

CASOS DE VARIABILIDAD LATERAL EN EL SISTEMA VACA MUERTA-QUINTUCO Y SU IMPACTO EN LA DISTRIBUCIÓN DE FACIES RICAS EN MATERIA ORGÁNICA

Ricardo Fabián Domínguez¹, Matías Di Benedetto¹

1: YPF S.A., ricardo.dominguez@ypf.com, matias.dibenedetto@ypf.com

Palabras clave: Variabilidad lateral, clinoformas, vaca muerta

ABSTRACT

Cases of along-strike variabilities in the Vaca Muerta-Quintuco System and their impact in the distribution of the rich organic facies.

Recent advances in the stratigraphic framework of the Vaca Muerta Quintuco System in the Neuquén Basin are mainly based in cross sections. Beyond the classic 2D framework, this contribution analyzes two cases of along strike variability in two different plan view break-clinoforms. Firstly, a case with parallel concave plan view geometry in the Southern Flank is presented. Despite the apparent simplicity of this geometry, important lateral variations of clinoforms thickness and distribution organic rich-facies with variable controls for different sequences are observed. Secondly, a case is presented in the Basin Center where an important rich organic interval (landing point) is controlled by a previous lowstand system tract with lobate convex plan view geometry. The results of this contribution suggest that it is necessary to advance in detailed stratigraphic schemes with a three-dimensional approach and the along-strike variability of the organic-rich facies must be considered for subsurface assessments.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte los trabajos antecedentes que apuntan a desarrollar un esquema estratigráfico para el Sistema Vaca Muerta-Quintuco hacen foco en interpretaciones sísmo-estratigráficas y de estratigrafía secuencial en secciones transversales 2D (*dip-oriented*). Sin embargo, a pesar del gran interés sobre la Formación Vaca Muerta como reservorio no convencional de tipo *shale* y el consecuente aumento exponencial de publicaciones, son escasas los trabajos que hacen foco en el análisis de la variabilidad lateral (*along-strike*) para avanzar hacia un entendimiento espacial 3D en los esquemas estratigráficos regionales.

El objetivo del presente trabajo es presentar dos casos de estudio que permitan avanzar en el entendimiento de los esquemas estratigráficos desde un enfoque tridimensional y el impacto de la variabilidad lateral en la distribución de facies ricas en materia orgánica. Estos casos de análisis son de escala regional y están sustentados en una base de datos de cobertura sísmica

3D/2D y de pozos, que cubre la mayor parte de la región del Engolfamiento Neuquino en el subsuelo de la cuenca (Fig. 1).

ANTECEDENTES

Las secuencias depositacionales del Sistema Vaca Muerta-Quintuco se desarrollaron en la Cuenca Neuquina mediante una variedad de patrones geométricos de apilamiento vertical en los que es posible reconocer dos extremos. Estos extremos están representados por el patrón “divergente” por un lado y “clinoformas” por el otro, con una zona de transición entre ambas en que pueden convivir ambos patrones (p. ej. sección inferior cubierta por clinoformas sutiles, etc.). La distribución de estos patrones extremos estuvo controlada por la paleo-configuración de cuenca durante el Tithoniano Inferior a Valanginiano Inferior (Domínguez *et al.* 2017b) donde cada paleo-dominio morfoestructural muestra diferentes patrones de apilamiento vertical (Fig. 2). El patrón divergente y de clinoformas de muy bajo ángulo o “sutiles” se encuentra restringido al Flanco Oriental, mientras que el patrón de clinoformas propiamente dicho se encuentra restringido al Flanco Sur y su extensión hacia el centro de cuenca. A pesar de que el patrón de “clinoformas” es el más característico para describir el marco estratigráfico del Sistema Vaca Muerta-Quintuco, su distribución areal cubre una extensión menor al 50% de la cuenca (ver área en azul de línea punteada en Figura 2).

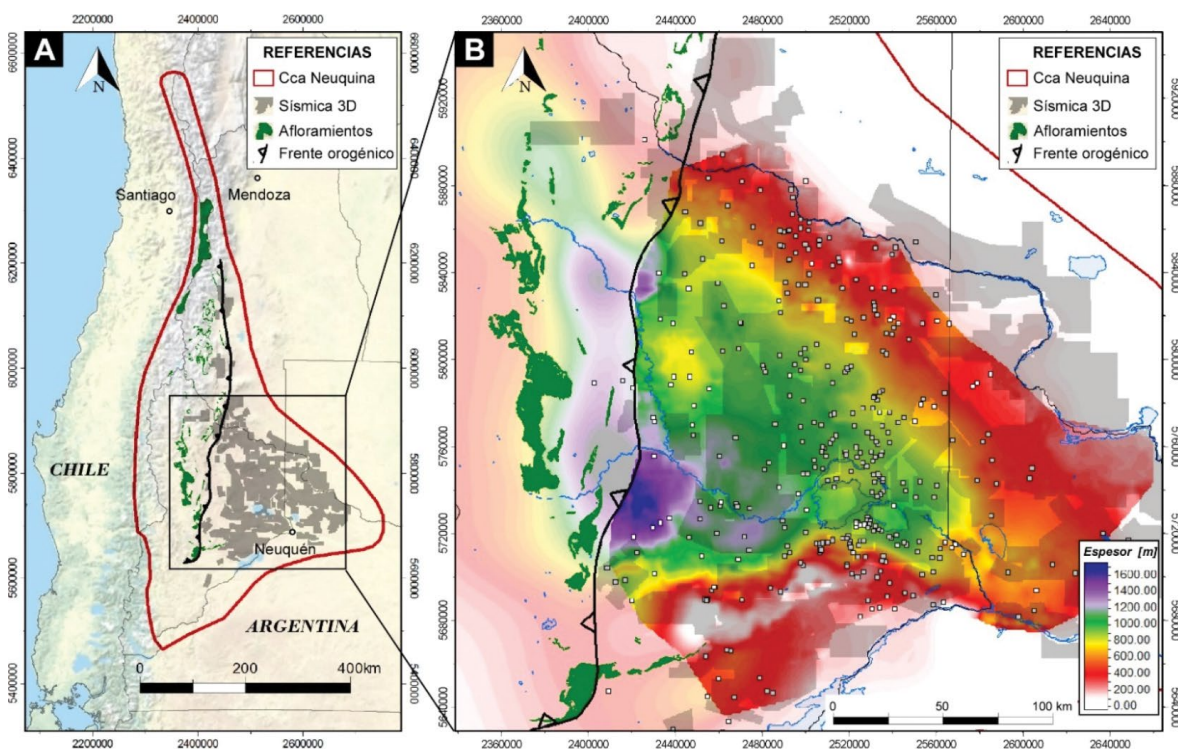


Figura 1. A) Cuenca Neuquina con indicación de base de datos disponible para este trabajo. B) Mapa de espesor actualizado (en metros) del Sistema Vaca Muerta-Quintuco, basado en datos de pozos y datos sísmicos 3D y 2D (no incluidos en la figura).

El mapeo de quiebres de clinoformas de diferentes superficies estratigráficas de referencia es una excelente guía para analizar la variabilidad 3D a escala regional. Mitchum y Uliana (1982, 1985, 1988) realizaron un primer mapeo para el Sistema Vaca Muerta-Quintuco en base a líneas sísmicas 2D para nueve superficies correspondientes a los límites de secuencias depositacionales. En base a la amplia cobertura de sísmica 3D disponible actualmente para la región del Engolfamiento Neuquino, Dominguez *et al.* (2017b) actualizaron el mapeo de alta resolución de quiebres de clinoformas para las superficies de referencia definidas por Desjardins *et al.* (2016) e identificaron diferentes tipos de geometrías, infiriendo procesos dominantes de distribución de sedimentos (Figs. 3 y 4). Las diferentes geometrías en vista de planta de quiebres de clinoformas descriptas fueron:

Cóncavas paralelas (*parallel concave-basinward*): claramente observables en las clinoformas de bajo ángulo entre las superficies T1 y T5 (Desjardins *et al.* 2016) correspondientes a las secuencias de alta frecuencia S-01 a S-05. Dominguez *et al.* (2017) inferen un transporte generalizado de sedimentos a través de la plataforma/*topset* a partir de una fuente dispersa, aunque se consideran componentes relacionados a transporte y sedimentación paralelo a la costa (Zeller *et al.*, 2015).

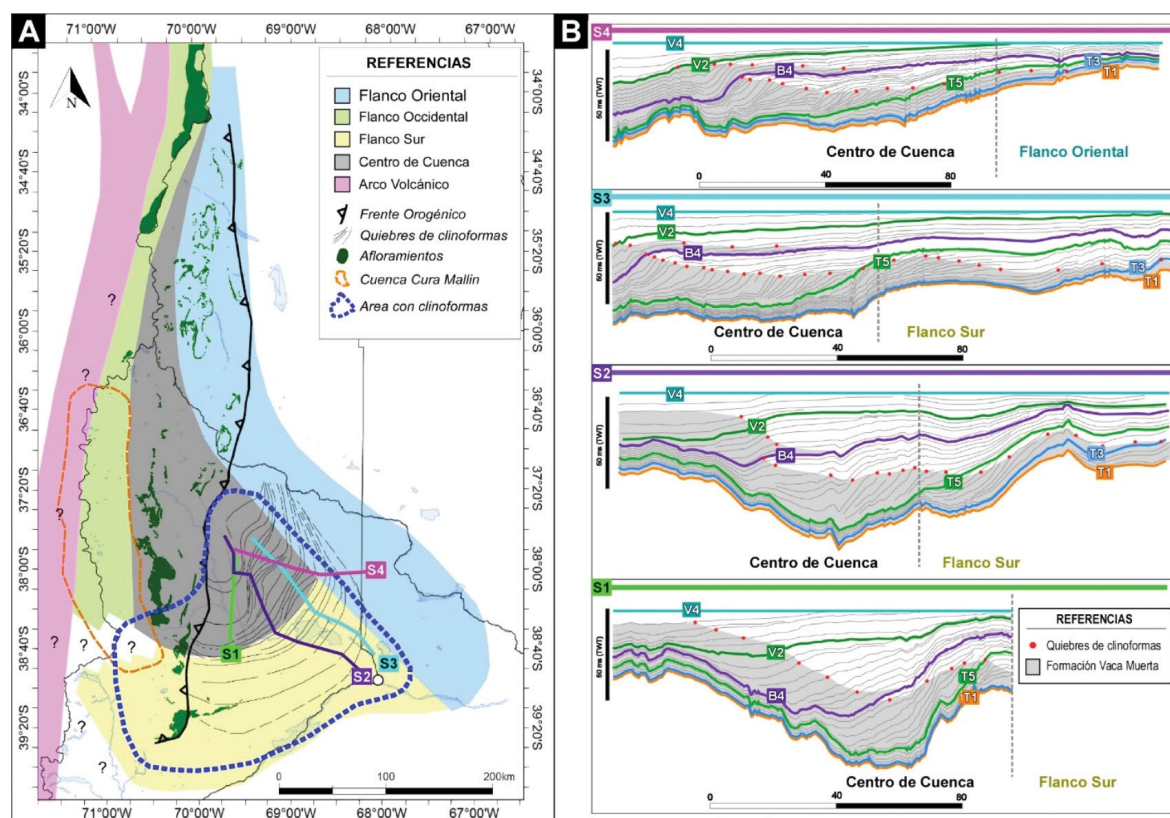


Figura 2. Variabilidad lateral controlada por la configuración de la cuenca durante el Tithoniano Inferior a Valanginiano Inferior. A) Dominios morfo-estructurales con indicación de área con desarrollo de clinoformas (modificado de Dominguez *et al.* 2017b). B) Secciones sísmicas interpretadas con indicación de la distribución de la Fm. Vaca Muerta y con superficies crono-estratigráficas de referencia (Desjardins *et al.*, 2016).

Convexas lobuladas (*lobate convex-basinward*): se desarrollan claramente entre las superficies T5 y B1 que corresponde a un *Falling Stage System Tract* (FSST-05) y entre las superficies B2 y B3 interpretado en este trabajo como un *Lowstand System Tract* (LST-07). Domínguez *et al.* (2017) infieren una distribución de sedimentos a partir de una fuente localizada de sedimentos.

Romboidales (*rhomboid*): desarrolladas por efecto de la activación de ejes de subsidencia y el alto estructural Cerro Arena o Proto-Chihuidos, donde la distribución de sedimentos está condicionada por un control tectónico.

Sin quiebres (*without breaks / ramp*): todas las geometrías anteriormente descriptas pasan transicionalmente a un patrón de apilamiento vertical de tipo divergente, sin desarrollo de clinoformas, hacia el Flanco Nororiental (Domínguez *et al.*, 2017b). Se infiere un transporte generalizado transversal a la línea de costa, que corresponde a una rampa divergente. En

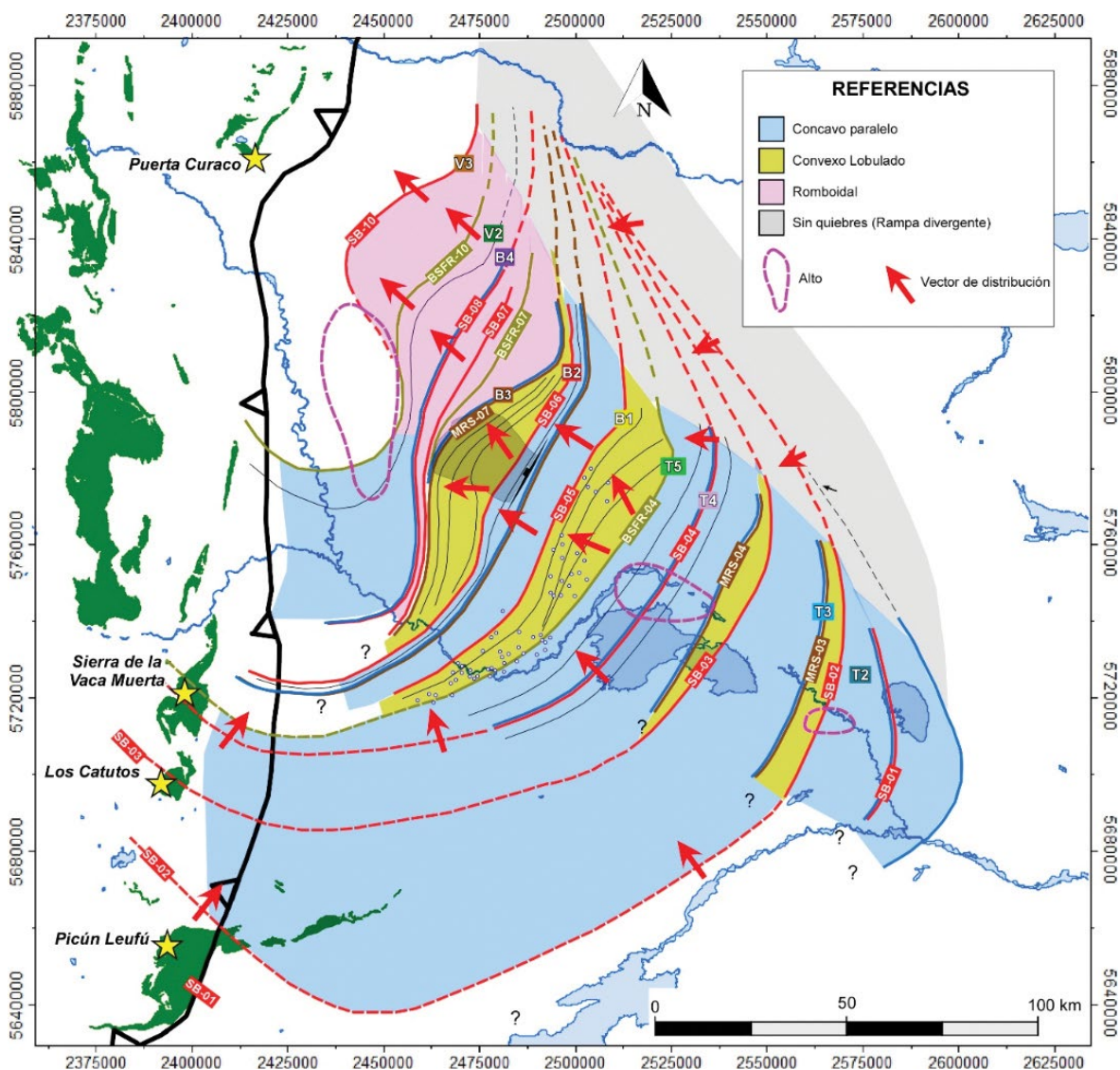


Figura 3. Geometrías (vista de planta) de quiebres de clinoformas (modificadas de Domínguez *et al.* 2016).

muchos casos, en la zona de transición se presentan intervalos con patrón divergente hacia la base cubiertos con clinoformas sutiles, en las que es difícil mapear los quiebres.

METODOLOGÍA

El análisis clásico de esquemas estratigráficos se apoya en interpretaciones de secciones transversales (de pozos y/o sísmicas). En el caso de las clinoformas del Sistema Vaca Muerta-Quintuco las secciones transversales deben ser horizontalizadas a un datum de referencia para facilitar el análisis, el cual es variable dependiendo de la zona de la cuenca y muchas veces no son totalmente satisfactorias para reproducir las geometrías de una clinoforma. Por lo tanto, para avanzar sobre el análisis de la variabilidad 3D es necesario sumar más elementos de análisis tales como secciones paralelas al rumbo de elementos que caracterizan a las clinoformas (p. ej. quiebres o pies de clinoformas). Esto plantea un desafío ya que las clinoformas del Sistema Vaca Muerta Quintuco presentan quiebres y pies de clinoformas semi-circulares, por lo que las secciones paralelas (*along-strike oriented*) deben replicar estas geometrías. Otro elemento útil para el análisis son los mapas de espesor, tanto de espesores de clinoformas como de espesores de las facies ricas en materia orgánica (contenido orgánico total o COT >2%) cuyos intervalos son llamados como “*Organic Vaca Muerta*” (OVM).

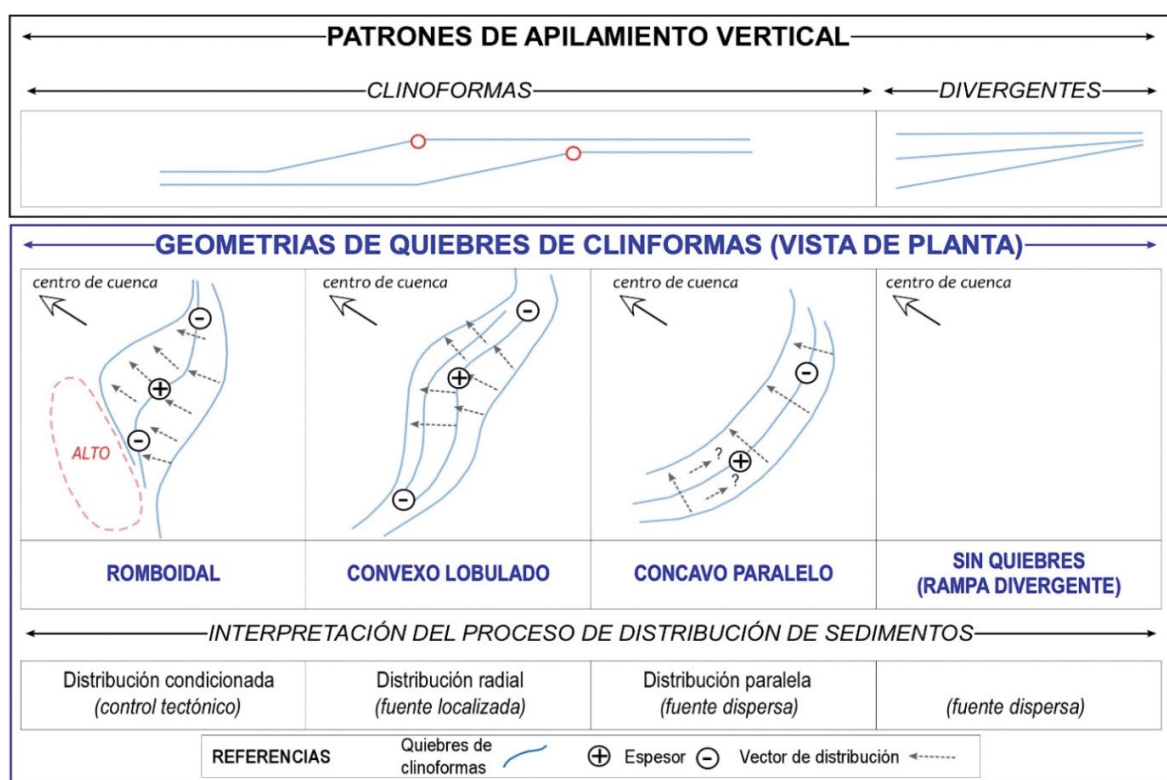


Figura 4. Clasificación de geometrías de quiebres de clinoformas en vista de planta (modificadas de Domínguez *et al.* 2016).

Teniendo en cuenta las geometrías de quiebres de clinoformas se analizan en detalle dos casos diferentes: el primer caso correspondiente a una geometría cóncava paralela y un segundo caso para una geometría convexa lobulada. En cada uno de ellos se presentan los elementos de análisis mencionados (secciones de pozo, secciones sísmicas, mapas de quiebres/pies de clinoformas y mapas de espesor de clinoformas e intervalos ricos en materia orgánica) para avanzar en el entendimiento de la variabilidad lateral de facies y sobre todo en la distribución de facies ricas en materia orgánica.

Se utilizan para el análisis dos esquemas estratigráficos de referencia. En primer lugar, un esquema estratigráfico secuencial de 12 secuencias depositacionales de alta frecuencia modificado de Dominguez *et al.* (2016) y Dominguez y Catuneanu (2017) con combinaciones variables de systems tracts. En segundo lugar, en la medida de lo posible se hace referencia a las superficies cronoestratigráficas definidas por Desjardins *et al.* (2016).

CASOS DE VARIABILIDAD LATERAL

Caso 1

Este caso corresponde a una clinoforma situada en el Flanco Sur, con geometría cóncava paralela que presentan las secuencias S-01, S-02 y S-03. En el esquema estratigráfico secuencial (Fig. 5), la distribución de las facies ricas en materia orgánica (OVM) en estas secuencias se encuentra restringida a los *foreset* y *bottomset* de los *transgressive system tracts* (TST) y la sección basal de los *highstand system tracts* (HST). En las secuencias S-01 y S-02, las OVM corresponden a la “Cocina” (Vittore *et al.* 2014), mientras que en la secuencia S-03 corresponden a la sección basal del intervalo conocido como “Orgánico” (Vittore *et al.* 2014).

Sin embargo, a pesar de la aparente simplicidad de esta geometría, se observan importantes variaciones laterales de espesores, ángulos y facies. La Figura 6 muestra un mapa de quiebres y pies de clinoformas, separando segmentos de *bottomset*, *foreset* y *topset* para el techo de la secuencia S-03 (SB-03), indicando una sección B-B' cuya orientación es pseudo-paralela al pie de la clinoforma. En la sección de pozos (Fig. 6B) y sección sísmica (Fig. 6C) puede observarse que el intervalo comprendido por las secuencias S-01 y S-02 aumenta de espesor hacia el suroeste. Dentro de la secuencia S-03, el intervalo LST-03 también aumenta de espesor también hacia el suroeste e incluye paquetes “calcáreos” más prominentes. Este cambio puede visualizarse tanto en los perfiles de pozo como en variaciones de amplitud en la sección sísmica. En sentido contrario, el intervalo comprendido por el TST-03 y HST-03 aumenta de espesor hacia el noreste, en parte asociado a que en este sector la sección sísmica y de pozo se vuelve oblicua al *foreset* terminando muy cercana al quiebre de la superficie SB-03. Hacia el suroeste es notable su disminución de espesor, incluyendo las facies ricas en materia orgánica (OVM3).

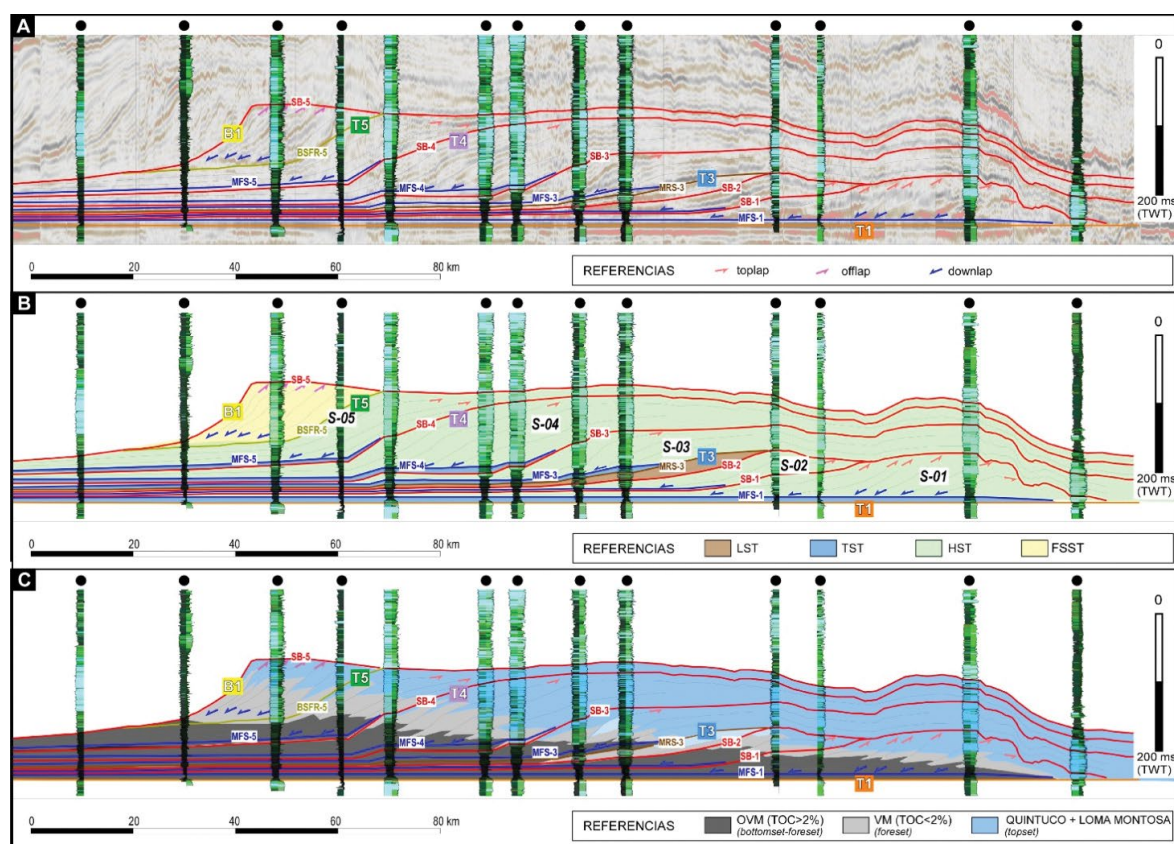


Figura 5. Sección A-A' con esquema estratigráfico secuencial y distribución de los intervalos ricos en materia orgánica (OVM, COT>2%) para las secuencias S-01 a S-05. La sección está horizontalizada a la base de la Formación Vaca Muerta (T1). Ref.: SB, sequence boundary; MRS, maximum regressive surface; MFS, maximum flooding surface; T1, T3, T4, T5 y B1 corresponden a superficies cronoestratigráficas de referencia definidas por Desjardins et al. 2016). Ubicación de la Transecta en Fig. 6A.

En relación con la distribución de facies ricas en materia orgánica, las incluidas dentro de las secuencias S-01+S-02 (OVM1+2) presentan una distribución muy similar a la clinoforma que la contiene (Figs. 7A y B). Sin embargo, en las figuras 6B, 6C y 7C puede observarse que el espesor de la secuencia S-03 disminuye hacia el suroeste mientras la secuencia precedente aumenta. A su vez la distribución de facies ricas en materia orgánica en la secuencia S-03 disminuye de manera significativa en el mismo sentido (figuras 6B, 6C y 7D). Dicha compensación de espesores permite inferir un fuerte control del paleo-relieve del *foreset* de la secuencia precedente.

Caso 2

La secuencia S-07 se desarrolla en el Centro de Cuenca y sus *systems tracts* constituyen uno de los mejores ejemplos de la fuerte variabilidad lateral que puede desarrollarse en el Sistema Vaca Muerta-Quintuco. Su *Lowstand System Tract* (LST-07) muestra una bien expresada geometría convexa lobulada, que presenta un apilamiento vertical fuertemente agradacional

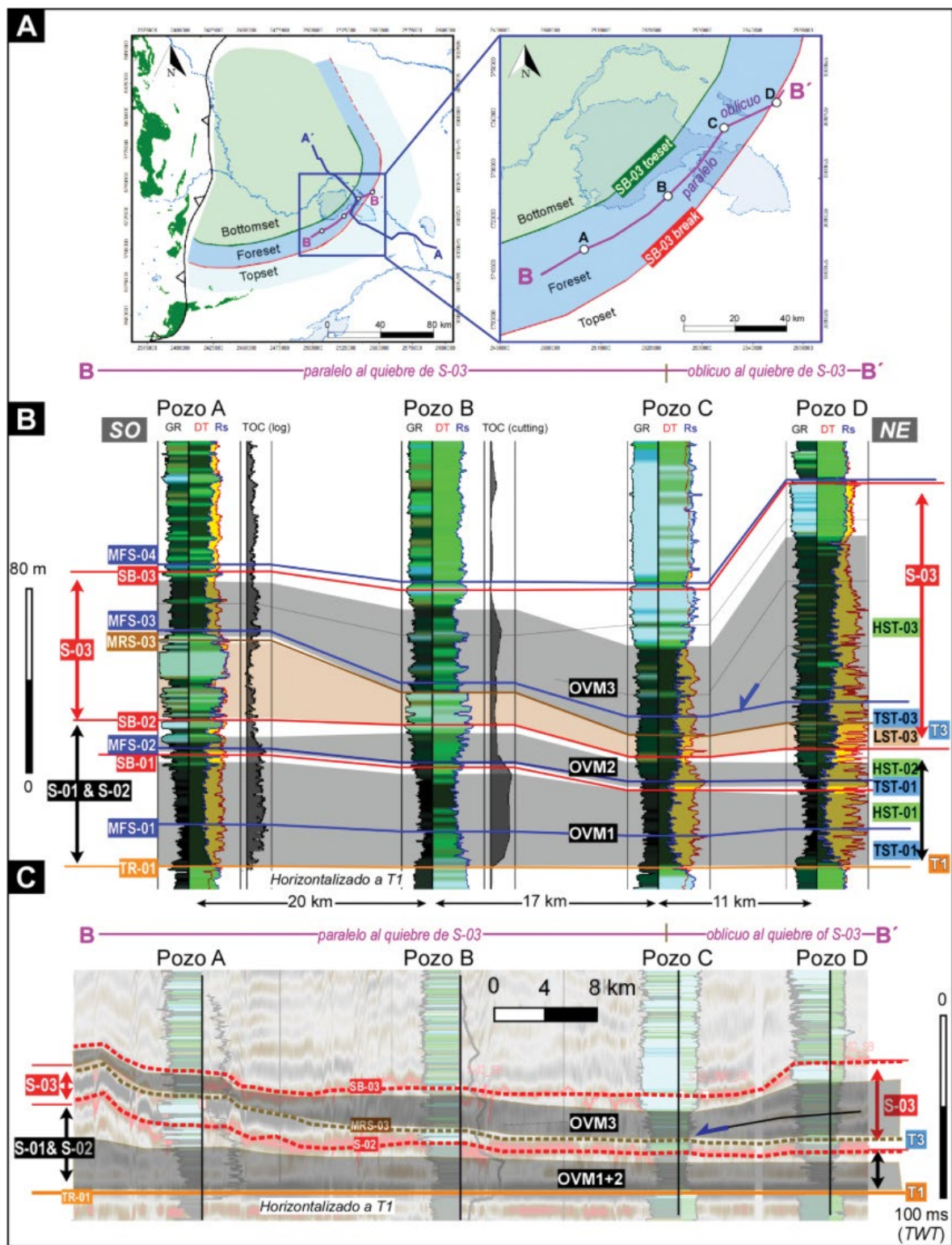


Figura 6. Variabilidad lateral en secuencias S-01 a S-03. A) Mapa de ubicación de la sección de pozos/sísmica B-B', de orientación en su mayoría, paralela al pie de clinoformas de la secuencia S-03. B) Sección de pozos B-B', mostrando diferentes distribuciones de espesores para S-01+S-02 y S-03. En la secuencia S-03 es claro el cambio de facies en el LST-03 y la distribución de intervalos con alto COT (OVM3).

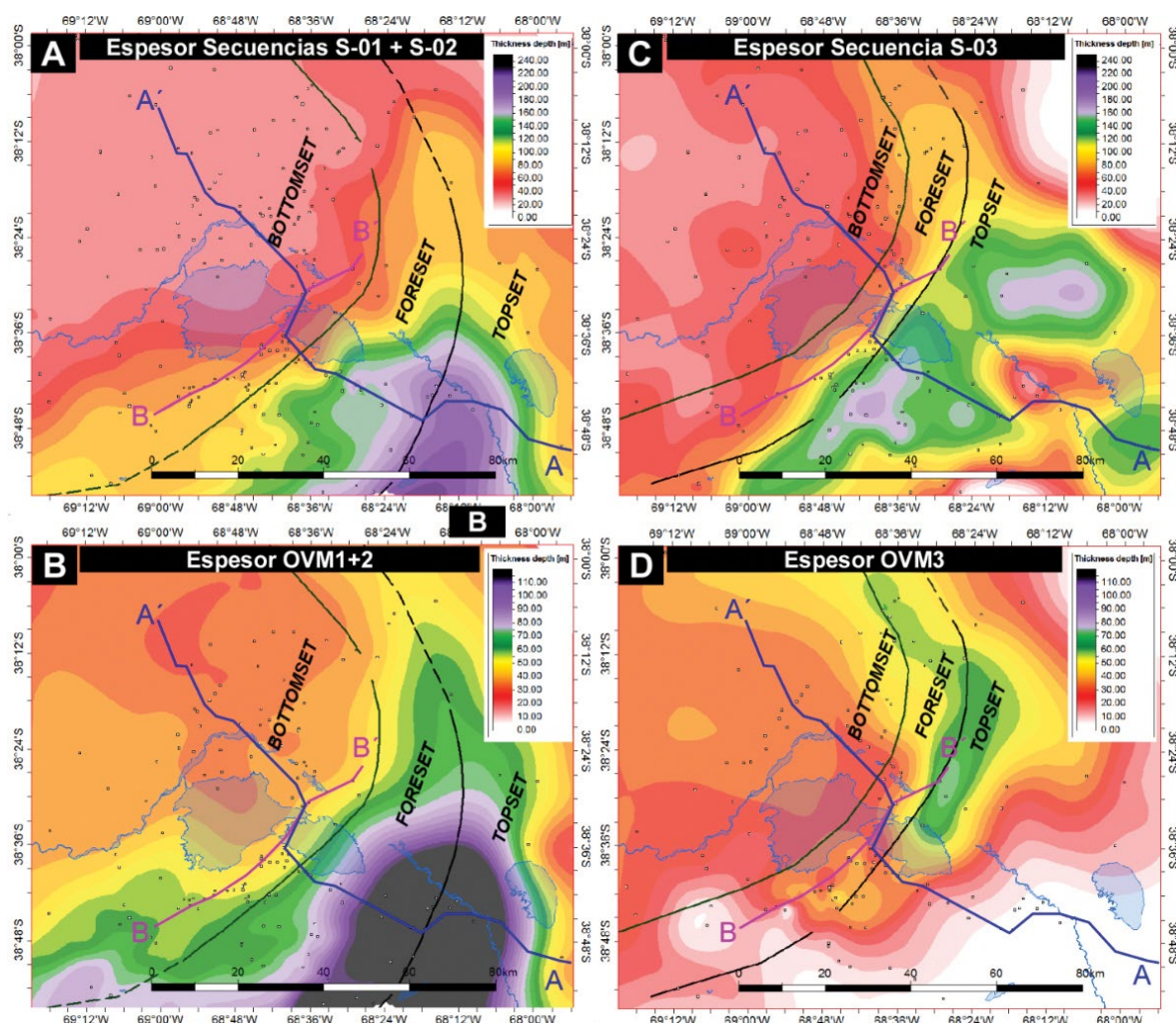


Figura 7. Variabilidad lateral en secuencias S-01 a S-03. A) Mapa de espesor de las secuencias S-01+S-02 con indicación del *bottomset*, *foreset* y *topset* del techo de la secuencia S-02 (SB-02). B) Mapa de espesor OVM1, correspondiente a las facies ricas en materia orgánica de las secuencias S-01+S-02 con indicación del *bottomset*, *foreset* y *topset* de su techo (SB-02). C) Mapa de espesor de la secuencia S-03 con indicación del *bottomset*, *foreset* y *topset* de techo de la secuencia S-03 (SB-03). D) Mapa de espesor OVM3, correspondiente a las facies ricas en materia orgánica de la secuencia S-03 con indicación del *bottomset*, *foreset* y *topset* de su techo (SB-03).

y progradacional, y bajos valores de COT (<1%). Sobre éste se desarrolla una sección condensada (TST-07 + sección inferior de HST-07) llamada OVM7, que corresponde a un importante *landing point* (B3) debido a su alto COT y altos valores de porosidad (Desjardins *et al.*, 2014; Zunino *et al.*, 2014; Fantín *et al.*, 2014; Crousse *et al.*, 2015; Eckert *et al.*, 2016; Vallejo *et al.* 2016). La variabilidad lateral de los *system tracts* de la secuencia S-07 hace que secciones sísmicas transversales situadas a solo 30 kilómetros unas de otra muestren patrones de apilamiento muy diferentes (Fig. 8A y 8B).

La fuerte variabilidad lateral del LST-08 hace difícil la construcción de secciones sísmicas y de pozo exactamente paralelo al rumbo. Como solución práctica se generó la sección

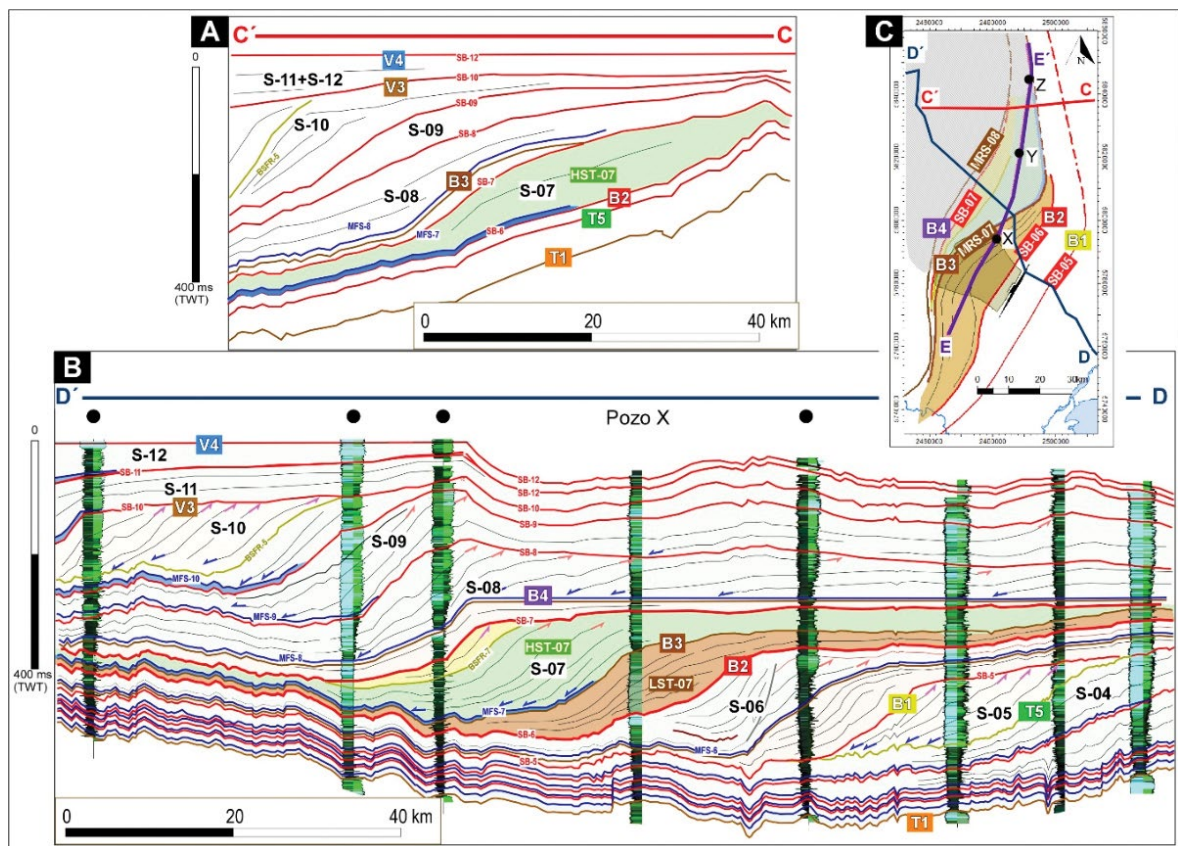


Figura 8. Contexto estratigráfico de la secuencia S-07. A) Interpretación de sección C-C' sin desarrollo de LST-07 (modificada de Sattler *et al.* 2016). B) Interpretación de sección D-D' con desarrollo de LST-07 con geometría convexo lobulado. C) Mapa de ubicación de las secciones C-C' y D-D' en comparación con los quiebres de clinoformas de las superficies que limitan los system tracts de la secuencia S-07.

sísmica E-E' horizontalizada a la superficie MFS-08 (B4) (ubicación en Fig. 9C). Se presenta una interpretación sintética de los diferentes *systems tracts* que conforman la secuencia S-07 (Fig. 9A) y la distribución de la sección condensada con alto COT (OVM7) (Fig. 9B). Es importante notar que dicha sección condensada es controlada por el *foreset* del LST precedente, disminuyendo su espesor a medida que se acerca hacia el quiebre de clinoforma.

En la Figura 10 se presentan cuatro mapas en los cuales se compara la distribución de espesores de los *system tracts* de la secuencia S-07 respecto a elementos tectónicos y la distribución de las facies ricas en materia orgánica de dicha secuencia (OVM7). En base a estos mapas es posible interpretar que la extensión areal y distribución de espesores de la OVM7 (Fig. 10D) está controlada por el paleo-relieve del *foreset* del LST-07 precedente en la región de *foreset*. En su *bottomset* se suma el inicio de la actividad (ascenso relativo) del alto “proto-Chihuidos” y cierta subsidencia en ejes Añelo y Pichana (Domínguez *et al.* 2017c). La combinación de estos controles estratigráficos y tectónicos habrían creado condiciones restringidas que podrían explicar el alto contenido en COT y distribución areal reducida de esta sección condensada.

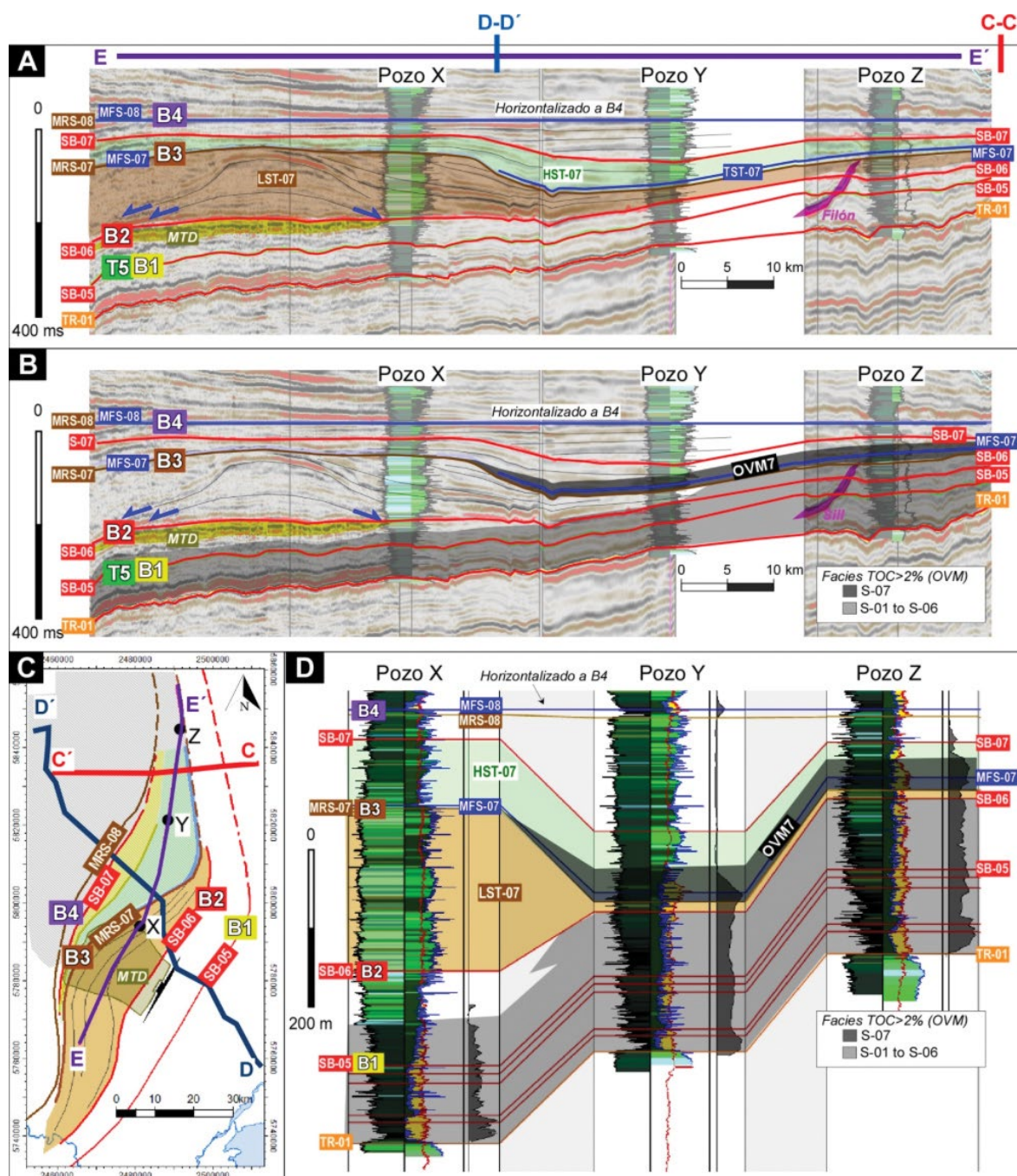


Figure 9. Caso de distribución de las facies orgánicas de la secuencia S-07 (OVM7), desarrollada sobre la superficie B3, con control del LST previo, con geometría convexa. A) Sección sísmica E-E' (TWT) con orientación SSO-NNE con interpretación de superficies estratigráficas y *system tracts*, con foco en la secuencia S-07. B) Sección sísmica E-E' (TWT) con interpretación de niveles ricos en materia orgánica (OVM). Notar el límite de la sección condensada de la secuencia S-07 sobre el *foreset* del LST-07. C) Mapa con geometrías en vista de planta de quiebres de clinoformas de superficies estratigráficas del intervalo analizado; (MTD, *mass transport deposit*). D) Sección de pozos con interpretación de superficies estratigráficas, *system tracts* y distribución de OVMS.

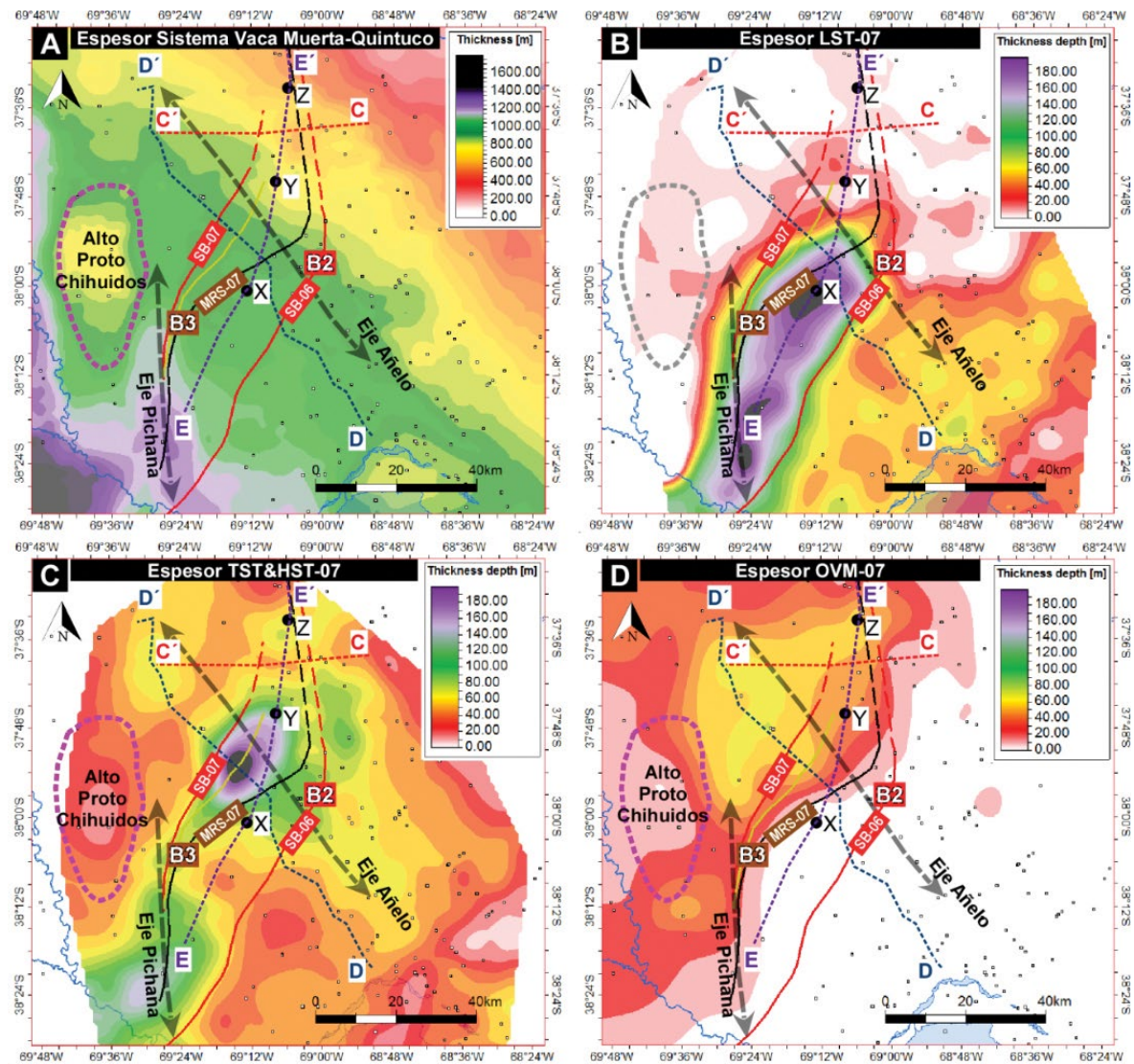


Figure 10. Variabilidad lateral en la secuencia S-07. A) Mapa de espesor del Sistema Vaca Muerta-Quintuco, donde se observa la ubicación de los quiebres de las superficies estratigráficas de la secuencia S-07 respecto al alto proto-Chihuidos y ejes de subsidencia (Dominguez *et al.* 2017c). B) Mapa de espesor del LST-07 que se caracteriza por presentar facies con TOC (<2%) en su *foreset* y pies de clinoformas. C) Mapa de espesor de la suma del TST-07 y el HST-07. D) Mapa de espesor de OVM7 en el que se observa que la distribución de espesores está controlada por el LST precedente y por el Alto Proto-Chihuidos en el *bottomset*.

CONCLUSIONES

Se presentan dos casos diferentes en clinoformas del Sistema Vaca Muerta-Quintuco, situados en el Flanco Sur y en el Centro de Cuenca en los que más allá del clásico esquema estratigráfico 2D a través de secciones transversales, se analiza la variabilidad lateral y su impacto en la distribución de las facies ricas en materia orgánica. Los resultados muestran que tanto en geometrías de quiebres de clinoformas relativamente simples (p. ej. cóncava paralela) como en otras donde la variabilidad es más explícita (p. ej. convexa lobulada), existe fuertes variaciones

laterales en la calidad (intercalaciones) y espesor de las facies ricas en materia orgánica, que pueden ser descriptas por modelos estratigráficos secuenciales de detalle. Estos resultados sugieren que, para las evaluaciones de subsuelo, es necesario avanzar hacia esquemas estratigráficos de detalle con un enfoque tridimensional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades de YPF S.A. por permitir la publicación de este trabajo y a Dolores Vallejo y Guillermina Köhler por lectura crítica del manuscrito y los aportes efectuados que mejoraron notablemente este manuscrito.

REFERENCIAS CITADAS

- Dominguez, R. F., I. Lanusse Noguera, M. J. Continanza, K. Mykietiuik, C. Ponce, G. Pérez, Guerello R., M. Caneva, M. Di Benedetto, 2016, "Organic-rich Stratigraphic Units in the Vaca Muerta Formation, and Their Distribution and Characterization in the Neuquén Basin (Argentina)", Unconventional Resources Technology Conference (URTeC), DOI: 10.15530/urtec-2016-2456851. San Antonio, Texas, USA. Paper: #2456851
- Dominguez, R. F., E. Cristallini, H.A. Leanza, 2017a, "Evolución tectono-sedimentaria del Sistema Vaca Muerta-Quintuco (Tithoniano a Valanginiense Inferior) en el Engolfamiento Neuquino Argentina". XX Congreso Geológico Argentino, Simposio 5: Geología de la Formación Vaca Muerta. 7-11 de Agosto de 2017. San Miguel de Tucumán.
- Dominguez, R.F., H. Reijenstein, G. Kohler, F. Sattler, M. J. Moreno, L. Gómez Rivarola, M. Borgnia, 2017b, "Distribución regional de quiebres de clinoformas del Sistema Vaca Muerta-Quintuco". XX Congreso Geológico Argentino, Simposio 5: Geología de la Formación Vaca Muerta. 7-11 de Agosto de 2017. San Miguel de Tucumán.
- Dominguez, R.F., M. A. Fantin, E. Cristallini E., 2017c, "Configuración morfo-estructural de la Cuenca Neuquina durante la depositación del Sistema Vaca Muerta-Quintuco". XX Congreso Geológico Argentino, Simposio 5: Geología de la Formación Vaca Muerta. 7-11 de Agosto de 2017. San Miguel de Tucumán.
- Dominguez, R. F. & O. Catuneanu, 2017, "Regional Stratigraphic Framework of the Vaca Muerta-Quintuco System in the Neuquén Embayment, Argentina". XX Congreso Geológico Argentino, Simposio 5: Geología de la Formación Vaca Muerta. 7-11 de Agosto de 2017. San Miguel de Tucumán.
- Desjardins, P., C. Achong & L. Zhou, 2014, "Mudstone reservoir characterization workflows: core calibrated electrofacies and geochemical-geomechanical cluster analyses". IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, abstracts extendidos, 197-202, Mendoza.
- Desjardins, P., M. Fantin, F. González Tomassini, H. Reijenstein, F. Sattler, R. F. Dominguez, D. Kietzmann, H.A. Leanza, A. Bande, S. Benoit, M. Borgnia, F. Vittore, G. Gil, T. Simo y D. Minisini, 2016, "Capítulo 2: Estratigrafía Sísmica Regional". En G. González, *et al.* (eds), *Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta* (IAPG), Buenos Aires.

- Crousse, L., S. Cuervo, D. Vallejo, M. Laurent, T. Fischer y D. McCarty, 2015, "Unconventional shale pore system characterization in El Trapial Area, Vaca Muerta, Argentina". Unconventional Resources Technology Conference, URTeC: 2154603.
- Zunino, J., J. Soldo y I. Lanusse, 2014, "Estimación de parámetros mecánicos para un shale-oil play y su impacto en la estrategia exploratoria. Fm Vaca Muerta, Cuenca Neuquina". En: Galeazzi, S., G. González, M. Santiago, D. García, L. Maschio, R. González y J. Ramírez Martínez (Eds.), IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio de Recursos No Convencionales, 511-530, Mendoza.
- Fantín, M. y R. González, 2014, "Primeros pasos en la evaluación de Vaca Muerta como reservorio no convencional en el bloque El Trapial". En: Galeazzi, S., G. González, M. Santiago, D. García, L. Maschio, R. González y J. Ramírez Martínez (Eds.), IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio de Recursos No Convencionales, 631-652, Mendoza.
- Eckert J., Simon T., Jonk R., Lazar R., Rudnicki, Macquaker J & Myers R., 2016b, "Capítulo 17: La Invernada. 185-193". En: González G. *et al.* (eds), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos". Instituto Argentino del Petróleo y el Gas - Asociación Geológica Argentina, 244 pp.
- Mitchum, R.M. y M.A. Uliana, 1982, "Estratigrafía sísmica de las formaciones Loma Montosa, Quintuco y Vaca Muerta, Jurásico Superior y Cretácico Inferior de la Cuenca Neuquina, República Argentina". I Congreso Nacional de Hidrocarburos, Petróleo y Gas, Actas 439-484, Buenos Aires.
- Mitchum, R.M. & M.A. Uliana, 1985, "Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina", in B.R. Bero, D.G. Wooverton (eds.), Seismic Stratigraphy: An Integrated Approach to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir, p. 255-274.
- Mitchum, R.M. & M.A. Uliana, 1988, "Regional seismic analysis of Upper Jurassic-Lower Cretaceous carbonate depositional sequences, Neuquén Basin - Argentina". In: Bally, A. W. (Ed.), Atlas of seismic stratigraphy. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 27(2): 206-211, Tulsa.
- Vittore, F., D. Licitra., J. Quiroga., A. Rosemblat y E. Lovrinkevich, 2014, "Caracterización estructural, estratigráfica y sedimentológica de la Fm. Vaca Muerta en el yacimiento Loma Campana, Cuenca Neuquina, Argentina". En: Galeazzi, S., G. González, M. Santiago, D. García, L. Maschio, R. González y J. Ramírez Martínez (Eds.), IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio de Recursos No Convencionales, 653-672, Mendoza.
- Vallejo, M.D., F. González Tomassini, M. Fantín, H. Reijenstein F. S. Cuervo y L. Crousse, 2016, "Capítulo 19: El Trapial". En G. González, *et al.* (eds), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta (IAPG), Buenos Aires.
- Sattler, F., R. F. Domínguez, M. Fantín, Desjardins, P., H. Reijenstein, A. Bande, A. Liberman, O. Nielsen, M. Santiago y D. Marchal, 2016b, "Anexo 2: Transecta Regional NW-SE". En: González G. *et al.* (eds), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos, Instituto Argentino del Petróleo y el Gas - Asociación Geológica Argentina, 244 pp.