

ESQUEMA ESTRATIGRÁFICO SECUENCIAL A PARTIR DE LA INTEGRACIÓN DE *CUTTINGS*, PERFILES Y SÍSMICA. FMS. QUINTUCO Y VACA MUERTA, CUENCA NEUQUINA

Georgina Godino¹, David Giunta¹

1: YPF S.A., godino.georgina@ypf.com, david.giunta@ypf.com

Palabras clave: Formación Vaca Muerta, facies, ambiente, modelado geológico

ABSTRACT

Sequence Stratigraphic Scheme from integration of cuttings, logs and seismic. Quintuco and Vaca Muerta Formations, Neuquén Basin

The Vaca-Muerta- Quintuco (VM-Q) (Middle Tithonian-Lower Valanginian) mixed system is one of the most prolific unconventional shale oil and gas *plays* outside the USA. Deposition was dominated by marine deposits where VacaMuerta Formation (VMFm.) represents the basinal, northwest-ward prograding shale/carbonate units and Quintuco Formation (QFm.) corresponds to shallow marine, more aggrading carbonate-dominated mixed deposits. Lithostratigraphic boundaries are diachronous where VMFm. is the time equivalent basinal succession to the shelfal, higher energy QFm.

A high-resolution sequence stratigraphic framework was established to contribute to the understanding of the VM-Q second order transgressive-regressive mixed clastic-carbonate sequence. Based on the integration of a large multi survey 3D/2D seismic database with well data and geochemistry information, a regional 3D geological conceptual model was built that captures the heterogeneities at different scales. The model incorporates more than 2900 petrographic data points from cuttings over 23 wells distributed along the basin. Textural components, mineralogy, organic matter content and fossil distribution were analyzed and cross-correlated with wireline logs and seismic data.

This study documents the 3D polarity and variability of the system on both dip and strike directions based on the interpretation of several regional cross-sections. Main interpreted seismic horizons were calibrated with higher-frequency cycles interpreted from well cuttings. Within the eight seismic sequences, facies associations vary according to their position within the depositional profile: a) shelf interior deposits represented mainly by carbonate-rich facies in the southeast coeval with more mixed facies towards the southwest; b) Slope deposits characterized by monotonous wacke-packstone facies, and c) basinal deposits showing the highest TOC content in the oldest transgressive sequence, progressively decreasing in younger and more proximal basinal facies.

INTRODUCCIÓN

El sistema deposicional mixto asignado al intervalo Tithoniano medio-Valanginiano inferior, -Fms. Quintuco- Vaca Muerta y equivalentes- ha cobrado en los últimos años un auge inusitado. La Formación Vaca Muerta se ha convertido en el principal reservorio no convencional de petróleo y gas de la Argentina, marcando un punto de inflexión en la exploración y desarrollo de

hidrocarburos. Esto se debe tanto a sus excelentes condiciones como roca generadora como a su importante espesor.

Su gran potencial radica en una combinación de factores, que incluyen los parámetros geométricos (espesor y extensión lateral), y las propiedades de la roca (contenido de materia orgánica, mineralogía, etc.). En consecuencia, numerosos estudios de afloramiento y subsuelo se han llevado a cabo con el fin de realizar una óptima caracterización del *play* (Zeller 2013; Massaferrero *et al.* 2014; Desjardins *et al.* 2016; Kietzmann *et al.* 2016, entre otros).

Este sistema mixto, clástico-carbonático, es interpretado como una secuencia transgresiva-regresiva de segundo orden (Legarreta y Gulisano 1989). Su espesor es variable, siendo de unos 600 metros en posiciones proximales (sureste de la cuenca) y llegando a registrar más de 1000 metros en posiciones distales, en la porción noroeste del sector analizado en el presente trabajo. Se caracteriza por describir en subsuelo, claras geometrías sísmicas progradantes de sentido de avance SE-NW (Mitchum y Uliana 1985; Massaferrero *et al.* 2014; Pose *et al.* 2014; Desjardins *et al.* 2016, entre otros). Los depósitos distales -talud y cuenca profunda-, están compuestos por una alternancia de margas y pelitas con alto contenido de materia orgánica (COT 3-8%; Cruz *et al.* 2002; Legarreta y Villar 2012), los cuales son asignados a la formación Vaca Muerta (Legarreta y Gulisano, 1989; Leanza *et al.* 1978; Cruz *et al.* 1999). Lateralmente a ellos, se depositan facies de plataforma, representadas por depósitos proximales marinos someros de alta energía, principalmente carbonáticos, correspondientes a las formaciones Quintuco y Loma Montosa (Digregorio 1972; Leanza 1973).

OBJETIVOS

Con el objetivo de incrementar el entendimiento evolutivo del sistema a escala regional, se elaboró un esquema estratigráfico secuencial de referencia. Se construyó un modelo geológico conceptual 3D del sistema deposicional a través de la integración de datos del subsuelo en el ámbito del engolfamiento neuquino. Los objetivos principales de este trabajo son: a) capturar las variaciones de facies ocurridas en las sucesivas secuencias que componen el arreglo geométrico progradante en sentido SE-NW y b) analizar la heterogeneidad y escala de variabilidad dentro de las secuencias definidas.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra localizada en el ámbito del engolfamiento neuquino. Está delimitada al oeste por la faja plegada y corrida del Agrio, al este y al noreste por la plataforma Nororiental y hacia el sur por la Dorsal de Huincul (Fig. 1). Comprende una superficie aproximada de 28000 km², de los cuales 17000 km² se encuentran cubiertos con sísmica 3D.

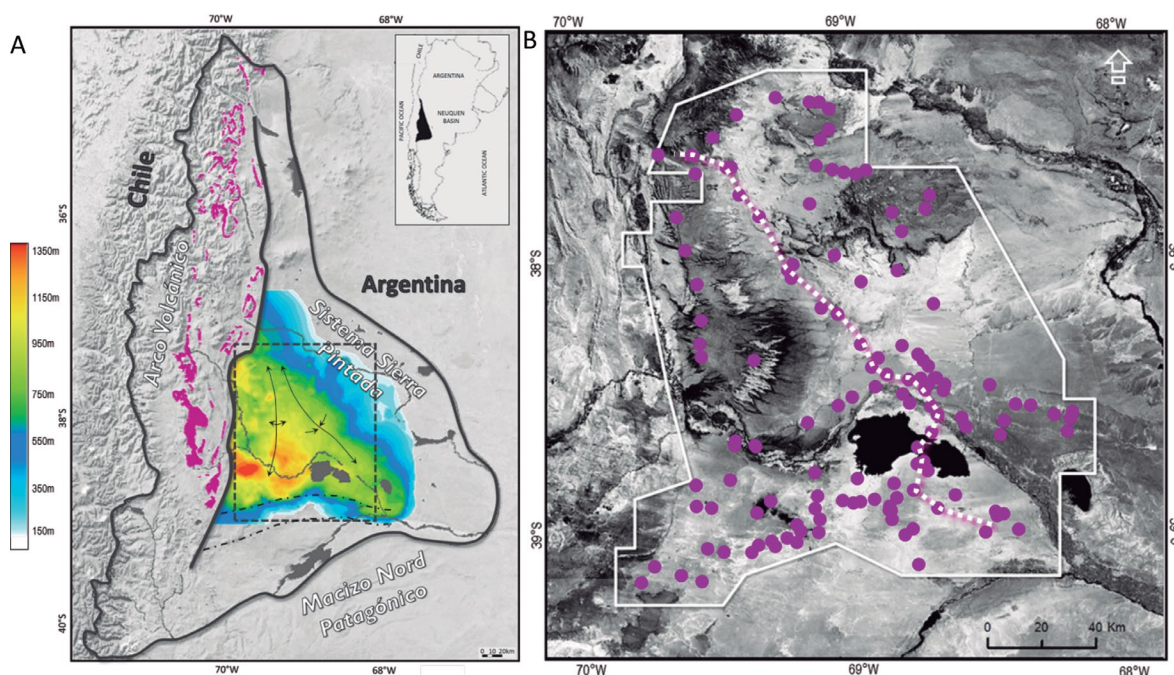


Figura 1. Zona de estudio del presente trabajo. A) Mapa de espesor del sistema Vaca Muerta - Quintuco. En morado, afloramientos de las Fms. Quintuco y Vaca Muerta. B) Base de datos: envoltorio de los diferentes surveys sísmicos 3D y pozos utilizados en este estudio. Línea punteada blanca: Ubicación de sección de referencia de la Fig. 2.

METODOLOGÍA

El esquema sismoestratigráfico propuesto y su correspondiente modelado se desarrolló en el dominio del tiempo dada la complejidad que representa realizar conversiones a profundidad o procesamientos en profundidad de un volumen de datos sísmicos tan grande.

Para realizar la construcción del *framework*, se calibraron y acondicionaron los volúmenes 3D y las líneas 2D, partiendo de la estimación del *bulk shift* por cada *survey* individual a un Datum único (en este caso 1000 metros), para luego realizar el análisis de fase de cada uno, a partir de las calibraciones sísmica-pozo, con el propósito de llevarlos a todos a una fase cero aproximada. Se utilizaron más de 150 pozos para este fin, permitiendo además una estimación precisa del significado de los diferentes eventos sísmicos y la correlación de ellos con las diferentes secuencias geológicas (Fig. 1B).

Mediante la construcción de secciones regionales de referencia que pasan a través de estos pozos, se establecieron los criterios de interpretación llevados a cabo para el mapeo de las superficies. En total, se interpretaron nueve horizontes sísmicos a lo largo de 36 volúmenes y más de 50 líneas sísmicas 2D, los que se utilizaron como herramientas para realizar una interpretación estratigráfica secuencial regional (Figs. 1B y 2).

Una vez mapeados, los horizontes se grillaron en tiempo para verificar la evolución vertical y lateral a escala regional de las nueve superficies identificadas. Estos niveles guía han sido

correlacionados e interpretados ya sea como superficies de máxima inundación -mfs- o como límites de secuencias -SB-. Como resultado, dentro de la zona analizada en el presente estudio, se han identificado 4 ciclos de baja frecuencia (Fig. 2).

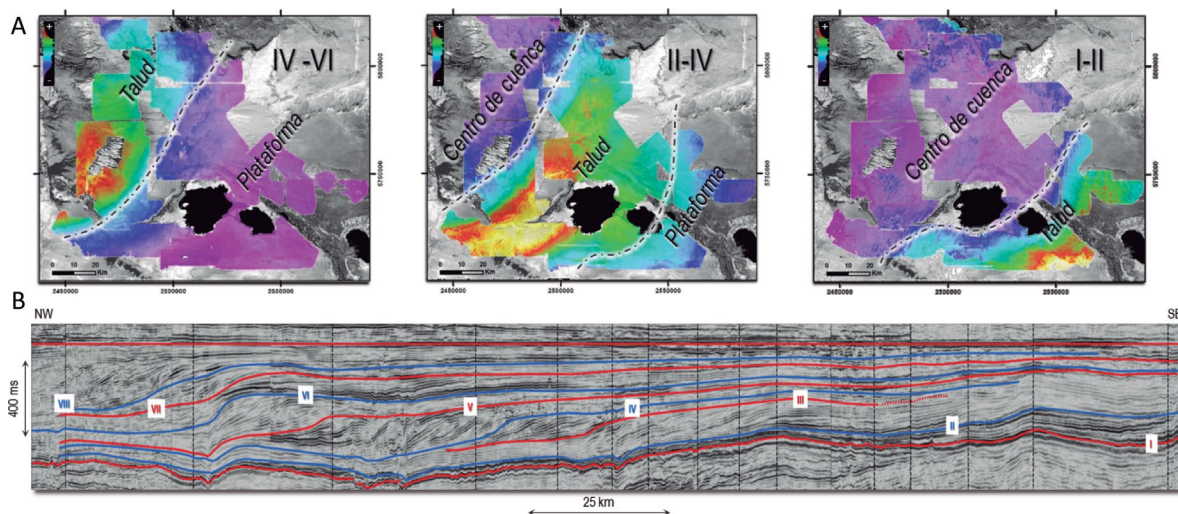


Figura 2. A) Mapas isocronopáquicos resultantes de 3 grupos de intervalos de la interpretación sísmica realizada. B) Sección sísmica NW-SE interpretada de referencia, horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana (IX), con las superficies mapeadas en el presente trabajo. Rojas: límites de secuencia; azules: superficies de máxima inundación (Ver ubicación en Fig.1). Ver interpretación en texto.

Debido a la baja densidad de coronas que cubren el sistema Vaca Muerta- Quintuco, se utilizó otra metodología para optimizar el esquema de correlación, de manera tal que permita inferir con mayor precisión tanto la distribución de facies como la arquitectura del reservorio. Sobre un total de 23 pozos verticales (Fig. 3A), se realizaron aproximadamente 2900 cortes delgados provenientes de *cuttings*. Los pozos se seleccionaron de manera tal que permitan analizar las variaciones del sistema en cualquier dirección, así como las que ocurren en posiciones proximales o distales de la cuenca dentro de una misma secuencia. El muestreo de los *cuttings* se realizó cada 3, 4 o 5 metros dependiendo de las posibilidades del pozo. Posteriormente, cada corte delgado se analizó visualmente de una manera semi-cuantitativa identificando: tipos de granos, matriz, cemento, contenido de materia orgánica y abundancia esquelética de los organismos presentes (Smith 2017). El resultado (Fig. 3B), se graficó junto a los perfiles del pozo de la siguiente manera: en un primer *track*, la abundancia de componentes litológicos principales. En el segundo y tercer *track*, los perfiles de gamma ray y sónico, respectivamente. En un cuarto *track* se dispuso la mineralogía, mientras que en un quinto *track*, se desplegó la abundancia de granos esqueléticos (Fig. 3B). Dicho análisis permitió identificar facies sedimentarias, las cuales luego se interpretaron para construir perfiles de facies tipo Selley (sexto *track*) y posteriormente se extrapolaron a los perfiles eléctricos. Esta metodología de interpretación de cortes delgados permitió establecer una ciclicidad 1D

por cada pozo, ubicada en el séptimo track de la Fig. 3B. Se interpretaron 4 ciclos transgresivos regresivos de 3er orden. Esta interpretación fue luego calibrada y correlacionada con las superficies mapeadas en sísmica. El resultado fue una muy buena correlación como puede observarse en la Fig. 3B, donde se han colocado las superficies sísmicas mapeadas junto con los datos del pozo. Este ejercicio permitió en muchos casos la mejora en la interpretación sísmica, debido a los problemas que presenta la interpretación de una superficie ya sea de inundación o de exposición subaerea, a una escala regional de esta magnitud.

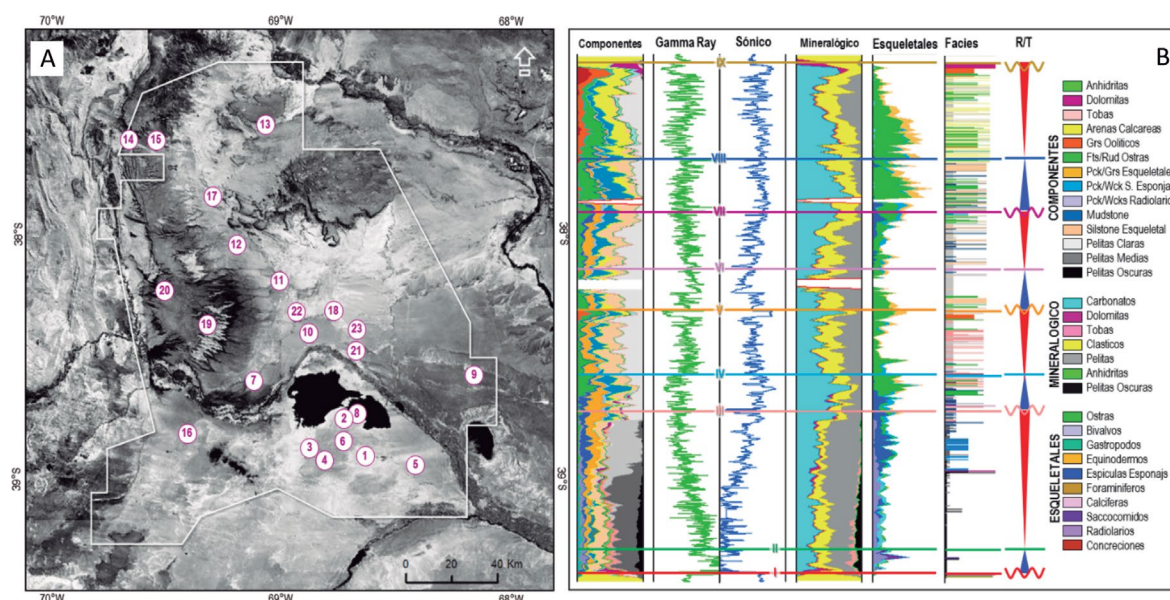


Figura 3. A) Distribución de los pozos con descripción de cortes delgados a partir del cutting. B) Visualización de los tracks de un pozo con descripción de cortes delgados, perfiles y correlación con las superficies interpretadas en la sísmica. Ver explicación en texto.

La metodología empleada para generar facies en los pozos sin descripción fue a través de redes neuronales calibradas en los pozos con descripción de *cuttings* por ciclos y por zonas. Posteriormente mediante la técnica de kriging se populó el modelo tridimensional.

Dada la alta resolución vertical que posee la descripción de facies, cada ciclo fue subdividido en intervalos de mayor frecuencia, limitados a partir de horizontes sísmicos intermedios de menor escala areal. Esto permitió guiar el *layering* interno conforme al arreglo deposicional y mejorar el condicionamiento de las facies según su posición paleoambiental.

INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICA

La interpretación sísmica de detalle de los múltiples volúmenes permitió realizar un mapeo preciso de los sucesivos quiebres de plataforma y los mapas de espesor en tiempo asociados entre

las respectivas secuencias. Este trabajo, fue realizado por primera vez por Mitchum y Uliana (1985), con una gran precisión sobre una base de datos de sísmica 2D en un área ligeramente menor. Posteriormente, Massaferrero *et al.* (2014) y Domínguez *et al.* (2017), presentan una actualización del mapeo a partir de la interpretación de volúmenes 3D. En el caso de este estudio, se presenta la interpretación realizada por los autores del presente trabajo a partir de la base de datos sísmica previamente descripta.

La síntesis que se discute a continuación es una extensión, tanto areal como vertical, de la descripta por Massaferrero *et al.* (2014). La Fig. 4, muestra dos secciones sísmicas regionales de referencia, interpretadas en tiempo. La primera, de orientación NNO-SSE, de aproximadamente 160 kilómetros de longitud, y la segunda de sentido SSO-NNE, de aproximadamente 150 kilómetros de longitud, en una posición relativamente proximal de la cuenca. Ambas transectas, se encuentran horizontalizadas a la Discordancia IntraValanginiana (Gulisano *et al.* 1984), y presentan tanto las nueve superficies interpretadas regionalmente como la abundancia de los componentes de los pozos a partir del análisis de *cuttings*, descriptos en la sección anterior. A continuación, se describe de base a tope las principales facies sísmicas comprendidas en cada intervalo limitado por las superficies mapeadas. Entre paréntesis, se indica la asignación del mismo a cada ciclo de acuerdo con la descripción de los cortes delgados de *cuttings*. Además de las facies, se describen los componentes principales identificados en los pozos, con el objeto de mostrar el grado de calibración que presenta este trabajo entre facies sísmicas y roca.

Intervalo I-II (Ciclo I Inferior)

La base está dada por el horizonte rojo (I), asignado a la base de la Fm. Vaca Muerta (Fig. 4 A/B). Es un evento sísmico guía, de gran amplitud y continuidad lateral, producto del contacto concordante en esta posición de la cuenca, de los depósitos asociados a la inundación del Tithoniano medio-superior (baja impedancia acústica), sobre los depósitos eólicos (alta impedancia acústica) de la Fm. Tordillo. Esta inundación, irresoluble sísmicamente en esta posición de la cuenca, constituye una superficie de *downlap* regional, como puede observarse por ejemplo en el ámbito de Picun Leufú (Massaferrero *et al.*, 2014). Tanto en esta zona, como en la porción proximal de la sección de la Fig. 4A, progradan sobre la misma clinoformas de muy bajo ángulo, de alta amplitud y muy buena continuidad lateral. Estas facies sísmicas, de 200 metros de espesor en la posición más proximal del corte, están constituidas por depósitos ricos en carbonatos, los cuales le confieren su alto carácter impedante. En posiciones distales (Fig. 4A), estas geometrías se condensan y vuelven agradantes, desarrollando un espesor aproximado de 70-90 metros, constituido por margas y pelitas con alto contenido de materia orgánica y delgadas intercalaciones de carbonatos. Hacia el tope, se interpreta como límite sísmico de este intervalo, el horizonte verde (II), interpretado como una mfs de alcance regional. Esta mfs apoya sobre un límite de secuencia (SB) interpretado

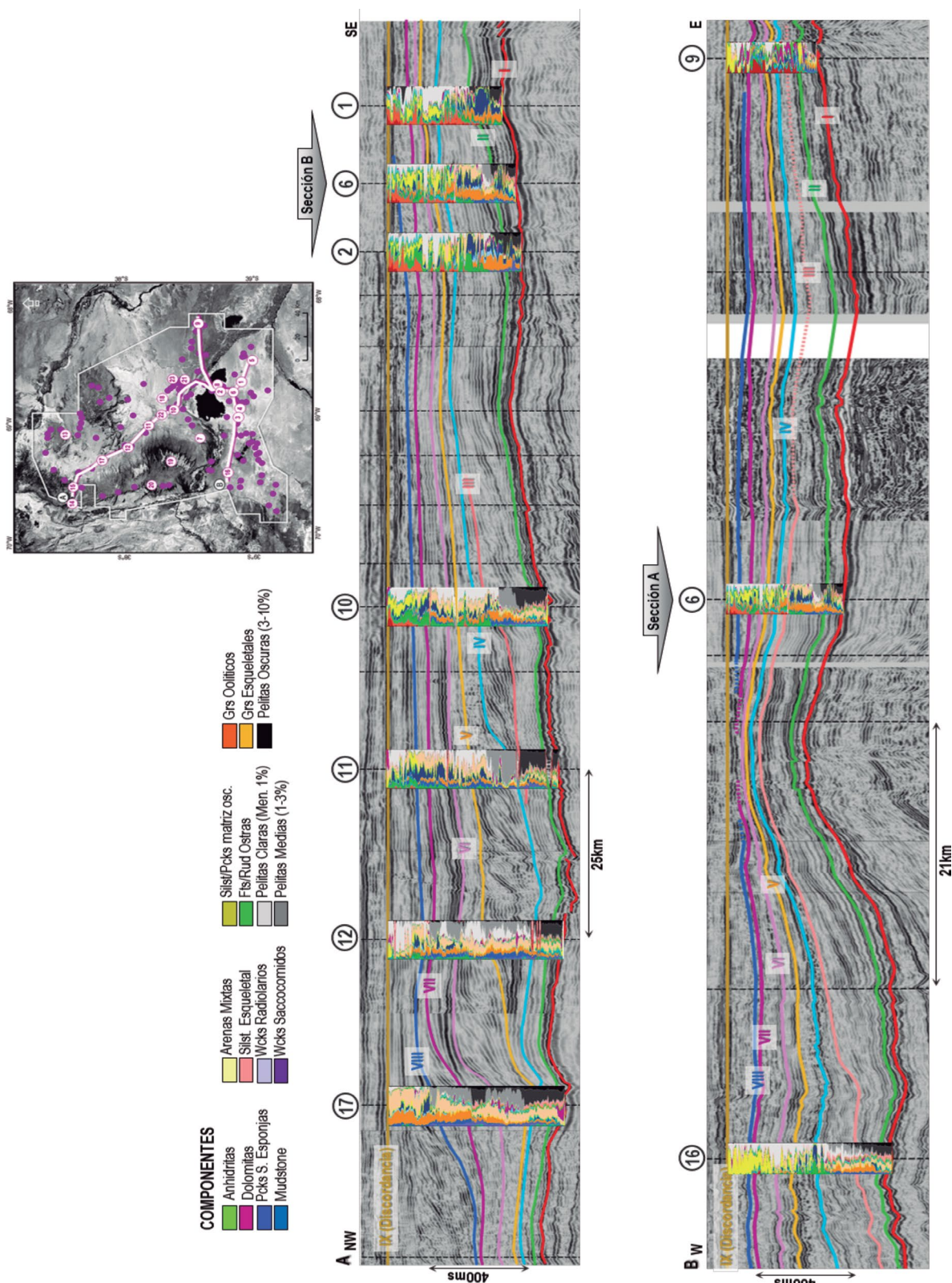


Figura 4. A) Sección sísmica de referencia NW-SE interpretada, horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana, con pozos de calibración que poseen descripciones de *cuttings*. B) Sección sísmica de referencia W-E interpretada, horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana, con pozos de calibración que poseen descripciones de *cuttings*. Ver explicación en texto y referencias de cutting en Fig. 6.

a partir de evidencias de exposición subaérea en los *cuttings* (presencia de anhidrita en pozos 1, 6 y 9 en Fig. 4 cortes A y B), los cuales correlacionan con *toplaps*/truncaciones de las geometrías previamente descriptas. Este intervalo, se corresponde con la unidad 1 y el inicio de la 2 de la tabla de equivalencias que figura en Desjardins *et al.* (2016).

Intervalo II-III (Ciclo I Superior)

Esta unidad, está limitada en la base por el horizonte verde (II) y el tope con el horizonte rosa (III) interpretado como un límite de secuencia (Fig. 4 A/B). Sobre la superficie II, se depositan geometrías progradantes con facies sísmicas diferentes. Las más antiguas presentan: en posiciones proximales -*topsets*- (pozo 1), geometrías subparalelas de moderada a baja amplitud, con una regular continuidad lateral. Estas facies sísmicas, están asociadas a depósitos compuestos por areniscas y lutitas calcáreas con poco contraste acústico, lo que le confiere ese carácter transparente. Los reflectores comienzan a ser divergentes en sentido distal hasta empezar a disponerse con geometría sigmoidal (pozo 10). Allí, empiezan a desarrollarse quiebres de plataforma, con un avance horizontal de la *shoreline trajectory* a lo largo de unos 40-50 kilómetros, acompañados por geometrías sísmicas oblicuas de moderada a alta amplitud y mejor continuidad lateral en las posiciones de talud, las cuales describen culminaciones tipo *toplap*, con registro de *bypass* y erosión, por lo que la superficie siguiente se interpreta como un SB (III). En los pozos, estas unidades están constituidas por depósitos limo-arcillosos que construyen taludes de 250-300 metros de espesor. En el centro de cuenca, estos niveles correlacionan con un espeso intervalo agradable, de unos 120-140 metros de espesor, caracterizado por reflectores paralelos de baja amplitud y de moderada continuidad lateral. Litológicamente, correlacionan con pelitas y margas ricas en materia orgánica y muy delgados niveles carbonáticos (pozos 10, 11 y 17). Este intervalo se correlaciona con la unidad 2 de la tabla publicada en Desjardins *et al.* (2016).

Intervalo III-IV (Ciclo II Inferior)

Estos niveles se encuentran limitados en su base por la superficie rosa claro (III), interpretada como un límite de secuencia, de muy pobre resolución y continuidad lateral en posiciones de *topsets*. Por encima de ella, en posiciones proximales, sobrayace un reducido espesor (<40 metros), que presenta facies sísmicas de muy baja continuidad lateral y amplitud (Fig. 4A). Estos depósitos, corresponden a plataformas someras, ricos endolomitas y anhidritas (pozos 2 y 6). Como puede verse en ambas secciones, esta superficie constituye un *downlap* regional, por sobre la cual se deposita un set de geometrías de muy alta amplitud y restringida extensión lateral, donde la trayectoria de los sucesivos quiebres de plataforma primero es descendente para luego volverse horizontal a levemente ascendente. Todo este set es interpretado como un depósito de *lowstand*

-LST- cuyo espesor alcanza los 200 metros. El límite de este intervalo está dado por la superficie celeste (IV). Estos depósitos equivalen a la porción inferior de la unidad 3 de Desjardins *et al.* (2016).

Intervalo IV-V (Ciclo II Superior)

Este intervalo está determinado en la base por el horizonte celeste (IV), interpretado como una mfs, y el tope por la superficie V, interpretada como un límite de secuencia. Esta unidad, se caracteriza en su nivel inferior, por el desarrollo de niveles carbonáticos que presentan geometrías tipo *Build-up* (bioconstrucciones de ostras), documentadas en Massaferro *et al.* (2014) e identificadas en *cuttings* de diversos pozos (por ejemplo, pozo 16 en Fig 4 corte B), distinguibles tanto en la porción central de la sección A de la Fig 4, como en la zona oeste del corte B de la misma figura. Estos depósitos de ostras se ubican en un rango de entre 5 y 8 kilómetros en dirección al continente respecto a los quiebres de plataforma de las secuencias subyacentes describiendo un arreglo transgresivo. El desarrollo de estos espesos bancos de ostras localizados (se han registrado hasta 70 metros) hace que la correlación de esta superficie de inundación registrada e interpretada en roca se corresponda en esta ubicación de la cuenca con más de un reflector sísmico, generando una complicación a la hora de realizar el mapeo regional de esta superficie. Sobre esta superficie, unidades relativamente más jóvenes, presentan clinoformas de muy bajo ángulo en los depósitos de plataforma, evidenciando la regresión del sistema, en tanto que en posiciones distales de la cuenca (Fig. 4 corte A), la base de este intervalo se vuelve una superficie de *downlap* regional, por sobre el cual se desarrollan espesos taludes, de hasta 300 metros con una trayectoria de quiebres de plataforma ascendente. Este arreglo progradante, se desarrolla a lo largo de unos 25 kilómetros. En posiciones de topsets, estos niveles muestran el desarrollo de complejos de shoals oolíticos, con evidencias de exposición subaerea, descriptos por Massaferro *et al.* (2014) entre otros. Estos depósitos equivalen a la porción superior de la unidad 3 de Desjardins *et al.* (2016).

Intervalo V-VI (Ciclo III Inferior)

La base está establecida por el horizonte naranja (V), reflector positivo de relativa alta amplitud y moderada continuidad lateral en posiciones de topsets, producto del contraste que existe entre los depósitos finos que sobreyacen este evento y los niveles con shoals oolíticos que se encuentran por debajo, previamente mencionados e interpretados como diagnósticos de un límite de secuencia. Por encima de este reflector, se desarrollan en la plataforma facies de muy baja amplitud y relativa baja continuidad lateral debido a la existencia de una sucesión predominantemente fina (*siltstones* y *pelitas*) de unos 70-90 metros de espesor. Por otra parte, en posiciones relativamente distales, el horizonte V se comporta como una superficie de *downlap*, sobre el cual se desarrolla otro set

de progradaciones, de tipo sigmoidal, que alcanzan los 300 metros de espesor. Estas clinoformas, de moderada amplitud y buena continuidad lateral presentan una trayectoria de los quiebres ascendente. Los depósitos ubicados en los *bottomsets* de las mismas se caracterizan por tener un relativo menor contenido de materia orgánica (al menos en las cercanías del talud) como puede observarse en el pozo 17 de la sección A. El tope de todo el intervalo viene dado por el horizonte VI -rosa-. Este intervalo es el mismo que la denominada unidad 4 en Desjardins *et al.* (2016).

Intervalo VI-VII (Ciclo III Superior)

Se encuentra limitado en su base por el horizonte rosa (VI), de moderada a alta amplitud y muy buena continuidad lateral (Fig. 4 A/B). Esta unidad registra una marcada diferencia en el arreglo progradante del sistema, estando las clinoformas sísmicas -de mucho menor tamaño- ubicadas sobre la plataforma. Las mismas, presentan sus *bottomsets* apoyando sobre el reflector de alta amplitud. Los pozos 11 y 12 muestran un nivel pelítico que correlaciona con este nivel, (en este caso de alta amplitud debido a una baja impedancia acústica). Por ello, este horizonte es asignado a una superficie de máxima inundación -mfs-. En posiciones distales -*bottomsets*- (Fig. 4 sección A), es una superficie de *downlap* sobre la que apoyan depósitos finos, ricos en materia orgánica que presentan facies sísmicas agradantes de muy baja amplitud. En posiciones proximales -*topsets*- (Fig. 4 sección B), los depósitos más jóvenes se encuentran parcialmente erosionados-horizonte fucsia (VIII)- sobre la estructura anticlinal de Aguada Toledo, mostrando el levantamiento de la misma durante la depositación de este intervalo. Además, puede observarse a partir de este tiempo como aumenta considerablemente el porcentaje de depósitos clásticos relativamente gruesos en la porción occidental de la transecta (Pozo 16, Fig 4 sección B). Esta unidad, coincide con la parte inferior de la unidad 5 de la tabla de equivalencias que figura en Desjardins *et al.* (2016).

Intervalo VII-VIII (Ciclo IV Inferior)

El inicio del mismo está interpretado en el horizonte fucsia (VIII), el cual está identificado por los *topsets* y truncaciones de las progradaciones del intervalo precedente (Fig. 4 sección A). Desde ese límite, hasta las posiciones proximales -*topsets*- se caracteriza por un delgado espesor de unos 40-60 metros de muy pobre resolución sísmica, con numerosos *onlaps* laterales. Las progradaciones vuelven a ubicarse a partir del quiebre de talud, fuera de la plataforma, apoyando sobre la superficie VIII, -*downlap* regional- por lo que es interpretada como un límite de secuencia -SB-. Las facies sísmicas de este set son de tipo shingled a sigmoidales, divergentes, con quiebres muy sutiles, y pobres amplitudes, con relativo menor contenido de materia orgánica. En la sección B de la Fig. 4, puede identificarse nuevamente la erosión de este nivel, cuyo tope viene dado por el horizonte azul (VIII), en la cresta de la estructura anticlinal. Este intervalo, coincide parcialmente

con la porción superior de la unidad 5 de la tabla de equivalencias que figura en Desjardins *et al.* (2016).

Intervalo VIII-IX (Ciclo IV Superior)

Por último, se encuentra este intervalo limitado en su base por el horizonte azul (VIII) y la Discordancia IntraValanginiana (IX) al tope. En la sección A (Fig. 4) se encuentra mayoritariamente en facies de plataforma, con reflectores paralelos, de amplitud y continuidad variable, los cuales también presentan numerosos *onlaps* laterales. La superficie VIII se comporta como un *downlap* regional y en los pozos registra un delgada nivel pelítico bastante continuo por lo que es interpretada como una superficie de máxima inundación. En la porción NW de la zona de estudio, donde este trabajo carece de resolución, Reijenstein *et al.* (2014) interpretan una regresión forzada en el sistema. En tanto que, en el ámbito próximo a la Dorsal de Huincul, al igual que en los 2 intervalos precedentes, esta unidad presenta erosión en la cresta de la estructura anticlinal, en tanto que, como puede observarse en el pozo 16, los depósitos son netamente clásticos. Este intervalo es equivalente a la unidad 6 de la tabla de equivalencias que figura en Desjardins *et al.* (2016).

Los quiebres de plataforma representan una observación clave, tanto para analizar la evolución de la geometría de la cuenca, como para delimitar los ambientes deposicionales dentro de cada secuencia. Además, permiten analizar a través de una misma línea tiempo a lo largo del rumbo una secuencia en particular, registrar los cambios litológicos y mineralógicos que ocurren, debido por ejemplo a la proximidad de la zona de aporte.

La figura 5 sintetiza la metodología empleada. La figura 5B muestra mapas isocronopáquicos de las secuencias antesdescriptas. Cada una de estas secuencias y su posición en el sistema fueron calibradas e interpretadas en función de los pozos con descripción de *cuttings* (Fig. 5C), mientras que la figura 5A evidencia los quiebres de plataforma interpretados en las 6 superficies (de II a VII).

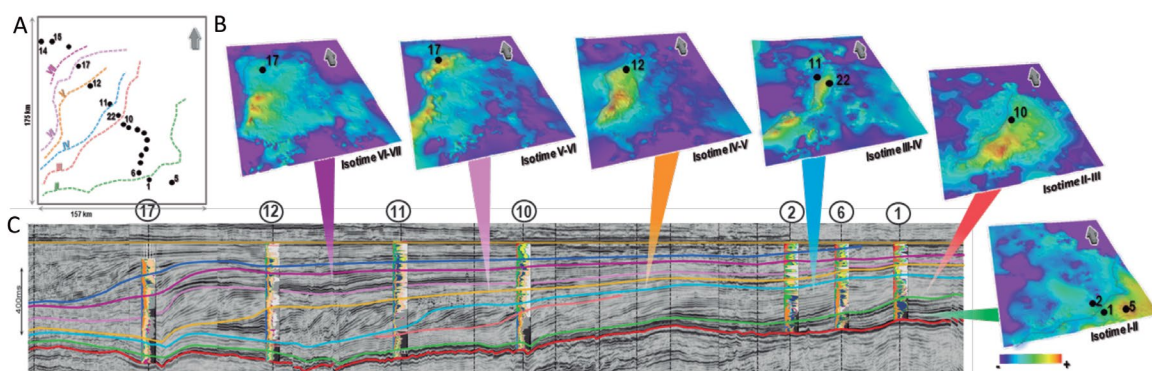


Figura 5. A) Mapa base contrayectorias de los sucesivos quiebres de plataforma interpretados en sísmica. B) Mapas isocronopáquicos resultantes de la interpretación. C) Sección sísmica de referencia NW-SE en tiempo, horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana, con algunos de los pozos que contienen descripciones de cortes delgados.

ANÁLISIS DE *CUTTINGS* Y ASOCIACIONES DE FACIES

Se describieron 22 facies considerando la composición, litología predominante, contenido faunístico y de materia orgánica. Luego, fueron asociadas en 15 facies dominantes, para facilitar el análisis y la distribución regional de las mismas, evidenciando la polaridad del sistema e identificando distintas posiciones paleoambientales (Fig. 6), a partir de la geometría sísmica y de los indicadores litofaciales (Figs. 7, 8, 9 y 10).

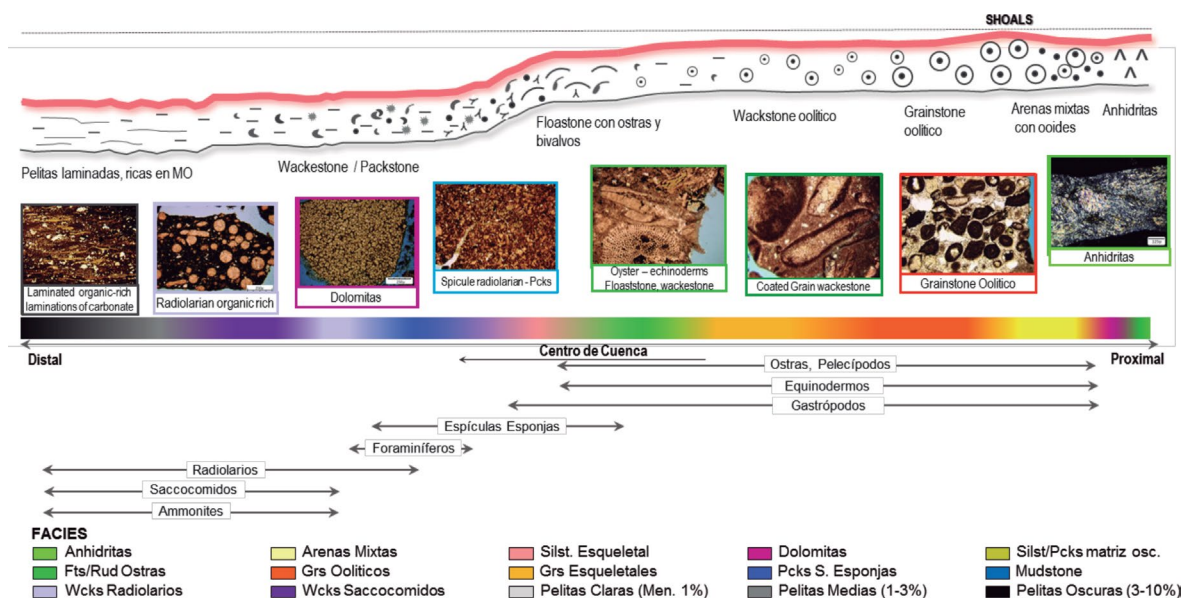


Figura 6. A) Modelo deposicional ideal propuesto a partir de la interpretación de los datos adquiridos. B) Cortes delgados de litologías y/o fósiles característicos en cada una de las posiciones representadas en el esquema de A). C) Distribución de los fósiles identificados a lo largo del perfil deposicional propuesto.

Se incorporó además el estudio de geoquímica para evaluar contenido de carbón orgánico total (COT) y el tipo de materia orgánica presente.

Facies de plataforma proximal

Geométricamente se define como el intervalo desarrollado en posiciones internas respecto de los quiebres de plataforma, caracterizado principalmente por reflectores paralelos en la sísmica (*topset*). De acuerdo con la descripción de *cuttings*, los depósitos de plataforma presentan litologías muy variadas. Depósitos típicos de niveles asociados a ambientes de alta energía; a partir de la presencia de *floatstones*, *grainstones* bioclásticos (ostras, bivalvos, equinodermos, etc.) y areniscas calcáreas con oolitas, desarrollados con dominio de oleaje, mareas o tormentas con patrón de apilamiento grano y estratocrecientes, hasta depósitos de baja energía como pelitas y margas. Es

común la evidencia de exposición subárea debido a la presencia de textura vadosa (*fitted fabric*) en los *grainstones* oolíticos, esqueléticos, pelotoidales o con recubrimientos de granos (*coated grains*), Dentro de la zona vadosa, el agua percola entre los granos provocando una disolución en los contactos de los granos y un recubrimiento de los mismos. Por otra parte, el desplazamiento de los niveles oolíticos desde y hacia el continente evidencian la oscilación del nivel de base relativo dentro de una secuencia. El reconocimiento de estos elementos diagnósticos, junto con la presencia de niveles de dolomitas y anhidritas, facilita la identificación de los límites de las secuencias (Fig. 7).

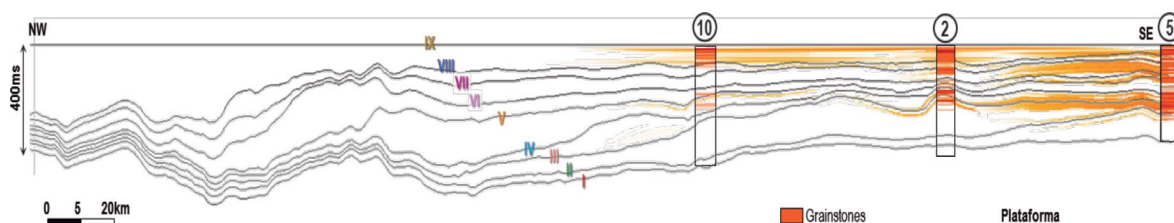


Figura 7. Sección NW-SE horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana con esquema de correlación a partir de la interpretación sísmica y pozos de calibración interceptados por la sección con descripción de cortes delgados provenientes de cuttings. En colores naranjas, se representa la distribución de los elementos diagnósticos de exposición subárea (*grainstones* oolíticos con textura tipo fitted fabric). Ver explicación en texto.

Facies asociadas a depósitos de talud

Corresponde a la porción de las clinoformas progradantes oblicuas que se extienden más allá de los quiebres. Los granos esqueléticos dominantes de la zona de talud fueron las espículas de esponjas quienes forman el esqueleto de las esponjas. La litología de este ambiente está compuesta principalmente en la porción superior de los taludes por *grainstones* con algunas esponjas, ostras, bivalvos y equinodermos, *packstones/wackestones* intraclásticos y pelotoidales, hasta pelitas y areniscas muy finas. Mientras que, en la parte inferior, dominan los *packstones/wackestones* con esponjas y radiolarios intercalados con pelitas laminadas con ligero contenido de materia orgánica (1-3% COT) (Fig. 8).

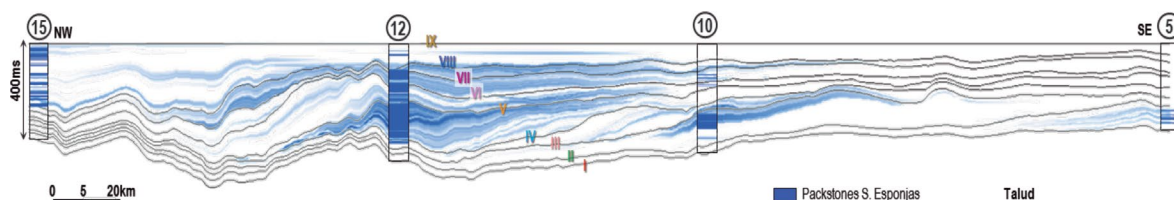


Figura 8. Sección NW-SE horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana con esquema de correlación a partir de la interpretación sísmica y pozos de calibración interceptados por la sección con descripción de cortes delgados provenientes de cuttings. En colores azules, se representa la distribución del elemento diagnóstico de la zona de talud: las espículas de esponjas.

Facies distales de centro de cuenca

Comprende la porción distal agradante de las secuencias progradantes más allá del pie de talud, donde los reflectores vuelven a presentar una configuración prácticamente continua y paralela (en ocasiones, transparente). Está constituida principalmente por la intercalación de *mudstones* - *wackestones* - *packstones* con abundantes radiolarios y saccocomidos y pelitas laminadas de color oscuro con alto contenido de materia orgánica (3-10% COT). Son abundantes los niveles de calcita fibrosa (*beef*), las concreciones y los niveles con tobas, como así también las dolomitas con elevado contenido orgánico en la matriz (Fig. 9).

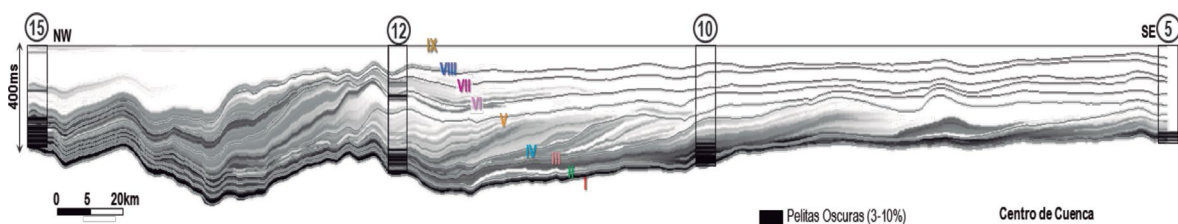


Figura 9. Sección NW-SE horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana con esquema de correlación a partir de la interpretación sísmica y pozos de calibración interceptados por la sección con descripción de cortes delgados provenientes de *cuttings*. En colores grises, se representa la distribución de las pelitas con diferente contenido orgánico, diagnósticas de las facies distales.

Del análisis de facies se evidencia que las mismas no necesariamente coexisten todas juntas al mismo tiempo, siendo probable que en épocas de aumento relativo del nivel del mar se depositen un conjunto de facies diferente a aquellas depositadas durante la caída relativa del nivel del mar.

La figura 10 muestra la combinación de las tres facies diagnósticas: *grainstones* oolíticos (naranja), las cuales representan los depósitos proximales; los *packstones* con espículas de esponjas (azul), correspondientes a los depósitos de talud; y las pelitas orgánicas (grises), representativas de aguas profundas.

Se observa la migración de las facies dentro de cada secuencia sísmica interpretada y su excelente calibración con las descripciones de los *cuttings*, tanto en los ciclos de alta como baja frecuencia.

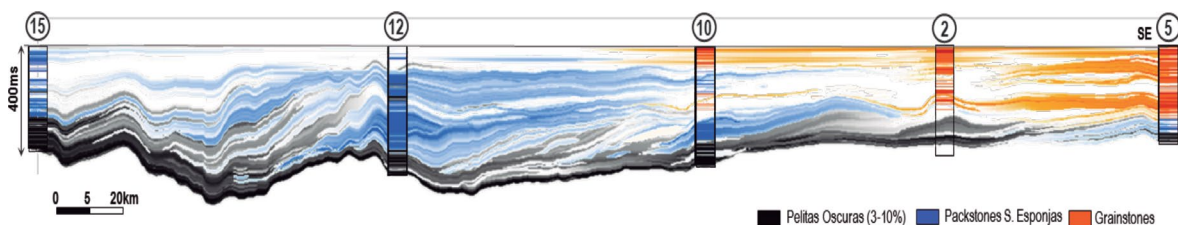


Figura 10. Sección NW-SE horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana con esquema de correlación a partir de la interpretación sísmica y pozos de calibración interceptados por la sección con descripción de cortes delgados provenientes de *cuttings*. En colores se representan las facies diagnosticas utilizadas: *grainstones* (naranja), *packstones* con espículas de esponjas (azul) y pelitas orgánicas (negro). Ver explicación en texto.

RESULTADOS

Modelado geológico a partir del análisis secuencial

Partiendo de la descripción 1D de cortes delgados por cada pozo, su calibración con los perfiles eléctricos e integrando estos resultados con la interpretación sísmica, se identificaron 8 secuencias deposicionales (previamente definidas), las cuales fueron agrupadas en 4 ciclos. Cada una de las superficies interpretadas se asocia a elementos (composición, granulometría, fósiles) observados en las litologías de pozo, característicos de superficies de inundación, superficies de exposición subaerea o a sus correspondientes equivalentes laterales.

A continuación, se realiza una descripción de esta distribución por cada ciclo, en conjunto con imágenes representativas de los mismos, a partir del ejercicio de modelado llevado a cabo:

Ciclo I

Se encuentra delimitado por los horizontes sísmicos I-III (horizontes sísmicos rojo-rosa claro en la Fig. 4). Esta sucesión, presenta geometrías sísmicas progradantes tipo *shingledy* agradantes hacia el tope del ciclo.

La secuencia inferior de este ciclo (I-II) registra variaciones de espesor en sentido NW-SE, que cubren un rango de entre 20-100 metros (Figs. 11B y 11C). En los primeros metros de la unidad, son frecuentes tanto las intercalaciones de niveles clásticos, constituidos fundamentalmente por areniscas finas o *siltstones*, como los niveles de dolomitas con alto contenido de materia orgánica en la matriz (color fucsia en Fig. 11B). Por encima, hacia el oeste y centro de cuenca, el sistema deposita facies de pelitas, pelitas laminadas y margas bituminosas con altos contenidos de materia orgánica (entre 3 y 10%) correspondientes a talud distal y cuenca (colores negro y grises en Figs. 11B y 11C), con abundante contenido esquelético compuesto principalmente por radiolarios y sacocomidos (color violeta y morado en Figs. 11B y 11C). Mientras que, hacia el sureste, se desarrollan las facies de plataforma carbónica, compuestas principalmente por *grainstones* oolíticos y *packstones* con espículas de esponjas y peloides (colores naranja, verde y celeste en Fig. 11B). Este nivel transgresivo se caracteriza por presentar los mayores espesores de pelitas ricas en materia orgánica, con valores de COT elevado, y una amplia distribución areal dentro del sistema.

La secuencia superior de este ciclo (II-III), marcada por procesos de agradación, seguidos de procesos de progradación suave, también presenta variaciones de espesor en sentido NW-SE. En posiciones distales-*bottomsets*-, el espesor perforado es de unos 40 metros. En la porción intermedia-*foresets*-, la secuencia se espesa hasta alcanzar los 300 metros, en tanto que, en posiciones proximales-*topsets*-, disminuye hasta los 100 metros (Figs. 11A y 11C).

Este ciclo presenta heterogeneidades en la zona de la plataforma. Hacia el este, se ubican

bancos tabulares de *grainstones* esqueléticos oolíticos y desarrollo de corales, con intercalación de niveles clásticos de composición arenoso-calcárea con escasa participación de pelitas (colores naranja, y rosa en Figs. 11A y 11C). Por otra parte, hacia el este, se depositan *floatstones* con ostras y bivalvos y *wackestones* con oolitas (colores verde, naranja y amarillos en Figs. 11A y 11C). En la zona de talud, se desarrollan *packstones/wackestones* con espículas de esponjas y radiolarios (colores violeta, morado y celestes en Fig. 11A), culminando hacia el centro de cuenca con facies finas de talud y cuenca, compuestas principalmente por pelitas laminadas con menor contenido de materia orgánica que el ciclo precedente (color negro en Fig. 11A).

El arreglo interno de este ciclo regresivo muestra una progresiva somerización de cada uno de los ciclos internos de mayor frecuencia. Esta disposición interna culmina con la exposición de la plataforma, evidenciado tanto por la presencia de textura vadosa (*fitted fabric*) y recubrimiento de granos (*coated grains*), como por la intercalación de niveles dolomíticos (color fucsia en Figs. 11A 11C).

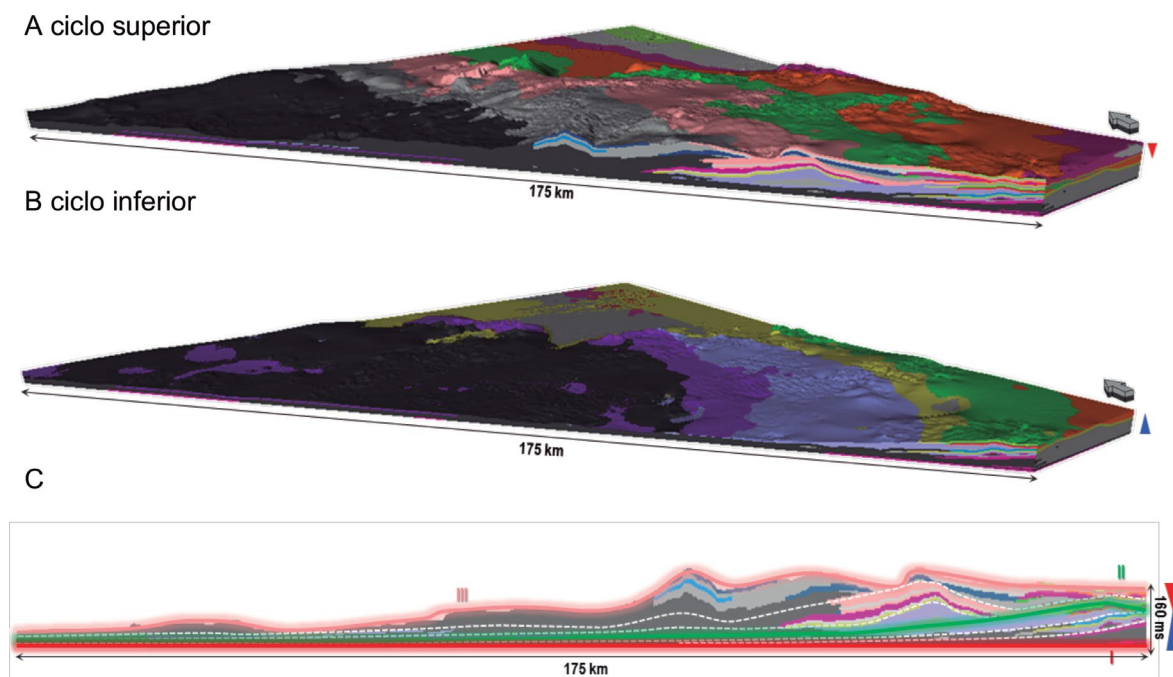


Figura 11. A) Vista 3D del modelado de facies realizado para el intervalo regresivo del Ciclo I. B) Vista 3D del modelado de facies realizado para el intervalo transgresivo del Ciclo I. C) Sección NW-SE extraída del modelo 3D, horizontalizada a la base de la Fm. Vaca Muerta. Se destacan: superficies regionales (I rojo, II verde, III rojo claro) y horizontes internos (líneas de puntos blancas) interpretados en sísmica; distribución de facies y fósiles característicos en cada posición del perfil deposicional. Ver explicación en texto.

Ciclo II

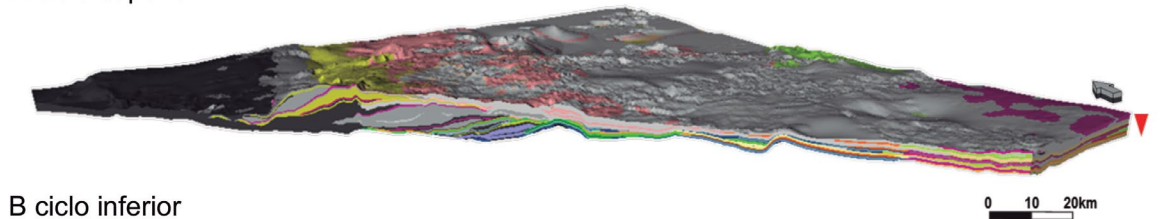
Depositado entre las superficies III-V (horizontes sísmicos rosa claro-naranja en Fig. 4).

El inicio de la depositación del ciclo inferior (superficies III-IV) se encuentra restringido en la zona central de la cuenca, interpretado por Massaferró *et al.* (2014) como resultado de una

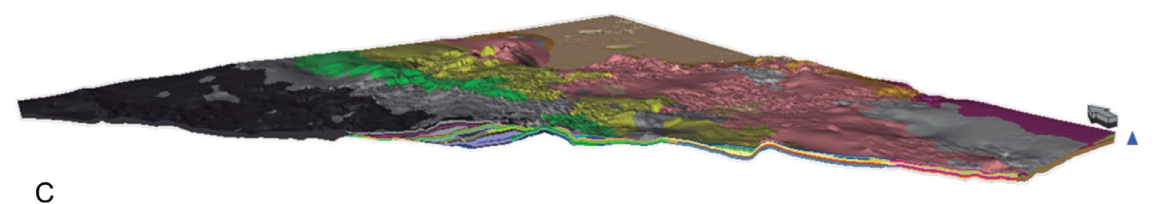
regresión forzada (Fig. 12. B/C). El depósito de estos niveles se inicia con pelitas finas y *wackestones* con radiolarios en su base (colores gris y lilas en Figs. 12B/C), evolucionando verticalmente hacia depósitos más gruesos, los cuales culminan con *grainstones* esqueléticos y ostras (colores naranja y verde en Figs. 12B/C).

Luego, presenta un arreglo general transgresivo, en donde se observa un desplazamiento de pelitas ricas en materia orgánica hacia el continente. Se registra un mayor aporte clástico en posiciones proximales, interpretado como el resultado de un pulso de levantamiento de la Dorsal de Huincul, a partir del análisis en sísmica, de geometrías de crecimiento alrededor de las estructuras. La presencia de concreciones y niveles tobáceos es todavía frecuente dentro del sistema, como así también la presencia de niveles de intrusivos en el sector noroeste de la secuencia. En la porción distal, esta secuencia constata 30 metros de espesor, en tanto que en la zona media la misma alcanza a desarrollar 200 metros de espesor para terminar en posiciones proximales con alrededor de 80 metros (Figs. 12B y 12C). En el centro de cuenca, el sistema deposita facies de pelitas con altos contenidos de materia orgánica (entre 3 y 10%), pelitas laminadas y *wackestones* con radiolarios, asignados a posiciones de talud distal y cuenca (colores grises oscuros y violetas en Figs. 12B y 12C). Hacia el este, en la zona alta del talud, se evidencia una disminución del contenido orgánico en las facies finas, pasando transicionalmente a las facies de plataforma representadas por

A ciclo superior



B ciclo inferior



C

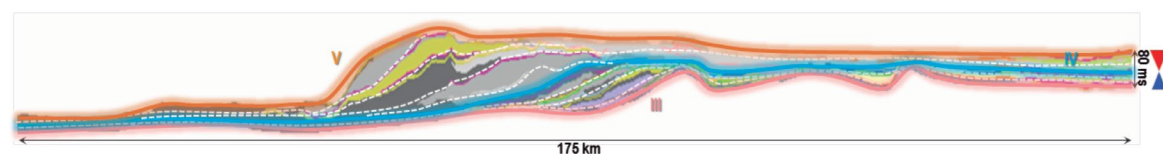


Figura 12. A) Vista 3D del modelado de facies, realizado para el intervalo regresivo del Ciclo II. B) Vista 3D del modelado de facies, realizado para el intervalo transgresivo del Ciclo II. C) Sección NW-SE extraída del modelo 3D, horizontalizada a la base de la Fm. Vaca Muerta. Se destacan: superficies regionales (III rojo claro, IV celeste, V naranja) y horizontes internos (líneas de puntos blancas) interpretados en sísmica; distribución de facies y fósiles característicos en cada posición del perfil deposicional. Ver explicación en texto.

grainstones oolíticos, *packstones/wackestones* dolomíticos (colores naranja, celeste y verde Figs. 12B y 12C) e intercalados con niveles de anhidritas, *mudstones* y pelitas (colores verde claro y grises Figs. 12B y 12C). La zona del quiebre de plataforma de dicho ciclo, se encuentra marcada por el desarrollo de un nivel de *build ups*, constituido por *floatstones* con ostras (color verde en Figs. 12B y 12C).

La secuencia superior de este ciclo (IV-V), marcada por procesos de agradación, seguidos de procesos de progradación, también muestra variaciones de espesor en sentido NW-SE. Siendo de unos 40 metros en posiciones distales, alrededor de 270 metros en la zona central de máximo desarrollo y de unos 110 metros en la parte proximal (Figs. 12A y 12C).

Si bien este estudio no cuenta con descripción de *cuttings* de los depósitos de remoción en masa citados por Pose *et al.* (2014) y Arregui (2014), cabe mencionar que dichos depósitos de *slumps* se encuentran contenidos en este ciclo.

Este período regresivo, presenta en general una mayor influencia clástica en detrimento de las facies carbonáticas (colores amarillos en Figs. 12A y 12C). Los depósitos proximales de esta unidad están representados por *grainstones* oolíticos y pelotoidales, intercalados con niveles dolomíticos asociados a plataforma de mareas con influencia evaporítica (colores naranja, fucsias y verde claro en Figs. 12A y 12C). Hacia la zona del talud, se encuentran depósitos de *siltstones/packstones* con espículas de esponjas y escasa participación de ostras y *pellets* (colores rosa, verde y ocre en Figs. 12A y 12C).

Por último, los equivalentes temporales de centro de cuenca se caracterizan por el desarrollo de facies finas, pelitas laminadas con abundante contenido orgánico y aisladas concreciones (colores grises en Figs. 12A y 12C).

Ciclo III

Esta unidad está delimitada en su base y tope por las superficies V-VII (Horizontes sísmicos naranja-fucsia, Fig. 4). Este intervalo registra otra importante superficie de inundación de carácter regional, (horizonte sísmico VI, rosa en Fig. 4). Como resultado de esta transgresión, se desarrollan hasta 50 metros con altos contenido de materia orgánica (hasta 4%). A partir de dichos eventos, se evidencia un cambio relativo en la geometría de los quiebres, modificándose las condiciones iniciales netamente progradantes del sistema a un estadio de mayor agradación vertical con una moderada componente progradante (Fig. 13C).

La secuencia inferior de este ciclo (V-VI) constata nuevamente variaciones de espesor en sentido NW-SE. Las mismas exhiben alrededor de 20 metros en posiciones distales *-bottomsets-*, un desarrollo máximo en la zona central de 160 metros, espesor desplazado aproximadamente 15 km al noroeste del quiebre de la secuencia anterior y cerca de 50 metros en posiciones proximales *-topsets-* (Figs. 13B y 13C).

En el centro de cuenca, el cual se encuentra desplazado levemente hacia el noroeste, el sistema deposita facies de pelitas, pelitas laminadas y *wackestone/packstones* con radiolarios, típicamente asociados a posiciones de talud distal y cuenca (colores grises y violetas en Figs. 13B y 13C). Hacia el este (en una posición relativamente más proximal), se desarrollan facies de talud, compuestas principalmente por pelitas y *siltstones/packstones*, con espículas de esponjas y radiolarios con abundante participación clástica (colores grises, ocre, rosa claro en Figs. 13B y 13C). En posiciones proximales -*topsets*-, esta secuencia comienza a perder espesor, aunque todavía quedan algunos niveles de *grainstones/packstones* oolíticos y esqueletales con una importante participación de niveles clásticos en la zona suroeste (colores naranjas y amarillos en Figs. 13B y 13C).

La secuencia superior (VI-VII), marcada íntegramente por procesos de agradación-*topsets*-, posee un espesor variable en sentido NW-SE que presenta un rangode 50-100 metros (Figs. 13A y 13C). Este período interpretado como regresivo, constata mayor contenido carbonático que el ciclo precedente. Los depósitos proximales de esta unidad están representados por *grainstones* con abundantes oolitas y ostras, intercaladas con niveles pelíticos y arenosos -sobre todo en la zona suroeste, próxima a la Dorsal de Huincul- (colores naranjas en Figs. 13A y 13C). La evidencia de textura vadosa se hace cada vez más frecuente hacia el tope de la secuencia como así también

A ciclo superior

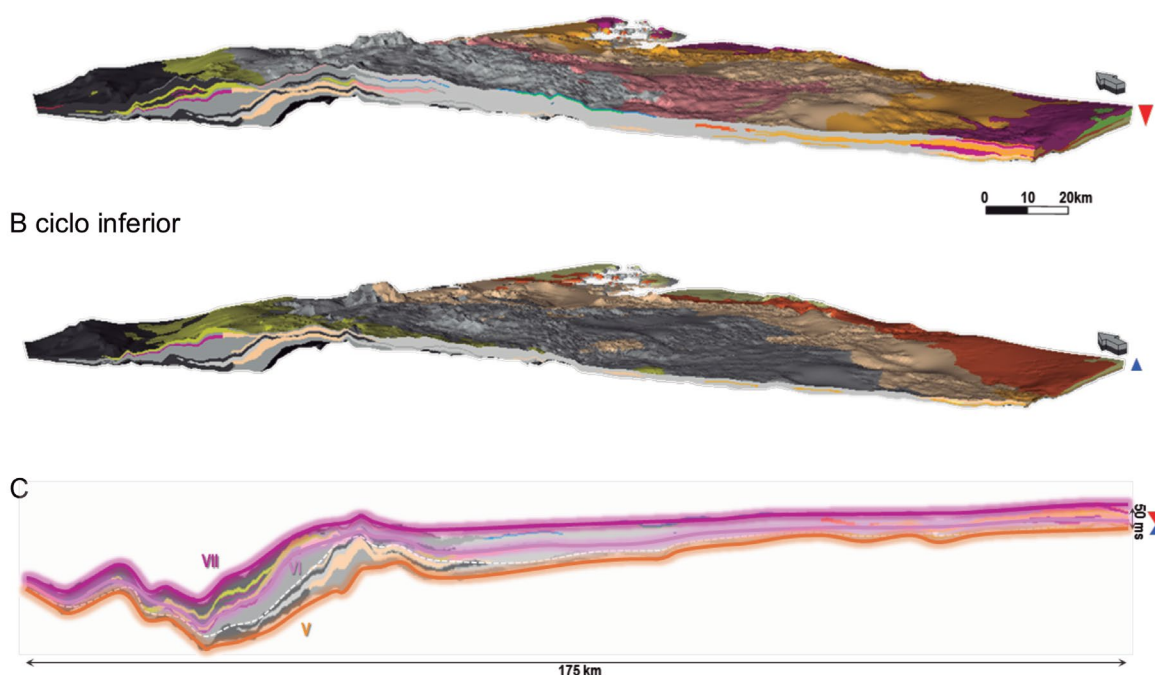


Figura 13. A) Vista 3D del modelado de facies realizado para el intervalo regresivo del Ciclo III. B) Vista 3D del modelado de facies realizado para el intervalo transgresivo del Ciclo III. C) Sección NW-SE extraída del modelo 3D, horizontalizada a la superficie IX (Disc. IntraValanginiana). Se destacan: superficies regionales (V naranja, VI rosa, VII fucsia) interpretados en sísmica; distribución de facies y fósiles característicos en cada posición del perfil deposicional. Ver explicación en texto.

de revestimientos de granos y la presencia de niveles de anhidrita. En las cercanías del talud, estos depósitos evolucionan transicionalmente a *mudstones*, *siltstones/packstones* con espículas de esponjas y epistémicas (colores rosas, ocre y celeste en Figs. 13A y 13C). Culminan en el centro de cuenca -*bottomsets*-, facies de pelitas orgánicas, pelitas laminadas y *wackestones* correspondientes a posiciones de talud distal y cuenca (colores grises en Figs. 13A y 13C).

Ciclo IV

Finalmente, se encuentra la unidad comprendida entre las superficies VII-IX (horizontes sísmicos fucsia-marrón en Fig. 4).

Este ciclo presenta en general un arreglo regresivo del sistema. Comenzando con niveles arenoso-pelíticos de poco espesor, cubiertos rápidamente con fracciones más gruesas de procedencia continental. Estos intervalos mantienen el arreglo interno de somerización hacia el tope (Fig. 14).

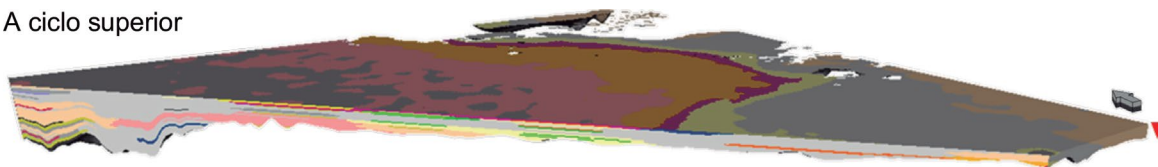
La secuencia inferior de este ciclo, al igual que las precedentes, registra variaciones de espesor en sentido NW-SE. Se han constatado 20 metros en posiciones distales, registra un máximo de 160 metros en la parte central, para luego disminuir hasta 100 metros en la porción proximal (Figs. 14B y 14C). En la porción central, ubicada al noroeste de la zona de estudio, los depósitos de talud vuelven a tener facies pelíticas ricas en contenido de materia orgánica. Estos niveles, están constituidos por *siltstones/packstones* esqueléticos con abundante participación de espículas de esponjas y pellets (colores ocre y celeste en Figs. 14B y 14C). Hacia la zona proximal, las facies desarrolladas son *grainstones*, ostras, oolitas y bivalvos, con abundante participación de arenas calcáreas y pelitas (colores naranjas, rosas, verdes y amarillos en Figs. 14B y 14C).

La secuencia superior de este ciclo, compuesta por las unidades que se ubican por encima de la superficie VIII (horizonte sísmico azul en Fig. 4), vuelve a mostrar un patrón progradacional. Este arreglo culmina generalmente con la exposición de la plataforma en gran parte de la cuenca, evidenciado por el registro de niveles dolomíticos y textura vadosa (*fitted fabric*) en casi todos los pozos analizados. Este rasgo regional, es interpretado y correlacionado en conjunto con la sísmica, como la manifestación de la Discordancia IntraValanginiana en subsuelo. En total, este ciclo posee una variación importante de espesor en sentido NW-SE, con un rango de 500 metros en posiciones distales a 100 metros en la zona proximal (Figs. 14A y 14C).

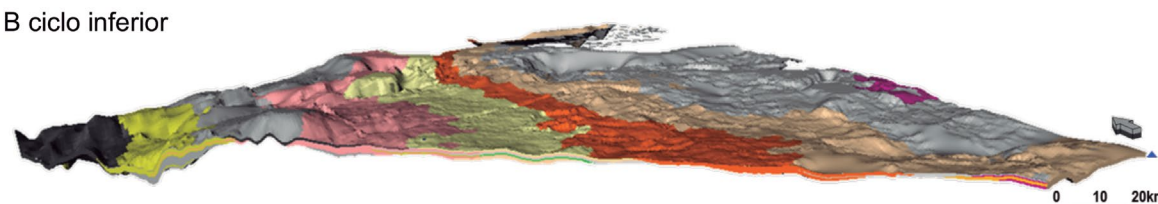
Generalmente se encuentra en facies de talud y plataforma. Está constituido por *siltstones* de matriz carbonática, con alto porcentaje de oolitas, ostras, pellets, areniscas calcáreas y *mudstones* (colores ocre, rosas, naranjas y amarillos en Figs. 14A y 14C). Las pelitas presentes en este intervalo poseen bajo porcentaje de COT, inferiores al 4%.

Se destaca que los dos últimos ciclos (Ciclo III y IV) no son fácilmente reconocibles en la porción sureste de la cuenca, debido a que los mismos presentan geometrías de *onlap* en numerosos lugares, como se comentó en el apartado de la interpretación sismoestratigráfica.

A ciclo superior



B ciclo inferior



C

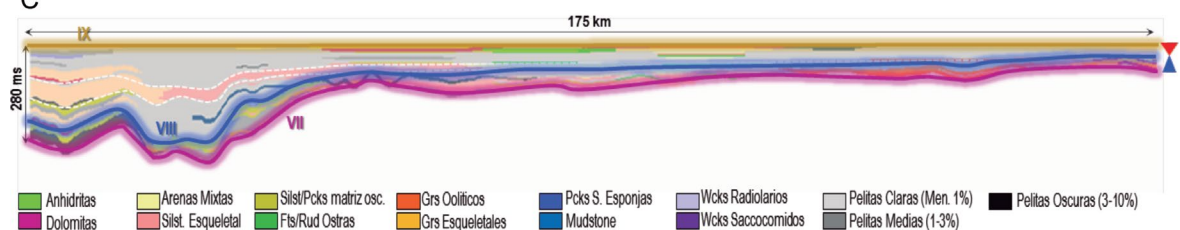


Figura 14. A) Vista 3D del modelado de facies realizado para el intervalo regresivo del Ciclo IV. B) Vista 3D del modelado de facies realizado para el del intervalo transgresivo del Ciclo IV. C) Sección NW-SE extraída del modelo 3D, horizontalizada a la Discordancia IntraValanginiana. Se destacan: superficies regionales (VII fucsia, VIII azul, IX marrón) interpretados en sísmica, distribución de facies y fósiles característicos en cada posición del perfil deposicional. Ver explicación en texto.

Por último, la figura 15 presenta un resumen del estudio efectuado, 3 secciones extraídas con diferentes propiedades en dirección NW-SE, horizontalizadas a la Discordancia IntraValanginiana. En tanto que, en formato pequeño a pie de cada sección, se presenta una vista 3D (horizontalizada al mismo nivel) en donde se han desplegado: la sección previamente mencionada, más otras 2 secciones paralelas y 2 secciones perpendiculares, con el propósito de mostrar las heterogeneidades descriptas a lo largo de este trabajo.

En el caso de la figura 15A, se presenta la distribución de las 15 facies modeladas en los 4 ciclos previamente detallados. En la figura 15B, lo que se exhibe es la distribución de la abundancia de materia orgánica, a partir tanto de las estimaciones de los cortes delgados de *cuttings* como de los datos provenientes de los estudios geoquímicos. Finalmente, en la figura 15C se observan los valores de Ro provenientes de los análisis geoquímicos.

CONCLUSIONES

Esta metodología de estudio, realizada a partir de la integración de toda la información de subsuelo disponible adquirida en los últimos años, permitió analizar las heterogeneidades que presenta la columna sedimentaria de las Fms. Quintuco y Vaca Muerta, en una superficie de más de 28000 km² del engolfamiento neuquino.

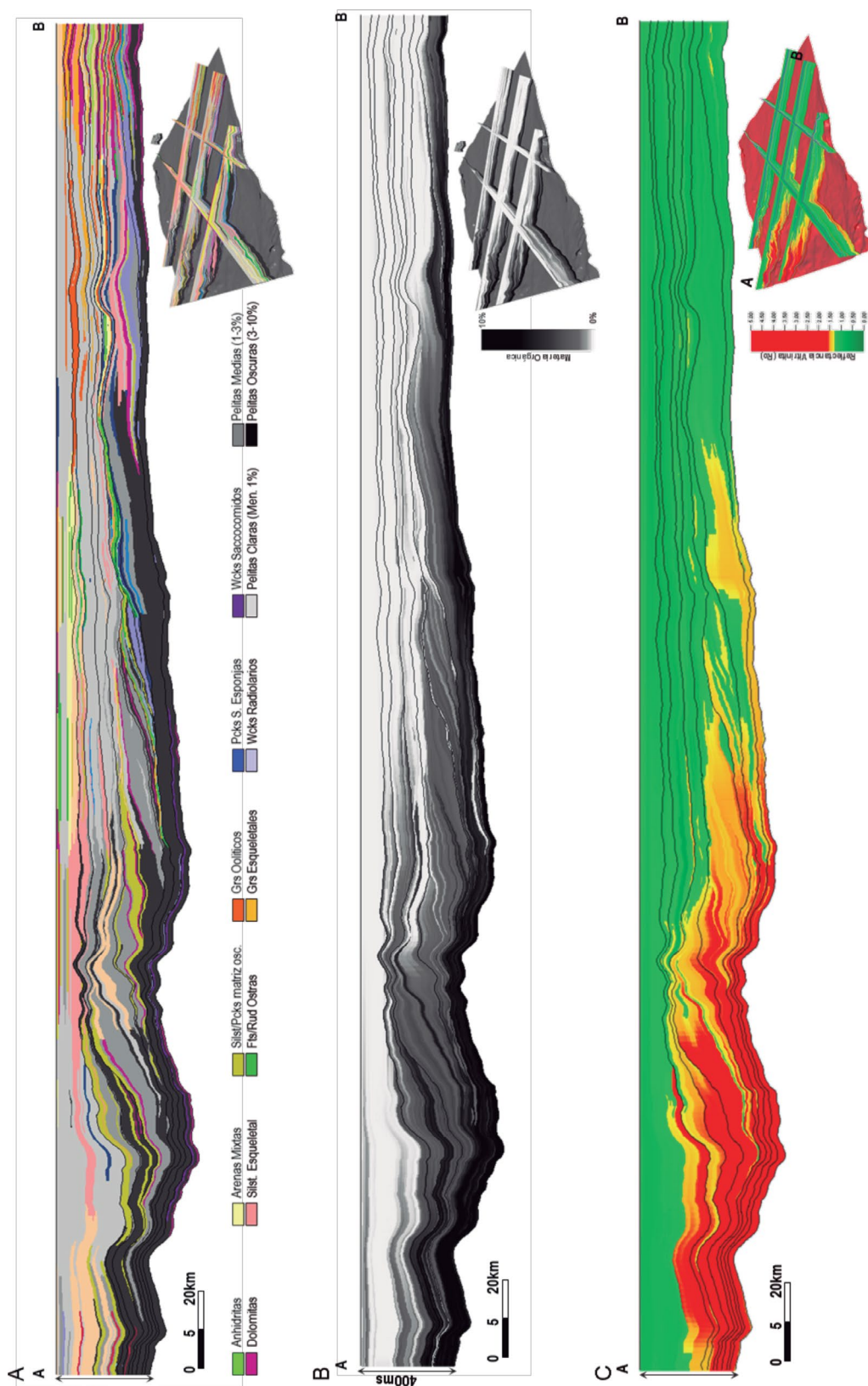


Figura 15. Secciones NW-SE y visualizaciones 3D del modelado realizado en el presente trabajo. Ver explicación en texto.

El sistema fue dividido a escala de cuenca en 8 secuencias deposicionales, las cuales presentan un arreglo progradante proximal-distal de sentido de avance SE-NW.

Estos depósitos han sido controlados principalmente por la configuración progradante del sistema, y su posición paleogeográfica, pudiendo interpretarse como la respuesta a diferentes condiciones de interacción entre el aporte clástico, las condiciones climáticas y los cambios relativos del nivel del mar sucedidos durante el período Tithoniano medio-Valanginiense inferior.

A partir de la calibración de las superficies sísmicas, junto con las descripciones de cortes delgados provenientes de los *cuttings* y los estudios geoquímicos, ha sido posible realizar un modelado geológico tridimensional, que captura en cada lugar de la cuenca, la posición paleoambiental de cada una de las secuencias del sistema.

Los resultados de este estudio permiten entre otras cosas:

- Entender la distribución del sistema deposicional en su conjunto, a partir del estudio de las heterogeneidades de la roca.
- Tener un marco regional en sectores con escasa o casi nula información para evaluar áreas exploratorias.
- Refinar el modelo en sectores que involucren campos a delinear reduciendo las incertidumbres.
- Construir modelos sectoriales con propósitos específicos (distribución de arenas/pelitas/carbonatos, contenido de materia orgánica, porosidad, cálculos volumétricos, modelado dinámico).
- Las evaluaciones volumétricas son más consistentes si se consideran las geometrías regionales
- Eliminar la problemática de la nomenclatura local.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gerencia de Estudios de Subsuelo de YPF S.A. por permitir la publicación del presente trabajo y a José Luis Massaferró por la lectura crítica y los aportes efectuados.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|---|---|
| Arregui, C. 2014, Ciclos Deposicionales de las Fms Quintuco y Vaca Muerta: Genesis y Evolución. Área Central – Cuenca Neuquina. IX Congreso de Explotación y Desarrollo de Hidrocarburos. Trabajos Técnicos. Tomo II, p.189-208 | Cruz, C.E., Robles, F., Sylwan, C.A. & Villar, H.J. 1999. Los sistemas petroleros jurásicos de la Dorsal de Huincul. Cuenca Neuquina, Argentina. 4º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 177-195. Buenos Aires. |
|---|---|

- Cruz, C. E., Boll A., Gómez Omil R., Martínez E. A., Arregui C., Gulisano C.A., Laffitte G. A. y Villar H. J., 2002, Hábitat de hidrocarburos y sistemas de carga Los Molles y Vaca Muerta en el sector central de la Cuenca Neuquina, Argentina, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Actas-CD-ROM, 20p, Buenos Aires.
- Desjardins, P., Fantín, M., Gonzalez Tomassini, F., Reijenstein, H., Sattler, F., Domínguez, F., Kietzmann, D., Leanza, H., Bande, A., Benoit, S., Borgnia, M., Vittore, J., Simo T., y Minisiini, D., 2016. Capítulo 2: Estratigrafía Sísmica Regional. En G. Gonzalez, *et al.* (eds), *Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta (IAPG)*, Buenos Aires. 5-22.
- Digregorio, J.H. 1972. Neuquén. En: A.F. Leanza (Ed.): *Geología Regional Argentina. Centenario de la Academia Nacional de Ciencias* 439-506. Córdoba.
- Domínguez, R., Reijenstein, H., Kohler, G., Sattler, F., Moreno, M., Gómez Rivarola, L. y Borgnia, M., 2017. Distribución Regional de Quebres de Clinoformas del Sistema Vaca Muerta-Quintuco. Simposio 5. Geología de la Formación Vaca Muerta. XX Congreso Geológico Argentino. p38-45.
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R. & Digregorio, R.E. 1984, Análisis estratigráfico del intervalo Tithoniano-Valanginiano (Fms Vaca Muerta, Quintuco y Mulichinco) en el suroeste de la provincia de Neuquén. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas I: 221-235. San Carlos de Bariloche.
- Kietzmann, D., Ambrosio, A., Alonso, M. Suriano, J., 2016. Cap. 20: Puerta Curaco. En G. Gonzalez, *et al.* (eds), *Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta (IAPG)*, Buenos Aires. 219-232.
- Leanza, H.A. 1973, Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes Jurásico -Cretácicos entre Loncopué y Picún Leufú, provincia del Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 28 (2): 97-132. Buenos Aires.
- Leanza, H.A., Sattler, F., Martínez, R.S. y Carbone, O., 2011. La Formación Vaca Muerta y equivalentes (Jurásico tardío- Cretácico temprano) en la Cuenca Neuquina. En H. Leanza, J. Vallés, C. Arregui y J.C. Danieli (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén. 18º Congreso Geológico Argentino*: 113-129.
- Legarreta, L. y C. Gulisano, 1989, Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior - Terciario Inferior), Argentina, en: Chebli, G.A. & Spalletti, L.A. (eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica* 6: p. 221-243. San Miguel de Tucumán.
- Legarreta, L. y Villar, H. 2012, Las facies generadoras de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina. *Revista Petrotecnia*. Agosto 2012.
- Massaferro, J.L., Zeller, M., Giunta, D., Sagasti, G., Eberli, G. 2014, Evolución Del Sistema Mixto Tithoniano-Valanginiano (Fms Vaca Muerta, Quintuco y equivalentes) a partir de estudios de afloramientos y subsuelo, Centro – Sur de la Cuenca Neuquina. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio de Recursos No Convencionales: Ampliando el Horizonte Energético, p.251-274.
- Mitchum Jr R. y M. Uliana, 1985, Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina: Chapter 15 AAPG Special Volumes, Volume M39: Seismic Stratigraphy II: An Integrated Approach to Hydrocarbon Exploration, p. 255-274.

- Pose, F., Gangui, A. y Galeazzi, S., 2014, Estratigrafía Secuencial del intervalo Quintuco-Vaca Muerta en el Engolfamiento Neuquino, Cuenca Neuquina, Argentina. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio de Recursos No Convencionales: Ampliando el Horizonte Energético, p. 211-230.
- Reijenstein, H.M., Posamentier, H., Fantin, M., González Tomassini, F. y Lipinski, C. 2014, Vaca Muerta seismic stratigraphy and geomorphology: Regional architectural trends for unconventional exploration. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, abstracts extendidos, 211-220, Mendoza.
- Smith, L., 2017, Cuttings descriptions from YPF wells. YPF Internal report.
- Zeller, M. 2013, Facies, Geometries and Sequence Stratigraphy of a Mixed Carbonate-Siliciclastic Quintuco-Vaca Muerta System in the Neuquén Basin, Argentina: An Integrated Approach. Ph.D. Thesis, Universidad de Miami.



**10° CONGRESO DE
EXPLORACIÓN Y
DESARROLLO DE
HIDROCARBUROS**

**Energía y Sociedad
aliados inseparables
Mendoza 2018**