

ARQUITECTURA DE LAS FACIES VOLCÁNICAS EN EL BLOQUE BARRANCA DE LOS LOROS, CUENCA NEUQUINA. IMPLICANCIAS EN LA ESTRATEGIA DE DESARROLLO

Thamy Sales¹, Marcelo Barrionuevo²

1: Petróleos Sudamericanos. S.A. thamy.sales@petronec.com.ar

2: YPF S.A. marcelo.f.barrionuevo@ypf.com

Palabras clave: Volcánicas, Reservorios, Facies, Reservorios, Desarrollo

ABSTRACT

Barranca de Los Loros is a mature oilfield in the northeast region of the Neuquén Basin, with production coming from marine to mixed, fluvial-alluvial, and also volcanic reservoirs. The volcanic units are responsible to 32,3% of the accumulated production of this field, estimated at 1836224 m³ of oil (July 2021).

These volcanic units have been productive in two zones corresponding to structural highs and different fields named Barranca de los Loros and Barranca de los Loros Norte. The most productive well is the BLL x-3 with more than one volcanic level. The core information from this well and others were used in order to characterize facies, reservoirs-seals, and analyze seismic response. Rhyolitic pyroclastics rocks intercalated with thinner basic rocks are the rocks described, and the best reservoirs - that correspond to moderated welded ignimbrites - shows porosity between 8-18% and permeability 0,26-16 mD.

The 3D seismic in the volcanic sequence and electric logs allows to interpret a tabular depositional architecture with tectonic deformation near the faults, according to the complex extensional and compressional history of the area. The volcanic rocks described are generally fragile and have open fractures network related to both tectonic and igneous origin that build a double porosity and double permeability reservoir system.

This multi scale approach were applied to establish the potential of volcanic reservoirs, review previous completions and to identify new development zones to improve recovery factors and propose new prospective zones based on understanding of the behavior of tectonic fractures.

INTRODUCCIÓN

Las cuencas presentan centros de depósito donde las acumulaciones de material (predominantemente sedimentos +/- volcánicos) se depositan a lo largo del tiempo, en secuencias clave y paquetes que se pueden utilizar para informar sobre el tipo específico de cuenca y entorno geotectónico. El relleno sedimentario tiene su secuencia sedimentaria estudiada con detalle con el objetivo de determinar sus ambientes depositacionales y ayudar a comprender los procesos de

subsistencia (Allen y Allen 1995; Miall 1999) y/o determinar zonas de interés desde el punto de vista de las acumulaciones de hidrocarburos. En cuencas donde existe un significativo componente volcánico el análisis detallado de la secuencia estratigráfica del intervalo volcánico se realiza con menos frecuencia (Waichel *et al.* 2012). Además, el potencial como reservorio de los intervalos volcánicos está menos documentado en lo que respecta al almacenamiento de petróleo y gas en comparación con secuencias siliciclásticas o carbonáticas. En muchos de estos casos las rocas ígneas y metamórficas aparecen cuando se está perforando la parte final de los pozos, y en general esto se realiza solo para poder luego utilizar las herramientas de punzado y fractura de las unidades sedimentarias que están por encima de estas rocas, siendo mayormente rocas que se consideran desde punto de vista productivo como “basamento económico” (Landes *et al.* 1960; Barrionuevo 2015).

Desde comienzos del siglo XX, algunos autores explicaron la presencia de petróleo en rocas ígneas y metamórficas, debido fundamentalmente a la presencia de fracturas y la combinación con alteración meteórica en relieves expuestos, alteración por aguas subterráneas, o considerando las propias cavidades de las rocas ígneas (Udden 1915; Osborne 1923; Powers 1932; Brown y Kew 1932; Powers y Clapp 1932) generando los llamados, en aquella época, reservorios “misceláneos” (Levorsen 1954) o “no convencionales” (Barrionuevo 2015). En las últimas décadas con el descubrimiento del potencial de estos reservorios se avanzó aún más en el desarrollo de facies y la arquitectura de facies aproxima a las secuencias volcánicas en escala de flujos individuales (Single y Jerram 2004) o intervalos volcánicos, que permiten analizar arquitecturas volcánicas a escala sísmica (Planke *et al.* 2000; Jerram *et al.* 2009).

En la cuenca Neuquina, en el borde noreste se destacan algunas de las principales acumulaciones de hidrocarburos que involucran este tipo de rocas en Argentina siendo uno de ellos los intervalos volcánicos del yacimiento Barranca de los Loros. En el área Barranca de los Loros cerca del 32,3 % de la producción acumulada proviene de los intervalos volcánicos. Estas unidades han sido productivas en dos zonas que corresponden a altos estructurales y acumulaciones diferentes denominadas Barranca de los Loros (BLL) y Barranca de los Loros Norte (BLLN) (Figura 1).

Este trabajo tiene por objetivo identificar los distintos intervalos volcánicos en la porción superior de los altos BLL y BLLN y determinar la estratigrafía y arquitectura de facies volcánicas, haciendo uso de análisis de la información sísmica 3D, de perfiles y de coronas (macro y microscópica) de modo de identificar intervalos potenciales no contactados y/o zonas a desarrollar en estas unidades volcánicas revisando con otro enfoque características estructurales, estratigráficas y petrofísicas por medio de un análisis fractal multiescalar para la ubicación espacial de las mejores facies.

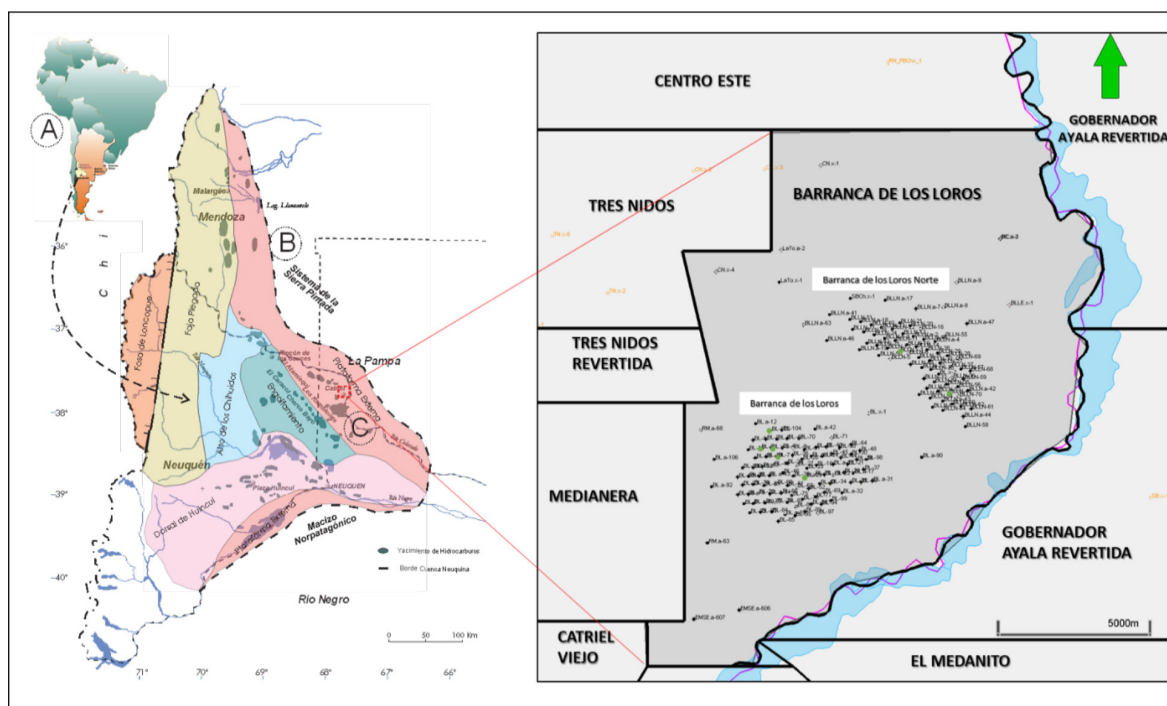


Figura 1. Mapa de ubicación del Área Barranca de los Loros.

CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO

Las unidades estratigráficas que integran la columna sedimentaria de este yacimiento (Fig. 2) corresponden a vulcanitas del Grupo Choiyoi Sección Superior - Ciclo Precuyano, por sobre estas se depositan localmente algunas limoarcilitas equivalentes al Grupo Cuyo. La columna se desarrolla con los depósitos de areniscas eólicas de la Fm. Sierras Blancas o conglomerados y areniscas conglomerádicas de la unidad Petrolífera, colmatadas ambas con las arenas “sello” de la Formación Catriel, todas unidades equivalentes regionales de la Fm. Tordillo. A fines del Jurásico y comienzos del Cretácico la región se comporta como una plataforma con deposición de dolomías y calizas correspondientes a la Fm. Quintuco sin presencia de la Fm. Vaca Muerta. Esto es importante dado que no existe roca generadora en el yacimiento y todas las trampas en las unidades mencionadas salvo para las Fm. Catriel y Planicie Morada, se han llenado por migración lateral larga desde centro de cuenca. La Fm. Centenario y el Grupo Neuquén son las unidades más superficiales hasta el momento sin probar acumulaciones de hidrocarburos por no contar con sellos eficientes (Barrionuevo 2018).

Los depósitos volcánicos evaluados en Barranca de los Loros fueron descriptos originalmente en los pozos de la región como Serie Porfírica Supratríasica por la observación en *cutting* de cristales de cuarzo y feldespato potásico en una pasta afanítica. Según consta en informes internos de YPF se realizó una datación radimétrica en la corona del pozo BLLN.x-1 documentando una

edad de $250,53 \pm 0,54$ Ma (Triasico inferior alto) (Bermúdez 2005 – Informe Interno) (Figura 3). En razón de las otras edades realizadas en la región a partir de cristales únicos de circones (Barrionuevo *et al.* 2013) se ubica al intervalo volcánico analizado en este trabajo en el límite entre el Grupo Choiyoi Sección Superior – Precuyo (ChyS-PreCy).

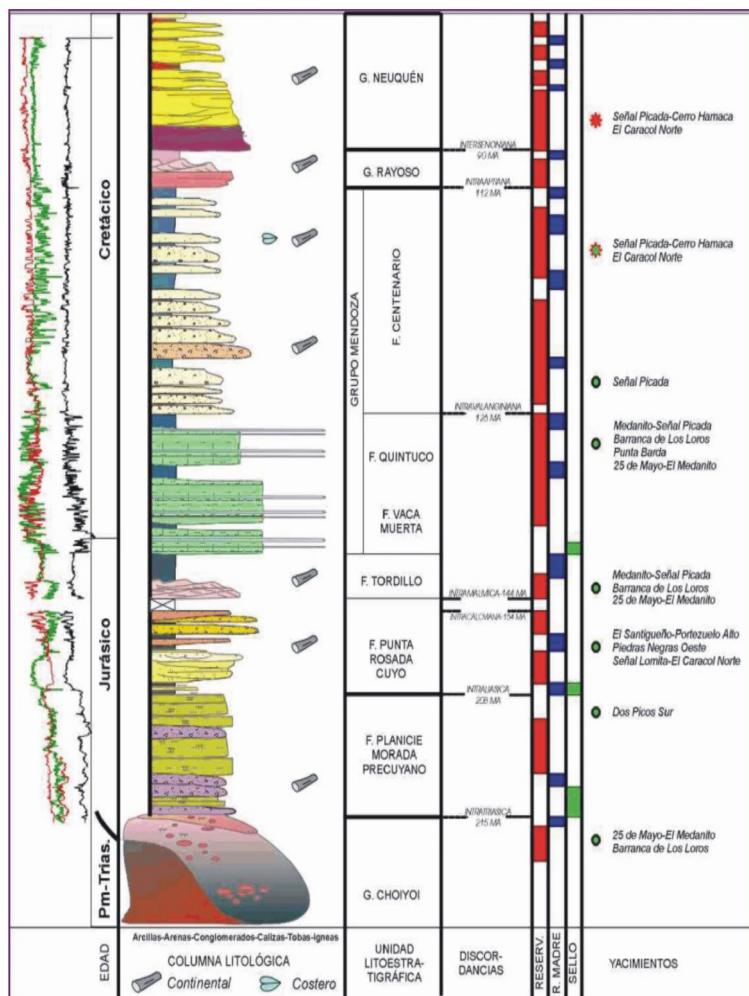


Figura 2. Columna estratigráfica del área. Adaptado del original de Brisson y Veiga (1999).

CONTEXTO ESTRUCTURAL

En un régimen de extensión limitado y en condiciones de deformación frágil se desarrollan sistemas de fallas normales, conformando grabens o fosas tectónicas, que pueden alternarse con

zonas elevadas, o pilares tectónicos. Un hemigraben, a diferencia de un graben, es una depresión de geometría asimétrica asociada a una única falla, o sistema de fallas y corresponde a una deformación de la corteza terrestre generada por un proceso de extensión litosférica (*rifting*) que origina espacios de acomodación o pequeñas cuencas generalmente alineadas o paralelas (Morley, 2002). En este trabajo se interpreta que la extensión de la Cuenca Neuquina se dio en dos rumbos predominantes a NNE-SSO y NE-SO (Giambiagi, 2008; Vergani *et al.* 1995).

En algunas regiones de la cuenca es posible que estos hemigrabens de margen activo (Figura 4) sufran inversión tectónica, que cuando está presente y en función de la relación de angularidad entre la dirección de máxima compresión y la orientación (e inclinación) de la falla activa, puede generar diferentes grados de reactivación, tanto en la pendiente como en el rumbo. En estos lugares, dependiendo de la fragilidad de las rocas involucradas, se producen muchas veces “cataclasis”, teniendo luego implicancia en las propiedades petrofísicas de las mismas. Esta situación puede mejorar las características como roca reservorio, y generar un reservorio con fracturas naturales con doble porosidad donde la “pseudo-matriz” es la roca “triturada”. También se reconoce en la región del borde noreste (Plataforma de Catriel) la buena calidad como roca reservorio de las ignimbritas de composición riolítica con moderada “soldadura”, que tiene también porosidad asociada a microlitos, trizas, cristaloclastos y fenocristales de feldespato potásico con origen en procesos deutéricos (Barrionuevo, 2015).

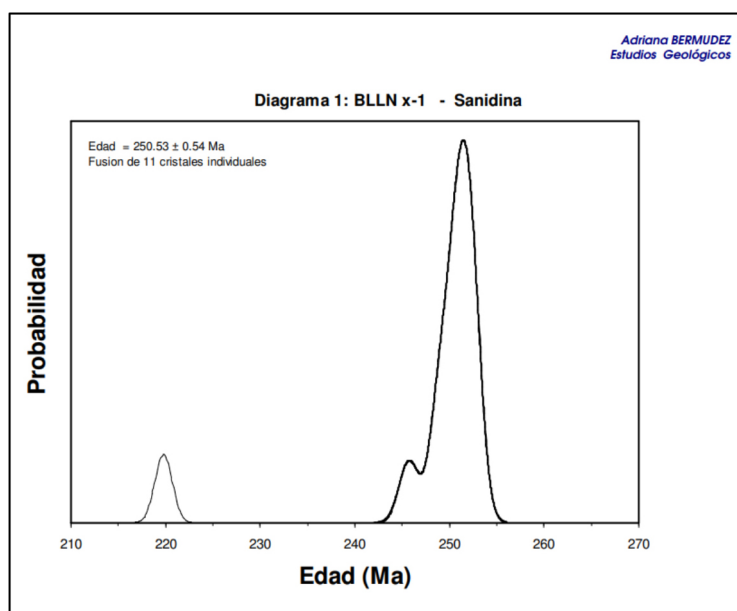


Figura 3. Diagrama del pozo BLLN.x-1 con la edad de la muestra del intervalo volcánico (Bermúdez, 2005).

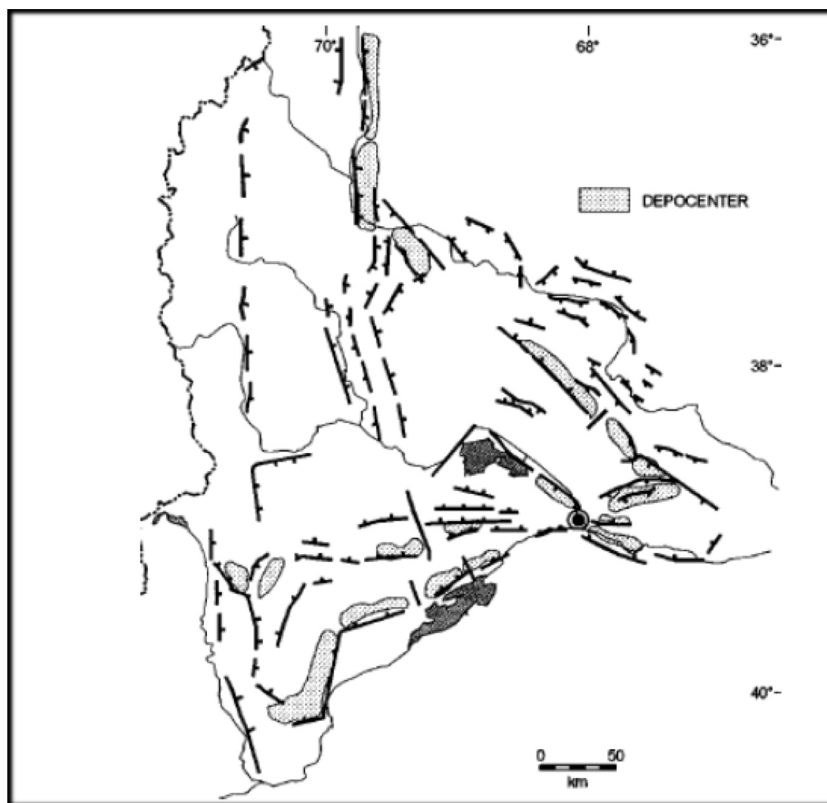


Figura 4. Mapa de ubicación de depocentros en la Cuenca Neuquina y relación con lineamientos estructurales (tomado de Vergani *et al.* 1995).

ANTECEDENTES DEL ÁREA

En el Bloque Barranca de los Loros se desarrollan dos campos productivos, “Barranca de los Loros” y “Barranca de los Loros Norte” en los que no todos los pozos alcanzaron en profundidad los niveles que abarca este análisis y en varios casos las capas del “ChyS-PreCy” no fueron punzadas por ser interpretadas como sin interés petrolífero con base en los perfiles.

Valenzuela *et al.* (2005) realizaron una serie de cortes regionales sobre los que se establecieron “electrofacies” en base a los datos aportados por el perfil rayos *gamma* y su correlación con datos de coronas y *cuttings* disponibles y mapas palogeográficos a partir de la información de sísmica 2D (Figura 5 A,B). Acorde a estos autores el mallado amplio de la sísmica 2D disponible (2 km) no permitía definir, con un riesgo aceptable, nuevas ubicaciones a perforar. De las demás consideraciones que resultaron de este trabajo se destacan que se determinó el modelo de facies por medio de la relación del valor de Rayos *Gamma* (GR) y la composición química de la roca (Figura 5B). Se interpreta que el incremento en la lectura de los rayos *gamma* tiene relación directa con el incremento de la acidez del magma, con valores mayores de los elementos radioactivos por incremento relativo de feldespato potásico, fase mineral que es acompañada por cuarzo en estos tipos de magmas, donde también se incrementa la participación de Uranio y Thorio

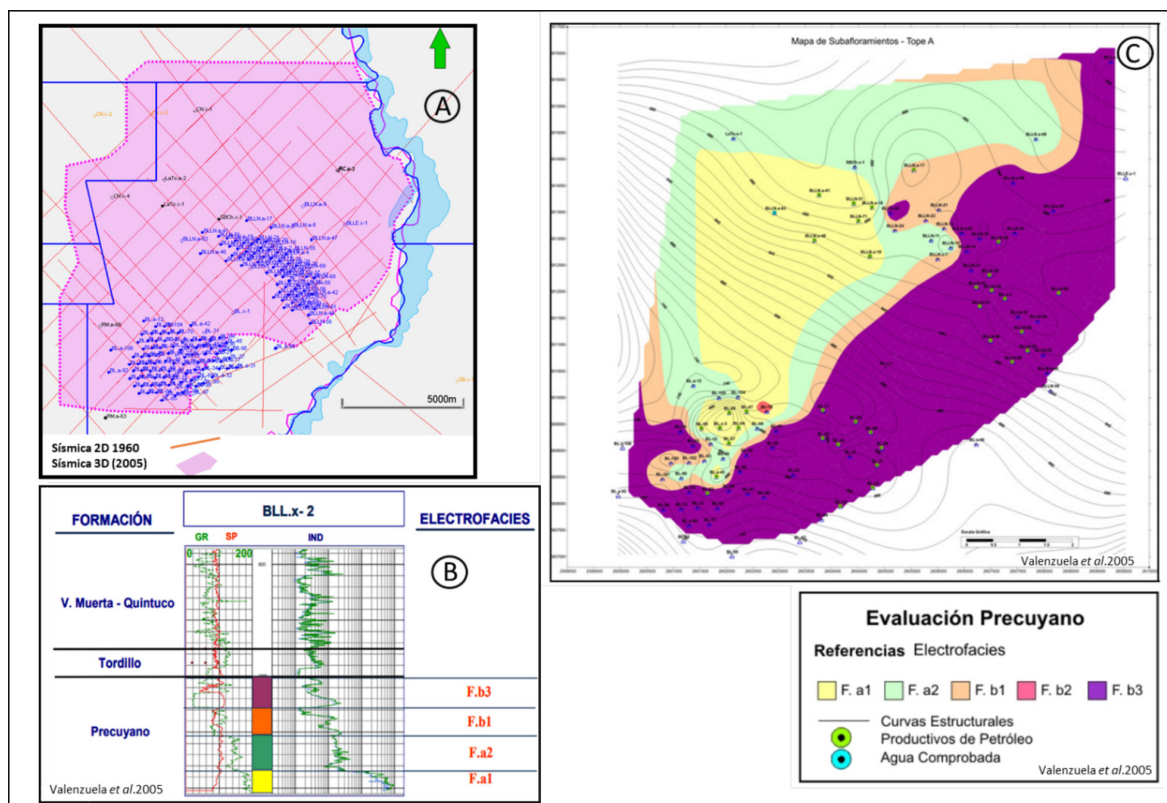


Figura 5. Antecedentes del área. 5A Planimetría sísmica 2D utilizada en los modelos anteriores y cobertura 3D adquirida en el año 2005. 5B Modelo de electrofacies utilizando el perfil de rayos *gamma* (Valenzuela *et al.* 2005). 5C Mapa de electrofacies volcánicas y estructural del intervalo Precuyo acorde a Valenzuela *et al.* (2005).

como elementos químicos asociados aunque no integren la estructura mineral. Del análisis se determinaron cinco electrofacies de los cuales se identificaron dos tipos principales de intervalos reservorios, denominados Facies F.a1 que corresponden a ignimbritas poco soldadas (definidas por GR superior a 140°API), y el segundo tipo de reservorio está representado por coladas andesíticas que se comportan como reservorios fisurados denominados F.b3. La electrofacies F.b3 está definida por valores menores de 40° API en los rayos *gamma* y se interpreta como el término composicional más “básico” del conjunto estudiado. En relación con sus características eléctricas y modo de ocurrencia, esta electrofacies se interpreta como el resultado de eventos efusivos lávicos. Es importante registrar que los ensayos por separado en los intervalos volcánicos fueron los que permitieron establecer que estos niveles se trataban de los dos principales niveles reservorios volcánicos (Figura 5C).

En el año de 2020 se realizó junto a la consultora EG el reprocesamiento de la sísmica 3D de Barranca de los Loros y el modelado estructural y estratigráfico regional del área, con una serie de mapas (Figura 6) con el objetivo de identificar posibles plays exploratorios para el área. Este estudio, junto con los antecedentes de Valenzuela (*et al.* 2005), y de áreas vecinas como 25 de Mayo - Medanito S.E. (Barrionuevo, 2015) forman las bases para nuevas interpretaciones de la producción de hidrocarburos de estas dos zonas en este campo.

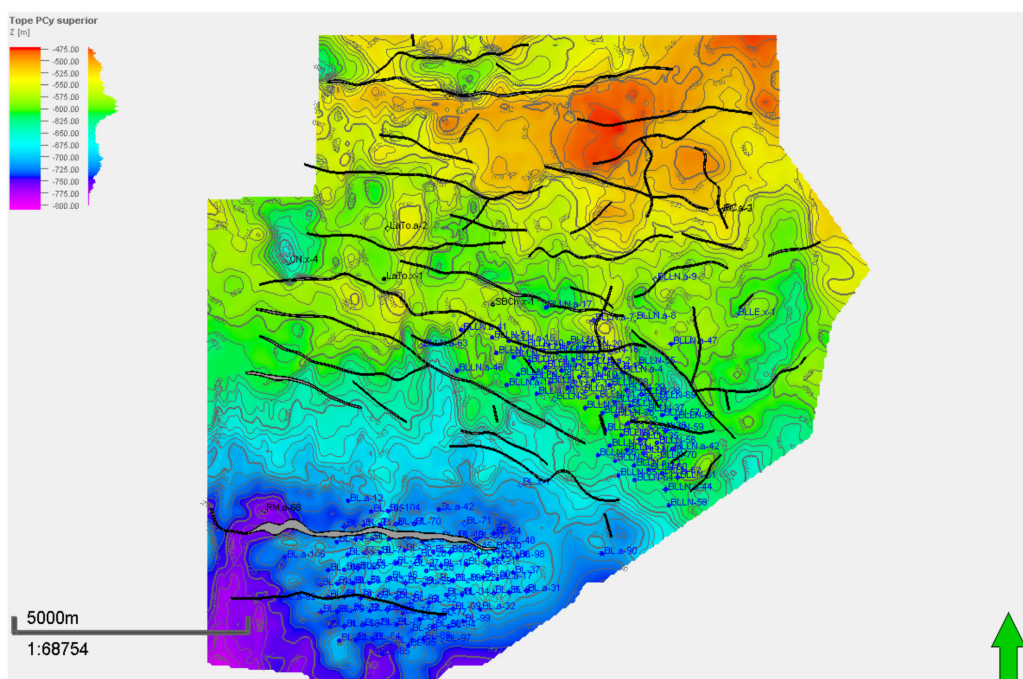


Figura 6. Mapa estructural al tope de PreCuyo Superior con fallamiento de rumbo predominante E-O a ONO-ESE, siendo algunas asociadas a fallas principales o “maestras” de hemigraben (Tomado de informe interno de EG S.A.2020).

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se seleccionaron dos de los pozos con testigo corona de los intervalos volcánicos uno en el positivo de Barranca de los Loros (BLL.x-3) y otro en el alto de Barranca de los Loros Norte (BLLN.x-1) totalizando 22,7 m de corona de los cuales se contaba con información petrográfica sumada a la información de *cutting*. Se utilizaron también los perfiles y datos de *cutting* de cinco pozos adicionales para análisis de facies y correlación, totalizándose siete pozos evaluados.

El perfil de SP fue normalizado con una línea base en el tope de Tordillo /Catriel por tratarse de un nivel no reservorio sin deflexión de la curva. El intervalo coroneado y sus cortes petrográficos se ajustaron en profundidad, para poder revisar las respuestas eléctricas, determinándose seis electrofacies.

Las electrofacies definidas se clasifican en: Tobas Riолíticas con Soldadura Moderada (TRSM), Tobas Riолíticas con Soldadura Intensa (TRSI), Toba Meteorizada (TM), Vitrófiro (V), Lava Autobrechada (LAB), Flujos Lávicos (FL). Las dos últimas son de composición más básica, y en las tobas predomina la composición ácida o riолítica, de acuerdo a lo planteado en los trabajos de Valenzuela *et al.* (2005) para Barranca de los Loros, y de Barrionuevo (2015) para 25 de Mayo - Medanita S.E. Por medio del análisis de las secciones sísmicas (correlación de la respuesta sísmica y electrofacies) y correlación de pozos se identificaron los intervalos volcánicos, posición estructural donde se habían perforado los pozos productivos, y geometría de los depósitos conforme el flujo de trabajo abajo definido (Figura 7).

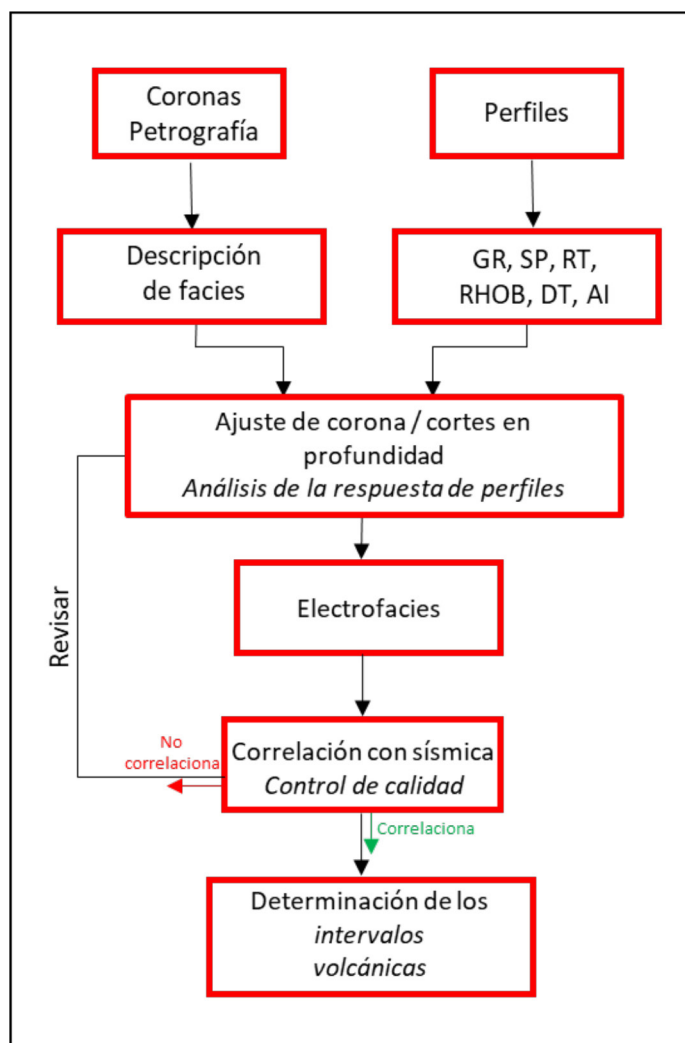


Figura 7. Flujo de trabajo del análisis de los intervalos volcánicos de Barranca de los Loros.

CARACTERIZACIÓN DEL INTERVALO VOLCÁNICO EN BARRANCA DE LOS LOROS

La determinación de las facies y electrofacies del relleno volcánico del hemigraben de Barranca de los Loros se inició con la revisión de las descripciones macro y microscópicas de los intervalos coroneados de los pozos BL.x-3 y BLLN.x-1 y su respuesta eléctrica y sísmica. Luego se analizaron los cinco pozos adicionales (y su respectiva información de *cutting*) en conjunto con los pozos coroneados.

Toba Riolítica con soldadura moderada (TRSM)

El intervalo coroneado del pozo BL.x-3 se describe como tobas lapillíticas o ignimbritas con grado de soldamiento bajo a moderado (Figura 8 y 9). A partir de ciertos rasgos macroscópicos

diagnósticos y de perfiles se pueden diferenciar dos intervalos volcánicos o unidades de enfriamiento principales con porosidad en dicho pozo. La porción superior de la corona se caracteriza por su homogeneidad en sentido vertical, su pobreza en fragmentos pumíceos, su menor contenido de cristaloclastos y su menor grado de alteración en comparación con el tramo inferior. La parte inferior se caracteriza por un color rojo intenso y un mayor contenido relativo en fragmentos pumíceos. A profundidades de 995 m, 994 m y 992 m se detectan niveles ricos en pómez ligeramente achatados de hasta 4 cm de tamaño que determinan una textura eutaxítica (Figura 8). Entre los litoclastos predominan las riolitas fluidales de color rojo morado, mientras que en forma subordinada aparecen ignimbritas y fragmentos de grano muy fino, de color gris oscuro. En la parte basal de la corona (996 y 994 m) se destaca la presencia de fracturas de diseño sinuoso que no superan los 15 cm de largo y orientación perpendicular al plano de depositación del flujo piroclástico. Entre los litoclastos predominan las riolitas fluidales de color rojo morado, mientras que en forma subordinada aparecen ignimbritas y fragmentos de grano muy fino, de color gris oscuro. El sector inferior se caracteriza por una oxidación moderada a intensa de tipo penetrante que afecta a la matriz y que a su vez pueden afectar los perfiles eléctricos. La porosidad en ambos tramos es alta, con reducción en aquellos tramos donde se aprecia achatamiento en los fragmentos pumíceos y orientación de fiammes (mayor grado de soldadura). En el tramo inferior se observan fracturas abiertas (Sruoga y Rubinstein 2004).

Si bien se observan cambios texturales en las muestras de roca (macro y microscópicas) marcando un contacto a la profundidad de 991,5 m., no se observan cambios significativos en los rayos *gamma*, pero si una sutil tendencia de aumento de los perfiles sónico y densidad que acompaña a la disminución de la permeabilidad de la matriz que se observa en los datos petrofísicos de corona y que indica un aumento del grado de soldamiento de moderado a moderado alto conforme la descripción petrográfica.

Para todo el tramo coroneado se observan valores de rayos *gamma* superior a 160°API, con deflexión negativa (a la izquierda) de SP menor que -20mV, densidad inferior a 2,5 g/cc.

Particularmente en este pozo el Caliper se ve afectado de modo diferencial al igual que los pozos BL-5 y BL-6 en la misma zona estructural, sin embargo, este efecto no enmascara las tendencias de las facies en un *crossplot* entre GR y Rhob, la misma tendencia se mantiene cuando se realiza el mismo *crossplot* en los demás pozos evaluados.

El tramo inferior coroneado (991,5-997 m) presenta valores de porosidad entre 10,7% y 13,6%, con un valor promedio de 12,54 % ($\sigma=2,11$) y con permeabilidades muy bajas (<1 mD). En cambio el intervalo superior (991,50-979 m) muestra por lo general porosidades más elevadas con un rango de 12,63% a 18,56%, con un valor promedio de 15,77% ($\sigma=1,92$) y permeabilidades entre 0,85 y 15,76, con predominio de valores en un rango entre 1 y 8 mD. La diferencia en los valores de porosidad entre ambos intervalos puede atribuirse al control ejercido por el grado de soldamiento como factor de primer orden.

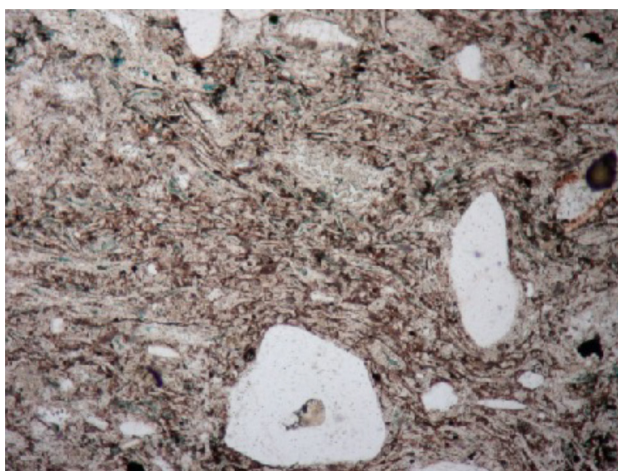


Figura 8. Detalle de un corte petrográfico del pozo de BLL.x-3 (Prof. 994,7m) con el detalle de trizas, fenocristales y cristaloclastos de cuarzo, desarrollando un alineamiento con apariencia de textura eutáxita (tomado de Sruoga & Rubinstein 2004).

Toba Riolítica con Soldadura Intensa (TRSI)

El testigo corona del pozo BLLN.x-1 con 4,70 m recuperados es descripto macroscópicamente como una toba lapillítica o ignimbrita soldada. Por su elevada densidad, el carácter sellado de la matriz y el aspecto “láxico” de la roca conocido como del tipo “*lava like*”, se estima un alto grado de soldamiento como se observa en el corte de la Figura 10. La porosidad es baja.

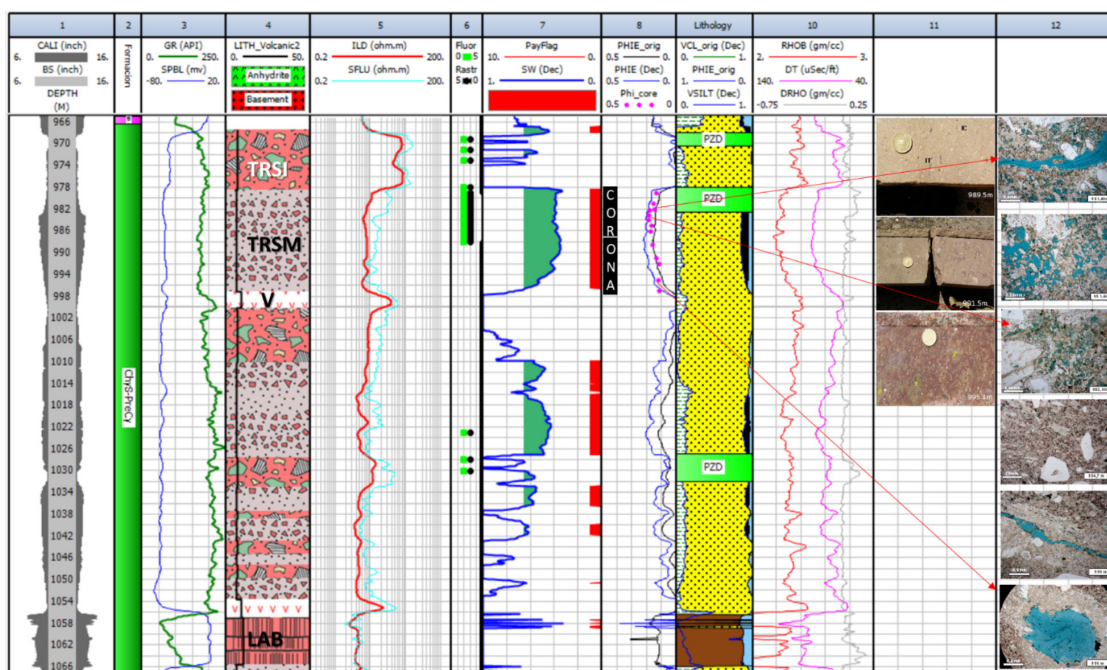


Figura 9. Composite pozo BL.x-3. En la pista 3 se curvas de SP y rayos *gamma* que no son suficientes para determinar los cambios de facies que se observan en las muestras de roca y petrografía (pistas 11 y 12). Pista 5 perfiles de resistividad profunda (ILD) y somera (SFLU), pista 6 fluorescencia (verde) y rastros (negro), pista 7 saturación (Sw) e intervalo *pay* (rojo), pista 8 porosidad de perfil (Phie) y de muestras (Phi_core), pista Lithology con simplificación de las litologías interpretadas para analizar intervalos punzados (verde), pista 10 perfiles de densidad (Rho) y sísmico (DT).

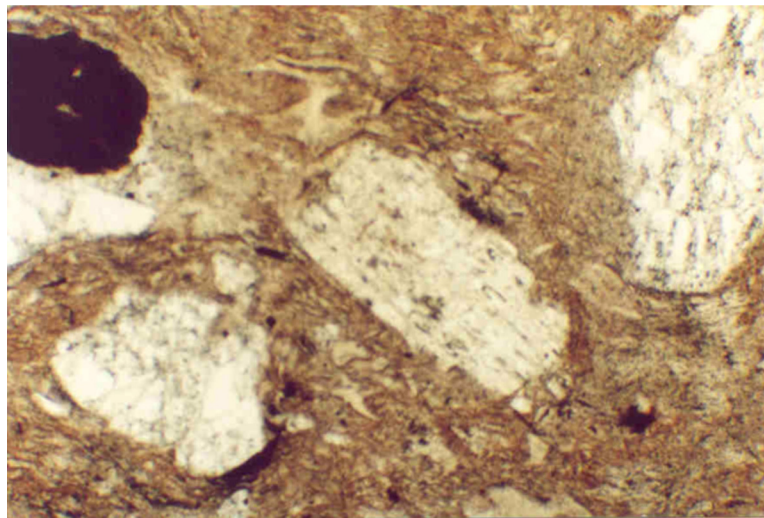


Figura 10. Corte petrográfico de las tobas riolíticas TRSI en el pozo BLLN.x-1. Se observan trizas vítreas compactadas y estradas alrededor de los cristaloclastos (sin nicol analizador). Textura "pseudocutaxítica" con un grado de soldamiento alto (Tomado de Bermudez, 2005).

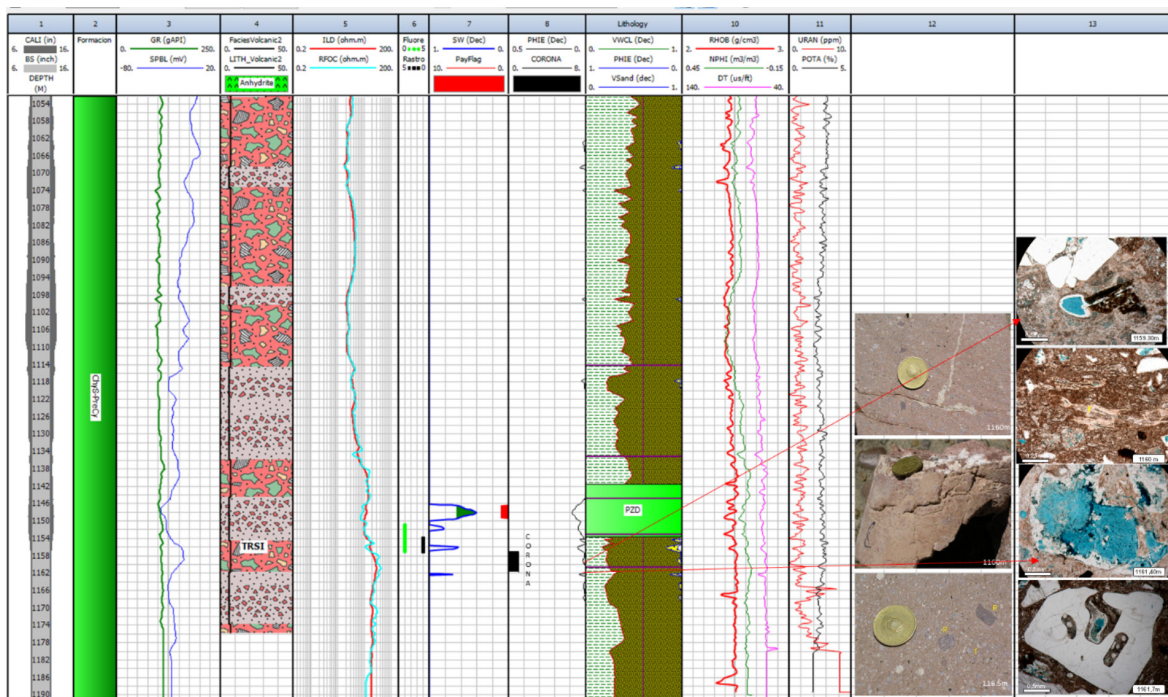


Figura 11. Composite pozo BLLN.x-1. En la pista 3 se observan las curvas de SP y rayos *gamma* que no son suficientes para determinar los cambios de facies que se observan en las muestras de roca y petrografía (pistas 12 y 13). Pista 5 perfiles de resistividad profunda (ILD) y somera (RFOC), pista 6 fluorescencia (verde) y rastros (negro), pista 7 saturación (Sw) e intervalo pay (rojo), pista 8 porosidad de perfil (Phie), pista Lithology con simplificación de las litologías interpretadas para analizar intervalos punzados (verde), pista 10 perfiles de densidad (Rhob), neutrón (NPhi) y sónico (DT), pista 11 perfiles de Uranio (URAN) y Potasio (POTA).

A profundidad de 1159 y 1160-1160,50 m se han identificado fracturas de orientación principal oblicua a las paredes de la corona. La presencia de un espejo de fricción permite asignarles un origen tectónico. Muchas de ellas se encuentran abiertas, constituyendo otra causa de porosidad

y permeabilidad estimadas, además de la porosidad de matriz. A lo largo de toda la corona la porosidad es baja, incrementada localmente por la presencia de fracturas de origen tectónico.

Para el tramo coroneado se observa valores de rayos *gamma* alrededor de 100°API, con deflexión de SP negativa (a la izquierda) cercanas a -16mV o mayor, densidades cercanas a 2,5 o superiores, los perfiles de resistividad acompañan al perfil de densidad con incremento de su valor.

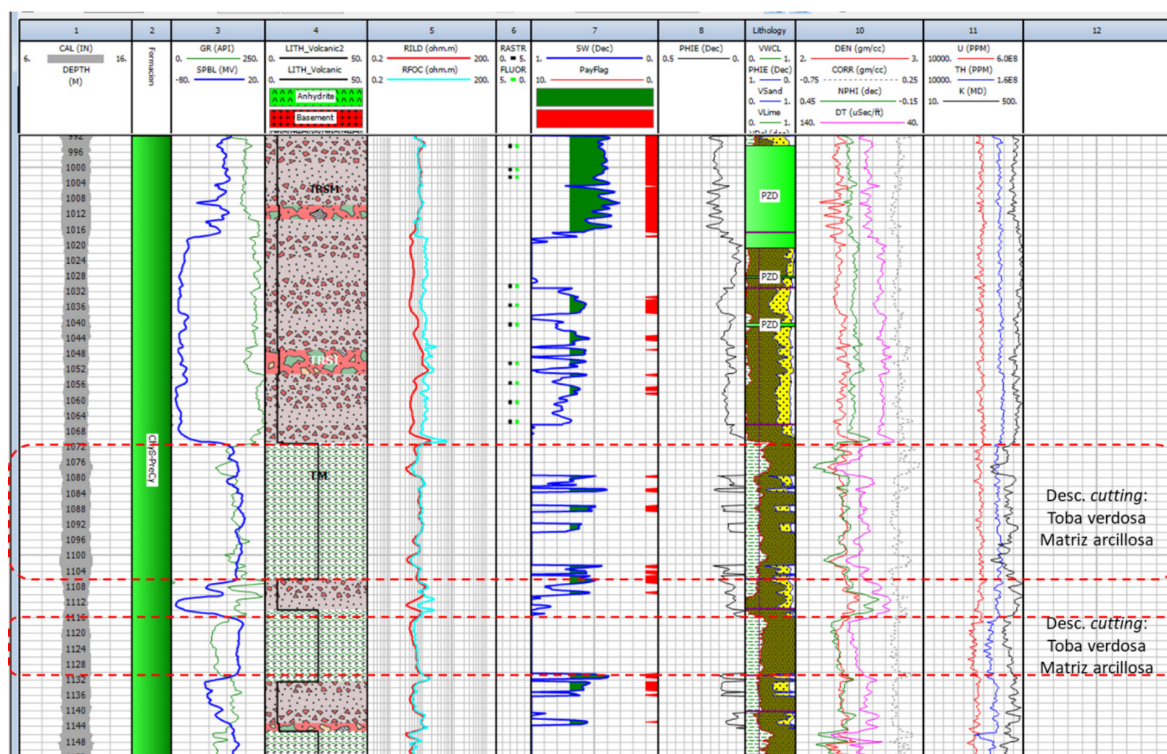


Figura 12. Composite pozo BL-7. En la pista 3 se observan las curvas de SP y rayos *gamma*. Pista 5 perfiles de resistividad profunda (ILD) y somera (RFOC), pista 6 fluorescencia (verde) y rastros (negro), pista 7 saturación (Sw) e intervalo pay (rojo), pista 8 porosidad de perfil (Phie), pista Lithology con simplificación de las litologías interpretadas para analizar intervalos punzados (verde), pista 10 perfiles de densidad (Rhob) y corrección (CORR), neutrón (NPhi) y sónico (DT), pista 11 perfiles de Uranio (URAN) y Potasio (POTA) pista 12 descripción de *cutting* del intervalo denominado “tobas meteorizadas”.

Toba Meteorizada (TM)

El intervalo se describió a partir de la información de control geológico de los pozos BL.7 y BL-29. En el pozo BL-7 el tramo de 1115 m a 1125 m se describe como tobas verdes compactas, fragmentadas y en partes arcillosa, alteradas, donde se observan en los cristales planos de fisura (cristales de vidrio verde oscuro), incrustaciones de vidrios volcánicos y arcillita.

Para todo el tramo se observa valores de rayos *gamma* superior a 80°API, con deflexión negativa de SP entre -20mV y 0mV, densidad inferior a 2,5 g/cc. No se cuenta con corona en intervalos con dicha facies, en el pozo BL-7 se describe en *cutting* como tobas verdosas con matriz arcillosa para el tramo determinado como TM en dicho pozo (Figura 12).

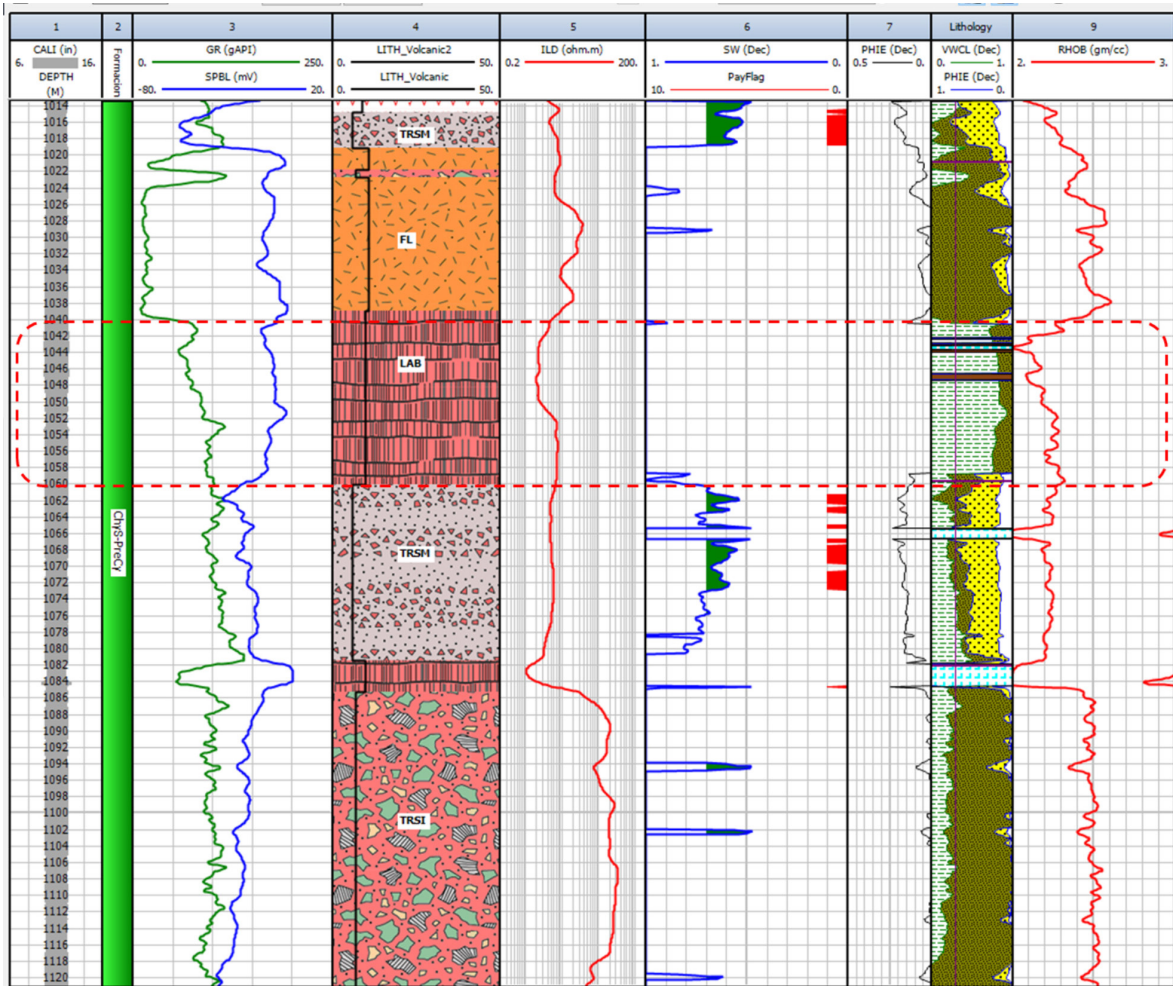


Figura 13. Composite pozo BLLN-48. En la pista 3 se curvas de SP y rayos *gamma*. Pista 5 perfiles de resistividad profunda (ILD) y somera (RFOC), pista 6 saturación (Sw) e intervalo pay (rojo), pista 7 porosidad de perfil (Phie), pista Lithology con simplificación de las litologías interpretadas, pista 9 perfiles de densidad (Rhob). Pozo sin datos de control geológico. Demarcado en rojo la zona de LAB.

Lava autobrechada (LAB)

La facies que se describe para este intervalo presenta la particularidad de mostrarse intensamente brechada. Estos intervalos ya fueron descriptos por Valenzuela *et al.* (2005) con base en las coronas de LaTox-1 y se asumió esta interpretación para estos pozos con base en las similitudes de las respuestas eléctricas entre dichos pozos. El intervalo se observa en los tramos no coroneados de los pozos BL.x-3, BLLN.x-1, BL-5 y BL-6 y BLLN-48. Para todo el tramo se observa valores de rayos *gamma* entre 50 y 100°API, con deflexión de SP entre -10mV y 0mV, densidad inferior a 2,5 g/cc (Figura 13).

Flujo Láxico (FL)

El intervalo se describe como flujos láxicos acorde al modelo de Valenzuela *et al.* (2005). De los pozos evaluados se identificó este intervalo en el pozo BLLN.-48. En dicho pozo se observó valores de rayos *gamma* inferiores a 20°API con deflexión negativa (a la izquierda) de SP entre -20mV y 0mV, densidad superior a 2,3 g/cc (Figura 14).

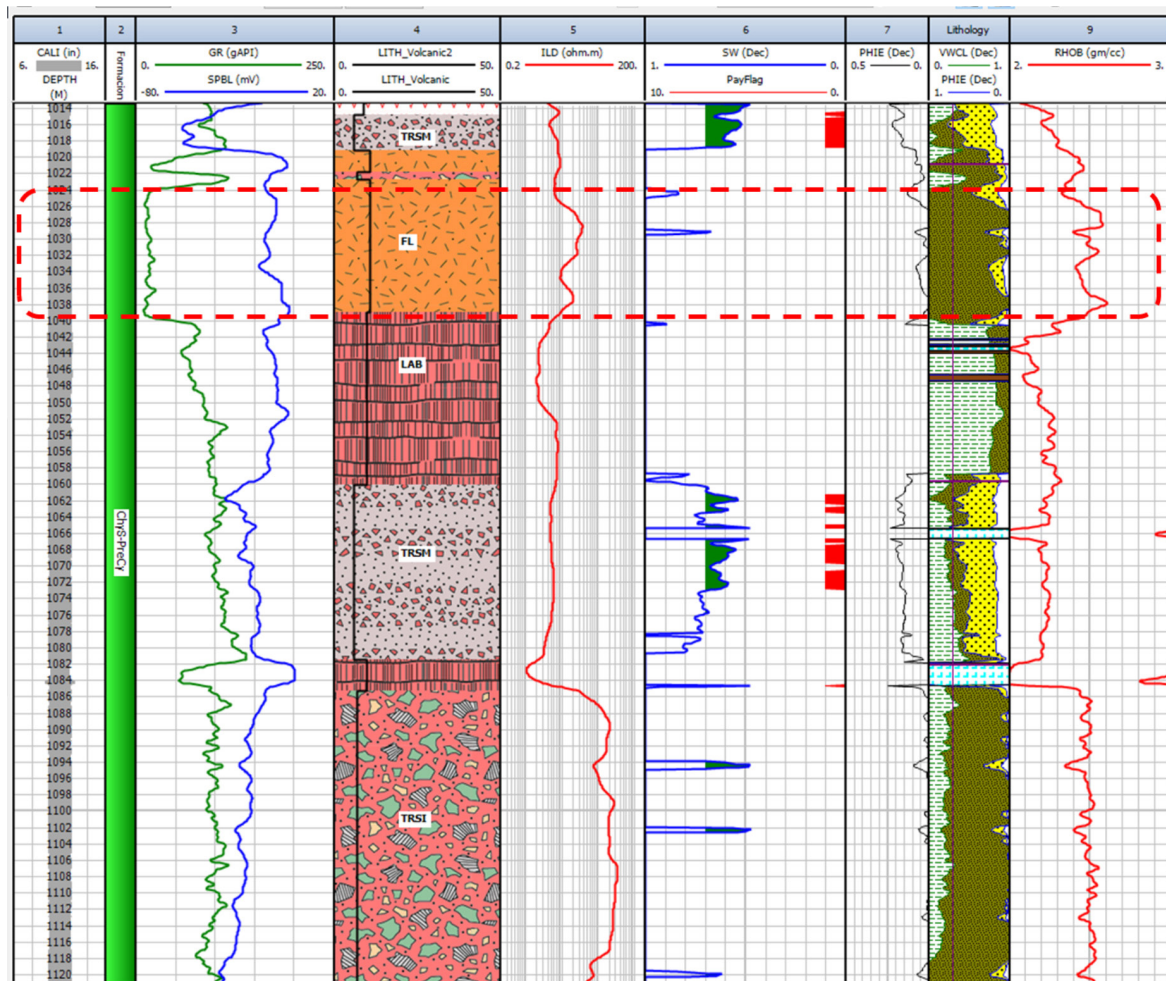


Figura 14. Composite pozo BLLN-48. En la pista 3 se curvas de SP y rayos *gamma*. Pista 5 perfiles de resistividad profunda (ILD) y somera (RFOC), pista 6 saturación (Sw) e intervalo pay (rojo), pista 7 porosidad de perfil (Phic), pista Lithology con simplificación de las litologías interpretadas, pista 9 perfiles de densidad (Rhob). Pozo sin datos de control geológico. Demarcado en rojo la zona de FL.

Vitrófiro (V)

Fragmento de vidrio volcánico formado por rotura explosiva de lava, pueden estar asociadas a las facies TRSM o TRSI, en perfil se interpreta su respuesta como aumento de las curvas de



Figura 15. Fragmentos de vidrio identificados en el corte del pozo BLLN.x-1 (sin nicoles analizadores) con textura esferulítica. ES: esferulita F: Feldspato (tomado de Sruoga y Rubenstein, 2005. Informe interno).

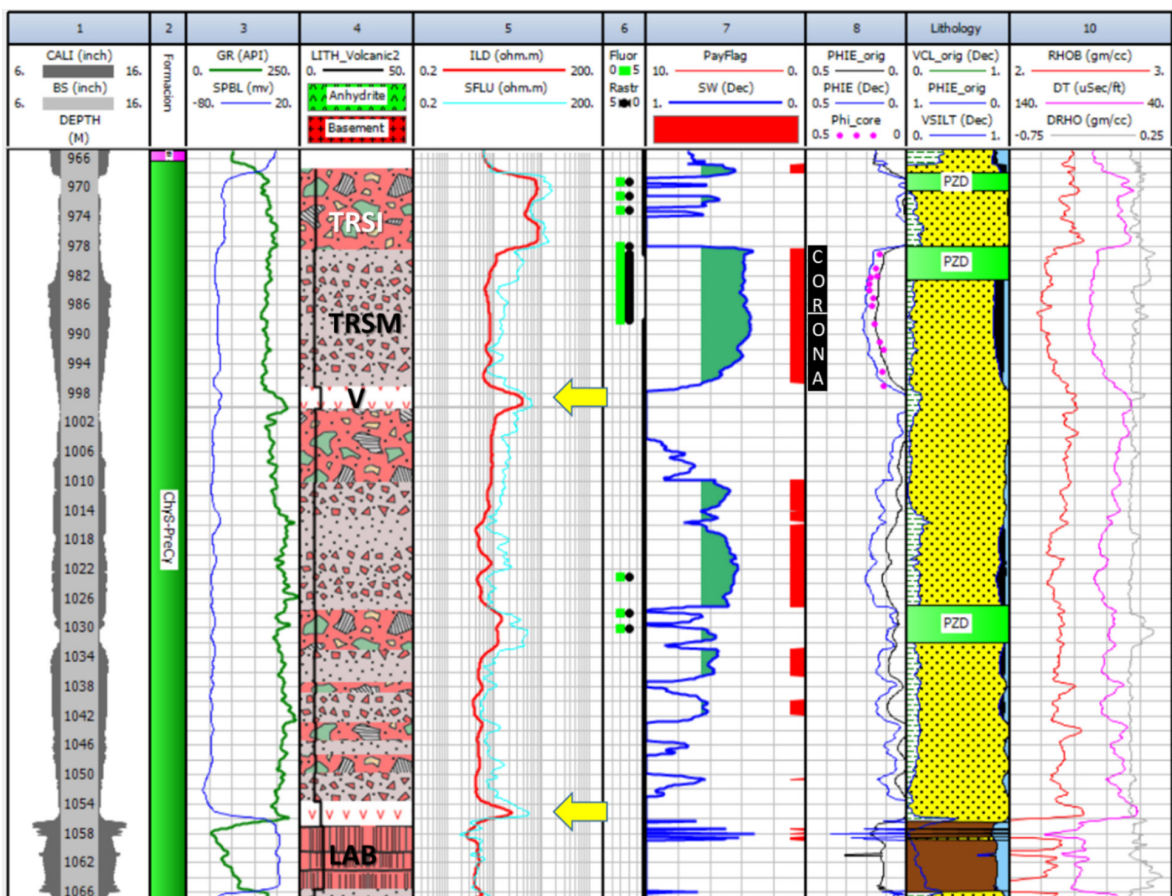
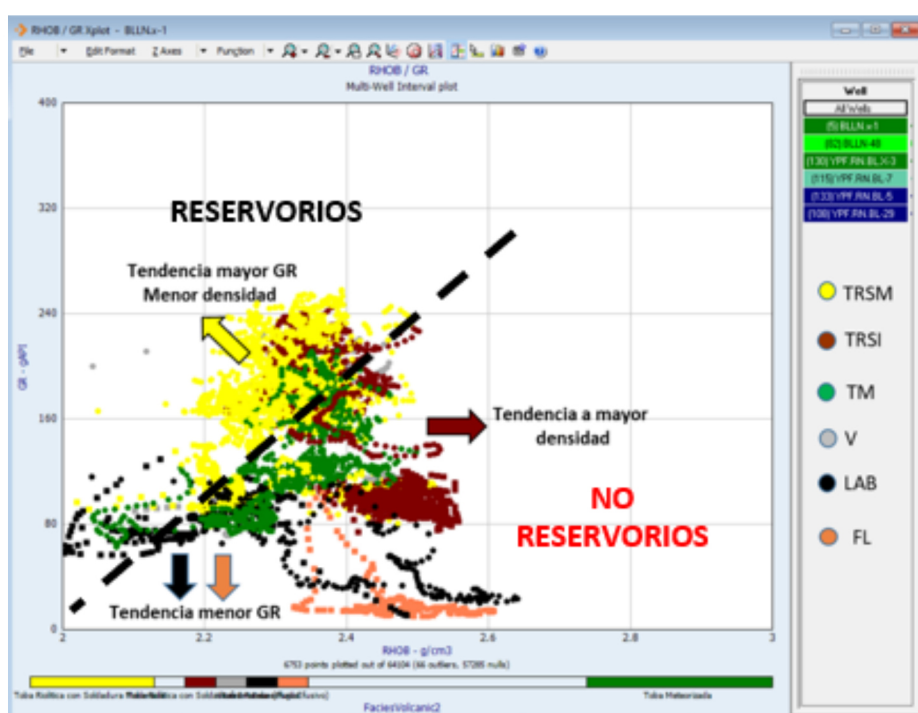


Figura 16. Composite pozo BLN.x-3. En la pista 3 se curvas de SP y rayos *gamma*. Pista 5 perfiles de resistividad profunda (ILD) y somera (SFLU), pista 6 fluorescencia (verde) y rastros (negro), pista 7 saturación (Sw) e intervalo pay (rojo), pista 8 porosidad de perfil (Phie) y de muestras (Phi_core), pista Lithology con simplificación de las litologías interpretadas para analizar intervalos punzados (verde), pista 10 perfiles de densidad (Rho) y sónico (DT). Las flechas amarillas indican intervalos interpretados como vítreos, se observa aumento de resistividad.

densidad y resistividad (Figura 16). En el pozo BLLN.x-1 en la profundidad de 1159 m se observa la textura esferulítica por desvitrificación asociado al intervalo de TRSI (Figura 15).

Claramente, por lo observado en los composites de los pozos, con información de coronas y *cuttings*, los intervalos donde los valores de rayos *gamma* son superiores a 160 unidades API y la densidad es menor a 2,4 gr/cm³ (Fig. 17) son donde a partir de secciones delgadas se observa porosidad de matriz, presente principalmente en la fase mineral feldespatos potásico, además de fisuras y fracturas, que ayudan a entender el comportamiento de producción de estos reservorios con porosidad doble, en fracturas y matriz. En los cortes sísmicos de las figuras 18 y 19 se observa mayor atenuación de la respuesta sísmica en las zonas donde predominan facies TRSM y sobre todo en la zona de hombro del hemigraben en BLL (Figura 19) y mayor reflexión en zonas que predominan las facies básicas y tobas con soldadura intensa. En la tabla y gráfico de la Figura 17 se



	FACIES	CURVA				
		GR	SPBL	RHOB	RT	Rxo
		º API	Mv	g/cc	ohmm	
Acido	TRSM	>100	<-20	<2.4	RT < 10 con RT≠ Rxo	
	TRSI	>80	>-20	>2.3	RT = Rxo	
	TM	>80	>-10	<2.3	RT = Rxo	
	V	>100	>-20	>2.4	RT > 10 ohmm RT= Rxo	
Básico	LAB	<80>40	>-10	Variable	RT = Rxo	
	FL	<40	>-10	>2.3	RT = Rxo	
* SPBL normalizado con linea base de arcillas de Tordillo/ Catriel						

Figura 17. Crossplot Rayos Gamma versus Densidad del pozo BL.x-3 donde se observa tendencias de distribución y tabla genérica de respuestas de perfiles para cada facies.

observa con mayor detalle las respuestas de perfiles a pozo abierto por facies y permite dividir las facies de composición de magma ácido de básico. Se interpreta, por lo observado en los datos de roca y perfiles, que los intervalos de composición básica, que corresponden a las lavas, tienen su productividad relacionada a la porosidad de fisuras, y en ese punto juega rol importante tanto las fracturas naturales como las tectónicas que dependen de situaciones estructurales que las generan.

COMPORTAMIENTO DE PRODUCCIÓN DE POZOS REPRESENTATIVOS DE LOS YACIMIENTOS DE BARRANCA DE LOS LOROS

Inicialmente el arranque de producción del pozo BLN.x-3 de más de 100 m³/d de líquido con menos de 15 m³/d de agua es de la Fm. Quintuco, pero dos meses después queda productivo con surgencia de intervalos volcánicos. La alta producción y la surgencia de los intervalos volcánicos, son comportamiento productivo que pueden ser asumidos para estas rocas como propios de reservorios fracturados, con producción inicial explosiva y declinación abrupta en los primeros años (Fig. 20).

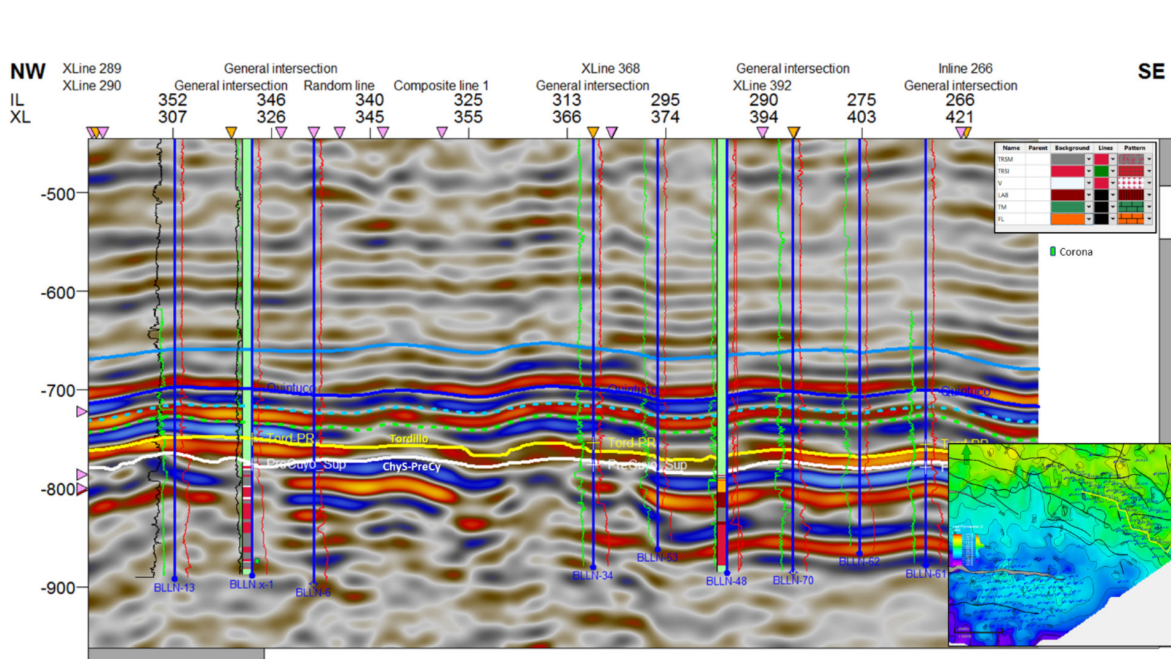
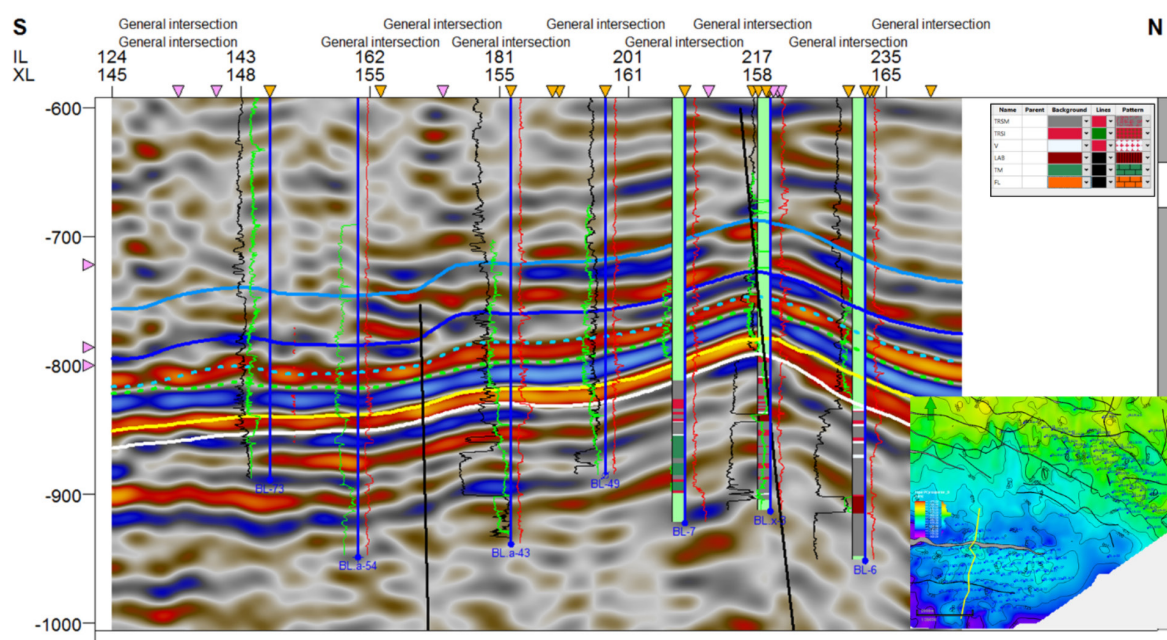


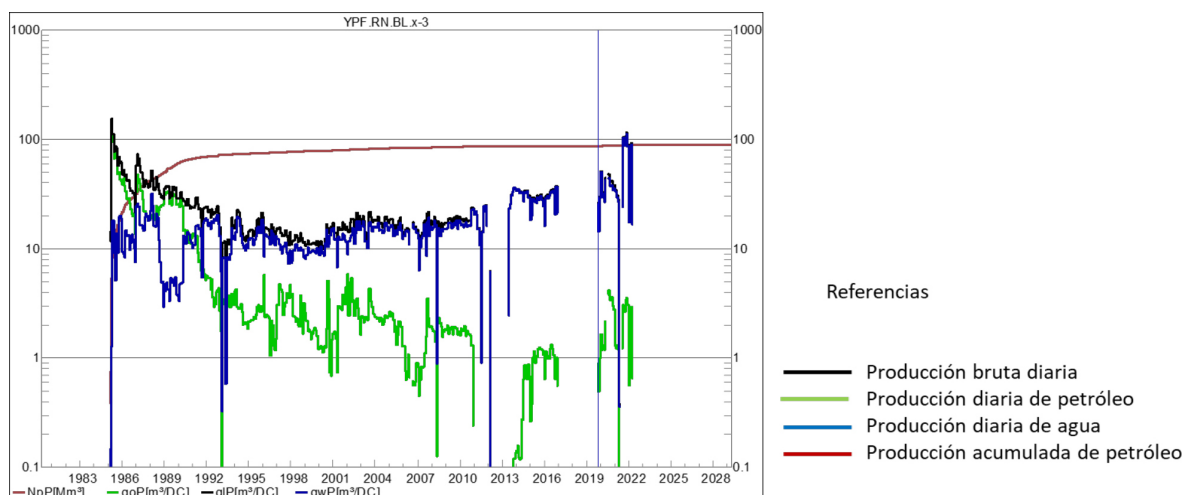
Figura 18. Corte NW-SE en la zona de BLLN donde se observa la respuesta sísmica de los pozos BLLN.x-1 y BLLN-48. Se nota una menor atenuación de la respuesta sísmica en general y en particular en el pozo BLLN-48 donde se describe predominio de facies FL, LAB y TRSI.

Si bien este pozo produce en conjunto, la variación del corte de agua puede deberse a cambios en el régimen de extracción por variación de la sumergencia de la bomba, intentando “estabilizar” el régimen extractivo aunque la llegada “intempestiva” del agua puede deberse a ambas formaciones. En 2001 hay cambio de bomba que mejora la productividad del pozo, dejándolo en producción



hasta su límite económico. La acumulada final aunque es de ambas formaciones, es de 89230 m³ de petróleo, siendo de 61700 m³ lo volumen acumulado por el intervalo volcánico.

En síntesis se trata de explicar el comportamiento general de producción de este pozo que, aunque tiene otra unidad productiva, la misma no comienza con surgencia, por lo que se puede interpretar que las características petrofísicas del reservorio volcánico son responsables por aportar con una primer producción de las fracturas observadas en cortes delgados, con alta declinación por dificultades en la recarga de la matriz en la que observa muy buena porosidad con baja permeabilidad, representado todo esto en el composite del pozo de referencia.



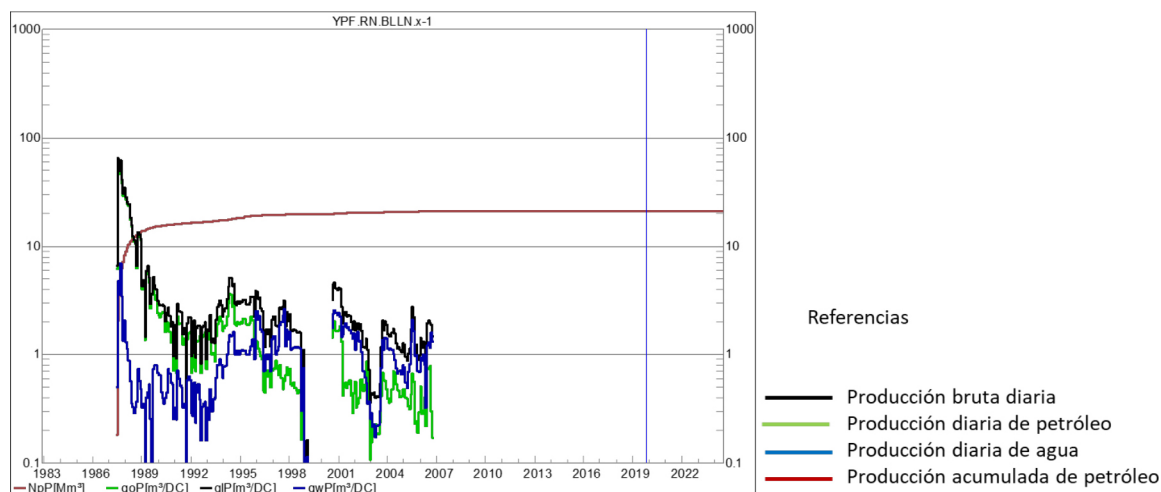


Figura 21. Comportamiento de producción del pozo del pozo BLN.x-1, principalmente de Fm. Tordillo.

Las características petrofísicas observadas en el *composite* del pozo BLN.x-1 (Figura 11) corresponden a las rocas más soldadas de las descriptas (TRSI), incluso denominadas en la literatura como “*lava like*”. Durante la terminación y luego de acidificar, el pozo ensayó menos de 1200 lt/hr con nivel 200 m por sobre el tope punzado, por lo tanto se decide fracturar con 400 bolsas y el intervalo volcánico punzado surge con menor volumen que el ensayo original (500 lt/hr). El resultado final post pistoneo es de 750 lt/hr, por debajo del caudal inicial y con un corte de 95 % de agua. Con estos resultados se decide no dejar esta zona en producción colocándose un tapón. El gráfico de producción corresponde principalmente a la Formación Tordillo (Fig. 21), que es la roca “*carrier*” que permite la migración del petróleo hasta esta región, y luego distribuye a otras unidades por carga vertical por fallas u *onlap* en altos volcánicos en parte fracturados (Barrionuevo 2015). Al tratarse de conglomerados y arenas depositados en valles intermontanos la producción también es explosiva por la alta permeabilidad de los conglomerados con rápida caída de producción, debido a una conectividad de las facies.

El análisis demasiado detallado de la terminación en el intervalo volcánico solo fue realizado a los fines de reconocer que esta facies si bien es una Toba, presenta soldadura intensa, y esto le provee características parecidas a rocas efusivas lávicas, en donde solo se esperaría producción de fracturas, sin recarga de matriz.

HEMIGRÁBENES EN EL BLOQUE BARRANCA DE LOS LOROS, UBICACIÓN DE LAS ACUMULACIONES DE HIDROCARBUROS EN EL BORDE ACTIVO Y PASIVO Y NUEVAS OPORTUNIDADES

En el área Barranca de los Loros existen varios depocentros bien identificados en secciones sísmicas (Figs. 22 y 23). En el borde del depocentro del sur se encuentran las acumulaciones en varias unidades formacionales de composición carbonática, clástica y volcánica, en los yacimientos

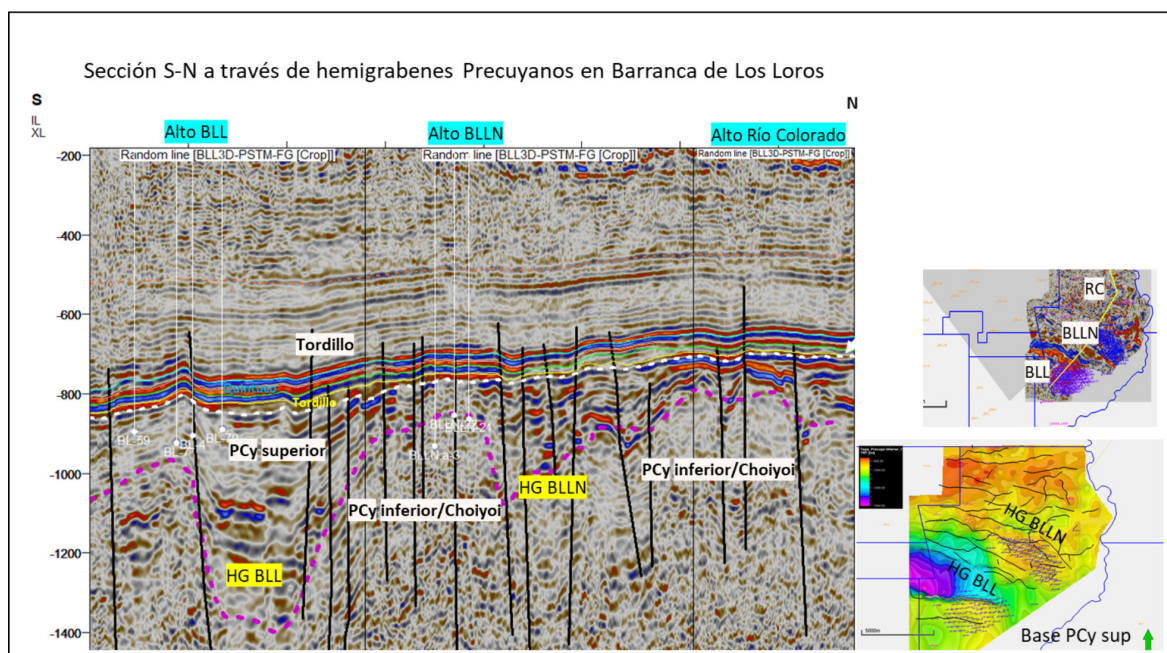


Figura 22. Sección sísmica S-N donde se puede observar los depocentros del Área Barranca de los Loros con reflectores fuertes con contrastes de amplitud en las partes bajas (Modificado del informe interno de EG S.A, 2020 para PSA).

conocidos como Barranca de los Loros y Barranca de los Loros Norte.

Un detalle del depocentro del sur con la ubicación de los dos pozos con coronas de similar composición mineralógica (Tobas de composición riolítica o Ignimbritas) solo diferenciadas por el grado de soldamiento, permite también realizar algunos razonamientos sobre la posición de ambos pozos; la relación con las fallas cercanas, las “firmas sísmicas” dadas las facies predominantes en cada pozo y con todo esto poder relacionar de alguna manera expectativas de producción en estos intervalos volcánicos.

El fracturamiento muchas veces es asociado al tipo de facies, particularmente en las rocas volcánicas, en este caso pueden deberse a la reactivación de la falla de hemigraben, pudiendo ocurrir durante varias etapas de reactivación de la cuenca aunque con mayor magnitud durante la orogenia andina, como fue interpretada en el trabajo de Rossello y Barrionuevo (2005).

Las tobas de soldamiento intenso que predominan en la corona del pozo BLLN,x-1 también son rocas frágiles para situaciones de tectonismo con reactivación de fallas, y también pueden almacenar petróleo a partir de carga del “carrier” regional, pero con acumuladas que no superan los 21000 m3 de petróleo en pozos con producción exclusiva de estos intervalos volcánicos, lo que sugiere que la productividad de los intervalos volcánicos tienen un fuerte componente relacionando a su ubicación respecto a la estructura y facies (capacidad de almacenamiento de la matriz).

Los pozos de BLL se encuentran cercanos a la falla principal del hemigraben, con inclinación al NE, donde se encuentra el mayor espesor del relleno del *sinrift*. La ubicación justa del pozo con producción efectiva de los intervalos volcánicos, está muy cerca a la falla mencionada, y se

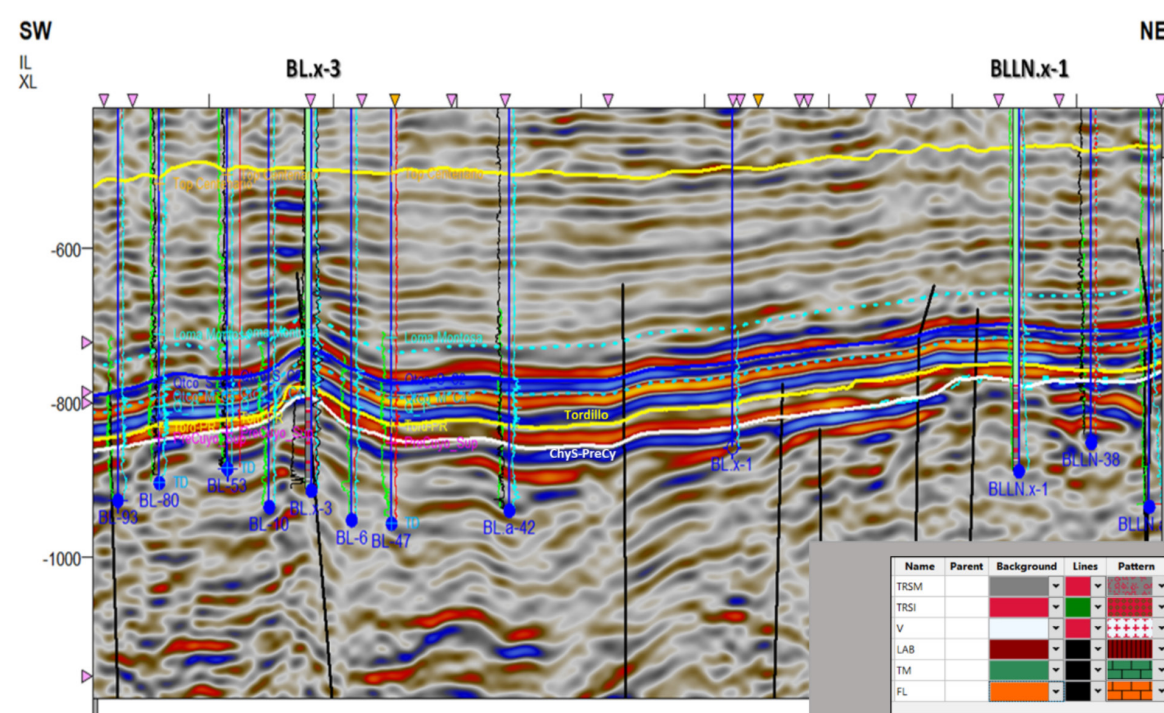


Figura 23. Detalle de la sección sísmica SO-NE con la ubicación de los pozos BLN.x-3 y BLN.x-1.

ha constatado fracturas en coronas tanto a nivel macro como microscópico, siendo las facies predominantes en esta corona las de mejor petrofísica de matriz (TRSM).

Por lo tanto, rocas de un intervalo volcánico con buena porosidad de matriz y fracturas naturales y tectónicas, compiten en producción y almacenamiento con las otras unidades convencionales aunque son mucho más difíciles de evaluar por perfiles, visualizar en sísmica y comparar en respuestas de ensayos de terminación o curvas de producción si no se tiene en cuenta las facies volcánicas en este trabajo diferenciadas.

CONSIDERACIONES FINALES

El área Barranca de los Loros corresponde a uno de los activos descubiertos en el borde noreste de la Cuenca Neuquina cuando la compañía YPF decide perforar buscando el acuífero de la Formación Tordillo en regiones donde la columna sedimentaria disminuye hasta menos de 1500 metros de espesor (Barrionuevo 2015).

Los intervalos volcánicos están asociados a unidades del Grupo Choiyoi y PreCuyo, pero muchas veces tener una edad radiométrica de todas las posiciones estructurales y facies son dificultosas para delimitar claramente a que intervalo del *PreRift*, *Sinrift* y *PostRift* pertenecen.

Lo más importante en esta región es definir en mapas estructurales en el tope del PreCuyo y Gr. Choiyoi cuáles son las fallas principales que conforman los “hombros” de hemigraben, con

chances de estructuración por actividad tectónica regional. Por otro lado es necesario determinar las posibilidades de carga de la unidad “*carrier*” de la región en el “*onlap*” con estas zonas asociadas. Las electrofacies determinadas en perfiles fueron producto del análisis de los datos de corona/*cutting*, microscopia y relación de las mismas con las respuestas eléctricas, la relación de las electrofacies y ubicación de los pozos respecto a la estructura permitió comprender mejor la respuesta productiva de los pozos e identificar zonas con características similares con mayores chances de éxitos; es decir, zonas donde se encuentren en posiciones en hombros de hemigraben que presenten facies TRSM (BLx-3), de esta forma se podrían proponer reparaciones y/o re intervenciones correlacionando la respuesta sísmica con estos intervalos en niveles no punzados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades de Petróleos Sudamericanos S.A. por el permiso de publicación de esta información y a las autoridades regionales de YPF por el permiso de colaboración del coautor.

REFERENCIAS CITADAS

- Allen, P.A., Allen, J.R., 1995. Basin Analysis: Principles and Applications. Blackwell Science, Oxford. 451 pp
- Barrionuevo M., Arnosio, M., y Llambías E.J., 2013. Nuevos datos geocronológicos en subsuelo y afloramientos del Grupo Choiyoi en el oeste de La Pampa: implicancias estratigráficas. Revista Asociación Geológica Argentina 70 (1): 31-39.
- Barrionuevo M., 2015. Las rocas volcánicas del Grupo Choiyoi como reservorio de hidrocarburos. Yacimiento 25 de Mayo – Medanito S.E. (38° 1' 43" LS y 67° 53' 45" LO), Cuenca Neuquina, Argentina. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Tesis doctoral (inédita). 202 pp.
- Barrionuevo, Marcelo. (2018). Reservorios del Grupo Choiyoi y Precuyano - Yacimiento 25 de Mayo Medanito SE - Rocas Reservorio (2da Edición).
- Bermudez, A. 2005. Datación Radiométrica de un fragmento de corona del pozo BLLN.x-1. Informe Interno de YPF.
- Brisson I. y R. Veiga, 1999: Gira de campo, Cuenca Neuquina. YPF, informe inédito.
- Brown A., y Kew W., 1932. Occurrence of Oil in Metamorphic Rocks of San Gabriel Mountains, Los Angeles County, California. AAPG Bulletin, v. 16 (August), p. 777-785.
- EG S.A.(Consultora), 2020. Área Barranca de Los Loros - Evaluación del potencial exploratorio. Informe Interno Petróleos Sudamericanos.
- Giambiagi, L., Mescua, J., Folguera, A. y Martínez, A., 2008. Pre-andean deformation in the southern central Andes (32°-33°S). VII International Symposium on Andean Geodynamics, Niza, Francia. Actas 1: 231-234.
- Jerram, D.A., Single, R.T., Hobbs, R.W., Nelson, C.E., 2009. Understanding the offshore flood basalt sequence using onshore volcanic facies analogues: an example from the Faroe–Shetland basin. Geological Magazine 146, 353–367.

- Landes, K.K., Amoroso, J.J., Charlesworth, L.J. Jr., Heany, F., y Lesperance, P.J., 1960. Petroleum resources in basement rocks. AAPG Bulletin, v.44, N° 10, p.1682 – 1691.
- Levorsen, A.I., 1954. Geology of petroleum. San Francisco, California. W.H.Freeman and Co., 703 p.
- Miall, A.D., 1999. Principles of Sedimentary Basin Analysis. Springer-Verlag, Berlin. 616 pp.
- Morley, C. K. 2002. A Tectonic Model for the Tertiary Evolution of Strike-Slip Faults and Rift Basins in SE Asia. Tectonophysics 347, 189–215.
- Osborne C., 1923. A theory to account for occurrence of oil in the vesicular cavities of igneous intrusions. AAPG Bulletin, v. 7, issue N° 3, Geological Notes, p. 288-290.
- Planke, S., Symonds, P.A., Alvestad, E., Skogseid, J., 2000. Seismic volcanostratigraphy of large-volume basaltic extrusive complexes on rifted margins. Journal of Geophys[1]ical Research-Solid Earth 105, 19335–19351.
- Powers, S., 1932. Symposium on occurrence of petroleum in igneous and metamorphic rocks. AAPG Bulletin, v.16, N° 8 (August), p.717 – 859.
- Powers S. & Clapp F., 1932. Nature and Origin of Occurrences of Oil, Gas, and Bitumen in Igneous and Metamorphic Rocks. AAPG Bulletin, v. 16, N° 8 (August), p. 719-726.
- Rossello E. y Barrionuevo M., 2005. El hemigraben invertido del yacimiento 25 de Mayo –Medanito SE : evolución geodinámica de un rift en borde de cuenca. Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Trampas (Mar del Plata). Memorias CD-Rom.
- Single, R.T., Jerram, D.A., 2004. The 3-D facies architecture of flood basalt provinces and their internal heterogeneity: examples from the Palaeogene Skye Lava Field. Journal of the Geological Society 161, 911–926.
- Sruoga. P y Rubinstein, N. 2004. Estudio Integral de Testigo Corona, Distrito Catriel, Cuenca Neuquina. Informe LCV.
- Udden, J.A., 1915. Oil in igneous rocks. Economic Geology, v.10, p.582 – 585.
- Valenzuela, M.E., Olea, G.M., Gutiérrez Pleimling, A. y Gavarrino, A. 2005. Evaluación del precuyano en el bloque Barranca de los Loros provincia de Río Negro. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, Actas en CD.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J., y Welsink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquen Basin, Argentina. En Tankard, A.J.; Suárez Soruco, R.; Welsink, H.J. (eds.), Petroleum Basins of South America: American Association of Petroleum Geologists, Memoirs 62: 383-402.
- Waichel, B. L., de Lima, E. F., Viana, A. R., Scherer, C. M., Bueno, G. V. & Dutra, G. 2012. Stratigraphy and volcanic facies architecture of the Torres Syncline, Southern Brazil, and its role in understanding the Paraná-Etendeka Continental Flood Basalt Province. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 215-216: 74-82.
- Spacapan, J.B., Ruiz, R., Mancada, R., D’Odorico, A., Rocha, 2021. Oil Production from a Sill Oil Production from a Sill Complex Within the Vaca Muerta Formation, in: Minisini, D., Fantín, M., Lanusse Noguera, I., Leanza, H.A. (Eds.), Integrated Geology of Unconventionals: The Case of the Vaca Muerta Play, Argentina. AAPG Memoir, pp. 1–26.
- Witte, J., Bonora, M., Carbone, C., 2012. Fracture evolution in oil-producing sills of the Rio Grande Valley, northern Neuquén Basin, Argentina 7, 1253–1277.