 3	Pelitas y arenas
	4072-4080,5	1,2,1, 8b, 1, 8b,1,2,1,2	Pelitas
	4080,5-4083,5	4,8,4m, 4,4',4m,4,8	Arenas
C2	4084-4091	1,8,4,8,4,8,4,4',8,4',8,2,4	Conglomerados
C1	4190-4191,5	2, 1, 2d	Pelitas
	4191,5- 4195	3,2,4',4,4',4	Arenas
	4195-4199	2,2d,2,3	Pelitas
	4199-4202,5	4,8,8',8, 8',8	Conglomerados
	4202,5-4207	4',4	Arenas
	4207-4209	2,4,4',5	Arenas
	4209-4211	4,3,8	Conglomerados
	4211-4213,5	2,10,2	Arenas y pelitas
4213,5-4217	3,4,2,3,8	Arenas	

Tabla 6: Coronas del Pozo 3 con descripción de litofacies: Fangolitas carbonosas (1), Heterolitas (2), Heterolita deformada (2d), Ar finas a gruesas estratificadas (3), Ar finas a gruesas deformadas (3d), Ar media a muy gruesa masiva (4), Ar estratificada fitodetritos alineados (4'), Ar media a gruesa moteadas (4m), Ar granocreciente con fitodetritos (5), Ar muy fina con bioclastos (10), Conglomerados (8), Conglomerados con clastos blandos (8'), Brechas cataclásticas (8b).

Corona 1

La corona 1 abarca una profundidad aproximada de 4217 - 4190 metros. En la figura 56, se observa que la misma se dividió en dos secciones para un mejor estudio, la sección 1 (4217 – 4195 metros) y la sección 2 (4195 – 4198 metros).

En el perfil litológico de la sección 1 (figura 56B), vemos que hay una intercalación de conglomerados, arenas y pelitas, las cuales van formando secuencias granodecrecientes y granocrecientes. Esto mismo se observa en el comportamiento de la curva del GR, la cual se desplaza hacia la izquierda y hacia la derecha repetitivamente hacia la base erosiva (marcada en rojo en la figura 56A).

En el perfil litológico de la sección 2 (figura 56B) se observa que comienza una base erosiva y suprayace secuencias arenosas culminando con finos. Vemos que la curva del GR se desplaza a la izquierda y va migrando hacia la derecha hacia el techo.

En ambas secciones los valores de resistividad superan al *cut off* brindado, pero son bajos, ya que los mismos alcanzan un valor máximo de 35 ohm.m aproximadamente en los intervalos de mayor granulometría.

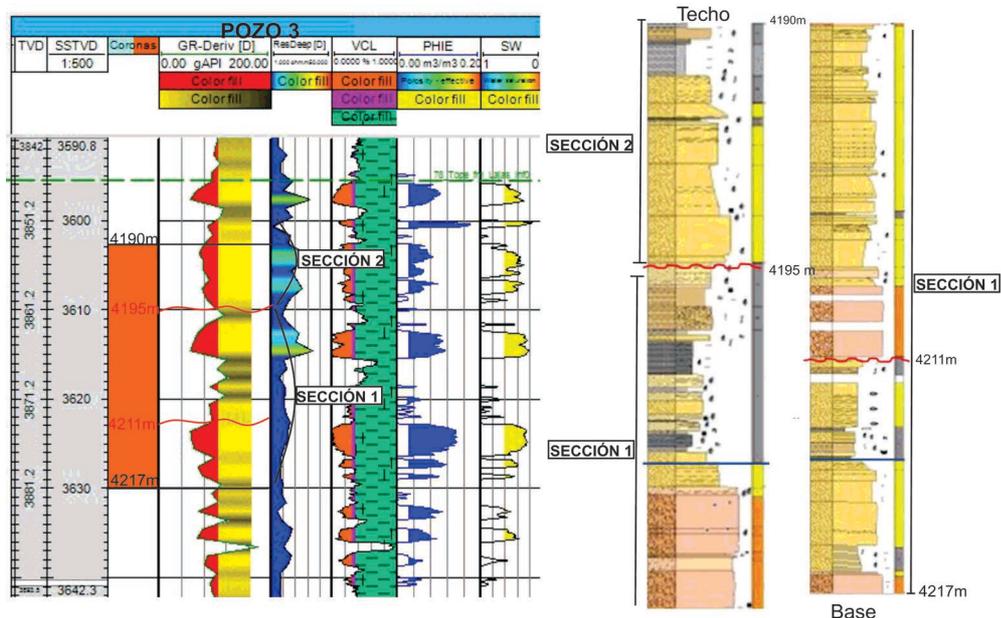


Figura 56: A. Perfil del Pozo 3 con corona 1 y subdivisión de secciones. B. Perfil litológico para esta corona (modificado de Rodríguez et al., 2020).

Interpretación de facies

Al igual que el Pozo 2, las descripciones de facies en los informes de las coronas no están divididas y detalladas en secciones, por lo que a continuación se describe para el Pozo 3 un mayor detalle de las facies y sus relaciones con los registros de pozos:

En la sección 1 se observan intercalaciones de secuencias granodecrecientes y granocreciente. Asimismo, la curva del GR adquiere formas de campana y de embudo, lo que indica que corresponden a facies de canales y barras de desembocadura. Secuencias de depósitos finos, por debajo de la superficie de erosión a los 4195 metros (marcada en rojo en la figura 57) donde la curva del GR se desplaza a la derecha, pudiendo asociarse con una facie de bahía interdistributaria.

En la sección 2 lo que se observa es que la misma comienza con una superficie erosiva, por encima una secuencia arenosa que culmina hacia el techo con depósitos finos, formando secuencias

granodecrecientes (figura 57). Dada esta característica y la forma acampanada del GR, se designa a esta sección como correspondiente a depósitos de canales.

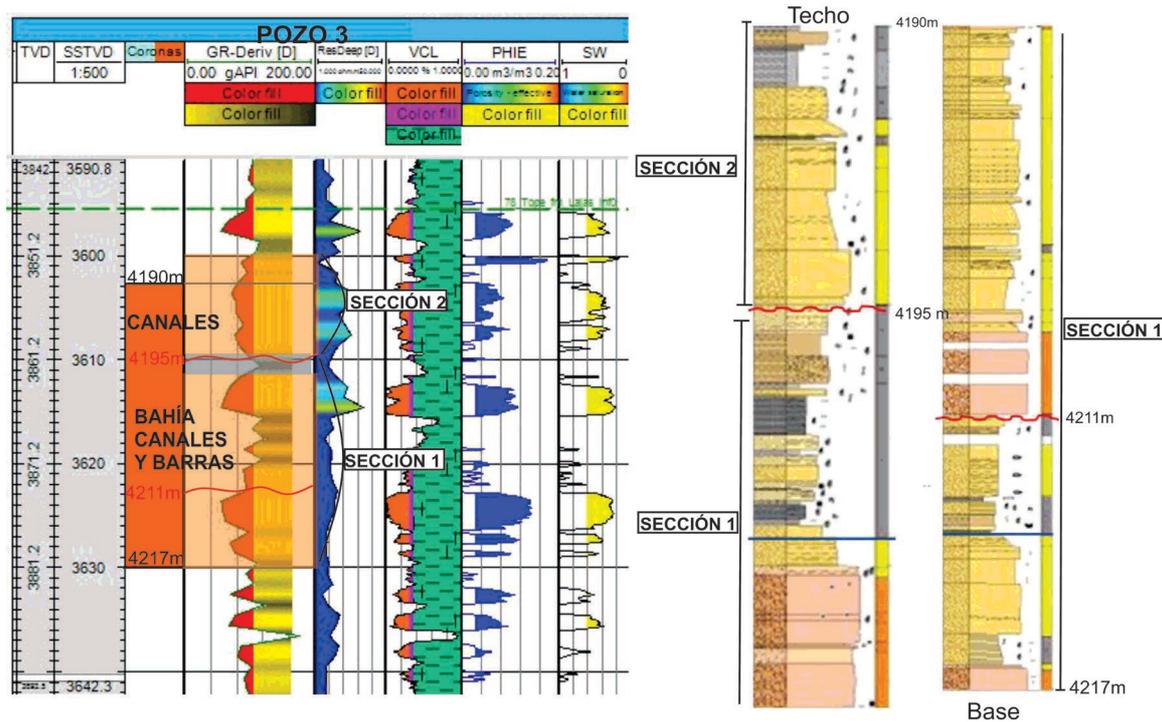


Figura 57: Pozo 2 con facies interpretadas en la corona 1. A la derecha perfiles litológicos (modificado de Rodríguez et al., 2020).

Parámetros petrofísicos

Los valores de V_{clay} son menores al *cut off* brindado en casi toda la corona 1, principalmente en aquellos intervalos correspondientes a facies de canales y barras. En las mismas facies, se generan picos en la curva de $PHIE$, tomando un valor máximo de 15%, al igual que la SW con valores menores al 60%.

Coronas 2 y 3

La corona 2 abarca una profundidad desde los 4091- 4083,5 metros. En el perfil litológico de la corona (figura 58B) se observan depósitos de conglomerados en contacto con niveles de areniscas de menor potencia, formando secuencias granodecrecientes y granocrecientes. Lo mismo indica la curva del GR, la cual se desplaza hacia la izquierda y hacia la derecha en distintos intervalos (figura 58A).

La corona 3 abarca una profundidad de 4083 - 4070 metros. En el perfil litológico (figura 58B) se observa que empieza con un depósito conglomerádico y por encima una intercalación de depósitos de areniscas con distintas granulometrías y estructuras sedimentarias, formando una secuencia mayormente granodecreciente. Hacia el centro de la corona, intercalan depósitos finos con paquetes de conglomerados y hacia el techo depósitos de areniscas con finos y terminando con areniscas, formando una secuencia mayormente granodecreciente. La curva del GR se desplaza hacia la

izquierda y luego hacia la derecha. Los valores de radiactividad en ambas coronas son bajos, entre 10 y 30 ohm.m, pero superando el *cut off* brindado.

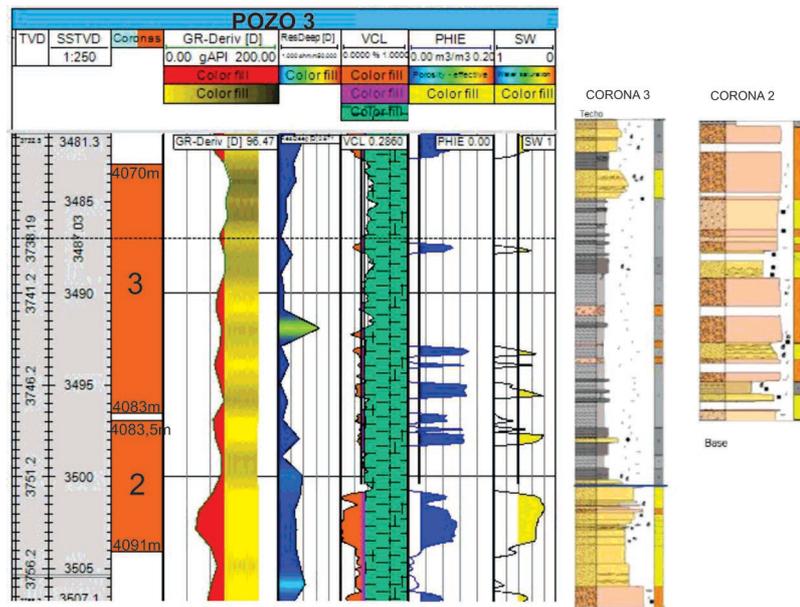


Figura 58: A. Perfil del Pozo 3 con coronas 2 y 3. B. Perfil litológico de ambas coronas (modificado de Rodríguez *et al.*, 2020).

Interpretación de facies

En la figura 59 se marcan en el perfil del pozo las interpretaciones de facies para ambas coronas:

La totalidad de la corona 2, se interpreta como facies de canales y barras de desembocadura dada las secuencias granodecrecientes y granocrecientes y la forma de campana y de embudo de la curva del GR.

En la corona 3, se interpreta en el inicio facies de relleno de canal, secuencia granodecreciente y forma de campana del GR. Hacia el centro una facies de bahía interdistributaria dada por los depósitos finos y la forma rectilínea de la curva del GR.

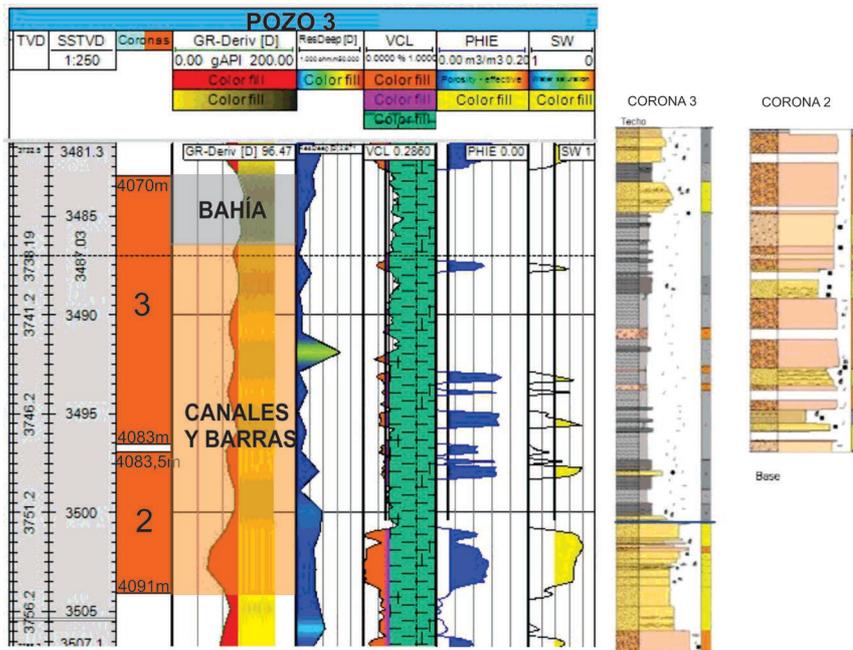


Figura 59: A. Facies interpretadas de las corona 2 y 3. B. Perfiles litológicos (modificado de Rodríguez et al., 2020).

Corona 4

Esta corona va desde profundidades de 3949 - 3938 metros aproximadamente. Desde los 3949 hasta los 3942 metros vemos en el perfil litológico de la figura 60B que inicia con un paquete de areniscas muy gruesas a medias (litofacies 4 de la tabla 6), seguido por intercalación de niveles finos, predominando principalmente las pelitas. La curva del GR en esta sección inicia desplazada hacia la izquierda (indicando esos paquetes arenosos) y luego se desplaza hacia la derecha (indicando la intercalación de paquetes finos). Los valores de radiactividad en esta sección superan el *cut off* brindado, alcanzando un pico máximo de 54 ohm.m aproximadamente por encima de la base erosiva.

Desde los 3942 metros de profundidad, predominan arenas que varían en estructuras sedimentarias que forman una secuencia granodecreciente al techo y una base erosiva. La curva de GR se desplaza hacia la izquierda en los intervalos de mayor granulometría y hacia el techo se desplaza hacia la derecha indicando finos (litofacies 1 y 2 en tabla 6). En este tramo, los valores de resistividad son bajos, del orden de 5 a 10 ohm.m (figura 60).

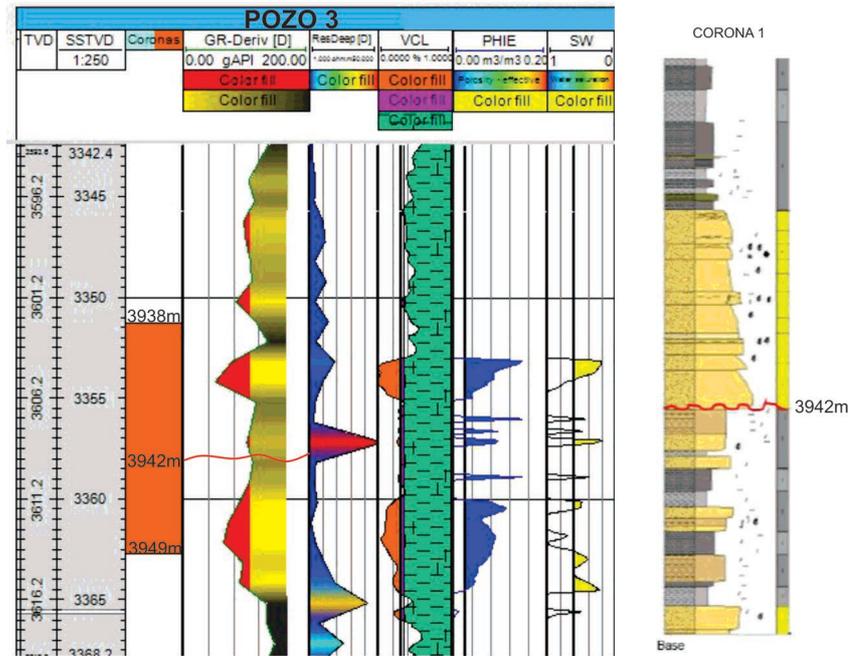


Figura 60: A. Pozo 3 con la corona 4. B. Perfil litológico de esta corona (modificado de Rodríguez *et al.*, 2020).

Interpretación de facies

En la figura 61, los primeros metros de la corona hasta la base erosiva, son interpretados como correspondientes a facies de bahía interdistributaria en la cual los profesionales de la compañía la clasifican como “avenidas en bahía interdistributaria”, haciendo referencia a facies de avenida como cuerpos con superposiciones de areniscas medias a muy finas deformadas con base y techos netos.

Desde la base erosiva hasta el techo se observa una forma acampanada del GR con una secuencia granodecreciente, asociándose a una facies de canal y culminando con depósitos finos de una facies de bahía interdistributaria.

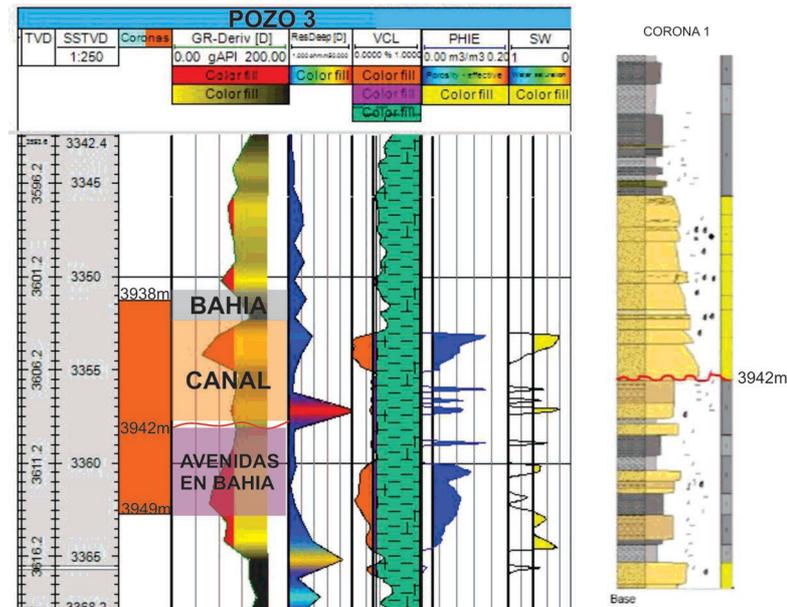


Figura 61: Pozo 3 con las facies interpretadas y el perfil litológico para la corona 4 (modificado de Rodríguez *et al.*, 2020).

Parámetros petrofísicos

El *V_{clay}* es menor al *cut off*, en las facies de canal y avenida, a su vez también en las mismas profundidades, la *PHIE* toma valores máximos de 11 % y la *SW* valores menores al 60%.

Interpretaciones generales y mapas

Como se mencionó en el inicio de este capítulo, en cada uno de los pozos analizados se distinguen en Lajas inferior 1 niveles mayormente arenosos. Diferenciándose en la mayoría de los pozos dos grandes niveles principales en Lajas inferior 1 y uno en Lajas inferior 0, mientras que Los Molles muestra un nivel arenoso al tope de dicha formación, pero presenta en términos generales en todos los pozos litologías dominantes finas.

Integrando los datos brindados por los informes de coronas y las interpretaciones de facies realizadas en aquellos pozos con testigos coronas (P1, P2 y P3), se pudo relacionar que la mayoría de estos niveles están asociados en parte a facies de canales y barras de desembocadura en planicie deltaica, para aquellos que se encuentran en Lajas inferior 1; y aquellos intervalos finos relacionados a facies de bahía interdistributaria. Esto se observa en las características que tienen en común las curvas de los registros de los pozos analizados.

Aquellos niveles que se encuentran en Lajas inferior 0, se asocian con canales y barras de desembocadura en un ambiente de mayor energía, en la zona de frente deltaico y en algunos de ellos con mayor o menor influencia marina.

En cuanto a los intervalos transgresivos - regresivos marcados en los perfiles de pozos, podemos agrupar en términos generales en Lajas inferior 1 un ciclo transgresivo y un gran ciclo regresivo de baja frecuencia. En Lajas inferior 0 y Lajas inferior 1 se pueden diferenciar ciclos transgresivos - regresivos de mayor frecuencia, siendo los regresivos los dominantes en Lajas inferior 1, pudiendo

diferenciar entre 3 o 4 de ellos, indicando que dominan los niveles arenosos por sobre los finos. En este mismo intervalo se distinguen entre 2 o 3 ciclos transgresivos en la mayoría de los pozos.

Desde el punto de vista hidrocarburífero, los intervalos transgresivos se traducen en aquellos que pueden actuar como sellos, los cuales impiden la comunicación entre las capas. Los intervalos con ciclos regresivos dominantes indicarían una mejor comunicación entre capas y por lo tanto una mejor migración de fluidos. Esto se observa principalmente en Lajas inferior 1.

Se realizaron mapas de espesores de arenas reservorio, utilizando los parámetros de *PHIE* con un *cut off* mayor al 5% y un *Vclay* menor a 0,3 de todos los pozos entre Los Molles y Lajas inferior 0 (figura 61), Lajas inferior 0 y Lajas inferior 1 (figura 62) y entre Los Molles y Lajas inferior (figura 63).

Mapa de espesor de arenas reservorio entre Los Molles y Lajas inferior 0

En la figura 62 (Los Molles - Lajas inferior 0) predominan los violetas y celestes, indicando un menor espesor de los niveles arenosos, sin embargo, en el centro sur se infiere un aumento en el espesor de las arenas (dado por los datos de pozos cercanos en los colores verdes y amarillos) que se van dispersando hacia el noreste y noroeste. Este intervalo correspondería a una parte más distal de la cuenca, más precisamente a un subambiente de frente deltaico, la interpretación de facies se puede ver en la figura 64.

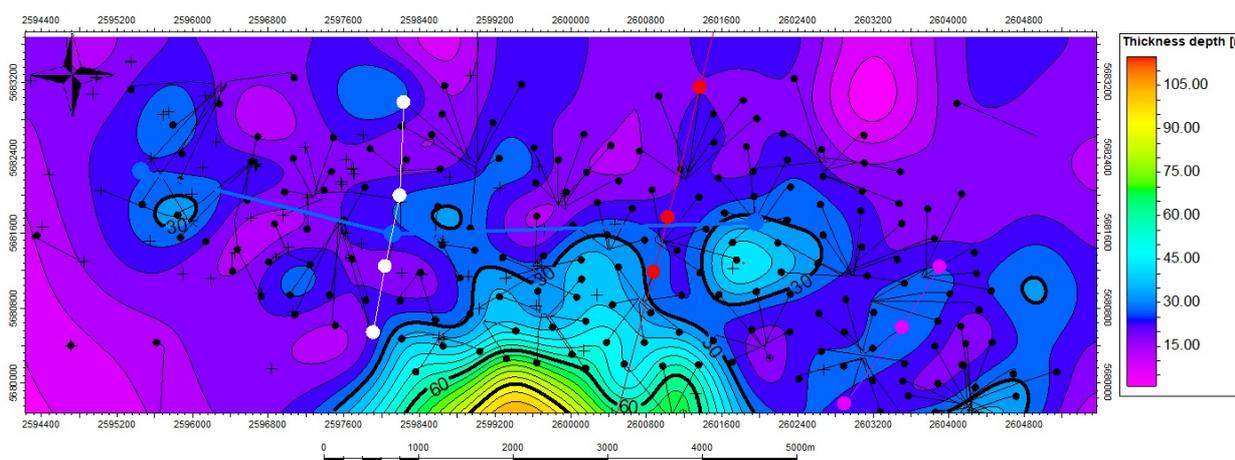


Figura 61: Mapa de espesor de arenas entre Los Molles y Lajas inferior 0. En líneas de color azul, blanco, rojo y rosa las transectas previamente analizadas.

Mapa de espesor de arenas reservorio entre Lajas inferior 0 y Lajas inferior 1

En la figura 61 (Lajas inferior 0 - Lajas inferior 1), se observan grandes espesores de arenas concentradas en el sur del mapa (dado por los datos de pozos ubicados en los colores amarillo naranja y verde), luego hacia el norte se observa que estas arenas comienzan a dispersarse teniendo menor espesor, reflejado en los verdes oscuros y celestes, excepto en el margen superior derecho, donde se observa una concentración de arenas que aumentan su espesor. Siguiendo con el mismo criterio de interpretación de un ambiente deltaico, este intervalo corresponde a un sistema de planicie deltaica donde todas las facies interpretadas anteriormente (canales y barras) se resumen en la figura 65.

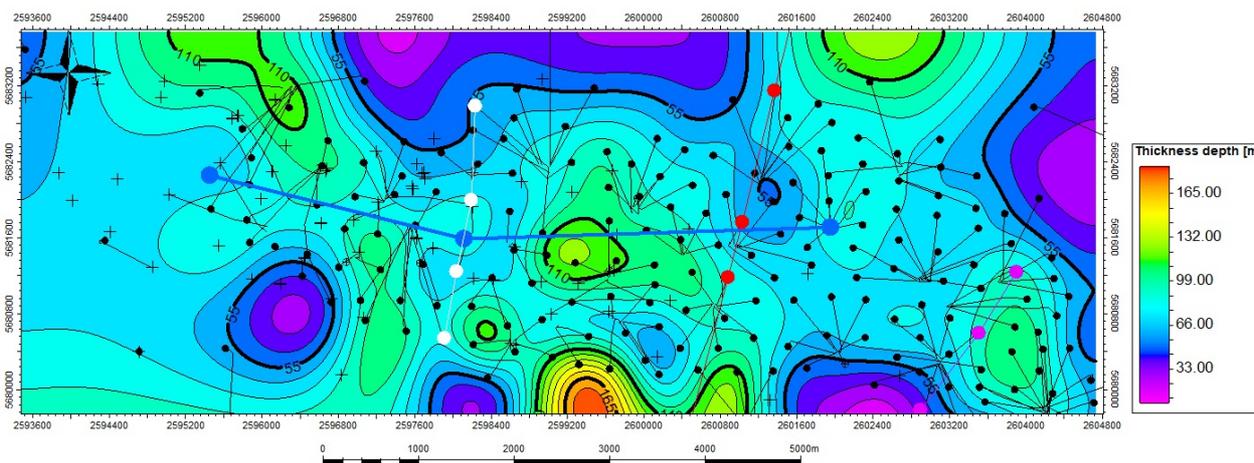


Figura 62: Mapa de espesor de arenas entre Lajas inferior 0 y Lajas inferior 1. En color azul, blanca, roja y rosa las transectas previamente analizadas.

Mapa de espesor de arenas reservorio entre Los Molles y Lajas inferior

La figura 63 (Lajas inferior hasta Los Molles), abarca un intervalo de mayor espesor en cuanto a que incluye Lajas inferior 1 y Lajas inferior 0, por lo tanto, mayores espesores de arena se observan en esta figura. Esto es dado a que en Lajas inferior 0 se encuentra presente un cuerpo arenoso, mientras que en Lajas inferior 1 son varios los cuerpos arenosos. Asimismo, al igual que las figuras anteriores, vemos que la concentración de arenas se acumula al sur y en el centro y van disminuyendo hacia el norte, noroeste y noreste.

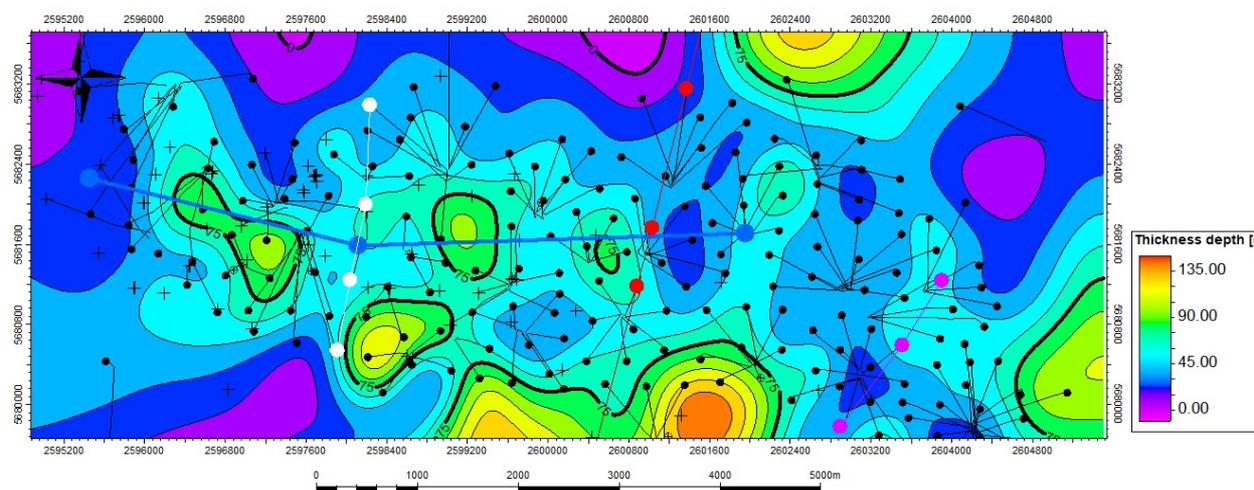


Figura 63: Mapa de espesor de arenas entre Los Molles y Lajas inferior.

En la figura 64 y 65, se realiza una interpretación paleoambiental del lugar utilizando los mapas de espesores generados anteriormente, donde se agrupan las facies de canales y barras (colores naranja y amarillo) y bahía interdistributaria (color marrón). En la figura 66 se las posiciona en un ambiente deltaico, en parte de planicie deltaica y frente deltaico, las cuales agrupan facies de canales y barras y bahía interdistributaria.

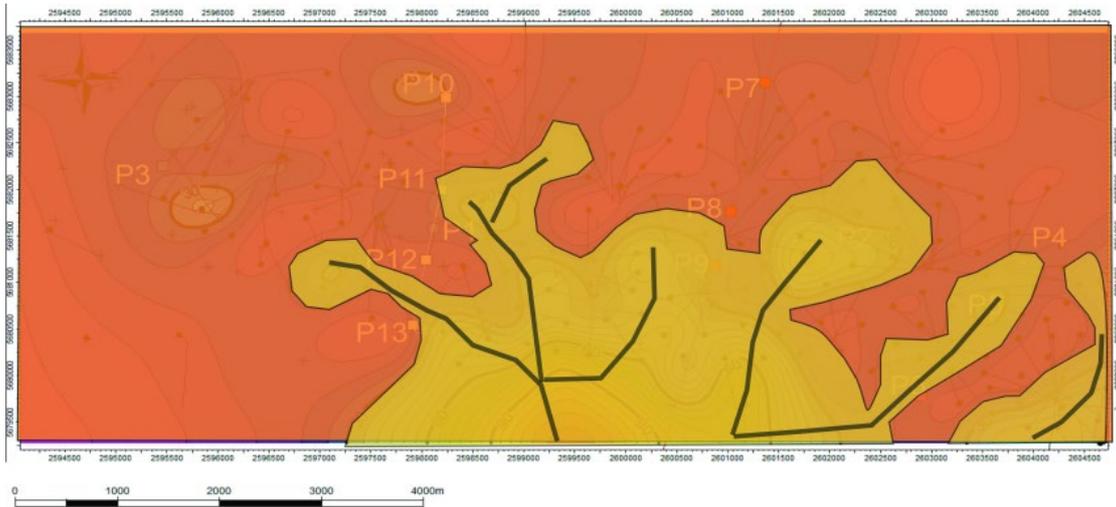


Figura 64: Mapa de espesor de arenas reservorio entre Los Molles - Lajas Inferior 0 con facies interpretadas; en amarillo se agrupan canales y barras en zona de frente deltaico (rojo).

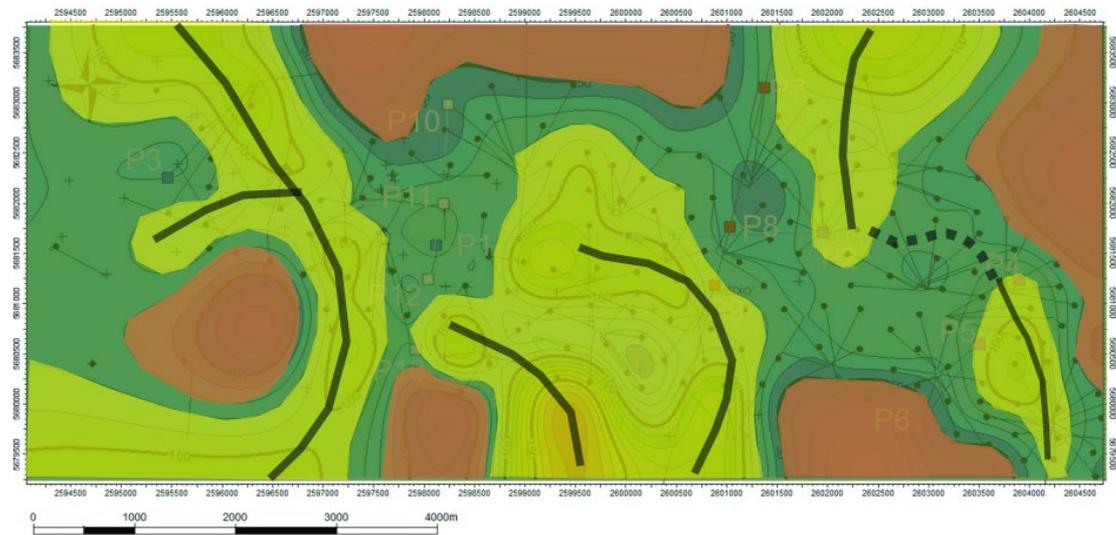


Figura 65: Mapa de espesor de arenas reservorio entre Lajas inferior 0 - Lajas inferior 1 con facies interpretadas. En color amarillo se agrupan canales y barras, en marrón bahía interdistributaria en zona de planicie deltaica (verde).

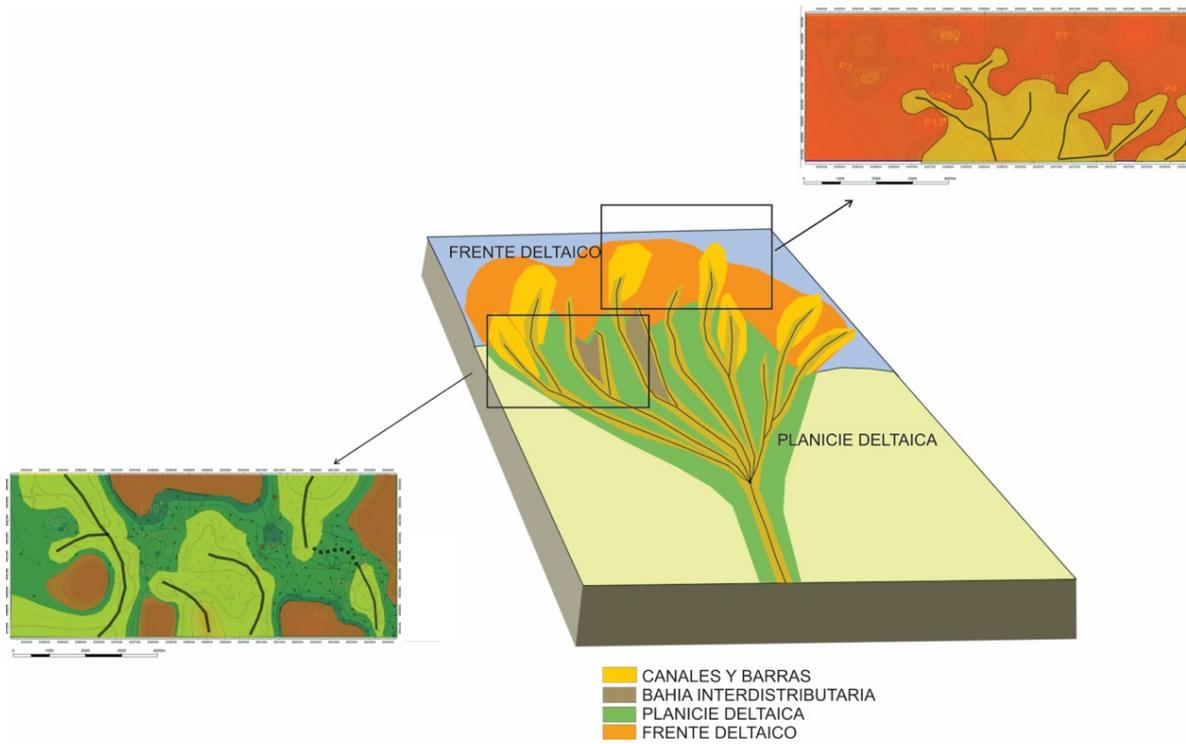


Figura 66: Interpretación paleoambiental y posición de los mapas de espesores interpretados.

6. SÍSMICA

6.1 Dato Sísmico

Como bien se mencionó en el inicio de este trabajo, se utilizó un cubo sísmico 3D PSTM en profundidad. La calidad del dato sísmico se vio afectada por la complejidad en la adquisición de los datos, dado por la dificultad en la instalación de receptores y fuente (camiones vibradores), ya que la zona tiene una importante actividad frutícola, con gran cantidad de chacras en cercanías al cauce del río Negro (figura 67B). Esto afectó al arreglo regular de fuente - receptores, lo que generó una relación señal - ruido en algunas zonas muy bajas afectando al *fold*, generando zonas de mayor y menor valores (figura 67A).

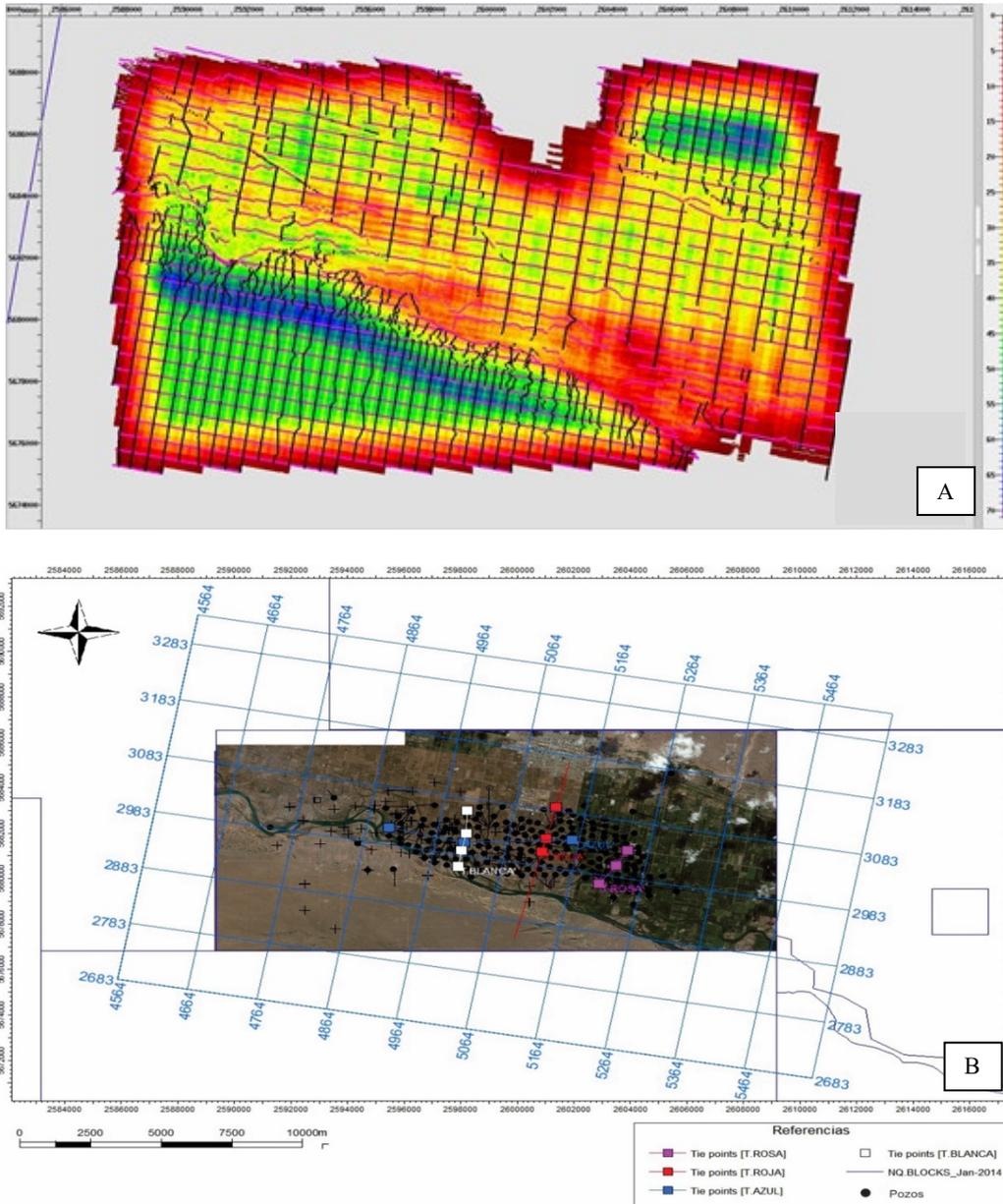


Figura 67: A. Mapa de *Fold* con arreglo de líneas de fuentes NNE-SSO (en negro) y líneas de receptores ONO-ESE (en rosa) extraído de informe inédito YPF, 2016. B. Vista en planta de la geometría de la sísmica 3D de la zona de estudio, cauce del río Negro y las transectas interpretadas en el capítulo anterior.

Antecedentes

Se utilizó para este trabajo la interpretación estructural del área de estudio realizada por el profesional Pablo Giampaoli para la compañía en el año 2018 (figura 68). En esta figura se observa que el bloque EFO (recuadro negro) se caracteriza por la presencia de una falla principal de orientación ONO-ESE al sur, que limita un bloque alto y una zona entre fallas delimitada al norte por una falla antitética a la principal de la misma orientación que la principal.

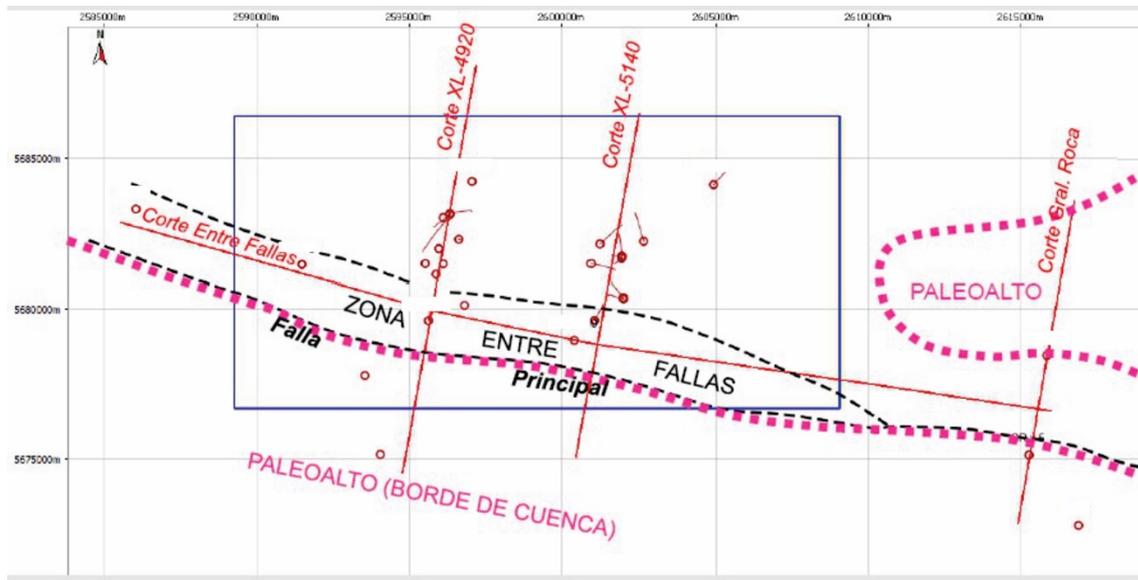


Figura 68: Bloque EFO (recuadro negro) con las principales zonas estructurales y fallas (modificada de Giampaoli, 2018.)

Metodología

En primera instancia, se marcaron los horizontes de los topos formacionales de Quintuco, Lajas y Los Molles, con los datos de profundidad que se brindaron de la información de los pozos. Estos horizontes se marcaron cada determinadas *inlines* y *crosslines*, obteniendo superficies de mejor y menor calidad, siendo mejor para la Formación Quintuco y peor para las Formaciones Lajas y Los Molles. Una vez generadas las superficies, se interpretaron algunas fallas en las secciones sísmicas, pero debido a la mala calidad del dato sísmico solamente se marcaron al tope de la Formación Quintuco y se utilizaron las fallas interpretadas por los profesionales de YPF para Lajas y Los Molles, para así poder finalmente confeccionar los mapas estructurales para cada formación.

Con las zonas descritas por Giampaoli, (2018) se realizó una interpretación final paleoambiental y estructural.

6.2 Interpretación de horizontes sísmicos

En una primera etapa, se cargaron los datos de profundidad de los topos formacionales de todos los pozos del área en el *software*. Con esta información, se eligieron los topos formacionales de Los Molles, Lajas y Quintuco y se procedió a interpretar los horizontes sísmicos, eligiendo estos tres porque presentan buena amplitud de señal y relativa buena continuidad lateral, siendo ésta última no tan clara en cercanías a zonas de fallas.

Se interpretaron los horizontes en el volumen sísmico con un incremento de picado de línea cada 25 en *inline* y *crossline*, cada 10 en zonas con mayor complejidad estructural y en el caso del tope de la Formación Quintuco, zonas que se marcaron con un incremento de cada 5. Se priorizó en una primera interpretación marcar los horizontes y continuarlos con datos seguros de pozos, como se observa en la figura 70A, en verde y en rojo los pozos con las distintas profundidades de los topes formacionales (Z) en la *crossline* 5120. En la figura 70B se muestra la ubicación de la sección en el bloque. En la figura 71A, la interpretación de los horizontes en la *inline* 3082, figura 71B la ubicación de la misma en el bloque.

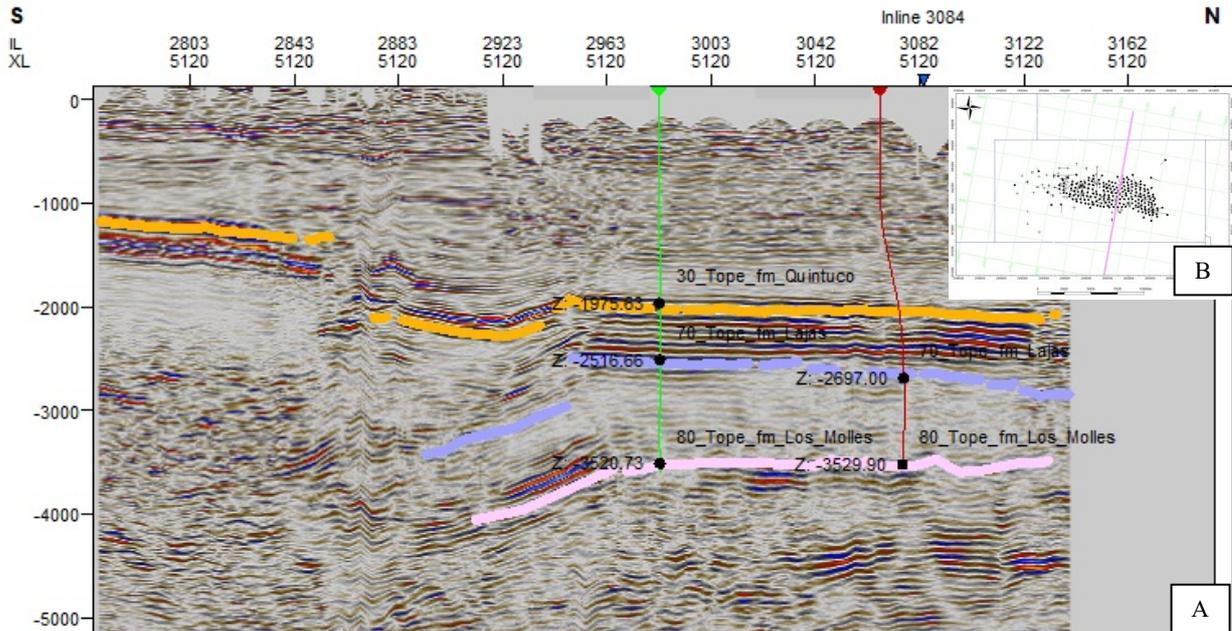


Figura 70: A. Horizontes interpretados en la *crossline* 5120. En naranja tope Formación Quintuco, en lila tope Formación Lajas, en rosa tope Formación Los Molles. B. Ubicación de *crossline* (rosa) en el bloque.

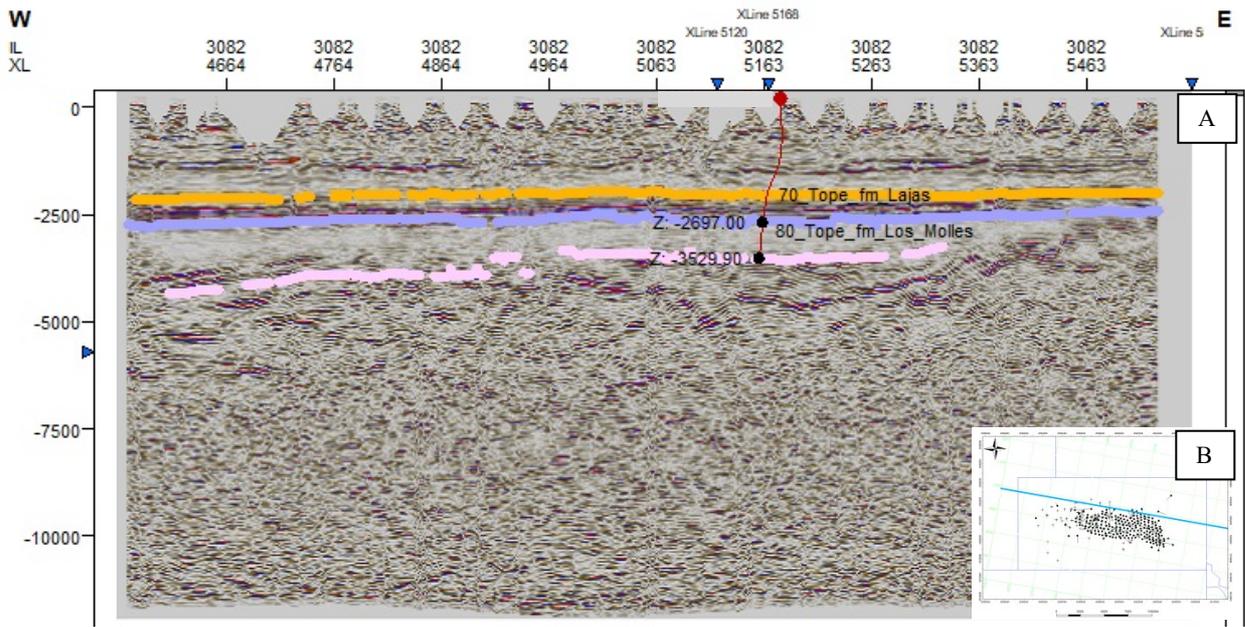


Figura 71: Horizontes interpretados en la *inline* 3082. En naranja tope Fm Quintuco, en lila tope Fm Lajas, en rosa tope Fm Los Molles. B. Ubicación de *inline* en el bloque en celeste

6.3 Superficies

Una vez generados los horizontes, se procedió a realizar una superficie para cada uno. Las superficies resultantes (mapas estructurales) se muestran en las figuras 75, 76 y 77, en colores las transectas de los pozos que se utilizaron en el capítulo anterior.

Mapa Estructural al tope de Fm Quintuco

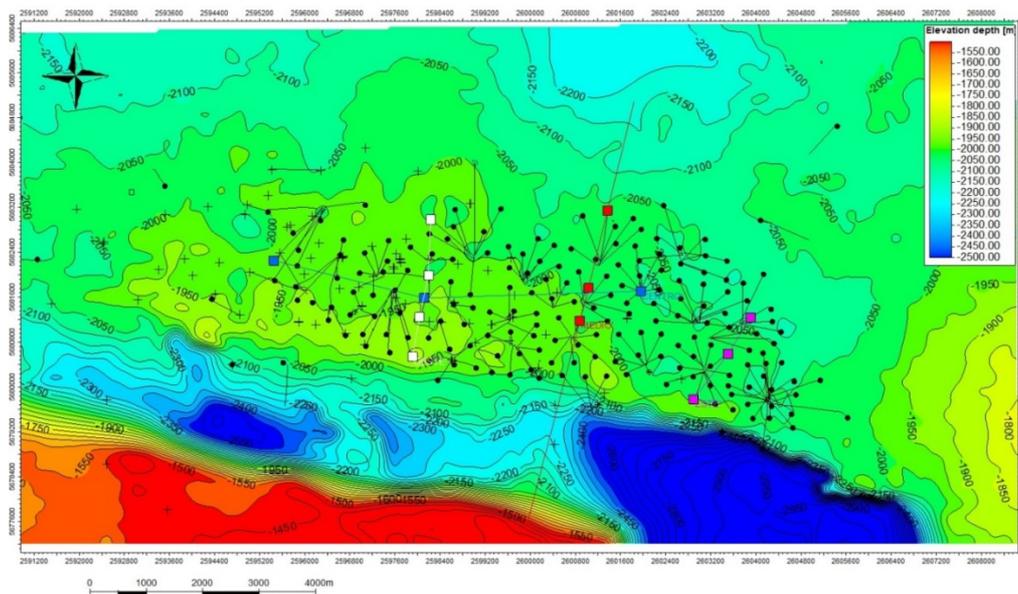


Figura 75: Mapa estructural al tope de la Formación Quintuco.

Mapa Estructural al tope de Fm Lajas

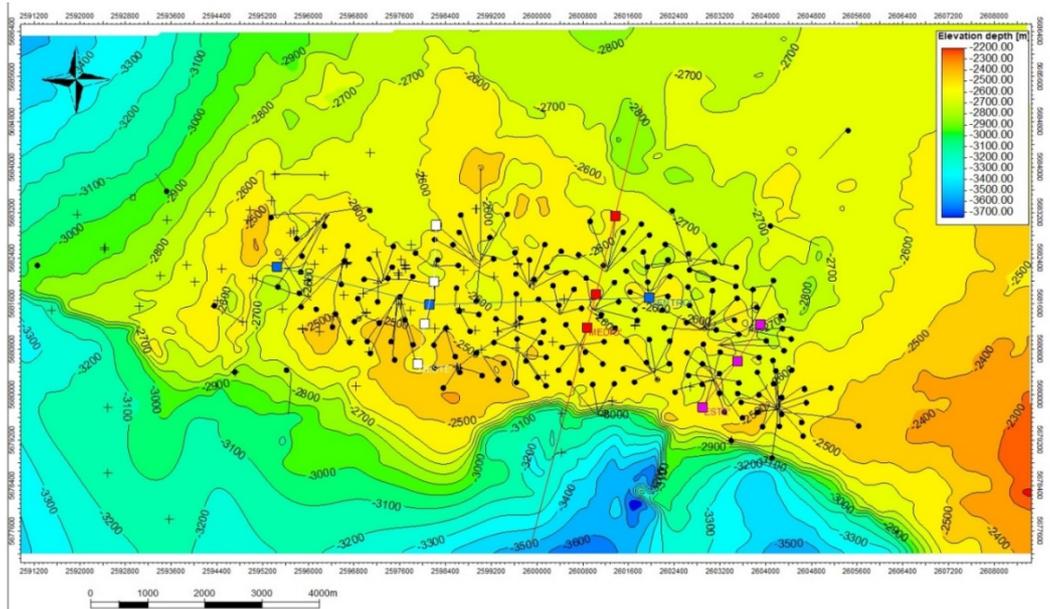


Figura 76: Mapa estructural al tope de la Formación Lajas.

Mapa Estructural al tope de Fm Los Molles

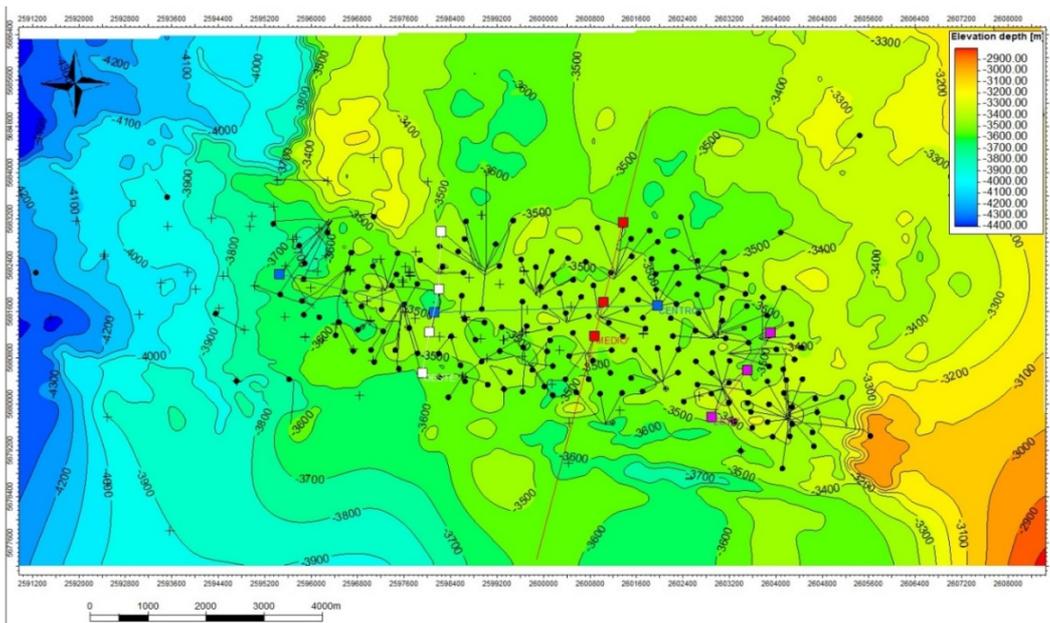


Figura 77: Mapa estructural al tope de la Formación Los Molles.

6.4 Interpretación de fallas

Conceptualmente, las discontinuidades sísmicas se pueden vincular con la presencia de fallas, fracturas o aspectos estratigráficos. Un horizonte sísmico, ante la presencia de una falla, se interrumpe y continúa en algunos casos desplazado hacia arriba o hacia abajo como se observa en la figura 78, lo que da indicio también del tipo de falla actuante en la zona. Otro rasgo de indicio de falla es que la amplitud disminuye a medida que se acerca al plano de falla y pasado éste, vuelve a aumentar.

Reconocer los tipos y cantidad de fallas permite inferir qué tipos de esfuerzos fueron los dominantes (extensivos, compresivos, transtensivos, etc). Pudiendo generar un modelo estructural que permita entender la dinámica del área en cuestión, sobre todo en zonas de interés hidrocarburífero, ya que las fallas también son importantes vías de migración o escapes de hidrocarburo y en algunos casos pueden actuar como sellos.

Estos conceptos explicados anteriormente fueron tenidos en cuenta a la hora de realizar la interpretación de las fallas, tal como se ejemplifica en la figura 78A, en la cual se interpretan los contactos de fallas (marcados en círculos rojo, verde y celeste) que afectan al tope de la Formación Quintuco, esto permitió generar los polígonos de las mismas (figura 78B).

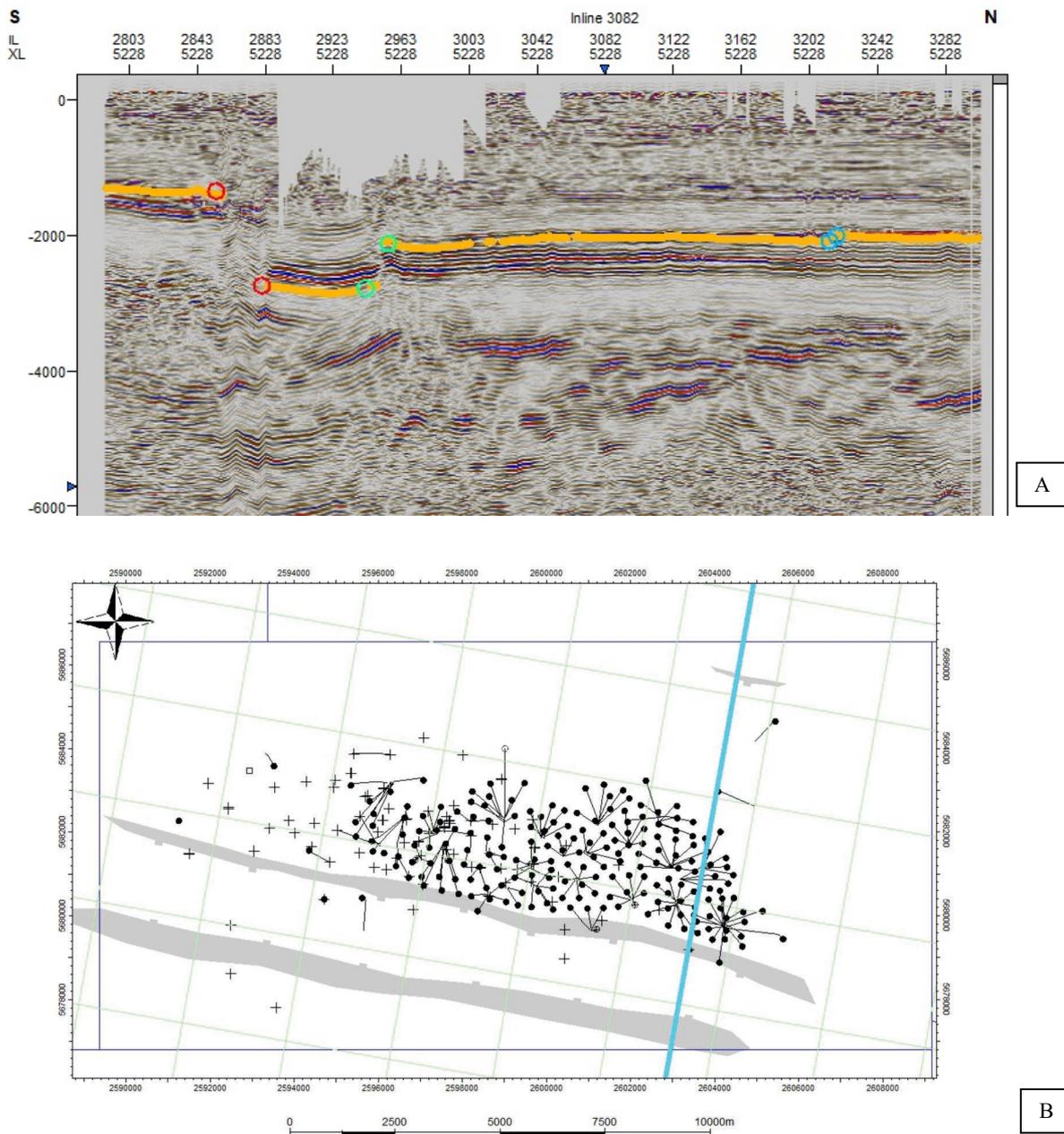


Figura 78: A. Sección sísmica (*crossline* 5228) con los contactos de fallas (círculos rojos, verdes y celestes) interpretadas al tope de la Fm Quintuco (naranja). B. Vista 2D de los polígonos de fallas resultantes al tope de la Fm Quintuco y en celeste la sección sísmica de la figura A.

Este procedimiento se realizó para el tope formacional de la Formación Quintuco, interpretándose cada 10 o 5 *crosslines*. Para los topos formacionales de Lajas y Los Molles se utilizó la interpretación de fallas brindadas por los profesionales de la compañía. Posteriormente, se intersectaron con los mapas estructurales ya generados para cada uno (figuras 79, 80 y 81). En todas estas figuras se pueden ver claramente bien diferenciadas la zona “entre fallas” limitada por la falla normal principal sur y una falla al norte antitética, ambas de orientación ONO-ESE, también pudieron interpretarse algunas fallas hacia el norte con una orientación similar.

Mapa Estructural al tope de Fm Quintuco

En la figura 79, se observan al sur valores de profundidad de 1500 metros representado por el color rojo para la Formación Quintuco, estructuralmente coincide con un bloque elevado que limita con la falla principal sur. En el centro de dicho mapa, aumentan estos valores pasando a 2500 y 2400 metros, representado por los colores celestes – azules, esto está asociado a la “zona entre fallas” previamente descrita. Tiene mayor deformación estructural, donde las curvas indican también dos bajos estructurales (uno hacia el este y otro hacia el oeste) y que limita con la falla antitética a la falla principal. Hacia el Noreste, estos valores pasan de 2000 a 1800 metros, colores verdes y amarillos, zona que corresponde a un bloque norte poco deformado, donde se observan algunas fallas interpretadas con la misma orientación que las del sur.

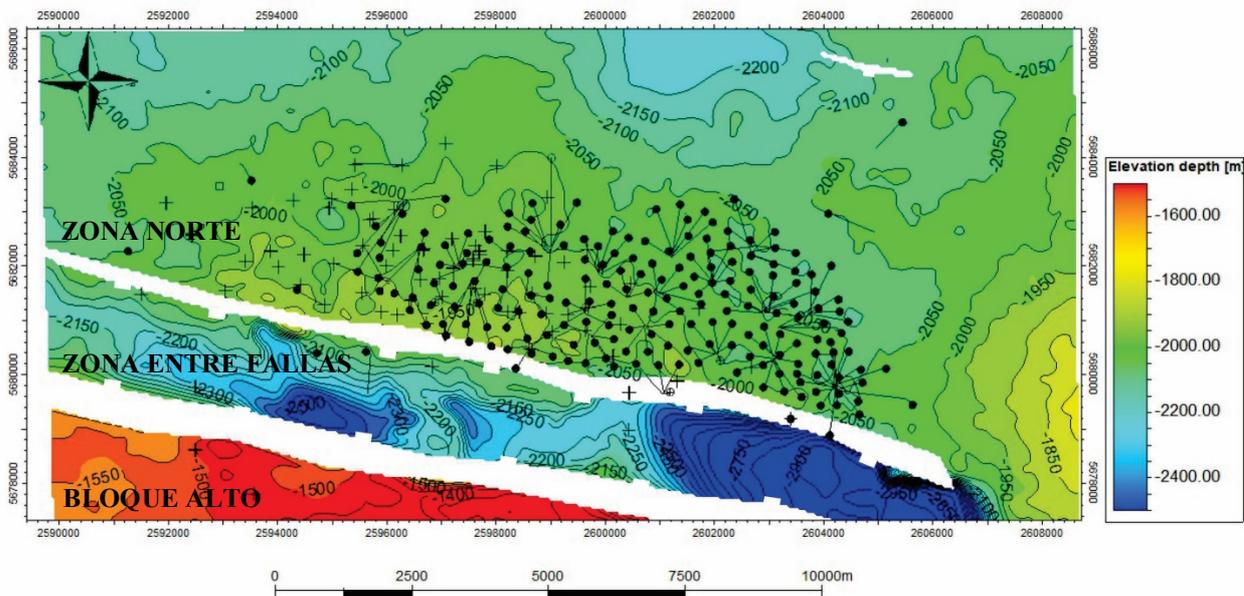


Figura 79: A. Mapa estructural al tope de la Formación Quintuco. Se identificaron 3 zonas bien diferenciadas; al sur de la falla principal un bloque alto, al norte de la misma la “zona entre fallas” limitada por una falla antitética y por último la zona norte.

Mapa Estructural al tope de Fm Lajas

En la figura 80, se observa que desde el oeste hacia el este hay un ascenso estructural desde los 3500 hasta los 2200 metros para el tope de esta formación. En el centro del mapa se encuentran los valores de entre 2500 y 2600 metros y en la “zona entre fallas” se genera un aumento del mismo, abarcando un intervalo de 2900 m a 3500 metros y mayores profundidades hacia el este, indicando un bajo estructural. Al sur de la falla principal la ausencia en la depositación de Lajas, esto también se observa en la figura 82 B.

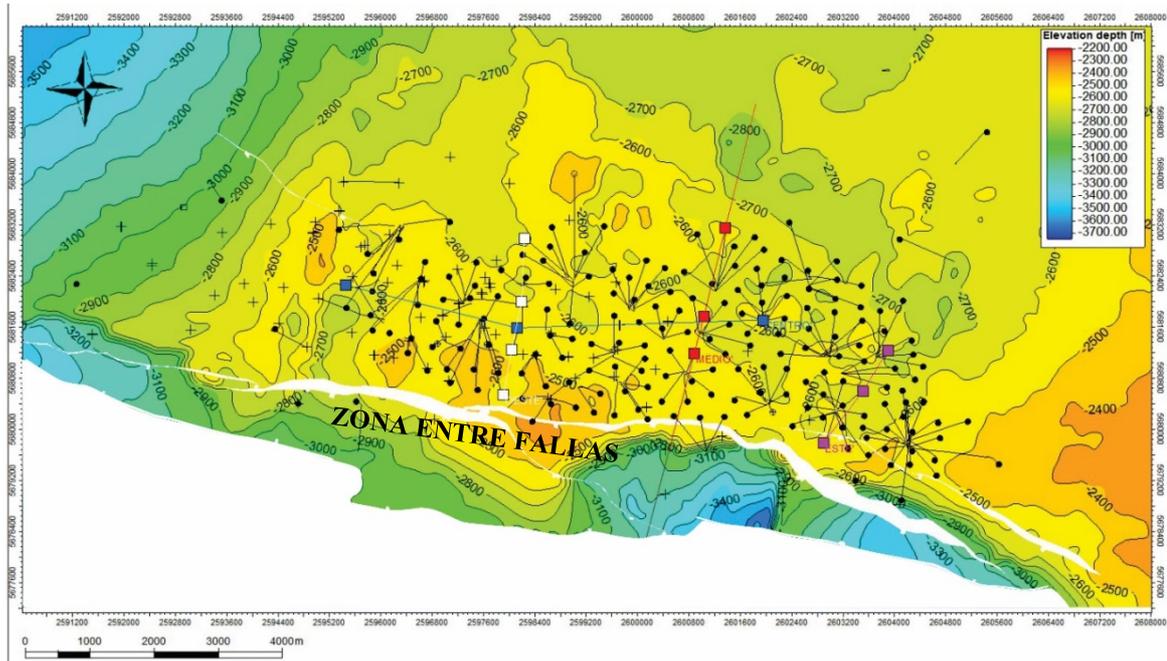


Figura 80: Mapa estructural al tope de Formación Lajas, en blanco fallas interpretadas.

Mapa Estructural al tope de Fm Los Molles

En la figura 81, se observa al igual que el mapa anterior un comportamiento similar, desde el oeste hacia el este con un desnivel de 1200 m. A diferencia de los topos formacionales anteriores, este es afectado por una mayor cantidad de fallas en el sector norte del área, las cuales tienen una orientación general NO-SE. Al sur de la falla principal, la ausencia de la depositación que al igual que Lajas, también se observa en la figura 82B.

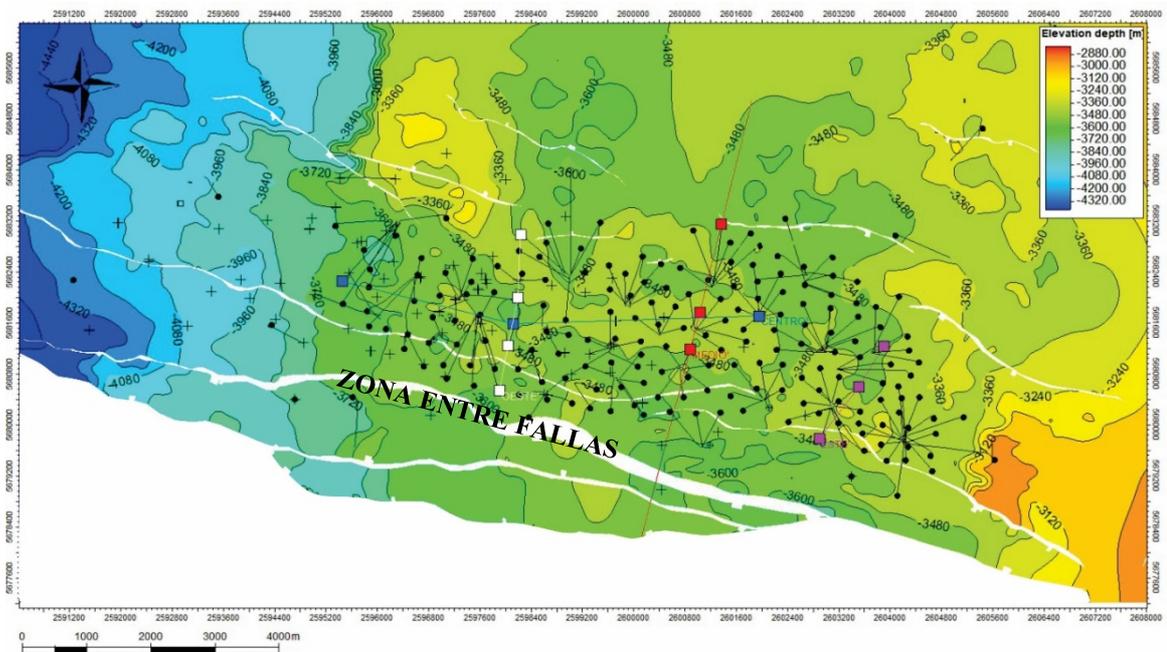


Figura 81: Mapa estructural al tope de Formación Los Molles, en blanco fallas inerpertadas.

En la figura 82 A., se marcan los espesores aproximados de las Formaciones Quintuco y Lajas (en color rosa y naranja respectivamente). Se observa un acuñamiento de las formaciones Lajas y Los Molles hacia el este, lo cual también se ve interpretado en las figuras anteriores. La base de Los Molles – tope de basamento es difícil de poder continuarla ya que la misma tiene una baja continuidad lateral del horizonte y una complejidad estructural en cuanto a las fallas que afectan el mismo. En la figura 82 b. se marcaron estos espesores y se observa que tanto Lajas como Los Molles no aparecen en el bloque alto del sur, verificado con dato de pozo y afirmando la ausencia de la depositación del Grupo Cuyo, no así con la Formación Quintuco la cual disminuye su espesor al sur, pero sí se encuentra presente depositada suprayacente al tope de basamento. La cubierta sedimentaria de la Formación Quintuco es continua y de relativo bajo espesor en comparación con el Grupo Cuyo.

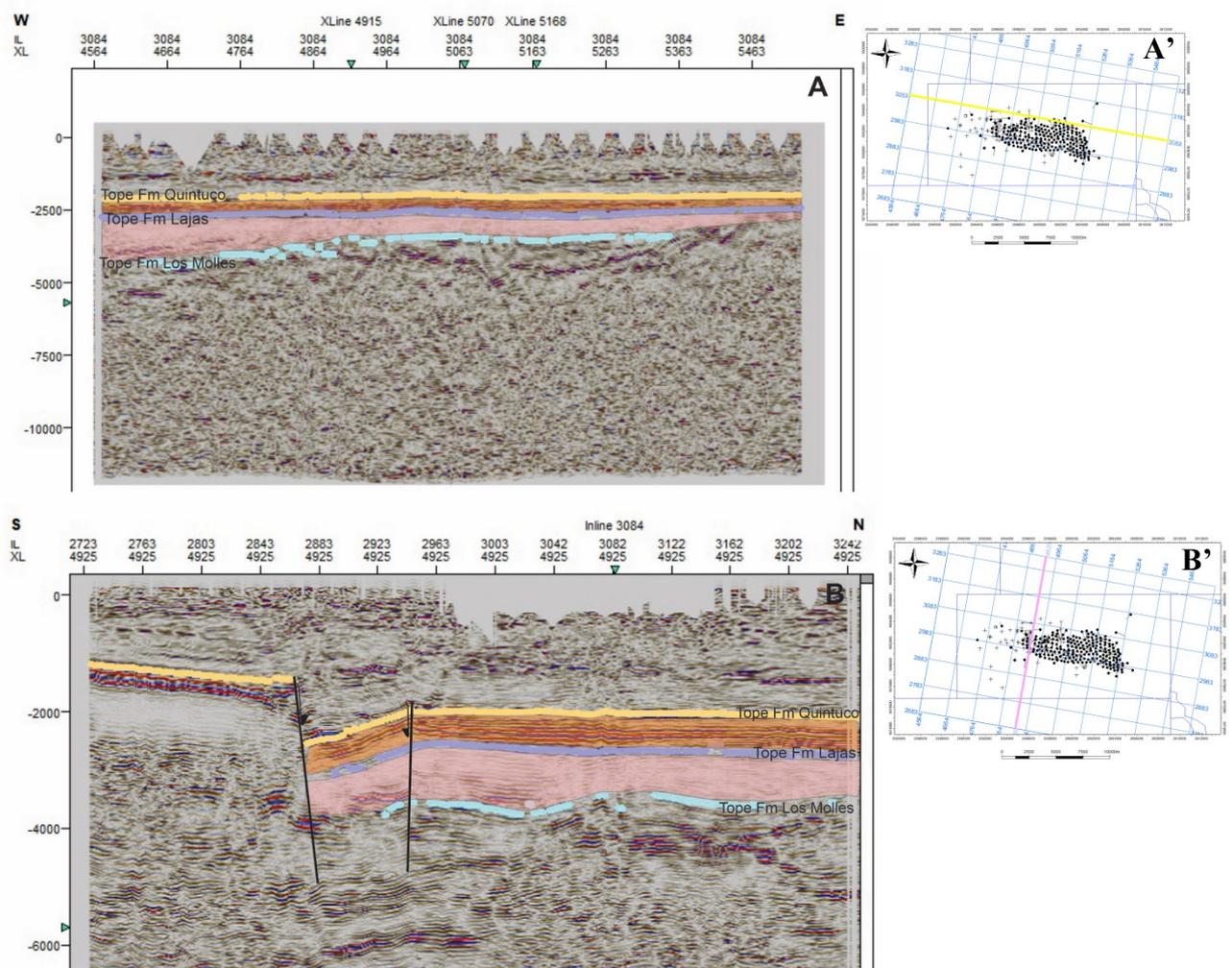


Figura 82: A. Interpretación de topes formacionales en inline 3084. A'. Ubicación de inline en el bloque B. Interpretación en crossline 4925 con las dos fallas que limitan la “zona entre fallas” marcadas en negro. B'. Ubicación de la crossline en el bloque

7. RELACIÓN PALEOAMBIENTAL Y ESTRUCTURAL

En la figura 83A se muestra el contexto estructural en el Jurásico Medio, donde se observa que la dirección de aporte sedimentario proviene desde el bloque existente al sur del área, en un ambiente deltaico interpretado en la figura 83 B y en el cual se favoreció la acumulación de los cuerpos arenosos al norte de la falla antitética a la falla principal observados en las figuras 64 y 65 y figuras 84 y 85, en un contexto extensivo, con la presencia de la falla principal sur y una serie de fallas con dirección opuesta al norte, las cuales se describieron en el capítulo anterior.

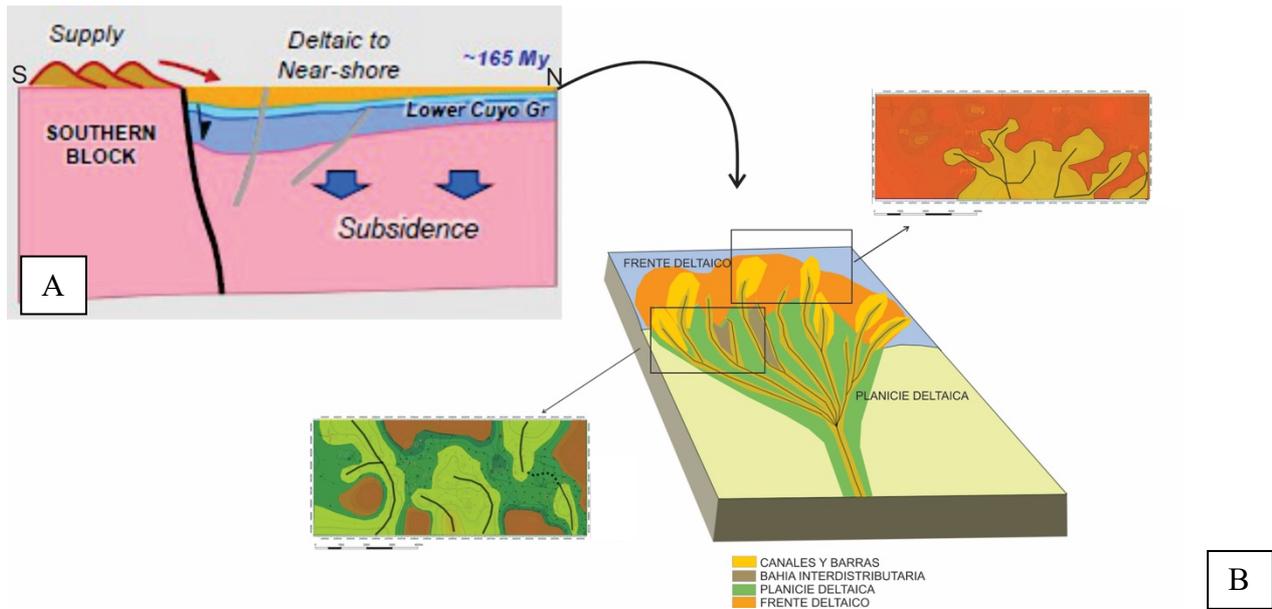


Figura 83: A) Ambiente estructural en la deposición del reservorio de la Formación Lajas Inferior (extraída de Giampaoli, 2018) y la interpretación paleoambiental en la figura B.

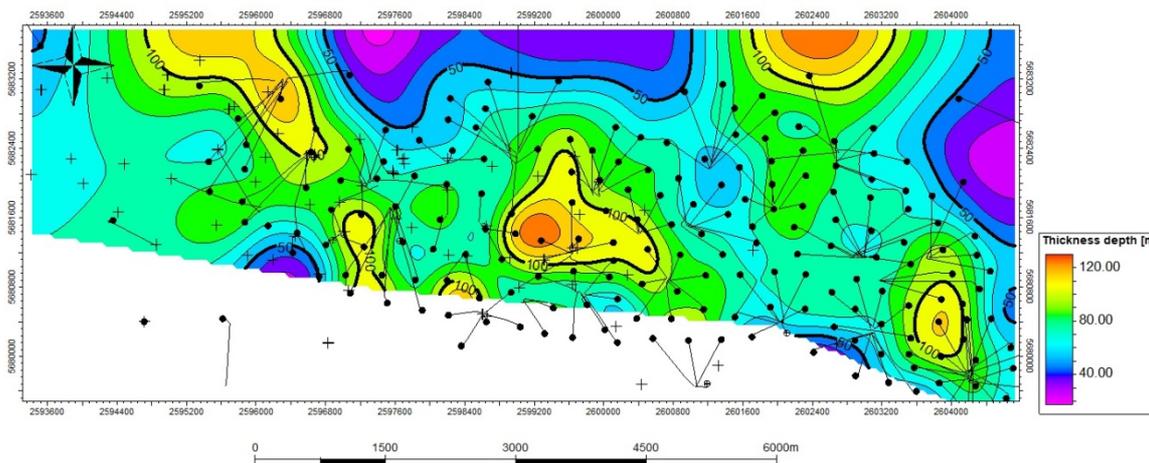


Figura 84: Mapa de espesor arenas reservorio entre Lajas inferior 0 y Lajas inferior 1, en blanco la zona entre fallas.

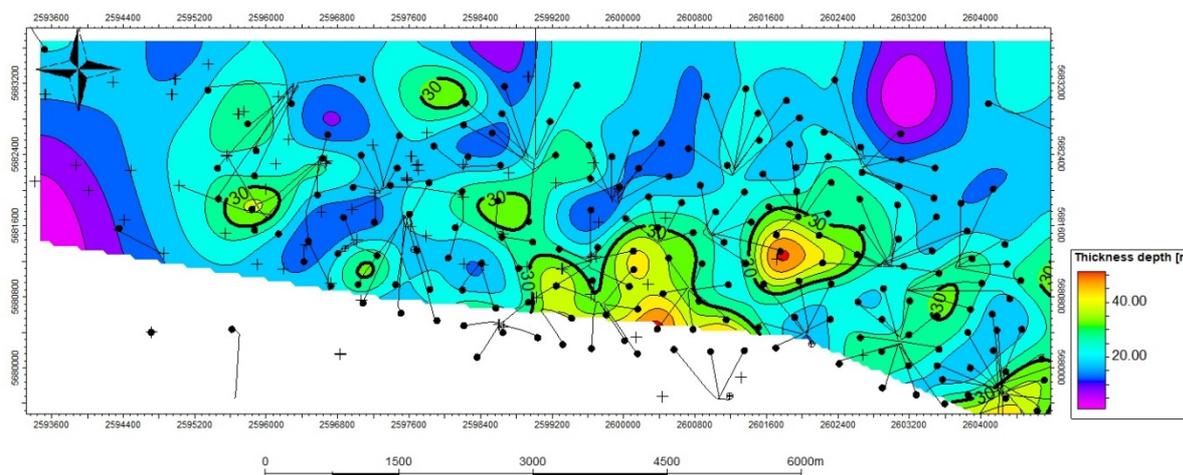


Figura 85: Mapa de espesor de arenas reservorios entre Lajas inferior 0 y Los Molles, en blanco la zona entre fallas.

8. CONCLUSIONES

- La Formación Lajas en el yacimiento Estación Fernández Oro se encuentra representada por una alternancia de areniscas, conglomerados y en menor medida pelitas, que representan un ambiente deltaico.
- La sección inferior de la Formación Lajas se subdivide en dos, Lajas inferior 1 y Lajas inferior 0 describiendo un ciclo transgresivo-regresivo, pero a través del presente análisis se comprueba que pueden reconocerse ciclos de mayor frecuencia.
- Con los resultados obtenidos en el análisis de los registros de pozos junto con los resultados de los informes geológicos y de coronas brindados, se interpreta a Lajas inferior 1 asociada a un subambiente de planicie deltaica, mientras que Lajas inferior 0 a uno de frente deltaico.
- En los mapas de espesores de arenas, se observa para Lajas inferior 1 un ambiente de menor energía, más somero, con mayor cantidad de acumulación de niveles arenosos más delgados y discontinuos. Y un ambiente más distal para el de Lajas inferior 0, de mayor energía, con menor cantidad de arenas pero con mayor potencia correspondiente a un frente deltaico.
- La descripción en los informes de corona junto con la caracterización e interpretación de los perfiles de pozos realizados en este trabajo, permitió diferenciar facies de canales, bahías interdistributarias, barras de desembocadura en cada uno de los pozos seleccionados para este estudio para la Formación Lajas.
- Se interpretaron los horizontes de los topes formacionales de Quintuco, Lajas y Los Molles. Siendo Lajas y Los Molles los más complejos de interpretar dada su baja continuidad lateral y su afectación por fallas y zonas de alta complejidad estructural.

- El espesor de la Formación Lajas se acuña hacia el este, al igual que sucede con la Formación Los Molles, característica que se observa en los mapas generados en este trabajo. Dicha variación se deba probablemente a la configuración de los depocentros en el área.
- El horizonte interpretado para el tope de la Formación Quintuco presenta buena continuidad lateral y disminuye su espesor hacia el sureste en el “bloque alto”.
- La interpretación de las secciones sísmicas permitió observar la ausencia de depositación de las formaciones Lajas y Los Molles en el sur del bloque, más precisamente en lo que se describió como “bloque alto”. También se observa un incremento de espesor para Lajas en la “zona de entre fallas”, lo que podría ser indicio de actividad durante la sedimentación.

8.1 Recomendaciones

- Los mapas de espesores y facies descritas corresponden a ciclos de baja frecuencia que representan una configuración general de los intervalos analizados. Para conseguir una más adecuada y predictiva distribución de las rocas que constituyen sellos y reservorios, debería realizarse una correlación entre pozos de ciclos de alta frecuencia aquí definidos solo en las transectas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Arregui, C., Carbone, O., y Leanza, H. A. 2011a. Contexto tectosedimentario. In *Congreso Geológico Argentino* (No. 18, pp. 29-36).
- Arregui, C., Carbone, O., y Martínez, R. 2011b. El Grupo Cuyo (Jurásico temprano-Medio) en la Cuenca Neuquina. In *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: Buenos Aires, Relatorio del 18 Congreso Geológico Argentino* (pp. 77-89).
- Brisson I. y R. Veiga, 1999: Guía de campo, Cuenca Neuquina. Informe inédito YPF.
- Canale, N., Ponce, J. J., Carmona, N. B., Drittanti, D. I., Olivera, D. E., Martínez, M. A., y Bournod, C. N. (2015). Sedimentología e Icnología de deltas fluvio-dominados afectados por descargas hiperpícnicas de la Formación Lajas (Jurásico Medio), Cuenca Neuquina, Argentina. *Andean geology*, 42(1), 114-138.
- Casadío, S., y Montagna, A. O. (2015). Estratigrafía de la cuenca Neuquina. *Geología de la cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros. Una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo. Fundación YPF and Universidad Nacional de Río Negro, Buenos Aires*, 8-21.
- Cazau, L.B. y M.A. Uliana. 1973. El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina. Vº Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 131-163
- Charrier R., Pinto L. y Rodríguez M.P. 2007. Tectono-stratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En: Gibbons, W. & Moreno, T. (Eds.): *Geology of Chile*, Chapter 3. The Geological Society, London, Special Publication, 21-116.
- Cristallini, E., Tomezzoli, R., Pando, G., Gazzera, C., Martínez, J. M., Quiroga, J., Buhler, M., Bechi, F., Barredo, S. y Zambrano, O., 2009. Controles precuyanos en la estructura de cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(2): 248-264.
- Cruz, C.E., F. Robles, C. Sylwan y H.J. Villar, 1999. Los sistemas petroleros jurásicos de la Dorsal de Huincul. Cuenca Neuquina, Argentina. IVº Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I:177-195. Mar del Plata.
- Cruz, C. E., Boll, A., Gómez Omil, R., Martínez, E. A., Arregui, C., Gulisano, C. y Villar, H. J. 2002. Hábitat de hidrocarburos y sistemas de carga Los Molles y Vaca Muerta en el sector central de la Cuenca Neuquina, Argentina. In *Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos* (No. 5).
- Dellape, D.A., Pando, G.A., Uliana, M.A. y Musacchio, E.A. 1978. Foraminíferos y ostrácodos del Jurásico en las inmediaciones del arroyo Picún Leufú y la ruta 40 (Provincia del Neuquén, Argentina) con algunas consideraciones sobre la estratigrafía de la Formación Lotena. 7º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 489-507. Buenos Aires
- De Ferraris, C. 1947. Edad del arco o Dorsal antigua del Neuquén oriental de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 2(3): 256-283.

- Digregorio, J.H., 1972. Neuquén. En Leanza, A.F. (ed.) Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. República Argentina: 439-506, Córdoba.
- EFO. 2016. Informe final de procesamiento PSTM. Inédito YPF.
- Esquivel Arenales, L. C. 2020. Interpretación de geoformas paleozoicas en una localidad de los Llanos Orientales en Colombia aplicando atributos sísmicos.
- 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 (2001) 257-270.
- García Mora, R. O., y Valera González, Y. 2016. Motor de Interpretación Gráfica para el cálculo de Volumen de Arcilla. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(4), 125-138.
- García, M. E.; Iglesias, S.; Montagna, A. O.; Otarola, N.; Potás, G.; Valenzuela, G. 2018. Los reservorios de arenas compactas del Grupo Cuyo Yacimiento Estación Fernández Oro. 10° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mendoza en Rocas Reservorios de las Cuencas Productivas.
- Garrido, A. 2010. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 12(2), 121-177.
- Giampaoli, P. (2018). Modelo Estructural EFO. Inédito YPF
- Gomez Omil, R. Giorgetti, M. y Borghi, P. 2017. El grupo Cuyo en la Cuenca neuquina (engolfamiento y dorsal de Huincul). Modelo sedimentario y sistema petrolero. XX Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán. Sesión técnica número 12: 59-64.
- Gulisano, C.A. 1981. 'El ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza'. VIII° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 579-592. Buenos Aires.
- Howell, J., Schwarz, E., Spalletti, L. y Veiga, G. 2005. The Neuquén Basin: an overview. En Veiga, G., L. Spalletti, J. Howell y E. Schwarz (eds.) *The Neuquén Basin, Argentina: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. Geological Society of London. Special Publications 252: 1-14.
- Khatchikian, A. (2010). Registros de pozo, principios y aplicaciones. Buenos Aires: El Autor.
- Keidel, J. 1925. Sobre la estructura tectónica de las capas petrolíferas en el oriente del Territorio del Neuquén. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minería y Geología, Publicación 8: 5-67. Buenos Aires
- Leanza, H.A. (2009). Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie* 11 (2): 145-184. Buenos Aires.
- Lebinson, F., Turienzo, M., Sánchez, N., Araujo, V. y Dimieri L. (2015). Geometría y cinemática de las estructuras en el extremo septentrional de la faja plegada y corrida del Agrio, provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*.

- Legarreta, L. y Uliana, M.A. (1991). Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes. En MacDonald, D.I. (ed.) *Sedimentation, Tectonics and Eustasy: Sea level Changes at Active Plate Margins*. International Association of Sedimentologists, Special Publication 12: 429-450, Oxford.
- Legarreta, L y Villar, H.J. (2012). Las facies generadoras de hidrocarburos en la Cuenca Neuquina. *Petrotécnica*. 14-39.
- Legarreta, L., Villar, HJ, Cruz, CE, Laffitte, GA y Varadé, R. (2008). Revisión integrada de los sistemas generadores, estilos de migración-entrapamiento y volumetría de hidrocarburos en los distritos productivos de la Cuenca Neuquina, Argentina. En *VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Simposio de Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas)* (pp. cp-266). Asociación Europea de Geocientíficos e Ingenieros.
- Limeres, M., Dajczgewand, D. y Orchueta, I. (2005). Estilo de entrapamiento en el yacimiento Loma Negra, Cuenca Neuquina, provincia de Río Negro. En Kozłowski, E., Vergani, G. y Boll, A. (eds.) *Las trampas de hidrocarburos en las cuencas productivas de Argentina*. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mar del Plata): 384-390.
- Llambías, E. J., Leanza, H. A., y Carbone, O. (2007). Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico temprano en la Cordillera del Viento (37°05'S-37°15'S): Nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62(2), 217-235.
- Llambías, E. J., y Sato, A. M. (2011). Ciclo Gondwánico: la provincia magmática Choiyoi en Neuquén. In *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino* (pp. 53-62).
- Madrid, M. (2022). Porosidad: clasificación, fuentes de medición e importancia. Recuperado de <https://portaldelpetroleo.com/porosidad-clasificacion-fuentes-de-medicion-e-importancia/>.
- Magoon L.B. y Dow, W.G. 1994. *The Petroleum System*, Chapter 1, Part 1. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60: 3-24.
- Malone, P.; Saavedra, C.; Vergani, G.; Ferrero, J.; Limeres, M.; Schiuma, M.; 2002. Los Reservorios del Grupo Cuyo Superior. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Méndez, V., J.C. Zanettini & E.O. Zappetini. 1987. Aspectos geológicos del Orógeno Andino Central de la República Argentina. X° Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 181-184.
- Micucci, E., Bande, A., Starck, D., & Veiga, R. (2018). El jurásico del Dorso de los Chihuidos, contribución a su conocimiento. In *10 Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Actas electrónicas, Mendoza* (pp. 437-460).
- Mosquera, A. y Ramos, V.A. 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Basin. En: Kay, S.M. & Ramos, V.A. (Eds.): *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S latitude)*. Geological Society of America, Special Paper 407: 97-124.

- Mosquera, A., Silvestro, J., Ramos, V. A., Alarcón, M., y Zubiri, M. (2011, May). La estructura de la Dorsal de Huinul. In *Congreso Geológico Argentino* (Vol. 8, pp. 385-397).
- Mousalli, V. 2010. Interpretación de Facies a través de perfiles. Universidad de Los Andes. Recuperado de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/mvictoria/materia/PERFILAJEDEPOZOS/TEMA%203.%20INTERPRETACION%20DE%20FACIES%20EN%20PERFILES.pdf>
- Pángaro F. Melli, A. T., Malone P., Cevallos M., Soraci A., Mosquera A. y Hyung Joo Kim, 2005. Modelos de Entrampamiento de la Dorsal de Huinul, Cuenca Neuquina, Argentina. Simposio Las Trampas de hidrocarburos en las cuencas productivas de la argentina. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 331-369. Mar de Plata.
- Pángaro, F., Martinez, R., Sattler, F., y Bettini, F. (2011). Chapter 36: El Flanco Oriental. In *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén* (pp. 407-418).
- Perrodon, A., & Masse, P. (1984). Subsidence, sedimentation and petroleum systems. *Journal of Petroleum Geology*, 7(1), 5-25.
- Ramos, V.A. 1978. Estructura. En: Rolleri, E.O. (Ed.): Geología y recursos naturales de la Provincia del Neuquén, 7º Congreso Geológico Argentino (Neuquén), Relatorio 9-24. Buenos Aires.
- Ramos, V. A., y Folguera, A. (2005). Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. *Geological Society, London, Special Publications*, 252(1), 15-35.
- Ramos, V.A., Folguera, A. y García Morabito, E. 2011. Las provincias geológicas del Neuquén. En Leanza, H. et al. (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, 17º Congreso Geológico Argentino, Relatorio 317-326, Neuquén.
- Rial, G. 2018. Análisis geológico integral. Informe inédito YPF.
- Roberts González, Juan A. 2018. Análisis sismoestratigráfico y estructural del bloque Estación Fernández Oro, cuenca neuquina, provincia de Río Negro. 2018. Tesis Final de Licenciatura.
- Rodriguez, E., Monti, M., Yankowsky, J., Ottone, E.G. Estudio Integrado de Corona. 2020. Informe inédito YPF.
- Rolleri, E.O., 1976. Sistema de San Bárbara. 6º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 240-255.
- Sánchez, N. P. (2015). Evolución tectónica de las estructuras andinas en la región del río Neuquén (~ 37°20'LS): faja corrida y plegada de Chos Malal, provincia de Neuquén. Tesis Doctoral UNS.
- Secretaría de Energía de la Nación. (s. f.). Producción de gas - Promedio diario por cuenca. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/planeamiento-energetico/panel-de-indicadores/produccion-gas-prom-diaria-cuenca>.

- Silvestro, J., y Zubiri, M. (2008). Convergencia oblicua: modelo estructural alternativo para la Dorsal Neuquina (39°S)-Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63(1), 49-64.
- Soave, L., y Clark, P. 2017. Estudio sedimentológico, petrográfico, diagenético, mineralógico y de microscopía electrónica de barrido. Informe inédito YPF.
- Scazzioti, F. (2012). Geología, estructura y análisis del potencial exploratorio en el bloque Lago Pellegrini, cuenca Neuquina, Río Negro. *Petrotecnia*.
- Schlumberger. Principios/Aplicaciones de la interpretación de registros. Educational Services.
- Spalletti, L. A., Arregui, C. D., Veiga, G. D., Leanza, H. A., Carbone, O., Danielli, J. C., & Vallés, J. M. (2011, May). La Formación Tordillo y equivalentes (Jurásico Tardío) en la Cuenca Neuquina. In *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, 18 Congreso Geológico Argentino, Argentina: Asociación Geológica Argentina* (pp. 99-111).
- Turic, M., Aramayo Flores, F., Gómez Omil, R., Pombo, R., Peroni, G., Sciutto J., Robles, D. y Cáceres, A. 1987. Geología de las cuencas petroleras de la Argentina. En Felder, B.A. (ed.) *Evaluación de las Formaciones en la Argentina I(1): 1-44*, Schlumberger, Buenos Aires
- Uliana, M.A. y K.T. Biddle, 1988. Mesozoic-Cenozoic paleogeographic and geodynamic evolution southern South America. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 46:599-614
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Weisink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. In *Petroleum Basins of South America* (Tankard, A.J., Suárez Soruco, R., Welsink, H.J., editors) *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, No. 62, p. 383-402
- Vergani, G., Arregui, C., Carbone, O., Leanza, H. A., Danieli, J. C., y Vallés, J. M. 2011. Sistemas petroleros y tipos de entrapamientos en la Cuenca Neuquina. In *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén: XVIII Congreso Geológico Argentino* (pp. 645-656).
- Voglino, S. 2017. Caracterización del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio como reservorio no convencional de tipo *shale*. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Comahue, Río Negro.
- Weaver, Ch. 1931 Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. University of Washington. *Memoir* 1: 1- 469. Seattle
- Yrigoyen, M.R. 1991. Hydrocarbon resources of Argentina. In *World Petroleum Congress*, No. 13. *Petrotecnia, Special Issue: 38-54*. Buenos Aires
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Ramos, V., Rodriguez, F., Bernardo, L.M. 2009. “Evolución Tectónica del Frente Andino en Neuquén”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (1): 192 - 203 (2009). Argentina

- Zavala, C. y Ponce, J (2011). La Formación Rayoso (Cretácico temprano) en la Cuenca Neuquina. En *XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén* (págs. 2-6).
- Zumel, J.; García, R. y Pando, G., Los reservorios del grupo Cuyo Inferior, en Schiuma M.; Hinterwimmer G. y Vergani G. (eds.), Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, 2002, pp. 255-275.

10. ANEXOS

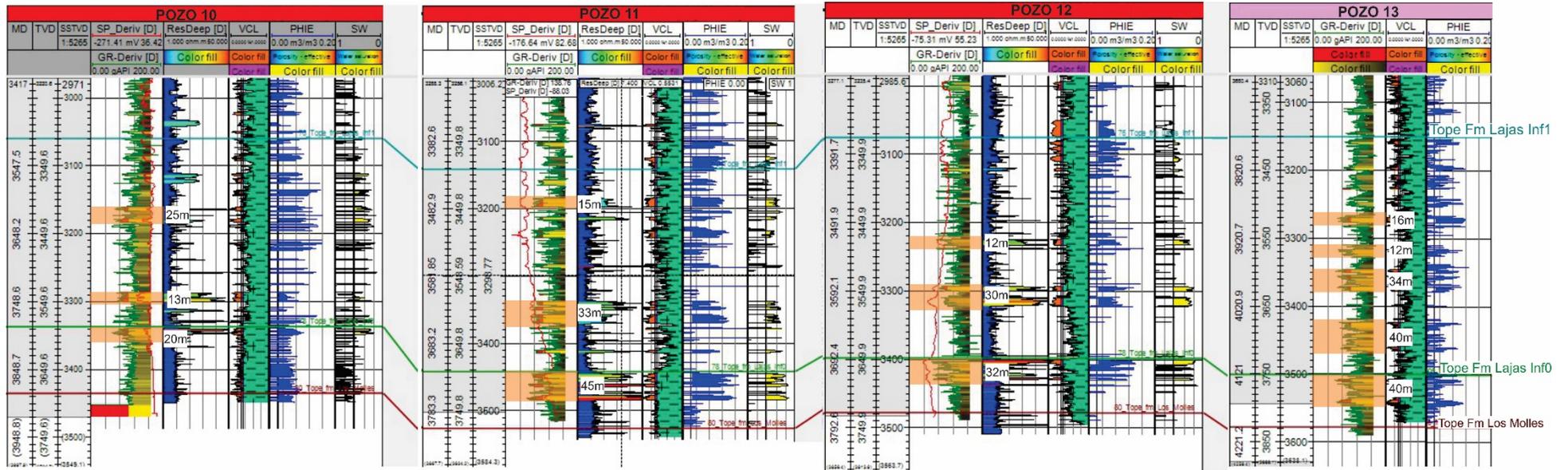


Figura 20: Corte estratigráfico con los pozos 10, 11, 12 y 13 (transecta blanca), en naranja niveles arenosos interpretados.

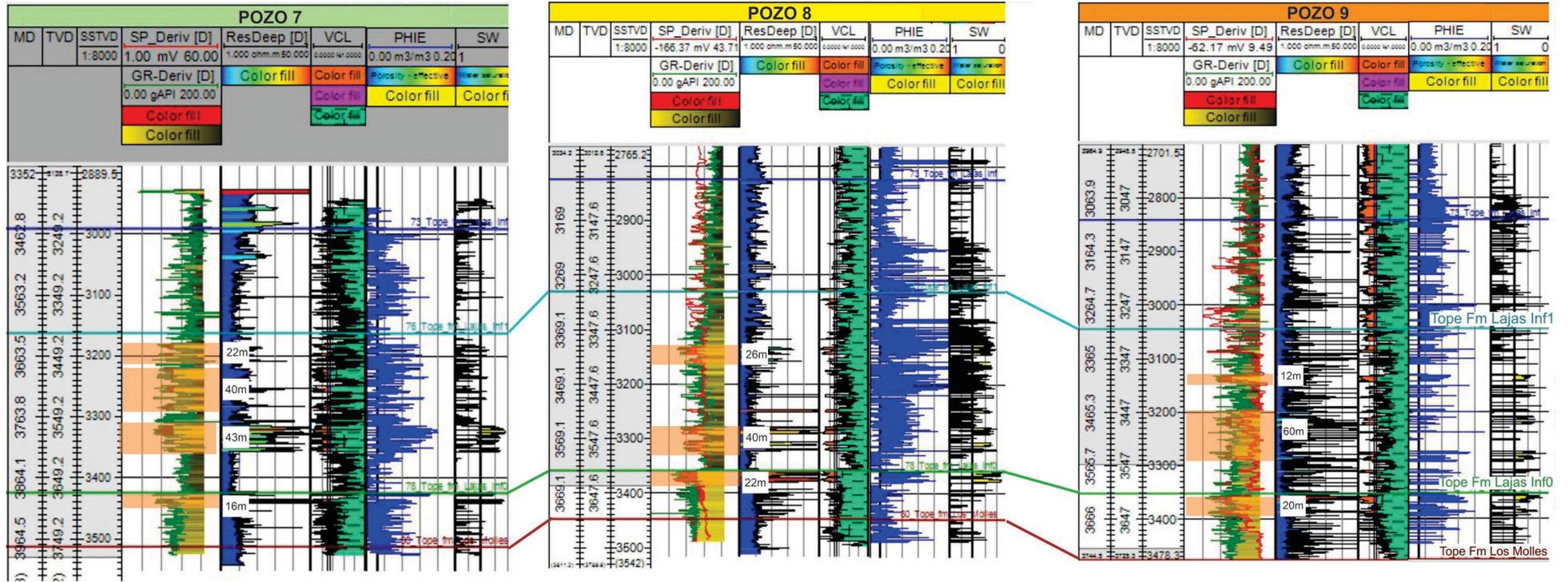


Figura 24: Corte estratigráfico con los pozos 7, 8, 9 (transecta roja), en naranja niveles arenosos interpretados.

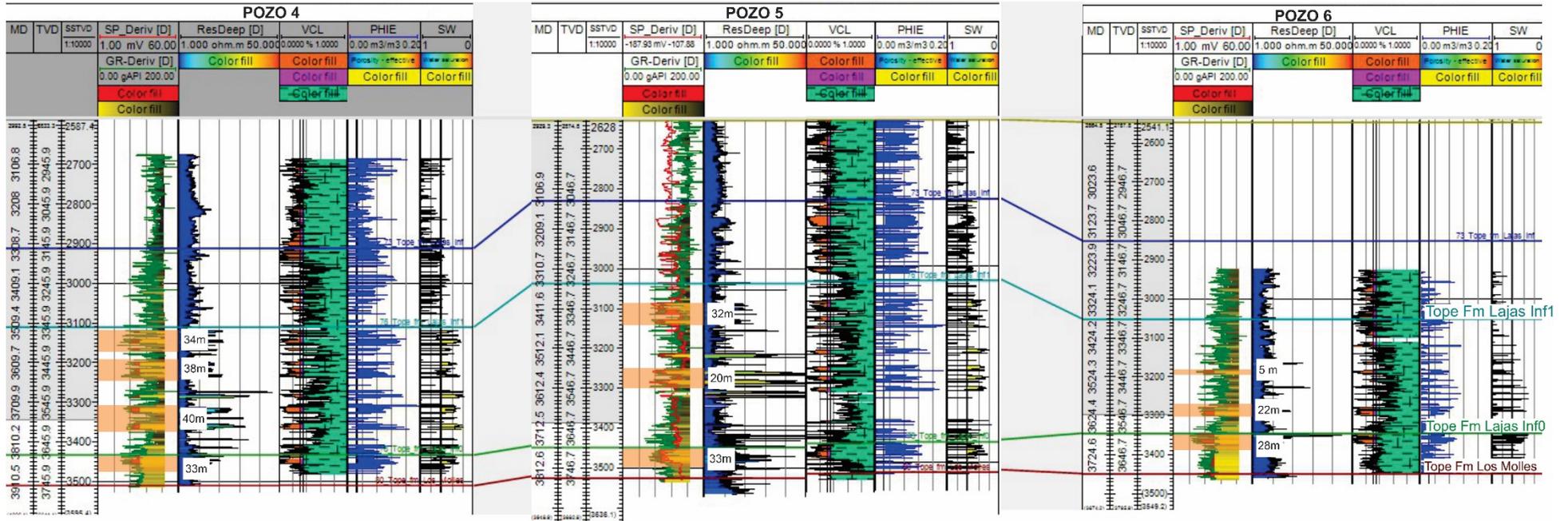


Figura 28: Corte estratigráfico con los pozos 4, 5 y 6 (transecta rosa), en naranja niveles arenosos interpretados.

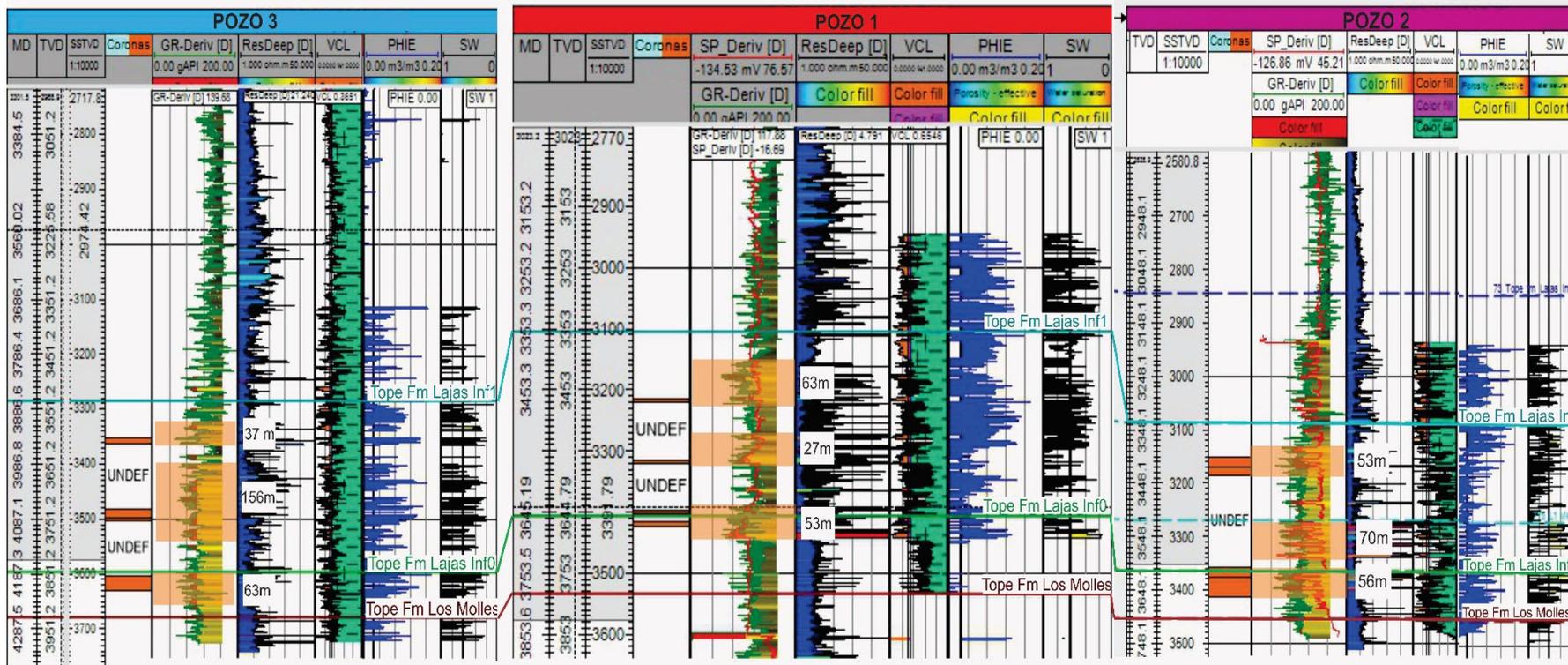


Figura 32: Corte estratigráfico con los pozos 1, 2 y 3 (transecta azul), en naranja niveles arenosos interpretados.