

INTERPRETACIÓN TECTONO-ESTRATIGRÁFICA SECUENCIAL DE LA FORMACIÓN LAJAS, EN LA ESTRUCTURA DE RÍO NEUQUÉN-LINDERO ATRAVESADO

María Verónica Hammar¹, Gabriela Marinho² y Pablo Tramannoni³

1: YPF S.A. veronica.hammar@ypf.com

2: AspenTech. gabriela.marinho@aspentech.com

3: YPF S.A. pablo.tramannoni@ypf.com

Palabras clave: Estratigrafía Secuencial, Formación Lajas, Evolución Tectónica

ABSTRACT

Recently, the incorporation of new data enabled the interpretation of new tectonic stratigraphic units of Lajas Formation, on the Río Neuquén and Lindero Atravesado fields in Neuquén basin.

This discussion is driven by the integration of core data analysis, well correlation and seismic facies classification volumes generated from complex trace attributes. Use of discrete volumes improves detection of layers boundaries.

We interpret twenty units of fourth-order hierarchy included in four third-order stratigraphic sequences. The tectonic origin of these units is linked to the uplift of the Río Neuquén structure during the lower Toarcian.

Towards the end of the Toarcian, seismic data seems to record evidences of the arrival of sediments from the Huincul High through truncations of topsets of the underlying sequences.

Additionally, we combine seismic facies with well information in order to integrate data with different resolutions. We classify the impedance volumes into another seismic facies volume and calibrated them with electrofacies. Then, we create 3D probability volumes of occurrence for each electrofacies. The resulting volumes supported a more predictive facies propagation in the geological model.

The high resolution tectono-stratigraphic interpretation enhanced reservoir location predictions. In this way, such analysis enables driving the development of the business towards areas of greater productivity.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo conocer la distribución de los reservorios de la Fm. Lajas (Weaver 1931), en la estructura de Río Neuquén y Lindero Atravesado, perteneciente a los yacimientos homónimos.

El área se encuentra en el sector sudoriental de la Cuenca Neuquina, a 30 km al Norte de la ciudad de Neuquén (Fig. 1).

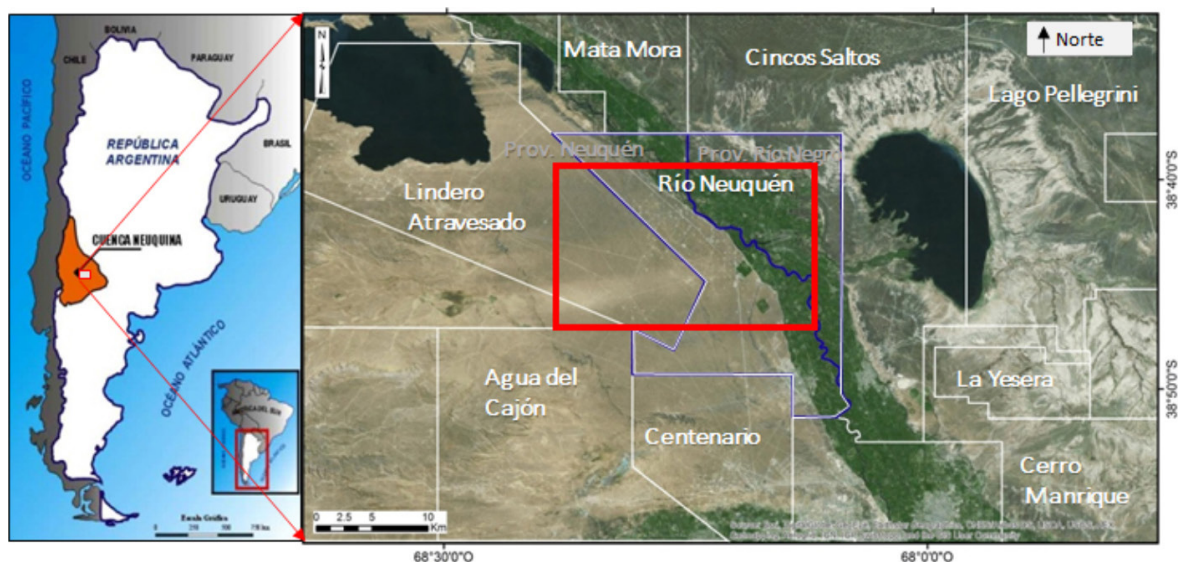


Figura 1. Ubicación del área de estudio, áreas Lindero Atravesado y Río Neuquén.

Actualmente el requerimiento energético del país ha impulsado los proyectos de producción de gas. La Fm. Lajas adquiere especial relevancia por tratarse del intervalo más productivo en el Yacimiento Río Neuquén y Lindero Atravesado, donde los reservorios son de tipo *tight gas* y produce en conjunto con la Fm. Punta Rosada (Digregorio 1972), de características similares (Fig. 2).

El yacimiento Río Neuquén fue descubierto en el año 1971 mediante la perforación del pozo CG x-1 (Campo Grande) que alcanzó las formaciones Punta Rosada y Lajas, pero por falta de conocimiento y tecnologías adecuadas para explotar este tipo de reservorios, solo quedó productivo de petróleo de Fm. Sierras Blancas. Luego, en el año 1998 se perforó el pozo RN.xp-1007 con objetivo a las Fms. Punta Rosada y Lajas, el cual, fue estimulado y resultó descubridor, demostrando el potencial de estos reservorios. Posteriormente, el desarrollo fue discontinuo, especialmente por la falta de un mercado de gas con precios apropiados e incertidumbres técnicas en cuanto a la mejor manera de desarrollarlo. A partir del año 2006, comenzó una nueva etapa piloto en el desarrollo del campo. Con la utilización de tecnologías y mejores prácticas enfocadas en el desarrollo de este tipo de reservorios, se obtuvo una importante mejora en la productividad de los pozos. Desde el año 2015 comenzó la etapa de desarrollo intensivo del yacimiento, (De la Cruz Olmos 2018) que a la fecha lleva 70 pozos perforados con objetivo de las Fms. Lajas y Punta Rosada.

Respecto a Lindero Atravesado, el primer pozo de Fm. Lajas comienza a producir en el año 2000 pero al igual que en Río Neuquén, el desarrollo del campo se produjo entre 2015 y 2017 con la perforación de más de 100 pozos al este del bloque, sobre la estructura que se extiende hacia el área de Río Neuquén.

ESTRATIGRAFÍA Y ESTRUCTURA

El basamento de la cuenca en esta área es el Grupo Choiyoi constituido por series volcánicas de composición mesosilícica y silícica de edad Pérmico Temprano hasta Triásico Temprano (Llambías y Sato, 1995).

A partir del Triásico superior-Jurásico inferior comenzó una etapa de rift (Mombrú y Uliana 1978) caracterizada por depósitos volcanoclásticos continentales del Ciclo Precuyano definidos por Gulisano *et al.* (1981) y la sección inferior de la Fm. Los Molles (Weaver 1931), que rellenan depocentros localizados en forma de hemigrábenes con dirección preferencial ONO-ESE.

Posteriormente, representando la etapa de relleno de post-rift, tuvo lugar una etapa de subsidencia termal generalizada donde se depositaron los sedimentos del Jurásico inferior a medio (Turic *et al.* 1987), permitiendo así el comienzo de las progradaciones de los depósitos de las formaciones Los Molles superior, Lajas y Punta Rosada, finalizando esta etapa con las formaciones Lotena, Sierras Blancas y Catriel.

El grupo Cuyo se encuentra limitado por la discordancia regional Intraliásica en su base y el techo con la discordancia regional Intracalloviana (Dellapé *et al.* 1979). Se integra por la Fm. Los Molles, de ambiente marino profundo, considerada como la roca generadora del sistema petrolero (Berdini *et al.* 2011; De la Cruz Olmos 2018). Por encima, se encuentra la Fm. Lajas constituida por areniscas muy finas a finas, areniscas finas a medias conglomerádicas, areniscas arcillosas, fangolitas y limolitas. En la zona posee espesores variables entre 150 y 450 metros y en base a su bioestratigrafía y dataciones de circones se habría depositado entre los 182,7 MA y los 178,4 MA abarcando el Toarciano temprano (Brinkworth *et al.* 2017). Se interpreta formada en ambiente de frente deltaico fluvio dominado. (Hammar *et al.* 2018; Arregui *et al.* 2019). Para culminar el grupo se deposita la Fm. Punta Rosada constituida por arenisca, conglomerados y pelitas de ambiente fluvial que representa la etapa de continentalización en este sector de la cuenca.

En forma concomitante con la sedimentación, bajo la influencia de un esfuerzo horizontal máximo Jurásico con dirección NO-SE (Pángaro *et al.* 2006a; Silvestro y Subiri 2008) y controlado por la geometría de los hemigrábenes, cuya escarpa de falla principal posee rumbo NNO-SSE, se produce el levantamiento por inversión tectónica de los hemigrábenes, generando la estructura principal de Río Neuquén, correspondiente a un anticlinal elongado con deformación transpresiva (Berdini *et al.* 2002; Silvestro y Subiri 2008). En la zona alta de la estructura, se desarrolla un sistema de fallas en sentido NNE-SSO generado durante este mismo evento y coincide con una zona de transferencia (Cristallini y Olmos, 2016) entre dos hemigrábenes de mayor subsidencia hacia sus laterales (Fig. 2).

Sobre el Grupo Cuyo, en discordancia angular (intracalloviana) yace el Grupo Lotena, constituidos en esta área por sedimentos silicoclásticos de la Fm. Lotena (Leanza 1992; Arregui *et al.* 2011). Sobre esta unidad apoyan las Fms. Sierras Blancas y Catriel de ambientes continentales y edad Jurásico Superior (Digregorio 1972).

Durante el Tithoniano se produce una nueva transgresión marina, representada en la columna estratigráfica (Fig. 2: b) por pelitas de la Fm. Vaca Muerta, a las que sucede un conjunto de secuencias depositacionales mixtas, carbonático-silicoclásticas con arreglo progradante que constituyen la Fm. Quintuco (Berriasiano-Valanginiano Temprano). Suprayace a éstas un potente espesor de clásticos gruesos depositados en ambiente continental, predominantemente fluvial, correspondiente a las Fms. Mulichinco y Centenario (Valanginiano-Cenomaniano) en respuesta a la subsidencia termal aun activa (Berdini *et al.* 2011).

Para culminar, el relleno sedimentario contemporáneo con las primeras etapas de alzamiento andino está constituido por los depósitos silicoclásticos continentales del Grupo Neuquén (Cretácico superior), representando la etapa de antepaís. En esta región no se han identificado otros registros que permitan documentar la influencia de las etapas posteriores de la Orogenia Andina (Berdini *et al.* 2011).

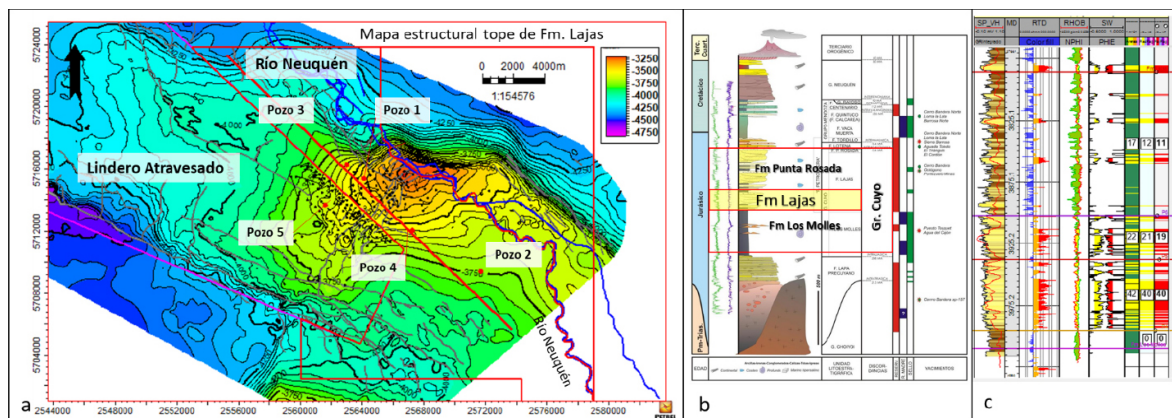


Figura 2. a. Mapa estructural al tope de Fm. Lajas con la ubicación de los pozos con coronas, (Sistema de coordenadas POS-GAR07). b. Columna estratigráfica modificada de Brisson, I y Veiga, R. 1999. c. Perfil de un pozo tipo de Fm. Lajas, ubicado en el centro de la estructura. Tracks: 1° *gamma ray* y potencial espontáneo, 2° profundidad., 3° resistividad profunda, 4° densidad y neutrón, 5° porosidad efectiva y saturación de agua, 6° espesor de areniscas (<15% VCL), 7° reservorio (<15% de VCL y >4% de PHIE) y 8° espesor útil (<15% de VCL, >4% de PHIE y >50% SW).

METODOLOGÍA

La metodología de trabajo puede enumerarse en 4 etapas: 1. Análisis de las descripciones de coronas y agrupación de facies. 2. Estudio, propagación de electrofacies y correlación de pozos. 3. Generación de volúmenes de facies sísmicas a partir de atributos *post-stack* y cálculo de volúmenes de probabilidades de ocurrencia para cada electrofacies. 4. Integración de los análisis anteriores e interpretación tectono-estratigráfica.

Primeramente, se analizaron las cinco coronas que atraviesan el intervalo analizado y sus descripciones de detalle provenientes de laboratorio. Se evaluaron los posibles procesos de sedimentación, reconociendo las litofacies y sus asociaciones. A partir de este análisis, se interpretaron los ambientes y subambientes de sedimentación para cada tramo de las coronas.

Dichas muestras y sus descripciones de laboratorio fueron agrupadas en 5 facies en función de su granulometría y fábrica. A partir de ellas y sus respuestas eléctricas, se generaron electrofacies utilizando los siguientes perfiles: *gamma ray*, densidad, neutrón e impedancia p . Estas fueron supervisadas por los pozos con coronas y propagados al resto de los pozos. Luego con registros de *gamma ray*, densidad, neutrón, sónico, resistividad y las electrofacies, se correlacionaron 170 pozos correspondientes a los yacimientos Río Neuquén y Lindero Atravesado.

El análisis estratigráfico secuencial consistió en la identificación de veinte unidades sismo-estratigráficas que se describen a continuación siguiendo la metodología propuesta por Mitchum *et al.* (1977) para las clasificaciones de terminaciones estratales y el análisis de los quiebres de pendiente (Helland-Hansen W. y Martinsen, O.J., 1996; Helland-Hansen W., Hampson J.G., 2009). La definición de los cortejos sedimentarios y los límites de secuencias se interpretaron de acuerdo con los límites de secuencias propuestos por Hunt y Tucker (1992) y Helland-Hansen & Gjølberg (1994).

Por otro lado, a partir del cubo de amplitud sísmica PSDM, se calcularon atributos post-stack de traza compleja, de frecuencia y de fase: frecuencia instantánea, frecuencia dominante, segunda derivada de la energía y coseno de fase instantánea. A través del Análisis de Componentes Principales (PCA) se filtraron los componentes que menos aportan a la variación del dato, o sea, redundancia y ruido, de la combinación de atributos sísmicos utilizada. Finalmente, dicha combinación fue utilizada en la clasificación no supervisada de facies sísmicas, basada en la tecnología de redes neuronales. Se seleccionó un volumen discreto de 11 facies sísmicas que resaltan los límites de capas, apoyando a la reinterpretación estratigráfica secuencial. Adicionalmente,

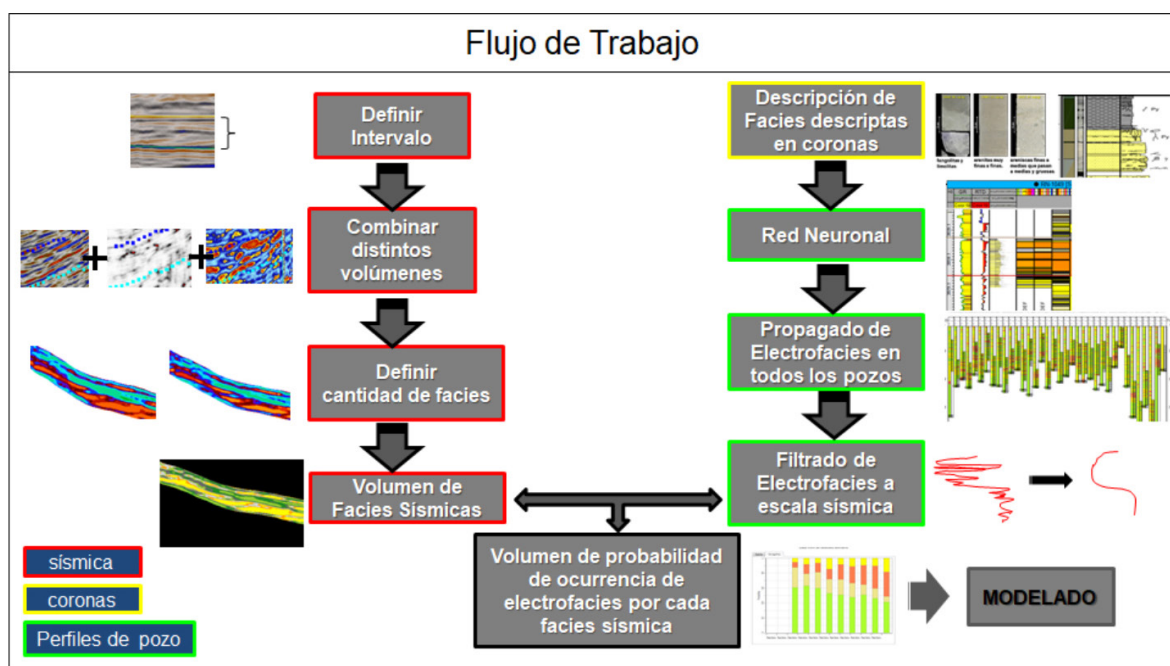


Figura 3. Flujo de trabajo del modelo de facies a partir de los datos sísmicos y de pozos.

se utilizaron volúmenes de impedancia P e impedancia S , provenientes de la inversión elástica existente, para una segunda clasificación no supervisada de facies sísmicas. De este ejercicio se seleccionó, también, un volumen de 11 facies sísmicas. Este volumen discreto fue usado para la correlación con las electrofacies de los pozos, filtradas a la escala sísmica (Fig. 3). Luego, se realizó un análisis 3D entre ambos: para cada facies sísmica, el algoritmo contabilizó la presencia de cada electrofacies y calculó su probabilidad de ocurrencia. Para facilitar la comprensión, se construyó un histograma conteniendo ambos datos. Como resultado, fueron generados volúmenes de probabilidad de ocurrencia de cada electrofacies para ser utilizados en el poblado de facies de los modelos geológicos.

La interpretación sísmica integrada a los análisis anteriores a diferentes escalas; coronas, pozos y sísmica, permitió la validación y definición de las unidades tectono-estratigráficas.

CORONAS

Para el presente trabajo se analizaron 5 pozos con 249 metros de roca provenientes de coronas de la Fm. Lajas. Cuatro de Río Neuquén y una de Lindero Atravesado (Figura 2). Dos de las extraídas en Río Neuquén son coronas continuas de 87 y 66 metros que atravesaron los principales reservorios. En las cinco coronas se describen un total de 27 facies distintas, que evidencian la heterogeneidad y variabilidad ambiental del intervalo analizado. Estas fueron agrupadas en cinco facies, de acuerdo con su granulometría y fábrica; heterolitas predominantemente pelíticas, heterolitas con abundantes areniscas, areniscas muy finas a finas y medias laminadas, areniscas finas a medias hasta conglomerádicas y conglomerados. Es importante destacar que dicha agrupación responde a la necesidad de asociar respuestas similares para ser identificadas por registros de pozo y ampliar el dato de análisis, y no responde a una mera simplificación. Cada facies y sus asociaciones fueron analizadas, y de estas se desprenden las interpretaciones de ambientes y subambientes. Esto permite relacionar los datos de roca con las respuestas de perfiles y a su vez con las geoformas sísmicas, honrando los datos a cada escala y conociendo la variabilidad que incluyen. Los subambientes descriptos en laboratorio corresponden a barras de desembocadura con influencia marina y barras de desembocadura con influencia fluvial, frente deltaico proximal, frente deltaico distal a prodelta, planicie interdistributaria y bahía/ planicie inferior, todos pertenecientes a un ambiente de delta fluvio dominado (Rodríguez *et al.* 2019; Monti *et al.* 2019).

UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS Y JERARQUÍAS

En las coronas, la Fm. Lajas, presenta variaciones cíclicas propias del ambiente de sedimentación y sus subambientes. Estos ciclos están representados por cambios de facies que responden a

procesos de sedimentación vinculados espacial y genéticamente. A modo de ejemplo, se expone el intervalo de corona del pozo 4 (Fig. 4). El espesor de estos ciclos varía desde centímetros hasta los 5 metros. Los conjuntos de estos ciclos, limitados por superficies de inundación (*flooding surfaces*, en adelante fs) representan parasecuencias, definidas como las unidades mínimas estratigráficas (Van Wagoner *et al.* 1988, 1990). En el total de las coronas presentan espesores variables de 8 a 20 metros.

Las fs se identifican como máximos de *gamma ray* en los registros de pozo. En las coronas, en algunas ocasiones, fueron descriptas como la base de depósitos finos de interbarras bioturbadas por *Macaronichmus isp.* y *Chondrites isp.* que indican una amplia ventana de colonización y condiciones anóxicas (Monti *et al.* 2019).

Las parasecuencias se interpretan de 5° orden y no tienen resolución sísmica. Con un orden menor, se reconocen unidades de mayores dimensiones, interpretadas en este trabajo de 4° orden, (Vail *et al.* 1977). Si bien, no se cuenta con dataciones de estos niveles, con el detalle que se requeriría para definirlos, esta jerarquización se basa en la frecuencia de fluctuaciones en las condiciones de sedimentación y en su magnitud (Embry 1993, 1995) y (Catuneanu *et al.* 2009). Las unidades de 4° orden poseen espesores variables de 30 a 75 metros. Es importante comprender la complejidad interna que pueden contener al estar constituidas por unidades de mayor jerarquía, y esto en ocasiones le aporta variaciones a la geometría total de la geoforma sísmica. En las 5 coronas analizadas se observa la misma ciclicidad y las dimensiones de las parasecuencias son comparables. En la Figura 4 se observa el pozo 4, donde la corona continua atraviesa todo el frente deltaico de techo a piso. A la izquierda se observa, un tramo de la amplitud sísmica 3D con los horizontes en línea punteada, como puede observarse los mismos fueron interpretados siguiendo el mínimo de amplitud (colores fríos). En pozos, de acuerdo con las coronas y los registros eléctricos se interpreta el tope de la secuencia en la parte superior de la unidad con arreglo progradante, coincidente con la inflexión de *gamma ray* (línea continua), y luego se ajustaron los horizontes a los topes de pozo, en este caso por su jerarquía limita las unidades de 4° orden.

Al tope la unidad basal (P4) se observa una superficie estratigráfica que marca una profundización del sistema donde sedimentos correspondientes a posiciones más someras están por debajo de sedimentos de ambientes más profundos donde se describen trazas de *Thalassinoides sp* (Rodríguez *et al.* 2019).

INTERPRETACIÓN TECTONO-ESTRATIGRÁFICA

El tope de la Fm. Los Molles en esta zona coincide con una superficie de máxima inundación, *maximum flooding surface* (en adelante mfs), sobre la que apoyan clinoformas correspondientes a la Fm. Lajas (Fig. 5). Las mismas fueron mapeadas en volúmenes sísmicos 3D, denominadas como P1, P2, P3 y P4, e interpretadas como progradaciones depositadas en un ambiente de frente deltaico.

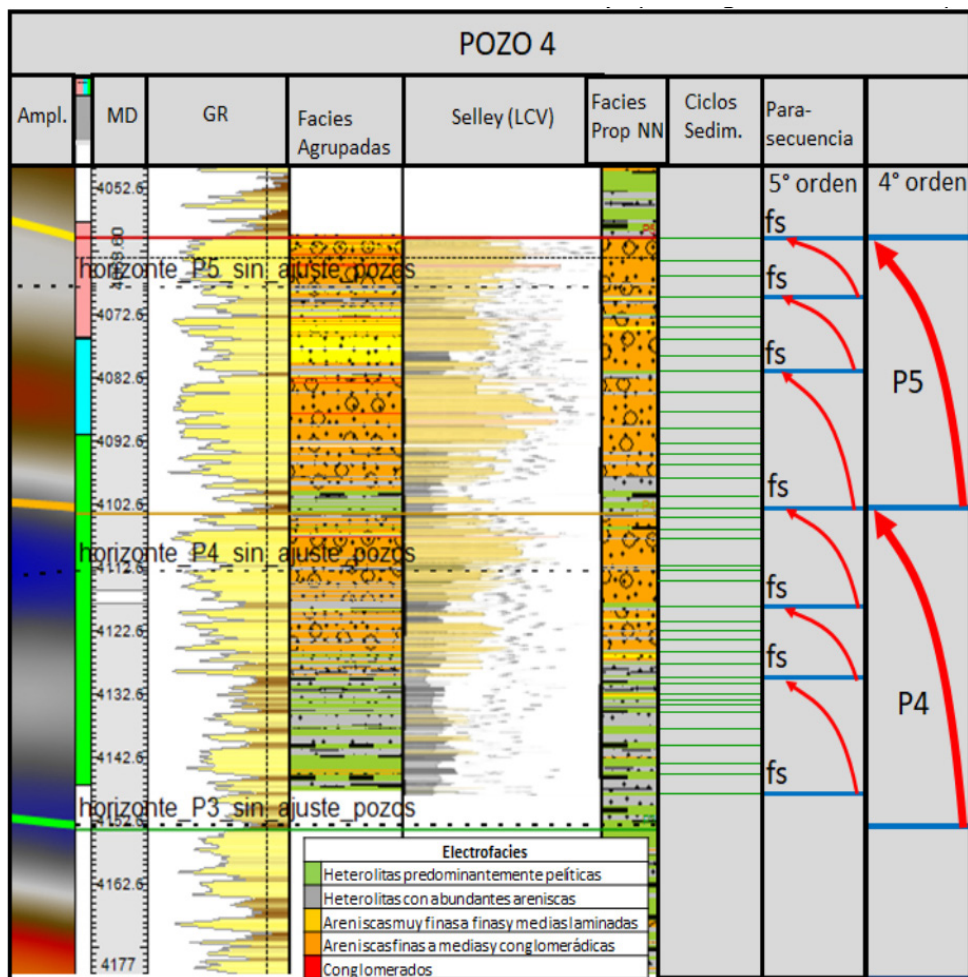


Figura 4. Pozo 4 con corona. De izquierda a derecha se enumeran los tracks: 1° un tramo de la amplitud sísmica 3D [fríos (-) cálidos (+)]. 2° tramo de coronas. 3° profundidad medida. 4° *gamma ray*. 5° facies agrupadas de las descripciones de laboratorio. 6° selley (Y-TEC). 7° electrofacies propagadas. 8° ciclos sedimentarios. 9° para-secuencias de 5° orden. 10° secuencias estratigráficas de 4° orden (P4 y P5).

Presentan terminaciones de reflectores de tipo downlap sobre la mfs (tope de Fm Los Molles) y sus toplaps se muestran preservados. Esta sucesión de estratos en su conjunto se interpreta como depositado durante un cortejo de mar alto *Highstand Systems Tract*, (en adelante HST).

El área de aporte de estas unidades se ubica al SE y las mismas progradan hacia el NO. Muestran rasgos de incisos erosivos en sus topes que migran de sur a norte desde P1 a P4. Esta migración de los incisos es un rasgo característico de este tipo de ambientes, en los cuales las barras de desembocadura presentan una acreción lateral, en este caso de sur a norte. También se observa una rotación antihoraria de la zona de quiebre de pendiente identificada por Hammar et.al (2018) a nivel local y por Naipauer *et al.* (2017) en el análisis regional.

El bottomset de las clinoformas es interpretado como una zona de prodelta, contemporáneo a las unidades anteriores. Internamente en este depósito se reconoce una unidad denominada L1, en referencia a lóbulo por su geometría. Se lo considera como originado posiblemente por

flujos densos que ingresaron al cuerpo de agua marino con mayor energía alcanzando posiciones internas de prodelta distal. Este depósito no ha sido perforado hasta el momento por lo que se desconoce su litología y composición. La geometría lobulada y la respuesta de las facies sísmicas podría ser indicio de facies arenosas.

Sobre P4 apoya P5, una clinoforma que muestra relación de *offlap* sobre la anterior. Esta relación se interpreta como una regresión forzada *Falling-Stage Systems Tract* (en adelante FSST). Durante la depositación de esta unidad el nivel de base bajó dejando expuesta a la erosión las unidades anteriores, compuestas por depósitos de barras de desembocadura mayoritariamente arenosos. Este material psamítico disponible en las proximidades puede haber favorecido a la depositación de capas de mayor espesor continuo de areniscas en esta secuencia y a la baja probabilidad de preservación de niveles psefíticos, dentro de la misma.

Sobre estas unidades se interpreta un límite de secuencia *Sequence Boundary* (en adelante SB). (Catuneanu *et al.* 2009), y su presencia podría marcar el inicio de la estructuración (Fig. 5).

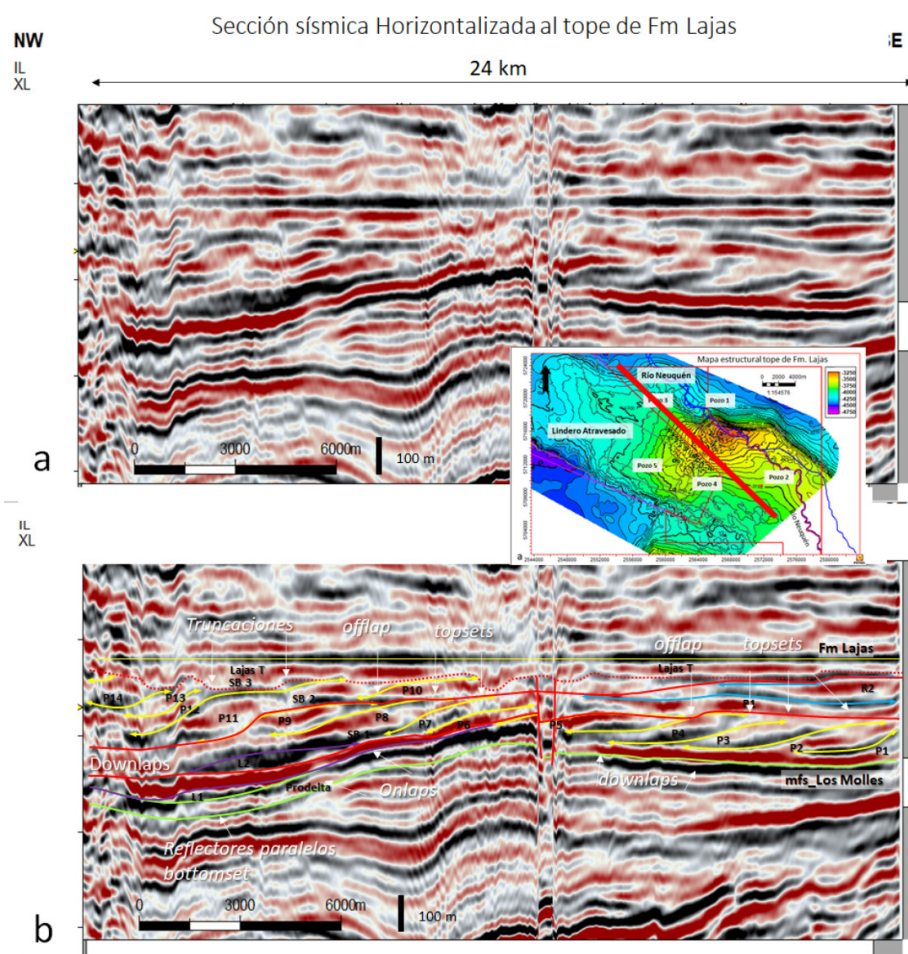


Figura 5. Sección NO-SE horizontalizada al tope de la Fm. Lajas. a: Sin interpretación. b: con interpretación (Modificado de Hammar *et al.* 2018). Se señalan los tipos de terminaciones estratales identificadas y las unidades interpretadas. P: progradaciones. L: lóbulos. R: retrogradaciones. SB: límites de secuencia.

Por encima de la superficie SB 1 hacia el SE, se reconocen dos unidades retrogradantes, que podrían vincularse a un backstepping, dado por una ingresión, denominadas R1 y R2. Se las interpreta como el registro de un periodo transgresivo (*Transgressive Systems Tract*, en adelante TST) por su posición, geoformas, su relación y la litología descrita por control geológico e interpretada de datos de perfiles de pozos; donde se describen sucesiones grano y estrato decrecientes, con cuerpos arenosos de poca extensión areal que presentan alta proporción de litologías psefiticas de coloración verdosa. Los ejemplos de este tipo de depósitos suelen ser escasos en el registro geológico, por tratarse de depósitos de margen de cuenca, en este caso el levantamiento de la estructura para estos tiempos podría haber sido clave en la preservación de estas unidades, quedando en el flanco al reparo de la mayor erosión (Fig. 5). Asimismo, al ser una zona con posible erosión y exposición, los cuerpos arenosos existentes suelen carecer de continuidad lateral y podrían encontrarse preservados coexistiendo tanto depósitos transgresivos como regresivos de ambientes de planicies de inundación deltaica asociados a los topsets de las progradaciones.

Hacia el noroeste, Hammar *et al.* (2018) proponen una zona de lóbulos que luego, con la descripción de la corona 3 y los volúmenes de facies sísmicas, en este trabajo se reinterpretaron como una nueva secuencia de clinoformas; denominadas P6, P7, P8. Estas unidades son consideradas como progradaciones depositadas en una etapa de mar alto (HST), junto al lóbulo L2, también interpretado como un posible depósito de flujos densos, contemporáneo a las progradaciones. Este último podría responder a una reactivación tectónica o a fenómenos climáticos. Estas unidades comprenden un nuevo periodo de HST e integran la segunda secuencia identificada. La unidad P9, presenta una relación de *offlap* con la unidad precedente, por lo que se la interpreta como una nueva regresión forzada (FSST).

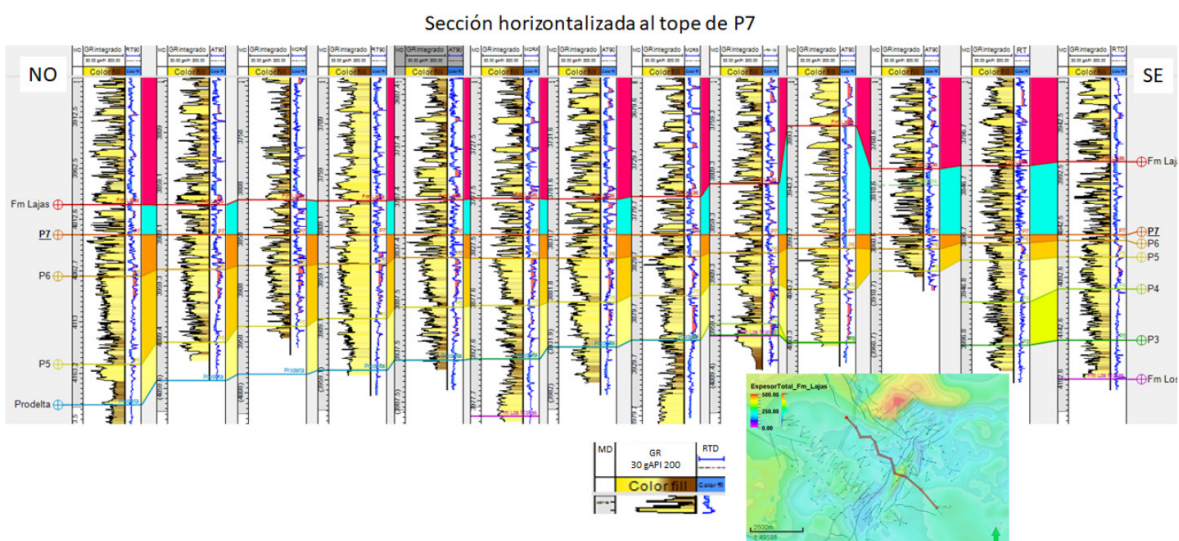


Figura 6. Sección de pozos con orientación NO-SE, horizontalizada al tope de P7.

Por encima, la superficie SB2 limita a la segunda secuencia. Asociado a esta superficie, se observa un levantamiento de la estructura y se reconoce por una disminución de espesor en la parte central de la misma, dado por una reducción en el espacio de acomodación y/o erosión y preservación de espesor hacia los flancos. Se lo considera un evento tectónico, de mayor magnitud que los anteriores (Figs. 5, 6 y 7).

Las unidades que integran las primeras dos secuencias, comprendida entre el tope de Fm. Los Molles y la SB2 (correspondiente al tope de P7 en Fig. 6) atraviesan la zona central de la estructura y las fallas NNE-SSO, presentando espesores conservados a ambos lados. Esto es considerado

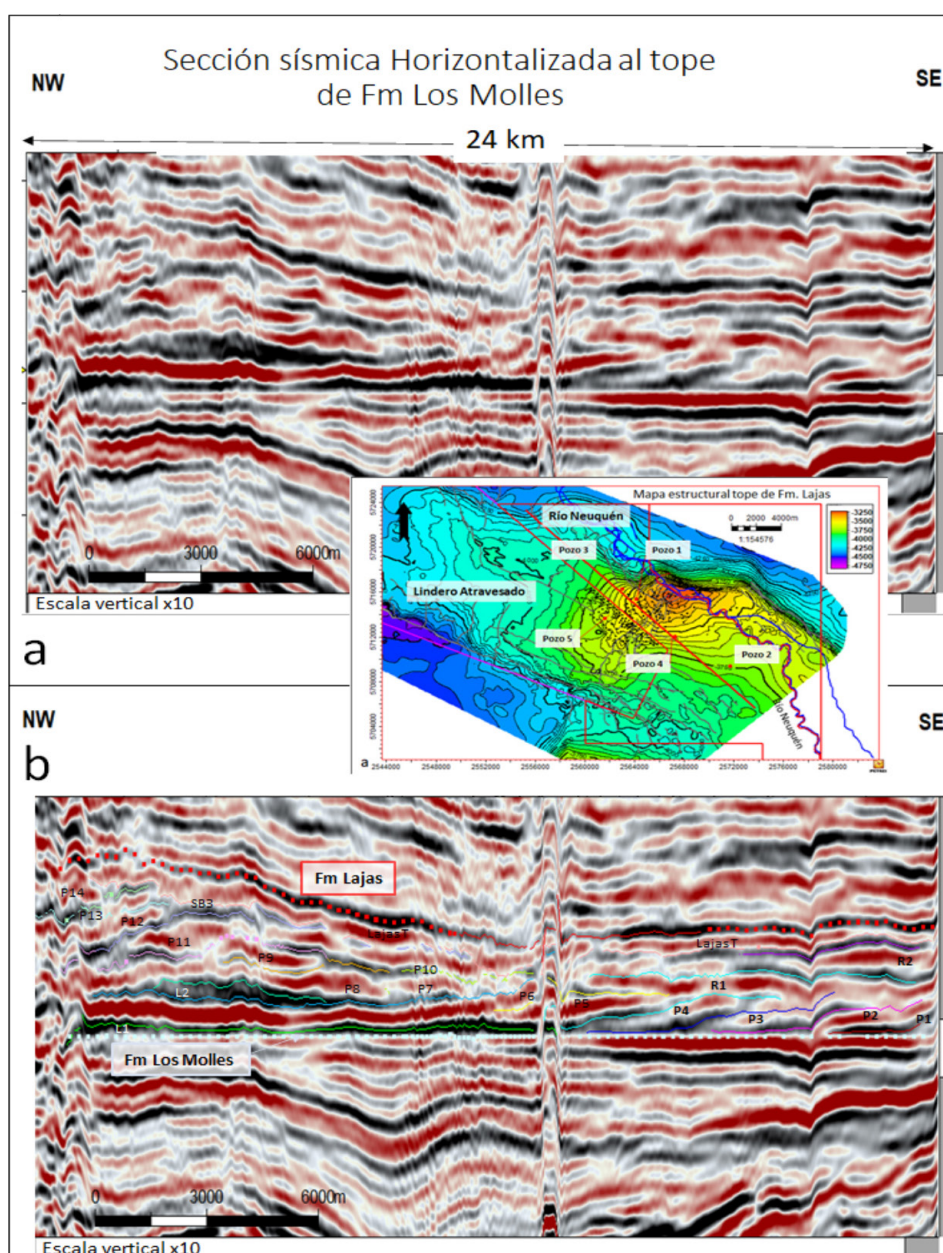


Figura 7. Sección NO-SE horizontalizada al tope de Fm. Los Molles. a: sin interpretación. b: con interpretación. Exageración vertical x10.

como la evidencia de que para esos tiempos no existía la estructura de Río Neuquén como un alto positivo. A su vez, en la Fig. 6 se observa una variación de espesor en el tramo comprendido entre P7 y el tope de Lajas, dando evidencias de la actividad tectónica posterior a la sedimentación del frente deltáico pero contemporánea a la sedimentación del intervalo superior de Fm. Lajas.

En la Figura 7 se observa la sección sísmica de la Figura 5, pero horizontalizada al tope de la Fm. Los Molles. Las unidades que integran el frente deltaico, antes descriptas, presentan espesores uniformes a ambos lados de la zona de fallas, ubicada en la zona central de la sección. Al momento de la sedimentación de dichas unidades en este sector de la cuenca la plataforma tenía geometría de rampa, con gradiente de bajo ángulo (Brinkworth *et al.* 2017). Por esta razón, se considera que una horizontalización no replica la paleotopografía, pero resulta útil a los fines de comparar espesores e inclinaciones relativas de las clinoformas. Por esto mismo, también queda en evidencia un posible quiebre de pendiente en la zona central del área estudiada, posicionando la zona de prodelta y lóbulos a mayores profundidades, con leve inclinación cuenca adentro (hacia el NO).

Hacia el NO con características progradantes hacia el interior de la cuenca se observa una nueva secuencia integrada por clinoformas denominadas P10, P11, P12, P13 y P14. Interpretadas como un nuevo HST. Estas progradaciones en la horizontalización al tope de Fm. Lajas (Fig. 5) presentan mayor inclinación que las anteriores y esto se considera un indicio de haber sido levantadas con posterioridad a su depositación. Si bien la mayor inclinación podría ser causada por otros factores, se considera que el factor principal fue el evento tectónico ya que en la zona superior de estas unidades se observa una superficie con carácter erosivo, denominada SB3, que corta los toplaps de las clinoformas (P12, P13 y P14) de la tercera secuencia (Fig. 8). Esta superficie genera incisiones en dirección SO-NE, o NE-SO sobre las progradaciones, que evidencian un cambio en la procedencia de los sedimentos, perpendicular a la orientación de las áreas de aporte de las unidades subyacentes (Fig. 8).

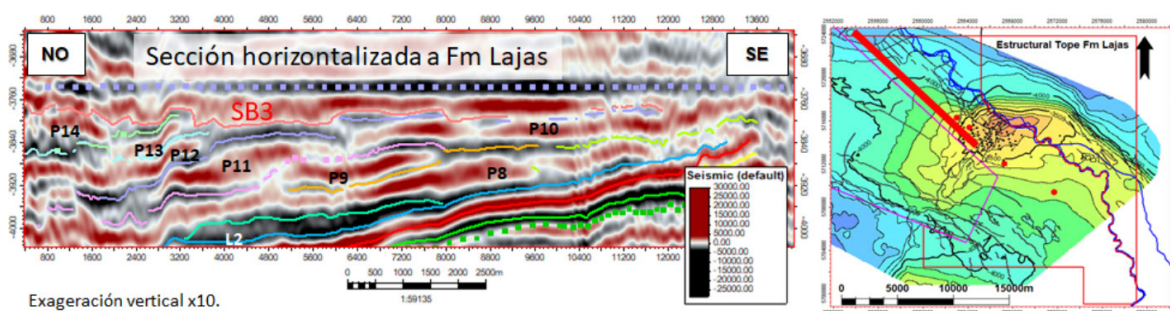


Figura 8. Sección NO-SE ubicada al NO del área de estudio, se interpreta la SB3 truncando los topsets de las clinoformas P12 y P13. Mapa de ubicación, (Sistema de coordenadas POSGAR07).

El límite de secuencia SB3 es interpretado como un evento tectónico responsable de una fuerte erosión y/o falta de sedimentación sobre la estructura principal, de mayor magnitud respecto a los límites de secuencia inferiores. Este cambio en la zona de aporte podría estar relacionado

a la llegada de sedimentos provenientes de la Dorsal de Huincul, ubicada 15 kilómetros al SO aproximadamente. Ésta habría comenzado a levantarse a los 183 MA (Mosquera y Ramos, 2005; Pángaro *et al.* 2006) y de acuerdo con las edades y la correlación con las superficies analizadas por Brinnkworth *et al.* (2017) la llegada de sedimentos habría ocurrido a finales del Toarciano temprano (178,4 MA).

La unidad Lajas T abarca el intervalo comprendido entre SB3 y el tope de Lajas suele tener entre 20 y 80 metros de espesor (Fig. 8 y 9). Hacia la zona norte, esta capa presenta mayores espesores, superando los 140 m, aunque al ser una zona de fallas la mayor acumulación o preservación de espesor está relacionada al evento tectónico local.

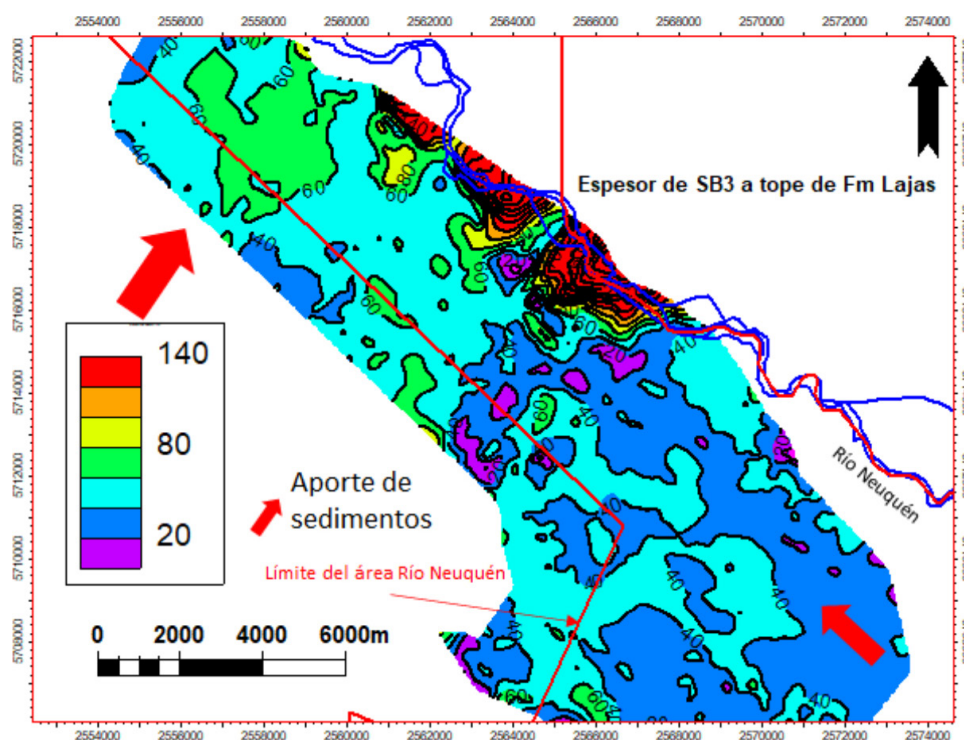


Figura 9. Mapa de espesor de la unidad Lajas T comprendida entre SB3 y el tope de Fm. Lajas. Se observa las posibles orientaciones de la procedencia de sedimentos (Sistema de coordenadas POSGAR07).

No se puede descartar que el aporte sea desde el borde de cuenca ubicado al NE del área de estudio, pero se considera menos probable, dado que la migración del quiebre de pendiente de las progradaciones antes mencionado, podría ser indicio de una basculación de la cuenca hacia el norte. A su vez se registra mayor subsidencia hacia la zona Norte, donde se encuentra el bajo de Añelo, respecto a la Dorsal de Huincul que comenzaba a levantarse para esos tiempos en el suroeste del área de estudio. De igual manera, es probable que parte del material depositado en la unidad Lajas T haya continuado proviniendo, en menor medida desde el SE, como en las unidades subyacentes (Fig. 9).

El tope de la Fm. Lajas ha sido interpretado siguiendo un reflector sísmico de buena continuidad regional (máximo de amplitud). Por control geológico se observa una capa de mayor granulometría (areniscas gruesas) de entre 4 y 6 metros de espesor que se la considera la base de Fm. Punta Rosada.

Recientemente se perforó un pozo en la zona entre fallas NNE-SSO, que permite ajustar la interpretación de los horizontes en base al dato de pozo (Fig. 10). E interpretar a dichas fallas como contemporáneas a la deformación y relacionadas al levantamiento de la estructura, desde el inicio de la estructuración producto de la inversión tectónica transpresiva de los rellenos de los hemigrábenes, que inicia hacia finales del Toarciano temprano. A diferencia de lo interpretado por Berdini *et al.* (2002) donde define dichas fallas como un graben simétrico, cuya génesis se la atribuye al colapso de la estructura en el punto de máxima deformación hacia el final de la etapa transpresiva (Caloviano-Kimmeridgiano).

En la Figura 10 se observa la sección sísmica NO-SE (a) con un acercamiento a la zona central de la estructura (c y d). En las secciones se observan la interpretación sísmica y los datos de pozo. Se observa que las unidades P4, P5, P6 y P7 no tienen variaciones de espesor vinculado a actividad tectónica a ambos lados de las fallas (esta afirmación se combina con la observación a escala de pozo, Fig. 6 y 12). Lo que da indicio de ausencia de la estructura, para el momento de la depositación. El engrosamiento de la Fm Lajas hacia el intervalo superior de la formación es indicio del comienzo de la actividad de las fallas, observándose el rechazo de fallas en el horizonte de Los Molles, al horizontalizar al tope de Fm Lajas (Fig. 10: d). Este rechazo es del orden de los 20 metros, y al estar muy próximo a la resolución vertical de la sísmica es importante el dato de pozo.

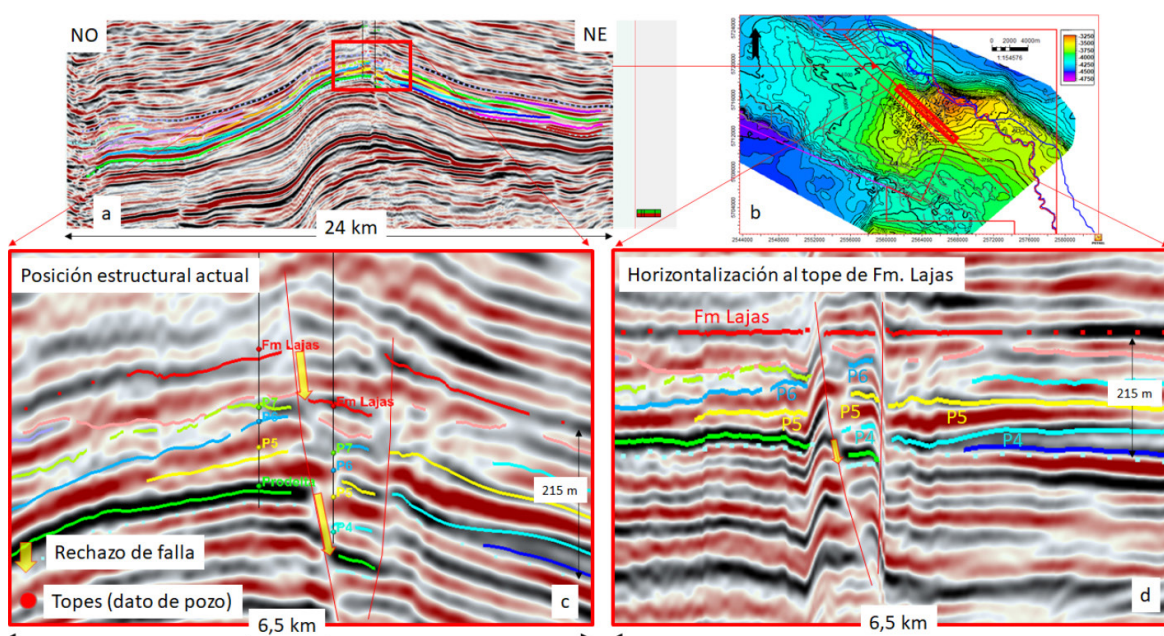


Figura 10. a: sección sísmica NO-SE. Mapa de ubicación de la sección y secciones c y d. C: se puede observar el intervalo de Fm. Lajas en su posición estructural actual y con datos de pozos que permiten ajustar las interpretaciones de horizontes. D sección horizontalizada al tope de Fm Lajas, se observa el engrosamiento en la zona entre fallas y el rechazo, del orden de los 20 metros.

En la Figura 11 se observa una sección de pozos, el cuarto pozo de derecha a izquierda es el mismo de la zona entre fallas de la Figura 10c. Este pozo muestra un engrosamiento del intervalo superior de Fm. Lajas, con respecto a sus pozos vecinos.

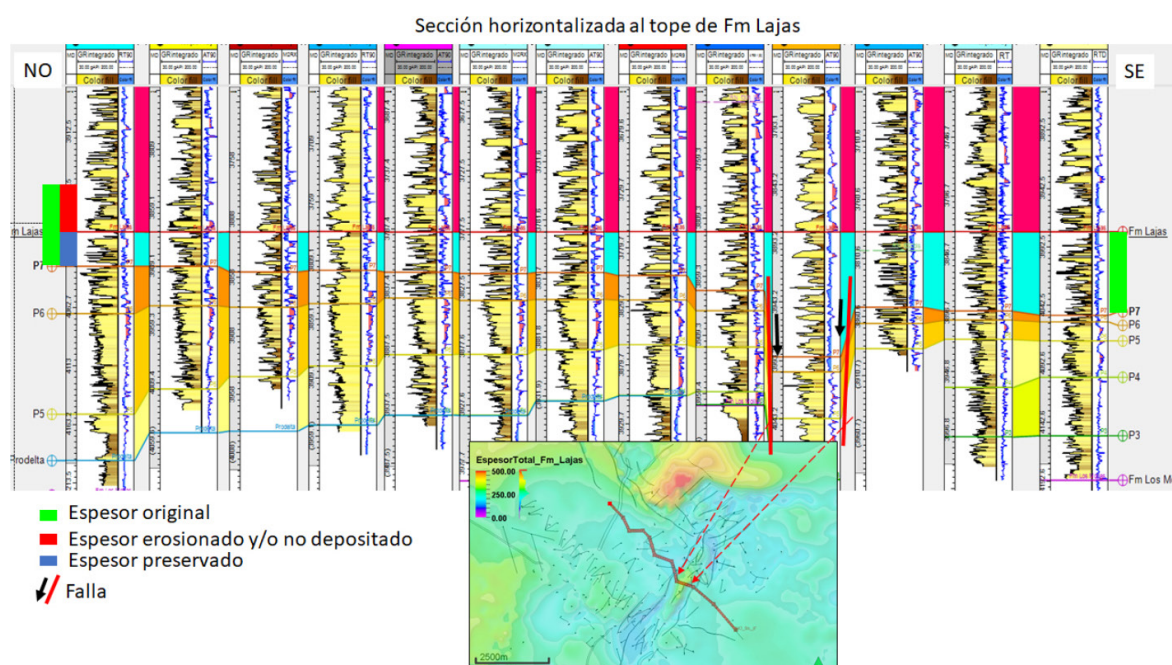


Figura 11. Sección NO_SE horizontalizada al tope de Fm. Lajas. Se observa la correlación de las unidades P4, P5, P6 y P7. En el mapa se presenta el espesor total de la Fm. Lajas y las fallas.

En la sección (Fig. 11) se señala, en la zona sureste, con una barra verde el espesor existente entre el frente deltaico y el tope formacional, este intervalo, en la zona noroeste se encuentra adelgazado y se interpreta la barra azul como el espesor preservado respecto al espesor de la zona sureste (barra verde), erosionado y/o no depositado el espesor restante, representado con la barra roja.

En el mapa de espesor total de la Fm. Lajas (Fig. 12), se observa en la zona central la disminución de espesor producto de la erosión y/o falta de sedimentación por levantamiento de la estructura, con rasgos transpresivos, con una zona de mayor espesor preservado al norte de la zona de fallas principales y hacia los flancos.

En la zona central coincidente con la estructura se observa un bloque de mayor relleno con orientación NNE-SSO, limitado por fallas. Dicho relleno diferencial evidencia la actividad de las fallas contemporáneas o con posterioridad a los eventos tectónicos de SB2. Estas fallas de origen transpresivo en algunas secciones se observan como rechazo normal aparente y en otras como inverso. La coexistencia de áreas de mayor erosión y zonas de mayor espacio de acomodación y preservación es usual en zonas de deformación con componente de rumbo.

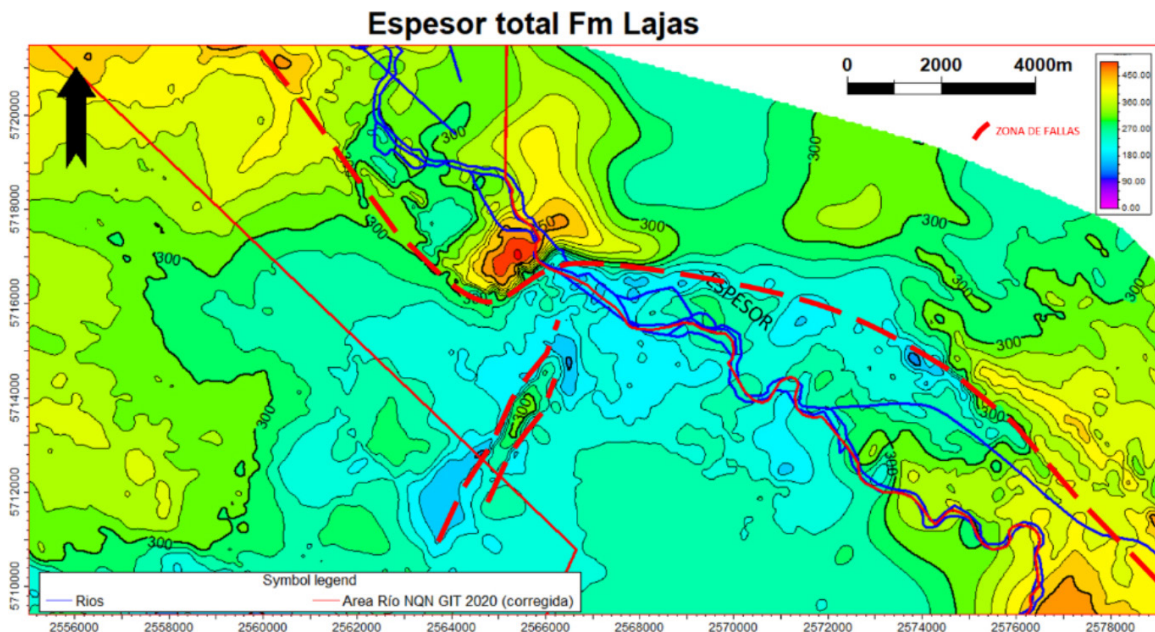


Figura 12. Mapa de espesor total Fm. Lajas. Se observan zonas de menor espesor, erosionadas o no depositadas y zonas de mayor espesor preservado, (Sistema de coordenadas POSGAR07).

ESQUEMA EVOLUTIVO

Se presenta a modo de síntesis un esquema de las unidades interpretadas y las superficies que las limitan (Fig. 13). En color se esboza la posición esperada de los reservorios y de los sellos.

A continuación, se analiza la relación entre el espacio de acomodación y el aporte de sedimentos para cada unidad. Estas unidades se relacionan a cuatro secuencias de tercer orden, de las cuales no todos los momentos han dejado registro de roca preservado. Por último, se relaciona cada límite de secuencia a eventos tectónicos.

FACIES SÍSMICAS

El método utilizado en la determinación de facies sísmicas consistió en agrupar patrones sísmicos de forma discreta y clasificarlos en base a la respuesta de cada atributo mediante la utilización de redes neuronales. Este análisis surgió de la necesidad de guiar la interpretación a través del dato sísmico hacia zonas sin datos de pozos.

Para este trabajo se obtuvieron dos volúmenes de facies sísmicas, uno calculado a partir de atributos de amplitud y otro de impedancias.

El primero obtenido a partir de la combinación de la amplitud, frecuencia instantánea, frecuencia dominante, segunda derivada y coseno de la amplitud con 11 facies sísmicas (Fig. 14).

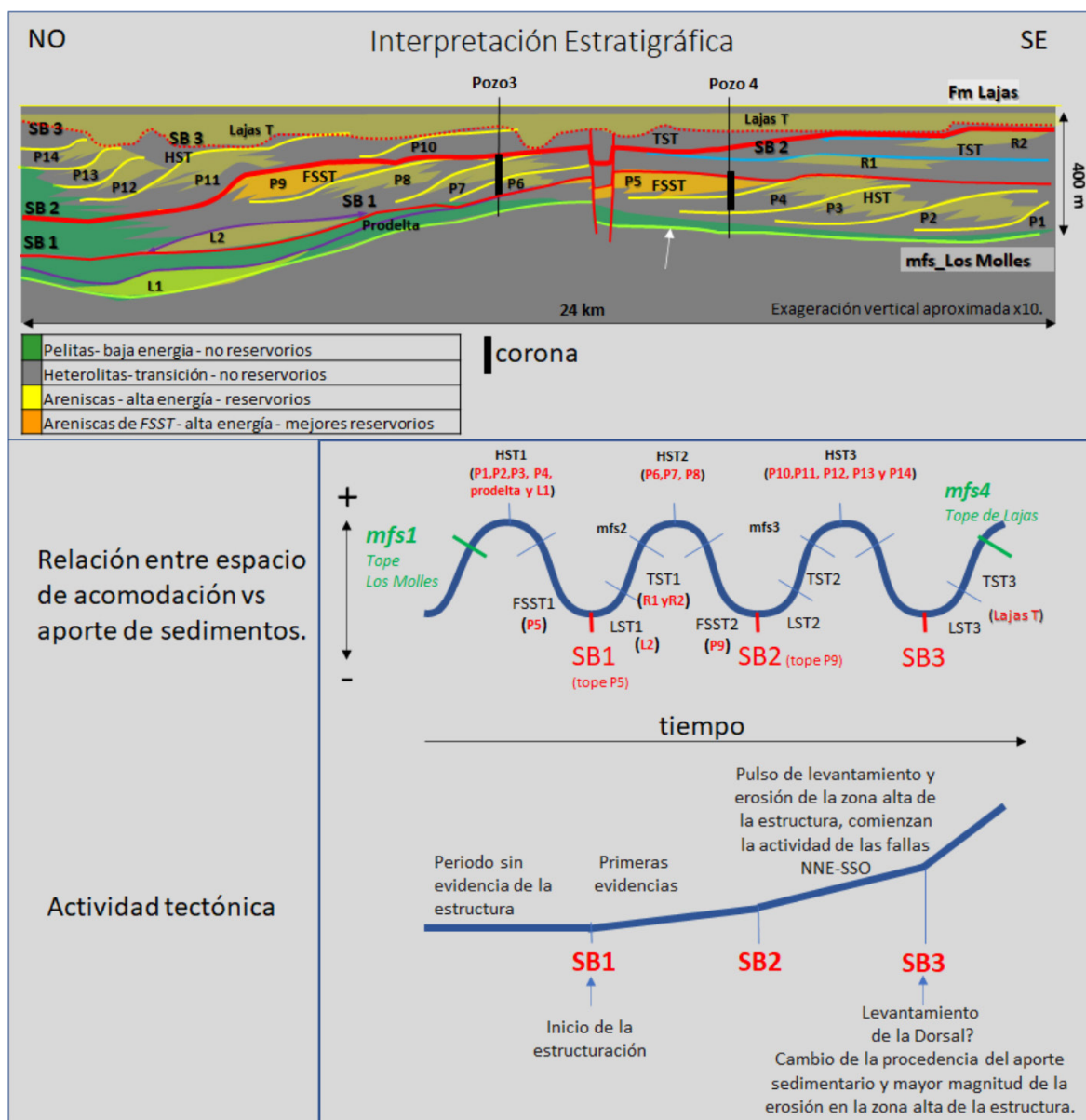


Figura 13. Cuadro de eventos tectono-estratigráficos de la estructura de Río Neuquén-Lindero Atravesado.

Las facies sísmicas en este caso fueron relacionadas a los límites de capa y sirvieron para guiar los horizontes, principalmente en las zonas donde las capas se aproximan entre sí generando dudas en la interpretación realizada en el volumen de amplitud. Asimismo, toda la interpretación se realizó primero en amplitud y solo en los casos de zonas conflictivas se utilizaron las facies sísmicas.

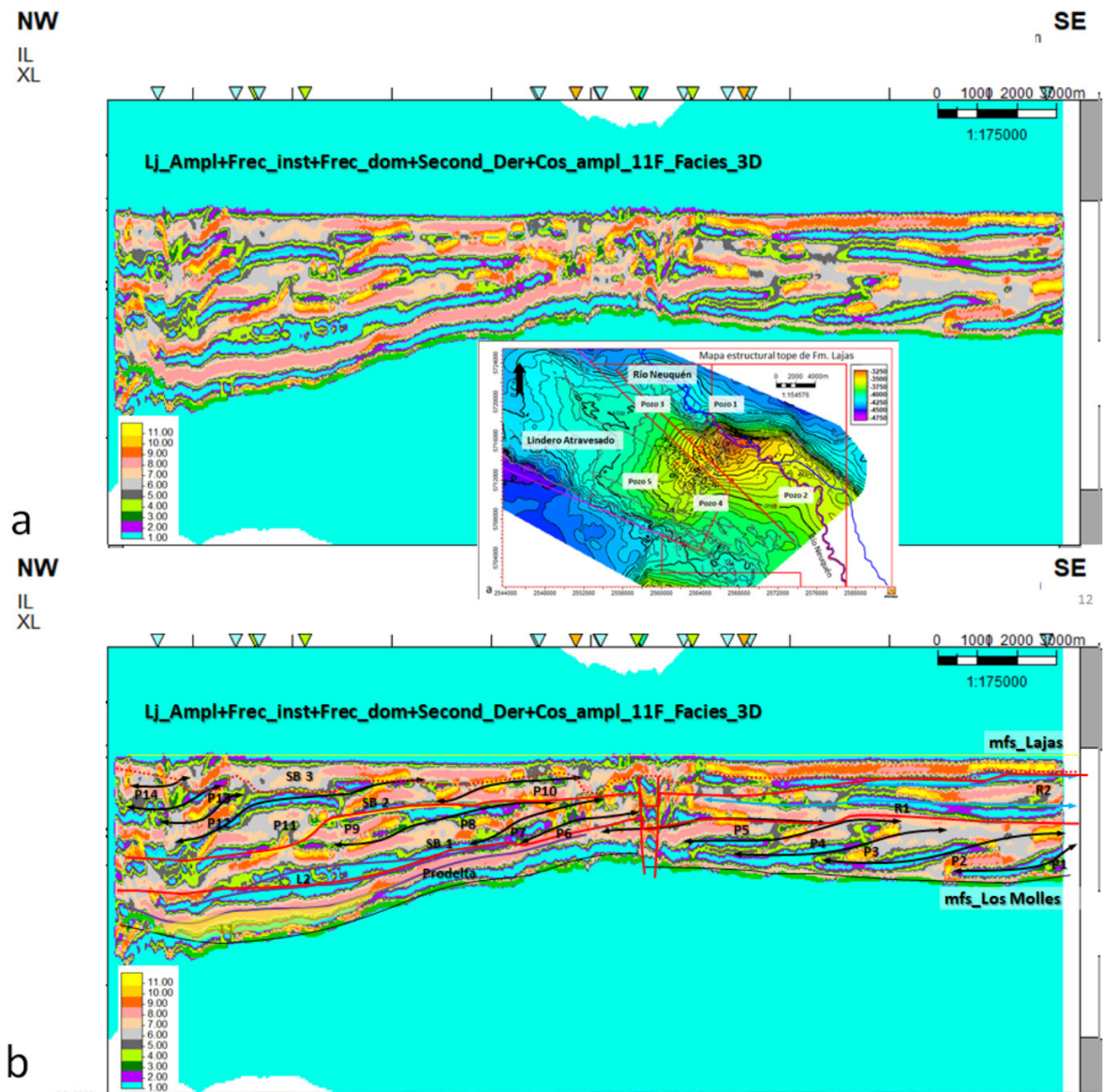


Figura 14. a: Sección NO-SE, horizontalizada al tope de Fm. Lajas del volumen de facies sísmicas proveniente de atributos de amplitud. b: la misma sección con la interpretación estratigráfica superpuesta.

El segundo volumen, con 11 facies sísmicas, fue generado a partir de los volúmenes de impedancia P e impedancia S , y luego fue comparado contra las electrofacies de pozo (Fig. 15). De esta comparación se obtuvo un gráfico de barras que representa la ocurrencia de cada electrofacies asociada a cada facies sísmica. En este se observó una tendencia de probabilidad, con facies sísmicas de baja probabilidad de asociarse a facies reservorio hasta facies con mayores probabilidades. En los extremos la facies sísmica 3 posee 86 % de probabilidad de contactar facies de Heterolitas predominantemente pelíticas o Heterolitas con abundantes areniscas, ambas consideradas en este trabajo como facies no reservorio. En contra posición, la facies sísmica 11

presenta mayor ocurrencia de facies reservorio; areniscas muy finas a finas y medias laminadas, y areniscas finas a medias hasta conglomeráticas. Las facies sísmicas 1 y 2 no presentan valores de probabilidad dado que las mismas no fueron interceptadas por ningún pozo, y eso es debido a que se encuentran solo en los bordes del volumen, posiblemente como datos anómalos.

El producto obtenido y sus probabilidades de ocurrencia guardan relación con la interpretación estratigráfica, ubicando facies reservorio en posiciones que acuerdan con el modelo. Por esto se utilizó dicha tendencia 3D para guiar los modelos de facies disminuyendo las incertidumbres y permitiendo estimar un espesor de reservorio para cada unidad, en zonas alejadas de los datos de pozo. Como es el sector NO del yacimiento, donde las facies sísmicas y la interpretación estratigráfica indicarían buenos espesores de reservorio, incrementando el interés exploratorio de dicha zona, en la cual, hasta el momento no hay pozos que alcancen la Fm. Lajas.

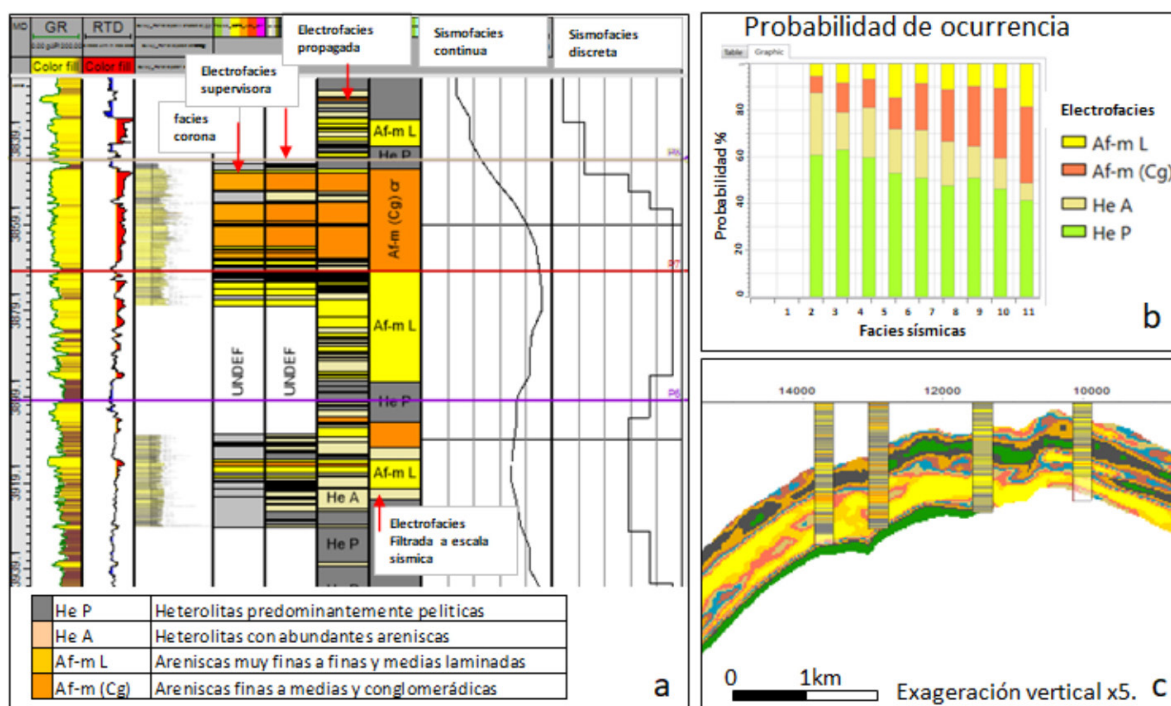


Figura 15. a. Pozo 1 con corona. En cada tracks: 1° prof, 2° gamma ray, 3° resistividad profunda, 4° selley corona (Y-TEC), 5° facies de corona, 6° electrofacies supervisora, 7° electrofacies propagadas, 8° electrofacies filtrada a escala sísmica, 9 facies sísmica continua, 10° facies sísmicas discretas. b: Histograma de probabilidad de ocurrencia de cada electrofacies por cada facies sísmica. c: sección del volumen de facies sísmicas y las electrofacies por pozo.

A continuación, en la Figura 16 a se observa la misma sección NO-SE utilizada anteriormente, pero en este caso con el volumen de facies sísmicas producto de la combinación de impedancia P e impedancia S , con la presencia de 11 facies sísmicas.

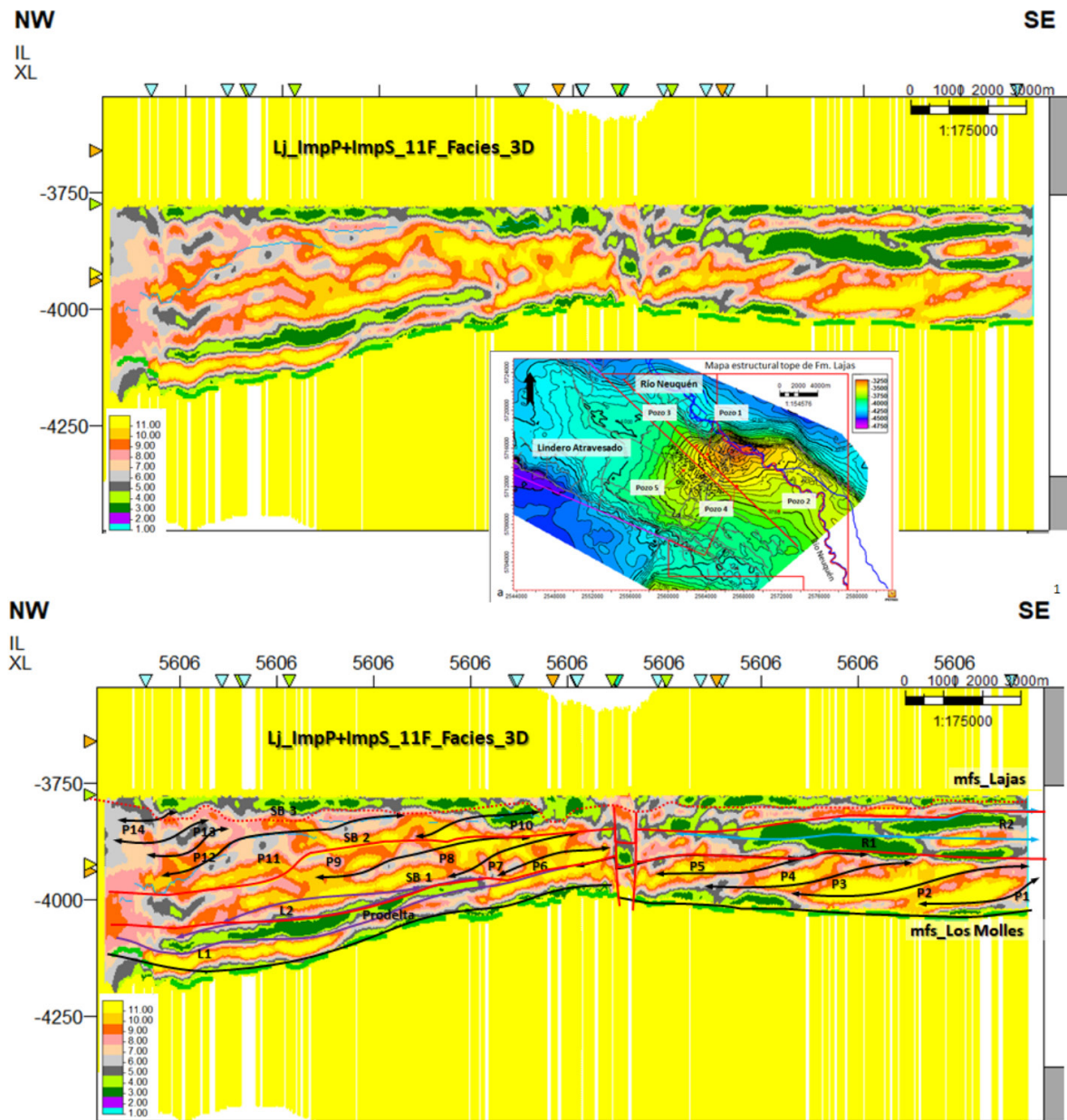


Figura 16. Sección NO-SE con las facies sísmicas obtenidas producto de la combinación de impedancia P e impedancia S, con 11 clases. Abajo sobreimpuesta se presenta la interpretación estratigráfica.

A partir de las facies sísmicas y su correlación con las electrofacies de pozos, se realizaron diversos modelos con escenarios cuantitativos diferentes de distribución de facies. A continuación, a modo de ejemplo, se presentan dos de ellos. El primero se pobló utilizando los volúmenes de probabilidad de ocurrencia de facies (Fig. 17). El mismo, permitió replicar en zonas sin datos de pozos la proporción de electrofacies esperada a partir de cada facies sísmica.

Para el segundo modelo, se dividieron las facies sísmicas en 3 grupos y se relacionaron a la energía del ambiente de sedimentación. Considerando 3, 4 y 5 como facies sísmicas de ambientes

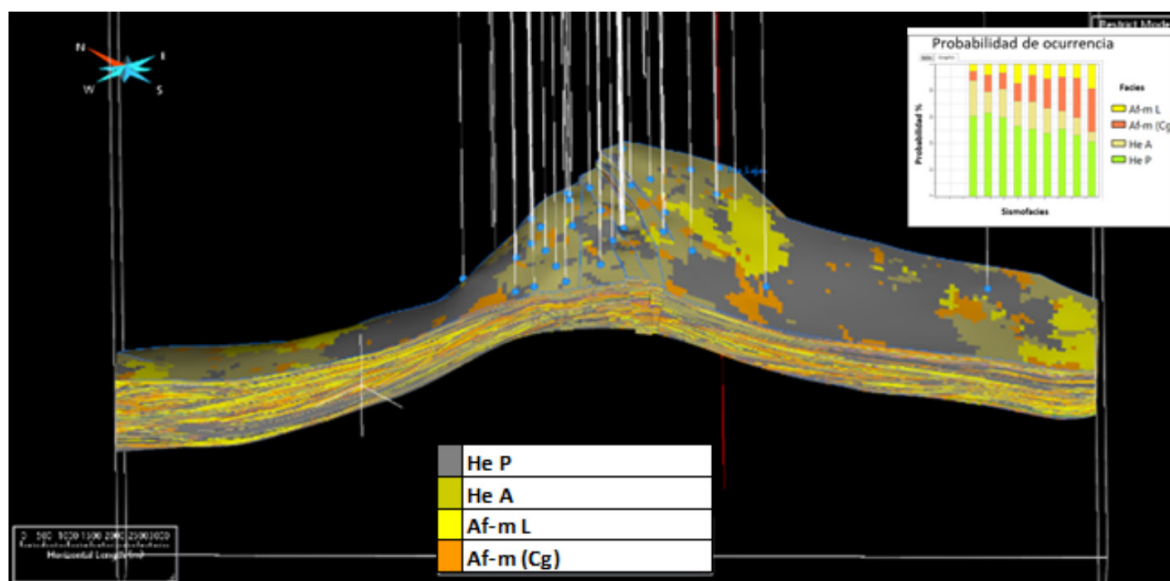


Figura 17. Vista 3D del modelo de facies poblado utilizando los volúmenes de probabilidad de ocurrencia de electrofacies por cada facies sísmica.

de baja energía, 6, 7 y 8, zona de transición y 9, 10 y 11 ambientes de alta energía. Al observar la distribución de estas 3 zonas, se observa cierta correspondencia con la interpretación estratigráfica. Luego cada unidad fue poblada utilizando variogramas y curvas de proporción vertical, obteniéndose un modelo de facies guiado por facies sísmicas, controlado por la estadística de pozos y por el modelo estratigráfico (Fig. 18).

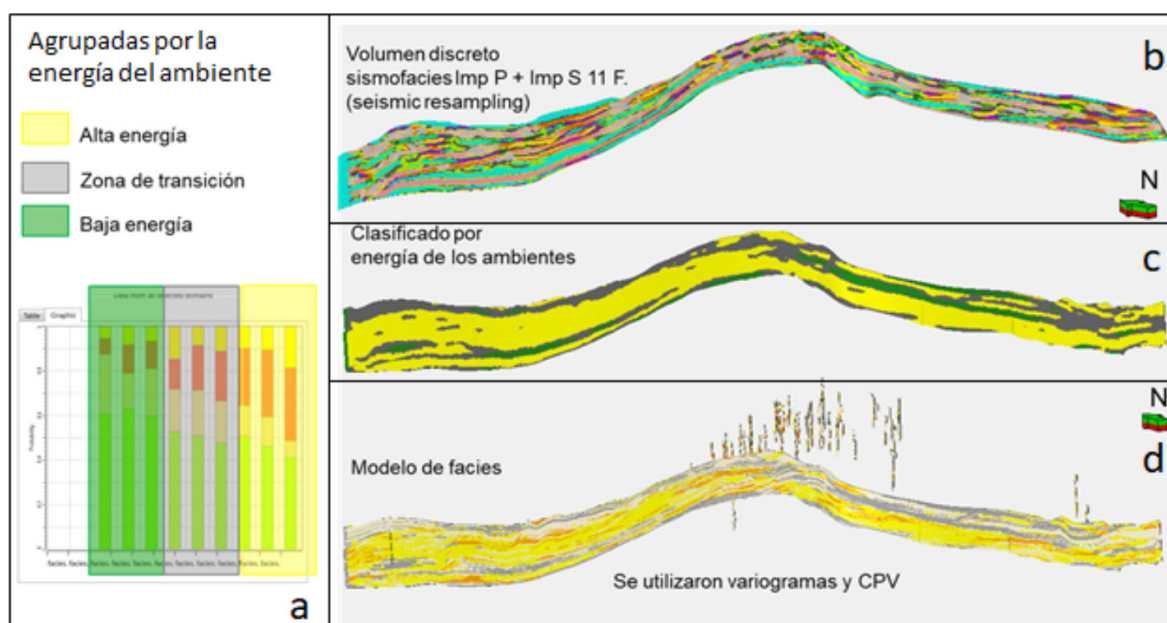


Figura 18. a: tabla de ocurrencia de electrofacies por cada facies sísmica agrupadas por la energía del ambiente de sedimentación. b: vista desde el SO de una sección del modelo. c: agrupación de facies sísmicas por la energía del ambiente de sedimentación. d: modelo de facies poblado.

Es importante mencionar que actualmente se cuenta con un nuevo volumen de inversión sísmica en el cual se está trabajando para actualizar los modelos de facies y continuar apoyándose en datos sísmicos para guiar la distribución de las facies reservorios.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron dos volúmenes de facies sísmicas. Uno construido a partir de volúmenes de amplitud, que ayudó a la interpretación de horizontes, los cuales representan superficies estratigráficas y formaron parte del *framework* del modelo estático. El segundo volumen, proveniente de los cubos de impedancia P y S , se utilizó para guiar el poblado de facies, a través de las probabilidades de ocurrencia de electrofacies respecto a las facies sísmicas.

La integración de nuevos datos de pozos y la clasificación de facies sísmicas contribuyeron a la nueva interpretación tectono-estratigráfica del área de estudio. En este trabajo se validaron las unidades antes descritas por Hammar *et al.* (2018): P1, P2, P3, P4, P5, P6, R1, R2 y se reinterpretan las unidades L1 y L2, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13 y P14. Se identifican 3 límites de secuencia SB asociados a secuencias de tercer orden, y se las relaciona en este trabajo a eventos tectónicos.

Se presentan las evidencias de la ausencia de estructura positiva al inicio de la sedimentación de la Fm. Lajas. A su vez, se exponen los indicios del comienzo del levantamiento de la estructura de Río Neuquén-Lindero Atravesado, contemporáneos a las superficies estratigráficas interpretadas para la Fm. Lajas durante el Toarciano temprano.

Se identifica el inicio de la estructura de Río Neuquén- Lindero Atravesado, contemporánea al sistema de fallas NNE-SSO, que comienzan a actuar desde o con posterioridad a la superficie SB2 hacia el final de la sedimentación de la Fm. Lajas.

También se describen rasgos sísmicos que podrían significar la llegada de sedimentos provenientes de la Dorsal de Huincul, aproximadamente a los 178,4 MA, próximos al tope de Fm. Lajas.

La comprensión de la historia evolutiva tectono-estratigráfica, a partir de la estratigrafía secuencial de alta resolución y la evolución tectónica, permiten diseñar distintos escenarios posibles y generar modelos geológicos predictivos, que disminuyen las incertezas en zonas alejadas de los datos de pozo.

En base a esta interpretación se orienta el desarrollo del negocio hacia zonas con mayor probabilidad de presencia y calidad de reservorio, por lo tanto, posiblemente de mejor productividad. Asimismo, proporciona el soporte técnico del desarrollo con pozos verticales (en ejecución) y del proyecto de pozos horizontales (en visualización) del área Río Neuquén.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a YPF S.A., Pampa Energía S.A., Petrobras S.A. y Pan American Energy por permitir la publicación del presente trabajo. A Diego Martín Pereira y Mariano Darío Ragazzi por arbitrar este trabajo con valiosas observaciones. A todo el equipo de estudios de Río Neuquén compuesto por Emiliano Santiago, Christian Gatica, Gabriela Loópez, Fabricio Nissero, Federico Wagner, Christian Gatica, Gabriela López, Nelson Chirinos y Rayén Ferreyro con quienes la interacción y discusiones diarias contribuyen a la maduración y revisión de lo interpretado.

REFERENCIAS CITADAS

- Arregui C., Carbone O., Martínez Ri., 2011. "El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano medio) en la Cuenca Neuquina." Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. (77- 89).
- Arregui, M. Montagna, A. Rodríguez, I., Canale N., Ponce, J.J., Santiago, E., Coppo, R., Bühler, M. 2019 Interpretación Paleoambiental De La Formación Lajas (Jurásico Medio, Cuenca Neuquina, Argentina) En Subsuelo: Fluvio-Dominado-Delta. AAPG ICE. Buenos Aires.
- Berdini, O., Arregui, C. y Pimentel Mendes, M. 2002. Evolución tecto-sedimentaria de la estructura Río Neuquén, Cuenca Neuquina, República Argentina. 15º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 187-192, Calafate.
- Berdini O., J. F. Rodríguez, S. D. Matheos, L. A. Spalletti y H. J. Villar, 2011. "Evaluación de los procesos diagenéticos y modelado bidimensional del sistema petrolero Los Molles- Lajas/Punta Rosada en el yacimiento Río Neuquén, Cuenca Neuquina, Argentina". Actas del VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, pp. 549-566.
- Brinkworth W., Giunta D., Mortaloni M., Loss M.L., Vocaturo y Sanchez D., 2017. Estudio Regional Grupo Cuyo. Informe interno YPF.
- Brinkworth, W., Vocaturo, G., Loss, L. Giunta, D., Mortaloni, E. y Massaferró, J.L. 2017. Integración regional de subsuelo orientado a la exploración y desarrollo de Grupo Cuyo, Cuenca Neuquina. XX Congreso Geológico Argentino. Tucumán.
- Brisson, I y Veiga, R. 1999, Guía de campo de la Cuenca Neuquina. Informe inédito YPF.
- Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J.P., Blum, M.D., Dalrymple, R.W., Eriksson, P.G., Fielding, C.R., Fisher, W.L., Galloway, W.E., Gibling, M.R., Giles, K.A., Holbrook, J.M., Jordan, R., Kendall, C.G.St.C., Macurda, B., Martinsen, O.J., Miall, A.D., Neal, J.E., Nummedal, D., Pomar, L., Posamentier, H.W., Pratt, B.R., Sarg, J.F., Shanley, K.W., Steel, R.J., Strasser, A., Tucker, M.E., Winker, C., 2009. Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews* 92, 1e33.
- Cristalini, E. y Olmos, M., 2016. Caracterización estructural y evolución tectónica del bloque Río Neuquén, Provincias del Neuquén y Río Negro. LA. TE. Andes. Informe interno Pampa Energía S.A.
- Dellapé, D.A., C. Mombrú, G.A. Pando, A.C. Riccardi, M.A. Uliana & G.E. Westermann. 1979. Edad y correlación de la Formación Tábanos

- en Chacay Melehue y otras localidades de Neuquén y Mendoza, con consideraciones sobre la distribución y significado de las sedimentitas Lotenianas. *Obra Centenario Museo La Plata*, 5: 81-105. La Plata.
- Digregorio, J. H., 1972. Neuquén. En: *Geología Regional Argentina*, A. F. Leanza, Director y Editor, Centenario de la Academia Nacional de Ciencias: 439-506. Córdoba
- De la Cruz Olmos, M., Zurita P. I., Krittian A. y Naidés C. 2018. Los Reservorios del Grupo Cuyo Tight Yacimiento Río Neuquén, Cuenca Neuquina. X Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mendoza.
- Dellapé, D., Mombrú, A.C., Pando, G.A., Riccardi, A.C., Uliana, M.A. & Westermann, G. 1979. Edad y correlación de la Fm. Tábanos en Chacay Melehue y otras localidades de Neuquén y Mendoza. Consideraciones sobre la distribución y significado de las sedimentitas Lotenianas. *Obra Centenario. Mus. La Plata, Paleontología*, 5: 81-105. La Plata.
- Embry, A. F. (1993) Transgressive-regressive (T-R) sequence analysis of the Jurassic succession of the Sverdrup Basin, Canadian Arctic Archipelago. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30 (2). 301-320 doi:10.1139/e93-024.
- Embry, A. F., 1995. Sequence boundary and sequence hierarchies: problem and proposals. In: Steel, R.J., Felt, V.L., Johannessen, E.P., Mathieu, C. (Eds), *Sequence Stratigraphy on the Northwest European Margin*. Special Publication, vol. 5. Norwegian Petroleum Society, pp. 1-11.
- 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.
- Hammar, M.V.; Rojo, M.S.; Sigismondi, M.E.; Peña, N.Ch., 2018. Interpretación estratigráfica secuencial de la Formación Lajas en el Yacimiento Río Neuquén. X Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mendoza. Pag. 315-338.
- Helland-Hansen, W., Gjølberg, J., 1994. Conceptual basis and variability in sequence stratigraphy: a different perspective. *Sedimentary Geology* 92, 31e52
- Helland-Hansen, W., Martinsen, O.J., 1996. Shoreline trajectories and sequences: description of variable depositional-dip scenarios. *Journal of Sedimentary Research* 66, 670e688.
- Helland-Hansen, W., Hampson, G.J., 2009. Trajectory analysis: concepts and applications. *Basin Research* 21, 454e483.
- Hunt, D., Tucker, M.E., 1992. Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall. *Sedimentary Geology* 81, 1e9.
- Llambías, E.J., Sato, A.M., 1995, El batolito de Colangüil: transición entre orogénesis y anorogénesis: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50(1-4), 111- 131.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. En Caminos, R. (ed.): *Geología Argentina*, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 399-416, Buenos Aires.
- Mitchum, R.M., P.R. Vail & S. Thompson. 1977. Seismic Stratigraphy and global changes of sea level. Part. 7: Seismic stratigraphic interpretation procedure: in *Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration* (C.E. Payton, ed.): Am. Assoc. Petroleum Geol. Memoir 26, p. 135-143.
- Mitchum, R.M., P.R. Vail & S. Thompson. 1977. Seismic Stratigraphy and global changes of sea level. Part. 2. The depositional sequence as a basic unit

- for stratigraphic analysis. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26, 53-62.
- Monti M, Rodríguez E, Yankowsky J. y Ottone, E.G. 2019. Estudio Integrado de Corona YPF. Nq.RN.a-2012 (Río Neuquén) Cuenca Neuquina. YPF – Tecnología, informe interno.
- Monti M., Rodríguez E., Yankowsky J. y Ottone, E.G. 2019. Estudio Integrado de Corona YPF. Nq.RN.a-2019(d) (Río Neuquén) Cuenca Neuquina. YPF – Tecnología, informe interno.
- Mombrú, C.A. y Uliana, M.A. 1978. Esquema tectosedimentario de la cuenca mesozoica de Mendoza y Neuquén. 7° congreso Geológico Argentino (Neuquén), Actas 2: 239-256.
- Mosquera, A. y Ramos, V. 2005. Intraplate deformation in the Neuquén embayment. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, 28 p., Mar del Plata.
- Naipauer M., Brinkworth, W., Loss, M.L., Vocaturo, G., Giunta, D., Mortaloni, E. (2017) Estudio integral de datos geocronológicos (edades U-Pb) y sísmicos en el subsuelo del Engolfamiento Neuquino: edades máximas de sedimentación y áreas de aporte para el Grupo Cuyo. XX Congreso Geológico Argentino - Simposio de Geocronología. 85-90. Tucumán.
- Pángaro, F., Pereira, M., Silvestro, J.L., Raggio, F., Pioli, O., Zubiri, M. y Gozalvez, G. 2006a. Tectonic inversion of the Huincul high, Neuquén Basin, Argentina: An endangered species. Stratigraphic Evidences of its Disappearance. 9° Simposio Bolivariano Petroleum Exploration in the Subandean Basins (Cartagena), Actas en CD: 9 p.
- Leanza, H. A., 1992. Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a los Movimientos Intermálmicos en la comarca del Cerro Chachil, provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 45 (3-4): 272-299. Buenos Aires.
- 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.
- Turic, M., Aramayo Flores, F., Gómez Omil, R., Pombo, R., Peroni, G., Scitutto 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.
- Vail, P.R., R.M. Mitchum, Jr. and S. Thompson, III, 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level; Part 4, Global cycles of relative changes of sea level: AAPG Memoir 26, p. 83-98.
- Vail, P.R., Mitchum Jr., R. M., Thompson III, S., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from costal onlap. In: Payton, C.E. (Ed.), Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration Memoir, vol. 26. American Association of Petroleum Geologist, pp.63-81.
- Van Wagoner JC, Posamentier HW, Mitchum RM, Vail PR, Sarg JF, Loutit TS, Hardenbol J (1988) An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus CK *et al.* (eds) Sea-level changes: an integrated approach. Special publication no. 42. SEPM, Tulsa, pp 39-48
- Van Wagoner JC, Mitchum RM, Campion KM, Rahmani VD (1990) Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs cores, and outcrops. Methods in exploration series no. 7. AAPG, Tulsa.
- Weaver, Ch. 1931 Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West. Central Argentina. University of Washington. Memoir 1: 1-469. Seattle.

