

VARIACIONES PALEOGEOGRÁFICAS DE LAS UNIDADES RICAS EN MATERIA ORGÁNICA DE LA FORMACIÓN VACA MUERTA EN EL ENGOLFAMIENTO NEUQUINO

Ricardo Fabián Domínguez¹, Carolina Bernhardt¹, Federico González Tomassini¹,
Manuel Fantín², Matías Di Benedetto¹

1: YPF S.A., ricardo.dominguez@ypf.com, carolina.bernhardt@ypf.com,
federico.gonzalez@ypf.com, matias.dibenedetto@ypf.com

2: Panamerican Energy, mfantin@pan-energy.com

Palabras clave: Vaca Muerta, paleogeografía, mineralogía, engolfamiento neuquino

ABSTRACT

Paleogeographic variations of rich organic intervals of Vaca Muerta Formation in the Neuquén Embayment.

In this study we analyzed the paleo geographical variabilities of the organic rich intervals of different stratigraphic units in the Neuquén Embayment. We developed five paleogeographic maps for units U1 to U5, based on regional mapping of clinoform breaks and toesets at key stratigraphic surfaces and mineralogical well log data, calibrated with core and sidewall core samples. Regardless of climatic changes previously mentioned in the literature of the area, the results showed that in the successive units, it is remarkable how towards the north the composition is mainly carbonatic in a context of divergent stacking pattern and to the south the composition is mixed type in clinoforms. The interpretation of mineralogical distribution, plus thickness maps and clinoform distribution, lead to identify and separate two main depositional basin centers (BC). The Eastern Basin center (EBC) characterized by rich organic intervals, in a dominantly calcareous rock and a Western Basin Center (WBC) characterized mainly by mix to siliciclastic rock composition.

INTRODUCCIÓN

El interés en la Formación Vaca Muerta como *play* no convencional de hidrocarburos ha producido notables avances en la caracterización del reservorio tipo *Shale*, lograda gracias a la gran cantidad y calidad de información (coronas continuas, set completo de perfiles, análisis de laboratorio en testigos laterales y recortes de perforación) adquirida en los recientes sondeos exploratorios. A su vez, el entendimiento de las variaciones laterales de Vaca Muerta ha quedado plasmado en esquemas estratigráficos, construidos a partir de secciones sísmicas transversales. Sin embargo, el análisis simplificado en secciones transversales genera sesgos metodológicos al momento de analizar cambios relacionados a la posición en el sistema

deposicional (proximal versus distal), sin tener en cuenta variabilidades laterales dentro de la cuenca.

Una herramienta de uso común para analizar estas variabilidades son los mapas paleogeográficos, ya que reconstruyen la distribución de los ambientes sedimentarios para un momento dado de la evolución de una cuenca o continente. Para el intervalo Tithoniano-Valanginiano Inferior en la cuenca Neuquénarios autores han realizado reconstrucciones paleogeográficas, siendo las contribuciones más notables las publicadas por Mitchum y Uliana (1982, 1985, 1988), Legarreta y Uliana (1991), Carozzi *et al.* (1993), Hurley *et al.* (1995), Fernández *et al.* (2003), Kietzmann *et al.* (2014) y Pose *et al.* (2014). Los trabajos previos al año 2014 fueron enfocados a la parte proximal del sistema deposicional, debido a que las facies carbonáticas constituían el objetivo prospectivo principal de los *plays* convencionales de aquella edad (ej. Formaciones Quintuco y Loma Montosa).

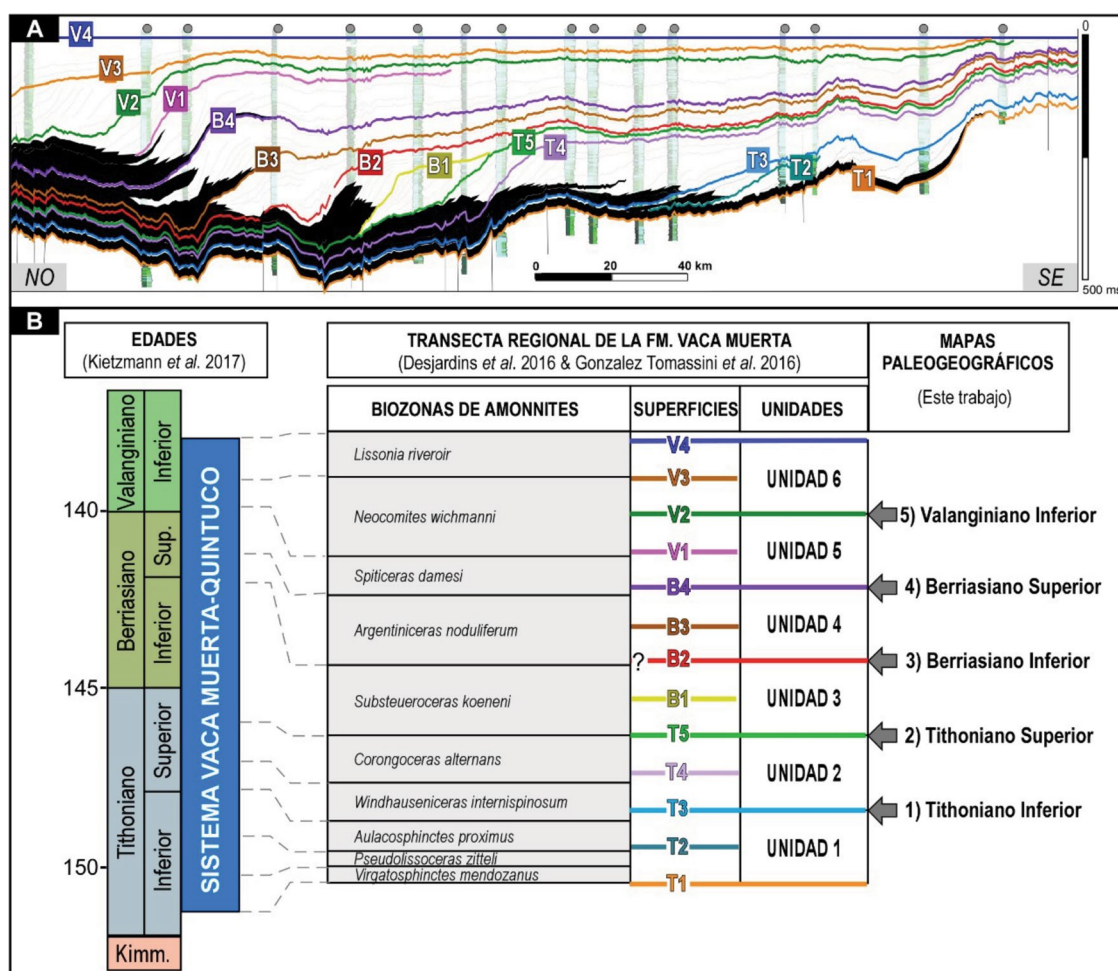


Figura 1. A) Sección esquemática A-A' de orientación SE-NO (ver ubicación en figuras 3 a 7). Las superficies regionales de referencia equivalen a las definidas en Desjardins *et al.* (2016) y Sattler *et al.* (2016) y los intervalos ricos en materia orgánica (OVM) corresponden a las facies de Vaca Muerta con COT mayor a 2%. B) Esquema crono-estratigráfico de superficies para el Sistema Vaca Muerta-Quintuco (Desjardins *et al.* 2016 & González Tomassini *et al.* 2016), con indicación de la posición cronológica de los mapas desarrollados en este trabajo.

En la presente contribución nos proponemos analizar la variabilidad de los intervalos ricos en materia orgánica (Contenido Orgánico Total >2%) de la Fm. Vaca Muerta (“Organic-rich Vaca Muerta”, OVM) a través de mapas paleogeográficos que integran: 1) el mapeo de quiebres y pies de clinoformas, 2) la distribución de elementos depositacionales y litología dominante y 3) las variaciones laterales de la mineralogía.

METODOLOGÍA

Para analizar los intervalos ricos en materia orgánica de la Fm. Vaca Muerta (OVM), en este trabajo se adopta el marco estratigráfico definido en el proyecto “Transecta Regional de la Fm. Vaca Muerta” (González *et al.* 2016; Desjardins *et al.* 2016; Sattler *et al.* 2016). En el cual el registro sedimentario del Tithoniano al Valanginiano Inferior se divide en seis Unidades estratigráficas (U1 a U6), cuyos límites corresponden a 7 horizontes sísmicos de relevancia a nivel cuenca, y a los cuales se les establece su edad relativa en base al contenido bioestratigráfico analizado en pozos y afloramientos (Figura 1).

Según el esquema definido por Mitchum y Uliana (1985) y Desjardins *et al.* (2016) (Figura 2A), la definición geométrica de segmentos de una clinoforma, donde los segmentos de *bottomset* y *foreset* corresponden a la Fm. Vaca Muerta puede, en forma general, utilizarse como un proxy litológico. El mapeo tanto de los quiebres (*break*) como de los pies (*toeset*) de clinoformas brindan una base sólida para definir las áreas correspondientes de *bottomset-foreset-topset* para cada superficie (Dominguez *et al.* 2017a) (Figuras 2A y B). Las unidades analizadas corresponden a un intervalo de tiempo que abarca varias clinoformas, por lo que la confección del mapa plantea un desafío

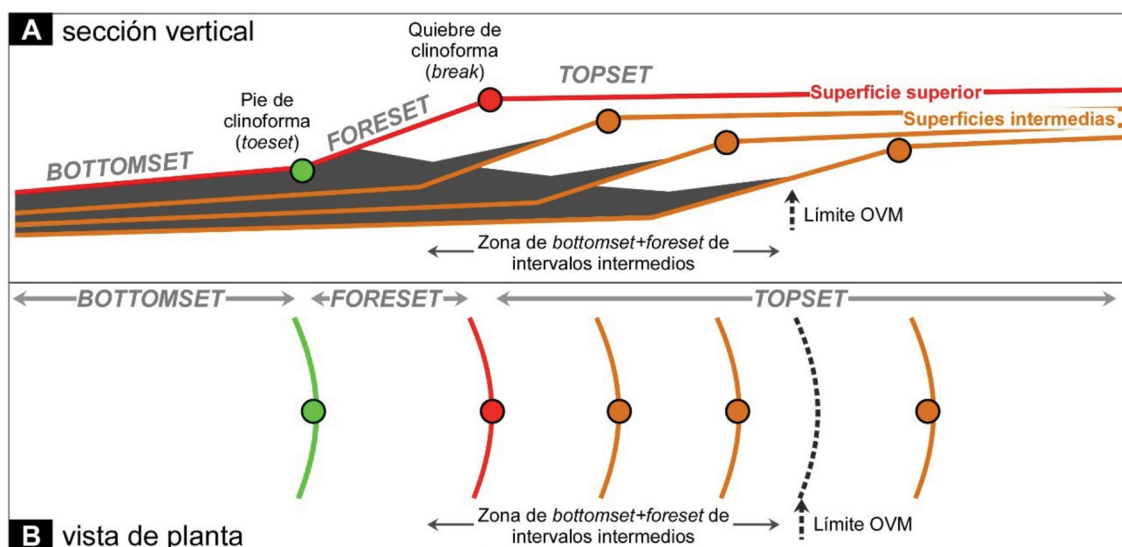


Figura 2. A) Sección esquemática conceptual de las unidades en un contexto de clinoformas con los elementos descritos en este trabajo. B) Ejemplo de mapa paleogeográfico basado en los segmentos de *bottomset-foreset-topset* para la superficie superior donde además se incluyen quiebres de clinoformas de superficies intermedias y un límite máximo de extensión de los intervalos ricos en materia orgánica (límite OVM) para describir el resto de la unidad.

complejo, ya que dentro de cada unidad hay migraciones de los segmentos de las clinoformas que la componen. En esta contribución, con un sentido práctico, se mapea la distribución de segmentos de clinoformas para la superficie correspondiente al techo de cada unidad (superficie superior de Figura 2A). Sin embargo, para integrar información respecto al resto del intervalo correspondiente a la unidad, se agrega en los mapas quiebres de clinoformas de superficies intermedias. Además, a partir de la correlación detallada de casi 400 pozos (Figura 4B), se generaron mapas de espesor de las facies ricas en materia orgánica de cada unidad, mapeándose un límite aproximado de extensión máxima (límites OVM).

Luego, sobre la base de estos mapas de geometrías de las clinoformas, se adicionan al análisis los rasgos depositacionales característicos de algunas de unidades (p. ej. *build-ups* carbonáticos, *slumps*) y datos de pozo que sirven de proxy litológico. Cabe destacar que estudios sedimentológicos y petrofísicos en coronas (González Tomassini *et al.* 2017; Bernhardt *et al.* 2017) muestran una enorme heterogeneidad vertical en la Fm. Vaca Muerta, registrándose más de 15 litofacies que pueden ser agrupadas en 7 asociaciones de facies y electrofacies asociadas, lo cual implica que el proxy litológico debe ser considerado como un promedio de la unidad analizada. Para lograr un *upscaling* entre la escala sedimentológica de detalle y la escala sísmica (*bottomset/foreset*), en este trabajo se utilizan datos mineralógicos (% en peso) provenientes de registros de pozo de

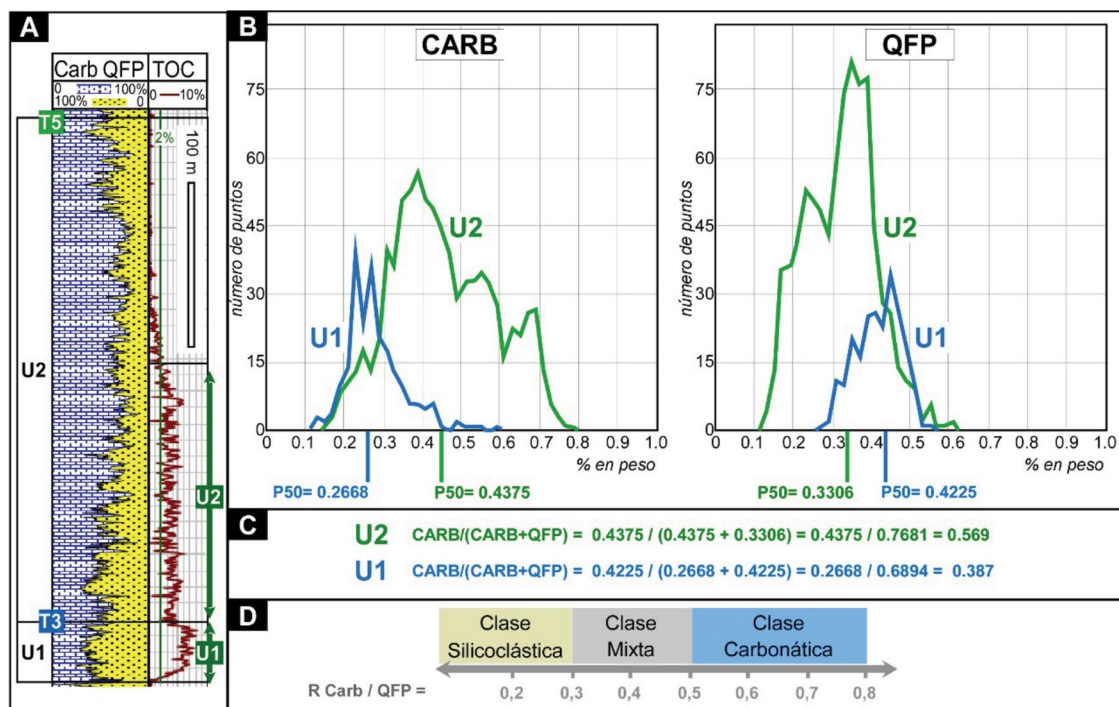


Figura 3. Ejemplo de datos mineralógicos (% en peso) provenientes de registros de pozo de espectroscopia de captura e inelástica para dos unidades (U1 y U2) en un pozo. A) Ejemplo de sección de pozo con datos mineralógicos y de TOC, con indicación de los intervalos considerados (histograma) dentro de cada unidad (TOC>2%, en verde). B) Histogramas de los datos de CARB y QFP para los intervalos correspondientes a las unidades U1 y U2. El valor que se considera representativo para el intervalo considerado es el percentil 50 (P50). C) Cálculo de la relación CARB/(CARB+QFP) para cada unidad. D) Clases definidas en función de la relación CARB/(CARB+QFP).

espectroscopia de captura e inelástico, para los intervalos ricos en materia orgánica de cada unidad analizada. Esta información está calibrada con datos de Difracción de Rayos X en testigos de roca.

Las variaciones mineralógicas regionales fueron determinadas a partir de un índice entre la fracción carbonática de la matriz (CARB), que incluye calcita, dolomita y ankerita; y la fracción silicoclástica (QFP), que involucra cuarzo, feldespato-k y plagioclasa. El valor que se considera representativo para el intervalo correspondiente a cada unidad es el percentil 50 (P50). El resultado en 17 pozos distribuidos en la cuenca se subdividió en dos clases donde el índice CARB/(CARB+QFP) presenta valores entre 0,3 y 0,5 en una clase “mixta” y valores entre 0,5 y 0,8 para una clase “carbonática”. Para valores menores a 0,3 se considera una clase “silicoclástica” pero los datos de la Fm. Vaca Muerta no llegaron a estos valores.

En la Figura 4 se presenta la base de surveys sísmicos 3D utilizados para el mapeo de quiebres (Dominguez *et al.* 2017a) y pies de clinoformas y la ubicación de los pozos con datos mineralógicos analizados en esta contribución.

Finalmente, a partir de la integración de los elementos antes mencionados, se generaron cinco mapas “paleogeográficos” para cada una de las superficies del techo de las unidades U1 a U5. Es importante tener en mente que las mineralogías descritas en los mapas no representan un instante en el tiempo geológico correspondiente a una superficie “tiempo” determinada, sino que representan al promedio del intervalo de tiempo de la unidad representada. La unidad U6 no fue considerada por no presentar intervalos ricos en materia orgánica en la región de subsuelo (Figura 4).

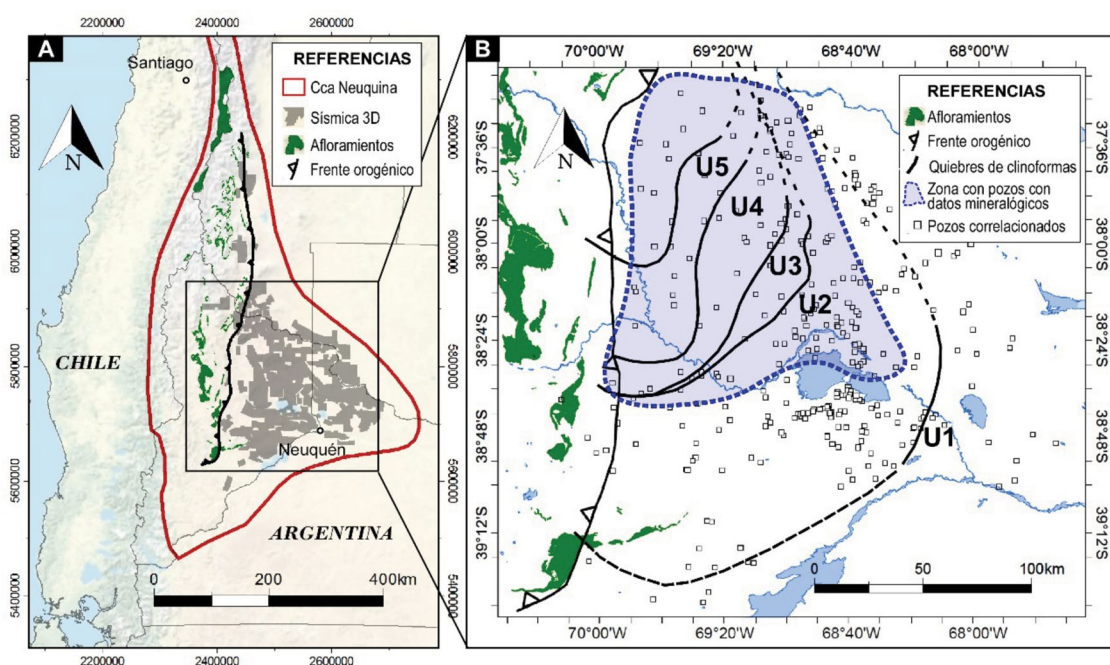


Figura 4. A) Cuenca Neuquina con indicación de base de datos sísmica 3D disponible para este trabajo. Los vacíos (gaps) entre surveys 3D son cubiertos por líneas sísmicas 2D. B) Mapa donde se indica la zona con pozos con datos mineralógicos (% en peso) para la Fm. Vaca Muerta, provenientes de registros de pozo de espectroscopia de captura e inelástico. Además, se indica los pozos que tienen correlacionados techo y base de las diferentes unidades de VM.

RESULTADOS

En la Unidad 1, la sección rica en materia orgánica corresponde a las unidades informales denominadas “La Cocina” y el “Regresivo” (Vittore *et al.* 2017). Hacia el sur, presenta un *foreset* y *bottomset* asociado de amplia distribución areal con composición mixta (Figura 5A) y con los mayores espesores de sección orgánica (100 metros aproximadamente) (Figura 5C). Hacia el norte

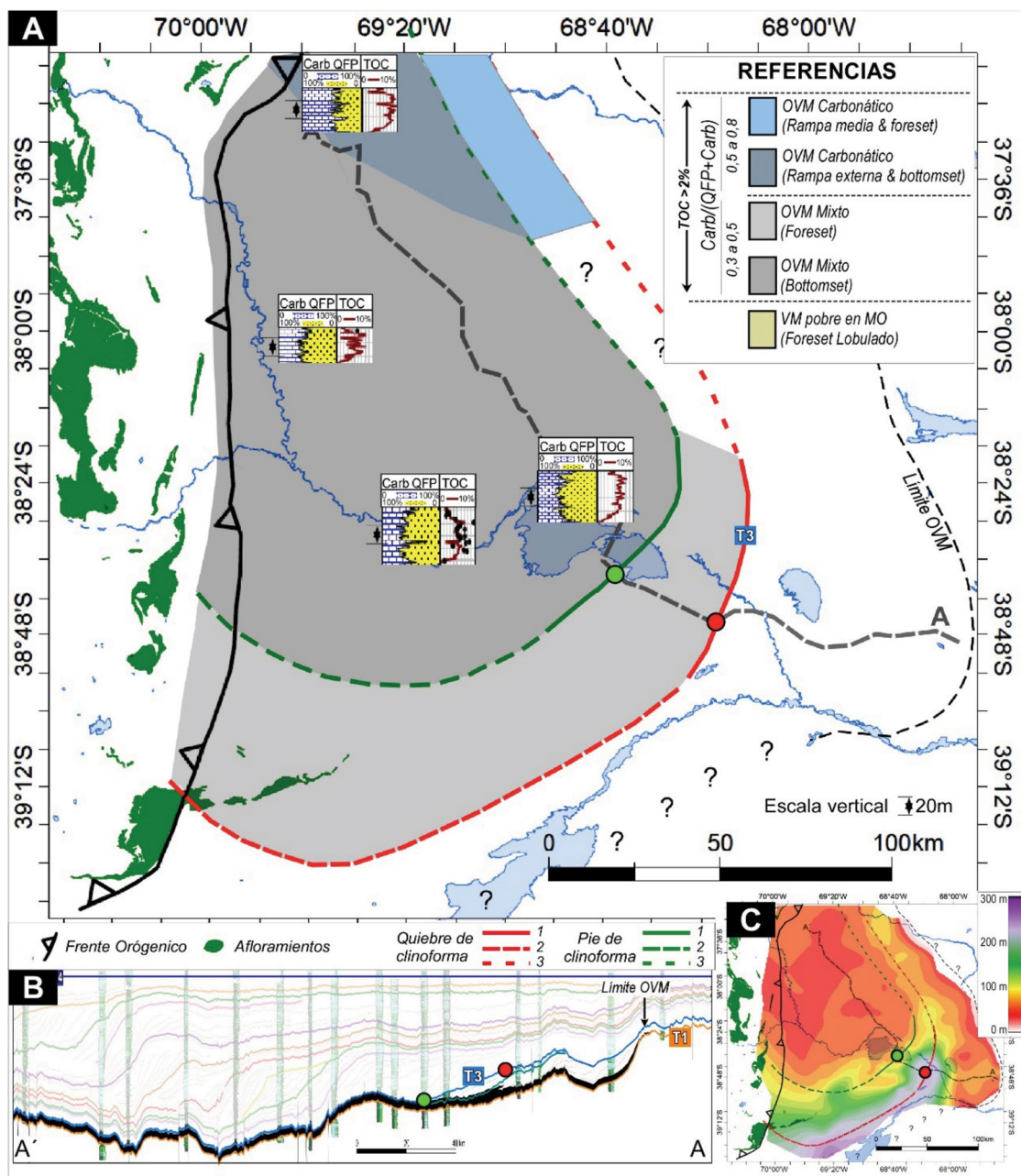


Figura 5. Tithoniano Inferior (Superficie T3, Unidad 1). A) Mapa paleogeográfico de ambientes basados en segmentos de clinoformas de la superficie T3 y mineralogía de los intervalos ricos en materia orgánica de la Unidad 1 (para quiebres y pies de clinoformas: 1: mapeo bien calibrado, 2: con incertidumbre, 3: extrapolación en zona de rampa divergente). B) Sección esquemática A-A' con indicación de OVM para la Unidad 1. C) Mapa de espesor de OVM de la Unidad 1.

presenta una región restringida con un patrón de rampa divergente (sin desarrollo de clinoformas) con una composición carbonática.

En la Unidad 2, pueden observarse dos zonas claramente diferenciadas (Figura 6A). La más amplia, con desarrollo de clinoformas, indicada por un quiebre (rojo) y pie (verde) de clinoforma de la superficie T5 que corresponde al techo de la Unidad 2, pero debe tenerse en cuenta que existen intervalos OVM previos en segmentos de *foreset*, cuya extensión máxima se indica con un

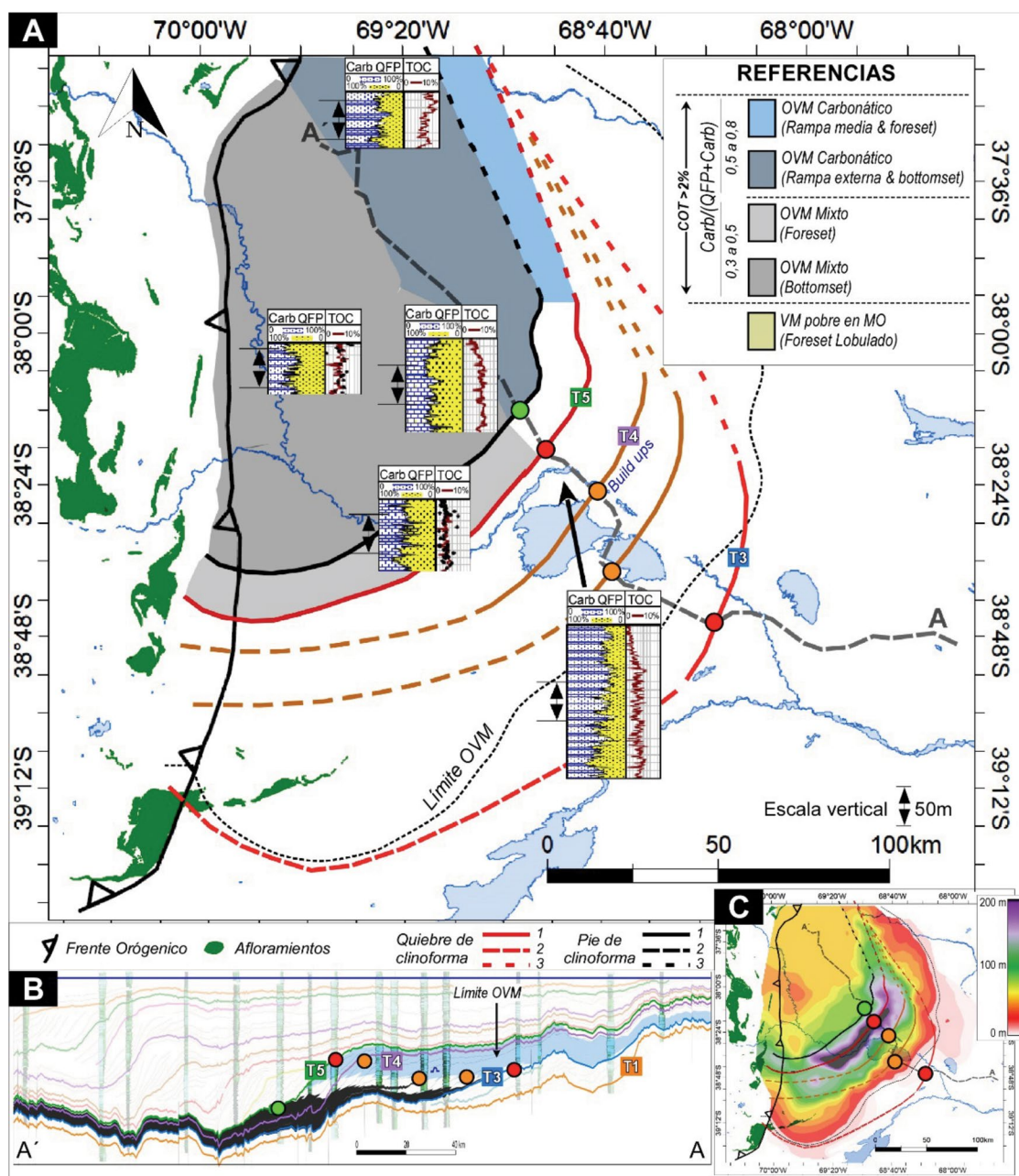


Figura 6. Tithoniano Superior (Superficie T5, Unidad 2). A) Mapa paleogeográfico de ambientes basados en segmentos de clinoformas de la superficie T5 y mineralogía de los intervalos ricos en materia orgánica de la Unidad 2 (para quiebres y pies de clinoformas: 1: mapeo bien calibrado, 2: con incertidumbre, 3: extrapolación en zona de rampa divergente). B) Sección esquemática A-A' con indicación de OVM para la Unidad 2. C) Mapa de espesor de OVM de la Unidad 2.

“límite OVM”. La región de *foreset* se puede dividir en una de composición mixta hacia el suroeste y una más carbonática con la característica de presentar un patrón más silicoclástico hacia la base y más carbonático hacia el techo. Nuevamente, hacia el sector norte se desarrolla una zona con patrón en rampa divergente con una clara composición más carbonática. En la región del Engolfamiento Neuquino, los mayores espesores de sección orgánica se presentan en cercanías del quiebre de clinoforma de la superficie T5 (Figura 6C).

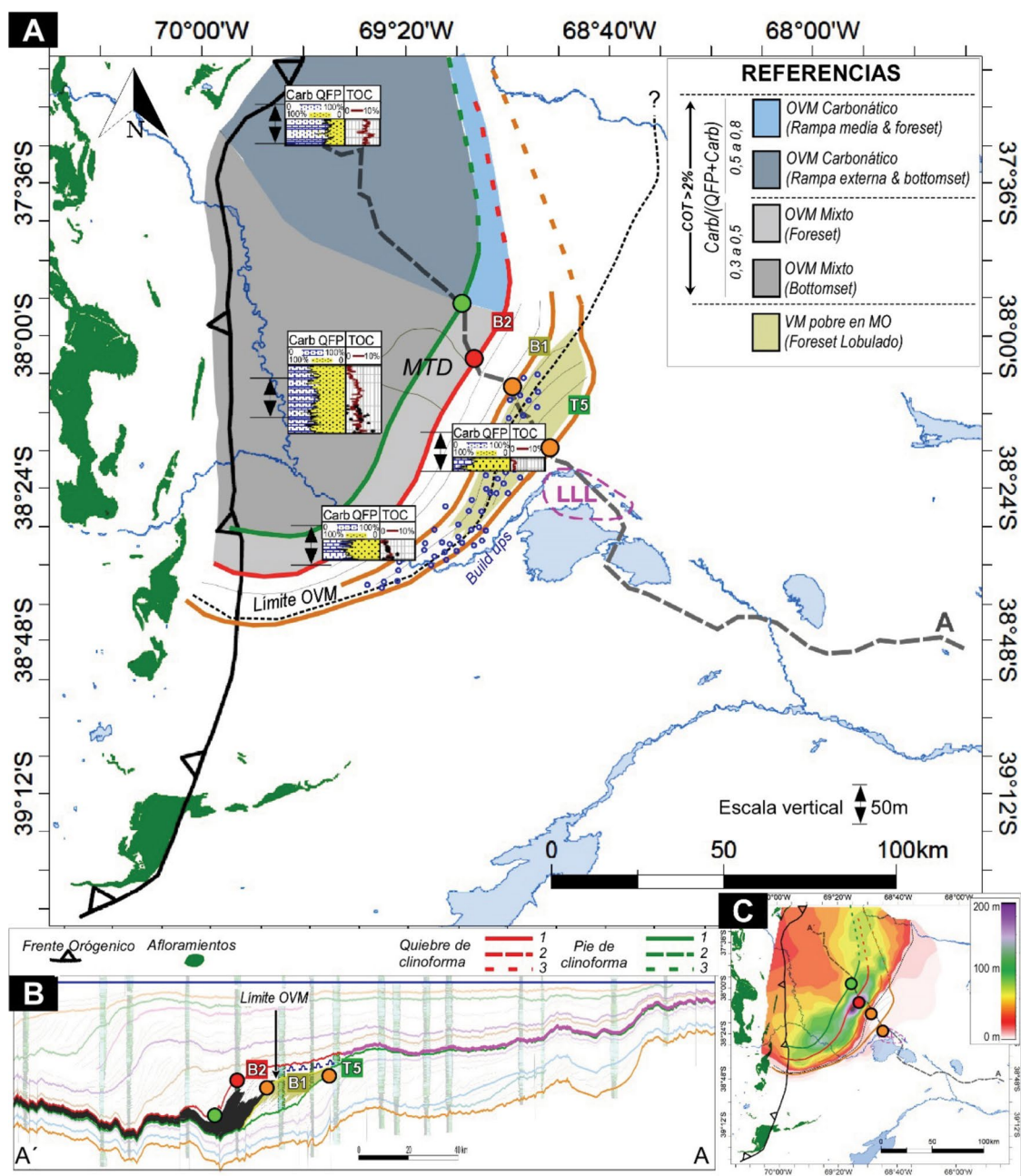


Figura 7. Berriasiano Inferior (Superficie B2, Unidad 3). A) Mapa paleogeográfico de ambientes basados en segmentos de clinoformas (para quiebres y pies de clinoformas: 1: mapeo bien calibrado, 2: con incertidumbre, 3: extrapolación en zona de rampa divergente; MDT: masstransportdepositde Arregui 2014; LLL: alto Loma La Lata). B) Sección esquemática A-A' con indicación de OVM para la Unidad 3. C) Mapa de espesor de OVM de la Unidad 3.

La Unidad 3 incluye un intervalo (T5-B1) correspondiente a una regresión forzada (Pángaro *et al.* 2002, Massaferro *et al.* 2014) que presenta geometrías lobuladas en vista de planta (Domínguez *et al.* 2017) con bajo contenido en materia orgánica (Guerberoff *et al.* 2015, Rosemblat *et al.* 2016) por sobre la cual se desarrolla una franja de *build-ups* carbonáticos (Pángaro *et al.* 2002) en el *topset* e intervalos orgánicos en el *foreset* y *bottomset*, cuya composición mineralógica es mixta (Figuras 7A y B). Hacia el norte se repite al igual que en unidades previas, pero con una extensión mayor, una

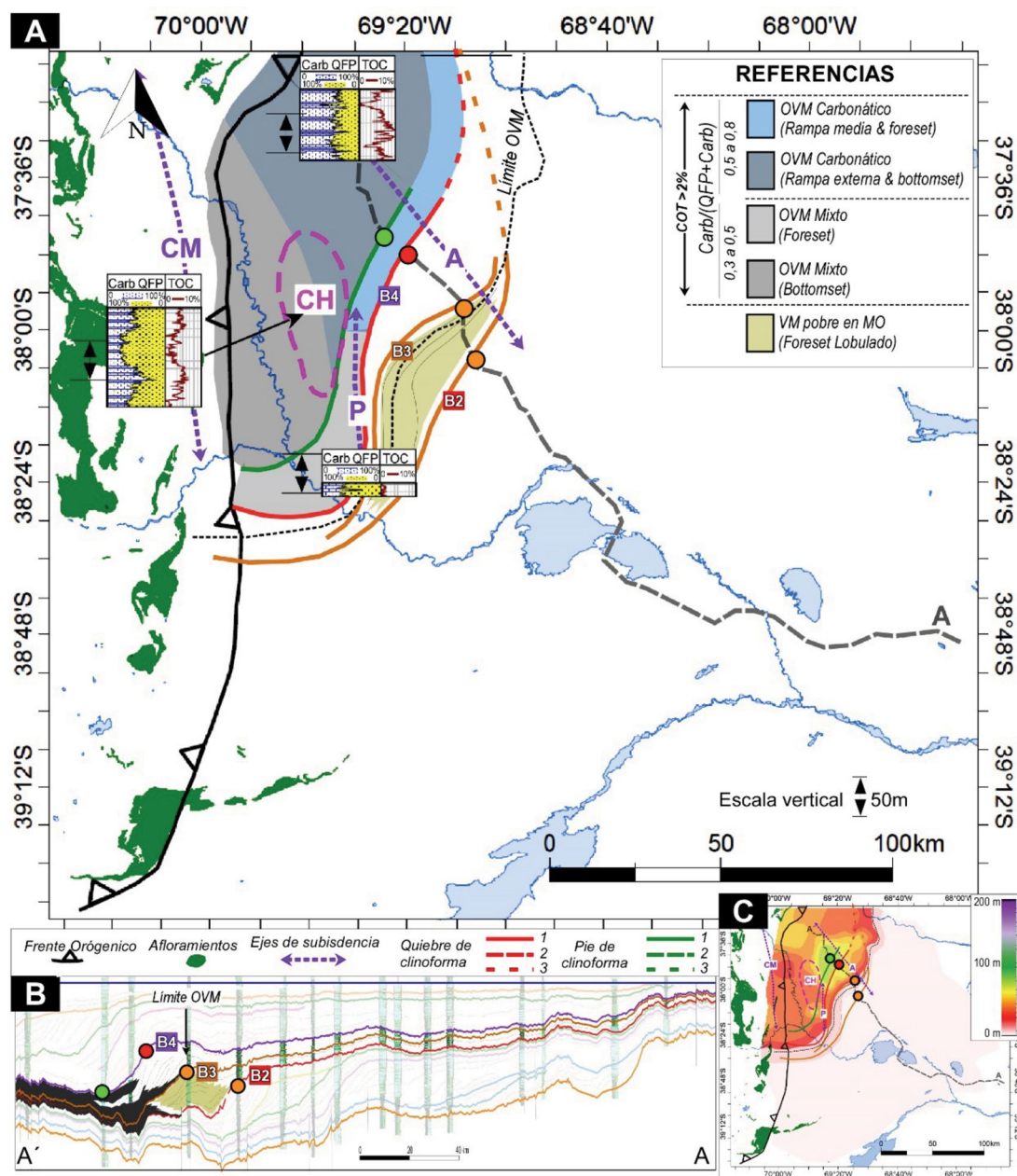


Figura 8. Berriasiano Superior (Superficie B4, Unidad 4). A) Mapa paleogeográfico de ambientes basados en segmentos de clinoformas (para quiebres y pies de clinoformas: 1: mapeo bien calibrado, 2: con incertidumbre, 3: extrapolación en zona de rampa divergente; CH: alto proto-Chihuidos; ejes de subsidencia CM: Chos Malal, P: Pichana, A: Añelo). B) Sección esquemática A-A' con indicación de OVM para la Unidad 2. C) Mapa de espesor de OVM de la Unidad 4.

zona de composición carbonática sin desarrollo de clinoformas.

De forma similar, la Unidad 4 incluye un intervalo (B2-B3) con geometrías lobuladas en vista de planta (Dominguez *et al.* 2017) (Figuras 8A y B) correspondiente a un lowstand (Domínguez y Catuneanu, 2017) con bajo contenido en materia orgánica cuyo techo (superficie B3) controla la distribución de los intervalos orgánicos desarrollados inmediatamente por encima (Figura 8B).

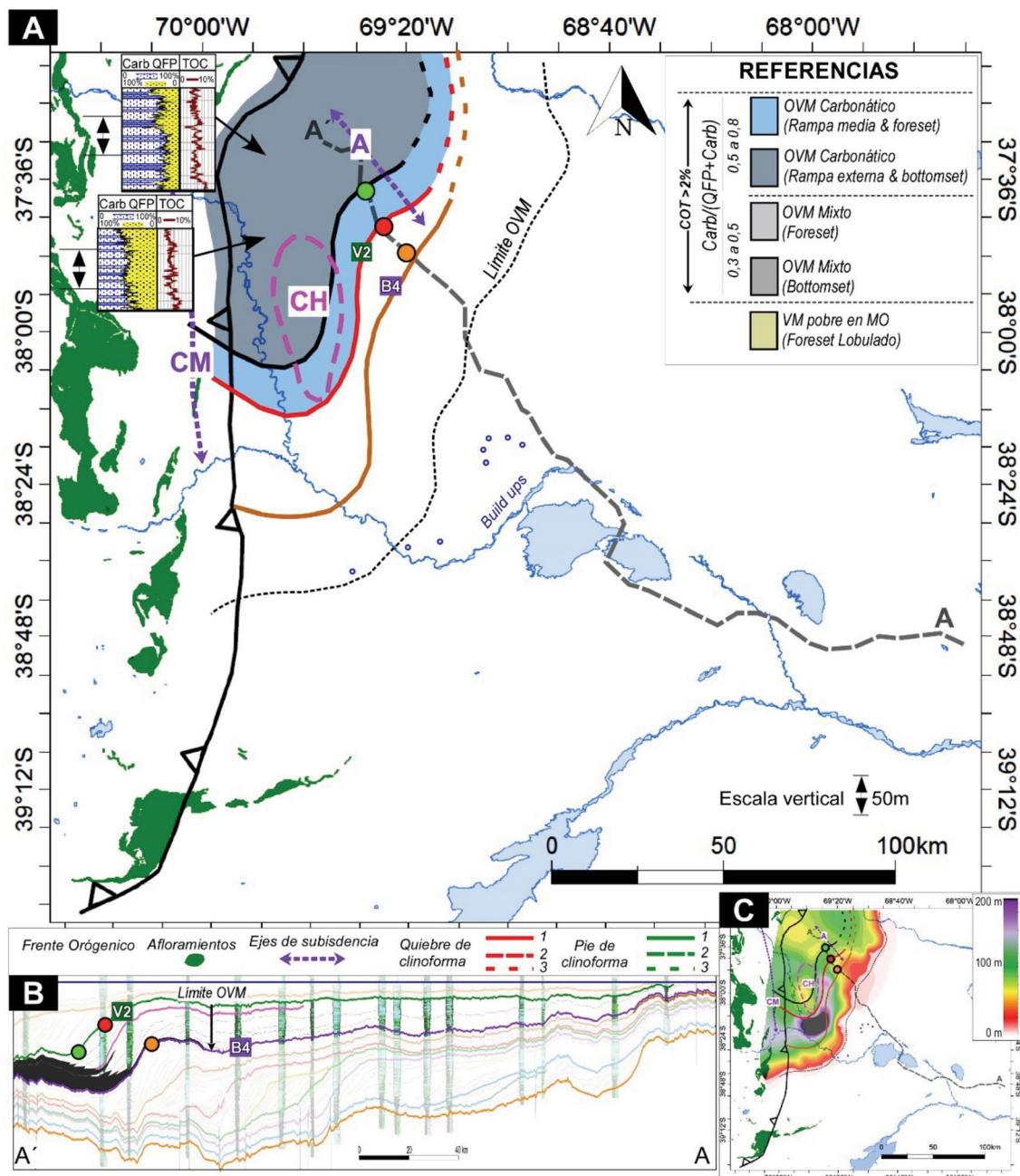


Figura 9. Valanginiano Inferior (Superficie V2, Unidad 5). A) Mapa paleogeográfico de ambientes basados en segmentos de clinoformas (para quiebres y pies de clinoformas: 1: mapeo bien calibrado, 2: con incertidumbre, 3: extrapolación en zona de rampa divergente; CH: alto proto-Chihuidos; ejes de subsidencia CM: Chos Malal, A: Añelo). B) Sección esquemática A-A' con indicación de OVM para la Unidad 2. C) Mapa de espesor de OVM de las Unidades 3+4.

Su composición mineralógica es principalmente mixta. Nuevamente hacia el norte se desarrolla un área una rampa con composición carbonática. Los mapas de espesor (Figura 8C) muestran importantes variaciones de espesor controlados por altos (proto-Chihuidos y Puerta Curaco) y ejes de subsidencia Chos Malal, Pichana y Añelo.

Finalmente, los intervalos orgánicos de la Unidad 5 presentan una distribución areal más restringida (Figuras 9A y B), con espesores controlados por altos (ej. proto-Chihuidos) y ejes de subsidencia. Su límite de extensión está situado más al sureste del quiebre de clinoforma precedente (superficie B4) ya que su intervalo basal corresponde transgresión (retrogradación) importante del Sistema Vaca Muerta-Quintuco, conocido informalmente como “segunda cocina” (Desjardins *et al.* 2016). Su composición es esencialmente carbonática.

DISCUSIÓN

El común denominador de los mapas paleogeográficos presentados es la separación de dos ámbitos de diferente composición mineralógica, hacia el norte con una composición mayormente carbonática y hacia el sur con composición mixta. Esto es coincidente con estudios previos realizados en afloramientos para la Unidad 01 (Spalletti *et al.* 2015) y para otras unidades tales como la Formación Agrio (Sagasti, 2005). Esta división es compatible con diferencias en el patrón de apilamiento, siendo de clinoformas hacia el sur y hacia el norte de clinoformas sutiles que pasan transicionalmente a una rampa (patrón divergente) y con la diferenciación de dominios morfoestructurales, en este caso entre un flanco oriental y el centro de cuenca (Dominguez *et al.* 2017b) (Figura 10).

Para una mayor caracterización de zonas con similares composiciones mineralógicas, se propone la subdivisión del dominio “Centro de Cuenca” en dos partes, cuyo límite está definido por una divisoria entre el alto del alto de Puerta Curaco y el proto-Chihuidos (Dominguez *et al.* 2017b) que también coincide en cambios en los quiebres de clinoformas. De esta manera, se describe un “Centro de Cuenca Oriental” o Eastern Basin Center (EBC) caracterizado por presencia variable de intervalos ricos en materia orgánica de composición carbonática y un “Centro de Cuenca Occidental” o Western Basin Center (WBC) de composición principalmente mixta.

Las variaciones mineralógicas presentadas en este trabajo ponen de manifiesto que el análisis en secciones transversales comparando términos distales versus proximales es una simplificación que puede generar sesgos metodológicos si no tiene en cuenta las variaciones paleogeográficas. Por ejemplo, en el caso de la sección regional A-A', ésta presenta una ubicación oblicua respecto de las variaciones paleogeográficas, por lo que los datos de pozos pueden presentar un sesgo que lleva a interpretar que las facies más distales muestran una composición más carbonática (Marchal *et al.*, 2016), no por ser distales sino porque en la región noroeste corresponde a un área de aporte diferente.

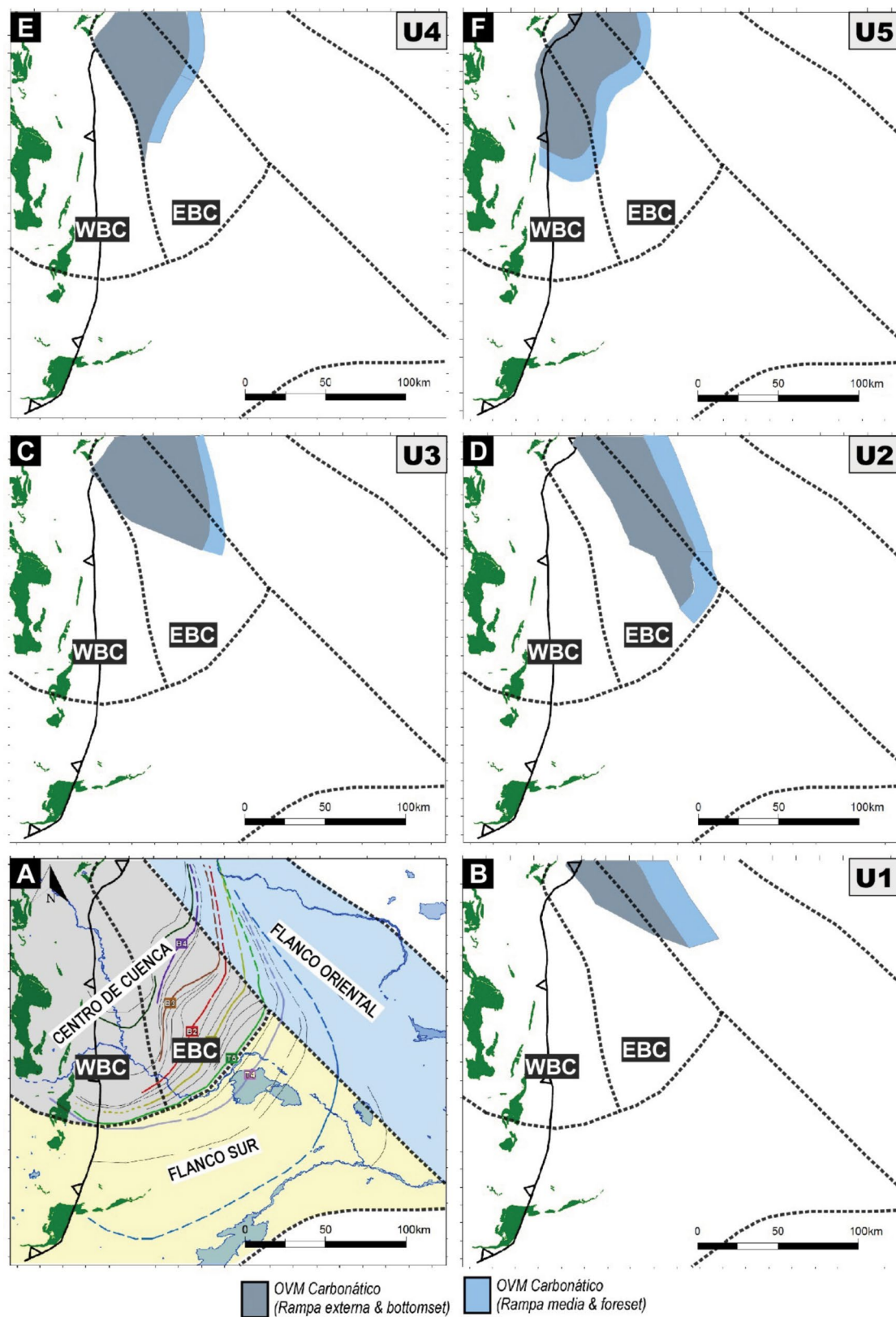


Figura 10. A) Dominios morfoestructurales (Dominguez *et al.*, 2016). B, C, D, E y F. Mapas con la distribución de los OVM de composición carbonática para cada una de las unidades analizadas. Referencias: WBC: Western Basin Center, EBC: Eastern Basin Center.

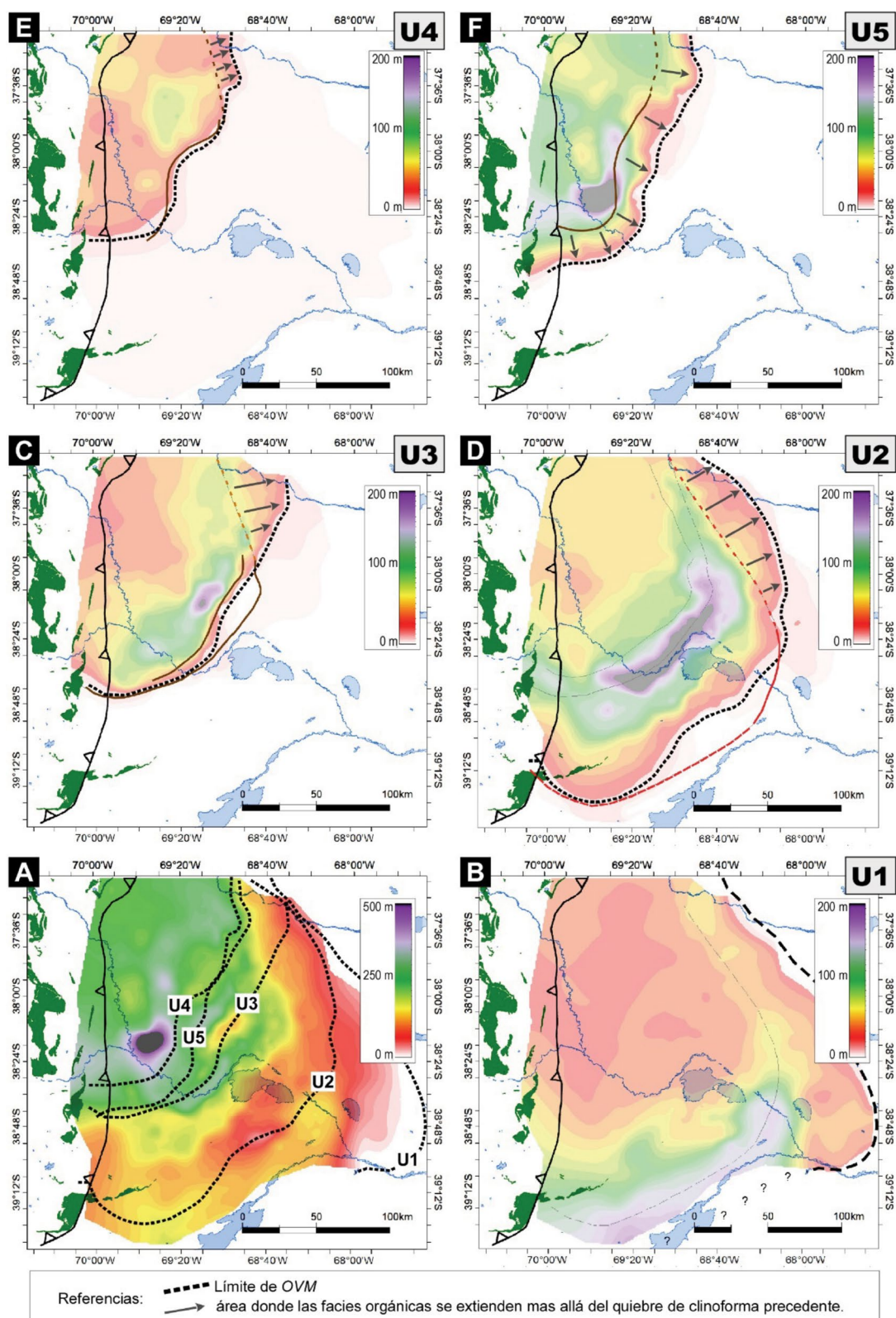


Figura 11. Distribución de facies orgánicas de cada unidad. A) Espesor total OVM con el mapeo de los límites de cada unidad (extensión máxima). B) Espesor OVM de la Unidad 1 con su límite de extensión máxima. C) Espesor OVM de la Unidad 2 con su límite de extensión máxima. D) Espesor OVM de la Unidad 3 con su límite de extensión máxima. E) Espesor OVM de la Unidad 4 con su límite de extensión máxima. F) Espesor OVM de la Unidad 5 con su límite de extensión máxima.

En evaluaciones de subsuelo de detalle los cambios mineralógicos deberían ser considerados en los diferentes parámetros de los modelos petrofísicos y geomecánicos.

Finalmente, en relación con la distribución de facies orgánicas, la disminución de espesores de forma paralela a quiebres de clinoformas precedentes permite inferir que existe un control paleotopográfico de la clinoforma precedente. Sin embargo, donde las clinoformas van desapareciendo hacia el Flanco Oriental, la distribución de las facies orgánicas este control desaparece mostrando una distribución más extendida (Figura 11).

RESUMEN

Se desarrollaron cinco mapas paleográficos para la región del Engolfamiento Neuquino para cinco unidades estratigráficas (U1 a U5). Los resultados muestran que más allá de las diferencias en la vertical, sucesivamente para cada unidad la composición es mayormente carbonática hacia el norte y de composición mixta hacia el sur. Además, se identificó que existe una correlación entre la composición mineralógica (carbonática versus mixta) y controles estratigráficos sobre la distribución de facies ricas en materia orgánica, en función de patrón de apilamiento vertical dominante (clinoformas versus rampa divergente).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades de YPF S.A. por permitir la publicación de este trabajo. A diferentes colegas de Exploración y Desarrollo G&G que gracias a sus charlas y observaciones nos permitieron mejorar los estudios sobre la Fm. Vaca Muerta. Finalmente, a los revisores por su lectura crítica del manuscrito y los aportes efectuados que mejoraron notablemente este manuscrito.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|--|---|
| <p>Arregui, C. 2014, "Ciclos deposicionales de las Fms Quintuco y Vaca Muerta: génesis y evolución. Área Central – Cuenca Neuquina. IX Congreso de Exploración y desarrollo de hidrocarburos, Trabajos Técnicos, Tomo II: 189-207.</p> <p>Bernhardt, C., Ortiz, A. y F. González Tomassini, 2017, "Interpretación Petrofísica de detalle en la Formación Vaca Muerta a partir de datos de testigo de roca y perfiles de última generación.</p> | <p>El Problema de la calibración roca/perfil". XX Congreso Geológico Argentino, Simposio 5: Geología de la Formación Vaca Muerta. 7-11 de Agosto. San Miguel de Tucumán.</p> <p>Carozzi, A. V., I. A. Orchuela & M. L. Rodríguez Schellotto, 1993, "Depositional model of the Lower Cretaceous Quintuco-Loma Montosa Formation, Neuquén Basin, Argentina". <i>Journal of Petroleum Geology</i> 16: 421-450.</p> |
|--|---|

- Desjardins, P., M. Fantín, 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.
- Dominguez, R.F., Reijenstein, H., Kohler, G., Sattler, F. Moreno, M. J. Gómez Rivarola L. y Borgnia M., 2017a, "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. San Miguel de Tucumán.
- Dominguez, R.F., Fantin M.A. y Cristallini E., 2017b, "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. San Miguel de Tucumán.
- Dominguez, R.F. & Catuneanu O., 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. San Miguel de Tucumán.
- Fernández, M. L., H.J. Verzi, E. Sánchez, 2003, "Actividad tectónica y evolución sedimentaria de los depósitos Tithoniano / Valanginiense Temprano, porción oriental de la Cuenca Neuquina - Argentina". VIII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Cartagena de Indias, Colombia.
- González, G., Vallejo, D., Desjardins, P., González Tomassini, F., Kietzmann, D., Gómez Rivarola, L., Marchal D. y Dominguez, F., 2016, "Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta- Integración de sísmica, registros de pozos, coronas y afloramientos". Instituto Argentino de Petróleo y el Gas (IAPG): 252 p. Buenos Aires.
- González Tomassini, F., M. Fantín, P. Desjardins, M. Dolores Vallejo, D. Kietzmann, D. Marchal, H. Leanza, G. González, F. Sattler, L. Gómez Rivarola, R.F. Domínguez, H. Reijenstein, G. Kohler, M. Santiago, D. Jait, D. Minisini, B. Aguirre-Urreta, A. Bande, T. Simo, F. Vittore, L. Crousse, M. L. Rodríguez Schelotto, H. Aguirre, E. Feinstein, A. Liberman, S. Cuervo, G. Depine, C. Sylwan, D. Guerberoff, H. De la Cal, S. Alonso, J. Suriano, A. Ambrosio & I. Lanusse Noguera, 2016, "Co-opetition: a game-changing synergy among operators. A case delivering a Rosetta Stone for the Vaca Muerta Stratigraphy (Argentina)". Unconventional Resources Technology Conference (URTeC). DOI 10.15530-urtec-2016-URTeC #2461073. San Antonio, Texas, USA, 1-3 August 2016.
- Guerberoff, D., A. Rosembat, J. P. Catalano & J. Soldo, 2015, "A sequences characterization workflow in a core exploration area, Vaca Muerta System, Neuquén Basin, Argentina". SEG 85th. Annual Meeting, New Orleans.
- Hurley, N.H., H.C. Tanner & C. Barcat, 1995, "Unconformity-related porosity development in the Quintuco Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina". En: Budd, D.A., A.H. Saller & P.M. Harris (Eds.). *Unconformities and porosity in carbonate strata*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 63: 159-175, Tulsa.
- Kietzmann, D.A., R.M. Palma, A.C. Riccardi, J. Martín-Chivelet & J. López-Gómez, 2014a, "Sedimen-

- tology and sequence stratigraphy of a Tithonian - Valanginian carbonate ramp (Vaca Muerta Formation): A misunderstood exceptional source rock in the Southern Mendoza area of the Neuquén Basin, Argentina". *Sedimentary Geology*, v. 302, p. 64-86.
- Marchal, D., G. González, and F.D. Dominguez, 2016, "Capítulo 4: Análisis mineralógico de la F. Vaca Muerta. 33-43". 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.
- Massaferro, J.L., M. Zeller, D.L. Giunta, G. Sagasti y G. Eberli, 2014, "Evolución del sistema mixto tithoniano-valanginiano (formaciones Vaca Muerta, Quintuco y equivalentes) a partir de estudios de afloramientos y subsuelo, centro-sur de la Cuenca Neuquina". *Simposio de Recursos No Convencionales. Ampliando el Horizonte Energético. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*: 251-274.
- 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.
- Pángaro, F, H. Maretto, and L. Pianelli, 2002, "Abultamientos carbonáticos en la Fm. Quintuco en el área de rincón del mangrullo, Cuenca Neuquina, Argentina. Un nuevo objetivo exploratorio?". *V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, Mar del Plata, Argentina.
- Pose F., A. Ganguiy S. Galeazzi, 2014, "Estratigrafía secuencial del sistema Quintuco-Vaca Muerta en el engolfamiento neuquino, Cuenca Neuquina, argentina". *IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos IAPG*, Mendoza, Argentina.
- Rosemblat A., I. Lanusse Noguera, R. F. Dominguez y D. Guerberoff, 2016, "Capítulo 12: Bajada de Añelo". 131-142. 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.
- Sagasti G., 2005, "Hemipelagic record of orbitally-induced dilution cycles in Lower Cretaceous sediments of the Neuquén Basin". *Geological Society, London, Special Publications*, 252(1):231.
- Sattler, F., R. F. Dominguez, M. Fantín, Desjardins, P., H. Reijenstein, S. Benoit, M. Borgnia, F. Vitore, F. González Tomassini, E. Feinstein, D. Kietzmann y D. Marchal, 2016, "Anexo1: Transecta Regional NW-SE". En G. González, *et al.* (Eds), *Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta (IAPG)*, Buenos Aires.
- Spalletti, L., Pirrie, D., Veiga, G., Schwarz, E., Rollin-

- son, G., Shail, R., Haberlahy D., Butcher, 2015, "Análisis mineralógico integrado (QEMSCAN y DRX) de lutitas negras: los depósitos Tithonianos basales de la Formación Vaca Muerta (Cuenca Neuquina, Argentina)". *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, Argentina, 22, ago. 2015.
- Legarreta, L. & Uliana, M.A. 1991, "Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back arc basin fill, Central Argentine Andes". In *Sea level changes at active plate margins: process and product* (Macdonald, D.I.M.; editor) International Association of Sedimentologists, Special Publication, Vol. 12, p. 429-450.
- Vittore, F., Licitra D., Quiroga, J. y C. Hernández, 2017, "Geología y Desarrollo de la Formación Vaca Muerta en el Yacimiento Loma Campana". XX Congreso Geológico Argentino, Simposio 5: Geología de la Formación Vaca Muerta. 7-11 de Agosto. San Miguel de Tucumán.



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

**Energía y Sociedad
aliados inseparables
Mendoza 2018**