

# **ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE ALTA FRECUENCIA DEL LÍMITE KIMMERIDGIANO-TITHONIANO EN EL SUBSUELO DE LA DORSAL DE HUÍNCUL, CUENCA NEUQUINA**

Martín F. Cevallos

Pioneer Natural Resources Argentina, Della Paolera 265, P.24, Bs. As., Argentina.

Actualmente: Petro Andina Ltd., Maipú 1210 4to. (1006), Bs.As., Argentina. martin.cevallos@petroandina.com

**Keywords:** Transgresión, Jurásico Superior, Vaca Muerta, Dorsal de Huíncul.

**Abstract:** High Frequency Stratigraphic Analysis of the Kimmeridgian-Tithonian in the “Dorsal de Huíncul”, Neuquina Basin.

The relationship between Neuquina Basin and the open ocean could be defined as “abrupt”, at least from the Upper Jurassic to Lower Cretaceous. During this period, the basin was totally desiccated and then flooded four times. The elevation of the volcanic arch’s seaways relative to sea level fluctuations was the key control. Contemporaneous examples happen in human time periods, resulting in almost no record of the transgression. So, a high frequency stratigraphic analysis is needed to understand them in fossil records. This paper is focused on the tithonian flooding in the “Dorsal de Huíncul” area, where it triggered the main source rock sedimentation and sealed the outcropped reservoirs.

The kimmeridgian aeolian sand seas that preceded the flooding are interpreted as mountain shadow ergs that were under expansion. Megadunes relief were preserved after transgression and only slight reworking was observed. First marine deposit registered is interpreted as a syn/post transgression lag that uniformly covered the studied area. The value of this unit as reservoir is none to minimum, but its better understanding allows to make proper correlations and interpretations. Overlying it, a continuous marine black shale is correlated close to the basin edge, showing a still stand period before marine facies started prograding in classical highstand system tracks. This tithonian flooding in Neuquina Basin is compared with the Black Sea marine transgression occurred 7,150 ybp (estimated in a lapse of 3 years).

## **INTRODUCCION**

El área del presente trabajo abarca la región central de la Dorsal de Huíncul y las regiones al Sur de la misma, desde Anticlinal Campamento al oeste hasta Bajo Baguales al Este, y desde Meseta Buena Esperanza al Norte hasta Co. Vagón al Sur. Temporalmente se focaliza al límite Kimmeridgiano-Tithoniano, donde se dan una serie de eventos claves para el sistema petrolero Vaca Muerta.

Se define una serie de superficies claves, que en la Dorsal de Huíncul se aproximan haciendo muy compleja su discriminación. Las superficies definidas permiten caracterizar e interpretar la génesis de las unidades que limitan.

La sucesión de facies y las geometrías de los cortejos sedimentarios permiten inferir una evolución estratigráfica particular, ocasionada por la inundación rápida de la cuenca. Se presentará una analogía con el caso de la ingresión marina al Mar Negro (7.150 años antes del presente), que registró un ascenso de nivel lacustre a marino de 120 m en un lapso de 3 años (Ryan y Pittman, 1998). En ambos casos el cortejo sedimentario transgresivo es donde se registran las mayores diferencias con los modelos clásicos (Vail, 1987), por lo que se presentará un modelo estratigráfico secuencial alternativo.

## **ANTECEDENTES**

El carácter anormal de los cortejos sedimentarios de la Fm. Vaca Muerta se visualizaron tempranamente (Groeber, 1918). Mutti *et al.* (1994) generan un modelo estratigráfico secuencial alternativo al clásico (Vail, 1987; Van Wagoner *et al.*, 1990) que describe el efecto del arco magmático occidental en la relación entre la cuenca y el mar abierto. En este modelo los depósitos de nivel bajo son exclusivamente continentales “*Total Lowstands*” y cubren abruptamente los depósitos marinos que suelen culminar con evaporitas. Las inundaciones marinas subsiguientes son tan rápidas que no generan migración de facies, y el mar alcanza sin transición las posiciones marginales de la cuenca, sin mostrar relaciones de traslape (*onlaps*) sobre los

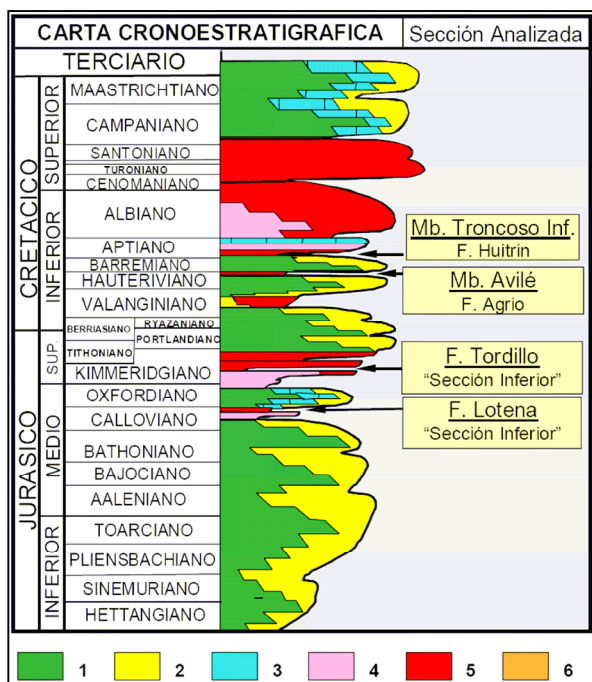


Figura 1: Carta cronoestratigráfica reproducida de Legarreta (2002) ubicando los eventos de desecación de la Cuenca Neuquina. (1) Cuenca interior a costa afuera. (2) Plataforma a litoral y no marino. (3) Carbonatos de Plataforma. (4) Evaporitas. (5) Fluvial y eólico. (6) Barreal.

depósitos de nivel bajo. Posteriormente, Legarreta (2001 y 2002) describe los 4 episodios de “*Total Lowstand*” en la cuenca, a los que llama eventos de desecación total, y sus posteriores inundaciones rápidas (Fig. 1). El autor desarrolla modelos de mayor detalle en eventos cretácicos y presenta mapas con la extensión areal de los cortejos sedimentarios de cada evento. En Boll y Valencio (1996) se presenta un análisis estratigráfico detallado del intervalo Kimmeridgiense-Tifoniano en la región oriental de la Dorsal de Huíncul (con foco en el área Los Bastos). En el citado trabajo se aplican conceptos de estratigrafía secuencial clásica (Vail 1987; Van Wagoner *et al.*, 1990) y se interpreta una arena transgresiva basal como base de F. Vaca Muerta.

### MARCO TECTÓNICO

Durante el Triásico Superior - Jurásico Inferior en la Dorsal de Huíncul se desarrollaron una serie de depocentros elongados en dirección OSO-ENE y E-O, con bordes “más activos” al Sur que corresponden al *rift* inicial de la cuenca (Uliana *et al.*, 1989; Vergani *et al.*, 1995; Gómez Omil *et al.*, 2002). Se pueden describir dos sistemas de fallas maestras. Uno de estos sistemas se habría alineado a los yacimientos Co. Bandera, Loma Negra, Guanaco Huíncul-Octógono. El otro se ubicaría

más al Sur, aflorando en Co. Granito y continuando en dirección E-O Divisadero-Barda Colorada Este, Ranquilco Norte, Puesto Touquet, presentando expresión superficial en casi toda su traza (falla del Divisadero). Este sistema generó el depocentro más espeso del Grupo Cuyo inferior (Gómez Omil *et al.*, 2002 y Veiga *et al.*, 2002). Ambos sistemas tienden a coalescer en la zona de Bajo Baguales y de ahí continúan paralelos y a veces amalgamados hacia el Este-Sureste donde se definen como fallas de Challacó y Huíncul (Mosquera, 2002). En esta etapa predominantemente distensiva se alternan eventos compresivos generando discordancias erosivas y rellenos sintectónicos dentro de los depocentros (Ploszkiewicz *et al.*, 1984; Vergani *et al.*, 1995; Cruz *et al.*, 2002; Gómez Omil *et al.*, 2002; Mosquera, 2002). Se interpreta esto como incipientes fases de inversión y/o efectos de una fase transtensiva regional que localmente produce fajas compresivas en zonas de acomodación.

En el Jurásico superior domina la compresión con empuje oblicuo – Transpresión –, la cual perdura hasta el Cretácico Superior. Estos episodios invierten los depocentros de los Grupos Precuyano y Cuyo, con desplazamientos horizontales dextrógiros y verticales de vergencia dominante al Sur y Sureste. Diversos aportes describen las evidencias de la deformación Jurásica-Cretácica en la región (Bettini, 1984; Zavala 1993; Vergani *et al.*, 1995; Zavala y Gonzalez, 2001; Freire *et al.*, 2002; entre otros). Si bien estos episodios de transpresión comenzaron en el Jurásico Inferior (Vergani *et al.*, 1995; Gómez Omil *et al.*, 2002; Mosquera, 2002), el climax se produce recién en el Kimmeridgiense. La Discordancia Intramálmica muestra en varias localidades niveles de erosión muy profundos, incluso llegando a obliterar por completo al Grupo Cuyo (Bajo Baguales, Dadín, Co. Granito, Fig. 2). El epicentro de los eventos Cretácicos subsiguientes, con picos de actividad en el Valanginiano y Cenomaniano se desplazó gradualmente hacia el sur. La Discordancia Intravalanginiana 126 Ma (Gulisano, 1983) tiene su mayor expresión en la zona de Bajo Baguales donde erosiona hasta términos basales del Gr. Cuyo Inferior y granitos Pre-jurásicos. Durante la transpresión cenomaniana se invierten principalmente los depocentros jurásicos más australes, formando una serie de estructuras anticlinales desde Co. Granito, Divisadero, Ranquilco Norte, Puesto Touquet. La Discordancia Intracenomaniana (94 Ma, Keidel 1925) sobre este tren de estructuras erosiona todo el Grupo Mendoza y el Grupo Cuyo Superior (Fig. 2). Ambos picos cretácicos de inversión co-existen con estructuras distensivas a lo largo de todo el flanco norte de la Dorsal, arreglos locales de tipo *pull-apart*, y mediciones de desplazamientos horizontales de 1 y hasta más de 2 km. La presencia coetánea de estas estructuras distensivas que flanquean la región invertida, no podría ser explicada con una compresión Norte-Sur, por ello

se habla de inversión transpresiva. La migración al sur de los episodios de inversión fueron la clave para que las estructuras y arreglos estratigráficos del Jurásico y Cretácico Inferior se preservaran en la extensa zona de acumulaciones de hidrocarburo en reservorios “pre-tithonianos” adosados al flanco norte del “eje jurásico” de la Dorsal de Huíncul.

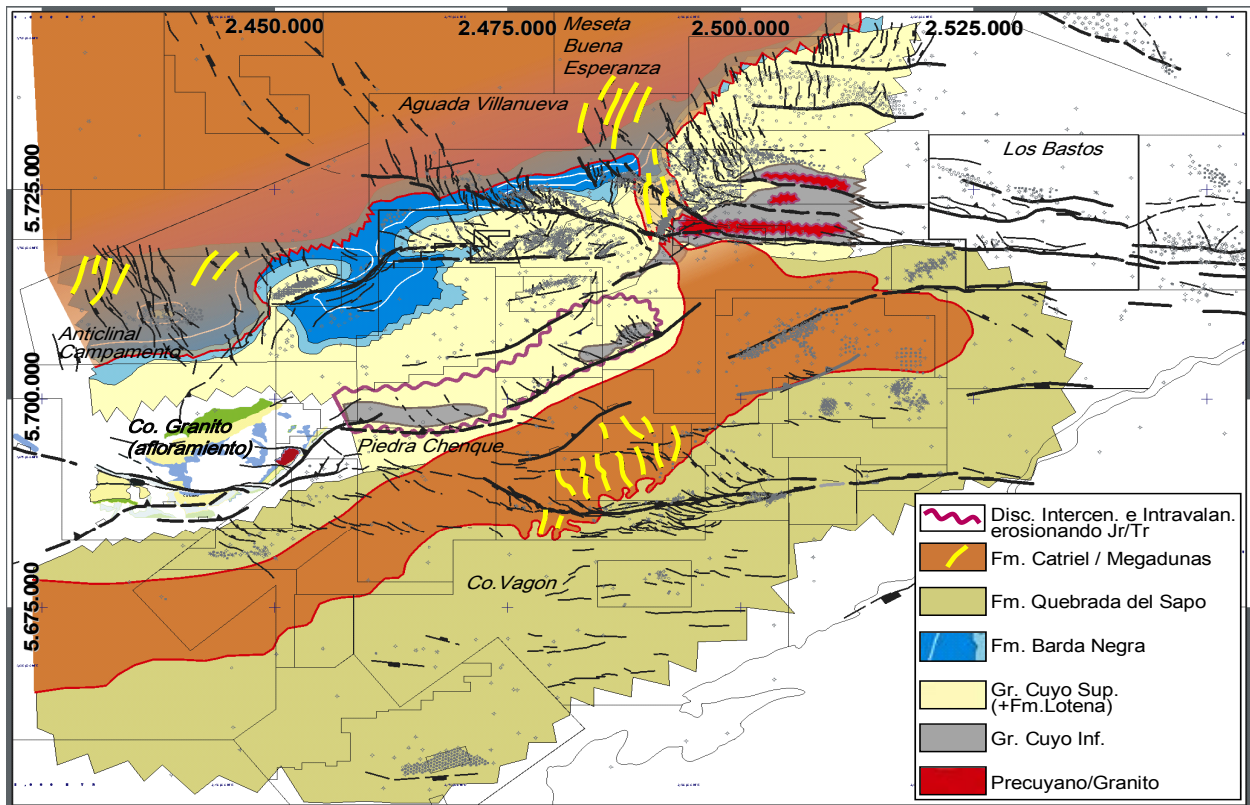


Figura 2: Mapa de subafloramiento debajo de la inundación tithoniana.

## MARCO ESTRATIGRAFICO

La estratigrafía de la Cuenca Neuquina ha sido intensamente estudiada. Se hará una breve reseña sobre la estratigrafía local (Dorsal de Huíncul y margen sur de la cuenca) restringido temporalmente al intervalo discutido en el presente trabajo, es decir desde el Calloviano al Tithoniano. Para más detalles se refiere a la bibliografía específica más reciente (Legarreta y Gulisano, 1989; Zavala, 1993; Gulisano y Gutierrez Pleimling, 1994; Legarreta y Uliana, 1996; Limeres, 1996; Zavala y Freije, 2002; Gómez Omil et al., 2002). Los eventos del Jurásico Superior – Cretácico Inferior tienen gran expresión en sectores al Norte de la Dorsal de Huíncul, pero a medida que nos acercamos a ella, las superficies limitantes tienden a coalescer (Fig. 3). Principalmente en el Kimmeridgiano se produjo la mayor supresión de la columna jurásica por la truncación de las formaciones Barda Negra, Lotena y Lajas a medida que nos acercamos a la Dorsal desde el Norte (Figs. 3 y 4). A su vez las unidades continentales que suceden a este evento de erosión regional (Discordancia Intramálmica) están escasamente representadas en la Dorsal de Huíncul, acentuando la pérdida de columna estratigráfica. El presente trabajo se enfoca entre la Discordancia Intramálmica y la Superficie de Máxima Inundación tithoniana.

El relleno post Discordancia Intramálmica corresponde a una sucesión continental relacionada al levantamiento regional por compresión/transpresión y la regresión total del mar en la cuenca englobados dentro de la F. Tordillo (“Total Lowstand System Track”, Mutti et al. 1994). Su base es claramente erosiva en los paleoaltos jurásicos y hacia el centro de cuenca erosiona sutilmente o es paraconcordante a la F. Auquico (Fig. 5 y 2). Los productos de la erosión se asocian principalmente a las secciones aluviales y fluviales de las formaciones Sierras Blancas (Plataforma NE) y Quebrada del Sapo (al Sur de la Dorsal de Huíncul). En la región al norte de la Dorsal de Huíncul, donde las cuencas hídricas eran más restringidas se desarrollan pobre facies fluviales efímeras, eólicas y de playa lacustre (Mb. Rojo, Marchese, 1971). Los sistemas eólicos se van expandiendo y desarrollan potentes secciones eólicas (i.e. F. Sierras Blancas en Loma La Lata) que hacia el Este suelen interdigitar y traslapar a los términos fluvio/aluviales. Finalmente las

colianitas alcanzan una máxima expansión desarrollando un espesor uniforme en gran parte de la cuenca, base neta y un área de acumulación que transgrede los límites de las unidades continentales previas (excepto en la margen Sur de la Cuenca).

La inundación tithoniana encontró una cuenca dominada por mares de arena que fueron cubiertos sin transición por depósitos marinos de aguas profundas correspondientes a la F. Vaca Muerta. Se desarrollan unos 200m de espesor compuesto por margas bituminosas y calizas que conforman la roca madre de mejor calidad y productividad de la cuenca (Villar *et al.*, 1998; Legarreta *et al.*, 1999). Su intervalo basal, de entre 20 y 40m está compuesto por arcillas negras calcáreas que se interpretan como depósitos de mar profundo (alrededor de 200m, Mitchum y Uliana, 1985). Las secuencias subsiguientes muestran claros arreglos progradantes de somerización, gradando desde margas a calizas hacia el tope y predominando las calizas en las secuencias más jóvenes (Mitchum y Uliana, 1985).

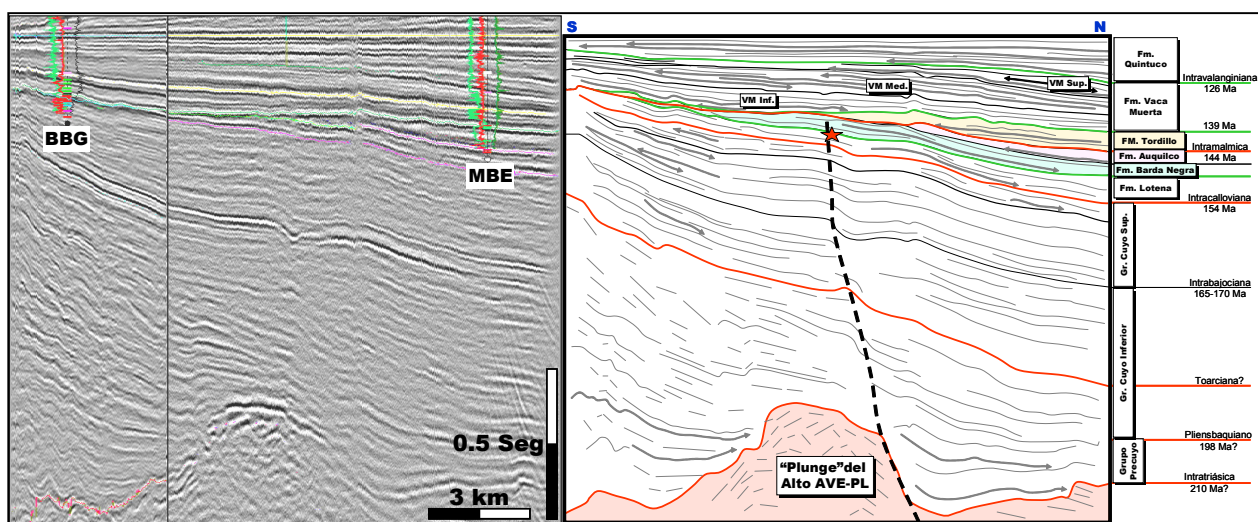


Figura 3: Línea sísmica N-S nivelada en la F. Quintuco, desde Al Norte de la Dorsal hasta Meseta Buena Esperanza. La sección calloviana-kimmeridgiana está bien desarrollada al Norte y hacia el Sur las superficies limitantes se yuxtaponen dejando relictos erosivos y sedimentarios.

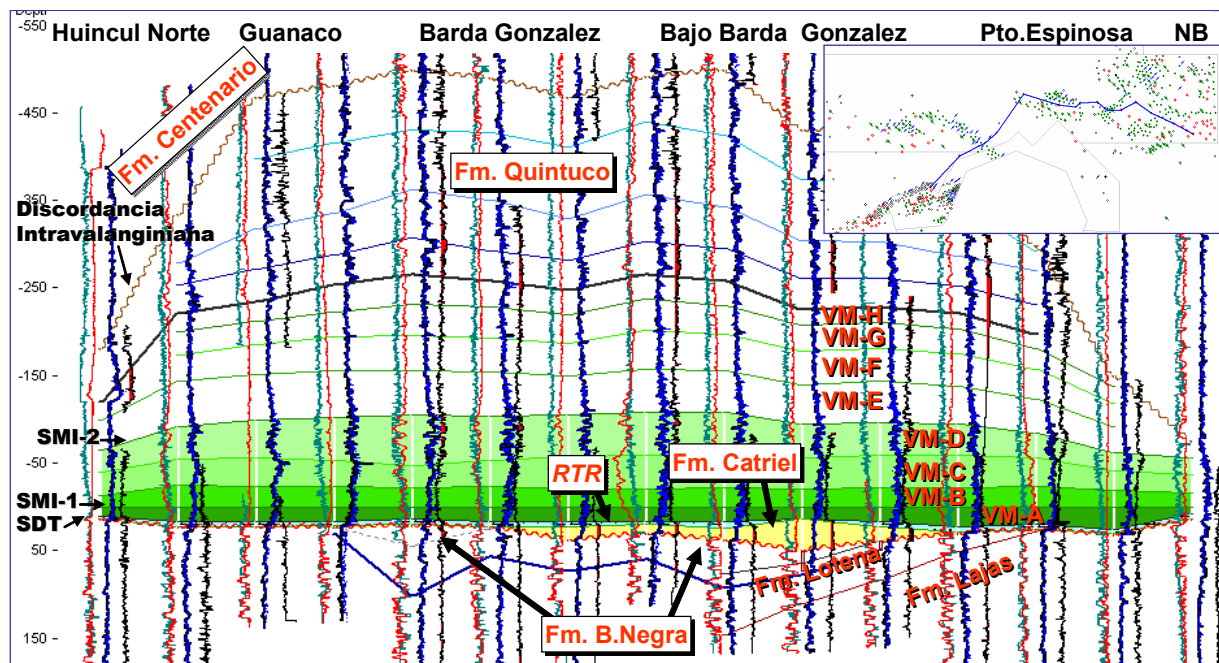


Figura 4: Sección de correlación aplanada a la máxima inundación de F. Vaca Muerta (SMI-1). Se destaca el carácter erosivo de la Disc. Intramálmica (SDT) y la presencia discontinua de F. Catriel. Los extremos de la sección son las posiciones más próximas a la Dorsal de Huíncul, nótese como la Discordancia Intravalanginiana se aproxima a la SDT.

Sobre la F. Vaca Muerta sucede la F. Quintuco, mayormente compuesta por calizas. En conjunto con la F. Vaca Muerta alcanzan los 500 m de espesor, hacia el sur va siendo erosionada por la Discordancia Intravalanginiana 126 Ma y más al sur la Discordancia Intercenomaniana 94 Ma (Fig. 4) hasta desaparecer. Los depósitos continentales de la F. Centenario y Grupo Neuquén sobreyacen a las unidades antes mencionadas presentando altas relaciones arena/arcilla y espesores en conjunto de más de 1000m.

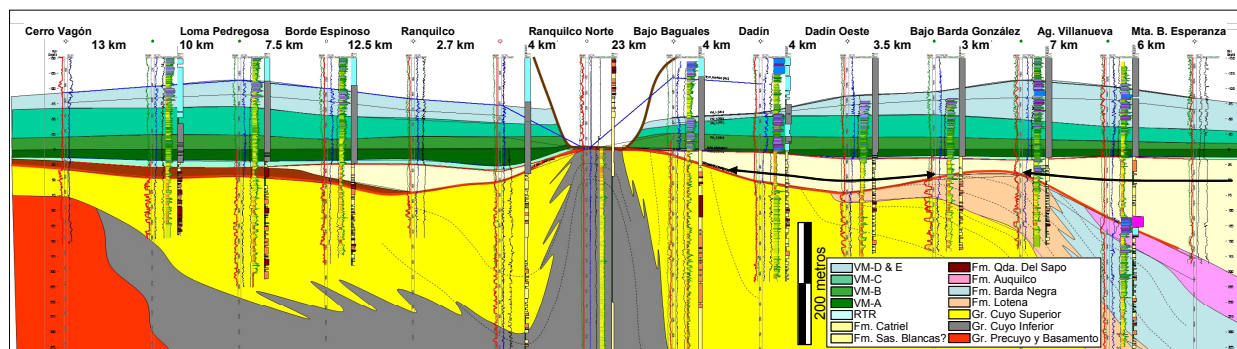


Figura 5: Sección de correlación regional (100 km) nivelada a la máxima inundación de F. Vaca Muerta (SMI-1). Los pozos se presentan equidistantes (tener en cuenta la distancia indicada). Los pozos al norte de la Dorsal de Huíncul fueron arbitrariamente elegidos sobre relictos de la F. Catriel para mostrar la expansión de su área de acumulación. Por ello el adelgazamiento de la RTR y VM-A con respecto a las posiciones al Sur. Ver más referencias en el texto.

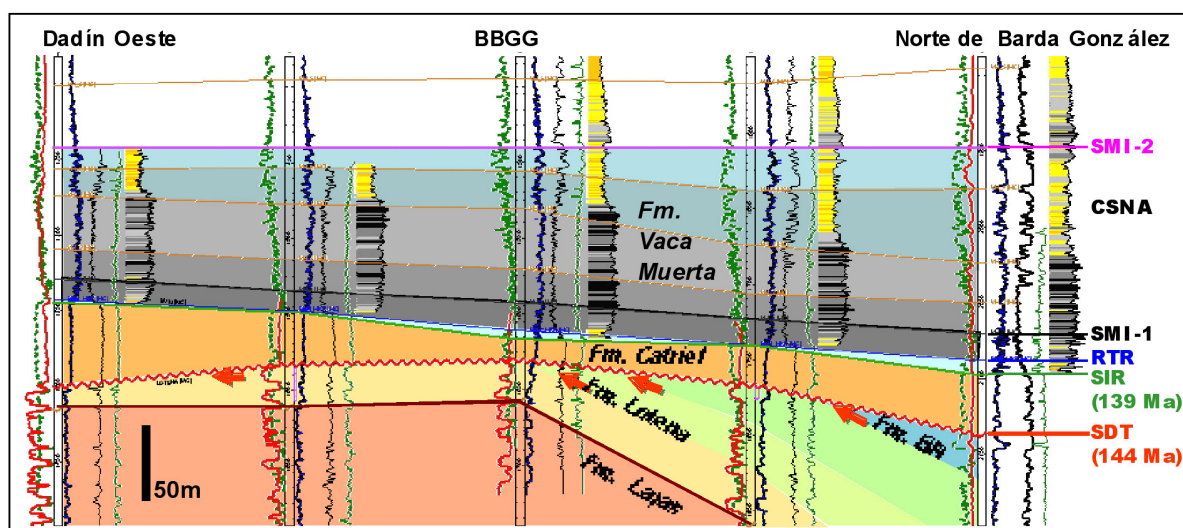


Figura 6: Sección estratigráfica Sur-Norte (aprox. 5km). La curva sombreada es *DSRI*: índice de COT a partir de perfiles (ecuaciones de Meyer *et al.*, 1984), los sombreados grises representan las zonas más ricas. Nótese el espesor uniforme que presenta la sección basal de Vaca Muerta y como el residuo de transgresión se ajusta al paleorelieve de las dunas sin erosionarlas. Ver más referencias en el texto.

## ANÁLISIS ESTRATIGRAFICO DE ALTA FRECUENCIA

Se definen las unidades y superficies limitantes que sobreyacen a los reservorios de la F. Lotena, sumando espesores conjuntos de entre 20 y 60m. En la figura 7 se muestran las 4 superficies con las que se inició el análisis y a lo largo del presente aporte se intenta explicar la interpretación propuesta en la citada figura. Las unidades limitadas presentan en ocasiones gran variación de espesores en áreas restringidas (Fig. 8) pero son correlacionables regionalmente (Fig. 9).

### CSNBT – Cortejo Sedimentario de Nivel Bajo Total

Su base está definida por el inicio de la sedimentación exclusivamente continental del Kimmeridgiano, que sucedió a las evaporitas de los últimos estadios de desecación marina. Su base es interpretada y correlacionada como la Superficie de Desecación Total –SDT– (siguiendo conceptos de Mutti *et al.*, 1994 y Legarreta, 2002). Si bien el CSNB está bien representado en posiciones internas de la cuenca (más de 300m de espesor), en la región analizada dominó la erosión y *by pass*, por lo que solo se han preservado relictos

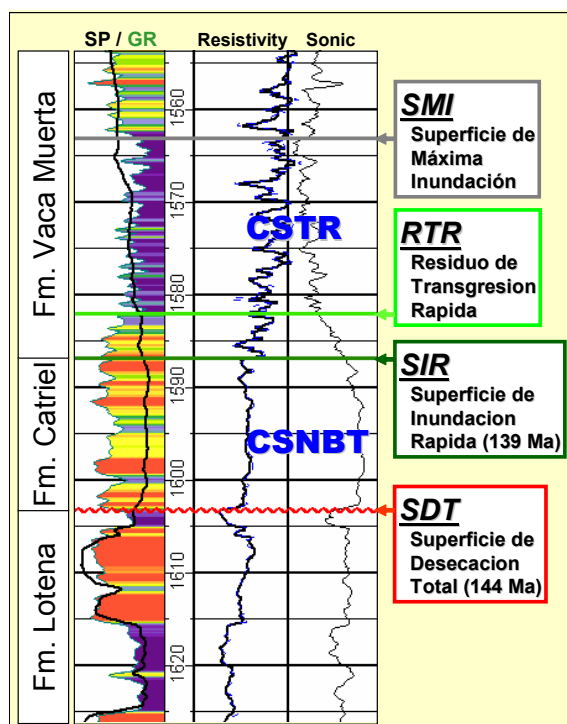


Figura 7: Pozo tipo. Las superficies indicadas fueron los marcadores eléctricos con los que se inició el análisis. Ver texto para mayores referencias.

mayores detalles de los avances recientes en su conocimiento se sugiere consultar a Fernández *et al.* (2002) y Maretto *et al.* (2002), en especial en zonas fuera del área tratada. Presenta facies predominantemente eólicas en las áreas al norte de la Dorsal de Huíncul y fluvio/aluviales en la plataforma nor-oriental, las regiones orientales y sur de la Dorsal de Huíncul (considerando como correlativa la F. Quebrada del Sapo). Es un prolífico reservorio gasífero (*i.e.* eólico del yacimiento Loma La Lata) y petrolífero (*i.e.* aluviales de Medanito-25 de Mayo) (Arregui, 1993; Maretto *et al.*, 2002). Se diferencian claramente dos unidades eólicas: una más espesa que sobreyace al Mb. Rojo, con predominio de láminas de arena (*sand sheets*), y otra

sedimentarios, principalmente eólicos (Figs. 2, 10 y 11). Tradicionalmente se engloba a esta secuencia en la F. Tordillo (Groeber, 1946; Arregui, 1993), la cual es una unidad litoestratigráfica muy variada que ha sido subdividida con diversos criterios (Marchese, 1971; Digregorio, 1972; Muñoz *et al.*, 1984; Maretto *et al.*, 2002). Se describen las unidades litoestratigráficas correlacionables en el área estudiada, sin embargo, sería conveniente elevar a la F. Tordillo a la categoría de Grupo, conteniendo a las unidades formacionales y miembros descriptos a continuación.

**Miembro Rojo** (Muñoz *et al.*, 1984; Maretto *et al.*, 2002)

Corresponde al depósito basal de F. Tordillo, compuesto por limoarcilitas y areniscas predominantemente rojizas. Está presente en posiciones internas como Meseta Buena Esperanza y Aguada Villanueva, y está compuesto por depósitos fluvial efímero, eólico y de playas lacustres. Sísmicamente muestra relaciones de traslape (*onlap*) sobre la SDT (Fig. 3 y 5) sobreyaciendo generalmente a la F. Auquilco. Posiblemente represente el estadio en que la erosión en la Dorsal de Huíncul estuvo más activa pero con un área de drenaje limitada y sistemas fluviales poco eficientes.

**F. Sierras Blancas** (Digregorio, 1972; Marchese, 1971):

No se trata en detalle, solo se refieren algunas observaciones e interpretaciones sobre el área tratada. Para

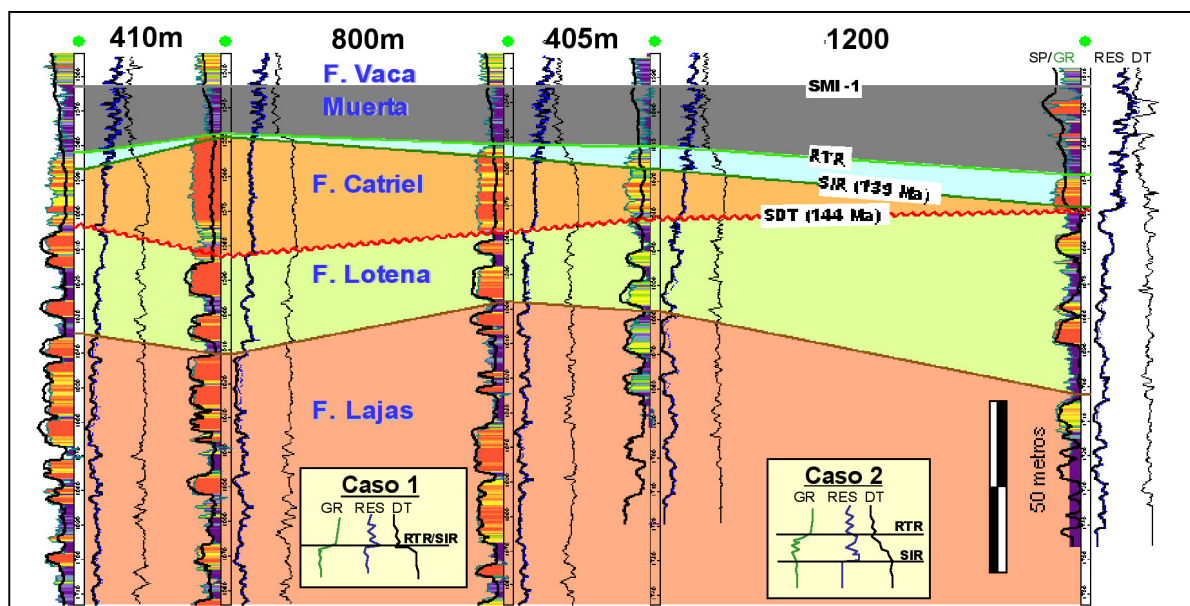


Figura 8: Sección estratigráfica en el campo BBG. Nótese las variaciones de espesor en tan corta distancia. El caso 1 se da rara vez cuando la F. Catriel presenta un incremento de espesor muy marcado. El caso 2 es lo más común en la Dorsal de Huíncul.

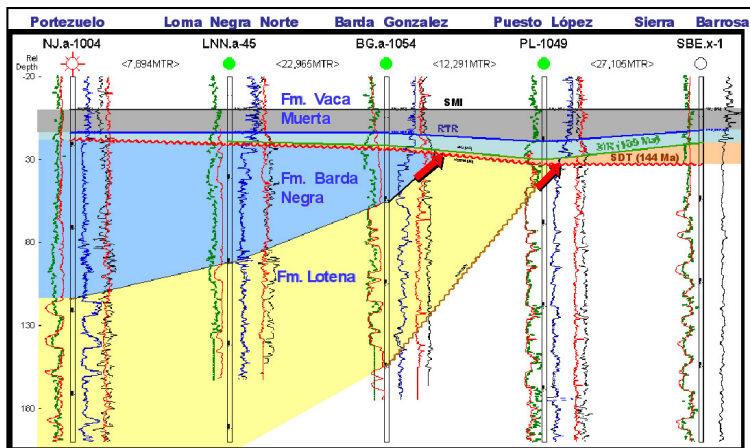


Figura 9: Sección estratigráfica de 70 km en el flanco norte de la Dorsal. Se destaca la continuidad del RTR y los variados niveles de erosión de la Discordancia Intramálica (SDT). Pozos desplagados equidistantes.

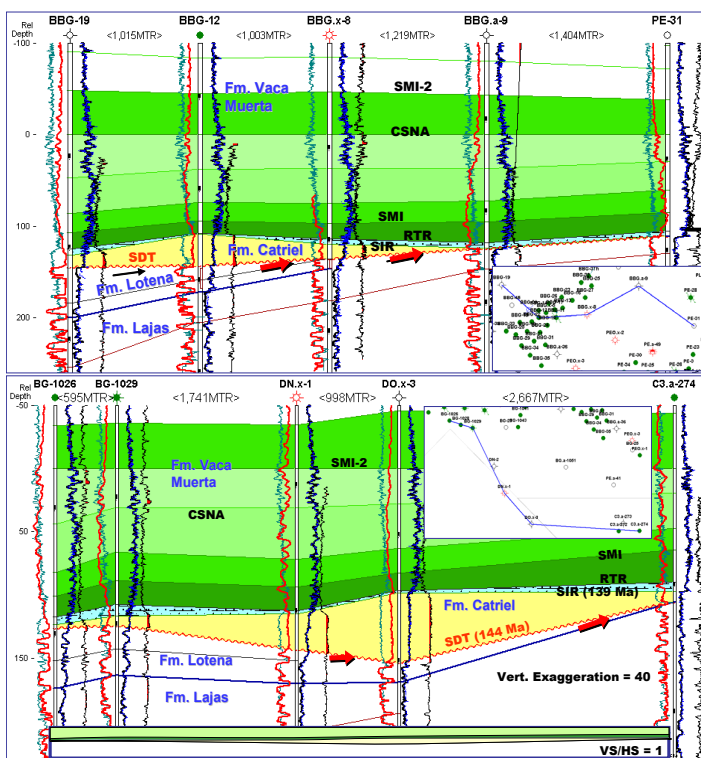


Figura 10: Secciones estratigráficas mostrando las configuraciones paleotopográficas en las que se acumularon y preservaron eolianitas (F.Catriel) en posiciones altas de la Dorsal de Huíncul.

superior con predominio de dunas. La unidad eólica inferior es correlacionada en el presente trabajo a la F. Sierras Blancas. Si bien se suele utilizar como criterio de correlación su calidad como reservorio y en el área de estudio no se detectan reservorios comerciales en esta unidad, las correlaciones eléctricas, perfiles de buzamiento y espesores permiten su correlación desde el área Loma La Lata. Presenta una relación para-concordante con el Miembro Rojo y luego de traslape sobre la SDT cuando este no está presente (en Loma La Lata se detectan además discordancias erosivas internas, Fernandez et al., 2002). Esto se aprecia tanto en sísmica como en correlaciones de pozo (Fig. 5 y 2). La F. Sierras Blancas rara vez está presente más allá de la truncación de la F. Barda Negra. Por lo que se infiere un control paleotopográfico y erosivo sobre su área de acumulación.

#### F. Quebrada del Sapo (Parker, 1965)

Consistida por lóbulos aluviales que coalescen formando mantos conglomerádicos en el margen sur de la cuenca. Posiblemente esta unidad sea correlacionable a la F. Sierras Blancas, esto se infiere básicamente por disponerse ambas por debajo de F. Catriel. Imágenes de pozo, coronas y la geometría de los lóbulos muestran paleocorrientes desde el sur, aunque mediciones en afloramiento (Zavala et al., 2002) verifican también drenaje axial (OSO-ENE, siguiendo la fosa de Challado) y desde el norte para sus términos basales. La Dorsal de Huíncul en sus posiciones más elevadas durante el Jurásico habría actuado como barrera para estas bajadas aluviales generando un drenaje axial en la parte más deprimida (Zavala et al., 2002). En la

porción oriental de la Dorsal, donde el relieve Jurásico era menos acentuado, estos aluviones pudieron haber atravesado y alimentado parte de los depósitos fluviales de la F. Sierras Blancas. Tanto en superficie (Zavala et al., 2002) como en subsuelo (Fig. 16) se registra un pasaje transicional a la suprayacente F. Catriel.

#### F. Catriel (Digregorio, 1972; Marchese, 1971)

Compuesta por areniscas medias a finas y algunas arcillas rojas, verdosas y blanquecinas. Su base es neta sobre las eolianitas o depósitos aluviales de F. Sierras Blancas, en algunos casos se observan truncaciones en sísmica y residuos de deflación en coronas e imágenes de pozo. Si la F. Sierras Blancas no está presente, sucede directamente a la SDT. Fue analizada en mayor detalle por disponerse en forma saltuaria en posiciones muy proximales de la Dorsal de Huíncul, transgrediendo las áreas de acumulación de las unidades continentales subyacentes. Se analizaron 5 imágenes de pozo y 2 coronas, que muestran un notable predominio de facies arenosas con laminaciones planares de alto ángulo (hasta 30 grados, Figs. 16 y 18) y laminaciones horizontales con granulometrías bimodales y gradaciones inversas (Fig. 18). Frecuentemente se

observan láminas enriquecidas en arenas gruesas a medias con base difusa, gradación inversa y techo muy neto, interpretadas como reciduos de deflación. Presenta un alto grado de cementación (hasta un 15% en fracción de roca), con cementos arcillosos autigénicos, y en menor proporción calcáreos y silicios. A su vez aparecen coberturas cloríticas de los granos de arena. Todo esto resulta en porosidades generalmente menores al 6% (en ocasiones hasta 10%, sector oeste y norte del área estudiada). Los perfiles de resistividad, sísmico y GR permiten una muy buena correlación, a pesar de su alta variabilidad de espesores en las posiciones marginales (Fig. 8, 10 y 12). Sísmicamente es difícil de delimitar su base y techo, sin embargo su presencia puede interpretarse a partir de las variaciones de frecuencia del mínimo infrayacente al positivo que próximo a la base de F. Vaca Muerta y también a las variaciones de espesor de la sección basal de F. Vaca Muerta (Figs. 11 y 22).

Figura 11: Expresión sísmica de las megadunas de F. Catriel preservadas en posiciones altas de la Dorsal de Huíncul. Originalmente se aplanaba la sísmica a la base de F. Vaca Muerta, induciendo a interpretar canales. Nivelando a la SMI-2 se ve claramente las formas de lecho eólico. Si bien la F. Vaca Muerta parece traslapar (*onlap*) sobre las megadunas, se interpretan estos cambios de espesores principalmente por compactación diferencial.

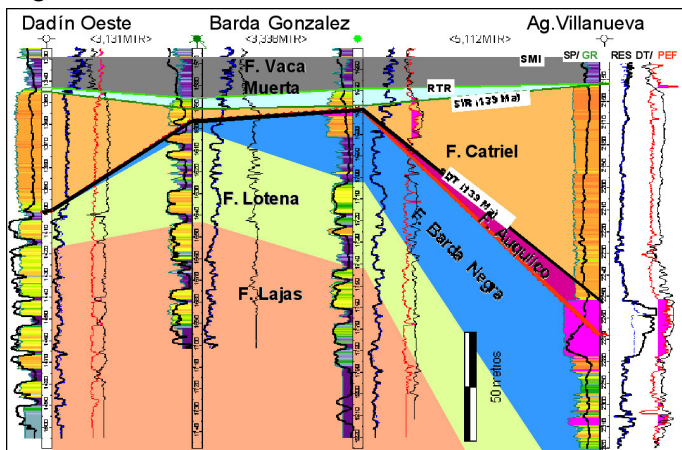


Figura 12: Sección estratigráfica mostrando la alta heterogeneidad estratigráfica por debajo y por arriba de la *SDT* (Disc. Intramálmica)

Las porciones más elevadas de la Dorsal (Fig. 2) bloquearon el aporte fluvial del sur, permitiendo el masivo desarrollo de los *ergs* de las formaciones Sierras Blancas y Catriel, con doble efecto de barrera para el drenaje hídrico y sombra aerodinámica para generar un sistema eólico del tipo “sombra de montaña” (Wilson, 1973; Fryberger y Ahlbrandt 1979, Cevallos, 1996; ver fig. 19, 20 y 21). Estos sistemas son muy comunes en unidades eólicas de la magnitud de las de F. Tordillo. Como ejemplo se mencionan las Navaio Sandstones (Jurásico de E.U., 400m de

espesor, Herries, 1993); o el Miembro el Palque de la F. Pachaco (Mioceno) sincrónica al levantamiento de la Precordillera Sanjuanina/mendocina, en donde se acumularon mas de 700m de arenas puramente eólicas en un mar de arena que cubrió más de 10.000 km<sup>2</sup> (Cevallos, 1996). Ejemplos actuales son comunes en el Sahara (Fig. 19, Wilson 1973), y localmente en los Medanos Grandes en el borde occidental de las Sierras Pampeanas (Fig. 20). Los paleovientos medidos en las (Fig. 23), muestran una gran consistencia y se infieren rotaciones por efectos de *coriolis* y/o reorientaciones causadas por las barreras topográficas, estas variaciones son también características en los ejemplos citados. Localmente la interferencia de la topografía y las direcciones de vientos generan cambios de orientación de las dunas. Así las orientaciones de Picún Leufú (Zavala *et al.*, 2002) podrían explicarse por situaciones como las observadas en los *ergs* cuaternarios de Médanos Grandes y Marayes (figura 21, Cevallos 1996). La mecánica de acumulación de las eolianitas del norte de la Dorsal sería análoga al caso 2 de la figura 21, y las eolianitas de F. Catriel acumuladas al sur de la Dorsal de Huíncul se comparan al los casos 3 y 5 de la misma figura.

Es notable la expansión de los mares de arena de F. Catriel respecto a F. Sierras Blancas (Fig. 23). Tal vez exista alguna relación entre el traslape de las facies eólicas hacia los márgenes de la cuenca y el nivel del mar en ascenso al oeste del arco magmático, tal como se plantea para la Fm. Huitrín (Legarreta, 2002), pero en el caso de la F. Catriel ese vínculo, si es que lo hubo, no está analizado en detalle.

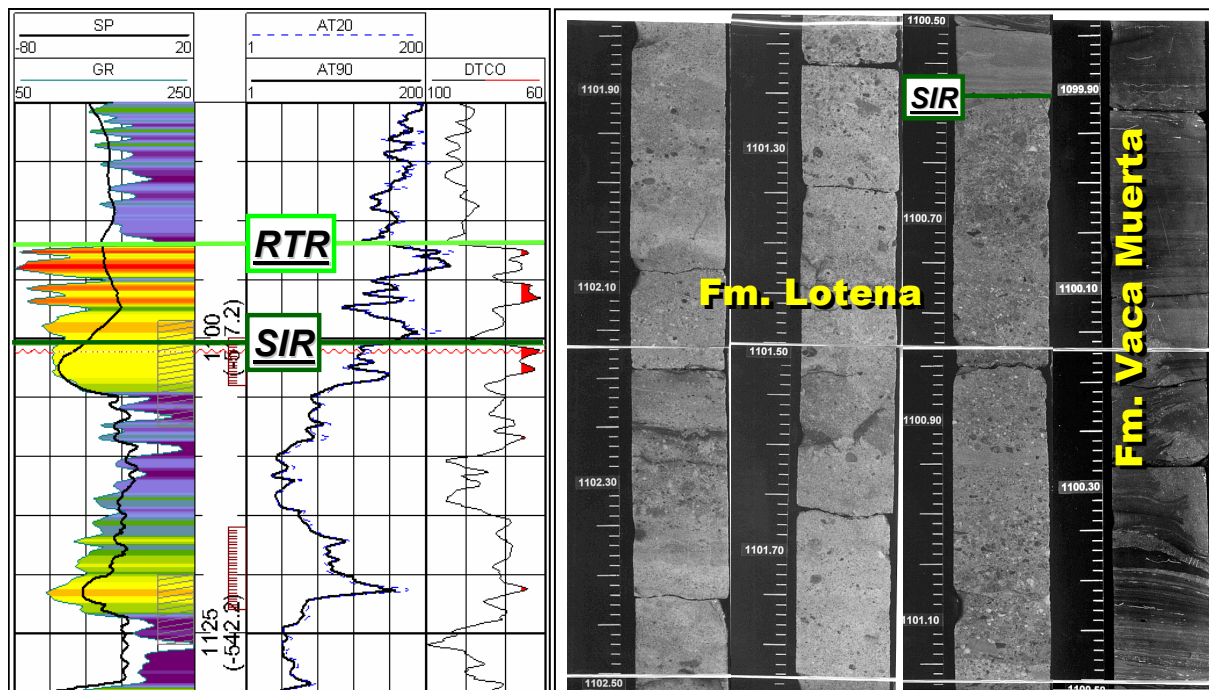


Figura 13: Perfil y corona en Puesto Espinoza. Entre RTR y SIR son características las baja lectura de GR y alta resistividad. Esto suele confundirse con arenas al escapar a la resolución del control geológico. Nótese el nivel de arena muy fina (7cm) por arriba de la SIR y las inyecciones arenosas (por licuefacción).

### CSTR – Cortejo Sedimentario de Transgresión Rápida

Para la precisa identificación de su base, la Superficie de Inundación Rápida (SIR), se utilizaron coronas e imágenes de pozo, ya que las unidades que limita suelen tener características eléctricas similares y ser muy discontinuas arealmente (Fig. 7, 8, 9, 10 y 12). Símicamente está por debajo del pico positivo asociado a la base de la F. Vaca Muerta, más próxima al cruce por cero. Representa la base de la F. Vaca Muerta y por ende el comienzo de la sucesión marina tithoniana. Cuando inundó sobre sedimentos no consolidados (F. Catriel) produjo alteraciones por cementación y licuefacción, pero muy escaso a nulo retrabajo (Figs. 13, 14, 15 y 16). Cuando cubrió unidades diagenizadas (F. Barda Negra, Lotena, Lajas), no produjo retrabajo o erosión y las variaciones del grado de cementación son muy sutiles. Los paleoaflorescimientos jurásicos que fueron cubiertos por la SIR se presentan en la figura 2.

Sobre la SIR se dispone el Residuo de Transgresion Rapida (RTR), una sección margosa compuesta por una mezcla de arcillas negras, carbonatos precipitados, microfragmentos de conchillas e inclusiones de limos y arenas muy finas. Posee espesores promedio de 5m (desde pocos centímetros hasta más de 10m). Se

caracteriza por su baja lectura de GR (más limpio que las arenas arcóscicas subyacentes), lo cual no condice con su litología y llevó en el pasado a interpretarla como arena (Figs. 7, 8, 13, 15 y 17). Posee detecciones de potencial fotoeléctrico (perfil clave) generalmente de 3.5 a 5 unidades que permiten discriminarla de las arenas y un característico gradiente de tiempo de tránsito que va disminuyendo de tope a base, desde valores normales para la F. Vaca Muerta a tiempos de tránsito muy bajos equivalentes a la F. Catriel (Figs. 15 y 16). La resistividad presenta un arreglo vertical muy homogéneo que se mantiene regionalmente. El pico de baja resistividad observado regionalmente en su parte media suele ser utilizado por algunos interpretes como el marcador para la base de la F. Vaca Muerta, aunque la base real está más abajo (Figs. 13 y 16). Por encima de este pico negativo los perfiles de inducción, sónico y GR gradan hacia valores normales de F. Vaca Muerta. Las escasas ocasiones en las que no se registra el *RTR* son las crestas de las megadunas de F. Catriel (fig. 18). En posiciones de centro de cuenca, el *RTR* tiene espesores muy reducidos (i.e. Meseta Buena Esperanza).

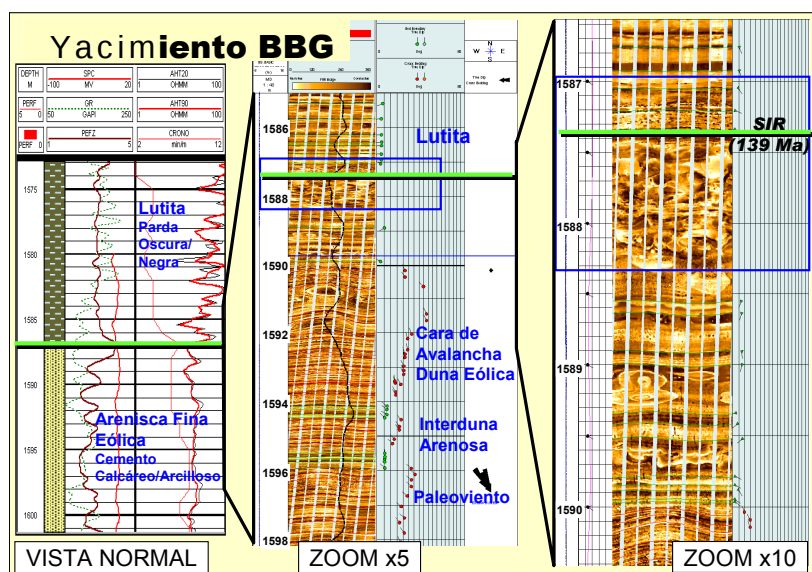


Figura 14: Vista de la *SIR* en imagen eléctrica. En el Zoom x5 se observa el arreglo eólico de F. Catriel y los 3m superiores alterados por la inundación. En el zoom x10 se observan los nódulos de cementación y el retrabajodel metro superior.

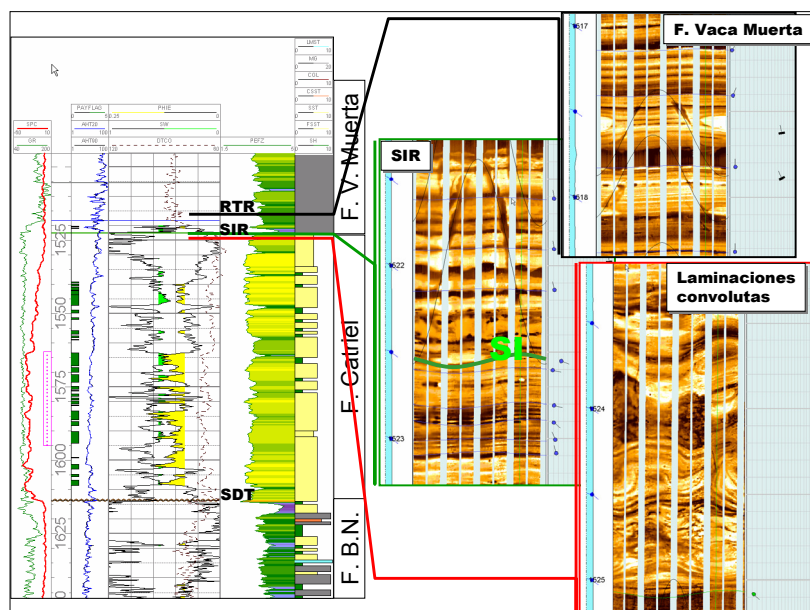


Figura 15: Detalle de la *SIR* a partir de imagen eléctrica en Estación Ramón Castro. Nótese las alteraciones del metro superior de F.Catriel. Las laminaciones originales de F.Catriel están distorcionadas (licuefacción?) pero los sedimentos no fueron redistribuidos.

Nótese que las coronas y perfiles mostrados en las figuras se encuentran a distancias del orden de los 50 km entre sí, sin embargo es posible una precisa correlación del arreglo vertical de los perfiles de inducción, GR, sónico y PEF del *RTR*. En la figura 5 se destaca el espesor del *RTR* en la zona al Sur de la Dorsal, en cambio al Norte de la misma, la línea de correlación se siguió por pozos ubicados sobre crestas de megadunas de F. Catriel para mostrar su máxima extensión sobre la Dorsal, por lo que el espesor de la *RTR* es mínimo. En secciones transversales a las megadunas (Figs. 8, 10, 12 y 18) se aprecia el aumento de espesor de esta unidad hacia los flancos. En secciones regionales que no involucran las crestas de las megadunas se aprecia su homogéneo espesor (Fig. 9).

El *RTR* es sucedido por lutitas negras bituminosas finamente laminadas, que producen las lecturas de máxima arcillosidad de la F. Vaca Muerta. Presentan espesores promedio de 20m, que se afinan sutilmente hacia centro de cuenca y llegan a los 40m en la fosa de Challacó (fig. 5). Denominamos informalmente a esta unidad como *-VM-A-* (i.e. Sección A en Leanza y Hugo, 1977; Secuencia A en Mitchum y Uliana, 1985; Zona de Virgatosphincter Mendozanus en Burckhardt, 1903 y Groeber, 1946), la cual es correlacionable desde posiciones internas hasta

marginales de la cuenca. Por encima se desarrollan margas bituminosas que gradan verticalmente a calizas, mostrando arreglos de somerización.

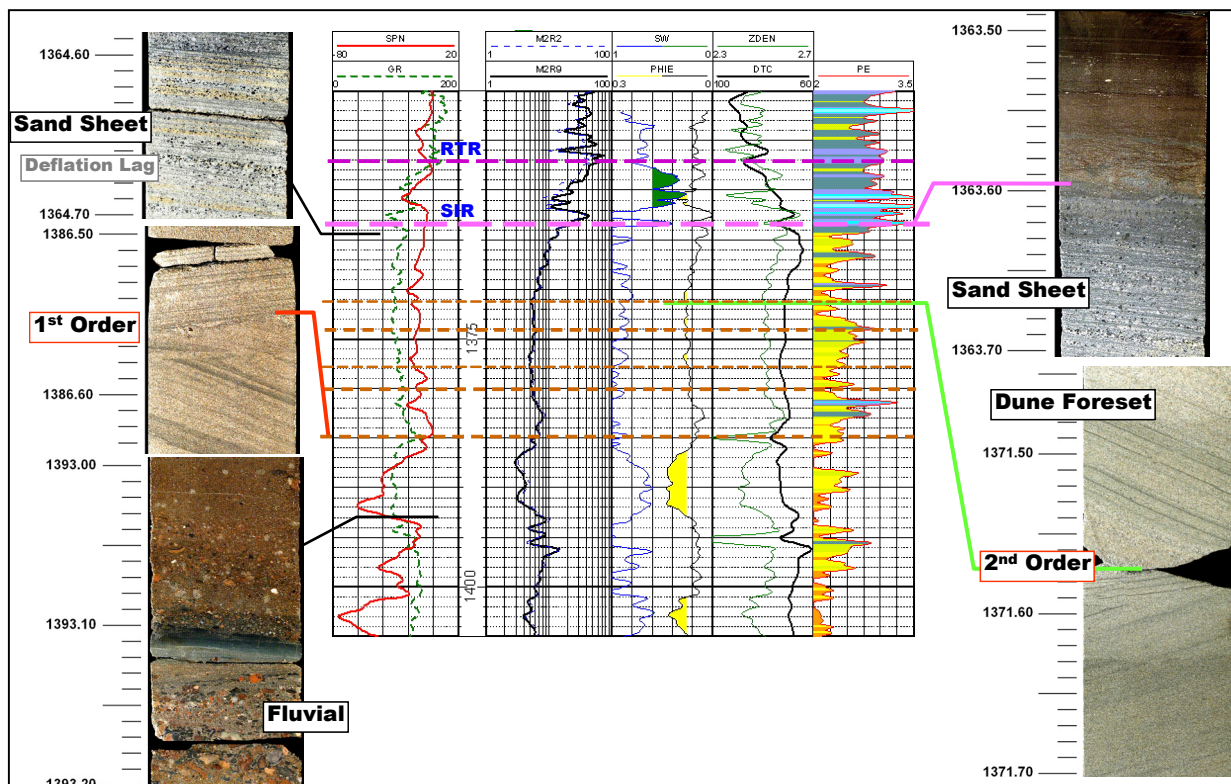


Figura 16: Detalles de la SIR, F. Catriel y tope de F. Qda. Del Sapo el área Borde Espinozo Este. No se observan alteraciones en el tope de F. Catriel, las últimas láminas corresponden a residuos de deflación eólica. Nótese el caracter transicional del límite entre F. Qda. Del Sapo y F. Catriel.

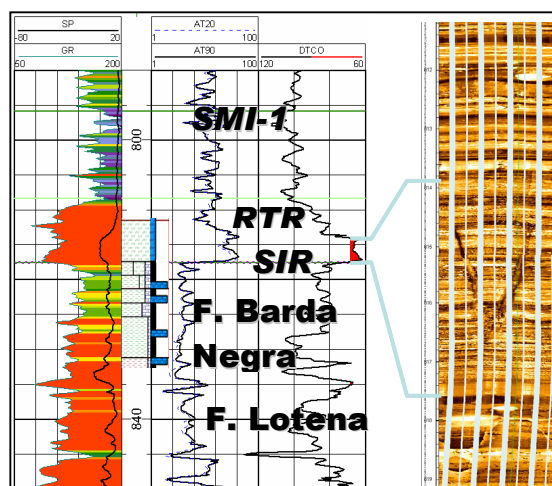


Figura 17: Expresión del RTR en Portezuelo Norte, donde la SIR apoya sobre F. Barda Negra.

### Interpretación del CSTR

Se diferencia del clásico cortejo sedimentario transgresivo (Van Wagoner *et al.*, 1990) por no presentar migración de facies que representen el incremento del nivel del mar (Mutti *et al.*, 1994). La transición de facies continentales a marina es neta y está dada por un depósito agradacional –RTR–. A esto le sucede una sección muy homogénea de sedimentos de aguas profundas –VM-A–. Ambas unidades forman una sábana uniforme que cubre gran parte de la cuenca con arreglos faciales que se mantiene constante hasta los bordes de cuenca. El RTR se interpreta como la decantación del material en suspensión en el mar que sucedió a la transgresión rápida. En una hipótesis interpretativa de mayor detalle se asocia a la parte inferior (forma de *campana* en la resistividad, figs. 13 y 17) con un depósito sincrónico a la transgresión, donde se verifica mínima redistribución de sedimentos y la decantación del

material más grueso, y la parte superior (perfil de *embudo* en la resistividad, figs. 13 y 17) correspondiente al período de decantación del material fino en suspensión y la transición hacia condiciones de aguas estratificadas con un fondo marino en condiciones anaeróbicas a disaeróbicas (Uliana *et al.*, 1999). La geometría y características de la VM-A y las secuencias subsiguientes hacen presuponer que el mar siguió ascendiendo luego de la transgresión rápida pero ahora en secuencia con respecto al ascenso eustático y con mínimos desplazamientos de la línea de costa. Por ello no se registrarían arreglos retrogradantes ni progradantes (*still stand*) en la VM-A. Si bien la superficie de máxima inundación –SMI– puede estar dentro de la VM-A, se define y correlaciona regionalmente donde se presentan los mayores contrastes eléctricos para

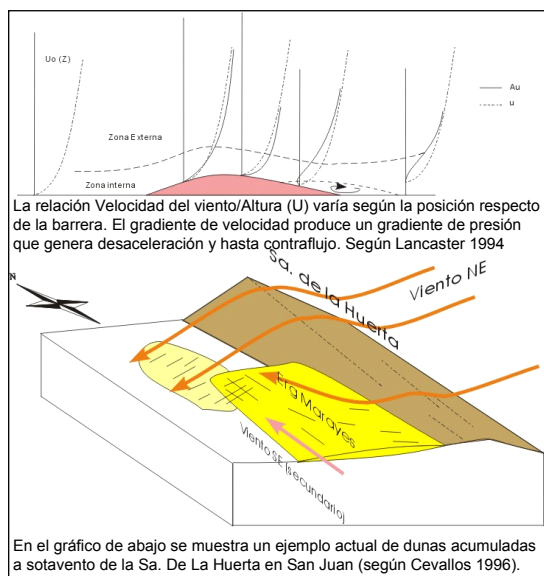
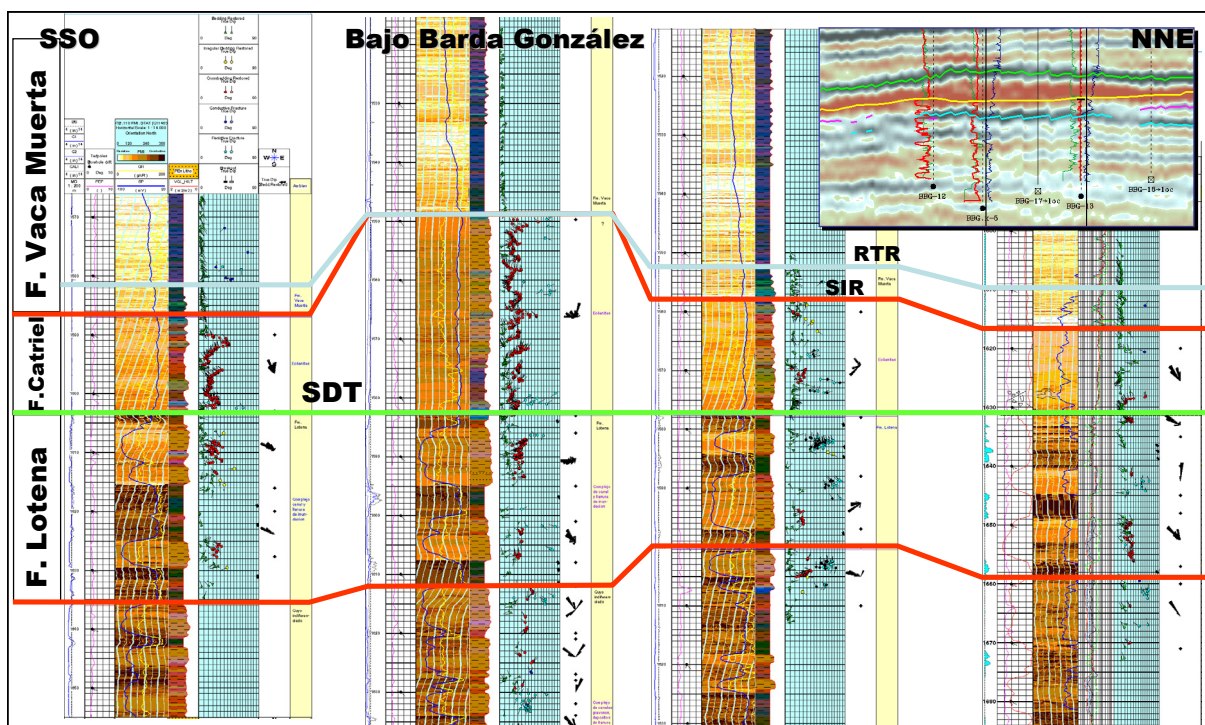


Figura 20: Efectos sobre la velocidad del viento al atravesar barreras topográficas. Ejemplo del cuaternario de San Juan

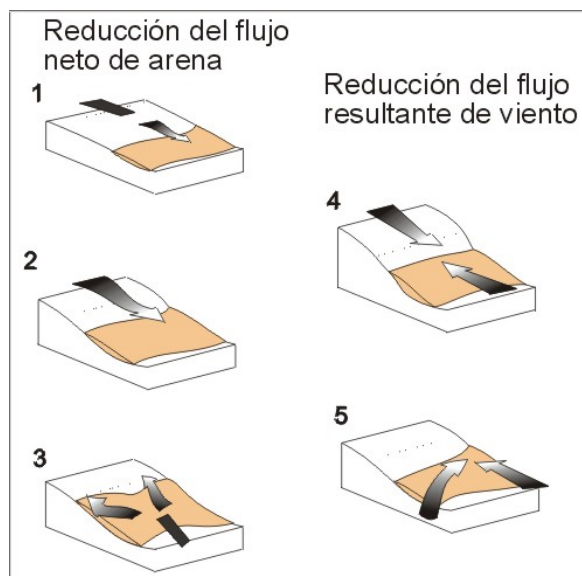


Figura 21: Modelos de influencia de la topografía y el desarrollo de ergs, según Fryberger y Ahlbrandt (1979).

cilitar la interpretación. Las secuencias que la suceden muestran arreglos progradantes de somerización progresiva y variaciones de espesores clinoformes, clásicos de cortejos sedimentarios de nivel alto (Figs. 5 y 6). Las arcillas de la VM-A y las margas de las dos secuencias que la suceden (VM-B y VM-C) presentan los mejores tenores de carbono orgánico total (Fig 6).

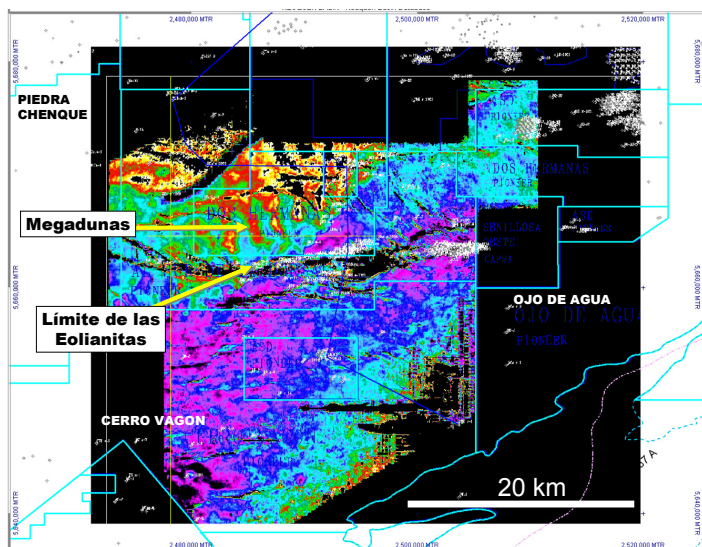


Figura 22: Expresión sísmica de las megadunas de F. Catriel en la región Al Sur de la Dorsal. El mapa se obtuvo a partir del espesor de la primera megasecuencia de Vaca Muerta (hasta la SMI-2, ver fig.6) que muestra un menor espesor y mayor compactación cuando está presente la F. Catriel.

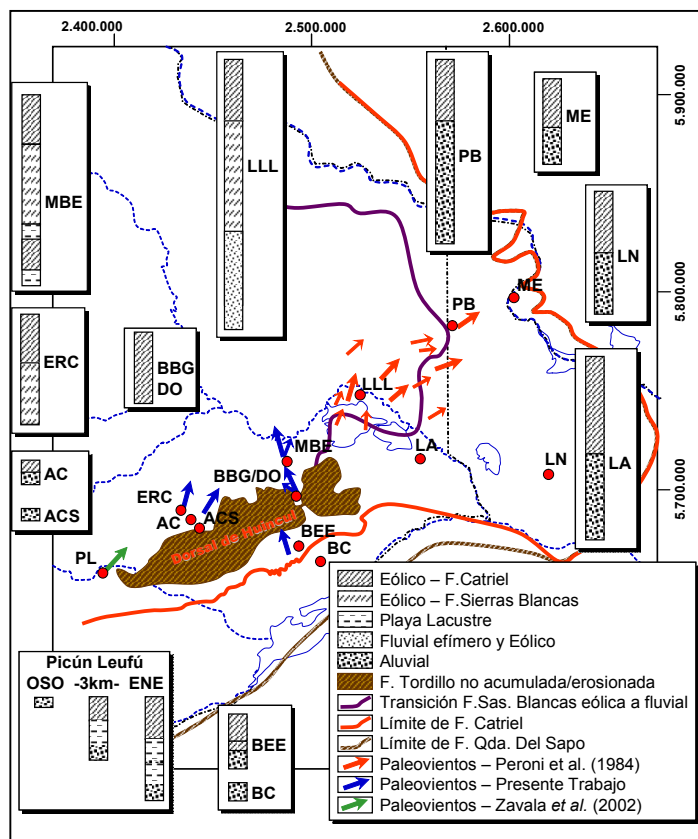


Figura 23: Extensión y paleovientos de los depósitos eólicos de F. Sierras Blancas y F. Catriel. Los límites en la plataforma NE fueron tomados de Arregui (1993). Se presentan columnas indicativas que muestran espesores y facies de F. Tordillo en distintas localidades.

## INTERPRETACION SISMICA

Un 90% del espesor útil del área estudiada se ubica muy próximo por debajo de la *SIR* (Base de la F. Vaca Muerta). La presencia de superficies y unidades con fuerte carácter sísmico (*RTR* y F. Catriel), aunque desarrolladas con espesores mínimos, hacen muy dificultosa la interpretación sísmica, especialmente en prospectos y campos predominantemente estratigráficos. Para transferir el modelo descrito a la sísmica se utilizó un caso de estudio que representara la problemática (Fig. 24). A partir del modelo de correlación y perfiles (sónico y densidad) se generó una sísmica sintética utilizando el programa GMA (R.Cook y M.Cevallos), lo que luego se comparó con la sísmica 3D. En la zona (1) de la figura 24 se observa la ausencia del *RTR*, un espesor de F. Catriel de 25m y la truncación de una parasecuencia de F. Lotena por debajo de la *SDT*. En el modelo se observa una notable truncación de un reflector positivo, el cual en la sísmica se esboza sutilmente entre el reflector *MinPeak* y el mínimo subyacente. Cuando se hizo el modelo original no estaba perforado el pozo del extremo izquierdo. Nótese que las reflexiones de mayor amplitud contienen poca información del reservorio. En la posición (2) (Fig. 24) el *RTR* tiene unos 4m y la F. Catriel unos 5m, por debajo de la *SDT* se trunca y cambia de facies otra parasecuencia de la F. Lotena. Las fuertes variaciones de los reflectores *BVM* y *MinPeak* son lo más relevante en el modelo y la sísmica, pero solo muestran la aparición del *RTR* y la disminución del espesor de la F. Catriel. La desaparición del reservorio se ve claro en el modelo GMA, pero en la sísmica está representada por la variación de espesor entre el *MinPeak* y el cruce por cero que le subyace. En la posición (3) (Fig. 24) la amplitud de ambos reflectores en el modelo y sísmica disminuyen drásticamente debido a la desaparición de la F. Catriel y al bajo contraste de impedancia entre las arcillas de F. Vaca Muerta y F. Lotena, el *RTR* solo mantiene la continuidad del reflector *BVM*. Si bien en la sísmica se replican a grandes

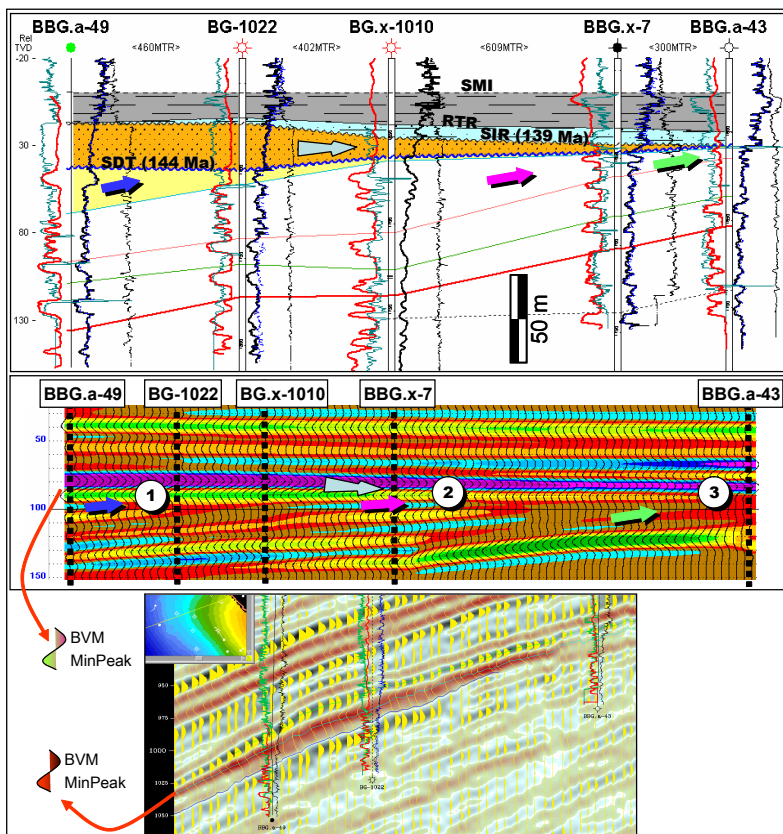


Figura 24: Modelo sísmico sintético. A partir de una sección entre pozos con alta heterogeneidad estratigráfica se construyó una sísmica sintética que se comparó con la sísmica 3D de la zona. Ver texto para mayores referencias

espesor y carácter del *RTR* tienen una fuerte impronta en el reflector sísmico positivo *BVM* cuyos atributos frecuentemente contienen escasa información de los reservorios subyacentes. A su vez la delimitación y caracterización de las secciones impermeables de la F. Catriel que suelen a parecer saltuariamente entre los reservorios y la *SIR* desplazan aún más al reservorio del *BVM* y dificultan enormemente la interpretación de algún evento sísmico que represente vertical y arealmente a los reservorios. En el presente aporte se presentan elementos para definir un marco estratigráfico que facilite la prospección y delimitación de los reservorios a partir de datos de pozo y sísmica. El reflector negativo *MinPeak*, por debajo del *BVM*, es el evento sísmico más representativo de los reservorios de la región. Este debe ser analizado con mucho detalle y base geológica ya que como se mostró, representa la interfase de unidades variadas tanto por arriba (F. Catriel, *RTR* Vaca Muerta) y por abajo (F. Barda Negra, F. Lotena, F. Lajas).

## ANALOGIA CON LA INUNDACION DEL MAR NEGRO

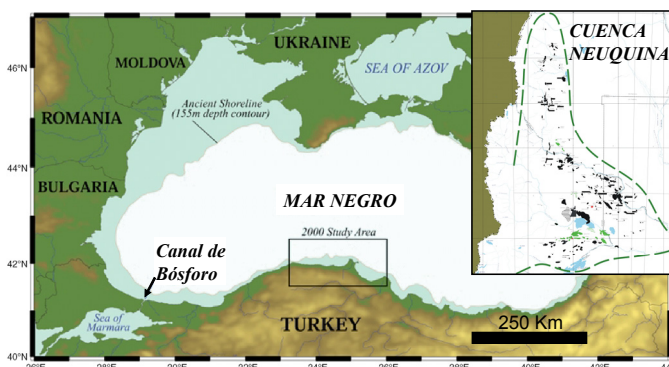


Figura 25: Mapa comparativo del Mar Negro y la porción neuquina y sur-mendocina de la Cuenca Neuquina.

rasgos estas variaciones, el modelo permite su mejor entendimiento. Nótese como la aparición de una Caliza por debajo de la *SMI* produce un aumento de amplitud en el modelo que en parte disminuye la señal de los reflectores infrayacentes. Este caso pretende ser ilustrativo de las mejoras en el trabajo de interpretación sísmica que puede aportar un análisis estratigráfico de alta frecuencia como el presentado en este aporte.

Si bien hasta el momento ninguna de las unidades tratadas reviste interés como roca reservorio, un modelo geológico que permita segregarlas en cierta manera de los atributos y geometrías contenidos en la sísmica, se tornan claves para la prospección y desarrollo de los campos que las infrayacen.

La detección precisa de la base de la inundación tithoniana (*SIR*), y la caracterización de su relleno basal (*RTR*) resulta clave para la caracterización sísmica de los reservorios, tanto en la etapa prospectiva como exploratoria. El

Estudios recientes (Ryan y Pittman, 1998) revelaron detalles sobre la edad, la duración y el carácter de la última ingresión marina en el Mar Negro (Fig. 25). Las dataciones, así como las discordancias en registros arqueológicos debido al exodo de los habitantes de las regiones inundadas, apuntan a que dicho evento se dio hace unos 7150 años antes del presente. Previamente era una cuenca lacustre separada del Mar Mediterráneo por cordones montañosos (Fig. 25). Cuando comenzó a elevarse el nivel global del mar, se generó un desnivel de unos 120m con respecto a esta cuencas lacustre. Cuando el nivel del Mediterráneo superó

primero el nivel del Canal Dardanellos (cuenca de Mármara), inundó al Mar de Mármara y cuando este alcanzó el umbral de la por entonces quebrada de Bósforo, comenzó el llenado del Mar Negro. Mediante un modelo hidrodinámico, Ryan y Pittman (1998) calcularon la velocidad de llenado desde el nivel lacustre hasta 120m por encima de este en 3 años (el actual nivel del Mar Negro está 155m por encima del nivel lacustre). Las regiones más pobladas eran las fértiles bahías interdistributarias del delta del Río Danubio. Debido a la baja pendiente de esta región, se calcularon avances de la línea de costa del orden de 1.5 km/d, lo que hizo imposible un éxodo normal de los pobladores y se vieron obligados a dejar pertenencias de valor (ánforas, vestimentas y viviendas), que actualmente son visitadas por arqueólogos en submarinos de aguas profundas. Algunos pobladores se embarcaron y cruzaron hasta la margen Sur (actual parte asiática de Turquía), donde estaban las zonas costeras más elevadas. Luego cruzaron las montañas hacia el actual Irak/Irán, donde se escribió por primera vez la historia de *Gilgamesh*, posteriormente relatada en la Biblia como la historia de Noe y el diluvio universal.

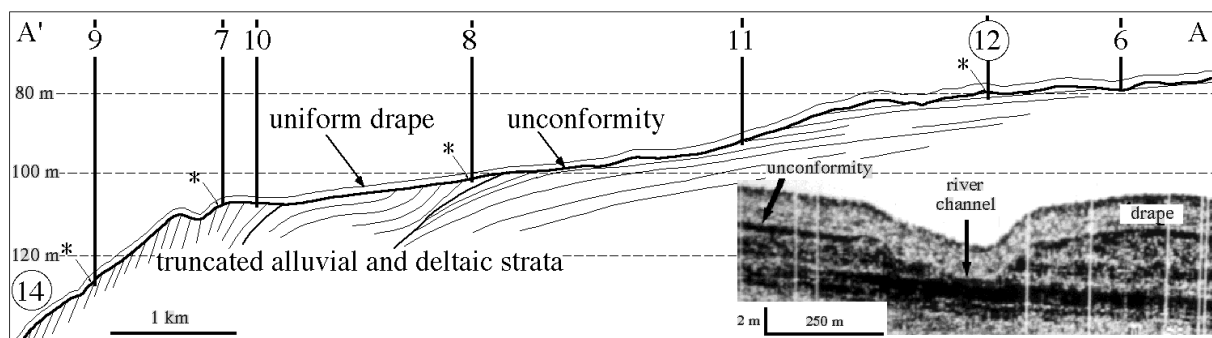


Figura 26: Perfil del lecho del Mar Muerto reproducido de Ryan y Pittman (1998). El primer depósito marino registrado cubre uniformemente posiciones de cuenca profunda hasta marginales y es interpretado como una sábana agradacional. En registros de sismica somera se nota como este depósito cubre los paleorelieves. Los asteriscos muestran la ubicación de dataciones radimétricas de conchillas de moluscos que mostraron edades equivalentes.

El trabajo de Ryan y Pittman (1998) define varios elementos en común con lo observado en la inundación Tithoniana de la Cuenca Neuquina. Muestra claramente la ausencia de un cortejo sedimentario transgresivo debido a la velocidad de la inundación. Solo se observan rasgos erosivos en el lecho de los canales de acceso (Dardanellos y Bósforo). El muestreo de isótopos y composicional de los sedimentos muestra un pasaje neto de sedimentos lacustres a marinos de aguas anaeróbicas. La unidad sedimentaria que sucede a la superficie de inundación es lo que los autores definen como *Uniform Drape* (sábana uniforme), la cual presenta un espesor uniforme de unos 3 metros relevado desde 120 m de profundidad (paleonivel lacustre) hasta posiciones muy próximas a la línea de costa (Fig. 26).

Las profundidades de agua estimadas (Mitchum y Uliana, 1985) para las secuencias basales de F. Vaca Muerta serían menores a los 200m, es decir del orden del diferencial de nivel entre el paleolago y el Mar Negro. Ambas inundaciones carecen de cortejos sedimentarios transgresivos. El *Uniform Drape* del Mar Negro (Ryan y Pittman *op.cit.*) sería equivalente en espesor, geometría y distribución al RTR interpretado para la base de la F. Vaca Muerta. La entrada del mar a la Cuenca Neuquina, tal como sugieren Mutti *et al.* (1994) habría sido la quebrada o portezuelo más bajo del arco volcánico que flanqueaba la cuenca por occidente, haciendo las veces de Canal de Bósforo del Mar Negro.

### MODELO SECUENCIAL

El fuerte dominio de factores tectónicos/volcánicos en las variaciones relativas del nivel del mar en la cuenca neuquina hacen que los modelos de estratigrafía secuencial clásica (Van Wagoner *et al.*, 1990) sean de aplicación parcial. Esto fue señalado por Mutti *et al.* (1994), quienes presentan un modelo alternativo que aplica en casos de estadios de nivel bajo en los que se pierde totalmente la conexión marina, e inundaciones que ocurren con un nivel del mar muy por encima del nivel de base previo de la cuenca continental. Es decir episodios de transgresión instantánea en tiempo geológico, como se mostró para el caso del Mar Negro. En el citado trabajo se presenta un modelo de cortejo sedimentario transgresivo que no desarrolla migración de facies hacia los bordes de cuenca. Estos modelos fueron posteriormente refinados en Legarreta (2002). Ambos trabajos hacen referencia a la misma mecánica de inundación para el evento tithoniano.

En el presente aporte se mostró en detalle el arreglo estratigráfico de la inundación tithoniana, concordando con los estudios antes mencionados y se describió además una sección residual sin/post transgresión comparable a la dejada por la inundación del Mar Muerto. Esta sería la única evidencia estratigráfica de la transgresión rápida y genéticamente se diferencia del clásico cortejo sedimentario transgresivo, y más aun de los depósitos de arenas transgresivas basales. Se postula la re-interpretación de los depósitos basales de la F. Vaca Muerta como Residuo de Transgresión Rápida *RTR* y no como arenas transgresivas basales, restándole o hasta descartando su potencial como roca reservorio. El área de estudio es muy amplia y abarca diversas posiciones topográficas al momento de la inundación, por lo que se interpreta que el modelo desarrollado tiene aplicación en la mayor parte de la Cuenca Neuquina. En la figura 28 se presenta el modelo estratigráfico secuencial que resume las observaciones del presente trabajo, el cual es una variación de los modelos originales de Mutti et al. (1994) y Legarreta (2002).

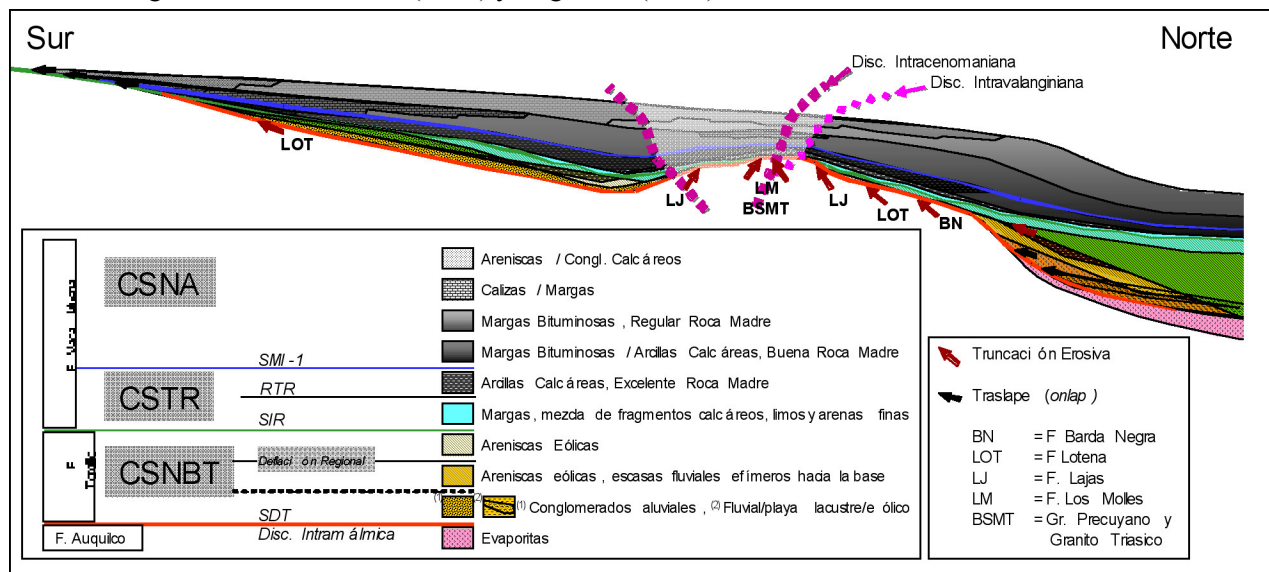


Figura 27: Modelo estratigráfico secuencial propuesto (modificado de Mutti *et al.*, 1994 y Legarreta, 2002). CSNBT: Cortejo Sedimentario de Nivel Bajo Total, CSTR: Cortejo Sedimentario de Transgresión Rápida, CSNA: Cortejo Sedimentario de Nivel Alto. El CSTR presenta gran continuidad facial y de espesores, no muestra migración lateral de facies ni traslape costero. La base del mismo está conformada por el RTR, también de continuidad regional.

## CONCLUSIONES

El modelo estratigráfico de alta frecuencia del límite Kimmeridgiano-Tithoniano brinda un marco geológico de detalle que facilita las tareas de prospección y delimitación de los reservorios que lo infrayacen.

Las superficies y unidades discriminadas por encima de la base de la F. Vaca Muerta se desarrollan muy próximas en tiempo y espacio. La superficie de inundación rápida *SIR* es neta, sin producir la nivelación y redistribución de los depósitos eólicos que la precedían. Se define el Cortejo Sedimentario de Transgresión Rápida para la inundación tithoniana, el cual presenta marcadas diferencias con el Cortejo Sedimentario Transgresivo de la estratigrafía secuencial clásica. No presenta relaciones de traslape sobre el Cortejo Sedimentario de Nivel Bajo Total que lo precede, ni migración, y su espesor y edad serían homogéneos en gran parte de la cuenca. Por analogía con la inundación del Mar Negro, se interpreta que su sección basal (*RTR*) se acumuló en pocos años. El potencial prospectivo del *RTR* como reservorio se considera nulo, al menos en el área estudiada.

El desarrollo de los mares de arena pre-inundación (Fm. Tordillo y equivalentes) estuvo fuertemente controlado por la Dorsal de Huíncul, la cual funcionó como trampa aerodinámica de las arenas en suspensión y barrera para las bajadas aluviales/fluviales. En las regiones donde esta barrera perdía relieve (extremo oriental de la Dorsal) o en la plataforma nororiental (donde no había barrera), la descarga aluvial/fluval alcanzó posiciones más internas de la cuenca (facies aluvio-fluviales de Fm. Sierras Blancas). La expansión del área de depositación eólica en su estadio final (Fm. Catriel) es interpretado como un aumento de la aridez en la cuenca y está limitada en su base por una superficie de deflación de correlación regional y un cambio del patrón de apilamiento de dunas/megadunas. En este período se registran depósitos eólicos saltuarios sobre el eje de la Dorsal de Huíncul y al sur de la misma, donde la interacción del relieve y la circulación aérea permitieron la acumulación/preservación de arena.

## AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de Pioneer Natural Resources Argentina por permitir esta publicación. A Gervasio Barzola, Diego Vaamonde y Daniel Kokogian por la lectura crítica del manuscrito y sus valiosos comentarios. A los geólogos y geofísicos de Pioneer, en especial a David Strickler y Jorge Vásquez por las discusiones y aportes que enriquecieron el presente trabajo.

## LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Arregui, C.; 1993. *Análisis estratigráfico-paleoambiental de la Formación Tordillo en el subsuelo de la cuenca neuquina*. Décimo Segundo Congreso Geológico Argentino y Segundo Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza, v. 1, p. 165–169.
- Bettini, F. H., 1984. *Pautas sobre cronología estructural en el área del cerro Lotena, cerro Granito y su implicancia en el significado de la dorsal del Neuquén, provincia de Neuquén*. IX° Congreso Geológico Argentino, Actas II: 342-361. Buenos Aires.
- Boll, A. y D. Valencio, 1996. *Relación estratigráfica entre las formaciones Tordillo y Vaca Muerta en el sector central de la Dorsal de Huíncul, provincia del Neuquén*. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas V : 205 - 223.
- Burckhardt, C.; 1903. *Beiträge zur Kenntniss der Jura und Kreide formation der Cordillera*. Paleont., L:1-145, 21 láms., 4 figs., Stuttgart.
- Cevallos, M.; 1996. *Análisis del desierto neógeno de Precordillera Central y Comparación con el mar de arena actual del Encón*. Tesis de Licenciatura en Cs. Geológicas, Universidad Nacional de San Juan.
- Cruz, C.E.; A. Boll; R. Gómez Omil; E.A. Martínez; C. Arregui; C.A. Gulisano; G.A. Laffitte y H.J. Villar; 2002. *Hábitat de hidrocarburos y sistemas de carga Los Molles y Vaca Muerta en el sector central de la Cuenca Neuquina, Argentina*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Di Gregorio, J.; 1972. *Neuquén*. En: A.F.Leanza (Dir. y Ed.) *Geología Regional Argentina*. Acad. Nac. Ciencias de Córdoba p: 439-505.
- De ferrariis, C.I.C.; 1947. *Edad del arco o dorsal antigua del Neuquén oriental de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata*. Asoc. Geolog. Arg., Rev.2(3):256-283. Buenos Aires.
- Fernández, M.; Hernán Verzi y Jorge Hechem; 2002. *Modelo evolutivo de las secuencias Calloviano Medio – Kimmeridgiano/Tithoniano temprano en la porción centro oriental de la Cuenca Neuquina – Argentina*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Fryberger y Ahlbrandt, 1979. *Mechanisms for the formation of aeolian sand seas*. Zeitchrift für Geomorphologie 23, 440-60.
- Groeber, P.: 1918. *Estratigrafía del Dogger de la República Argentina. Estudio Sintético Comparativo*. Dirección General de Geología e Hidrogeología. Boletín 18:1-81. Buenos Aires.
- Groeber, P.; 1946. *Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. Hoja Chos Malal*. Asoc. Geol. Arg. Rev. I-3: 177-208, 4 figs., 1 mapa, Bs.As.
- Gulisano C. y A. Gutierrez Pleimling; 1994. *The Jurassic of Neuquén Basin. a) Neuquén Province. Field Guide*. Secretaria de Minería de la Nación y Asociación Geológica Argentina, Serie E N#2. Buenos Aires.
- Herrero ducloux, A.; 1946. *Contribución al conocimiento geológico del Neuquén extraandino*. Bol. Inf. Petrol., 23(226):245-281. Buenos Aires.
- Herries, R.D.; 1993. *Contrasting styles of fluvial-aeolian interaction at a downwind erg margin: Jurassic Kayenta-Navajo transition, northeastern Arizona, USA*. North & Posser (eds.), Characterization of fluvial and aeolian reservoirs, Geological Society special Publication No.73, pp. 199-218.
- Gomez Omil, R.; J. Schmithalter; A. Cangini; L. Albariño; A. Corsi.; 2002. *El Grupo Cuyo en la Dorsal de Huíncul, consideraciones estratigráficas, tectónicas y petroleras*. Cuenca Neuquina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Keidel, J.; 1925. *Sobre la estructura tectónica de las capas petrolíferas en el oriente del territorio del Neuquén*. Min. Agr. Dir. Gral. Min. Geol., Bs.As, Publ. 8.5-67.
- Lancaster, N.; 1994. *Dune morphology and dynamics*. In: *Geomorphology of desert environment*. Eds. A. Abrahams and A. Parson. Chapman & Hall, London.

- Leanza, H.A. y C.A. Hugo; 1977. *Sucesión de amontes y edad de la Formación Vaca Muerta y sincrónicas entre los paralelos 35 y 40 l.s., Cuenca Neuquina-Mendocina*. Asoc. Geol. Arg. Rev. Tomo XXXII, N#4, Octubre-Diciembre. Buenos Aires.
- Legarreta, L. y C.A. Gulisano, 1989. Análisis estratigráfico de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior). En: G.A. Chebli y L. Spalletti (Eds.): *Cuencas Sedimentarias Argentinas*, Simposio Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlaciones Geológicas, 6:221-243. Tucumán.
- Legarreta, L. y M.A. 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.
- Legarreta, L.; G. Laffitte y S. Minniti; 1999. Cuenca Neuquina: Múltiples posibilidades en la serie Jurásico – Cretácicas del depocentro periandino. IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Mar del Plata.
- Legarreta, L.; 2001. *Desiccation events and non-marine clastic lowstands in the Neuquina Basin: stratigraphy, facies and hydrocarbon distribution*. American Association of Petroleum Geologists, Hedberg Conference:28-29. Mendoza, Argentina.
- Legarreta, L.; 2002. *Eventos de desecación en la Cuenca Neuquina: Depósito continentales y distribución de hidrocarburos*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Limeres, M., 1996. *Sequence Stratigraphy of the Lower-Middle Jurassic in Southern Neuquén: Implication or Unraveling Synsedimentary Tectonics along the Huíncul Wrench System*. GeoResearch Forum, Advances in Jurassic Research. Vols. 1-2: 295-304. Transtec Publications, Switzerland.
- Malone, P.; C. Saavedra, G. Vergani, J. C. Ferrero y M. Schiuma; 2002. *Reservorios del Jurásico Medio (Grupo Cuyo Superior), Cuenca Neuquina*. Simposio de Rocas reservorio de las Cuencas Productivas de la Argentina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- Marchese, H. G.; 1971. *Litoestratigrafía y variaciones faciales de las sedimentitas mesozoicas de la Cuenca Neuquina, Provincia de Neuquén, República Argentina*. Asociación Geológica Argentina Revista, v. 26, p. 343-410.
- Maretto, H., O. Carbone, C. Gazzera y M. Schiuma, 2002. *Los Reservorios de la Formación Tordillo*. En: Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas de la Argentina. Schiuma M., Hinterwimmer G. y Vergani G. eds. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata 2002. Pp: 335 -358.
- Meyer, B.L. y M.H. Nederlof; 1984. *Identification of Source Rocks on wireline logs by Density/Resistivity and Sonic Transit Time/Resistivity Crossplots*. AAPG Bulletin V.68, No.2, P.121-129.
- Mitchum, R. and M.A. Uliana, (1985). *Sequence stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina*. In: B.R. Berg and D.G. Wolberton (Eds.), *Seismic Stratigraphy II: an integrated approach to hydrocarbon analysis*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 39: 255-274. Tulsa.
- Muñoz, M., M. Giusiano, y A. Conti Persino; 1984. *El origen eólico de la Formación Tordillo (miembro Verde), en el yacimiento Loma La Lata, provincia del Neuquén*. IX Congreso Geológico Argentino, actas V: 315-323.
- Mutti E., C. A. Gulisano y L. Legarreta, 1994. *Anomalous Systems Tracts Stacking Patterns within Third Order Depositional Sequences (Jurassic-Cretaceous Back-Arc Neuquen Basin, Argentina Andes)*. In H.W. Posamentier and E. Mutti (Convs), *Second High-Resolution Sequence Stratigraphy Conference*, June 20-27, 1994 Abstract Book, pp. 137-143, Tremp.
- Mosquera, A.; 2002. *Inversión tectónica Jurásico Inferior en el sector central de la Dorsal de Huíncul, Área Los Bastos*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Mar del Plata.
- Parker, G.; 1965. *Relevamiento geológico a escala 1:25000 entre el Arroyo Picún Luefú y Catan Lil, a ambos lados de la Ruta Nacional N#40*. Inédito Y.P.F.
- Peroni, G., Di Mario, J. y Arregui, C. 1984. *Estudio estadístico de perfiles de buzamiento aplicado al análisis de paleoambientes – Formación Tordillo (cuenca neuquina), provincia del Neuquén*. IX Congreso Geológico Argentino, actas V: 243-257.
- Ploszkiewics, J.V.; L. Orchuela; J.C. vaillard y R. Viñes; 1984. *Compresión y desplazamiento lateral en la zona de la Falla Huíncul, estructuras asociadas, Provincia del Neuquén*. IX Congreso Geológico Argentino, Actas II: 163-169. Bariloche.
- Ryan, W. and W. Pitman; 1998. *Noah's Flood: the new scientific discoveries about the event that changed history*. Pub. by Simon & Schuster New York, A Touchstone Book.

- Orchuela, I.; J.V. Ploszkiewics y R. Viñes; 1981. *Reinterpretación estructural de la denominada "Dorsal Neuquina"*. VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis (20-26 de Setiembre). Actas III:281-293.
- Uliana, M.A.; K.T. biddle; and J. Cerdan; 1989. *Mesozoic extension and the formation of Argentina sedimentary basins*. In A.J. Tankard and H.R. Balkwill eds., *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins*: AAPG Memoir 46, p.615-631.
- Uliana, M.A.; L. Legarreta; G.A. Laffitte y H.J. Villar; 1999. *Estratigrafía y geoquímica de las facies generadoras de hidrocarburo en las cuencas petrolíferas de Argentina*. IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Tomo I:1-62. Buenos Aires.
- Vail, P.R.; 1987. *Seismic stratigraphy interpretations using sequence stratigraphy interpretation procedure*. En: A.W. Bally (Ed.): *Atlas of seismic stratigraphy*. AAPG Studies in Geol. 27:1-10.
- Van Wagoner, J.C.; R.M. Mitchum; K.M. Campion and V.D. Rahmanian; 1990. *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies*. American Association of Petroleum Geologists, *Methods in Exploration*, Series, N7, 55p.
- Veiga, R.; F. Pángaro y M. Fernández; 2002. *Modelo bidimensional y migración de hidrocarburos en el ámbito occidental de la Dorsal de Huíncul, Cuenca Neuquina, Argentina*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Mar del Plata.
- Vergani, G.D.; A.J. Tankard; H.J. Belotti and H.J. Welsink; 1995. *Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina*. In A.J. Tankard, R. Suárez S., and H.J. Welsink, *Petroleum Basins of South America*: AAPG Memoir 62, p. 383-402.
- 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*. International Congress and Exhibition of the AAPG. Abstracts: 186-187. Río de Janeiro, Brazil.
- Wilson, I.G.; 1973. *Ergs. Sedimentary Geology*, 10:77-106.
- Zavala, C., 1993. *Estratigrafía y análisis de facies de la Formación Lajas (Jurásico medio) en el sector suroccidental de la Cuenca Neuquina. Provincia del Neuquén. República Argentina*. Tesis Doctoral (inédita).
- Zavala, C. y H. Freije, 2002. *Cuñas clásticas jurásicas vinculadas a la Dorsal de Huíncul. Un ejemplo del área de Picún Leufú. Cuenca Neuquina, Argentina*. . V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Mar del Plata.
- Zavala, C., y R. González, 2001. *Estratigrafía del Grupo Cuyo (Jurásico inferior-medio) en la Sierra de la Vaca Muerta, Cuenca Neuquina*. Boletín de Informaciones Petroleras. Tercera Época, año XVII, N° 65:40-54.
- Zavala, C. y H. Freije; 2002. *Cuñas clásticas jurásicas vinculadas a la Dorsal de Huíncul. Un ejemplo del área Picún Leufú. Cuenca Neuquina, Argentina*. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Mar del Plata.