

Características geológicas, desarrollo hidrocarburífero y distribución de la formación Vaca Muerta en la Cuenca Neuquina



Lic. en Geología Manuel Szelagowski

Asesor Técnico



Lic. en Geología Matías Hirsch

Gte. de Nuevos Negocios

Resumen ejecutivo

La formación Vaca Muerta es un conjunto de rocas sedimentarias ubicado en la Cuenca Neuquina, formado hace más de 150 millones de años en un ambiente marino. Su importancia energética se debe a que algunas de sus capas contienen abundante materia orgánica que, con el paso del tiempo y bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, generaron abundantes volúmenes de petróleo y gas.

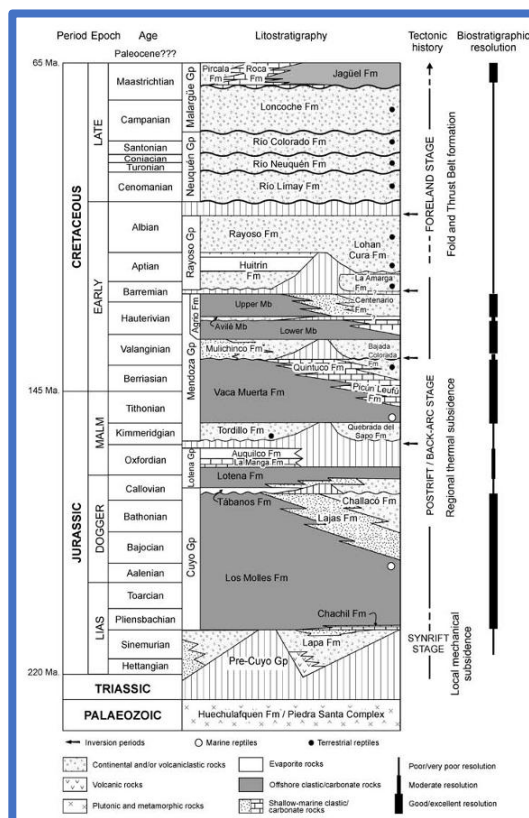
A diferencia de los yacimientos convencionales, en los que el petróleo o el gas se acumulan en rocas que permiten su movilización, en Vaca Muerta los hidrocarburos permanecen alojados en rocas de muy baja permeabilidad. Por eso, su producción requiere técnicas especiales, como la perforación horizontal y la fractura hidráulica.

La formación Vaca Muerta se adelgaza hacia el borde nororiental de la Cuenca Neuquina y no está presente en la provincia de La Pampa. Las transectas regionales presentadas muestran claramente como varían los espesores desde el oeste hacia el este de la cuenca.

¿Qué es la formación Vaca Muerta?

En geología, una “formación” es la unidad de división básica en estratigrafía y se trata de un conjunto de capas de roca que puede reconocerse, describirse y mapearse por sus características. Vaca Muerta es una formación de rocas sedimentarias de edad Jurásico Superior a Cretácico Inferior, específicamente del intervalo Tithoniano–Berriasiano, ubicada en la Cuenca Neuquina.

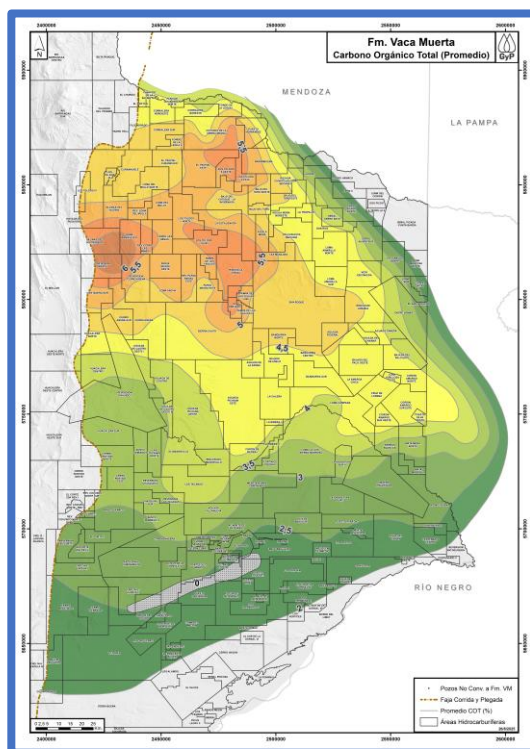
Se depositó hace más de 150 millones de años en un mar interior, cuando la actual Cordillera de los Andes todavía no se había formado como la conocemos hoy. Hacia la base tenemos la formación Tordillo y hacia el techo las formaciones Quintuco y Mulichinco.



Tomado de Howell J., et al. 2005. Cuadro cronoestratigráfico de la cuenca neuquina en el intervalo Paleozoico-Cretácico.

Profundidad, espesor y contenido de COT (carbono orgánico total)

Vaca Muerta se encuentra a profundidades aproximadas de entre 1.500 a 2.500 metros bajo la superficie, con espesores que varían entre 40 y 620 metros. Estos valores son rangos generales y no deben interpretarse como uniformes para toda la cuenca. No obstante, y por efectos tectónicos, la formación aflora en la Sierra de la Vaca Muerta en los alrededores de la localidad de Zapala en la provincia de Neuquén lo que permitió su muy buena caracterización y descripción. Por correlación, y a partir de los registros de cutting y perfiles eléctricos de los más 20.000 pozos perforados en toda la cuenca neuquina fue posible mapear el techo y base de la formación y definir sus límites exactos tal como se observa en el siguiente mapa elaborado por la empresa Gas y Petróleo de Neuquén (GyP). Se aclara que el perímetro del mapa define la extensión de la formación Vaca Muerta y los contornos internos coloreados corresponden a valores de COT (carbono orgánico total).



Tomado de https://www.gypnqn.com.ar/vaca_muerta.php. Mapa de COT de Vaca Muerta

Reseña histórica

Durante buena parte del siglo XX, Vaca Muerta fue conocida principalmente como una roca generadora: una roca rica en materia orgánica capaz de originar hidrocarburos. La dificultad consistía en extraerlos económicamente, porque no circulan con facilidad a través de la roca.

En 1931: el geólogo Charles Edwin Weaver dio nombre a la formación tras estudiarla en afloramientos de la sierra de Vaca Muerta.

En Noviembre de 2010: YPF completó el primer pozo exploratorio de petróleo en roca compacta en el área de Loma Campana.

En Agosto de 2011: se perfora el primer pozo horizontal a Vaca Muerta terminado con fracturas hidráulicas.

Desde 2015 se produce la expansión del desarrollo productivo, acompañada por inversiones en infraestructura de transporte.

La perforación horizontal permite que el pozo avance lateralmente por una capa de roca, en lugar de limitarse a un trayecto vertical. La fractura hidráulica consiste en inyectar un fluido (agua principalmente) a alta presión para crear pequeñas fracturas en la roca y facilitar el desplazamiento del petróleo o el gas hacia el pozo. En conjunto, estas técnicas permiten producir hidrocarburos en rocas que, de otro modo, no sería posible producir.

El término “no convencional” describe el tipo de yacimiento y las técnicas necesarias para explotarlo; no significa que el recurso sea necesariamente distinto del petróleo o del gas de otros yacimientos.

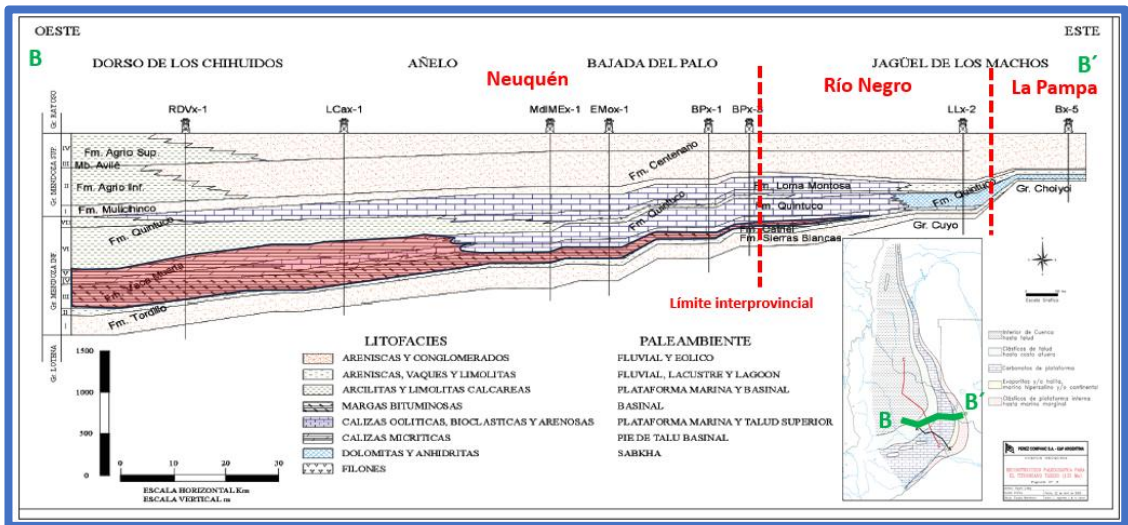
La distribución areal de la formación Vaca Muerta en la cuenca Neuquina

La Cuenca Neuquina es gran cubeta sedimentaria, una región geológica extensa rellena con depósitos de distintos orígenes y características en forma de capas geológicas. Estas capas de roca cambian de espesor, composición y profundidad de un lugar a otro. Por eso, la presencia de Vaca Muerta en una parte de la cuenca no implica que tenga el mismo espesor ni las mismas condiciones en todos los sectores.

En términos geológicos la formación Vaca Muerta se puede dividir, de base a techo, en cuatro secciones, denominadas: “cocina”, “orgánico inferior”, “orgánico medio” y “orgánico superior”. Las cuatro secciones contienen hidrocarburos potencialmente producibles, y la sección inferior —especialmente la denominada cocina— presenta los valores más altos de COT.

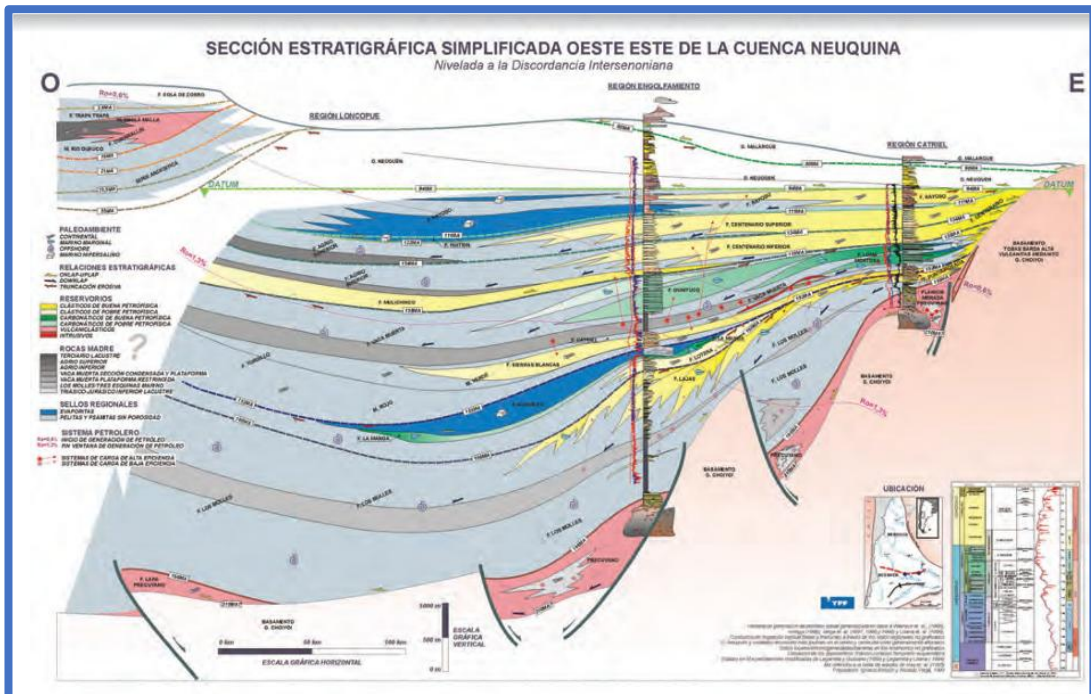
La expresión “cocina” se utiliza en geología del petróleo para referirse a una zona donde las condiciones de enterramiento y temperatura permitieron la generación de hidrocarburos. El potencial productivo real también depende de otros factores, por lo que el contenido orgánico no debe tomarse como único indicador.

Absolutamente todas las transectas geológicas regionales publicadas hasta la fecha elaboradas con distinta información de base (pozos, perfiles, coronas, sísmica, etc) y por distintas empresas y autores, muestran cómo la formación Vaca Muerta pasa de tener casi 600 m de espesor en el centro de cuenca a adelgazarse hasta desaparecer en el borde nororiental (zona de Plataforma). Esto se debe a que, al momento de su depositación, el mar proveniente del pacífico avanzó de oeste a este hasta definir una línea de costa de dirección noroeste-sudeste paralela a lo que hoy se define como el límite interprovincial de Río Negro y La Pampa. Hacia el oeste de la cuenca se depositaron las facies de mar profundo generadoras de petróleo y hacia el este las facies costeras carbonáticas de plataforma. Como ejemplo se presenta una transecta regional elaborada modificada de Olmos, et al. 2002

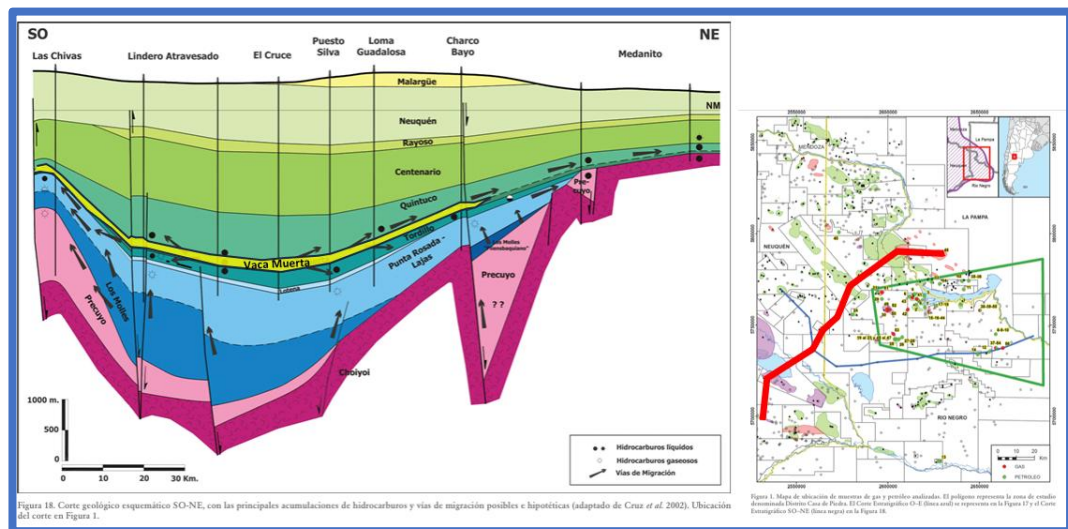


Modificado de Olmos, et al. 2002, transecta regional dirección oeste-este con las facies de Quintuco definidas en el mapa.

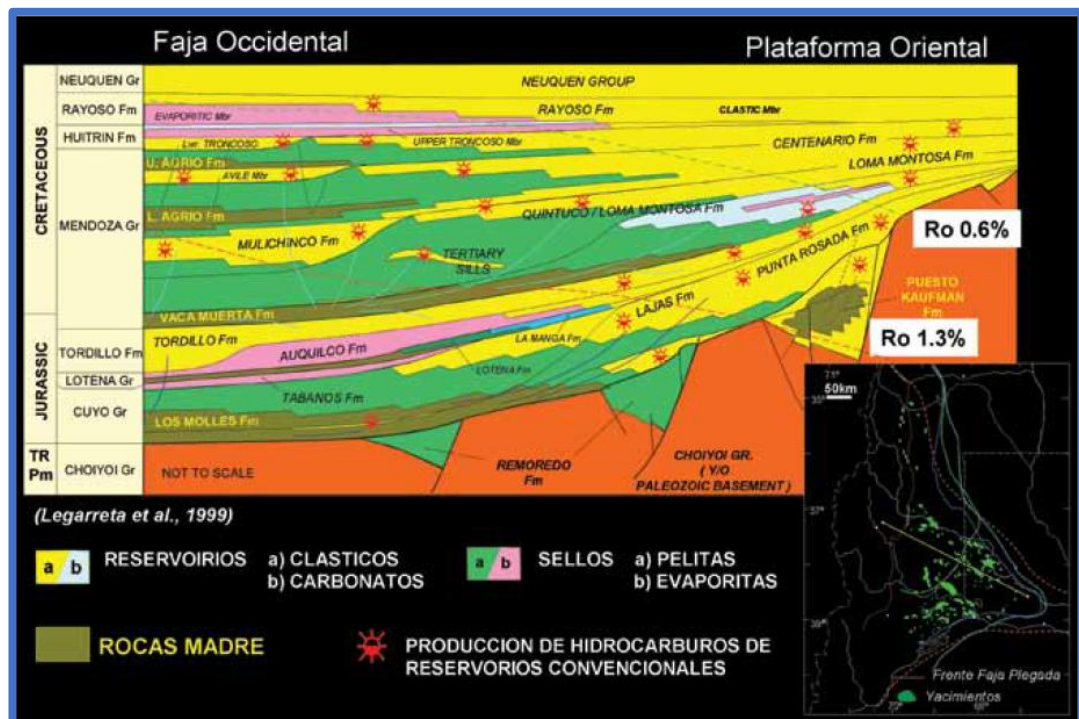
Otro ejemplo de transecta regional fue tomada del libro Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros, editado por la Fundación YPF, donde se observa cómo la formación Vaca Muerta pierde espesor de Oeste a este para desaparecer en lo que se conoce como Región de Catriel.



Otra transecta tomada de la bibliografía (Cruz *et al.*, 2002) confirmando el adelgazamiento y la desaparición de la formación Vaca Muerta al oeste de la zona conocida como Medanito (La Pampa).



Finalmente, una transecta más tomada de la bibliografía donde muestra las variaciones laterales de espesores de las capas, incluida la formación Vaca Muerta.



Tomado de Legarreta, L., y Villar, H. J. (2012). Las facies generadoras de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina. *Petrotecnia*, 53(4), 14-39

Recientemente el Diario Río Negro publicó un artículo que describe las condiciones de producción y explotación de Vaca Muerta en la provincia de Río Negro y señala: *“Los informes técnicos de la Secretaría sostenían que la formación Vaca Muerta podía extenderse a Río Negro, pero su productividad no estaba comprobada, explicó Moya.”* Dicho esto, se puede concluir que, siendo que es difícil para Río Negro encontrar la formación y además que tenga la madurez térmica suficiente, es imposible para la provincia de La Pampa considerando que el borde de cuenca se extiende hacia el este. En dicha nota presentan un mapa de detalle mostrando hasta dónde llega la formación hacia el este:



Tomado de <https://www.rionegro.com.ar>

Basamento geológico y perforaciones realizadas en la provincia de La Pampa

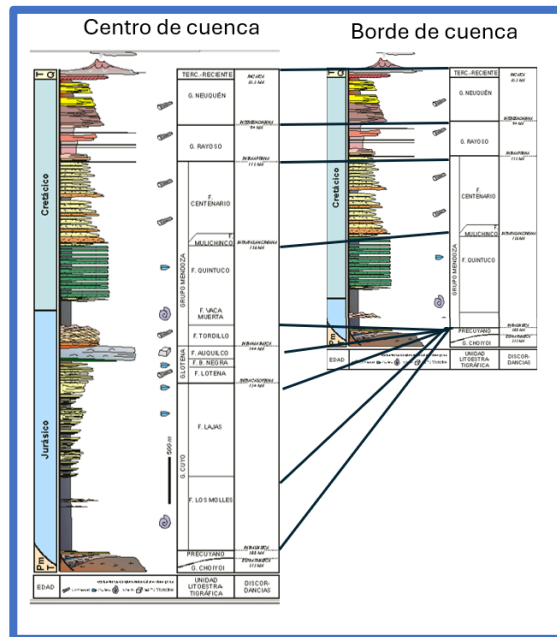
Conociendo el modelo de sedimentación de la cuenca y lo que se explicó previamente, sería razonable que los pozos más al oeste sean los que encuentren

el basamento más profundo y a medida que nos vamos hacia el este el basamento se encuentra cada vez más somero y las chances de encontrar más espesor de columna se achican.

Para entender cómo funciona hay que saber que el basamento de la cuenca está formado por rocas ígneas (volcánicas) que tienen 240 millones de años y que se denominan en geología Grupo Choiyoi. Esta roca constituye justamente la base sobre la cual se depositaron todos los sedimentos de la cuenca Neuquina. En el centro de la cuenca estas rocas se encuentran a 6000 m de profundidad y en la zona de la localidad de 25 de Mayo se encuentran entre 900 y 1400 m de profundidad; más al este siguen encontrándose cada vez más cerca de la superficie hasta aflorar en las Sierras de Lihuel Calel.

La columna estratigráfica en este sector de borde de cuenca se limita a algunas de las formaciones que se encuentran en el centro de cuenca. Lo mismo que ocurre con la formación Vaca Muerta que no llegó a depositarse en este sector de la cuenca ocurre con muchas otras formaciones: formación Molles, formación La Manga, formación Lotena, entre otras.

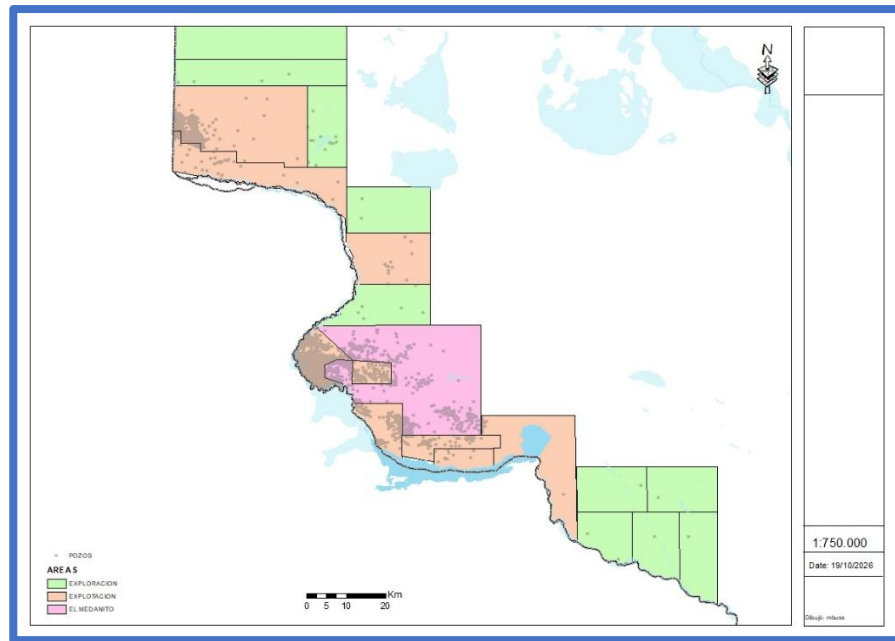
A continuación, se presentan dos columnas estratigráficas representativas de centro de cuenca y de borde de cuenca respectivamente.



Comparación de columnas sedimentarias, clara reducción y pérdida de los espesores.

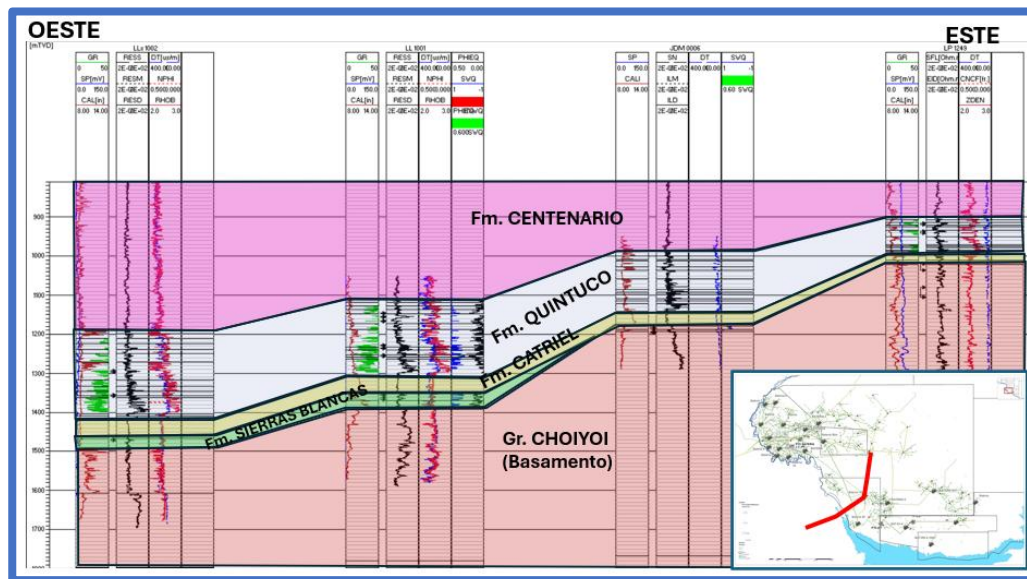
Pero para certificar la ausencia de la formación Vaca Muerta en terreno pampeano se podría chequear pozo a pozo a partir de los perfiles eléctricos y el cutting de cada pozo mediante correlaciones estratigráficas.

En la provincia hay perforados 1979 pozos ubicados en toda la porción occidental de la provincia desde el límite con Mendoza al noroeste hasta las proximidades de la localidad de Gobernador Duval al sureste, de los cuales el 60% aproximadamente alcanzaron a perforar el basamento (Gr. Choiyoi). Se verificaron todos y cada uno de los pozos y se hizo la correlación estratigráfica entre ellos y con pozos aledaños de la provincia de Río Negro y no se observa en ninguno de ellos atravesado ni un metro de espesor de la formación Vaca Muerta.

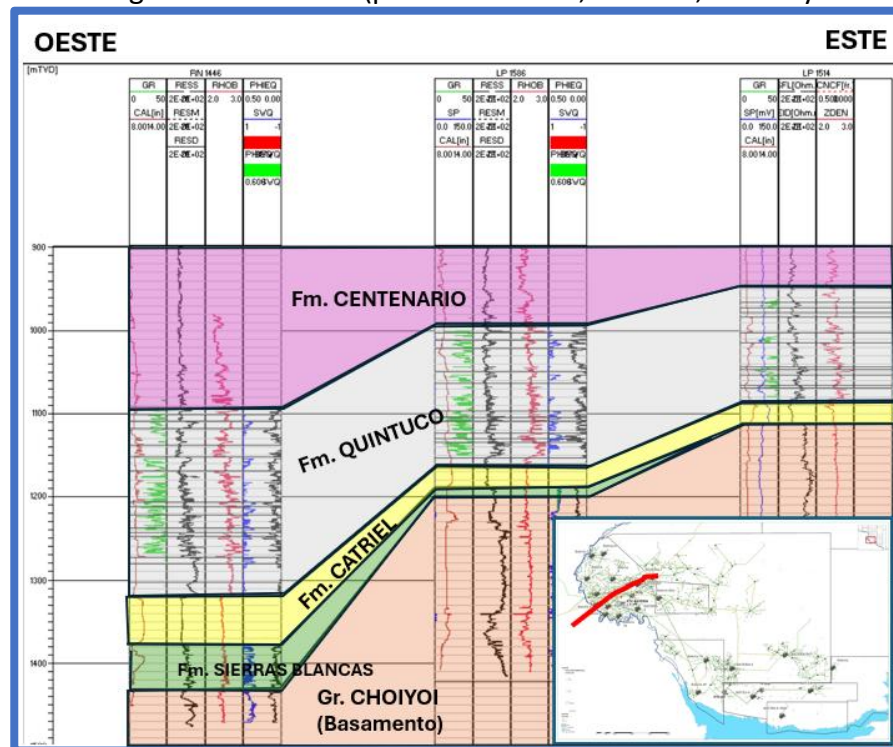


Mapa con la distribución de todos los pozos petroleros en los distintos yacimientos de la provincia de La Pampa

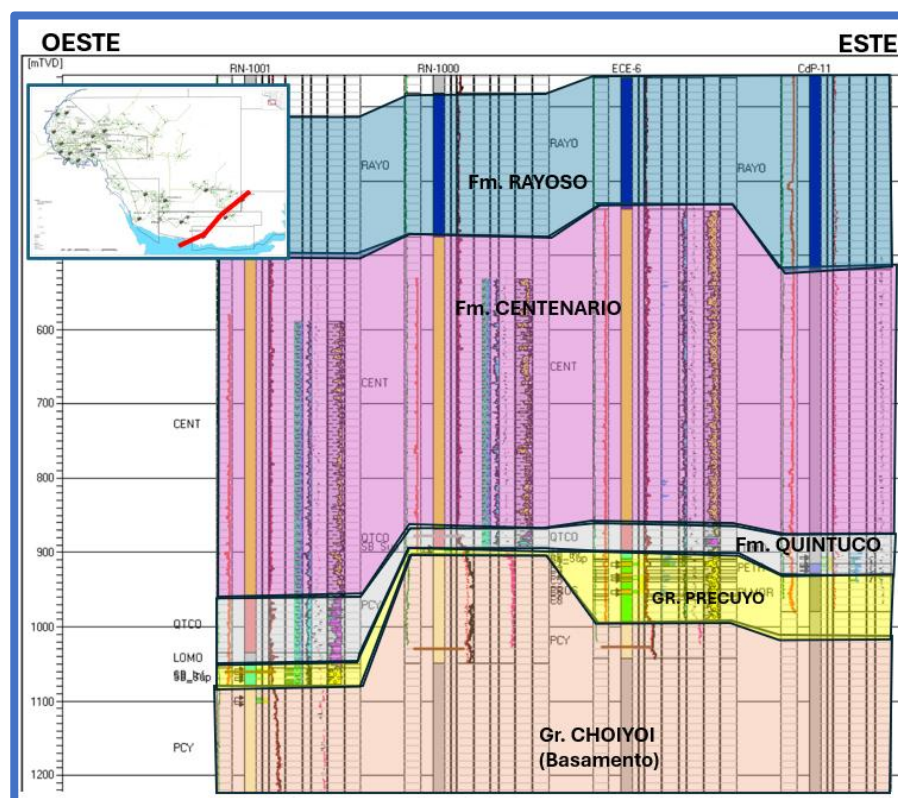
A continuación, se muestran algunos cortes estratigráficos con la mencionada correlación. Es de esperar que en este sector de la cuenca y de la provincia de La Pampa, bien al oeste, sería el único lugar donde exista alguna mínima chance de encontrar la formación Vaca Muerta. En los mismos, se puede observar como la formación Vaca Muerta disminuye su espesor a medida que nos desplazamos de oeste a este dado que, como se explicó anteriormente, la columna sedimentaria se adelgaza en esa dirección.



Corte estratigráfico 1 - SW-NE (pozos LL.x-1002, LL-1001, JDM-6 y EM-1249)



Corte estratigráfico 2 - SW-NE (pozos EM-1448, EM-1508 y EM-1514)



Corte estratigráfico 4 - SW-NE (pozos RN-1001, RN-1000, ECE-6 y CDP-11)

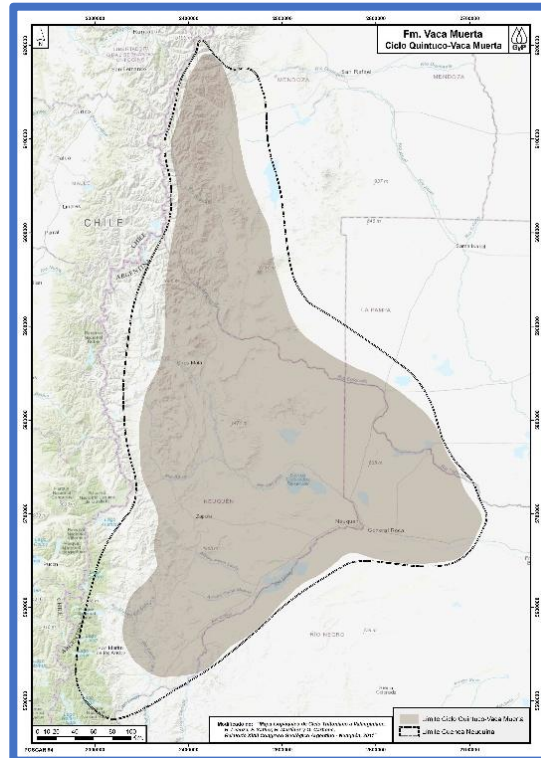
Es posible sostener y reafirmar entonces que la formación Vaca Muerta no está presente en la provincia de La Pampa y que su límite se ubica al menos entre 10 y 20 km del límite interprovincial entre Río Negro y La Pampa.

La posible confusión con la formación Quintuco (o Loma Montosa)

La formación Vaca Muerta se depositó, como se dijo anteriormente, en el Jurásico Superior al Cretácico Inferior. Inmediatamente encima de ella se depositó la formación Quintuco o denominada también Loma Montosa en zona de Plataforma que representa la transición hacia un ambiente marino menos profundo (tal como se explicó anteriormente) de plataforma mixta (siliciclástica y carbonática) y sistemas deltaicos hacia los tramos superiores. Ambas formaciones constituyen un **ciclo sedimentario** (definido como el conjunto o sucesión de formaciones geológicas depositadas en una misma cuenca sedimentaria durante un intervalo de tiempo delimitado por dos grandes discontinuidades estratigráficas o discordancias) por lo que pueden ser estudiadas y descriptas en conjunto por su relación estratigráfica y su distribución areal.

En este sentido, si observamos un mapa del Ciclo sedimentario Quintuco-Vaca Muerta vemos que este ciclo abarca toda la provincia de Neuquén, parte de

Mendoza, parte de Río Negro y una porción en la provincia de La Pampa tal como se ve en el siguiente mapa:



Ahora bien, a partir de los cortes estratigráficos generados con perfiles de pozos perforados dentro de la provincia de La Pampa se observa que por encima de la formación Catriel (equivalente lateral de la formación Tordillo) encontramos directamente los depósitos carbonáticos y siliciclásticos de la formación Quintuco sin estar presente la formación Vaca Muerta.

Conclusiones

- La formación varía lateralmente dentro de la Cuenca Neuquina: su espesor, madurez térmica y potencial productivo no son uniformes.
- Vaca Muerta se adelgaza hasta desaparecer hacia el borde nororiental de la cuenca, cubre una pequeña porción del oeste de la provincia de Río Negro y **no está presente en la provincia de La Pampa**.
- La presencia de la formación Quintuco o de un ciclo sedimentario más amplio en La Pampa no implica que Vaca Muerta esté presente por debajo.

Fuentes consultadas y citadas en el texto

- Casadío, S. A., Brisson, I., Bühler, M., Canale, N., Carmona, N., Fernández, M., & Montagna, A. O. (2015). *Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros: una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo*. Fundación YPF; Universidad Nacional de Río Negro.
- Cruz, C.E., Boll, A., Gómez Omil, R., Martínez, E.A., Arregui, C., Gulisano, C.A., Laffitte, G.A. y Villar, H.J. (2002). *Hábitat de hidrocarburos y sistemas de carga*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG)
- González, G., Vallejo, M. D., Kietzmann, D. A., Marchal, D., Desjardins, P., González Tomassini, F., Gómez Rivarola, L. y Domínguez, R. F. (2016). Transecta Regional de la formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registros de pozos, coronas y afloramientos. IAPG.
- Howell, J. A., Schwarz, E., Spalletti, L. A. y Veiga, G. D. (2005). The Neuquén Basin: An overview. En *The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. Geological Society, London, Special Publications, 252, pp. 1–14.
- GyP Neuquén: https://www.gypnqn.com.ar/vaca_muerta.php
- *Diario Río Negro*. <https://www.rionegro.com.ar/energia/rio-negro-consolida-su-apuesta-al-shale-con-el-area-confluencia-hasta-donde-llega-vaca-muerta-en-rio-negro/?amp=1>
- Olmos, M., Mareto, H., Lasalle, D., Carbone, O., & Naidés, C. (2002). Los reservorios de la formación Quintuco. En *Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas de la Argentina*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG)
- Utgé, S., Domínguez, F., Fasola, M., Ponce, C., Bernhardt, C., & Sagasti, G. (2022). *Caracterización integral a escala de cuenca de la formación Vaca Muerta como reservorio no convencional*. En 11º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (CONEXPLO). Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG).
- Legarreta, L., y Villar, H. J. (2012). Las facies generadoras de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina. *Petrotecnia*, 53(4), 14-39



Lic. en Geología Manuel Szelagowski

Asesor Técnico



Lic. en Geología Matías Hirsch

Gte. de Nuevos Negocios