

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA FM. VACA MUERTA ENTRE EL SECTOR CENTRO SUR DEL ENGOLFAMIENTO NEUQUINO Y NORTE DE LA DORSAL DE HUINCUL, NEUQUEN, ARGENTINA

Walter Brinkworth¹, Luis Apud¹, Lucrecia Álvarez¹, Soledad Lagos¹,
Galarza Paula Andrea¹, Melisa Laura Fornasero¹, Guillermina Sagasti¹

1: YPF S.A. walter.brinkworth@ypf.com, luis.apud@ypf.com, lucrecia.alvarez@ypf.com, soledad.lagos@ypf.com,
paula.a.galarza@ypf.com, melisa.fornasero@ypf.com, gsagastic@ypf.com

Palabras clave: Depocentro, rampa, aporte sedimentario, dilución sedimentaria

ABSTRACT

The main objective of this work is to present the progress in the characterization of the distribution of the lower units of the Vaca Muerta Formation, informally known as "Cocina" (Kitchen) and Lower Organic, at a semi-regional scale. The analysis integrates stratigraphic and structural aspects and make a comparison against other well-known locations with similar characteristics and levels of interest. The area of interest is located between the Central-Southern part of the Neuquén embayment and the Northern part of the Huincul Ridge.

The analysis allowed us to infer the existence of an active depocenter during the deposition of the Quintuco-Vaca Muerta system, which had its greatest expression during the deposition of the Middle and Upper Organic levels. This increase in the accommodation space took place simultaneously with an increase in the sedimentary supply in the SW sector, evidenced by a greater development of geometries and thicknesses of the levels afore mentioned.

This depocenter has had an important influence on the geometry of the progradations, developing major inclination angles in the southwest instead of those developed in the east. In this last sector, the Quintuco-Vaca Muerta system progrades farther into the basin center where the depocenter is absent. Also, the analysis showed us that there was a rotation in the prograding direction of the Quintuco-Vaca Muerta system in the western part of the study area. This rotation of the progradational front occurs in the clockwise direction and it's inferred that it could be related to the uplift of the Huincul ridge (sediment supply + depocenter) during the deposition of the studied units, with an early uplift pulse during the deposition of the Middle Organic unit.

This increase in sedimentary supply would explain the decrease in TOC% as we move western in this sector of the basin. An additional aspect that would support the hypothesis of an increase in the sedimentary supply is the increase towards the west of the clay content in the mineralogic composition, which also indicates a different source of sedimentary supply.

INTRODUCCIÓN

La Formación Vaca Muerta, históricamente conocida por ser la roca generadora de hidrocarburos más prolífica de la cuenca Neuquina (Massaferro *et al.*, 2014) ha cobrado renovada

importancia debido a su enorme potencial como recurso no convencional.

El área de estudio, que abarca una superficie de aproximadamente 9.000 km². Limita al oeste con el flanco occidental del Dorso de los Chihuidos, y al este se extiende próximo al paralelo 68°, al sur está delimitado por el flanco septentrional de la Dorsal de Huincul y al Norte por el Volcán Auca Mahuida (Fig. 2).

Comprende los bloques de El Mangrullo, Las Tacanas, Meseta Buena Esperanza, Loma La Lata Oeste, Aguada Pichana Este y Oeste, Loma La Lata Sur, Al Sur De Los Lagos, Lindero Atravesado, Loma Campana, La Ribera, La Calera y demás bloques. Todas las coordenadas del trabajo están en Posgar 94/GK-Faja 2.

El intervalo de tiempo estudiado corresponde a los niveles inferiores de la Fm. Vaca Muerta (Weaver 1931, Fossa Mancini *et al.* 1938, Leanza 1973) desarrollados durante el Jurásico Tardío. Dentro del área de estudio, la depositación de esta unidad pasó transicionalmente de una configuración de rampa a la de las clásicas geometrías de clinoformas progradacionales.

El valor de este trabajo radica en poder comprender el desarrollo del sistema Quintuco Vaca Muerta en sus estadios iniciales, buscando así poder explicar las distintas características, tanto estratigráficas como estructurales y aporta un mayor conocimiento del subsuelo sobre todo en el sector sur del área de estudio, donde existen pocos campos en desarrollo y con alto potencial (al norte de la misma tenemos campos muy estudiados).

Por esta razón, los objetivos principales de este trabajo son la caracterización a escala semi-regional de la distribución vertical y lateral de las unidades inferiores de la Fm. Vaca Muerta, denominadas informalmente Cocina y Orgánicos, la comprensión de la relación entre el desarrollo de las estructuras existentes, su efecto en la depositación, el *timing* entre las mismas, el entendimiento del desarrollo de las progradaciones y su relación con los depocentros, y por último, la influencia del aporte sedimentario sobre la variación mineralógica y orgánica (%TOC) en este sector de la cuenca.

METODOLOGÍA

Para el presente trabajo se dispuso de datos Sísmicos 3D (14 cubos) y datos de pozos (207 en total), tales como perfiles eléctricos, recortes de perforación, testigos laterales y coronas.

Se interpretaron y calibraron 7 markers y sus horizontes. Los mismos son, de base a techo: base de Vaca Muerta, Tope Regresivo, Tope Orgánico Inferior, Tope Orgánico Medio, Tope Orgánico Superior, Regresión Forzada y Tope de Quintuco. La nomenclatura utilizada corresponde a la definida internamente por YPF S.A. y se presenta en la Figura 1.

Posteriormente se realizaron cálculos e interpretación de los horizontes isocronopáquicos, análisis de los datos geoquímicos y de difracción de RX disponibles.

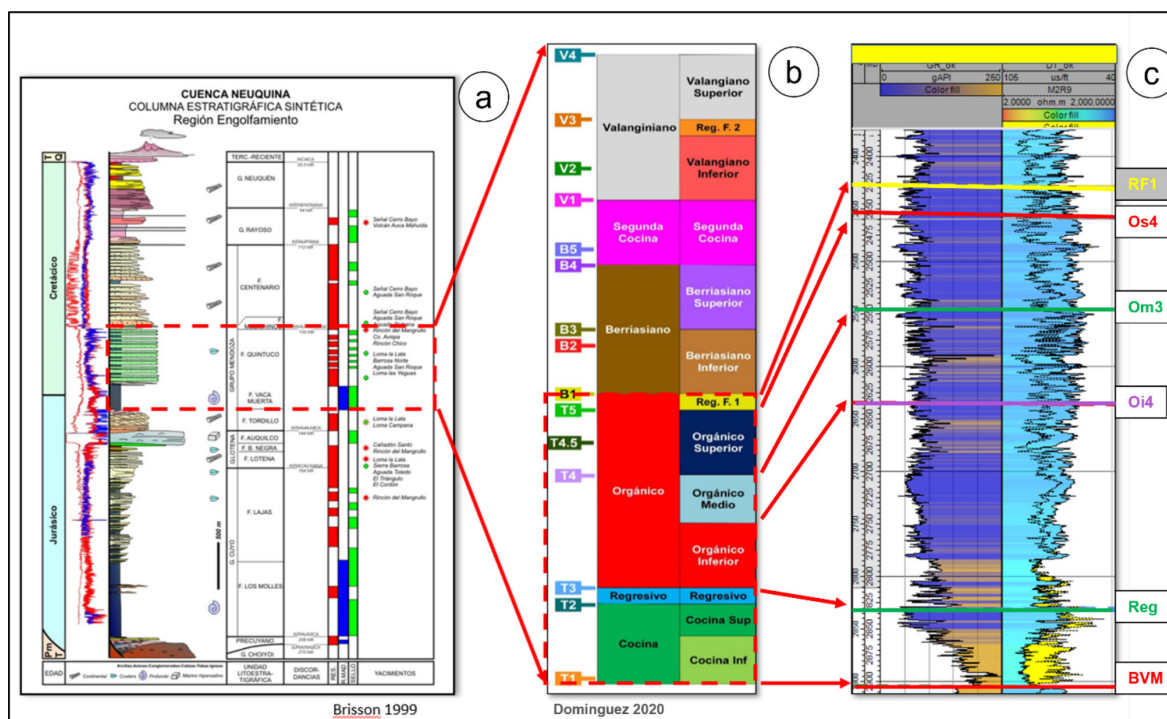


Figura 1. Columna estratigráfica simplificada (a) y (b), perfiles que la caracterizan y posición aproximada de los markers y horizontes en las posiciones más proximales del sistema (modificada de Brisson, Veiga 1999) (modificado de Dominguez *et al.* 2020 y Gonzalez Tomassini *et al.* 2019). Los perfiles eléctricos (c) están referidos al pozo B de la Figura 2.

RESULTADOS

En el mapa isocronopáquico de la Figura 2 (tope Fm. Quintuco – base Fm. Vaca Muerta), se observa un depocentro en la región de Aguada Pichana (AP) donde los valores de TWT alcanzan los 800 ms en comparación con los 400 ms (50% menos) de la región de Loma Campana (LC). En tanto, en la zona de Aguada Toledo (AT), se observan los valores mínimos del sistema (considerando solamente la zona de estudio) del orden de 140 ms (82,5% menos que en AP). También se distinguen otras estructuras activas como son los anticlinales de Aguada Toledo, una serie de fallas o lineamientos de dirección NE-SO y de manera sutil se observa un alto estructural en la zona de Lindero Atravesado (el cual estuvo activo durante los inicios de la depositación de Vaca Muerta). Tener en cuenta estas estructuras es de vital importancia para entender la depositación de los niveles inferiores de la Fm. Vaca Muerta. También vale aclarar que el mayor depocentro de la cuenca se encuentra ubicado en la región de la faja plegada y corrida de Agrio (FPyCA) fuera del área de estudio.

Estos cambios de espesor son importantes, pero lo que se observa en la Figura 2 es el resultado de la sumatoria de los procesos que actuaron durante todo el intervalo Quintuco-Vaca Muerta. Para analizar con más detalle el *timing* del depocentro se recurre a las imágenes sísmicas (de las Figs. 3 y 4), cuya ubicación se indica en línea de trazas sobre la Figura 2.

En los cortes sísmicos se observa el *timing* de la subsidencia del depocentro y su efecto sobre las geometrías de las clinoformas. La Figura 3 está ubicada en una zona estable sin un depocentro

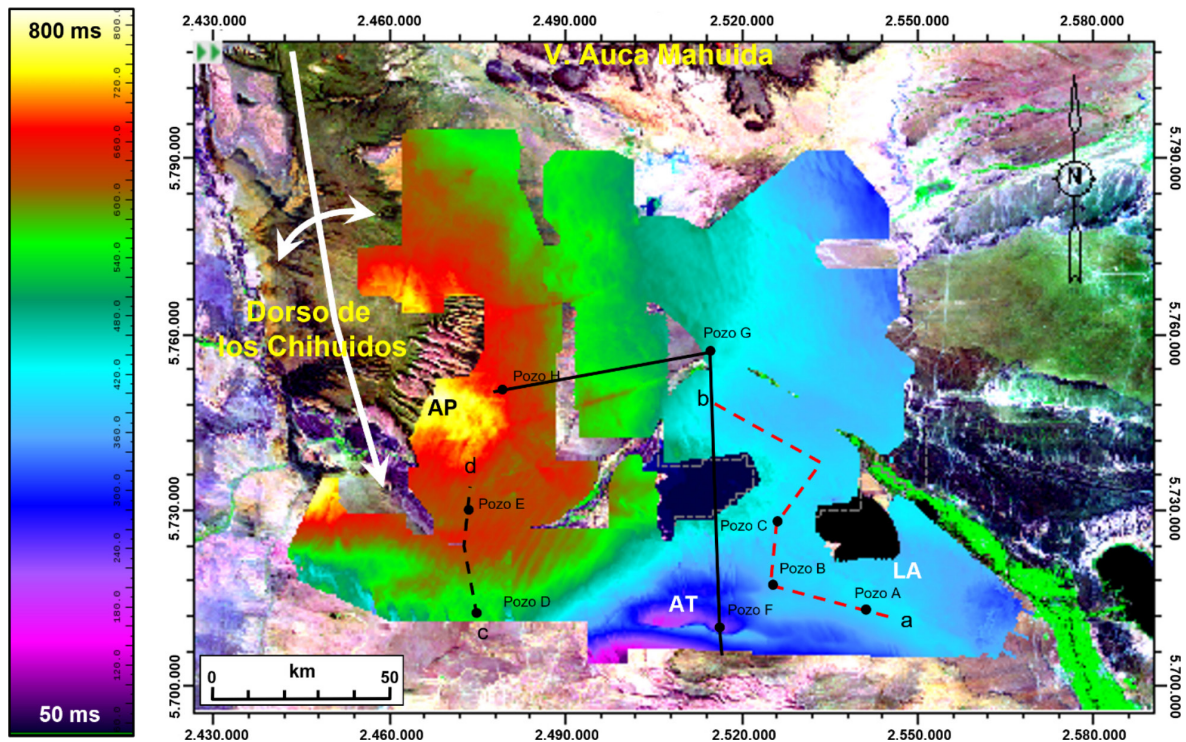


Figura 2. Isocronopáquico Quintuco-Vaca Muerta. Se observan las estructuras activas durante la deposición del sistema Quintuco-Vaca Muerta. El más notable en el área de estudio, es el depocentro de Aguada Pichana (AP) y las estructuras de Aguada Toledo (AT), las fallas/lineamientos SO/NE y sutilmente el alto de Lindero Atravesado (LA). Ubicación de los cortes sísmicos de la Figura 3 (a-b) y la Figura 4 (c-d). Corte pozos F-G-H, línea continua color negro, Figura 5. Todas las coordenadas del trabajo están en Posgar 94/GK-Faja 2. La zona de estudio está representada por la superficie del mapa isocronopáquico.

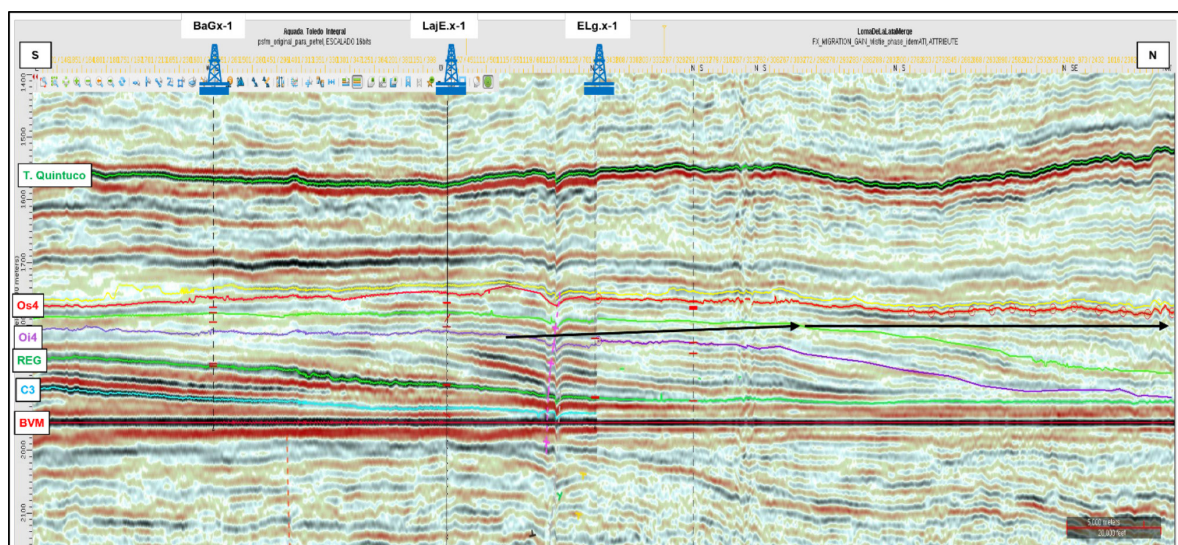


Figura 3. Corte a-b: Imagen sísmica de clinoformas sin un depocentro activo al frente de la dirección de progradación. Es claro que la componente progradante es la más importante con una componente aggradante menor que permite que las secuencias posteriores depositen sobre las plataformas previas. Durante el depósito del Orgánico medio (Om3) el quiebre de talud avanzó en este sector unos 18 km. La Figura esta horizontalizada a la base de Vaca Muerta. La ubicación del corte en planta se grafica en la Figura 2.

activo, justo al frente del sistema progradante. Se verifica que Vaca Muerta, en sus inicios, en lo que normalmente denominamos Cocina hasta el horizonte regresivo inclusive, comienza con una geometría de rampa. Luego, una vez que se establece un frente de aguas profundas, se comienzan a esbozar geometrías de clinoformas (horizontes Oi4 y Om3). Cuando se identifican estas geometrías, la posición de los posibles quiebres de talud progradan, en general, con una ligera componente agradacional, estableciendo un gran avance de la plataforma al centro de cuenca y la consecuente progradación del sistema (Fig. 3).

En la Figura 4 se muestra una comparación entre la Figura 3 y el corte c-d ubicado al oeste, justo frente al depocentro. El solapamiento entre las dos líneas se ubica en la zona de igual espesor de rampa (espesor entre BVM y REG). Las escalas vertical y horizontal son iguales en ambos cortes. Con estas asunciones se observa el aumento del espesor del sistema Quintuco-Vaca Muerta.

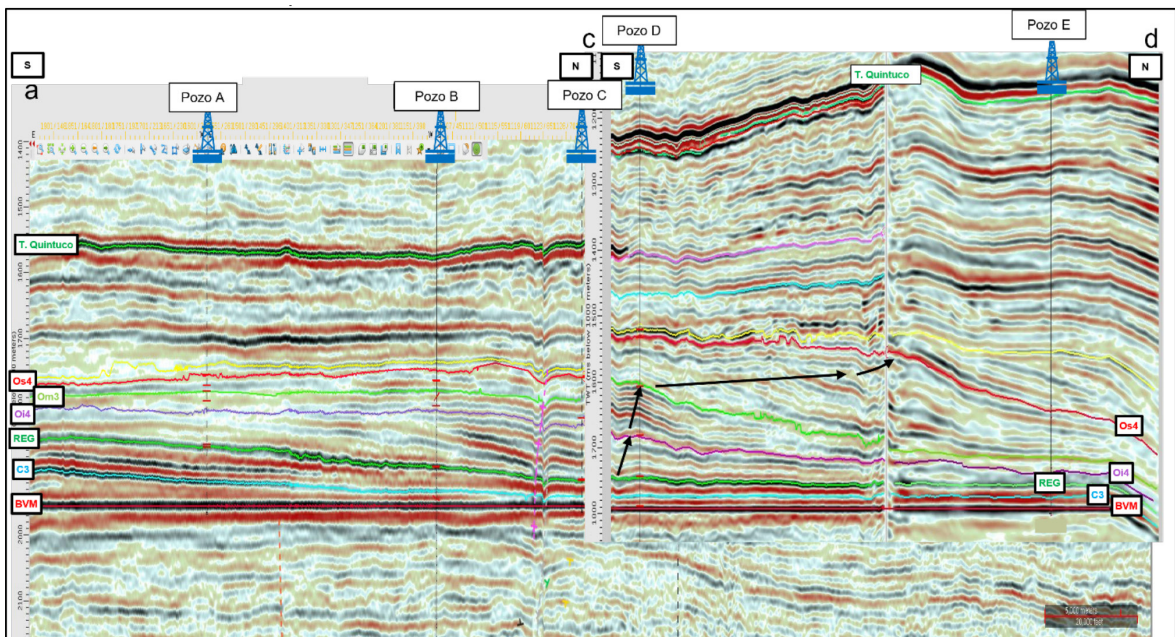


Figura 4. Comparación entre la línea de la Figura 3 (corte a-b) y la línea ubicada en el depocentro (corte c-d), ambas líneas ubicadas en la Figura 2. Línea horizontalizada a la base de Vaca Muerta. Nótese la diferencia en espesor del sistema Quintuco/Vaca Muerta y los diferentes momentos de activación del depocentro.

De dicha comparación se desprende que la subsidencia comenzaría al finalizar la depositación del Orgánico Inferior (Oi4), ya que los espesores no muestran cambios entre los dos cortes por debajo de dichos horizontes, pero si lo hacen por encima, a partir del Orgánico Medio (Om3). Finalmente se puede observar que el quiebre del talud del Om3 se mantiene agradante en el corte c-d, mientras que en el corte a-b, este mismo punto avanza alrededor de 18 km, probablemente debido al mayor aporte sedimentario, como se verá más adelante en los mapas en planta y los datos de geoquímica. Este punto también es apoyado porque el volumen sedimentario del Orgánico Superior en el corte c-d no solo es capaz de compensar el mayor espacio de acomodación, si

no que logra agrandar ligeramente en proporción al corte anterior y progradar en gran medida, mostrando un nuevo pulso de subsidencia hacia el final de esta secuencia (Os4).

El mapa en tiempo (TWT) exagera el efecto del depocentro ya que en la zona de menores espesores también tenemos más espesor de plataforma carbonática, y los carbonatos tienen tiempos de tránsito menores que las pelitas. Esto significa que, en tiempo, el espesor entre pozos del depocentro de Aguada Pichana es del doble que los pozos de Loma Campana. Sin embargo, si se observan los espesores reales, los mismos no se duplican y esto se explica por la mayor velocidad y espesor de los carbonatos en el sector de Loma Campana (ver Fig. 5).

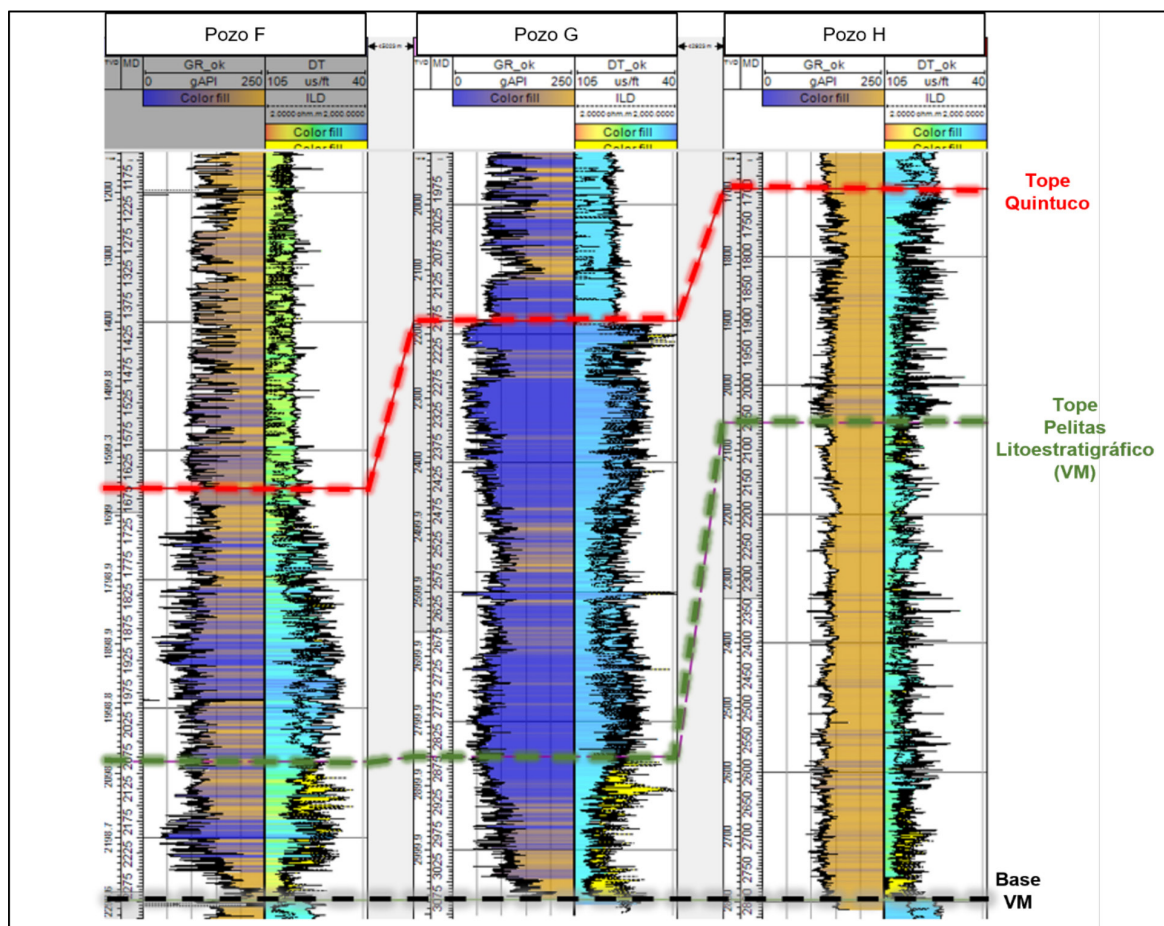


Figura 5.3 Pozos donde se observa la mayor proporción de calizas en los pozos ubicados en Aguada Toledo (F) y Loma Campana (G). Si bien poseen menor espesor real del sistema Quintuco-Vaca Muerta, este efecto se ve acrecentado por la presencia de las calizas con mayor velocidad en los mapas de tiempo (TWT). El espesor porcentual con respecto al pozo F es de 40% más en el pozo G y 72% en el pozo H. La ubicación de los pozos en planta se grafica en la Figura 2.

Para explicar la caracterización a escala semi-regional de la distribución vertical y lateral de las unidades inferiores de la Formación Vaca Muerta (denominadas internamente Cocina y Orgánicos), el *Timing* de las estructuras existentes y su efecto en la deposición, se recurre a los mapas isocronopáquicos de cada uno de los niveles, datos de pozos, modelos estáticos y líneas

sísmicas. A continuación, se describen los mapas de los intervalos de trabajo definidos en este estudio de base a techo.

Para el intervalo base de Vaca Muerta - nivel regresivo, (Fig. 6), se observa claramente la geometría de rampa (Mitchum y Uliana, 1986; Legarreta y Uliana, 1991; González *et al.*, 2015) y los mayores espesores en el SE del área de estudio, llegando estos a valores de 160 ms. Dentro de esta zona con mayores espesores, y representada con colores claros en la Figura 6, sumado a los datos de TOC (Carbón Orgánico Total), PHI (Porosidad) y SW (Saturación de Agua), indican un posible segundo nivel objetivo en la parte superior de la Cocina, siendo la única concesión hasta el momento en donde YPF S.A. identifica esta posibilidad (Bergese, 2019; Formento, 2019).

Existe otra interpretación vigente en la cual se propone que esta distribución de espesores corresponde a los sectores de *foreset* a *bottomset* de un sistema de clinoformas situado más al Este. (Domínguez *et al.*, 2020).

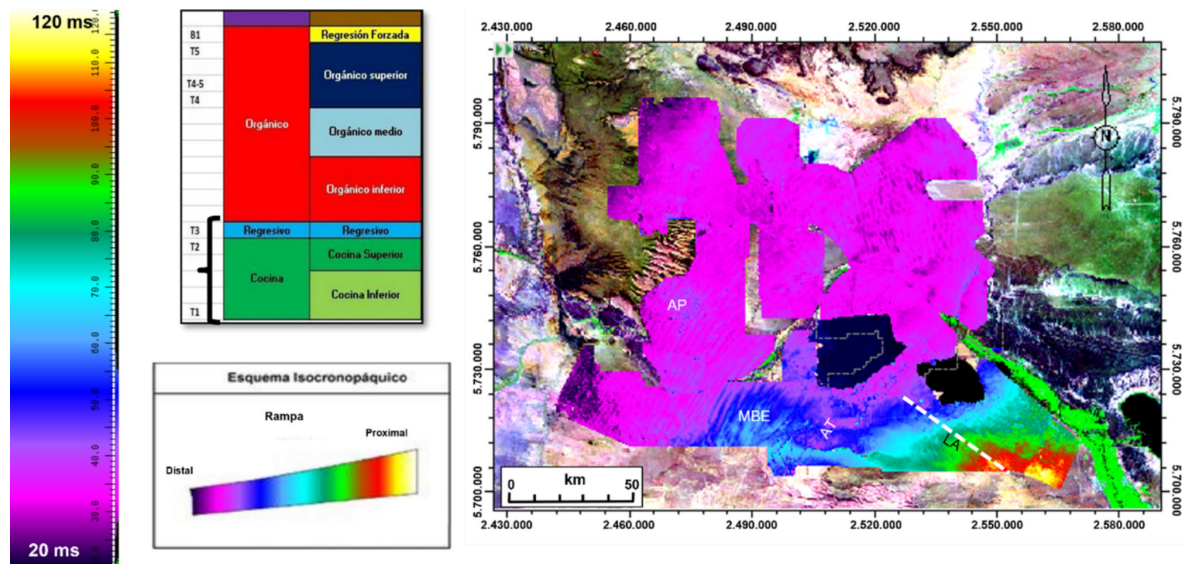


Figura 6. Mapa isocronopáquico del nivel Cocina y regresivo. Se observa la geometría de rampa acorde al esquema en la parte central inferior. También se infieren las estructuras activas al momento de la depositación de esta unidad como los dos anticlinales en Aguada Toledo (AT) y de manera sutil la falla de Lindero Atravesado (línea punteada blanca) con bloque bajo en el bloque de AT. Ver explicación en el texto.

La Figura 7 muestra un extracto del modelo estático donde las propiedades fueron propagadas con los datos de pozos guiados por la impedancia y se puede comprobar la posibilidad de un segundo nivel de navegación en la Cocina.

Las estructuras activas durante este periodo fueron los anticlinales de Aguada Toledo (AT) y la falla de Lindero Atravesado (LA), la cual muestra un bloque bajo en la dirección de Aguada Toledo. Los anticlinales de AT, además de producir una disminución de espesor, provocan una desviación de los sedimentos al oeste lo que favorece que en la zona de Meseta Buena Esperanza (MBE) los espesores sedimentarios aumenten hacia el centro de cuenca.

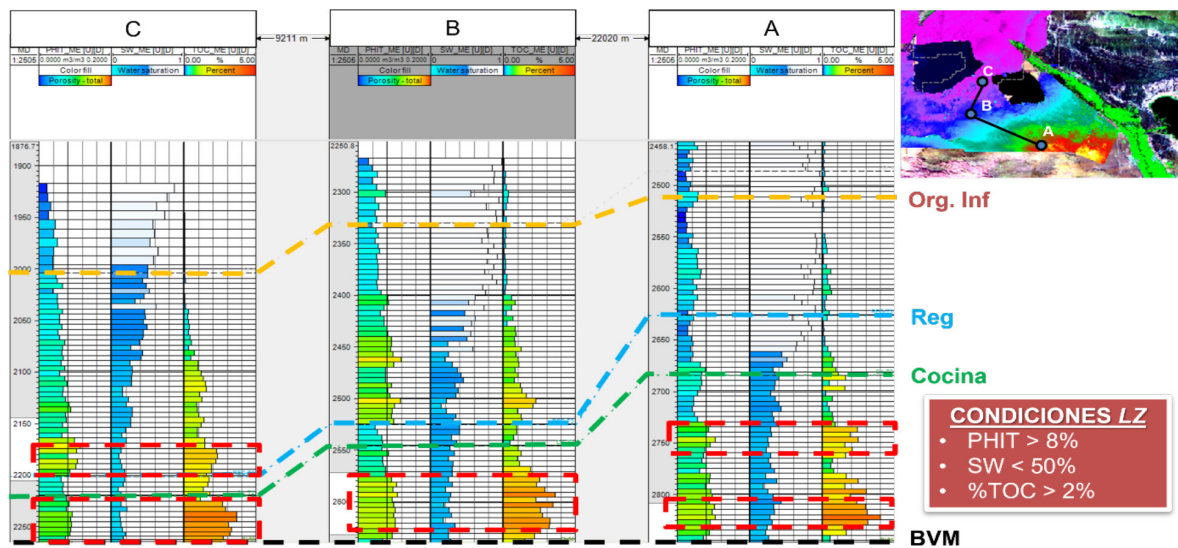


Figura 7. Extracto del modelo estático del Sur de los Lagos, el cual muestra la posibilidad de un segundo nivel de navegación en la Cocina hacia el SE. Esto se debe a que el espesor de la rampa al SE del área de estudio y permite la existencia de niveles independientes que superan las condiciones establecidas como cut off para niveles de navegación (LZ – Landing zone). Los rectángulos rojos con líneas entrecortadas muestran el posible segundo nivel de navegación dentro de la Cocina.

El depocentro de Aguada Pichana (AP) no parece estar activo en este momento, basándonos solo en el espesor, pero es posible explicarlo por bajo volumen sedimentario en la zona distal de los *bottomsets* (rampa distal) (Raúl Nota comunicación personal).

Por último, se presenta una línea sísmica donde se identifica la geometría de rampa para la porción inferior de Vaca Muerta, en tanto que para el Orgánico Inferior ya se pueden identificar las “clásicas” progradaciones de Vaca Muerta (Fig. 8).

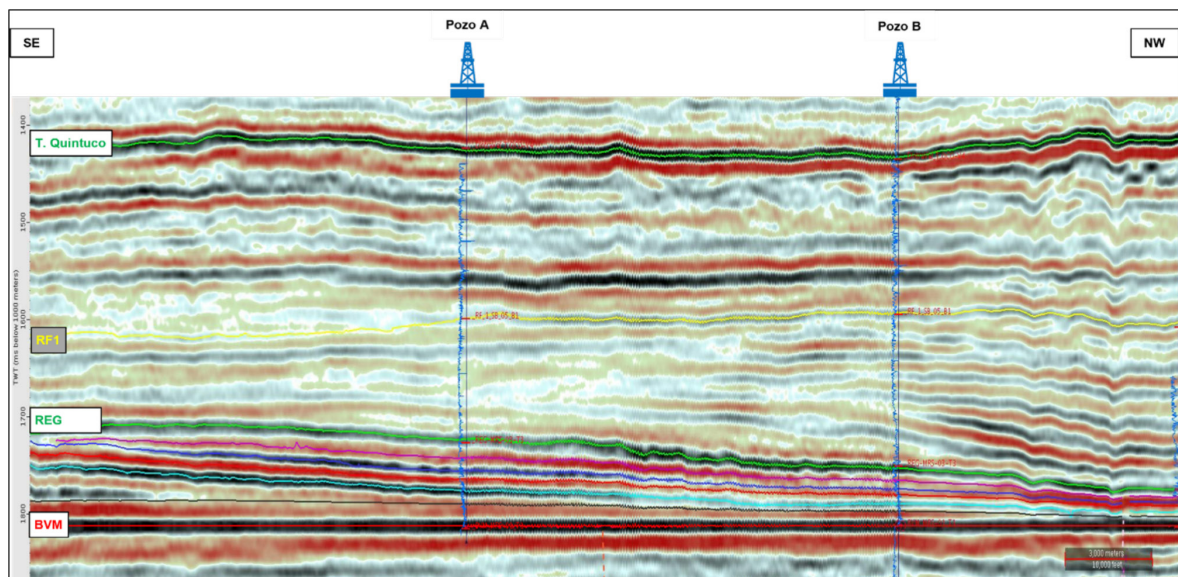


Figura 8. Línea sísmica mostrando la clara geometría de rampa para la base de Vaca Muerta y el aumento de espesor al SE del sistema. Por encima del nivel regresivo (REG) se observan las geometrías de clinoformas. Ubicación de la línea en la Figura 6 con trazo blanco punteado.

En el mapa isocronopáquico del Orgánico Inferior (Fig. 10), se observa una geometría clara de clinoformas a partir de las cuales. Se deduce que un margen de plataforma por “stack” estratigráfico, causada por la repetida acumulación de sucesivas cuñas progradacionales hacia el centro de cuenca, ya estaba presente durante este intervalo (Helland-Hansen *et al.* 2012) (Fig. 9).

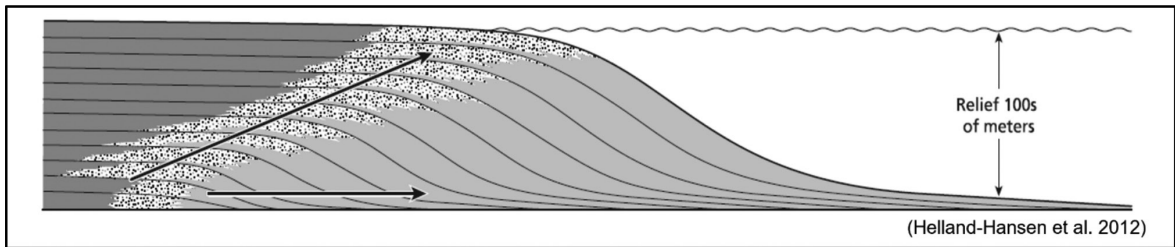


Figura 9. Se muestra la evolución de un sistema de rampas a un sistema de clinoformas. Tomado de (Helland-Hansen *et al.* 2012)

Este sistema de clinoformas se extiende desde la zona entre los lagos Mari Menuco y Los Barreales hasta llegar a Meseta Buena Esperanza, al SO. En la zona entre los lagos, la sísmica es ruidosa por la presencia de un sistema de fallas transcurrentes, el cual es la prolongación noroeste de la falla que separa Lindero Atravesado de Aguada Toledo. El alto de las clinoformas medido de manera vertical (por estar calculado en un isocronopáquico) es del orden de los 100 ms. Esta medida es importante porque la podremos comparar con los niveles superiores y realizar inferencias sobre el nivel de base, tasa de agradación etc. Para el momento de la depositación del Orgánico Inferior, las estructuras de Aguada Toledo y la falla de Lindero Atravesado, se encuentran activas, pero esta última de manera sutil, evidenciada por pozos en el bloque alto y bajo de la falla, ambos con buenas calibraciones y correlación (alrededor de 20 m de diferencia).

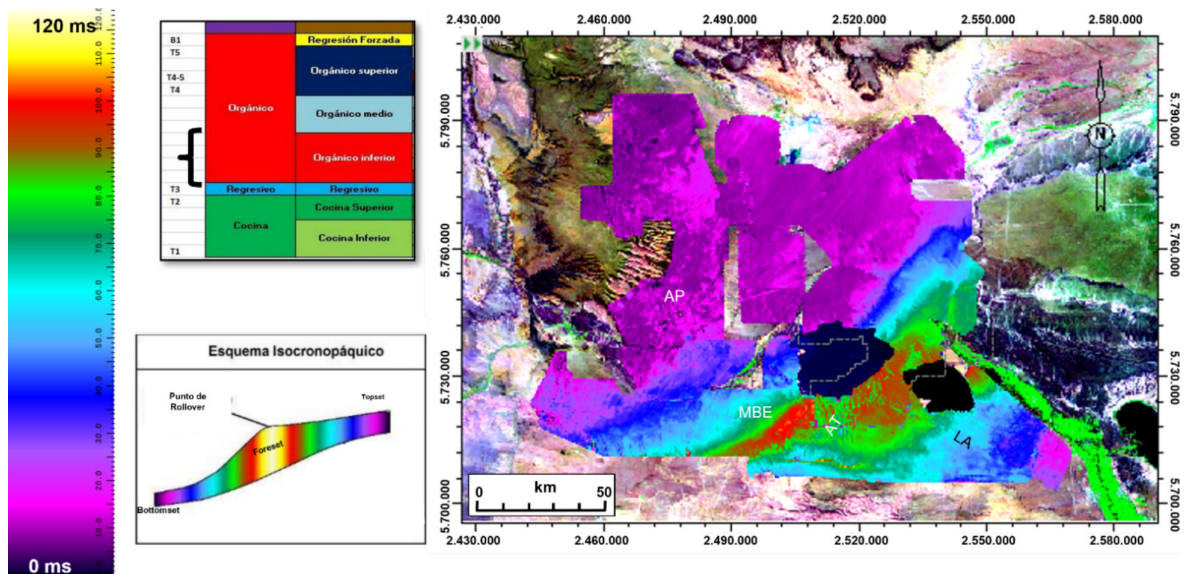


Figura 10. Isocronopáquico del Orgánico Inferior, se ve la dirección de progradación del sistema y la interferencia de las estructuras de Aguada Toledo.

La extensión lateral de este frente de progradación es del orden de los 33 km, posiblemente debido a la presencia de las estructuras de Aguada Toledo, disminuyendo el espacio de acomodación y generando más avance hacia el centro de cuenca. En tanto, cuando nos alejamos hacia el suroeste, este ancho se reduce drásticamente a unos 13 km (MBE). Si observamos el esquema en la parte central inferior de la Figura 10, podemos distinguir la plataforma o topsets, el punto de quiebre de plataforma o rollover, la zona de *bottomsets* y la dirección de progradación (Dominguez *et al.*, 2019).

Si se compara lo anteriormente mencionado con el Orgánico Medio (Fig. 11), surgen las siguientes observaciones:

La dirección de progradación se mantiene constante.

No se observan efectos de estructuras activas, salvo posiblemente el depocentro de Aguada Pichana. El alto de las clinoformas no cambia con respecto al Orgánico Inferior.

Si se compara el ancho de las clinoformas en el sector de progradación de MBE tampoco varían drásticamente.

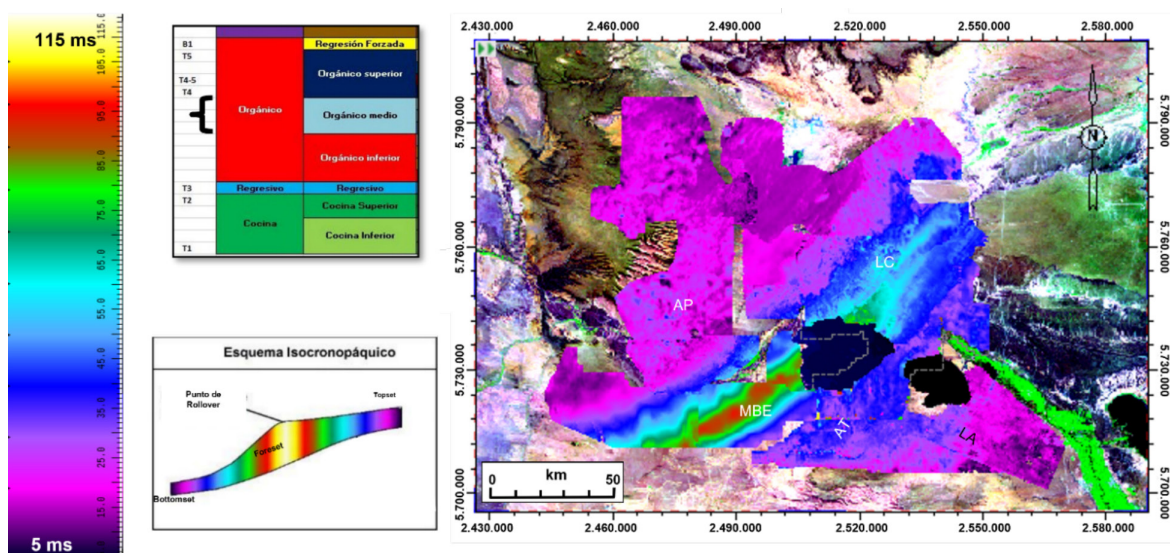


Figura 11. isocronopáquico del Orgánico Medio. Se observa una zona de progradación bien definida sin perturbaciones por estructuración. El alto (máximo) de las clinoformas es prácticamente del mismo orden de magnitud que en Orgánico Inferior. Al NE (Loma Campana, LC) el alto de las clinoformas disminuye con respecto al SW (MBE), lo que podría indicar un depocentro activo al SO.

El aspecto que cambia respecto al nivel anteriormente analizado es la tasa de progradación. En Loma Campana avanza más que en la zona de MBE. Esto puede deberse a la diferencia de espacio de acomodación entre los dos sectores y al poco cambio en el aporte sedimentario.

Con respecto al Orgánico Superior, se puede observar que la altura (máxima) de las clinoformas se incrementa, con lo cual se infiere un aumento del nivel del mar para este intervalo. Por otro lado, la concavidad de la línea de mayor espesor de las clinoformas se incrementa con respecto al

periodo anterior, lo cual muestra que a pesar de tener el depocentro de AP activo, el sistema logra progradar. Es decir, a mayor espacio de acomodación (nivel del mar + subsidencia) el sistema prograda más en la zona del depocentro, lo que requeriría un mayor aporte sedimentario en el sector de MBE y Las Tacanas (Tac). Este punto será validado por datos de DRX y geoquímicos más adelante en el trabajo. Otro punto importante es el avance de la línea de mayor espesor de las clinoformas hacia el centro de cuenca comparado con los periodos anteriores (Fig. 12).

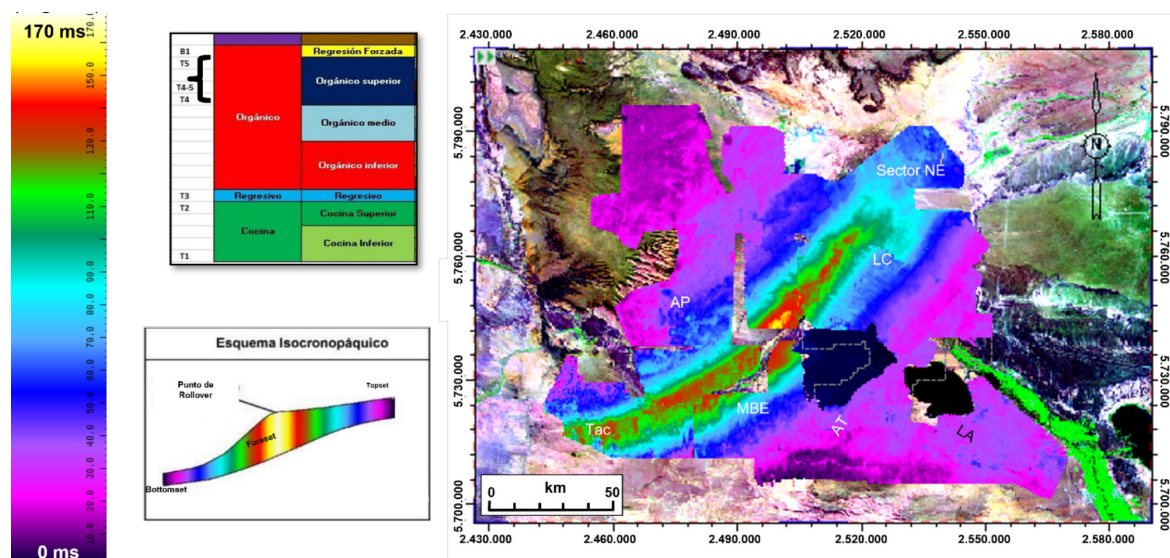


Figura 12. Isocronopáquico del Orgánico Superior. Además de la explicación del texto (párrafo anterior) podemos agregar que en el sector NE, si bien las clinoformas no tienen expresión, las geometrías sísmicas que se distinguen son cuñas que se espesan al centro de cuenca, el aporte de sedimentos sigue siendo al NO como lo muestra la figura.

El último intervalo de tiempo considerado en este trabajo se encuentra comprendido entre el tope del Orgánico Superior y la Regresión Forzada (RF-1) (Fig. 13). El espesor vertical máximo del sistema de clinoformas de este intervalo es el mayor comparado con los niveles anteriormente analizados. A pesar de que el espacio de acomodación disponible es grande, se observa un gran salto progradante hacia el centro de cuenca lo cual indicaría un aporte sedimentario importante.

El frente de mayor espesor de las clinoformas continúa rotando en sentido horario en el sector SO (Fig. 14), lo cual indica que, a pesar de tener un depocentro activo (de AP) en ese momento, el sistema logra progradar más que en el sector de Loma Campana (LC), lo cual vuelve a sugerir un mayor aporte sedimentario en este sector de la cuenca y, como demostraremos más adelante, un cambio composicional de la fuente de aporte.

Si consideramos que estos dos últimos ciclos ocurren en un intervalo de tiempo similar y el aporte sedimentario fue importante, se podría explicar la mayor saturación de agua, en los niveles superiores (Orgánico Superior y la Regresión Forzada 1), debido a la imposibilidad de escape de esta como consecuencia de una rápida sedimentación.

El sistema de progradaciones aumenta su extensión lateral, pero no su espesor máximo en la zona al sur del volcán Auca Mahuida, demostrando que el espacio de acomodación en este sector norte fue ligeramente menor.

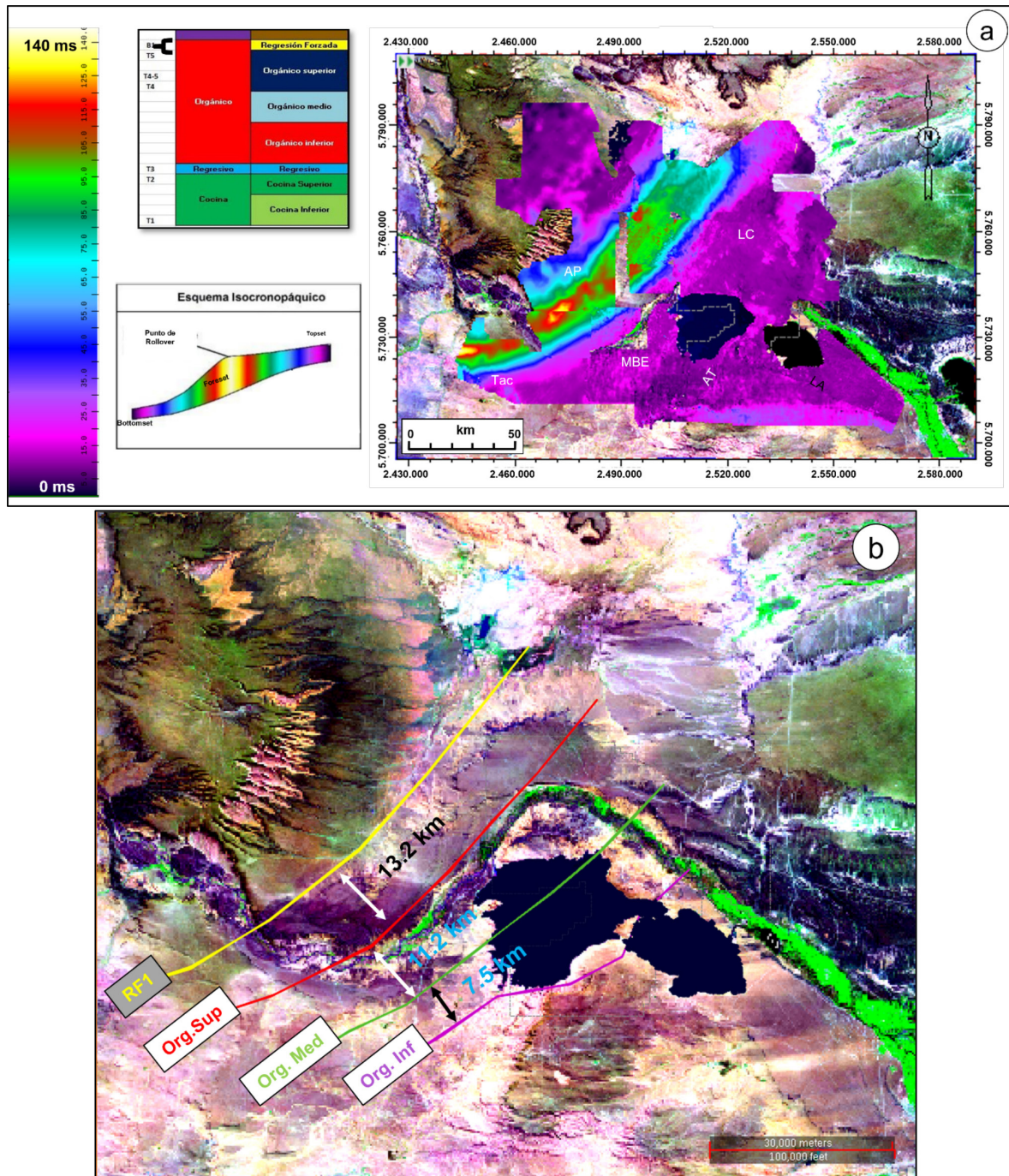


Figura 13. (a) Intervalo de tiempo entre el Orgánico Superior y la Regresión Forzada 1. El espesor vertical máximo del sistema de clinoformas sigue siendo importante en relación con los anteriores. El sistema prograda hacia el centro de cuenca, lo cual indica un gran aporte sedimentario. El sector SO prograda más que el NE a pesar del depocentro activo en este tiempo, lo cual vuelve a mostrar mayor aporte sedimentario en este sector de la cuenca. (b) diferencia en planta de las distancias horizontales de progradación de los puntos medios de los rollovers de los intervalos analizados.

El mayor aporte sedimentario en el sector SO, que corresponde a la zona donde el depocentro está activo, también muestra una rotación en la dirección del aporte sedimentario (quizás también por la influencia del depocentro) que puede observarse en los mapas de las figuras 10, 11, 12 y 13. Un análisis más detallado de este sector permite percibir más claramente y mensurar esta rotación como lo muestra la Figura 14.

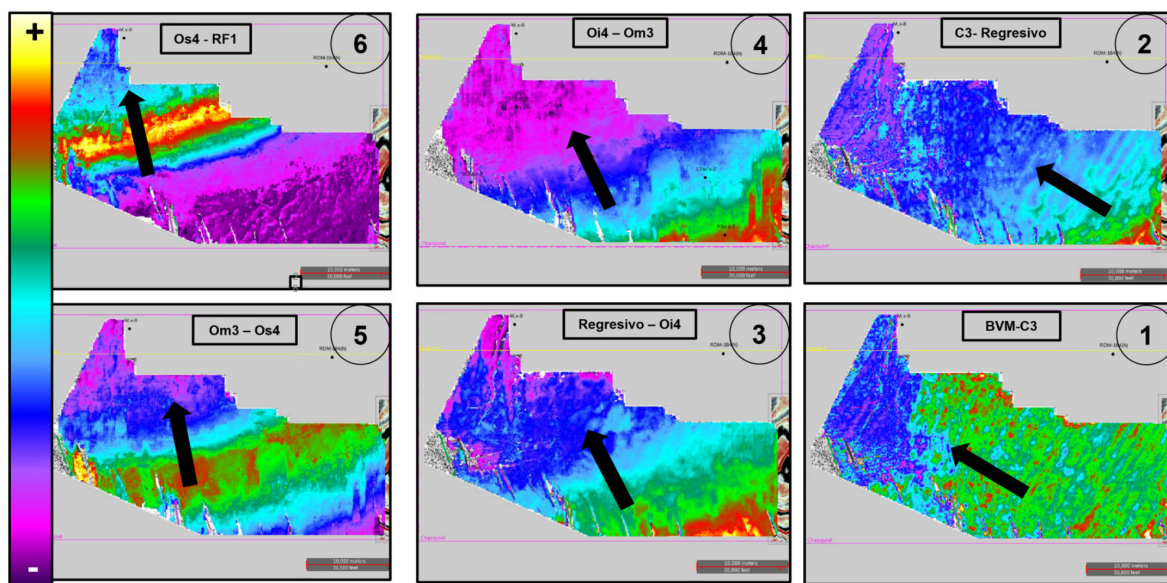


Figura 14. Imagen de los distintos isocronopáquicos, desde la base de Vaca Muerta (BVM-C3) hasta la regresión Forzada (RF1), mostrando como va rotando el sistema a medida que transcurre el tiempo. Se observa la transición de rampa a clinoformas (1 vs 2 y 3) y el salto en la horizontal de las líneas de mayor espesor de las clinoformas para cada tiempo específico.

Esta rotación puede ser debida al aumento de la tasa de subsidencia del depocentro, aunque esto no explicaría el cambio composicional de los sedimentos que estarían llegando a este sector de la cuenca, como se explica más adelante. Por lo tanto, se asigna esta rotación también a una posible reactivación de la zona de aporte sedimentario.

Se determina una rotación de los sistemas progradacionales de aproximadamente 60° (Fig. 15).

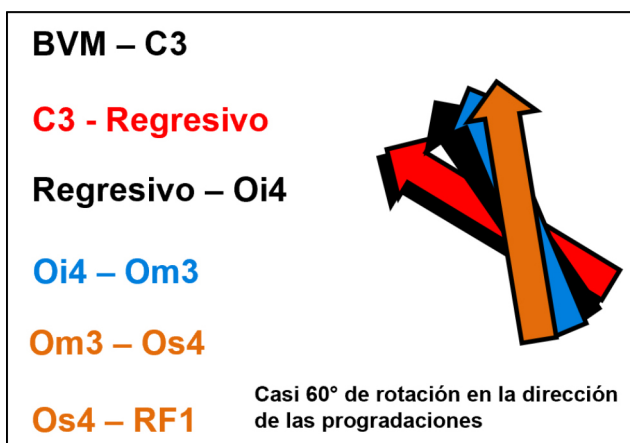


Figura 15. Rotación del sentido de progradación en el sector SO del área de estudio. El depocentro de Aguada Pichana se encuentra inmediatamente al N de este sector.

Finalmente, para comprender la configuración y características de Vaca Muerta en sus inicios como una rampa y la posición aproximada de la porción distal sin intercalaciones carbonáticas y variación del espesor útil (ver Fig. 7), se recurre a imágenes sísmicas, datos de pozos y mapas isocronopáquicos.

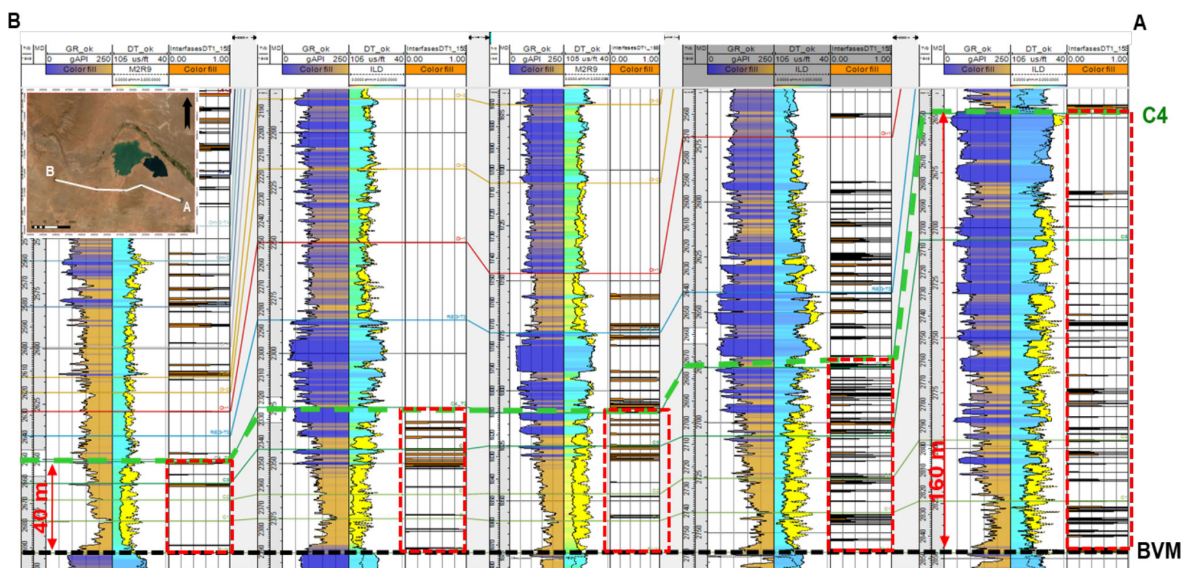


Figura 16. Se pueden observar las intercalaciones de bancos carbonáticos fruto de la depositación sobre una superficie de muy bajo ángulo donde pequeñas variaciones del nivel del mar acentúan las transgresiones y regresiones provocando estas intercalaciones. La posición de estos intervalos carbonáticos fueron estimados a partir de la derivada primera de los perfiles sísmicos.

La Figura 8 muestra la geometría de rampa de los reflectores de la Cocina muy diferente de las zonas distales.

La Figura 16 muestra los pozos y las múltiples intercalaciones de intervalos de reservorios shales (transgresiones) y bancos no reservorios carbonáticos (regresiones) en una superficie de bajo ángulo. Este efecto es a veces perjudicial y otras veces puede ser favorable para la explotación de shales (como ocurre en ciertos niveles progradantes en LC). Lo observado en las figuras 16 y 6, fue corroborado con varios pozos, los cuales muestran que a partir de 34/35 ms de espesor de TWT, entre los markers de la base de Vaca Muerta y el Regresivo, se produce la desaparición de intercalaciones y puede considerarse este intervalo como normalmente se observa en la Cocina “tradicional” en posiciones más distales y en los yacimientos más conocidos como Loma Campana o La Amarga Chica.

Con TWT mayores hay que tener en cuenta estas intercalaciones a medida que el nivel a navegar se encuentre más alto en la columna y sus posibles efectos en la estimulación.

Ya fue mencionada que en pozos ubicados más el SE el espesor de la Cocina aumenta tanto que un posible segundo nivel de navegación puede ser viable (ver Fig. 7).

El último tema para abordar es la posible explicación en la variación en el aporte sedimentario, su variación mineralógica en el sentido Este-Oeste y su impacto en el TOC%.

El análisis de los datos conseguidos a partir de la comparación de los datos de DRX derivados de los pozos del sector SO con respecto a los obtenidos en pozos de los bloques con mayor desarrollo, nos muestran valores de contenido de arcillas mayores al SO, con un incremento de un 10 a un 20%, datos que soportan el aumento del aporte sedimentario que sufrió este sector de la cuenca (Fig. 17).

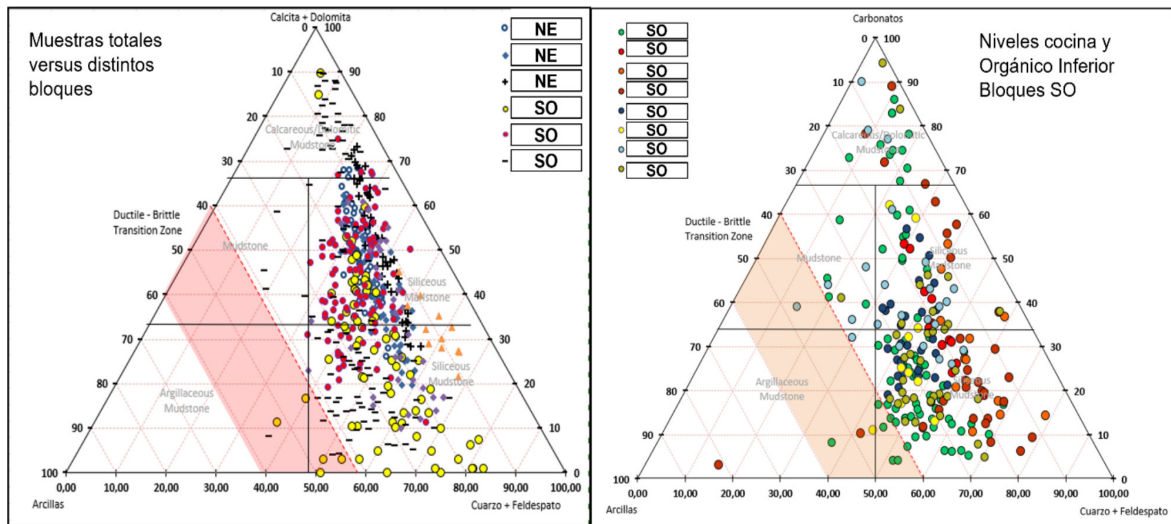
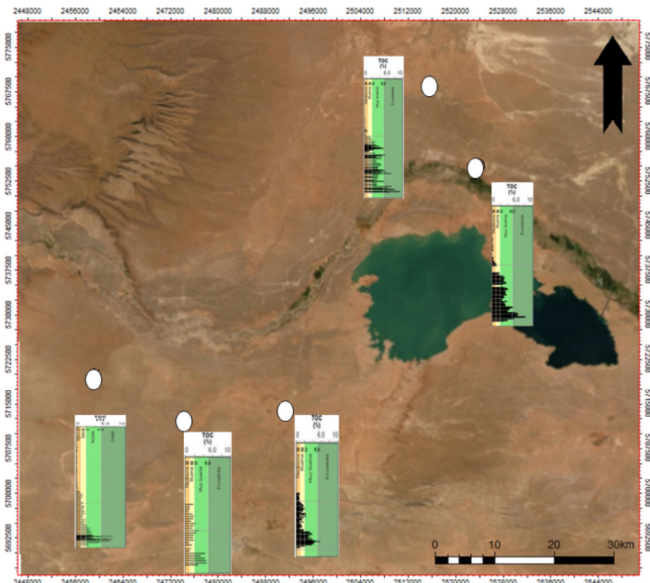


Figura 17. El gráfico de la izquierda presenta las muestras correspondientes al intervalo de VM, mientras que, en el gráfico de la derecha, se observan las correspondientes al nivel Cocina y Orgánico Inferior. Analizando los mismos podemos inferir que, los bloques al SO de la cuenca tienden a aumentar el contenido de arcillas en un 10 a 20% más que lo habitual en los bloques más perforados al NE.

Esta misma comparación se realizó para los valores de %TOC, el cual arroja valores menores para los pozos ubicados en el sector SO. Dicha disminución podría explicarse por dilución sedimentaria del carbono orgánico, como fue observado por Brisson y Fasola (2020), quienes afirman que la distribución de la materia orgánica se controló principalmente por el equilibrio entre la extensión de las aguas de fondo anóxicas y la dilución sedimentaria debido al incremento del suministro de sedimentos (Fig. 18).

Figura 18. Disminución del TOC% en el sector SO debido a una posible dilución de la materia orgánica asociado al aporte sedimentario. Los perfiles en negro de los distintos pozos muestran el TOC%.



CONCLUSIONES

El análisis realizado permitió inferir la existencia de un depocentro activo durante la depositación del sistema Quintuco/Vaca Muerta, el cual tiene su mayor expresión a partir de la depositación de los niveles Orgánico Medio y Superior.

Este aumento en el espacio de acomodación fue acompañado por un aumento en el aporte sedimentario en el sector sudoeste, evidenciado por un gran desarrollo de clinoformas y espesores de los niveles antes mencionados.

En el área de estudio, adoptamos el modelo de rampa para la Cocina de Vaca Muerta, evidenciada por pozos y sísmica

Un posible segundo nivel de navegación dentro de la Cocina queda evidenciado por un aumento de espesor de la misma en la dirección SE del área de estudio, confirmando estudios previos.

La zona de estudio muestra varias estructuras activas durante la depositación de los sedimentos de la sección inferior de Vaca Muerta, pudiendo estas condicionar la distribución de la roca reservorio y no reservorio.

En la zona SO del área de estudio se produjo una rotación progresiva de la dirección de las progradaciones y se interpreta que podría estar relacionado con el levantamiento de la zona de aporte durante la depositación de las unidades estudiadas, con un primer pulso durante el Orgánico medio.

El aumento en la tasa de aporte sedimentario permitiría explicar la disminución de los % de TOC, como así también el aumento del contenido de arcilla a medida que nos desplazamos hacia el sudoeste en este sector de la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a YPF S.A. y a los socios de los diferentes bloques por permitirnos publicar este trabajo.

A todos los integrantes de este equipo que es NOC.

A Fabián Domínguez por la lectura, corrección y sugerencias aportadas.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|---|--|
| Bergese, F., (2019). Propuesta de perforación LdlC.x-1(h). Reporte interno. | Brisson, I. y Veiga, R. 1999. Gira de campo, Cuenca Neuquina. YPF, informe inédito |
| Brisson, I. y Fasola, M. 2020. "Patrones geoquímicos orgánicos de la Fm. Vaca Muerta". Informe Interno. | Dominguez, R. F. y Di Benedetto M., 2019. Understanding 3-D Distribution of Organic-Rich Units |

- in the Vaca Muerta Formation. Unconventional Resources Technology Conference (URTeC) DOI 10.15530/urtec-2019-559.
- Domínguez, R. F., Catuneanu, O., Reijenstein H. M., Notta R., and Posamentier H. W., 2020, Sequence stratigraphy and the three-dimensional distribution of organic-rich units, En D. Minisini, M. Fantín, I. Lanusse Noguera, and H. A. Leanza, eds., Integrated geology of unconventional: The case of the Vaca Muerta play, Argentina: AAPG Memoir 121, p. 163–200.
- Formento, G., 2019. Propuesta de perforación BaG.x-1(h). Reporte interno.
- Gonzalez, G., Jait D. M., Benoit S. V., Sylwan C. A., 2015. Capítulo 5: Lindero Atravesado, Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta: Integración y correlación de la sísmica hacia la roca. IAPG, p. 45-58, Buenos Aires.
- Gonzalez Tomassini, F., Dominguez, R. F., Bernard C., 2019, Reporte Interno.
- Leanza, H.A., 1973. Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes Jurásico - Cretácico entre Loncopué y Picún Leufú, provincia del Neuquén, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 28 (2), p. 97-132, Buenos Aires.
- Legarreta, L. y Uliana M. A., 1991, Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of backarc basin fill. Central Argentine Andes. En: McDonald, D. (Ed.), Sea level changes at active plate margins: process and product. International Association of Sedimentology. Special publication 12: 429-450, Oxford.
- Legarreta, L., Villar H. J., 2012. Las facies generadoras de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina. Petrotécnica.
- Massaferro J. L., Zeller, M., Giunta, D. L., Sagasti, G., Eberl, G. P., 2014. Evolución Del Sistema Mixto Tithoniano-Valanginiense (Formaciones 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. Mendoza, Argentina, p. 251-274.
- Mitchum, R.M. y Uliana, M. 1986. Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina. En Berg, B.R. y Woolverton, D.G. (eds.) Seismic Stratigraphy II. An integrated approach to hydrocarbon analysis. American Association of Petroleum Geologists, Memoir (39), p. 255-83.

