

ANALISIS DE FACIES RESERVORIO DEL MIEMBRO AGRIO SUPERIOR, YACIMIENTO DESFILADERO BAYO. NEUQUÉN

Marcos Asensio, Silvia Espinach.
YPF, marcos.a.asensio@ypf.com; silvia.espinach@ypf.com

En función de los resultados dispares en las campañas 2012-2015 de perforación en Desfiladero Bayo, se reevaluó el modelo geológico conceptual con el cual se trabajaba desde el año 2011. Aquel modelo interpretaba los depósitos del Mb Superior de la Fm Agrio como un sistema marino marginal.

A partir del análisis de la información regional de la unidad, los datos de coronas, la correlación cronoestratigráfica, estratigrafía secuencial de alta resolución e interpretación de geoformas en la sísmica, se definieron secuencias y asociaciones de facies. De esta primera etapa de análisis e interpretación, surgió un modelo geológico conceptual que interpreta a los depósitos de los términos cúspidales del Mb Superior de la Fm Agrio como un Complejo de Lóbulo/Canal de Plataforma. Éste sistema deposicional posee 4 asociaciones de facies (Lóbulo, Albardón, Canal y plataforma) siendo relativamente más simple que el utilizado previamente, ajustándose más a las condiciones regionales de la unidad.

A partir de éste modelo geológico conceptual se generó un Mapa de Índice de Facies. Su principal aporte es predecir, con relativamente alto grado de confianza, la distribución espacial de las facies reservorio y no-reservorio. Asimismo, esta herramienta predictiva puede usarse estratégicamente para definir las campañas futuras de desarrollo, como así también para la determinación de las mejores capas para inyección de agua y la optimización de la secundaria del campo.

Al término de este escrito se han perforado 4 pozos nuevos que han corroborado los datos predichos. Si bien este análisis fue realizado en una porción del área Desfiladero Bayo, los resultados y la relativa simpleza de la metodología, alientan a continuar desarrollando el trabajo y el modelo conceptual como herramienta para todo el campo.

Introducción

El Yacimiento Desfiladero Bayo se desarrolla a ambas márgenes del Río Colorado, introduciéndose en la Provincia de Mendoza (departamento de Malargüe) y se ubica dentro del ámbito de cuenca Neuquina a una distancia de 12 km al Noroeste del Campamento Rincón de los Sauces y junto al Yacimiento Puesto Hernández. Las producciones en este yacimiento provienen principalmente de los miembros Troncoso Superior y Agrio Superior, éste último lleva acumulado 7879 km³ de petróleo. También se registra algo de producción de la Formación Rayoso.

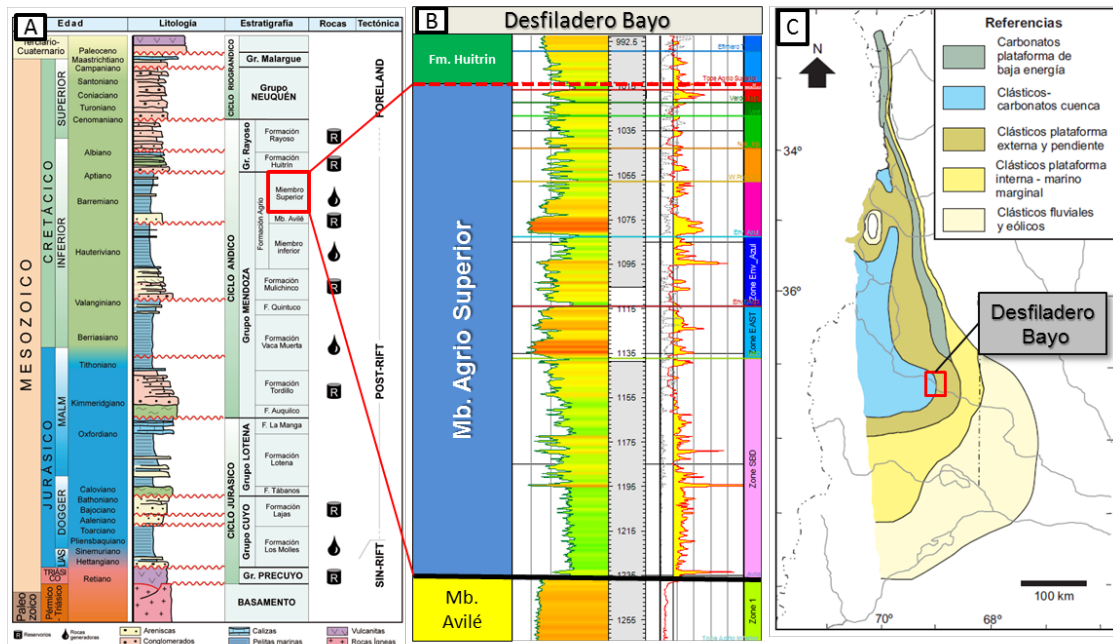


Figura 1: A) Columna estratigráfica de la Cuenca Neuquina (Modificado de Zavala et al. 2005). B) Detalle del log del Mb Agrio Superior en Desfiladero Bayo, con las respectivas divisiones de los principales intervalos productivos en colores. C) Reconstrucción paleogeográfica correspondiente a los depósitos marinos del Mb Agrio Superior (Tomado de Spalletti et al. 2011)

La Formación Agrio en el área de Desfiladero Bayo tiene una potencia de unos 580 metros y está compuesta por tres miembros, la porción inferior y superior de naturaleza marina, mientras que el término medio de la entidad se denomina Miembro Avilé, el cual es de origen continental. El Miembro Agrio Superior es uno de los principales reservorios productivos del Yacimiento Desfiladero Bayo y posee 230 metros de espesor aproximadamente. En el área mencionada se utiliza una nomenclatura interna que divide la unidad en segmentos informales definidos por colores y compuestos por una alternancia de areniscas, arcilitas y niveles carbonáticos.

Durante la campaña de perforación 2012-2015 se perforaron un total de 11 pozos en el sector más occidental del yacimiento denominado Zona Límite Puesto Hernández, los cuales obtuvieron resultados muy dispares, con producciones que varían de 30 m³/d a 2 m³/d de petróleo. El objetivo de este estudio se focaliza en analizar los términos cúspides del Miembro Agrio Superior que corresponde a los niveles Naranja, Verde y Rojo.

El siguiente trabajo se basa en datos de coronas, información de pozos, sísmica y estudios previos a distintas escalas (Manacorda, 1981; Sosa y Melli 1988; Legarreta y Gulisano 1989; Barrionuevo 2002; Vergani et al. 2001; Limeres et al. 2011; Spalletti et al. 2011). A partir de

este conjunto de datos, se interpretaron diferentes asociaciones de facies y sus elementos deposicionales asociados. Posteriormente, los resultados se graficaron en un mapa indicándose las mejores zonas reservorio y permitiendo explicar las producciones dispares obtenidas en los pozos.

Análisis de Agrio Superior

El Miembro Agrio Superior se apoya de forma concordante sobre una superficie de inundación que la separa de los depósitos continentales del Miembro Avilé (Fig. 1) y se encuentra coronada en su tope por una superficie irregular de incisión que canibaliza los depósitos del Miembro Chorreado (Fm. Huitrin) y parte del Miembro Agrio Superior (Legarreta y Uliana, 1999). Esta superficie estratigráfica de correlación regional ha sido denominada Discordancia Intrabarremiana o Pampatrílica (Leanza, 2009) y representaría un discordancia de Tipo 1 de Vail et al. (1984) o lo que Catuneanu (2002) denomina Base de la Regresión Forzada. La entidad posee varias dataciones que le asignan una edad de ca. 132 Ma (Aguirre Urreta et al. 2008), ubicando su depositación en el Hauteriviano (Cretácico Temprano) (Howell et al. 2005; Aguirre Urreta et al. 2011).

En el sector de Desfiladero Bayo, el Miembro Agrio Superior ha sido extensamente estudiado, existiendo diferentes interpretaciones paleoambientales para las mismas secuencias de facies. A manera de ejemplo podemos citar el trabajo de Sosa y Melli (1988) donde interpretan al nivel verde como un sistema marino costero con influencia de mareas, un modelo conceptual similar al que interpretan Limeres et al. (2011), reconociendo depósitos supramareales, intermareales y submareales de composición mixta (silicoclástica/carbonática) pero predominantemente silicoclástica. Por otro lado, Vergani et al. (2001) y Barrionuevo (2002) coinciden entre sí, que los términos cuspidales fueron generados en sistemas de playas (foreshore a shoreface bajo) con algunos intervalos de planicies aluviales. Finalmente, Spalletti et al. (2011) han hecho un análisis integrador de la unidad reflejando los aspectos principales tendientes a describir y comprender la litología y el ambiente que desarrolló los depósitos de la Formación Agrio. Su composición es predominantemente pelítica (lutitas, fangolitas y limolitas) con intercalaciones de sedimentitas carbonáticas (micritas, margas y carbonatos bioclásticos), areniscas y escasos conglomerados finos. Esta unidad tiene distribución regional encontrándose desde el sur de la dorsal de Huincul hasta la Cordillera Principal en Mendoza. En subsuelo, en la región oriental y nororiental del engolfamiento neuquino estos depósitos se correlacionan con las capas rojas continentales de la Fm Centenario (Digregorio 1972).

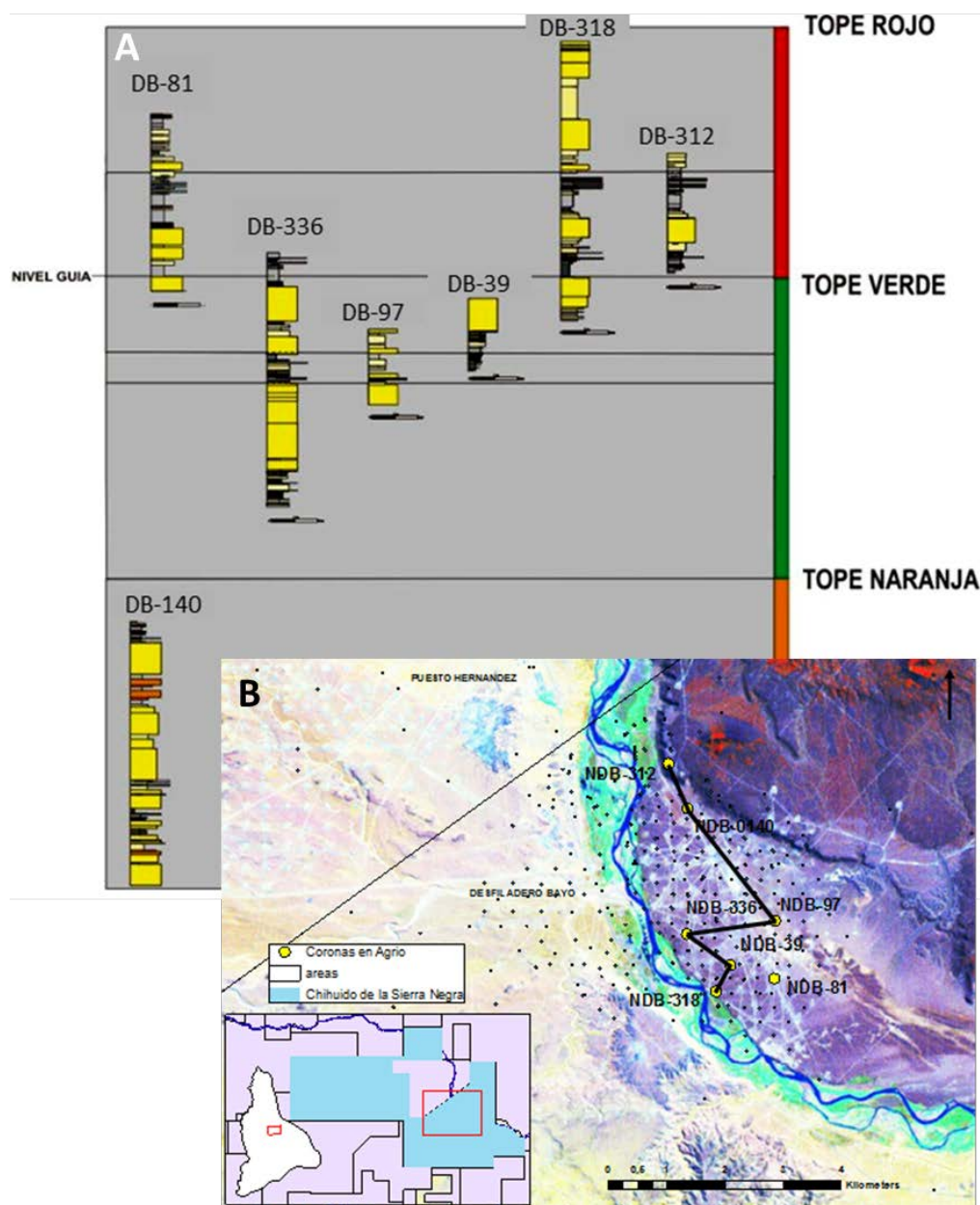


Figura 2: A) Corte con la posición estratigráfica de los distintos tramos de las coronas. Nótese que hay una buena distribución vertical de los núcleos a los largo de la unidad analizada; B) Mapa de Ubicación de las coronas del Mb Superior de la Fm. Agrio analizadas. (Tomado de Limeres et al. 2011)

Las facies marinas de la Formación Agrio se asocian a ambientes de rampa marina con lenta subsidencia (Legarreta y Gulisano 1989). Trabajos de modelado paleogeográfico generales, elaborados por Legarreta & Uliana (1991, 1996, 1999) han permitido tener una noción general de la distribución de los principales sistemas de depositación. Entre los mismo podemos mencionar que los depósitos del Miembro Agrio Superior se han acumulado en un ambiente marino abierto desde las zonas de cuenca – offshore hasta el shoreface (Spalletti et al. 2001).

Para el presente trabajo se analizaron datos a distintas escalas y alcances, las que incluyeron las interpretaciones previas por otros autores, datos de coronas, información de pozos y sísmica. Como resultado de estos estudios, se arribó a un modelo conceptual de aplicabilidad general para el intervalo estratigráfico y el área presentada en este trabajo.

Estudio de Coronas

Se analizaron unos 85.5 metros de coronas de 6 pozos ubicados en el Yacimiento Desfiladero Bayo. En algunos casos se contaba con descripciones previas realizadas por los Laboratorios de LCV y Graciela Rial y Asociados S.R.L., dichos informes fueron utilizados en el estudio, pero tanto en los casos en los cuales las coronas presentaban estudios previos como también en las que no, se realizó la descripción y análisis a escalas macro y mesoscópica, con el fin de obtener una correcta clasificación de facies y asociaciones de facies, para luego caracterizar el sistema depositacional.

- Corona Nivel Naranja

Este intervalo se encuentra representado en la corona del Pozo DB-140. En la misma se muestrearon dos intervalos a fin de construir una ley K/Phi (Fig.4).

También se realizaron cortes delgados de dos muestras para caracterizar petrofísicamente las facies (Fig.3).

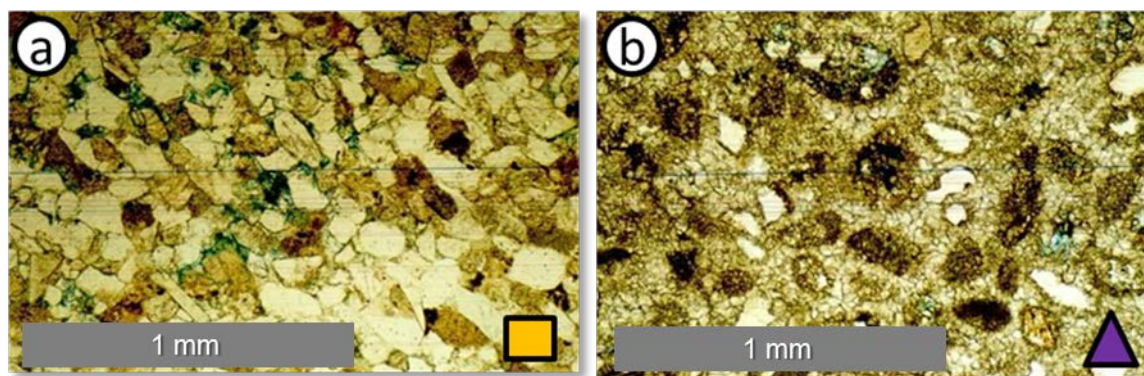


Figura 3: Microfotografías de secciones delgadas realizadas a dos muestras representativas de dos facies de un total de tres facies determinadas en el estudio de esta corona a) Facies de Albardón compuesta por arenita lítica muy fina, cemento de dolomita. Porosidad secundaria por disolución. Phi: 22,7%, K:169 mD; b) Bancos carbonáticos constituidos por facies de packstone arenoso con bioclastos, porosidad móldica, escasa conexión de poros. Cemento dolomita. Phi: 13,5%, K:0.17 mD.

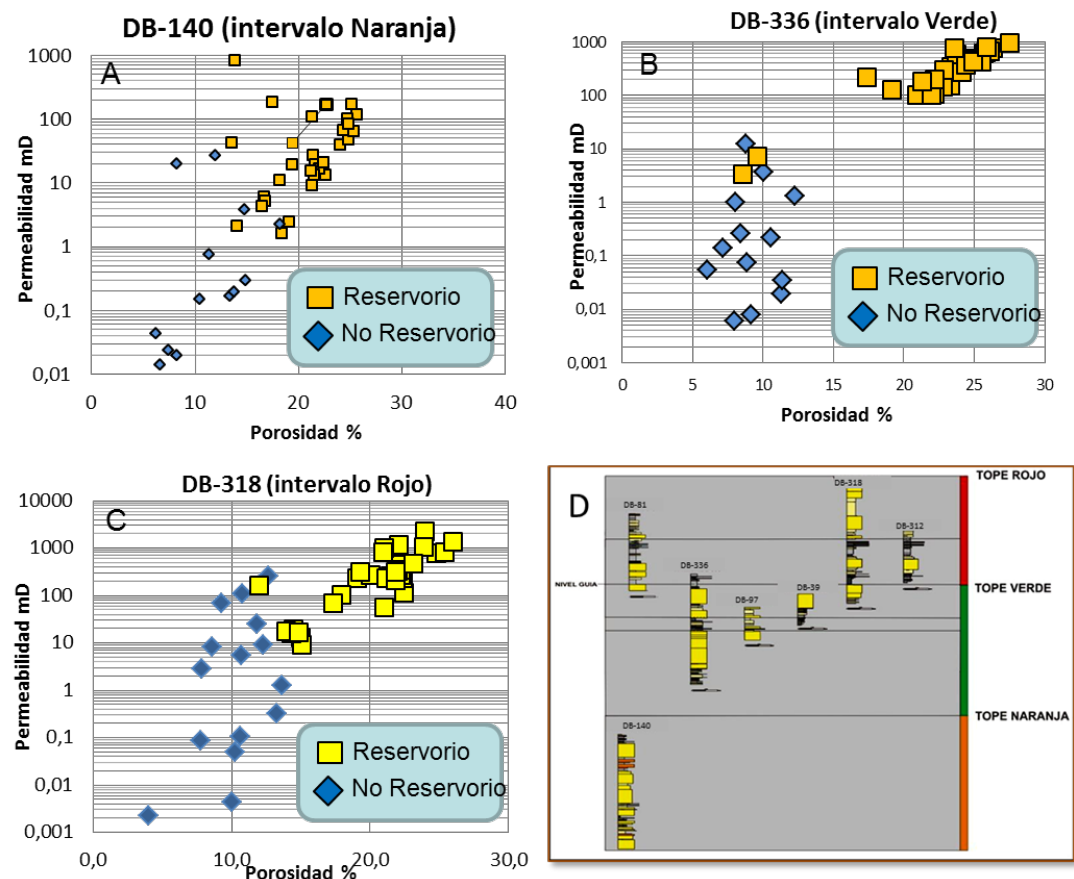


Figura 4: Relación K/Phi de las muestras tomadas en las coronas. La clasificación de reservorios o no reservorios es en función a su clasificación macroscópica y no a la de sus propiedades petrofísicas. Las facies reservorio corresponden a elementos deposicionales como canales, lóbulos y albardones, los cuales se describirán más posteriormente. Las facies no reservorio están relacionadas a finos de plataforma y bancos carbonáticos. Se puede observar que existe una relativamente buena correlación entre las facies definidas y los parámetros petrofísicos medidos. A) Relación K/Phi del pozo DB-140 en el intervalo Naranja. Consideramos que las mejores facies se encuentran en cortes de $>12\%$ Phi y $>10\text{mD}$; B) Relación K/Phi de las muestras de la corona del pozo DB-366, donde puede verse dos poblaciones bien diferenciadas en el intervalo Verde. Es notable la separación de las poblaciones, siendo bien marcado el contraste entre las facies consideradas reservorio y las no reservorio. C) Relación K/Phi de las muestras de la corona del pozo DB-318, donde puede verse dos nubes bien diferenciadas en el intervalo Rojo, repitiéndose nuevamente el mismo patrón que en los datos de las coronas anteriores; D) Ubicación de los intervalos de corona.

- Corona Nivel Verde

En el pozo DB-366 se seccionó un núcleo en el intervalo verde, donde se realizaron análisis petrofísicos y se determinaron valores de permeabilidad y porosidad de las facies determinadas como Reservorio o No Reservorio (Fig.4).

De las facies determinadas se realizó un corte delgado en la facies reservorio a fin de observar la heterogeneidad microscópica de la misma (Fig.5).

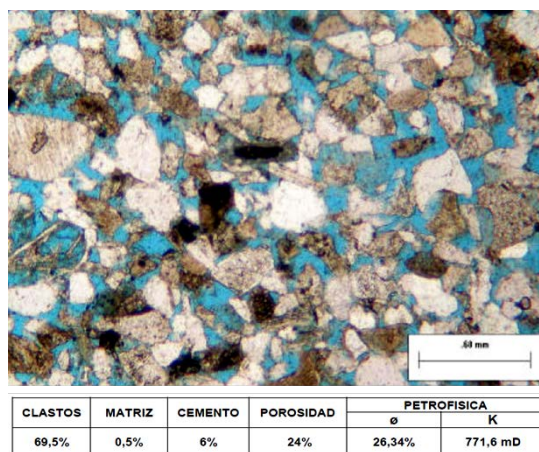


Figura 5: Microfotografía de la facies reservorio del Nivel Verde en la corona del pozo DB-366.

- Corona de los Niveles Rojo y Verde

En el pozo DB-318, se seccionaron núcleos que abarcaron los dos intervalos superiores del Mb Agrio Superior (Fig. 6). Los mismos son los de mayor importancia en los últimos pozos puestos en producción en la zona del Límite con el área Puesto Hernández (PH). Al igual que con las coronas anteriores, se tomaron muestras y se determinaron las relaciones K/Phi a fin de caracterizar petrofísicamente las facies (Fig.4).

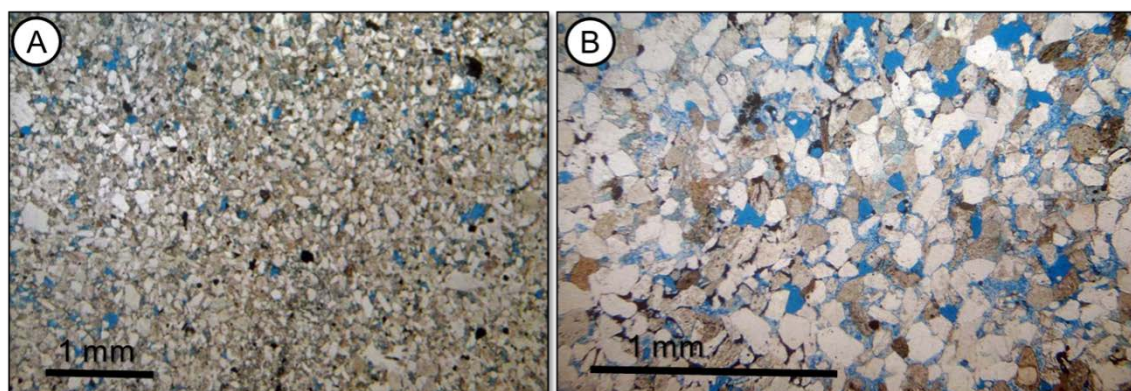


Figura 6: Microfotografías de las secciones delgadas de las facies reservorio de la corona DB-318 a) Arenisca muy fina. Porosidad móldica e intergranular. Cemento dolomita 951,13 mbbp. Phi: 9,9%, K:399,0 mD; b) Arenisca media. Porosidad móldica e intergranular. Cemento principal dolomita ferrosa 963,39 mbbp. Phi: 25,4%, K: 820,0 mD.

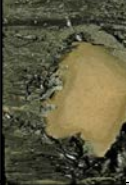
Facies	Descripción	Estructura	Observaciones	Interpretación	FOTO
Cct	Conglomerado con Carpetas de tracción	Intercalación de láminas de gravas con gradación inversa (Conglomerados finos grada a medio)	Clastos líticos principalmente de cuarcitas y rocas volcánicas. Presencia de intraclastos glauconíticos	Segregación granulométrica en flujos turbidíticos a concentrados.	
Ccm	Conglomerado clasto sostén masivo	Bancos de conglomerados clasto sostén sin estructuras.	Clastos líticos principalmente de cuarcitas y rocas volcánicas. Presencia de intraclastos glauconíticos	Depositos residuales producidos por el aumento del esfuerzo friccional en la base de flujos hiperconcentrados canalizados.	
Cmi	Conglomerado con clastos imbricados Clasto sostén	Estratificación horizontal, base erosiva. Clastos de heterolíticos (Areniscas y Pelitas). Cuerpos canalizados.	No se observa bioturbaciones ni estructuras de escape de agua	Depositos residuales de flujos hiperconcentrados ubicados en la base de cuerpos canalizados, producto del aumento del esfuerzo de corte del flujo sobrepasante.	
CDF	Cohesive Debris Flow	Clastos flotando en una matrix pelítica a arena fina.	Clastos intracuencales	Flujos producidos por colapso gravitacional donde la cohesión de la matrix ofició de mecanismo de sustentación y deposicional.	
Ssw	Arenisca con estratificación entrecruzada de bajo ángulo	Estratificación entrecruzada, de bajo ángulo, con truncaciones de los set al tope y bases asintóticas.	Presencia de finos restos carbonosos entre las láminas. Escapes de agua.	Flujos concentrados a hiperconcentrados. Tracción-decantación en corrientes turbulentas unidireccionales con flujos oscilatorios combinados.	
Ssm	Arenisca masiva	Areniscas finas a medias con moderada selección. Presentan niveles con clay chips.	Pueden encontrarse estructura dish o teepee (escape de agua). Escasa a nula bioturbación. Presencia de Hidrocarburos.	Agradación progresiva en bajos regímenes de flujo.	
Ssl	Arenisca con estructura laminada	Lámina paralela de alto régimen de flujo, con clay chips y finos restos carbonosos.	Suele darse en areniscas glauconíticas también. Presencia de láminas de restos carbonosos	Corrientes tractivas de alto régimen de flujo, bases netas a levemente erosivas. La presencia de restos carbonosos se asocia a un origen extracuencal.	
Scr	Arenisca con esrtatificación ondulítica escalante	Laminación ondulítica escalante, con material carbonoso intercalado.	Bajo grado de bioturbación dado por tubos verticales. Presencia de finos restos carbonosos. Escape de agua.	Depósitos generados por tracción-decantación de flujos turbidíticos a diluidos. (Facies de Stow)	

Tabla 1a: Descripción sintética de las facies observadas en las coronas.

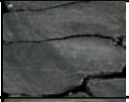
HTF	Facies con Flaser, lenticular o wavy bedding	Bancos con intercalación de pelitas y arenas finas con presencia de materia orgánica y micas. Grietas de sinéresis.	Bioturbación escasa a moderada. Icnofacies de Cruziana, con predominio de la icnofábrica de Planolites-Teichichnus (Teichichnus, Planolites, Scolicia, Thalasinoides, Terebelina y Chondrites) (Buatois et al. 2011)	Facies producto de inversión en la flotabilidad de flujos hiperpicnicos, dando como resultado capas intercaladas de areniscas finas a muy finas y pelitas con restos de plantas y micas. La colonización por organismos se produce en momentos de quiescencia. Turbiditas Finas (Stow)	
HSF	Heterolítica con Slump	Bancos de pelitas y areniscas con laminación convoluta	Estructuras de escape de agua. Bioturbación escasa a nula.	Depósitos producto de deslizamientos gravitacionales por inestabilidades de talud o márgenes de los canales.	
PGL	Arcillas Glauconíticas laminadas	Banco de Glauconitas laminadas	Nula Bioturbación.	Precipitación química o reemplazo de arcillas a partir del agua marina rica en hierro y potasio, condiciones anóxicas y tiempo en condiciones marinas tranquilas.	
Pm	Pelita Masiva	Estratificación cruda	Moderada bioturbación, tubos verticales y horizontales.	Puede relacionarse con una intensa bioturbación en condiciones de decantación de pelitas en condiciones de baja energía y/o por depositación de flujos cohesivos.	
PI	Pelita Laminada	Laminadas con delgadas láminas de limo y arena muy fina intercaladas.	Grietas de sinéresis.	Decantación de material fino en ambientes de baja energía con delgados niveles de arena y limo producto de aislados flujos tractivos. Grietas de sinéresis debido a cambios de salinidad. Escasa bioturbación por ambiente estresante.	
Ean	Anhidrita Detrítica	Bancos de detritos de anhidrita.		Transporte y retrabajo de clastos de anhidrita a posiciones más distales de la cuenca.	
KDF	Debris flows carbonáticos	Brechas de carbonatos y fragmentos de bivalvos y amonites en matriz de grainstone	Dolomitización.	Flujos producidos por colapso gravitacional donde la cohesión de la matrix ofició de mecanismo de sustentación y deposicional.	
Kpb	Carbonatos Packstone Bioclástico	Masiva con leve tendencia grano decreciente.	Presencia de tubos verticales y horizontales. Incipiente dolomitización.	Niveles carbonáticos posiblemente desarrollados por procesos tractivos de moderada energía con retrabajo de componentes carbonáticos y bioclastos	

Tabla 1b: Descripción sintética de las facies observadas en las coronas.

Análisis de Facies

Se realizó un análisis macroscópico de las coronas y se puso especial atención en la descripción de las características primarias de los cuerpos de roca, tales como litología, estructuras sedimentarias, geometría, y contenido fosilífero, a fin de posibilitar un minucioso análisis de facies. De estas observaciones se definieron 15 litofacies puntualizadas en la Tabla 1a y b.

Como resultado del análisis de facies, es que consideramos que la depositación de los reservorios del intervalo analizado está relacionada con **sistemas de Canal-Lóbulo de plataforma** (Fig. 7) de los cuales se ha avanzado mucho en su conocimiento gracias a los estudios del rol de las avenidas fluviales catastróficas en el control de la sedimentación clástica (Mutti et al., 1996, 2000; Zavala y Arcuri, 2016). Estos complejos de Canal-Lóbulo están

compuestos por cuatro elementos deposicionales: Canal, Albardón, Lóbulo y Pelitas de plataforma.

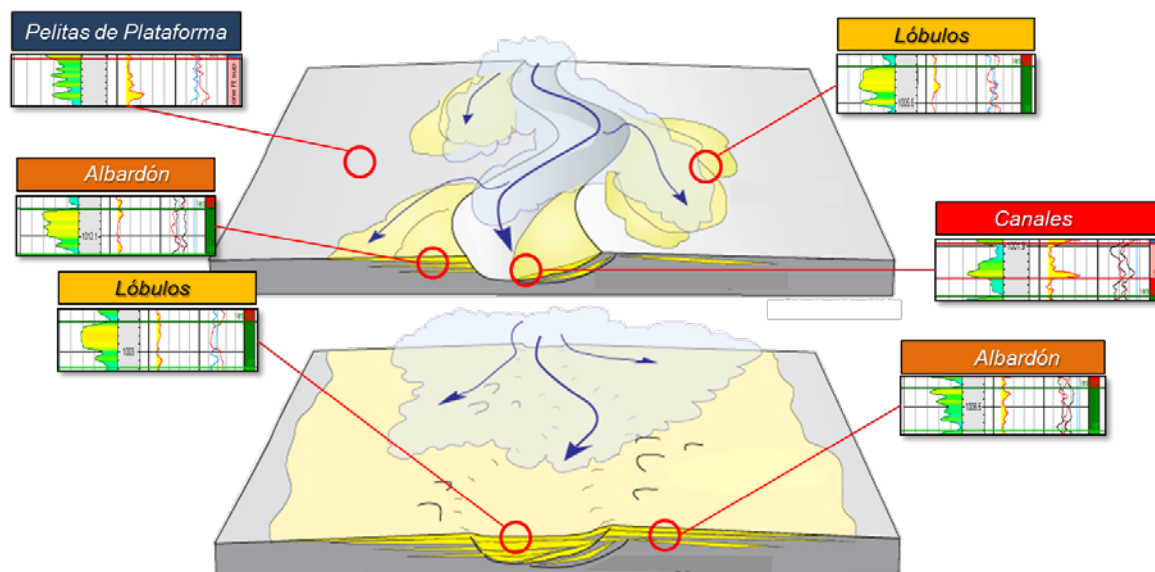


Figura 7: Modelo geológico conceptual de un sistema de Canal Lóbulo de Plataforma, donde se indican las electrofacies constituyentes y que pueden ser reconocidas en los distintos intervalos estudiados del Miembro Agrio Superior.

Facies de Lóbulos

Los lóbulos se componen de bancos de areniscas medias finas con buena selección. Suelen presentarse con estructuras laminares, *climbing ripples* y/o completamente masivas (Tabla 1a). Dada la naturaleza de los flujos de sedimentos que le dieron origen y las variaciones energéticas que sufren a lo largo de su desarrollo, los lóbulos pueden presentar una gradación de las facies descritas, desarrollándose superficies de *bypass* internas, niveles con *clay chips* y *rip-up clast*.

Estos cuerpos de roca suelen tener una geometría tabular, buen desarrollo areal y bases netas. Del estudio de coronas, la correlación de pozos y la información sísmica surgió que, en promedio tienen unos 2,5 metros de espesor y 2500 metros de desarrollo lateral, encontrándose excepcionalmente bancos de 6 metros de espesor (DB-336). Si bien el desarrollo vertical individual es menor al de la resolución sísmica, por apilamiento de varios eventos es posible detectarlos de forma simple en un cubo de amplitudes, como muestra la extracción de amplitudes (*horizon slice*) de la Figura 8. Si la tasa de acomodación es baja, entonces la detección de los mismos por métodos sísmicos no es tan factible, ya que no habrá contraste de impedancia con la roca hospedante.

Facies Canal

Estos cuerpos se caracterizan por la participación de facies más gruesas que los lóbulos en su constitución. Aunque en las coronas no se ha observado la presencia de hidrocarburos, a partir de los datos de producción de los pozos, consideramos que son excelentes rocas reservorio. Estos depósitos se caracterizan por bases erosivas, geometría lenticular, con superficies de reactivación interna asociada a la avulsión de los canales. Los clastos son subredondeados de origen variado, encontrándose principalmente líticos volcánicos y cuarcitas (DB-81), como así también intraclastos glauconíticos y *rip-up clast* (DB-140). La bioturbación es baja a nula. Las facies características son: Cct, Ccm, Cmi, CDF, Ssw (Tabla 1a).

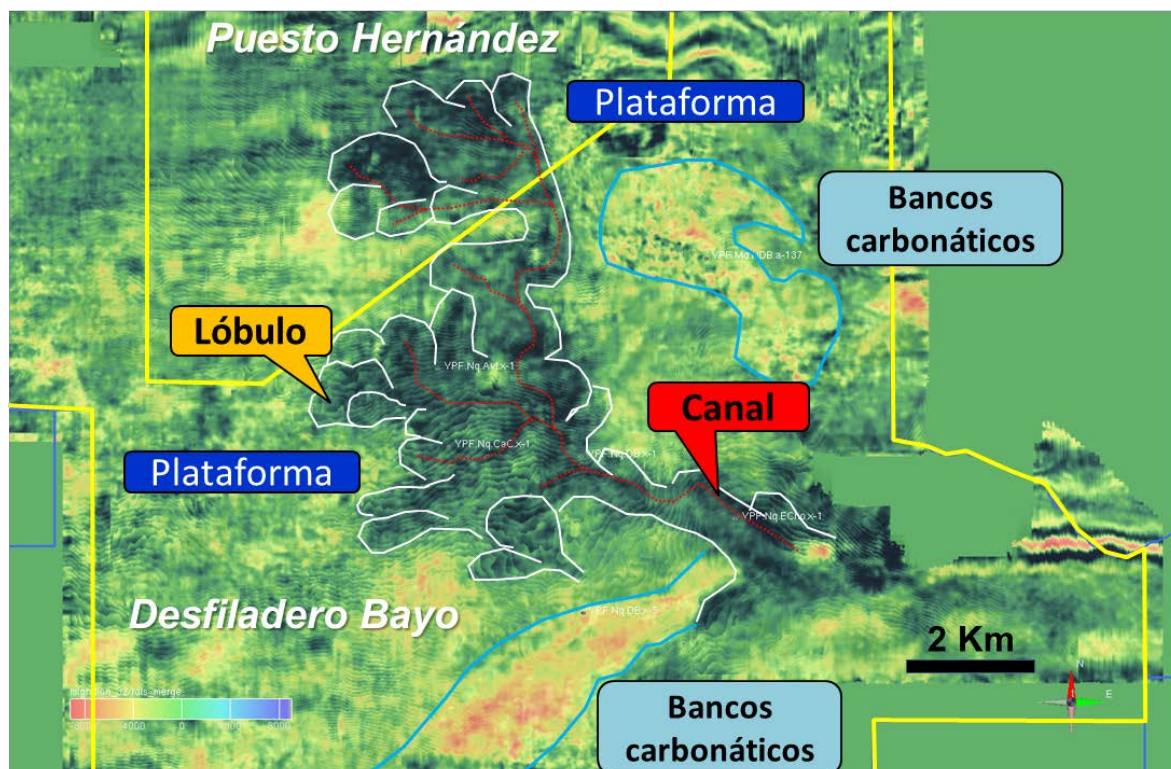


Figura 8: Horizon Slice del cubo de amplitud donde se observa el sistema Canal-Lóbulo y sus elementos constituyentes en Agrio Superior en el área Desfiladero Bayo.

Facies de Albardón

Esta facies se caracteriza por la predominancia de facies clásticas heterolíticas con un importante grado de bioturbación en algunos casos. La alternancia entre niveles arenosos (Facies Ssl, Scr. Tabla 1a) y pelíticos presenta en general una relación de 30%-70% aproximadamente, siendo estas facies las equivalente laterales de las facies de lóbulos.

Para la correcta determinación paleoambiental de las facies genéticas de este elemento deposicional se utilizaron las asociaciones de ichnofósiles, las que brindaron importante información sobre las características del medio en el que habían sido depositadas las facies heterolíticas. De esta manera se analizaron minuciosamente las trazas fósiles y se determinaron los siguientes ichnogéneros: *Teichichnus*, *Planolites*, *Scolicia*, *Thalasinoides*, *Terebelina*, y *Chondrites*. De acuerdo a Buatois et al. (2002), los mismos corresponderían a la Ichnofacies de Cruziana, caracterizada por ambientes tranquilos, ubicándose principalmente en posiciones de plataforma por debajo de la línea de ola hasta profundidades de 200 m. Posteriores estudios (Buatois et al. 2011) sugieren que estos ichnogéneros se asociarían con depósitos hiperpícnicos.

Estas determinaciones, sumadas a las secuencias de facies observadas nos llevaron a interpretar a estos depósitos como producidos por corrientes turbulentas de sedimentos, encontrando similitudes con la secuencia de Stow para Turbiditas Finas (Stow, 1979). Estos depósitos se desarrollan por el desborde de los canales hiperpícnicos, estando asociados a los laterales del mismo como así también en las partes distales de los lóbulos. Suelen encontrarse en contacto neto sobre la facies de pelitas de plataforma (Facies Pl). Si bien esta facies es la que presenta el mayor grado de heterogeneidad, de acuerdo a los ensayos de formación en estos intervalos, se han registrado muy buenas producciones.

Pelitas de Plataforma

Por último, se incluyeron en estas facies a las rocas con granulometría fina de tipo pelítico (Facies PGL, Pm, Pl. Tabla 1b), donde pueden alternarse niveles arenosos esporádicos, con abundancia de contenido orgánico, cemento calcáreo y alta tasa de bioturbación. Su extensión es arealmente la más importante de las 4 facies determinadas.

Bancos Carbonáticos

En las coronas se pudieron describir algunas de las facies carbonáticas que habían sido reconocidas en los pozos del área a partir de electrofacies (GR, PEF, etc.). Las mismas se describen como KDF y Kpb (Tabla 1b). Se destaca en las coronas que estas facies en general se encuentran sobrepuestas a los bancos de areniscas. A su vez, los rasgos resaltados en el *horizon slice* (Fig. 8) no llevo a interpretar que, asociadas a las facies clásticas, coexistirían bancos o parches carbonáticos que en ciertos momentos aportarían material por desestabilización gravitacional de los mismos.

Al menos en las coronas donde existen registros de facies carbonáticas (DB-140 y DB-81), las mismas están ubicadas por encima de las facies de Lóbulos y estos últimos están con total impregnación de hidrocarburos.

Análisis de Pozos

Se realizaron correlaciones de los pozos de la zona Límite Puesto Hernández utilizando técnicas de estratigrafía física, análisis de facies y estratigrafía secuencial, a fin de determinar la continuidad lateral, geometría y controles cicloestratigráficos en la unidad.

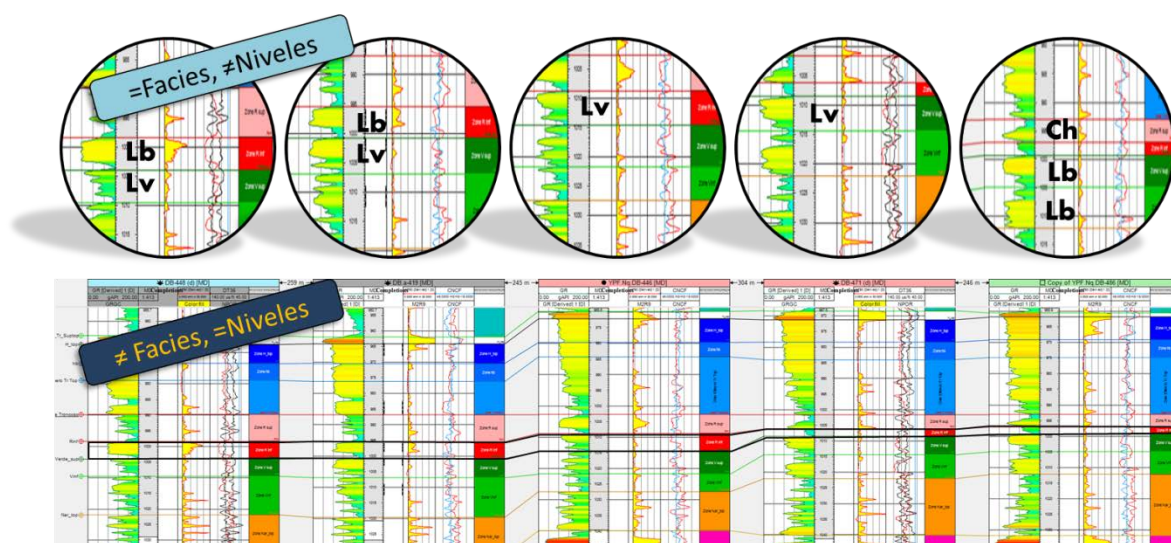


Figura 9: Ejemplo de correlación de algunos pozos en la porción más occidental del yacimiento lindante con Puesto Hernández. Este corte sirve para mostrar las relaciones laterales entre las electrofacies de los niveles involucrados. Nótese las relaciones que se infieren, encontrando electrofacies iguales en distintos niveles, y electrofacies distintas en el mismo nivel. Lb: Lóbulos, Lv: Albardones, Ch: Canales.

Las correlaciones de los pozos mostraron que en niveles iguales, se presentaban distintas facies, y a la inversa, encontrábamos facies similares en niveles distintos (Fig. 9). Otra característica que puede notarse al analizar las correlaciones es que en ciertos casos existe una correlación vertical entre las electrofacies definidas como cuerpos de lóbulos (Tabla 2), destacándose la compensación topográfica entre los mismos.

Modelo Conceptual

A partir de los análisis anteriormente descriptos, se decidió relacionar las litofacies de las coronas con las electrofacies observadas en los pozos. De esta forma, se pudo definir una equivalencia expresada en la Tabla 2. Una vez determinadas las electrofacies de Lóbulos, Levees (albardones), Canales y Pelitas de plataforma (Off Shore shale), se correlacionaron los distintos niveles involucrados en los pozos del sector occidental del yacimiento (Zona límite Puesto Hernández), observándose una correspondencia en las asociaciones de facies determinadas.

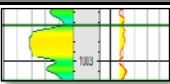
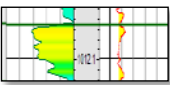
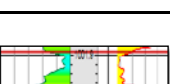
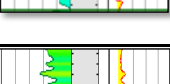
Facies	Código	Electrofacies	Perfiles	Litofacies	Características	Índice
Lóbulo	LB	Perfil cilíndrico		Ssw, Ssm, Ssl, Scr	Depósitos arenosos producto de flujos concentrados de sedimentos. Buena selección, geometría tabular, base neta.	4
Albardón	LV	Perfil aserrado con geometría de campana invertida		Ssl, Scr, Pl, HTF	Set de bancos granocrecientes con predominio de areniscas e intervalos heterolíticos. Se desarrollan en la periferia de los depósitos de canal. Predominan las facies de Tracción-decantación, Base neta a transicional.	3
Canal	Ch	Perfil acampanado		Cmi, Ccm, Cct, HSF, Ssw	Depósitos arenosos y conglomerádicos con gradación normal. Predomina el transporte por tracción y tracción decantación. Cuerpos lenticulares, base erosiva.	2
Plataforma	OS	Perfil aserrado		HTF, Pm, Pl, CDF	Depositos finos a heterolíticos por decantación de finos en plumas hipopícnicas y lofting. Base neta.	1

Tabla 2: Descripción de la correspondencia entre los elementos deposicionales del Sistema Canal-Lóbulo y las electrofacies y litofacies. Se destacan las características más sobresalientes y se las vincula con un índice de facies para poder mapearlas.

Durante este proceso, surgió la necesidad de contar con una herramienta que permita predecir la ocurrencia de las distintas facies del modelo geológico conceptual. De esta forma, se determinó que a cada facies descripta, se la podría relacionar a un índice, con el objeto de poder mapearla en los diferentes pozos. De esta manera y a partir de características tales como calidad de facies reservorio, desarrollo vertical y continuidad lateral se le otorgó un Índice de Facies de valor 4 al lóbulo por considerarla la mejor facies reservorio, y un Índice de Facies 1 a las pelitas de plataforma por ser las de peores características petrofísicas (Tabla 2). Cabe señalar que al Índice de Facies también se lo relacionó con una escala cromática determinada, a fin de facilitar su interpretación.

Consideraciones finales

En función del estudio realizado, se desprende que las facies reservorios del Miembro Agrio Superior en Desfiladero Bayo fueron depositadas por flujos hiperpícnicos. Los datos de coronas y las correlaciones entre pozos sugieren que los cuerpos de lóbulos tienen un promedio de 2 a 3 metros de potencia, alcanzando en algunos casos excepcionales los 6 metros. En lo que se refiere a sus dimensiones laterales, podemos concluir que en la zona de estudio, las facies de lóbulos se desarrollarían en cuerpos de 2500 metros de extensión como máximo para cada cuerpo individual como puede observarse en la Figura 8.

A partir de estas consideraciones del modelo geológico conceptual, sobre la depositación y génesis de las areniscas que conforman la parte cúspidal del Miembro Agrio superior, se elaboró un mapa de índices de Facies (Fig. 10), construido con la suma de los índices de facies por niveles para cada pozo (Tabla 2). La ventaja de esta metodología nos permite predecir los sectores con mayores índices de facies, traduciéndose en una mayor probabilidad de encontrar las mejores facies reservorio, y por consiguiente, elevar las probabilidades de éxito de los

sondeos futuros. Al predecir la presencia de las mejores facies reservorio reducimos la incertidumbre propia de la geología y del citado ambiente.

	Rojo Superior	Rojo Inferior	Verde superior	INDICE
x-1	LV	LV	LB	11
446	LB	LV	LV	10
481	Ch	LV	LB	9
61	OS	LB	LB	9
a-520	LV	LV	LV	9
e-2	LB	Ch	LV	9
220	LV	LV	LV	9
419	OS	LB	LB	9
74	LV	LV	LV	9
67	LV	LV	Ch	8
80	LV	OS	LB	8
469	Ch	LV	LV	8
448	OS	LB	LV	8
130	OS	LV	LV	7
442	OS	LB	Ch	7
463	LV	Ch	Ch	7
486	Ch	OS	LB	7
191	LV	OS	LV	7
472	LV	OS	LV	6
172	OS	Ch	LV	6
471	Ch	OS	LV	6
445	Ch	OS	LV	6
182	OS	OS	LV	5

Tabla 3: Pozos de la zona Límite Puesto Hernández donde se discriminan las electrofacies por nivel. LB: Facies Lóbulo (IF:4); LV: Facies Levee (IF:3); Ch: Facies Canal (IF:2); OS: Facies Pelitas de Plataforma (IF:1). En la columna de la derecha se encuentra la suma del Índice de Facies de los tres niveles, a partir del cual se construyó el mapa de la Figura 16.

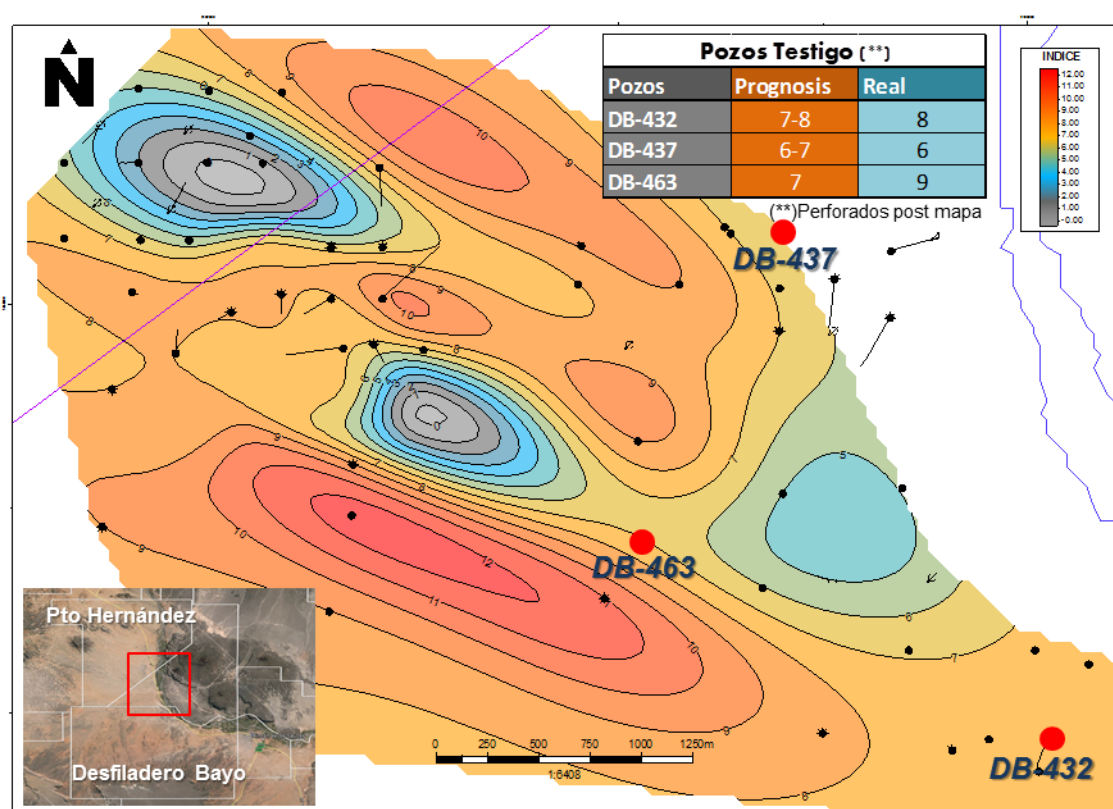


Figura 10: Mapa de la Zona denominada Límite Puesto Hernández, donde se concentra la actividad de pozos nuevos, (2013-2018), propuesto en el estudio 2014, representando los índices determinados a partir del análisis del modelo conceptual.

Bibliografía

Aguirre Urreta, M.B.; Pazos, P.J.; Lazo, D.G.; Fanning, C.M. & Litvak, V.D. 2008a. First U–Pb SHRIMP age of the Hauterivian stage, Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 26: 91-99.

Aguirre-Urreta B., Lazo D. G., Griffin M., Vennari V., Parras A. M., Cataldo C., Garberoglio R., Luci L. 2011. Megainvertebrados del Cretácico y su importancia Bioestratigráfica. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquen. 465-488.

Barrionuevo M., 2002. Reservorios del Miembro Agrio Superior de la Formación Agrio. En Schiuma M., Hinterwimmer G., Vergani G. eds. Rocas Reservorio de la Cuencas Productivas de la Argentina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. p. 447-456. Mar del Plata.

Buatois, L.A., Mángano, M.G. & Aceñolaza, F.G. 2002. Trazas fósiles: Señales de comportamiento en el registro estratigráfico. Museo Paleontológico Egidio Feruglio, Trelew. 382 p.

Buatois, L.A., Saccavino L.L., Zavala C., 2011. Ichnologic signatures of hyperpicnal flow deposits in Cretaceous river-dominated deltas, Austral Basin, Southern Argentina. En R.M. Slatt and C. Zavala, eds. Sediment Transfer from shelf to deep water- Revisiting the delivery system: AAPG Studies in Geology 61, p. 153-170.

Catuneanu, O. (2002). Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 35/1, pp. 1–43.

Digregorio, J.H. 1972. Neuquén. En: Leanza, A.F. (Ed.): *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba 439-506. Córdoba.

Howell, J.A., Schwarz, E., Spalletti, L.A. & Veiga, G.D. 2005. The Neuquén Basin: an overview. En: Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. & Schwarz, E. (Eds.): *The Neuquén Basin: a Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. Geological Society Special Publication 252: 1-14. Londres.

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: 145-184.

Legarreta, L. & Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior). En: Chebli, G. & Spalletti, L.A. (Eds.): *Cuencas Sedimentarias Argentinas*. Serie Correlación Geológica 6: 221-243.

Legarreta, L. & Uliana, M.A. 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of backarc basin fill, Central Argentine Andes. En: Macdonald, D.I. (Ed.): *Sedimentation, Tectonics and Eustasy. Sea level Changes at Active Plate Margins*. IAS Special Publications 12: 429-450. Oxford.

Legarreta, L. & Uliana, M.A. 1996. The Jurassic succession in westcentral Argentina: stratal patterns, sequences and paleogeographic evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 120: 303-330.

Legarreta, L. & Uliana, M.A. 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. 1. Facies sedimentarias. En: Caminos, R. (Ed.): *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 399-416. Buenos Aires.

Limeres A., Longo M., Pedersen G., Saccomano A., Meissinger, v., Cervera, m., Brein, c., Cersósimo S., 2011. Desfiladero Bayo. Modelo Estático Integral. YPF. Informe Inédito. 184 p

Manacorda L. E., 1981. Análisis Litoestratigráfico de la Formación Agrio entre los paralelos de 37° y 37°35' y los meridianos de 68°40' y 69°40' (Provincia de Neuquén y Mendoza). Tesis Final de Licenciatura. 51 p.

Spalletti, L., Poiré, D., Pirrie, D., Matheos, S. & Doyle, P. 2001. Respuesta sedimentológica a cambios de nivel de base en una secuencia mixta clástica – carbonática del Cretácico de la Cuenca Neuquina, Argentina. *Revista de la Sociedad geológica de España* 14: 57-74

Spalletti L. A., Veiga G. D., Schwarz E., 2011. La Formación Agrio (Cretácico Temprano) en la Cuenca Neuquina. *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino*. Neuquen. 145-160

Stow, D.A.V. (1979) Distinguishing between fine-grained turbidites and contourites on the Nova Scotia deep water margin. *Sedimentology*, 26, 371–387.

Vail, P. R., Hardenbol, J., and Todd, R. G. (1984). Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea-level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy. *In Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation* (J. S. Schlee, Ed.), pp. 129–144. American Association of Petroleum Geologists Memoir 36.

Zavala C.A., Mosquera A., Kim H. J., 2005. Los depósitos de la Formación Mulichinco (Valangianiano) en el área Fortín de Piedra- Cuenca Neuquina. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Actas Cd room, 14 pp. Mar del Plata.

Zavala C. A., Arcuri M., 2016. Intrabasinal and extrabasinal turbidites: Origin and distinctive characteristics. *Sedimentary Geology* 337, 36-54.

BREVE CV

Título y lugar de estudio:

Lic. En Cs Geológicas, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

13 años de experiencia como geólogo de superficie y subsuelo con sustancial experiencia en numerosas cuencas petroleras en Argentina (Neuquén, Ñirihuau, Golfo San Jorge y Cuyo), Perú (Marañón y Santiago); y Ecuador (Cuenca Oriente). Durante la primera etapa de mi carrera profesional comencé con trabajos de consultoría para compañías petroleras (Petrobras y Repsol-YPF) en tanto que por otro lado realizaba mi doctorado en sedimentología y estratigrafía secuencial de la Cuenca de Ñirihuau (Oligoceno superior-Mioceno) y actividades de docencia en la Universidad Nacional del Sur. En 2008, comencé a trabajar en Tecpetrol como geólogo de exploración, estudiando oportunidades exploratorias en Perú y en Argentina. Luego en 2010, trabajé como geólogo de estudios en la Cuenca del Golfo San Jorge, analizando los depósitos fluviales cretácicos con el fin de ajustar el modelo geológico del Yacimiento El Tordillo. Ya en el 2012, empecé a trabajar en el modelo estático de dos campos principales en Ecuador, Libertador y Atacapi. Posteriormente, en 2013, en busca de nuevas oportunidades, empecé a trabajar en YPF como geólogo de exploración en la Cuenca Cuyana.

Cargo actual en la empresa:

Desde 2015 me desempeño como Geólogo de estudios del Activo el Portón.