

# HÁBITAT DE HIDROCARBUROS Y SISTEMAS DE CARGA LOS MOLLES Y VACA MUERTA EN EL SECTOR CENTRAL DE LA CUENCA NEUQUINA. ARGENTINA

Carlos E. Cruz<sup>1</sup>, Andrés Boll<sup>2</sup>, Ricardo Gómez Omil<sup>3</sup>, Eduardo A. Martínez<sup>4</sup>, Carlos Arregui<sup>5</sup>, Carlos Gulisano<sup>6</sup>, Guillermo A. Laffitte<sup>7</sup> y Héctor J. Villar<sup>8</sup>

1: Pluspetrol ccruz@pluspetrol.com.ar; 2: Tecpetrol tecabo@tecpetrol.com; 3: Pluspetrol rgomez@pluspetrol.com.ar; 4: Pan American Energy emartinez@pan-energy.com; 5: Perez Companc carregui@pecom.com; 6: C.G. Consultora cgulisano@fibertel.com.ar; 7: Consultor willie@laffitte.com.ar; 8: FCEN-Dep. Cs. Geológicas, UBA-Conicet lqvillar@fibertel.com.ar

**Keywords:** Neuquén Basin, Los Molles, Vaca Muerta, charge systems, hydrocarbon migration.

**Abstract.** *Hydrocarbon habitat and Los Molles & Vaca Muerta charge systems in the central domain of the Neuquén Basin. Argentina.*

A great number of oil and gas fields of economic significance in the Neuquén Basin are lodged in a broad area located between the northern slope of the Huincul Dorsal and the Catriel Shelf. Hydrocarbons are accumulated in multiple reservoirs of wide stratigraphic distribution from Triassic to Mid-Cretaceous age, although main productions are concentrated in Tordillo–Sierras Blancas (Kimmeridgian) and Quintuco–Loma Montosa (Berriasian) reservoirs. The Tithonian Vaca Muerta marly shales have been considered the main or even unique hydrocarbon source rock of the area. However, recent deep exploration of Cuyo and Precuyo (Late Triassic–Mid Jurassic) reservoirs have led to the discovery of commercial hydrocarbons accumulations that highlighted the importance of this alternative Pliensbachian–Toarcian Los Molles charge system.

Thermal maturity data and modeling analysis has defined the oil and gas generation zones. Vaca Muerta is mostly in the oil window in the study area and has charged Quintuco – Loma Montosa and Tordillo–Sierras Blancas with conventional black oil. On the other hand, Los Molles is in the gas/condensate zone, excluding the north slope of the Dorsal area, where thermal maturities cover peak to late oil generation stages. In this location, the occurrence of Los Molles sourced oils has been proved. Very light condensates and dry gas accumulations reservoirized in deep structures are assigned to Los Molles generation. The occurrence of Tordillo–Sierras Blancas bearing gas and condensate where Vaca Muerta is in the early to mid maturity stages is explained through extensive migrations. However, contribution from Los Molles source should also be considered.

## INTRODUCCIÓN

La zona central de la Cuenca Neuquina abarca una vasta región que se extiende entre el flanco norte de la Dorsal de Huincul y la Plataforma de Catriel (Figura 1). Los límites oriental y occidental están representados, el primero por una línea submeridiana que se extiende aproximadamente desde la localidad de Allen en Río Negro hasta el yacimiento El Medanita en La Pampa y, el segundo, por una línea imaginaria de rumbo SSO–NNE que une el sector occidental del yacimiento Aguada Baguales en la Dorsal de Huincul con el yacimiento Señal Picada en la Plataforma de Catriel. Un gran número de yacimientos de petróleo y gas de importancia económica se ubican en esta porción de la Cuenca, con reservas finales recuperables del orden de 198,4 MMm<sup>3</sup> de petróleo (1,248 MMBO) y 490.000 MMm<sup>3</sup> de gas (17.3 TCFG), que representan el 36% del petróleo y 74% del gas del total de la Cuenca.

Varias publicaciones se han ocupado en los últimos años sobre los elementos y procesos de los sistemas petroleros de la Cuenca Neuquina (Villar *et al.*, 1993; Legarreta *et al.*, 1999; Cruz *et al.*, 1999; Veiga *et al.*, 2001 y numerosos trabajos referidos allí), donde se pueden consultar detalles sobre los mismos. De los cinco sistemas petroleros identificados en la cuenca, dos están probados en la zona de estudio. Este trabajo trata sobre la comparación de la eficiencia entre ambos sistemas, siendo los objetivos del mismo:

1. fundamentar la buena calidad de Los Molles como roca generadora de hidrocarburos;
2. comparar las principales características de los sistemas de carga de Vaca Muerta y Los Molles y,
3. destacar la importancia de la contribución del sistema petrolero de Los Molles en la acumulación de hidrocarburos.

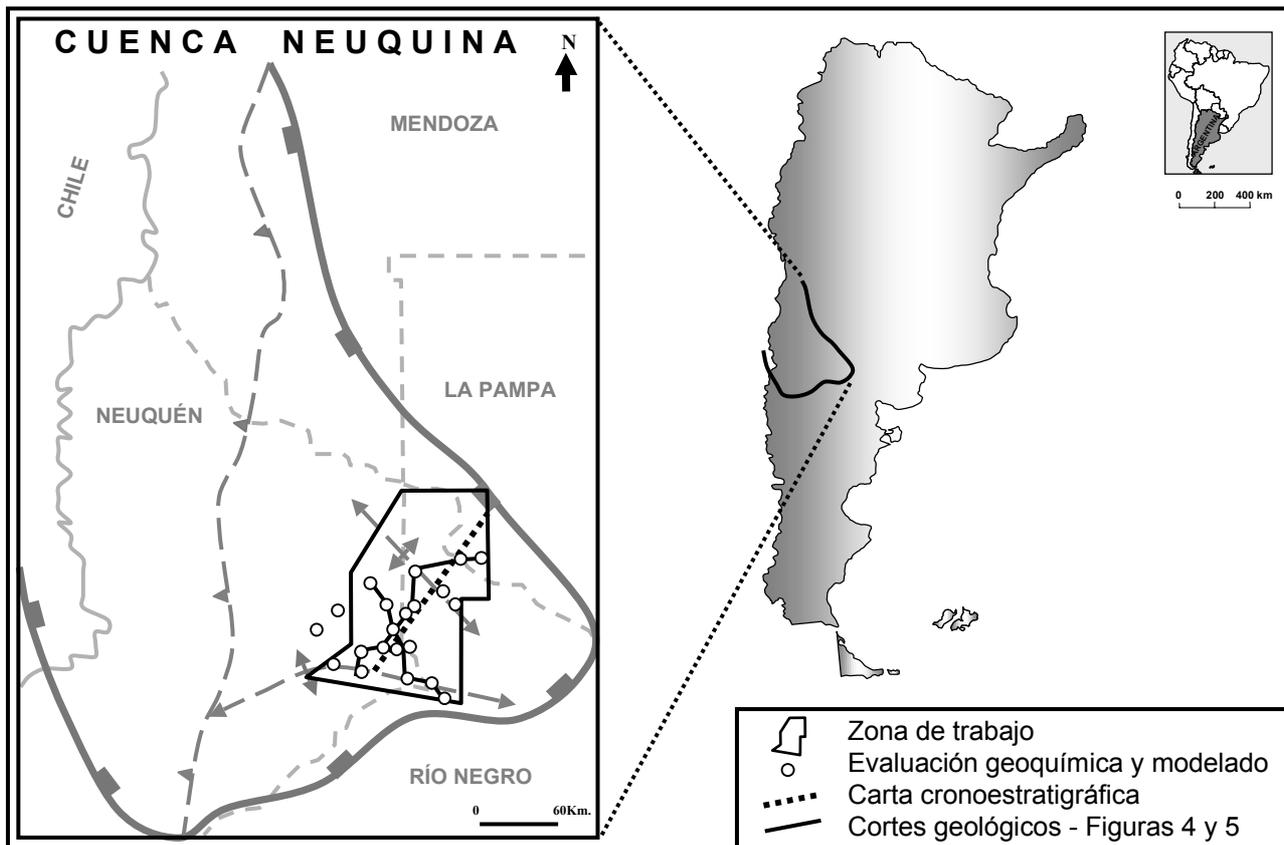


Figura 1. Plano de Ubicación

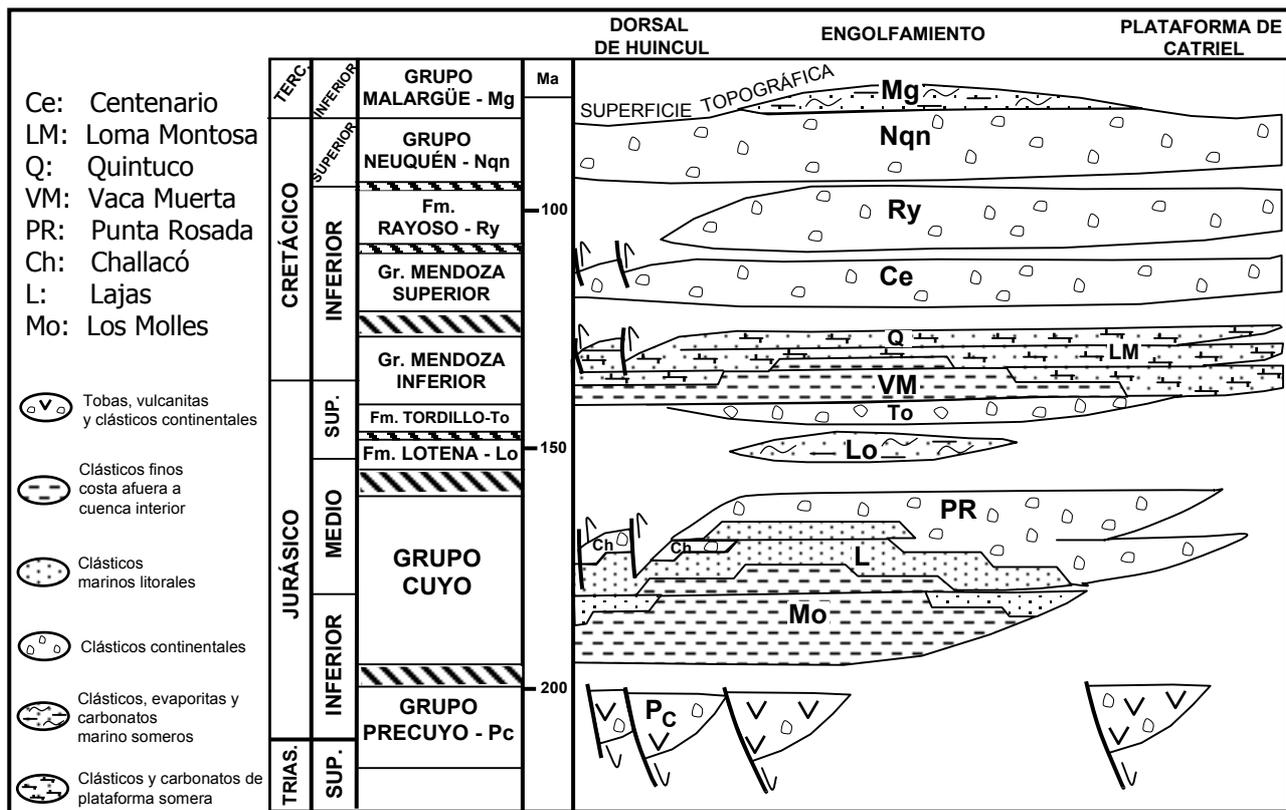


Figura 2. Carta Cronoestratigráfica

## GEOLOGÍA Y HÁBITAT DE HIDROCARBUROS

Tres ambientes geológicos con características distintivas se pueden identificar en la zona de trabajo: el flanco norte de la Dorsal de Huincul, la extensión oriental del Engolfamiento (Braccacini 1970) o Bajo de Añelo y la Plataforma de Catriel, separadas estas dos últimas por el eje estructural positivo El Caracol – Charco Bayo (Digregorio y Uliana 1979). El relleno sedimentario tiene características variables de acuerdo con la evolución tectosedimentaria de cada uno de los ambientes geológicos involucrados (Figura 2), pero a los efectos de la ubicación temporal y desarrollo de las distintas secuencias se han seguido las propuestas de Legarreta y Gulisano (1989), Gulisano y Gutiérrez Pleimling (1994) y Legarreta y Uliana (1996).

La **Dorsal de Huincul** es un importante elemento morfoestructural que se extiende por más de 200 km con orientación OSO – ENE. Su análisis estructural y evolución tectónica han sido profusamente estudiados y publicados (Orchuela y Ploszkiewicz 1984; Ploszkiewicz *et al.*, 1984; Uliana *et al.*, 1995). Ha sido interpretada como una falla de desplazamiento lateral de sentido dextrógiro, donde coexisten estructuras compresionales y extensionales en un mismo régimen rotacional, debido al cambio de rumbo de la falla principal. Las estructuras compresionales en algunos casos son hemigrábenes que han sufrido inversión tectónica donde el levantamiento está asociado con escaso acortamiento y el mayor relieve estructural es aproximadamente coincidente con el eje más importante del sistema de grábenes jurásicos. Las distintas discordancias registradas durante el Jurásico y Cretácico acentuaron la geometría de cuña del registro sedimentario. A medida que los hemigrábenes jurásicos se ubican más alejados del eje de la Dorsal, como es el caso de las estructuras de Lindero Atravesado y Río Neuquén, el proceso de inversión y el relieve estructural es menor. Las estructuras extensionales pueden corresponder a fallas antiguas que por su orientación y relación con el desplazamiento dextrógiro no han sufrido inversión o pueden ser fallas tensionales modernas como en el caso del yacimiento Centenario, subordinadas y con un ángulo de aproximadamente 30-40° con respecto a la falla compresiva principal. Este intenso fallamiento es característico del flanco norte de la Dorsal. La inversión tectónica ocurrida durante el Jurásico superior y principalmente Cretácico provoca una condensación de todas las unidades estratigráficas, ya sea por no depositación o por erosión, existiendo lugares en el área de trabajo como Cerro Challacó donde la F. Centenario sobreyace directamente a la sección basal de la F. Los Molles. Esta reducción de la columna sedimentaria en el flanco norte de la Dorsal (Figura 2) juega un rol importante en cuanto a la maduración térmica de las rocas generadoras y a la preservación de buenas condiciones petrofísicas en los reservorios. En esta zona los principales reservorios corresponden a areniscas deltaicas y marino someras de la F. Lajas, areniscas y areniscas conglomerádicas fluviales y litorales de la F. Lotena y clásticos fluviales de la F. Tordillo. También hay acumulaciones menores en depósitos clásticos y volcánicos del Gr. Precuyo y carbonáticos de la F. Quintuco.

La zona del **Engolfamiento** tiene geometría triangular con el vértice apuntando hacia el sudeste. Se encuentra limitado al noreste por el tren estructural El Caracol – Charco Bayo y al sur por el flanco norte de la Dorsal de Huincul, con la que presenta un límite transicional. La deformación en este ambiente geológico está representada mayormente por fallamiento distensivo con un leve componente de desplazamiento de rumbo en algunos casos. La cobertura conforma pliegues supratenuos y narices estructurales de escasos tamaño y relieve estructural sobre aquellas fallas. La edad de esa deformación es principalmente cretácica. En la zona de transición entre el Engolfamiento y el flanco norte de la Dorsal de Huincul existen estructuras como las de Lindero Atravesado y Río Neuquén que corresponden a hemigrábenes jurásicos que han sufrido inversión tectónica, aunque las fallas respectivas han tenido un desplazamiento menor comparativamente con las estructuras invertidas de la Dorsal. El registro sedimentario en este sector es completo y de espesor importante, ya que los procesos erosivos asociados con discordancias estratigráficas o tectónicas aquí no afectaron mayormente a la columna estratigráfica (Figura 2). Las secciones generadoras de hidrocarburos de las formaciones Los Molles y Vaca Muerta tienen los mayores espesores (Figura 3) en este ambiente y se caracterizan por presentar los ejes de sus depocentros no superpuestos (Figuras 2 y 3), ubicándose el mayor espesor de la F. Los Molles desplazado hacia el sur, más cercano al flanco norte de la Dorsal y con una geometría netamente asimétrica. La F. Vaca Muerta tiene una distribución más tabular y simétrica, característica de una depositación producida durante la etapa de subsidencia termal y que alcanza una mayor expansión respecto de la F. Los Molles (Figuras 4 y 5). Dos de los más importantes yacimientos de la zona de trabajo, a los que se puede agregar Loma La Lata, se ubican muy cerca del eje del Engolfamiento, levemente hacia el sur. Hacia el norte, entre el eje del Engolfamiento y el tren estructural El Caracol – Charco Bayo no existen, hasta el momento, acumulaciones de importancia.

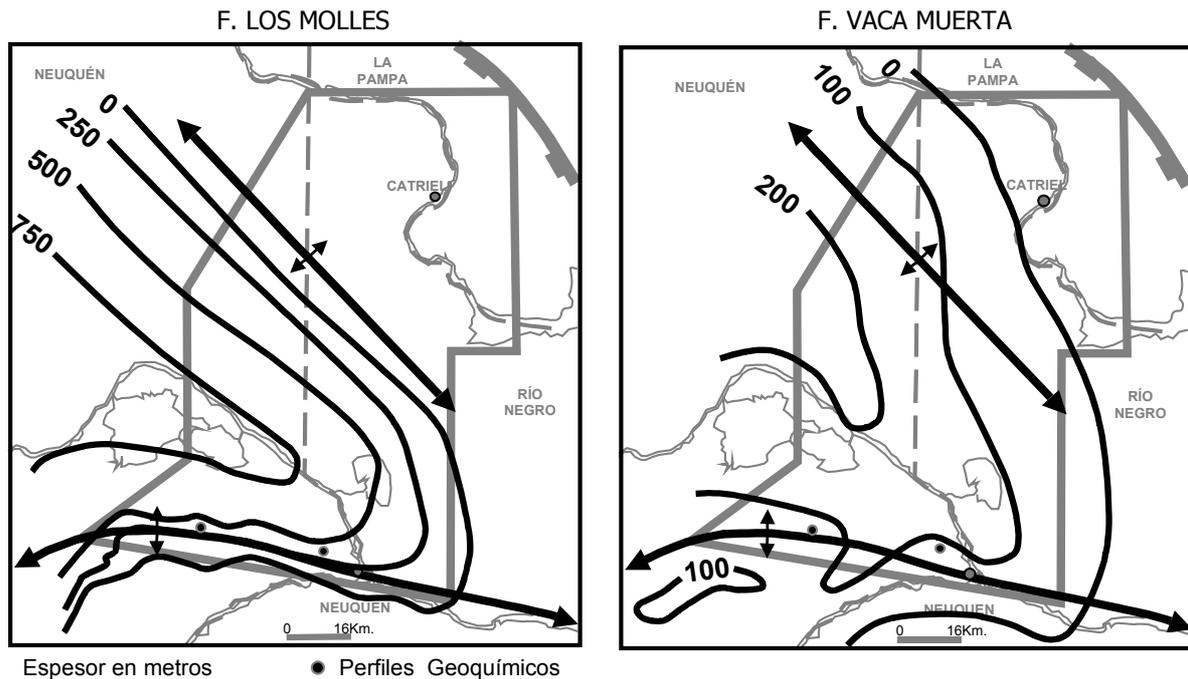


Figura 3. Mapas isopáquicos

Sobre las lutitas negras de la F. Los Molles, en un contexto de alta tasa de subsidencia e importante suministro clástico (Legarreta y Uliana 1996) se desarrollaron sistemas deltaicos de arreglo y composición variable que acumularon espesas secciones de areniscas asignables a la F. Lajas, sucedidas por capas rojas de origen fluvial que varían de canales entrelazados de alta carga tractiva a divagantes de planicie de inundación de las formaciones Punta Rosada y Challacó. Las areniscas de estos depósitos continentales y marino someros tienen una considerable participación de material volcánico en su composición (Rosenfeld 1978) y pierden sus condiciones de reservorio (porosidad menor a 10% y permeabilidad menor de 0.1 md) cuando han sufrido enterramiento por debajo de los 3000 metros de profundidad (Kugler 1987). Con posterioridad a la depositación del Grupo Cuyo y luego de un cambio paleogeográfico muy importante, el Grupo Lotena (Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1994) deposita en esta zona del Engolfamiento, una sucesión de 50 a 80 metros de espesor de areniscas y calcarenitas de ambiente marino litoral (Figura 2) como producto de inundación de aguas marino-normales (Legarreta y Uliana 1996) en una expansión rápida de la plataforma. Estos cuerpos arenosos tienen buenas condiciones de reservorio y son productivos de hidrocarburos en Lindero Atravesado y se extienden casi hasta Río Neuquén y Centenario. Hacia posiciones más internas de cuenca y cerca del eje del Engolfamiento en la zona de trabajo, como El Chañar y El Cruce, el Ciclo Loteniano ya registra depósitos de pelitas margosas y carbonatos intercalados con evaporitas con las que culmina durante el Oxfordiano este ciclo (Figuras 4 y 5).

La F. Tordillo y el Gr. Mendoza Inferior presentan dos de los reservorios más importantes de este sector de la Cuenca. La F. Tordillo, cuya sección arenosa también se denomina Sierras Blancas, está formada por areniscas eólicas finas y bien seleccionadas, que intercalan con bancos de origen fluvial y selección variable. Las condiciones petrofísicas son poco uniformes, desmejorando ocasionalmente en la facies eólica por razones diagenéticas y siendo excelentes en la facies fluvial proximal (Arregui 1993). Esta cuña arenosa, que es portadora de más del 30% de las reservas de hidrocarburos de la cuenca (Uliana y Legarreta 1993), tiene su mayor espesor en el eje del Engolfamiento (cercano a los 250 metros) y se adelgaza hacia los flancos, truncándose hacia la Dorsal controlada por eventos tectónicos sinsedimentarios (Uliana y Legarreta, *op. cit.*). El conjunto Quintuco – Loma Montosa (Berriasiano – Valanginiano) es el sistema deposicional carbonático productor de hidrocarburos más importante de la Cuenca Neuquina. Numerosos ambientes sedimentarios se yuxtaponen en el tiempo y el espacio, caracterizados por depósitos carbonáticos de cuenca y plataforma oolítica – bioclástica hasta *sabkha*, con procesos de dolomitización por aguas meteóricas (Carozzi *et al.*, 1993), que han brindado facies con excelente capacidad de reservorio como *grainstones* oolíticos,

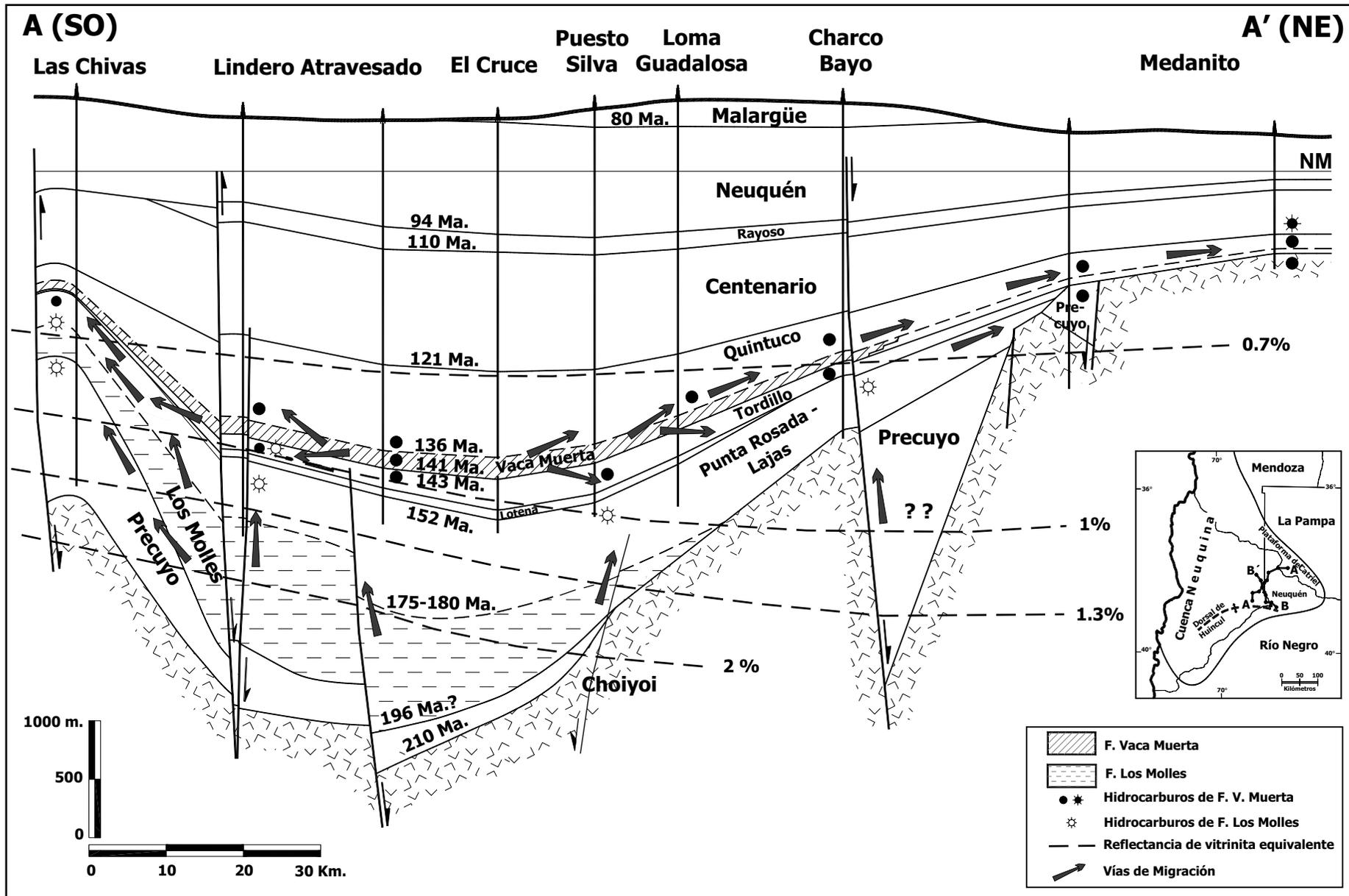


Figura 4. Corte geológico esquemático SO-NE con principales acumulaciones de hidrocarburos y zonas de madurez térmica generalizada.

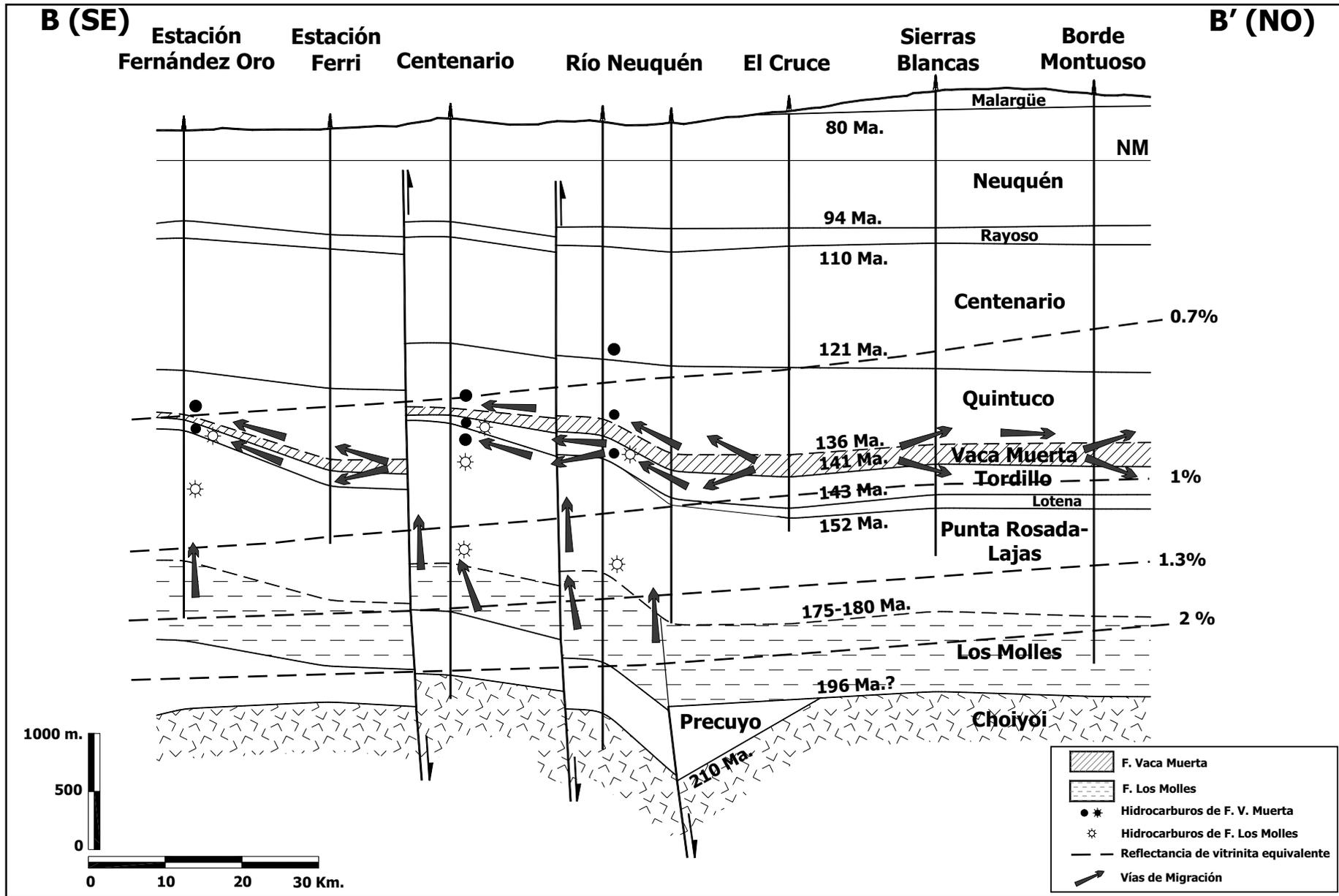


Figura 5. Corte geológico esquemático SE-NO con principales acumulaciones de hidrocarburos y zonas de madurez térmica generalizada.

*packstones* y *wackestones* dolomitizados con porosidad vugular, móldica e intercrystalina (Hurley *et al.*, 1995). Estos rápidos cambios laterales y verticales de facies, frecuentemente limitados por discordancias estratigráficas provocadas por variaciones del nivel del mar sobre una extensa y suave plataforma deposicional, favorecen el entrapamiento estratigráfico. En las facies carbonáticas menos permeables, la presencia de fracturación es importante para la producción de hidrocarburos. En este sector de la zona de estudio también es reservorio la sección basal de la F. Centenario. En Lindero Atravesado y Centenario dicha parasecuencia basal tiene una asociación de facies diferente al resto de la unidad, presentando un arreglo grano y estratocreciente que corresponde a un episodio transgresivo de edad valanginiana (Legarreta y Uliana 1991).

El eje estructural El Caracol – Charco Bayo se extiende por cerca de 100 km y separa el Engolfamiento de la Plataforma de Catriel (Figura 4). También denominado *Hinge Zone* (Hogg 1993) o *Hinge Line* (Urien y Zambrano 1994) ha sido interpretado como un sistema de falla distensivo regional profundo que participó en el proceso de apertura de la Cuenca (Arregui *et al.*, 1996). Ese conjunto de fallas tiene el plano principal con inclinación hacia el noreste y genera en la cobertura un pliegue sobre el bloque yacente de aproximadamente 100 metros de relieve estructural. La actividad de esta estructura regional se mantuvo durante el Jurásico y Cretácico y ejerció control en la estratigrafía y desarrollo de facies de la secuencia sedimentaria. El hemigraben originado como consecuencia de la actividad de la falla fue rellenado por depósitos asignables al Precuyo (Figuras 2 y 4). La F. Los Molles tiene su límite deposicional en el ascenso desde el eje del Engolfamiento hacia este eje estructural (Figuras 2 y 3). Los yacimientos ubicados sobre este tren positivo se pueden considerar dentro de la Plataforma de Catriel a los efectos del hábitat petrolero.

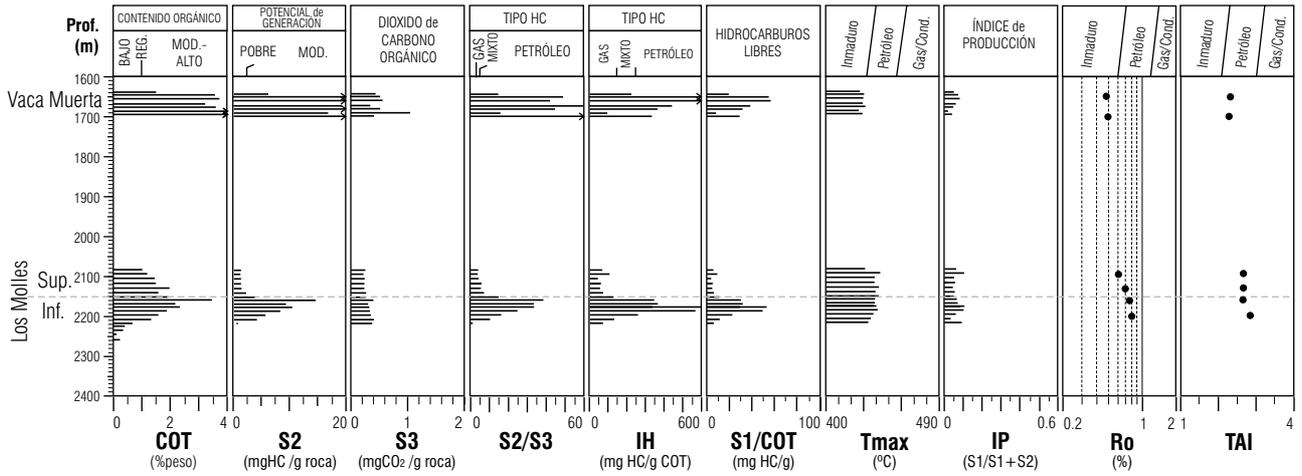
La **Plataforma de Catriel** es la extensión hacia el sudoeste del Bloque de San Rafael. La cubierta sedimentaria es delgada en general, cercana a los 2000 metros, disminuyendo hacia el noreste. La deformación tectónica se debe a movimiento diferencial de bloques del basamento por fallamiento distensivo, que generan en la cobertura pliegues supratenuos de escaso relieve estructural, suaves anticlinales tipo *rollover* y estructuras con cierre contra falla. Estas estructuras se mantuvieron activas durante buena parte de la historia de la Cuenca, por lo que ejercieron control en el registro sedimentario, tanto en cambios de espesor como de facies (Legarreta *et al.*, 1999). Estos marcados cambios sedimentarios junto a la preservación de las buenas condiciones petrofísicas de los reservorios, debido al escaso soterramiento, hacen que este sector sea favorable para el entrapamiento estratigráfico o combinado en las estructuras de escaso tamaño. En este sector las principales rocas reservorios se presentan en las formaciones Tordillo y Quintuco – Loma Montosa. La F. Tordillo mantiene las características descritas en el Engolfamiento, de acuerdo con el modelo paleoambiental propuesto por Arregui (1993). Los reservorios del sistema Quintuco – Loma Montosa se encuentran en diferentes facies depositadas en un ambiente clástico-carbonático de alta energía en conjuntos de parasecuencias progradantes de nivel de mar alto. Las facies con mejores características petrofísicas corresponden a los *grainstones* dolomíticos y *grainstones* conglomerádicos esqueletales, con valores del 18% de porosidad y 100 mD de permeabilidad (Carbone *et al.*, 2001). Otras rocas reservorio se encuentran en depósitos volcánicos del Gr. Choiyoi (Figura 4), clásticos tobáceos y vulcanitas del Precuyo (Marchese y Blocki 1981), las areniscas conglomerádicas de ambiente fluvial entrelazado y abanico aluvial distal de la F. Punta Rosada y las areniscas de canales fluviales de mediana y alta sinuosidad de la F. Centenario (Legarreta *et al.*, 1999).

## GEOQUÍMICA

Son numerosos los puntos de control en este trabajo donde se han realizado análisis geoquímicos de secciones generadoras e hidrocarburos y modelados geoquímicos (Figura 1). Entre los primeros se pueden mencionar Aguada Baguales, Las Chivas, Centenario, Estación Fernández Oro, Barreales Colorados, Cerro Moro, Lindero Atravesado, Río Neuquén, Charco Bayo, La Jarilla, Borde Montuoso, Aguada de los Indios, Loma Jarillosa Este, Agua Salada, El Medanita, El Chañar y Puesto Silva Oeste entre otros. Los modelados geoquímicos 1D se llevaron adelante utilizando el *software* Genex® utilizando información de Las Chivas, Centenario, Estación Fernández Oro, Río Neuquén, Lindero Atravesado, El Chañar, Loma Guadalosa, Entre Lomas, Borde Montuoso y Barreales Colorados.

Sobre las características geoquímicas de la F. Vaca Muerta, son abundantes los trabajos que las han documentado detalladamente en los últimos años (Uliana y Legarreta 1993; Villar *et al.*, 1993; Wavrek *et al.*, 1994; Villar y Talukdar 1994; Villar *et al.*, 1998; Legarreta *et al.*, 1999). En sentido general, son margas y lutitas marinas, de muy alto contenido orgánico, con querógeno predominantemente algal-amorfo y excelente capacidad de generación de hidrocarburos líquidos. Dentro de la zona de este trabajo, han sido

### a) Las Chivas



### b) Centenario

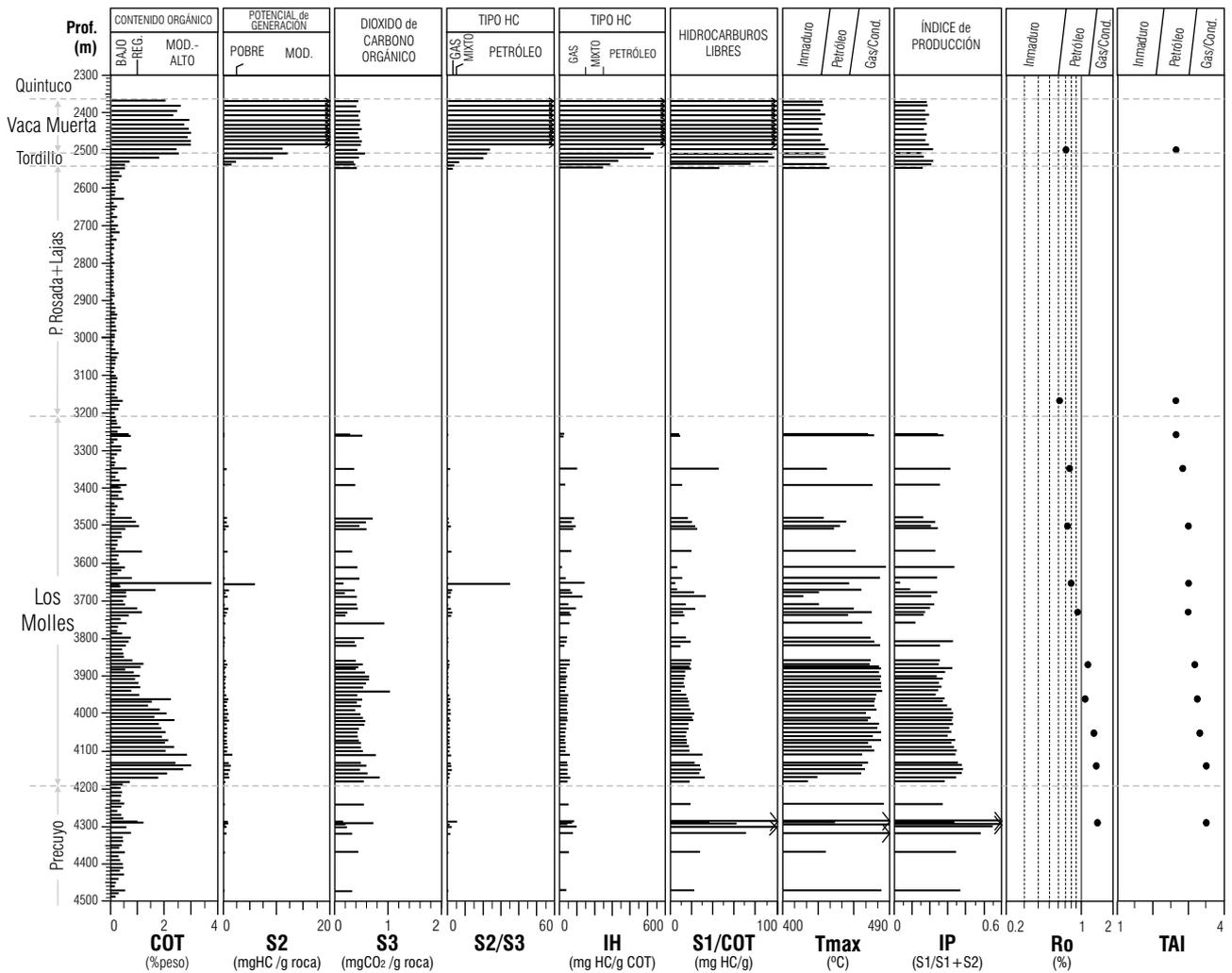


Figura 6. Perfiles geoquímicos representativos de: a) Las Chivas y b) Centenario.

propuestas dos facies generadoras de características distintivas (Wavrek *et al.*, 1996), una *facies distal* volumétricamente importante y propensa a generar gas por su madurez térmica, pero comparativamente menos eficiente en su sistema de carga (Wavrek *et al.*, 1997) que la *facies de plataforma abierta*, generadora principalmente de petróleo, volumétricamente de menor importancia pero con mayor eficiencia de carga. Otra facies orgánica de Vaca Muerta depositada en ambiente de *plataforma restringida* (Wavrek *et al.*, 1997; Uliana *et al.*, 1999), rica en azufre y característica del ambiente al sur de la Dorsal (Cruz *et al.*, 1999) no ha sido registrada dentro del área de estudio.

La información geoquímica colectada en el presente estudio indica que Vaca Muerta ha generado la mayor parte de los hidrocarburos del área. Su madurez térmica varía mayormente en rangos de Ro (reflectancia de vitrinita) entre 0.7 y 1.0%. (Figuras 4 y 5), siendo menor a 0.7%Ro en lugares como el flanco norte de la Dorsal (Figura 6) debido al levantamiento acaecido en el Cretácico superior o a escaso soterramiento como en el eje El Caracol – Charco Bayo. En la zona de Estación Fernández Oro la unidad se encuentra levemente dentro de la ventana de generación de petróleo (Cruz *et al.*, 1999), mientras que en el sector occidental de la zona de trabajo sobre el eje del Engolfamiento (Sierras Blancas – Borde Montuoso) la base de Vaca Muerta se ubica entrando en la etapa de generación póstuma de petróleo (Figura 5). Más al oeste y sudoeste de esta zona (Sauzal Bonito – Fortín de Piedra), la madurez térmica de esta sección generadora es mayor (Villar *et al.*, 1993; Veiga *et al.*, 2001), habiendo ingresado en la ventana de generación de gases ricos.

El estado del conocimiento de la F. Los Molles estaba hasta hace poco tiempo lejos de la cantidad, calidad y complejidad de los estudios geoquímicos desarrollados sobre el sistema Vaca Muerta, pero en el último lustro, y principalmente en la zona de Dorsal, se ha intensificado su investigación y análisis como consecuencia del descubrimiento de acumulaciones comerciales de hidrocarburos que se probaron generados en estos niveles. Las secciones fuente de esta unidad están representadas por arcilitas negras y lutitas ricas en materia orgánica, con valores de COT que varían alrededor de 1 a 4%, querógeno mixto tipo II a II/III, representando mezclas de componentes terrestres estructurados y material amorfo (Uliana *et al.*, 1999; Cruz *et al.*, 1999) con potencial regular a bueno para la generación de gas y petróleo. Hacia zonas más profundas de la cuenca el contenido orgánico presenta picos de hasta el 6% de COT (Fernández Seveso *et al.*, 1996) y menor participación terrígena. Dos secciones se han diferenciado dentro de la F. Los Molles, una Sección Inferior de edad Pliensbaquiano – Toarciano y otra Superior de edad Toarciano – Aaleniano, que tienen facies orgánicas distintivas (Figura 6a). Estas dos secciones pueden estar separadas (Cruz *et al.*, 1999) por una sección arenosa denominada Mb. Cutralcó o bien por una paraconcordancia como en el caso de los pozos Las Chivas (LCh.xp-1001) y Aguada Baguales (AB-1030), en el flanco norte de la Dorsal, donde microfósiles calcáreos indican las edades mencionadas para estas dos secciones. La Sección Inferior tiene fuerte contribución de materia orgánica amorfa y, si bien el aporte terrestre es significativo, se puede considerar como una sección generadora diferente no sólo por su edad (Cruz *et al.*, 1999) sino también por el aumento de su potencial oleogenético. Las diferencias entre las dos secuencias fueron interpretadas por Vela (1997) y Vela y Wavrek (1997) como depósitos de dos ambientes sedimentarios distintos sin considerar edad o la correspondiente posición estratigráfica.

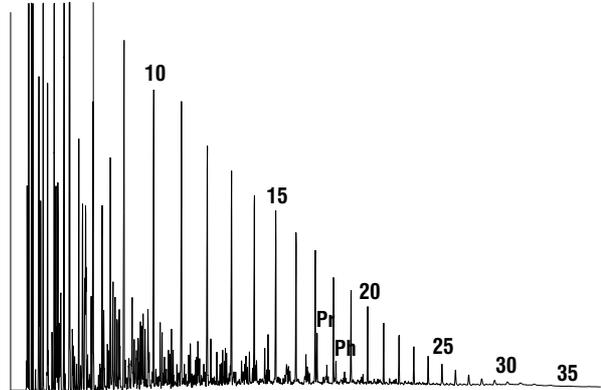
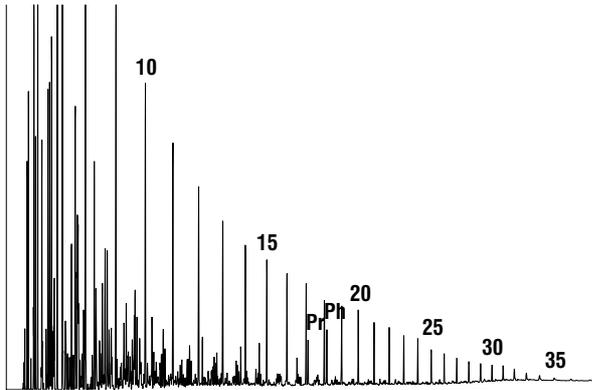
La madurez térmica de Los Molles es variable, no sólo por el importante espesor que ubica su tope y base en distintas zonas de generación sino también por los distintos ambientes geológicos involucrados en la extensa área de estudio. En la parte más alta del flanco norte de la Dorsal, su espesor es reducido y se encuentra apenas ingresando en la ventana de generación de petróleo (Figuras 4 y 6a), constituyendo la posición de menor madurez térmica. En el flanco norte de la Dorsal, la unidad aumenta rápidamente su madurez, llegando la base de Los Molles a superar 2%Ro (Figura 4) en la zona de transición entre el Engolfamiento y la Dorsal (Lindero Atravesado). Hacia la Plataforma de Catriel en su extremo deposicional (Loma Guadalosa) el tope de Los Molles se encuentra levemente por encima de 1%Ro. En el eje del depocentro en el Engolfamiento, el tope de Los Molles tiene una madurez prácticamente superior a 2%Ro (Figura 5). En la zona de las estructuras de Lindero Atravesado y Río Neuquén, Los Molles está en fase de generación de gas. Hacia el sector oriental de ese eje, como Estación Fernández Oro, el tope de Los Molles se ubica próximo al pico de generación de petróleo (Cruz *et al.*, 1999) mientras que la base supera 1.3%Ro, lo que indica ventana de generación de gas.

La existencia de hidrocarburos en la zona de trabajo comprende un porcentaje importante de las reservas totales de la Cuenca y abarca reservorios desde el Gr. Choiyoi hasta los términos basales de las areniscas cretácicas de la F. Centenario. En general existen tres grandes grupos de hidrocarburos en esta zona: petróleos “negros” intermedios a livianos que habrían sido generados por la *facies de plataforma abierta* de Vaca Muerta (Wavrek *et al.*, 1996), petróleos livianos y condensados asociados con gas que habrían sido

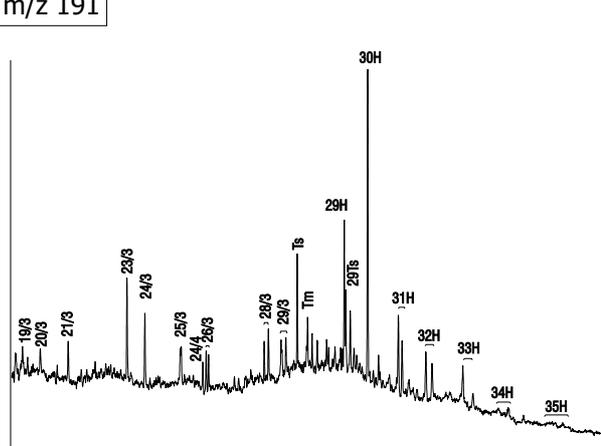
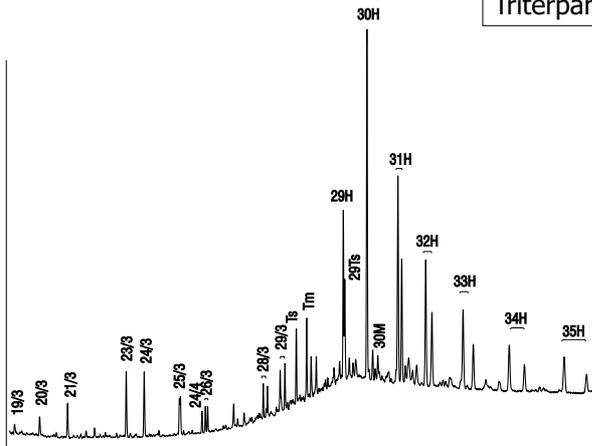
Petróleo de Vaca Muerta  
Reservorio Sierras Blancas

Petróleo de Los Molles  
Reservorio Lajas

GC petróleo entero



Triterpanos m/z 191



Esteranos m/z 217

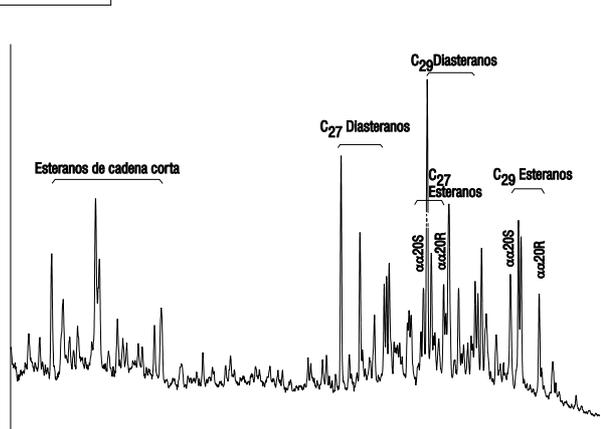
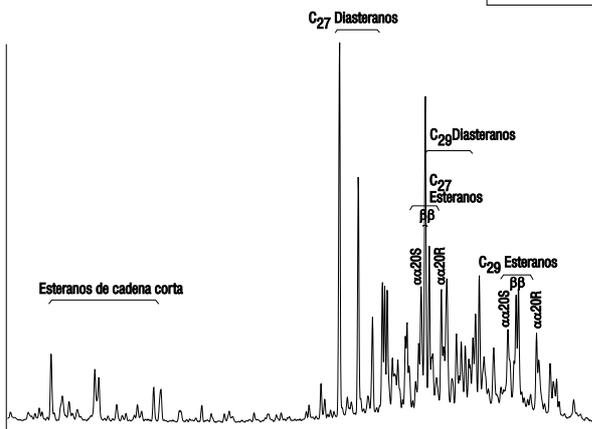


Figura 7. Cromatogramas en fase gaseosa de petróleo entero y fragmentogramas de masa m/z 191 (triterpanos) y m/z 217 (esteranos) característicos de los petróleos genéticamente vinculados con Vaca Muerta y Los Molles.

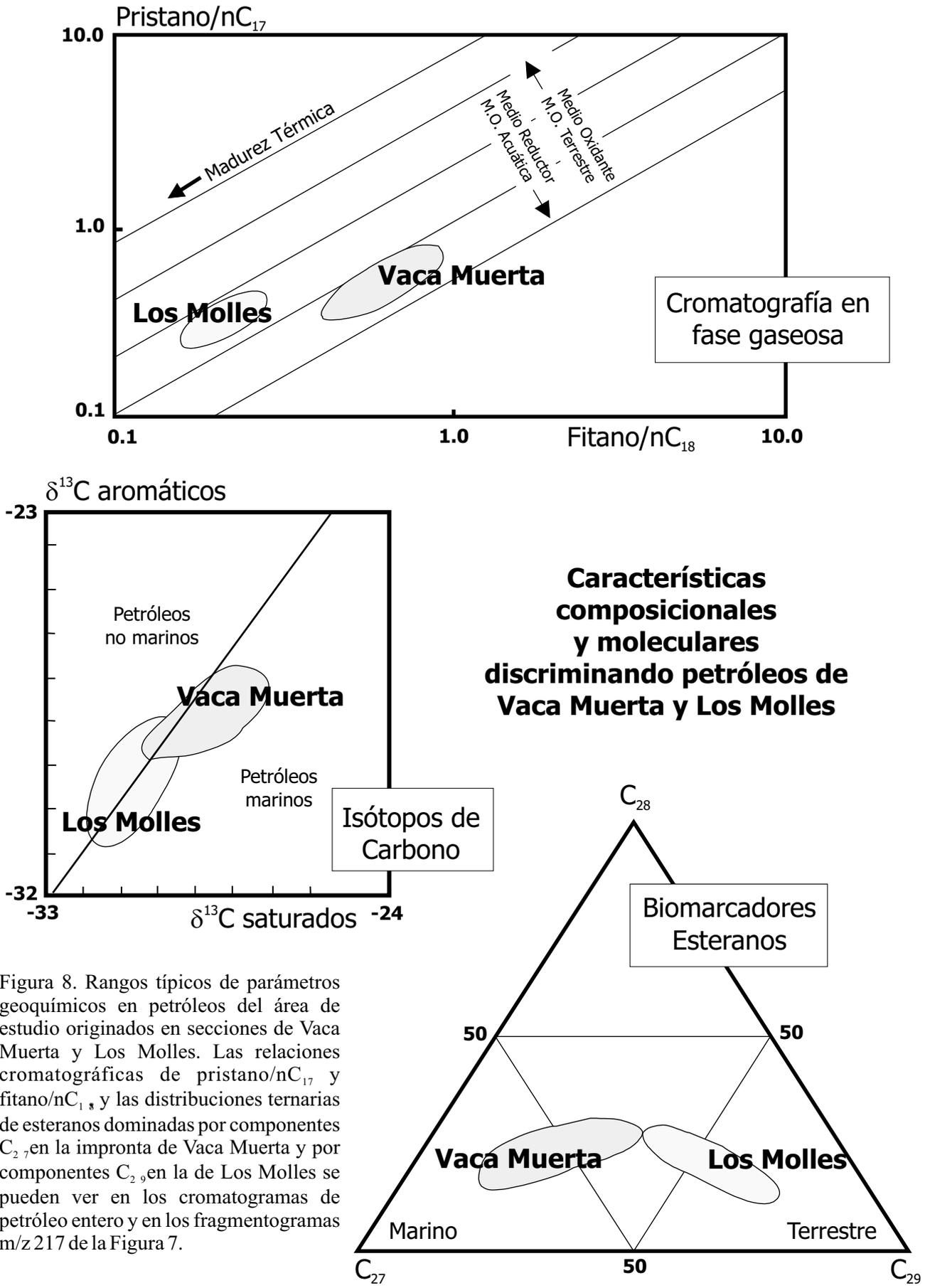


Figura 8. Rangos típicos de parámetros geoquímicos en petróleos del área de estudio originados en secciones de Vaca Muerta y Los Molles. Las relaciones cromatográficas de pristano/nC<sub>17</sub> y fitano/nC<sub>18</sub>, y las distribuciones ternarias de esteranos dominadas por componentes C<sub>27</sub> en la impronta de Vaca Muerta y por componentes C<sub>29</sub> en la de Los Molles se pueden ver en los cromatogramas de petróleo entero y en los fragmentogramas m/z 217 de la Figura 7.

generados por la *facies distal* de centro de cuenca de Vaca Muerta (Wavrek *et al.*, *op. cit.*) y petróleos livianos, condensados y gas generados en Los Molles.

Los petróleos “negros” de buena correlación con las variantes típicas de lutitas negras de Vaca Muerta en esta parte de la cuenca, corresponden a los del tipo “plataforma nororiental” (Villar *et al.*, 1998; Legarreta *et al.*, 1999). En la zona del Engolfamiento y la Plataforma de Catriel se encuentran alojados principalmente en reservorios de las formaciones Quintuco – Loma Montosa y Centenario como así también en Tordillo – Sierras Blancas de Puesto Silva y Entre Lomas. Petróleos de estas características también se pueden encontrar en reservorios de Cuyo, Precuyo y Choiyoi en Catriel y Medanito. En este último yacimiento en la provincia de La Pampa, el gas producido de reservorios de Centenario ha sido originado en Vaca Muerta de acuerdo con sus características isotópicas y los valores de reflectancia de vitrinita equivalente (0.95%Ro). En el flanco norte de la Dorsal este petróleo característico de Vaca Muerta se encuentra alojado principalmente en reservorios de Lajas, Lotena y Tordillo, en trampas estratigráficas que deben su origen a las discordancias Intracaloviana e Intrakimmeridgiana (Legarreta y Gulisano 1989).

Los petróleos livianos y condensados asociados con gas son los petróleos del tipo “engolfamiento” (Legarreta *et al.*, 1999) que también han sido generados por Vaca Muerta en facies más lutíticas y cuencales. Su madurez térmica es comparativamente mayor que aquella de los petróleos negros generados por la facies de plataforma abierta. Estos hidrocarburos se ubican casi exclusivamente en reservorios de Tordillo – Sierras Blancas y Lotena en yacimientos de la zona de transición entre el Engolfamiento y el Flanco Norte de la Dorsal, como Lindero Atravesado, Río Neuquén, Centenario y Estación Fernández Oro. Si bien la correlación petróleo-roca madre indica vinculación genética con Vaca Muerta, su madurez térmica excede moderada a marcadamente la que presenta la roca madre en este sector de la Cuenca. Los gases recuperados de reservorios de Tordillo – Sierras Blancas y Lotena en la zona del Engolfamiento están asociados con condensados, generados en etapa tardía de la ventana de petróleo a una reflectancia de vitrinita equivalente de 1.1 – 1.2% Ro y parecen haber recibido una contribución de metano termogénico más maduro.

Los petróleos livianos y condensados generados en Los Molles (rango API: 37°-61.5°) han sido colectados en reservorios de Lajas y Punta Rosada en Centenario, Estación Fernández Oro, Río Neuquén y Aguada de Indios y en una delgada sección arenosa basal de Los Molles en Las Chivas y Punta Senillosa. Son fluidos maduros, con alto contenido parafínico, generados por una materia orgánica mixta, acumulada en ambiente marino anóxico a subóxico, con importante influencia terrestre y madurez térmica en el rango de 0.9% a 1.2% Ro. Sus características composicionales y moleculares (Figuras 7 y 8) se diferencian en general del patrón Vaca Muerta del área, mostrando buena correlación general con extractos de rocas generadoras de Los Molles (Cruz *et al.*, 1999). Los gases interpretados como originados en Los Molles están alojados principalmente en Precuyo, Punta Rosada y Lajas en Las Chivas, Centenario, Lindero Atravesado, Puesto Silva, Entre Lomas, Río Neuquén y Estación Fernández Oro (Figuras 4 y 5). Son gases termogénicos, secos a moderadamente húmedos, térmicamente maduros generados a aproximadamente 1.2 a 1.5% Ro, es decir, en fase tardía de petróleo a post-maduración incipiente.

## MADURACIÓN Y MIGRACIÓN

En el análisis de soterramiento, maduración y generación se han modelado diez localidades, utilizando la información obtenida en el mapeo de madurez de las rocas madres. Tres de ellas se exponen en mayor detalle, describiendo una traza de sentido SO – NE que se extiende desde el flanco norte de la Dorsal en Las Chivas, pasando por el Engolfamiento (Lindero Atravesado – El Chañar) hasta Loma Guadalosa en la trepada estructural hacia la Plataforma de Catriel (Figura 9).

El mayor desarrollo de la columna estratigráfica en el Engolfamiento (Figura 9) provoca que Los Molles entre en ventana de petróleo (0.7% Ro) durante el Cretácico Temprano (Hauteriviano – 130 ma). A partir de lo 94 ma (Cenomaniano) y durante la depositación de Grupo Neuquén, Los Molles ingresa en la zona de gas húmedo y condensado y desde el inicio del Terciario la sección basal habría iniciado el aporte de gas seco a los reservorios (este efecto estaría potenciado debido a que los niveles con mayor riqueza orgánica se ubican en la sección basal). Actualmente Los Molles se encuentra mayormente en zona de gas seco excepto el tercio superior que presenta una madurez correspondiente a la zona de gas húmedo y condensado. Asimismo, la sedimentación de Grupo Neuquén habría iniciado la generación en Vaca Muerta, la que presenta en la actualidad una madurez cercana al pico de generación de petróleo. Hacia el límite occidental del área de estudio (Bajo de Añelo – Loma La Lata), las edades de los diferentes eventos térmicos descriptos serían algo más antiguas (entre 5 a 10 ma). En este último sector de la Cuenca, Legarreta *et al* (1999) plantean que la generación de petróleo del Toarciano se extiende de los 168 a los 125 ma, comenzando luego la generación

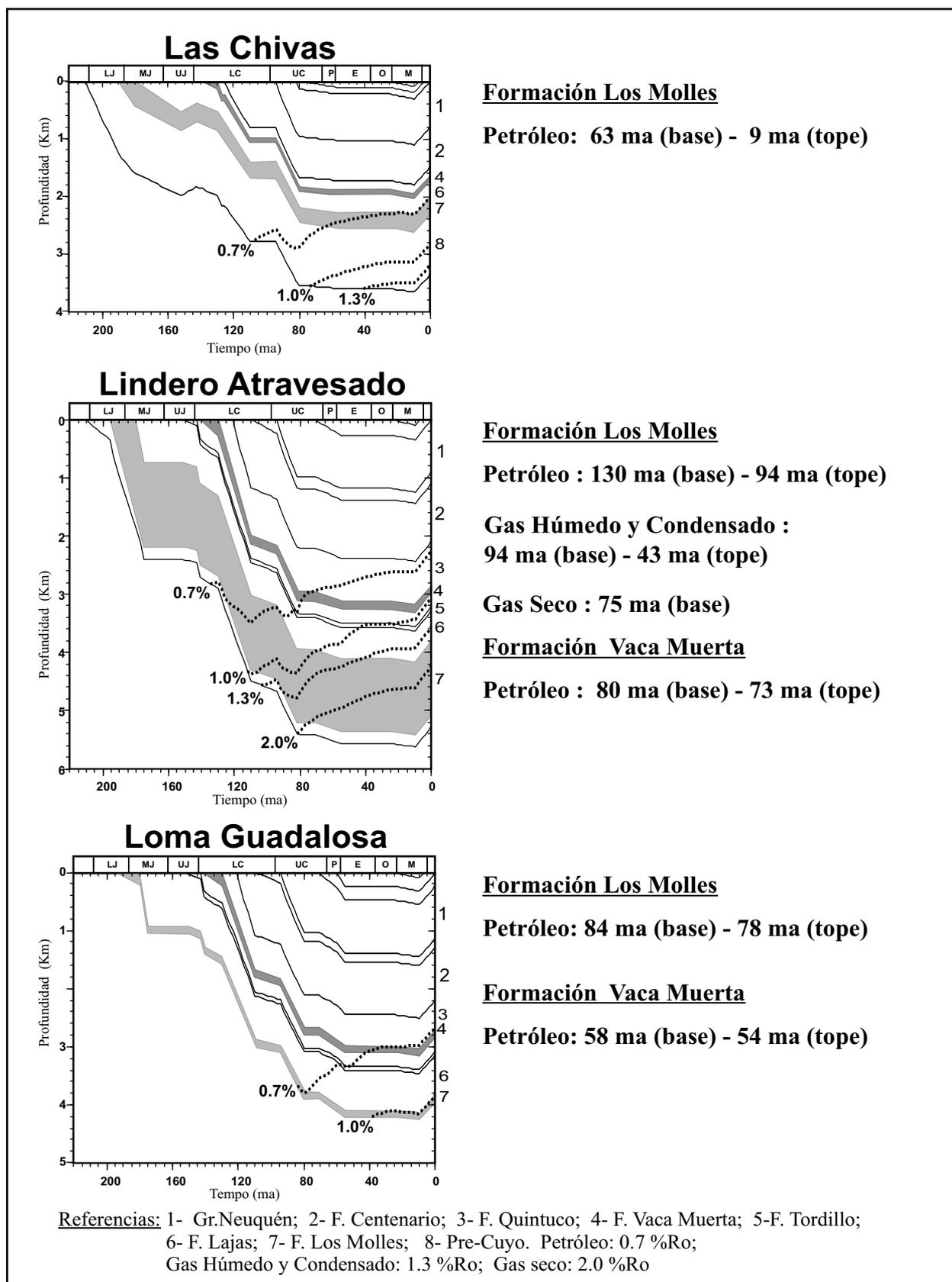
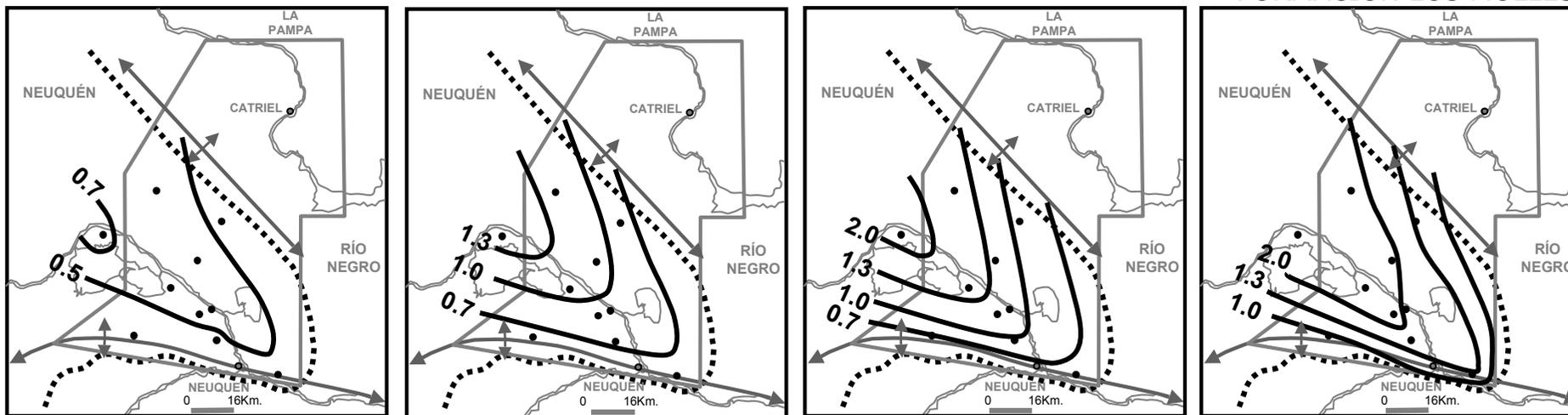


Figura 9. Ventanas de madurez y edad de generación de los hidrocarburos.



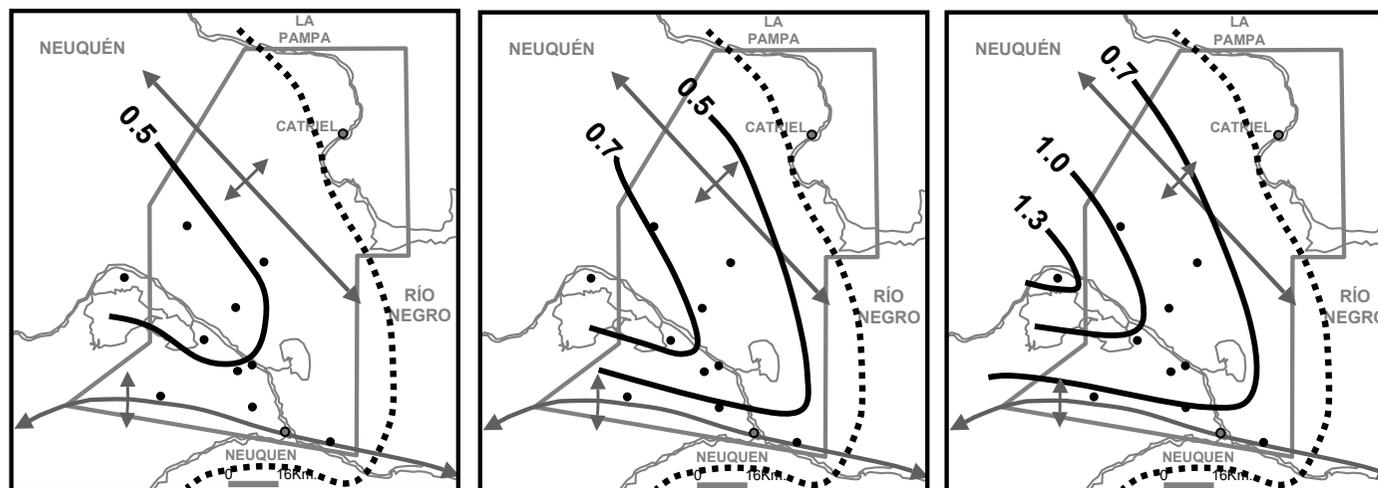
130 ma

94 ma

80 ma

0 ma

- ..... BORDE DEPOSICIONAL
- 1.0 MADUREZ % RVE
- LOCALIDADES MODELADAS



FORMACIÓN VACA MUERTA

Figura 10 - Mapas de ventanas de madurez térmica para la base de las formaciones Los Molles y Vaca Muerta.

de gas, mientras que Vaca Muerta inicia la generación de petróleo durante el Albiano (104 ma), coincidente con lo que se propone en este trabajo. Por su parte, Veiga *et al.* (2001) postulan algo similar para una zona situada al oeste de Loma La Lata, donde la sección toarciana de Los Molles generó principalmente gas desde los 150 a los 120 ma mientras que Vaca Muerta tuvo dos pulsos de generación de hidrocarburos líquidos entre los 115 y 90 ma y entre los 80 y 74 ma.

En el sector de Las Chivas en el flanco norte de la Dorsal, Los Molles habría ingresado en la ventana de petróleo durante el Terciario Temprano, alcanzando al presente una madurez correspondiente a los primeros estadios de generación de petróleo, mientras que Vaca Muerta se encuentra inmadura (Figura 9).

En el caso de Loma Guadalosa, Los Molles entra en la ventana de petróleo durante el Cretácico Tardío, luego de la depositación del Grupo Neuquén. Al presente, este intervalo Pliensbachiano – Toarciano se encuentra próximo al pico de generación de petróleo. Por su parte, Vaca Muerta entra en ventana de petróleo a principios del Terciario y actualmente presenta una madurez correspondiente a los primeros estadios de generación de petróleo.

A modo de síntesis se puede considerar que la subsidencia asociada con el Grupo Neuquén y, en menor medida, con el Grupo Malargüe, habría disparado la generación de petróleo en Los Molles en aquellas columnas más someras, como Las Chivas y Loma Guadalosa e hidrocarburos gaseosos en el Engolfamiento (Lindero Atravesado). Asimismo, dicho intervalo del Cretácico Tardío habría sido determinante para la maduración de Vaca Muerta en la zona del Engolfamiento.

Los mapas de zonas de madurez de las rocas generadoras fueron elaborados a partir de los modelados de las diez localidades mencionadas. En la Figura 10 se presentan los resultados para la base de Vaca Muerta y Los Molles a 130 ma, 94 ma, 80 ma y actualidad.

El proceso de sedimentación del Grupo Neuquén y su subsidencia asociada jugaron un rol muy importante en la generación de petróleo y gas. A los 94 ma Vaca Muerta permanecía todavía inmaduro, entrando en ventana de generación de petróleo a los 80 ma en el sector occidental de la zona de estudio. Actualmente se encuentra en ventana de petróleo en el sector del Engolfamiento y en pico de generación de petróleo en la zona centro-oeste. En el flanco norte de la Dorsal y la Plataforma de Catriel, la unidad permanece inmadura. Respecto de Los Molles, se destaca que su espesor importante en la zona, excediendo 750 metros en el sector axial, implica diferencias de maduración que pueden ser muy significativas entre base y tope. Por otro lado es interesante notar que las curvas de isomadurez son subparalelas a las curvas isopáquicas en el flanco norte de la Dorsal, pero se intersectan de manera diagonal hacia la zona del eje El Caracol – Charco Bayo, lo que marca la diferente geometría de la cuenca para el Jurásico inferior y medio y para las secuencias suprayacentes. A los 130 ma la sección basal de Los Molles estaba muy cerca de ingresar en ventana de petróleo en el sector central, mientras que ya se encontraba generando hidrocarburos líquidos en todo el sector central de la zona estudiada a los 94 ma, con una pequeña zona al oeste entrando en generación de gas. En la actualidad, una buena porción se encuentra en ventana de gas seco y sólo una franja contra la Dorsal y en el noreste de la cubeta de Los Molles está en ventana de petróleo.

Los Molles, debido tanto a las características de su querógeno sesgado mayormente hacia la generación primaria de hidrocarburos livianos, cuanto a su madurez térmica avanzada en la zona, ha desarrollado una importante “cocina” de fluidos gaseosos, con la excepción de la Dorsal donde se encuentra en ventana de generación de petróleo (Figura 4). Los conductos de migración asociados con Los Molles (Lajas – Punta Rosada) presentan pobres condiciones petrofísicas, sobre todo cuando se encuentran a más de 3000 m de profundidad (Kugler 1987) por lo que no son favorables para movilizaciones laterales, aunque fueran a distancias medias (Figura 11). En estas condiciones, las acumulaciones de hidrocarburos gaseosos (principalmente en la zona de influencia de la Dorsal) se deberían a la migración vertical a través de fallas que conectan las cocinas con los reservorios, en zonas de actividad tectónica moderada a intensa (Figura 12). En algunas situaciones no se descarta migración lateral de corta distancia. En las zonas altas de la Dorsal, las condiciones petrofísicas de reservorios como Lajas y Lotena mejoran debido a un menor soterramiento, habilitando la factibilidad de migración lateral (Figuras 4 y 11). Se puede suponer la existencia de un déficit entre las reservas descubiertas y el potencial volumen de hidrocarburos generados por Los Molles. Ello se considera vinculado por un lado, con la pérdida por dispersión previa a la formación de trampas pero, por otro, con una exploración insuficiente.

La definición de las zonas de madurez indica que Vaca Muerta se encuentra principalmente en la ventana de generación media de petróleo (0.7 – 1.0% RVE) en toda la zona de estudio y ha cargado los reservorios de Quintuco – Loma Montosa y Tordillo – Sierras Blancas con petróleo negro del tipo “plataforma nororiental” y contribuciones variables, aunque en general menores, del tipo “engolfamiento”, tanto hacia la Plataforma

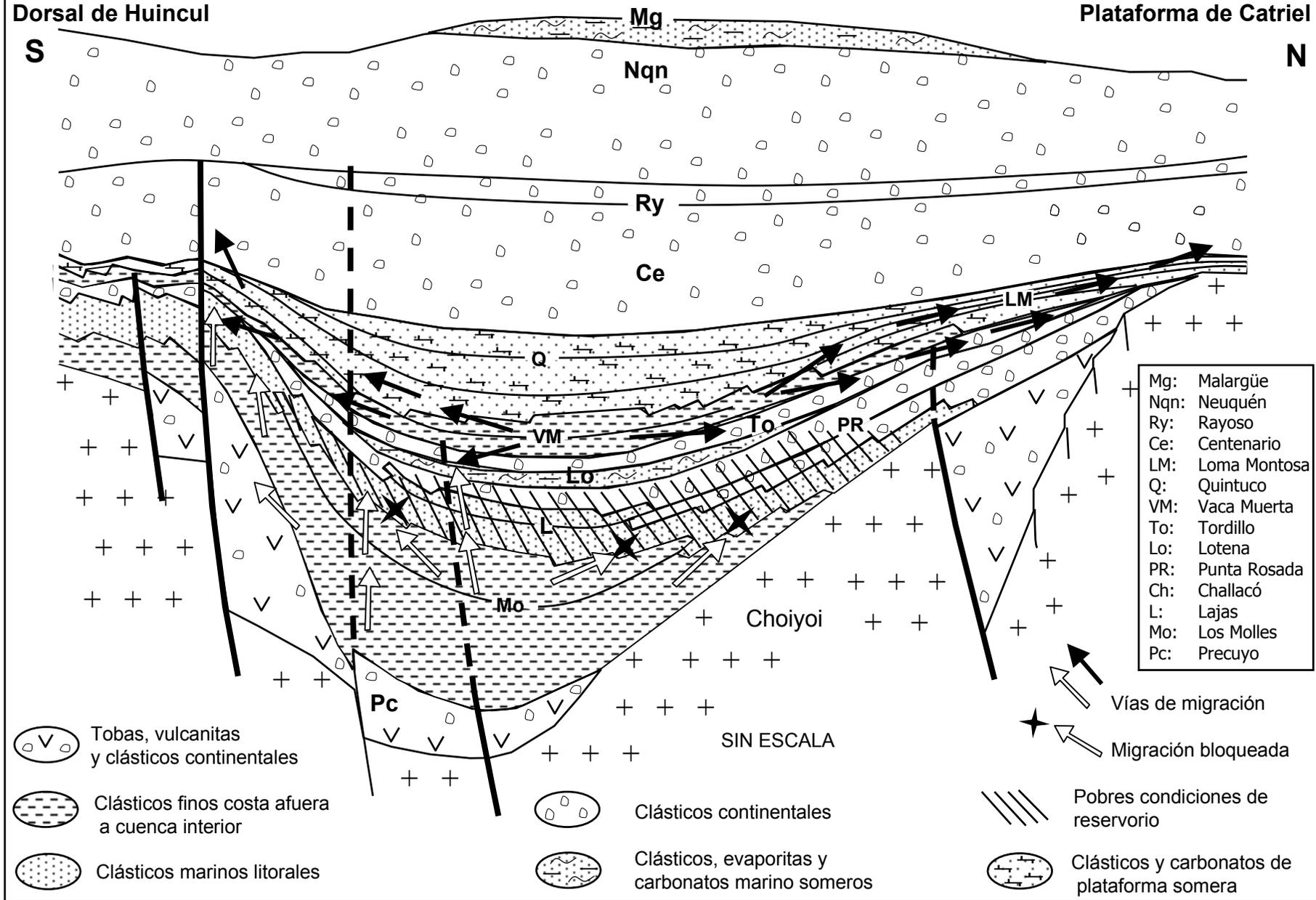


Figura 11. Modelo geológico y patrones de migración entre la Dorsal de Huincul y la Plataforma de Catriel.

de Catriel cuanto en el flanco norte de la Dorsal en los reservorios de Lajas, Lotena y Tordillo (Figuras 4 y 5). Esto es posible porque los conductos asociados con Vaca Muerta presentan buenas condiciones petrofísicas y permiten el transporte de los hidrocarburos líquidos hasta posiciones muy distantes de las zonas de generación, del orden de 70 km (Figura 12), almacenándose no sólo en los reservorios mencionados sino también en areniscas de la F. Centenario y volcánicos alterados del Gr. Choiyoi. Ello implica que el patrón lateral de migración tiene componentes tanto secuencia arriba cuanto secuencia abajo.

Por otro lado, los petróleos francos del tipo “engolfamiento” frecuentemente asociados con gas, si bien tienen aceptable correlación con Vaca Muerta, también denotan un *stress* térmico que excede la madurez de esa unidad en la zona. Este tipo de hidrocarburos líquidos se encuentra en yacimientos como Lindero Atravesado, Río Neuquén, Centenario y Estación Fernández Oro, para lo cual habría que aceptar la existencia de migraciones distantes desde “cocinas” al oeste de Loma La Lata (Veiga *et al.*, 2001) durante el Terciario, a través de conductos de buena calidad (Tordillo – Sierras Blancas), posteriores a la formación de trampas en la zona (Figura 5). Otro posible origen de este tipo de hidrocarburos sería un aporte significativo de hidrocarburos gaseosos generados en Los Molles migrados *vía* el sistema de fallas que aumenta su intensidad en el ámbito de influencia de la Dorsal (Figuras 4 y 11). Esta alternativa, que supone mezcla de fluidos con distinta identidad genética, se apoya también en el gran potencial volumétrico de generación de Los Molles, dado por su importante espesor y su probada calidad de roca madre.

## HECHOS Y CONCLUSIONES

Los Molles	Vaca Muerta
Roca madre generadora de gas y petróleo de buen potencial, con materia orgánica mixta, terrestre estructurada/amorfa y querógeno tipo II/III, depositada en ambiente marino, reductor a subóxico con aporte terrígeno variable.	Roca madre generadora de petróleo de excelente potencial, materia orgánica amorfa, querógeno tipo I/II, depositada en ambiente marino anóxico.
Tiene una potente sección, de distribución asimétrica, con su mayor espesor cercano a la Dorsal de Huincul, donde actuó un sistema de fallamiento relacionado con la etapa de <i>rift</i> , invertido durante el Jurásico – Cretácico.	Tiene un moderado espesor, con distribución tabular y simétrica.
Los conductos de migración asociados tienen pobres condiciones petrofísicas que desfavorecen las migraciones laterales. Los sistemas de fallas favorecen la migración vertical.	Los conductos de migración asociados tienen condiciones petrofísicas excelentes que favorecen migraciones laterales de larga distancia, hasta 70 km.
Mayormente se encuentra en la etapa de generación de gas y condensado (1.3 – 2.0% RVE). En el flanco norte de la Dorsal se encuentra en pico de generación de petróleo.	Se encuentra mayormente en la ventana de generación de petróleo (0.7 – 1.0% RVE).
La generación y expulsión de petróleo en posiciones profundas comenzó hace 130 ma aproximadamente.	La generación y expulsión de petróleo comenzó hace 80 ma aproximadamente.
Los hidrocarburos generados están entrampados, principalmente, en reservorios del Grupo Cuyo.	Los hidrocarburos generados están entrampados, principalmente, en reservorios de Quintuco – Loma Montosa y Tordillo – Sierras Blancas.
La existencia de gas y condensado en posiciones donde Vaca Muerta está moderadamente madura puede deberse a migraciones extensas de hidrocarburos de Vaca Muerta o contribución de hidrocarburos gaseosos generados en Los Molles.	

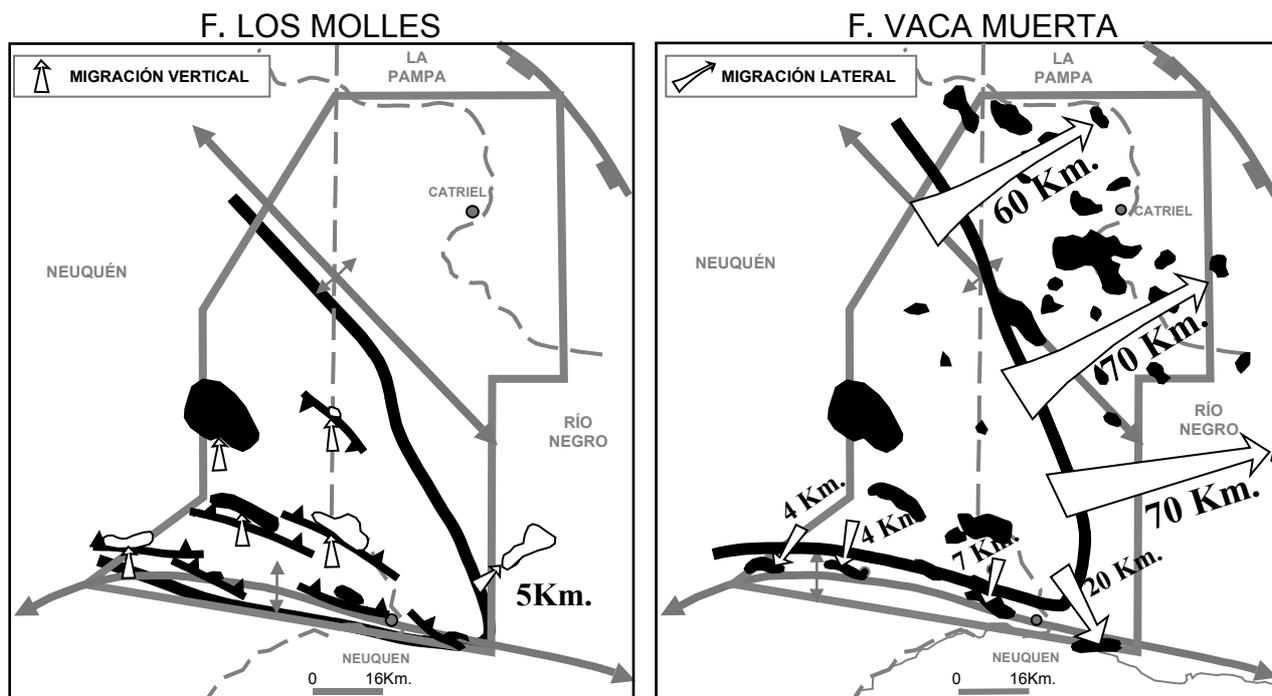


Figura 12. Área de generación, principales acumulaciones y distancias de migración.

**Agradecimientos.** A María Silvia Castro por su paciencia y dedicación. A las autoridades de Pluspetrol S.A., Tecpetrol S.A., Pan American Energy L.L.C. y Pecom Energía S.A. por permitir la publicación de este trabajo. A L. Cazau y G. Chebli por las sugerencias realizadas.

#### LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Arregui, C., 1993. *Análisis estratigráfico – paleoambiental de la Formación Tordillo en el subsuelo de la Cuenca Neuquina*. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso Exploración de Hidrocarburos, Actas I: 165-169. Mendoza.
- Arregui, C., S. Benotti y O. Carbone, 1996. *Sistemas petroleros asociados en los yacimientos Entre Lomas. Provincia del Neuquén*. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso Exploración de Hidrocarburos. Actas I: 287-306. Buenos Aires.
- Braccacini, C.I., 1970. *Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, Revista 25:275-284. Buenos Aires.
- Carbone, O., C. Arregui, y M. Longman, 2001. *Stratigraphic analysis of the Lower Member of the Quintuco Formation in Entre Lomas Field, Neuquén Basin, Argentina*. 2001 American Association of Petroleum Geologists Annual Meeting, Abstracts p. A32. Denver.
- Carozzi, A.V., I. Orchueta y M.L. Rodríguez Schelotto, 1993. *Depositional models of the Lower Cretaceous Quintuco – Loma Montosa Formation, Neuquén Basin, Argentina*. Journal of Petroleum Geology, Volume 16(4):421-450.
- Cruz, C.E., F. Robles, C. Sylwan y H.J. Villar, 1999. *Los sistemas petroleros jurásicos de la Dorsal de Huincul. Cuenca Neuquina, Argentina*. IV° Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I: 177-195. Mar del Plata.
- Digregorio, J.H. y M. Uliana, 1979. *Cuenca Neuquina*. En: Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 2:985-1032. Córdoba.

- Gulisano C. y A. Gutiérrez Pleimling, 1994. *The Jurassic of Neuquén Basin. a) Neuquén Province. Field Guide*. Secretaría de Minería de la Nación y Asociación Geológica Argentina, Serie E N° 2. Buenos Aires.
- Fernández Seveso, F., G. Laffitte y D. Figueroa, 1996. *Nuevos plays jurásicos en el Engolfamiento neuquino, Argentina*. XIII° Congreso Geológico Argentino y III° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Actas I: 281. Buenos Aires.
- Hogg, S.L., 1993. *Geology and hydrocarbon potential of the Neuquén Basin*. Journal of Petroleum Geology. Volume 16(4): 383-396.
- Hurley, N., H. Tanner y C. Barcat, 1995. *Unconformity – related porosity development in the Quintuco Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina*. En: Budd, Saller and Harris (Eds.) Unconformities and porosity in carbonate strata. American Association of Petroleum Geologists Memoir 63: 159-175. Tulsa.
- Kugler, R.L., 1987. *Regional petrologic variation. Jurassic and Cretaceous sandstone and shale. Neuquén Basin, west-central Argentina*. PhD Thesis, University of Texas at Austin. 524 p.
- Legarreta, L. y C. Gulisano, 1989. *Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior – Terciario Inferior)*. En Chebli y Spalletti (Eds.) Cuencas Sedimentarias Argentinas. Simposio X° Congreso Geológico Argentino: 221-243. Tucumán.
- Legarreta, L., G. Laffitte y S. Minniti, 1999. *Cuenca Neuquina: múltiples posibilidades en las series Jurásico – cretácicas del depocentro periandino*. IV° Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I: 145-175. Mar del Plata.
- Legarreta, L. y M. Uliana, 1991. *Jurassic – Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes*. En: McDonald D.I.M. (Ed.) Sedimentation, Tectonics and Eustasy. International Association of Sedimentologists Special Publication 12: 429-450.
- Legarreta, L. y M. Uliana, 1996. *La sucesión jurásica en el centro-oeste de Argentina. Arreglo estratigráfico, secuencias y evolución paleogeográfica*. Boletín de Informaciones Petroleras, 3ra. Epoca, Año XII (45): 66-78. Buenos Aires.
- Marchese, H. y R. Blocki, 1981. *Yacimiento de hidrocarburos no convencional en rocas volcánicas del Grupo Choiyoi y sus reservorios asociados (25 de Mayo – Medanito S.E.), La Pampa – Río Negro*. Asociación Geológica Argentina Revista, 34: 148-159. Buenos Aires.
- Orchuela, I. y J.V. Ploszkiewicz, 1984. *La Cuenca Neuquina*. En: V. A. Ramos (Ed.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro. IX Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 163-188. Bariloche.
- Ploszkiewicz, J.V., I. Orchuela, J.C. Vaillard y R. Viñes, 1984. *Compresión y desplazamiento lateral en la zona de Falla Huincul, estructuras asociadas, Provincia del Neuquén*. IX Congreso Geológico Argentino. Actas II: 163-169. Bariloche.
- Rosenfeld, U., 1978. *Litología y sedimentología de la Fm. Lajas (Jurásico Medio) en la parte austral de la Cuenca Neuquina, Argentina*. Acta Geológica Lilloana, 15:105-117. Tucumán.
- Uliana, M., M. Arteaga, L. Legarreta, J. Cerdán y G. Peroni, 1995. *Inversion structures and hydrocarbon occurrence in Argentina*. En: Buchanan y Buchanan (Eds.): Basin Inversion. Geologic Society Special Publication N° 88: 211-233. Londres.
- Uliana, M. y L. Legarreta, 1993. *Hydrocarbons habitat in a Triassic to Cretaceous Subandean setting: Neuquén Basin, Argentina*. Journal of Petroleum Geology, Vol. 16(4):397-420.
- Uliana, M., L. Legarreta, G. Laffitte y H.J. Villar, 1999. *Estratigrafía y geoquímica de las facies generadoras de hidrocarburos en las cuencas petrolíferas de Argentina*. IV° Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I: 1-61. Mar del Plata.
- Urien, C.M. y J.J. Zambrano, 1994. *Petroleum systems in the Neuquén Basin, Argentina*. En: L. Maggoon and W. Dow (Eds.) The Petroleum System – from source to trap. American Association of Petroleum Geologists Memoir 60: 513-534. Tulsa.
- Veiga, R., H. Verzi y H. Maretto, 2001. *Modelado bidimensional en el ámbito central de la Cuenca Neuquina (Argentina)*. Boletín de Informaciones Petroleras, Tercera Epoca, Año XVIII, (67): 50-63. Buenos Aires.
- Vela, M., 1997. *Los Molles – Lajas petroleum systems, Neuquén Basin, Argentina*. Unpublished Master of Science Thesis, University of South Carolina.

- Vela, M. y D. Wavrek, 1997. *High-resolution petroleum systems analysis: application to Los Molles – Lajas Megasequence of Neuquén Basin, Argentina*. American Association of Petroleum Geologists Annual Convention Abstracts, p.120. Dallas.
- Villar, H.J., C. Barcat, S. Talukdar y W. Dow, 1993. *Facies generadora de hidrocarburos, correlación petróleo – roca madre y sistema petrolero en el área sudoriental del Engolfamiento Neuquino*. XII° Congreso Geológico Argentino y II° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I:382-394. Mendoza.
- Villar, H.J. y S. Talukdar, 1994. *The Vaca Muerta – Sierras Blancas (!) petroleum system in the southeastern area of the Neuquén Embayment, Neuquén Basin, Argentina*. American Association of Petroleum Geologists, Hedberg Research Conference Geologic Aspects of Petroleum Systems, 1/6-6/6. México.
- Villar, H.J., G. Laffitte y L. Legarreta, 1998. *The source rocks of the Mesozoic Petroleum Systems of Argentina: a comparative overview on their geochemistry, paleoenvironments and hydrocarbon generation patterns*. American Association of Petroleum Geologists International Conference and Exhibition, Abstracts: 186-187. Río de Janeiro.
- Wavrek, D., M.E. Lara, R. Allen, R. Ressetar y G. Laffitte, 1994. *Neuquén Basin, Argentina. An integrated geochemical study*. Earth Sciences Research Institute – University of South Caroline – University of Utah. Informe inédito.
- Wavrek, D.A., M.E. Lara, G. Laffitte, S. Del Vó, J.W. Collister, J.C. Quick, R. Allen, D. Jarvie y H. Hollowell, 1996. *Petroleum systems charged by the Vaca Muerta (Tithonian) Formation: Neuquén Basin, Argentina*. American Association of Petroleum Geologists International Conference and Exhibition, Abstracts 57. Caracas.
- Wavrek, D., D. Curtiss, M.E. Lara, G. Laffitte y D. Jarvie, 1997. *High-resolution petroleum systems analysis: application to Kimmeridgian-Valanginian Megasequence of Neuquén Basin, Argentina*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin Vol. 81/8: p. 1419. Abstracts 1997 Intern. Conf. & Exhib. Viena, Austria.