

EL JURÁSICO DEL DORSO DE LOS CHIHUIDOS, CONTRIBUCIÓN A SU CONOCIMIENTO

Eduardo Micucci¹, Alejandro Bande¹, Daniel Starck¹, Ricardo Veiga¹

1: Tecpetrol, eduardomicucci@tecpetrol.com, alejandro.bande@tecpetrol.com, daniel.starck@tecpetrol.com,
ricardoveiga@tecpetrol.com

Palabras clave: Cuenca Neuquina, Dorso de los Chihuidos, Jurásico, evolución geológica

ABSTRACT

The Chihuidos High is a regional NE-SW-oriented structure located in the central sector of the Neuquén Basin. Although its topographic relief is not impressive (around 600 m), covers a wide area of more than 2400 km² with a major axis longer than 80 km.

Traditionally was interpreted as an inverted half-graben during the Cretaceous and Cenozoic. The recent acquisition of new seismic data and its detailed analysis integrated with the previous information, allows us to visualize a more richer and complex history. Part of the structure was a "paleohigh" in early and middle Jurassic times, controlling deposition of Precuyo and Cuyo Groups. The orientation of the early-middle Jurassic paleohigh was similar to the recent Chihuidos High and was probably a transpressional regional structure. Lateral thickness variation of the Auquilco Formation would be controlled by its depositional environment with no tectonic control. Tordillo Formation thickness change laterally controlled by paleotopography. The Vaca Muerta – Quintuco system thickness is reduced towards the Chihuidos High, suggesting tectonic activity or the presence of a paleohigh during the late Jurassic – early Cretaceous..

INTRODUCCIÓN

El Dorso de los Chihuidos (DCH) es una gran estructura braquianticlinal, levemente asimétrica, de orientación NE-SW, ubicada en el sector centro occidental de la Cuenca Neuquina en la denominada región del Engolfamiento Neuquino (Alonso *et al.*, 2011) (Figuras 1 y 2B).

El DCH debe su morfología actual a los últimos movimientos del ciclo Andino, los cuales provocaron su exhumación y la erosión de más de 2.5 km de sedimento (Zamora Valcarce *et al.*, 2009). Su relieve topográfico actual es de más de 600 m, tiene unos 80 km de largo y unos 35 km de ancho, con una superficie mayor a los 2400 km².

Los primeros trabajos en la zona corresponden a Herrero Ducloux (1946), Braccini (1970) y Ramos (1981) quienes lo describieron como un conjunto de anticlinales desarrollados al este de la dislocación de Curacó.

La exploración petrolera a principios de la década del 60 por parte de YPF y ESSO trajo

consigo la adquisición de las primeras líneas sísmicas 2D, permitiendo vislumbrar su geometría interna. En el período 1961 – 1971 se perforan los primeros pozos exploratorios por parte de ESSO: Chihuidos 1, 2 y 3 (Ch.x-1, Ch.x-2 y Ch.x-3) e YPF: Amoco Chihuido (AmCh.x-1) los cuales atraviesan gran parte de la columna sedimentaria y constituyen la base del conocimiento de subsuelo que se tiene de la estructura.

SÍNTESIS ESTRATIGRÁFICA REGIONAL.

La estratigrafía en este sector de la Cuenca Neuquina comprende, desde sedimentitas de rift asignados al Grupo Precuyo hasta depósitos recientes (Figura 2A). Los espesores totales oscilan entre un mínimo de 4300 metros en unos de los ápices de la estructura, hasta más de 6000 m, estimados indirectamente a partir de dato sísmico y velocidades de pozo, en las partes más profundas.

Los depósitos más antiguos corresponden al Grupo Precuyo. Con este nombre se agrupa un

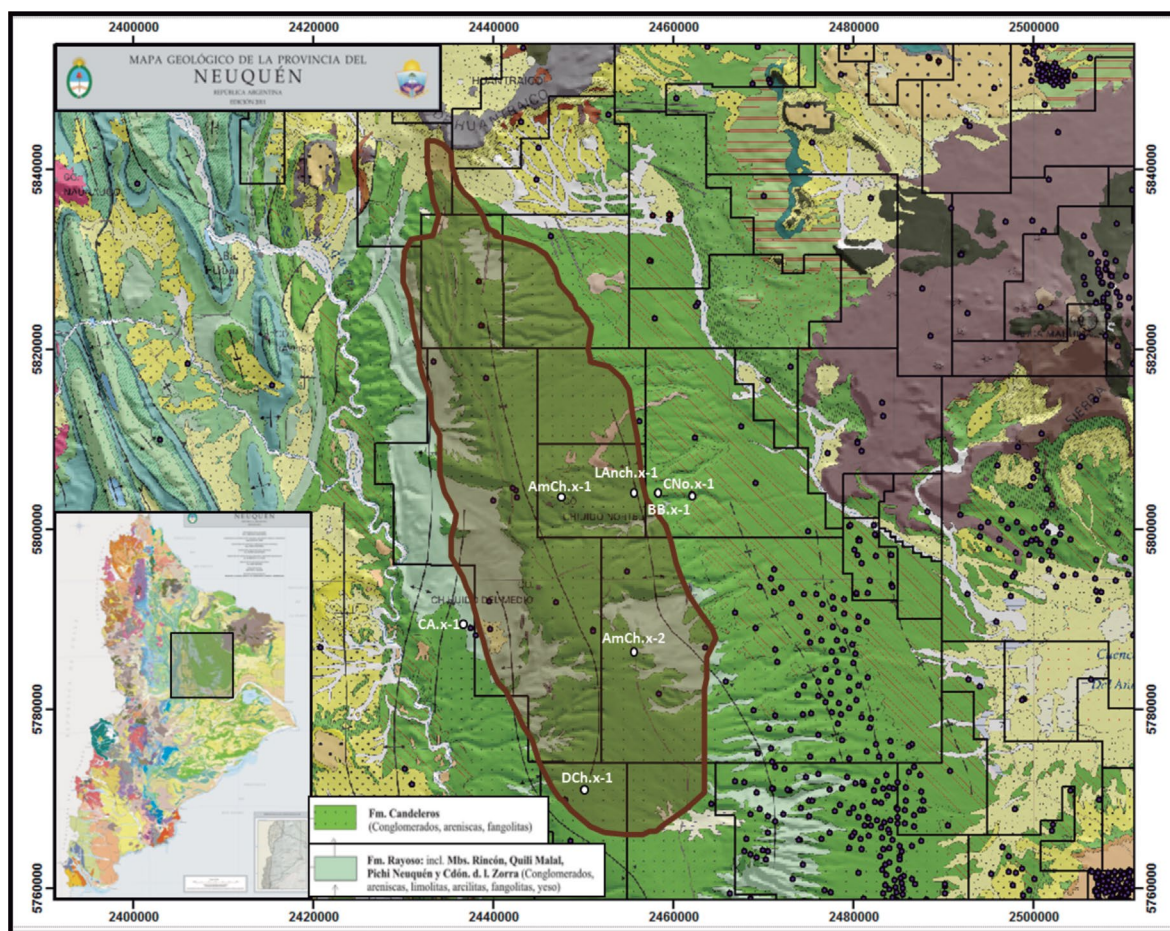


Figura 1. Mapa geológico de la provincia de Neuquén sobre el cual en color morado se resalta la extensión del Dorso de los Chihuidos. En blanco se marcan los pozos mencionados en el texto: AmCh.x-1 “Amoco Chihuido.x-1”, LAnch.x-1 “Loma Ancha”, CNo.x-1 “Cañadón Nogales”, BB.x-1 “Borde Blanco”, CA.x-1 “Cerro Arena”, AmCh.x-2 “Amoco Chihuido.x-2” y DCh.x-1 “Dorso de los Chihuidos”.

conjunto de depósitos de naturaleza piroclástica, volcánica y epiclástica, que conforman parte del relleno inicial de la Cuenca Neuquina, los cuales ocurren en hemigrábenes limitados por fallas de carácter extensional (Carbone *et al.*, 2011).

Por encima continua el Grupo Cuyo, término propuesto por Dellape *et al.* (1978) para identificar una secuencia sedimentaria limitada en su base y techo por las discordancias Intraliásica (Rioatuélica) e Intracalloviana respectivamente. El Grupo Cuyo constituye la primera ingresión marina que cubre la Cuenca Neuquina y que a través de sucesivas oscilaciones de la línea de costa depositó un espeso intervalo de pelitas, areniscas, conglomerados y evaporitas de ambientes marinos profundos hasta continentales (Arregui *et al.*, 2011a). Este Grupo constituye un sistema petrolero en sí mismo con todos sus elementos incluidos (roca madre, reservorios, sellos) y provee una importante cantidad de hidrocarburos sobre todo en el sector adosado al flanco sur de la Cuenca Neuquina (Arregui *et al.*, 2011a op. cit.).

El Grupo Lotena o Ciclo Loteniano – Chacayano constituye el segundo ciclo sedimentario del relleno de la Cuenca Neuquina (Leanza, 1992). Su base está marcada por la discordancia Intracalloviana, y su techo por la discordancia Intramálmica. Presenta una evolución con depósitos clásticos continentales, que se expanden paulatinamente alternando con areniscas marinas litorales (Formación Lotena). A medida que disminuye el aporte comienzan a desarrollarse plataformas carbonáticas de ambientes marinos correspondientes a la Formación Barda Negra. Finaliza con

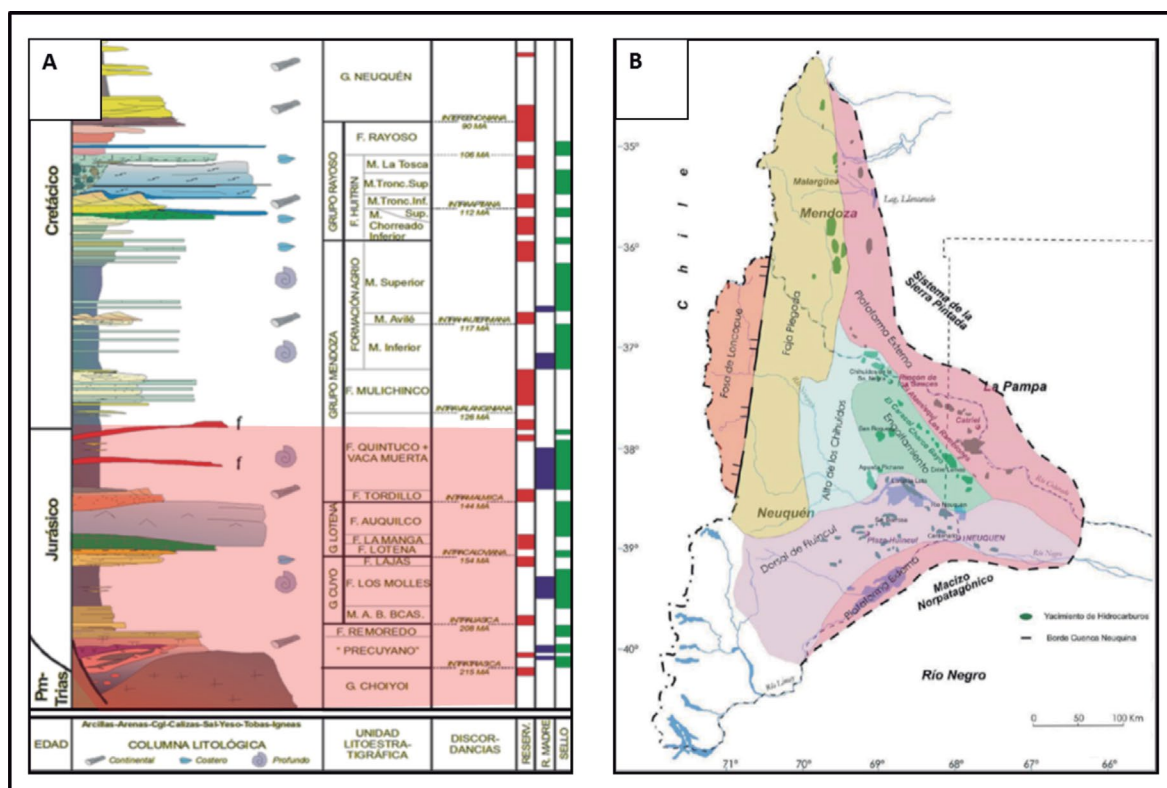


Figura 2A. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Neuquina con el intervalo Jurásico resaltado (rojo) modificado de Brisson y Veiga (1999). 2B: regiones morfoestructurales de la Cuenca Neuquina. Tomado de Alonso *et al.* 2011.

un período de restricción producto de un brusco descenso del nivel de base, donde se depositan importantes espesores de evaporitas (principalmente yeso y anhidrita) de la Formación Auquilco (Arregui *et al.*, 2011b).

El Grupo Mendoza (Stipanovic *et al.*, 1968) está integrado por los depósitos sedimentarios continentales del Jurásico Superior de la Formación Tordillo, los cuales constituyen un potente complejo de sedimentos clásticos depositado como consecuencia de una profunda modificación en la paleogeografía de la Cuenca Neuquina ocurrida durante el Kimmeridgiano. Por encima se desarrolla una generalizada inundación marina que en forma abrupta deposita lutitas negras con elevado contenido de materia orgánica correspondientes a la Formación Vaca Muerta. Los niveles más antiguos de esta unidad se depositaron durante el Tithoniano constituyendo la principal roca generadora de hidrocarburos de la cuenca y objetivo de estudios como reservorio no convencional. Posteriormente, durante el Cretácico se depositan los niveles superiores del grupo: las Formaciones Quintuco y Mulichinco.

SÍNTESIS ESTRUCTURAL REGIONAL.

El DCH se encuentra ubicado en la parte central de la Cuenca Neuquina, en un sector denominado originalmente “Centro de Cuenca” y que actualmente tiende a subdividirse en dos partes: “Alto de los Chihuidos” y “Engolfamiento Neuquino” (Figura 2B). De esta manera, los límites del Dorso serían: la Dorsal de Huincul hacia el Sur, la Faja Plegada y Corrida del Agrio hacia el Oeste y el Bajo de Añelo al Este y la Región de Plataforma hacia el Noreste.

Más allá de las publicaciones citadas al comienzo, no existen trabajos que se ocupen de la estructura del Dorso de los Chihuidos en forma integral.

Leanza *et al.* (2001) describen el DCH como un gran anticlinorio en superficie con su flanco occidental más empujado que el oriental y proponen su origen debido a procesos de inversión tectónica controlados por anisotropías previas de basamento.

Cristallini *et al.* (2005) notan que la morfología, topografía, y drenaje del dorso indican un levantamiento reciente y relacionan esta estructura a la inversión de un hemigraben precuyano.

Maretto y Pángaro (2005) plantean que el DCH se comportó como un depocentro asociado posiblemente a un antiguo hemigraben con bloque hundido al E, e identifican al menos dos eventos de levantamiento: uno en el Berriasiano -Valanginiano inferior durante la depositación de la Formación Quintuco y otro reciente durante el Terciario (Neógeno) donde se produce un levantamiento cercano a los 1500 metros y se erosionan más de 1000 metros de sedimentos.

Mosquera y Ramos (2006) relacionaron la existencia del DCH a una inversión tectónica vinculada a subducción oblicua entre el Jurásico Inferior y Cretácico Inferior.

Zamora Valcarce *et al.* (2009), proponen, basándose en trazas de fisión de apatita, tres pulsos de levantamiento: el primero en el Eoceno, siendo el responsable de la erosión de unos 1.000 m

de espesor sedimentario; y dos pulsos discretos durante el Mioceno con una erosión de unos 700 m y 750 m de la cobertura, respectivamente.

Messenger *et al.*, (2010) analizan terrazas y depósitos aluviales remanentes del río Neuquén y proponen que el régimen compresivo en este sector de la cuenca se habría preservado al menos hasta el límite Plioceno – Cuaternario.

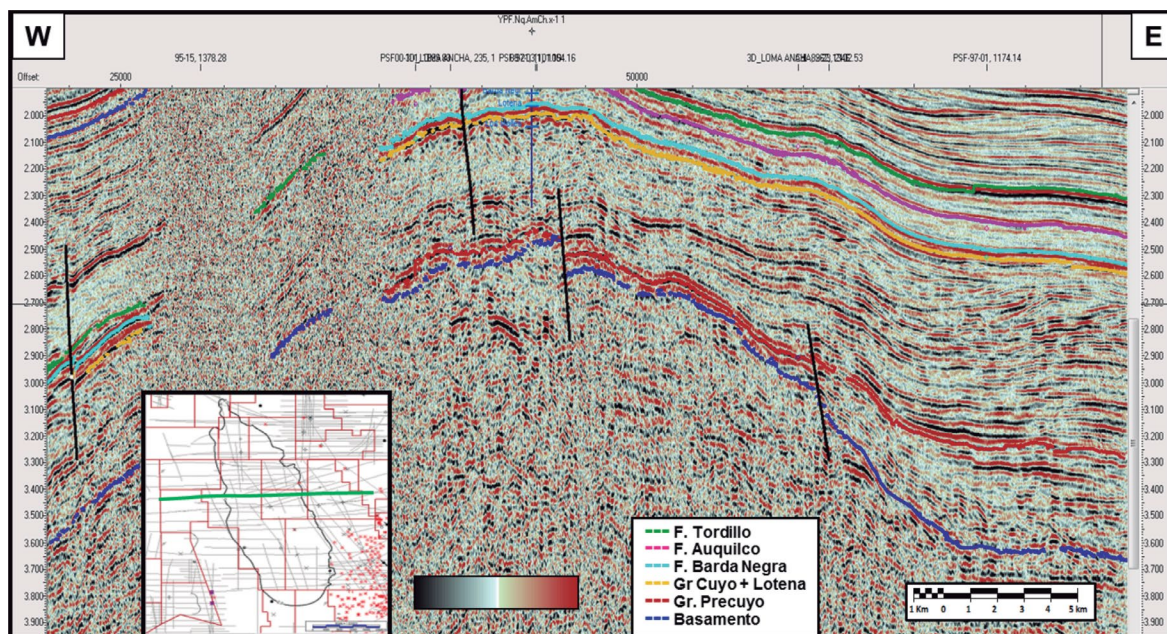


Figura 3. Línea sísmica 2D Mostrando la estructura profunda del DCH. Nótese como los depósitos asignados al Gr Precuyo se desarrollan en el flanco de la estructura.

EL REGISTRO JURÁSICO EN EL DORSO DE LOS CHIHUIDOS

Basamento y Grupo Precuyo

Estas unidades no afloran en ningún sector dentro del ámbito del DCH ni fueron perforadas por ningún pozo, por lo que su conocimiento se restringe a la interpretación de la información sísmica y de pozo existente. Para realizar la interpretación sísmica se asignó como correspondiente al tope del Basamento al evento sísmico que separa reflexiones discontinuas o de poca continuidad lateral en la parte inferior, de reflexiones continuas en la parte superior. Se interpretó un segundo horizonte que constituye la base de progradaciones provenientes del Este al cual se lo denominó como tope Precuyo (Figura 3).

Partiendo de la subdivisión anterior la interpretación sísmica muestra dos hechos relevantes: 1) salvo sectores muy reducidos que se discutirán en detalle más adelante, el núcleo de la estructura parece estar compuesto por rocas correspondientes al basamento de la cuenca, no por sedimentitas

de un hemigraben y 2) existe, en la parte externa del flanco oriental del DCH, una cuña de sedimentitas asignadas al Grupo Precuyo, la cual parece poseer un patrón divergente de reflexiones sísmicas que se adelgazan rápidamente hacia el ápice de la estructura (la calidad del dato sísmico es mala). No se puede aseverar de que esta cuña de sedimentos corresponda al relleno de un hemigraben porque no se ha podido identificar la falla correspondiente. En el sector occidental del DCH, la calidad de las líneas sísmicas disminuye considerablemente pero no parece existir un depocentro equivalente.

Esta configuración, condicionada por la regular calidad del dato sísmico, sugiere la presencia de una estructura positiva en el Jurásico inferior, un “Proto Dorso” (Figura 16 A), que en la parte externa de al menos uno de sus flancos se desarrolló una acumulación sedimentaria. Esta configuración positiva continúa, como se verá en detalle más adelante, en tiempos del Grupo Cuyo afectando parcialmente los espesores depositados de esta unidad.

Respecto a la eventual presencia de roca madre y de reservorios, podría existir, como en cualquier hemigraben, niveles de ambiente continental con propiedades oleogénicas, aunque en este caso por el tamaño de los depósitos no se habrían generado cantidades significativas de hidrocarburos. Los potenciales niveles reservorios seguramente vieron muy reducida sus propiedades petrofísicas primarias debido al elevado grado de soterramiento que sufrieron, por lo cual no tendrían a priori especial relevancia.

Otro dato de interés surge de aplicar atributos sísmicos de tipo geométrico, a las superficies interpretadas como tope del Grupo Precuyo en los dos “surveys” 3D existentes en el ámbito del DCH: Loma Ranqueles y Loma Ancha (Figura 4). En Loma Ancha las fallas / fracturas principales poseen un rumbo NE-SW. Por el contrario, en la sísmica 3D de Loma Ranqueles, de inferior calidad, los pocos rasgos estructurales reconocibles coinciden con el rumbo actual de DCH, esto es: NNW-SSE.

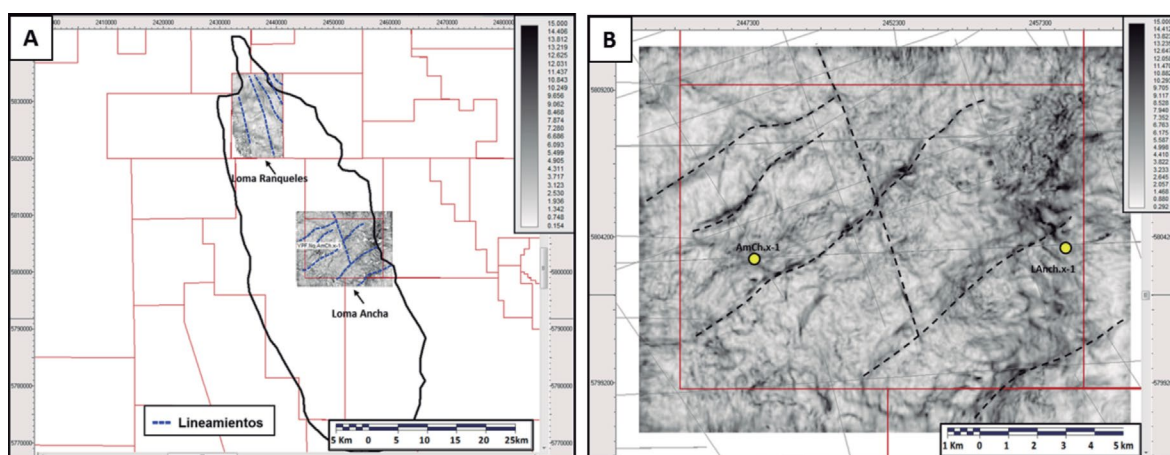


Figura 4A. Ubicación de la información sísmica 3D existente en el ámbito del DCH con los lineamientos visualizados aplicando el Atributo de Coherencia a la superficie del tope del Grupo Precuyo. 4B. Detalle del cubo sísmico de Loma Ancha.

Estas diferencias en principio podrían tener dos explicaciones posibles: 1) la diferencia de calidad de los cubos sísmicos permite en visualizar con uno de ellos mayor detalle las discontinuidades existentes y 2) existe un cambio en la fábrica predominante entre el sector central del DCH (Loma Ancha) en el cual predominan las discontinuidades con rumbo NE-SW y la parte Norte del Dorso (Loma Ranqueles) con discontinuidades de rumbo NW-SE.

Analizando en detalle este juego de fracturas NE-SW se observan asociadas a paquetes convergentes de reflexiones (Figura 5) que podrían corresponder a pequeños depocentros rellenos con sedimentitas que pertenecen al Grupo Precuyo o al basamento de la cuenca. Adicionalmente, algunas de estas fallas se invirtieron controlando la depositación de la parte basal del Grupo Cuyo y, posteriormente, la Formación Auquilco.

En resumen, la información disponible, a pesar de su mala calidad, no es compatible con la idea de que el DCH surgió como inversión tectónica de un gran hemigraben precuyano. Los depósitos del flanco oriental están en una posición externa extendiéndose fuera del ámbito del DCH, no muestran signos de inversión tectónica y no se ha reconocido la falla que controló su depositación. Los depósitos visualizados en el sector de Loma Ancha son de muy reducida magnitud y no queda claro si corresponden al Grupo Precuyo o a depósitos más antiguos.

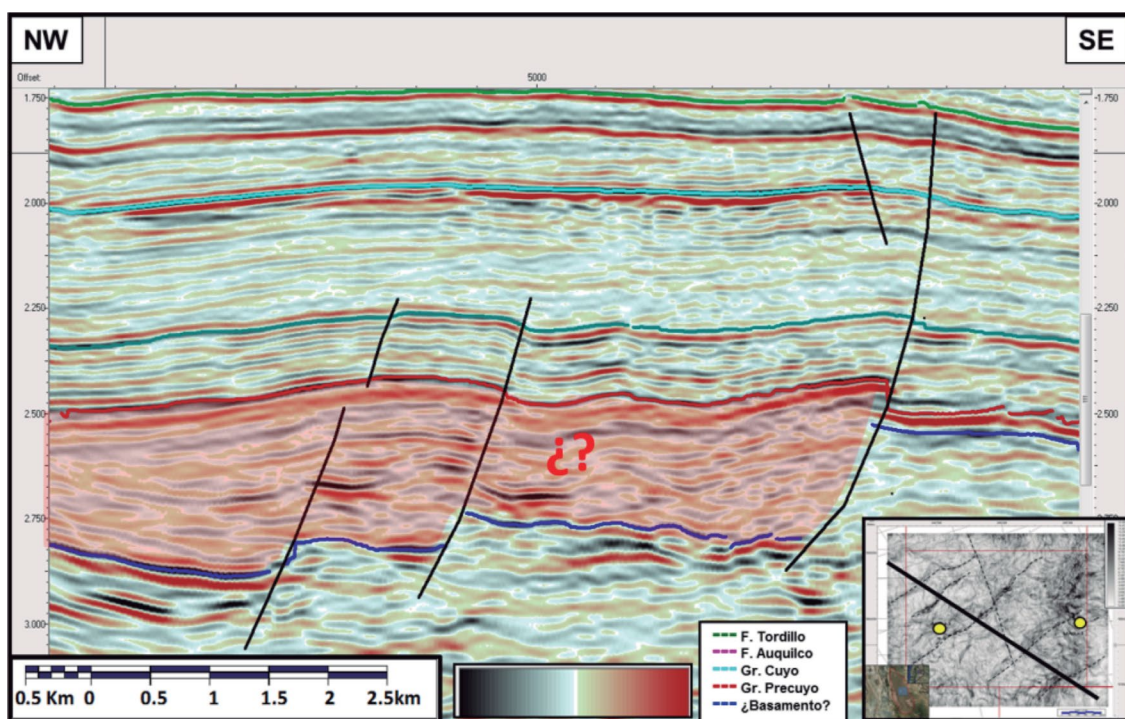


Figura 5. Línea sísmica arbitraria de cubo 3D Loma Ancha, que muestra un detalle de la fracturación de rumbo NE-SW que afecta a los Grupos Precuyo y Cuyo. Resaltado en rojo un paquete de reflexiones convergentes que podrían corresponder al relleno de pequeños hemigrábenes. Nótese como posteriormente la falla de la derecha se reactiva en forma inversa afectando al Grupo Mendoza.

Grupo Cuyo

Las sedimentitas de este grupo no afloran en ningún sector, dentro del ámbito del DCH y solo han sido atravesadas, por el pozo AmCh.x-1, en forma parcial con un espesor de 505 metros.

Integrando la descripción litológica de este pozo con la información de perfiles podemos subdividir este grupo en cuatro secciones (Figura 6):

-Una sección inferior (4098 – 4180 mbbp) constituida por areniscas cuarzosas de grano fino muy compactas, con intercalaciones menores de lutitas oscuras. Estas son las facies asignadas originalmente al “Complejo Litológico Basal” o Grupo Precuyo. Examinando en detalle los recortes de perforación se observa que no hay presencia de material volcánico y/o piroclástico; los niveles arenosos poseen rastros secos de petróleo que no habían sido reportados cuando se describió el cutting durante la perforación del pozo y los niveles pelíticos intercalados tuvieron manifestaciones de metano durante la perforación. Esta descripción es consistente con facies de arenosas finas de centro de cuenca (¿turbiditas?).

- Una sección intermedia inferior (3870 - 4098 mbbp) constituida por un 60 – 70 % de lutitas

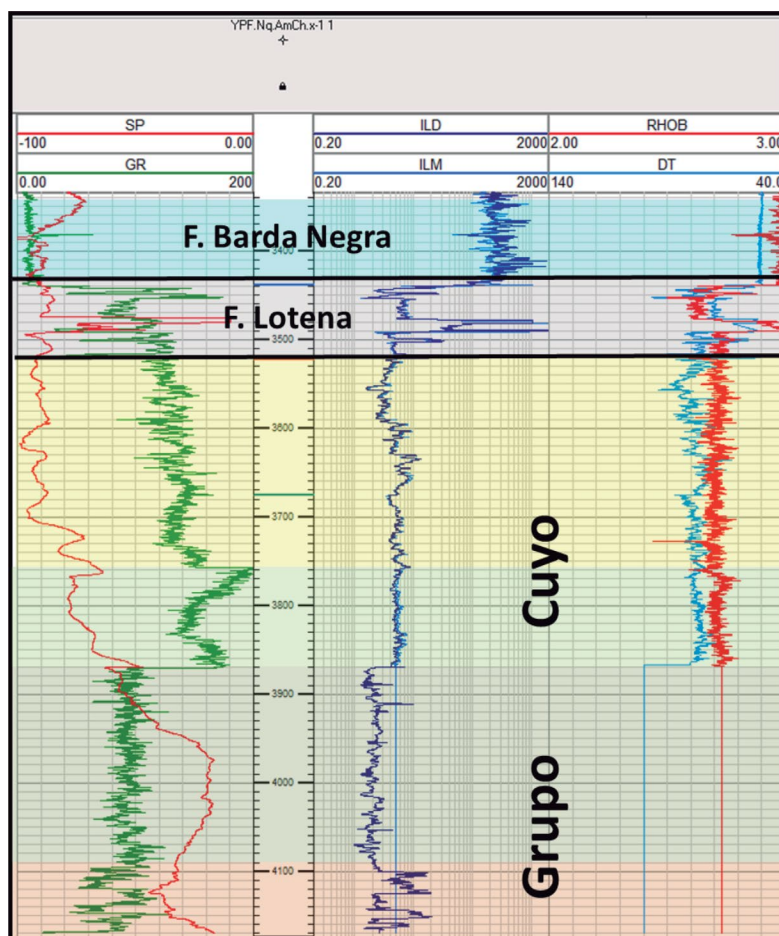


Figura 6. Perfiles del pozo AMCh.x-1 (Amoco Chihuido) con su interpretación asociada.

y fangolitas gris oscuro a negras en partes carbonosas, intercalada con un 30 – 40 % de areniscas muy finas ligeramente calcáreas.

- Una sección intermedia superior (3760 – 3870 mbbp) constituida casi exclusivamente por fangolitas y lutitas, gris oscura a negra, en parte carbonosas.

- Una sección superior (3520 - 3760 mbbp) integrada por una mezcla de proporciones variables de fangolitas, areniscas de grano fino y delgados niveles de caliza, con predominio de las primeras. Esta sección muestra pocas diferencias, a nivel perfiles, con la suprayacente Formación Lotena. Esta dificultad en separar estas dos unidades ya fue reconocida por las personas que describieron originalmente el cutting del pozo, los cuales hablan de un pasaje transicional entre ambas unidades. Es posible que un estudio de detalle arroje cambios en los espesores de estas formaciones.

En general todos los niveles reservorios encontrados mostraron mediocres a malas propiedades petrofísicas, esto se debe seguramente a una combinación de pobres condiciones originales sumado a la pérdida de porosidad y permeabilidad por compactación y procesos diagenéticos.

En el dato sísmico, las reflexiones correspondientes al Grupo Cuyo también pueden dividirse en 4 secuencias (Figuras 7 y 8), cuyos límites no se corresponden exactamente con la subdivisión litológica mencionada anteriormente:

- Una Sección Inferior (1): constituida por reflexiones que se disponen haciendo downlap sobre el flanco del DCH, no habiendo alcanzado la cresta de la estructura, o habiéndolo hecho con un espesor muy reducido. Estos eventos son facies de bottomsets correspondientes a todo un sistema progradante cuyos quiebre de plataforma se encuentra a unos 40 – 50 km al sureste. Estos niveles no habrían sido perforados por el pozo AmCh.x-1.

- Una sección intermedia inferior (2): en la cual los eventos sísmicos se disponen con un arreglo regional progradante. Puede observarse que estas facies corresponden a bottomsets de un segundo episodio progradante, el cual perdió por erosión (¿Discordancia Intrabajociana?) toda la porción superior de los eventos de foresets y las facies de topsets. Este intervalo coincide parcialmente con la sección inferior descrita en el cutting (4098 – 4180 mbbp) del AmCh.x-1, donde se produjeron manifestaciones de HC durante la perforación del pozo.

- Una sección intermedia superior (3): correspondientes a facies de foresets, sobre el flanco del Dorso, y bottomsets, sobre la cresta del Dorso del último ciclo progradante observado. Al igual que la sección anterior, una discordancia erosiona toda la parte superior. Este intervalo coincide parcialmente con las secciones intermedias, inferior y superior, descritas en el cutting (3760 - 4098 mbbp) del AmCh.x-1 y se corresponde con un tercer ciclo transgresivo. Estos niveles se corresponderían con la máxima expansión marina alcanzada durante el Toarciano – Aaleniano (p.e. Arregui *et al.* 2011a).

- Una sección superior (4): constituida por eventos sísmicos dispuestos con un arreglo agradante, a escala regional, depositados luego de un importante episodio erosivo (¿Discordancia Intrabajociana?) que eliminó parte de la sección 2 y gran parte de la sección 3. Este intervalo

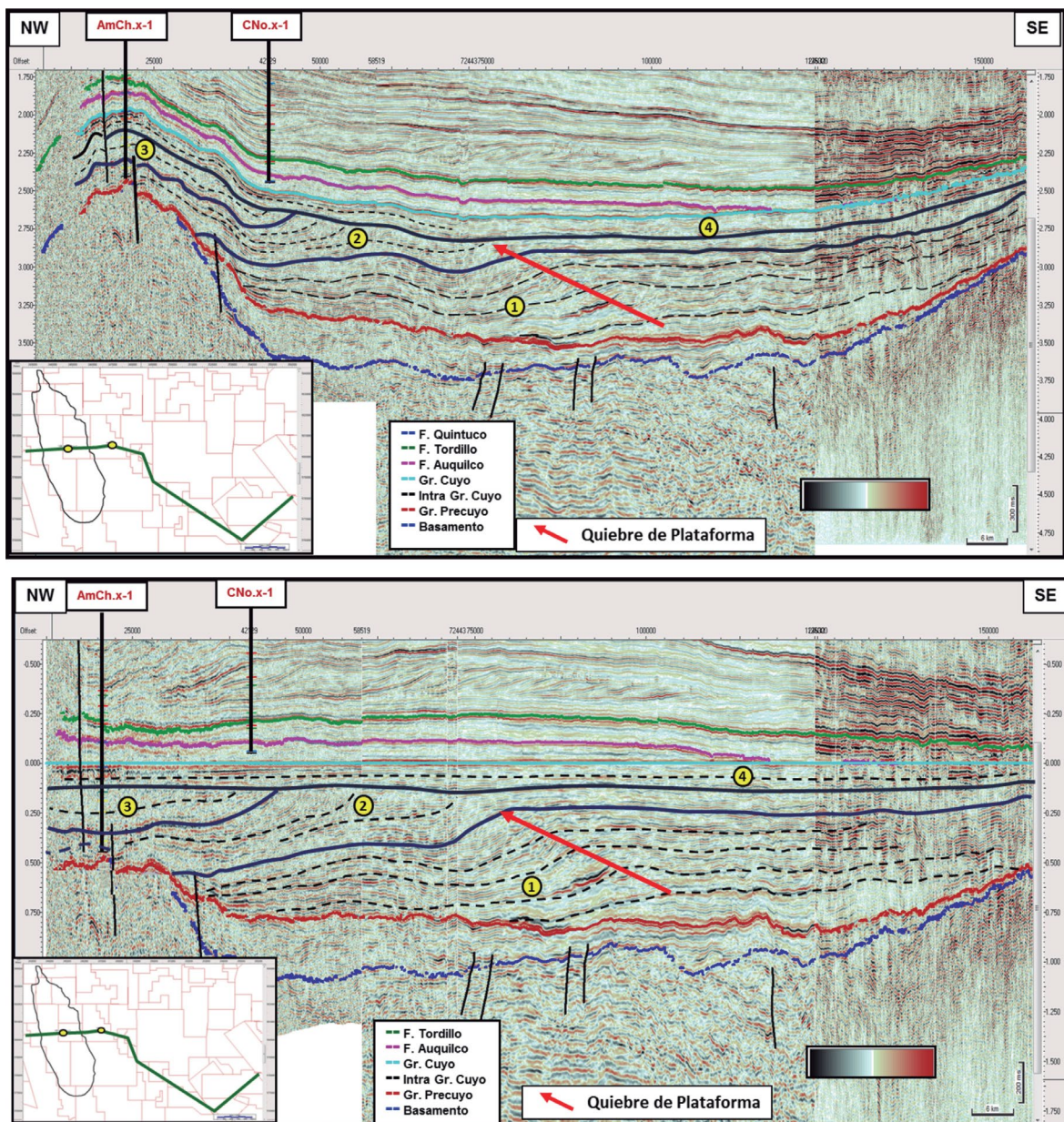


Figura 7. Transecta sísmica mostrando las progradaciones del Grupo Cuyo . Arriba, sección sin horizontalizar. Abajo sección horizontalizada a la base del Grupo Lotena. Nótese como la cresta actual del DCH parece haber sido un elemento positivo a comienzos de la deposición del Grupo Cuyo y como el espacio de acomodación es cada vez menor, la línea que conecta los puntos de quiebre de plataforma (flecha roja) inclina pendiente arriba.

sísmico abarca también los depósitos asignados a la Formación Lotena en el pozo AmCh.x-1. Esta sección puede corresponder, con la retracción generalizada que sufre el nivel del mar luego de su máxima expansión en el Toarciano – Aaleniano y que lleva a la instalación de un régimen litoral a fluvial para culminar con un evento evaporítico de escaso espesor, la Formación Tábanos, en la parte interna de la cuenca (Arregui et. al.. 2011a); o puede estar reflejando un pulso de crecimiento de la estructura.

En conjunto puede observarse que el Grupo Cuyo en su totalidad presenta un espesor menor en la parte central y Norte del DCH (Figura 16A). Esto se debe a que el DCH, en sus inicios controló su depositación de alguna manera: ya sea siendo un elemento positivo o teniendo un pulso de crecimiento durante ese tiempo. Esto se corrobora analizando las geometrías de las progradaciones, las cuales muestran que la línea que conecta los quiebres de plataforma inclina hacia arriba, indicando que es más importante el volumen de sedimento que el espacio de acomodación disponible. En líneas ubicadas en la parte Sur del DCH, esta pendiente es mucho más suave. Este análisis no se realizó en el flanco occidental del DCH por la mala calidad del dato sísmico.

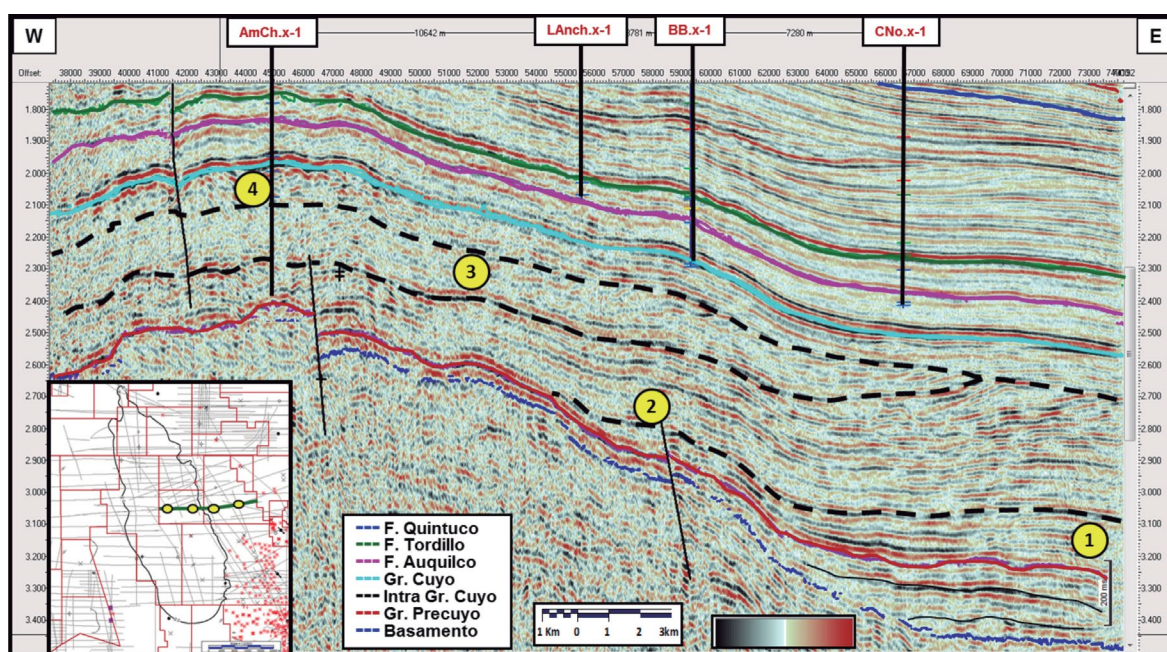


Figura 8. Detalle de la Figura anterior mostrando las progradaciones del Grupo Cuyo sobre el DCH.

Grupo Lotena

En el ámbito del DCH, solamente el pozo AmCh.x-1 atravesó este grupo en su totalidad. En los bordes externos, el pozo Borde Blanco x-1 (BB.x-1, YPF, 1991) en el E y el pozo Cerro Arena x-1 en el O perforaron parcialmente la Formación Barda Negra.

La Formación Lotena, se encontró en el AmCh.x-1 a unos 3500 m de profundidad estando caracterizada por una sucesión de calizas rosadas, limolitas grises, fangolitas calcáreas con intercalaciones de delgados bancos de areniscas gris clara de grano fino muy compactas. Es muy difícil determinar el límite con el Grupo Cuyo, porque no hay un cambio litológico marcado. El espesor asignado a la Formación Lotena es de unos 150 m. Esta unidad presentó escasas manifestaciones de gas metano durante la perforación y presencia de dióxido de carbono con una

participación de hasta el 47%. Sus características como reservorio son de regulares a malas según se desprende de la información de perfiles y control geológico. En el dato sísmico esta unidad no puede separarse de la última sección del Grupo Cuyo. La falta de definición y continuidad de los eventos sísmicos de todo este paquete muestra la falta de contrastes de impedancia importantes entre las distintas litologías, a lo que debe sumarse el reducido espesor de los niveles individuales y la profundidad a la que se encuentran.

La Formación Barda Negra posee unos 83 metros espesor en la zona de la cresta del DCH. Es una secuencia heterogénea de calizas, areniscas, limolitas y anhidrita de colores castaños y grises. Se detectó presencia de metano durante la perforación, tanto en AmCh.x-1 como en el BB.x-1 y de dióxido de carbono en el AmCh.x-1. Los niveles arenosos y calcáreos mostraron malas características reservorio en ambos pozos.

La Formación Auquilco se encontraría presente en todo el ámbito del DCH, dónde fue atravesada totalmente por los sondeos AmCh x-1 y CA x-1 los cuales corroboraron una composición anhidrítica, con escasas intercalaciones de calizas. La diferencia de espesor constatada por estos pozos (405 metros en AmCh x-1 versus 88 metros en CA. X-1) confirma las variaciones observadas en las secciones sísmicas E-W registradas sobre el DCH. En las mismas, el espesor de esta unidad muestra un suave y sistemático aumento de espesor hacia el oeste, hasta llegar a un máximo localizado aproximadamente en la parte alta del flanco oeste del DCH (situación perforada por el AmCh x-1). A partir de allí el espesor disminuye fuertemente hacia el poniente (Figura 13A). Esta geometría no ha sido objeto de estudios específicos; se la ha relacionado a una marcada subsidencia del DCH (Arregui *et al.* 2011b), aunque también se podría asimilar a una “rampa” evaporítica que avanzaba hacia el oeste, en un entorno deposicional del tipo “deep water-deep basin” en el sentido de Kendall (1992) (Figura 9). La restricción generalizada que sufrió la cuenca durante el Kimmeridgiano provocó la interrupción de esta “progradación” evaporítica, y la posterior depositación de la Formación Tordillo, la cual lo hizo con un patrón traslapante sobre la rampa de la Formación Auquilco (Legarreta 2002, Legarreta *et al.* 2005)

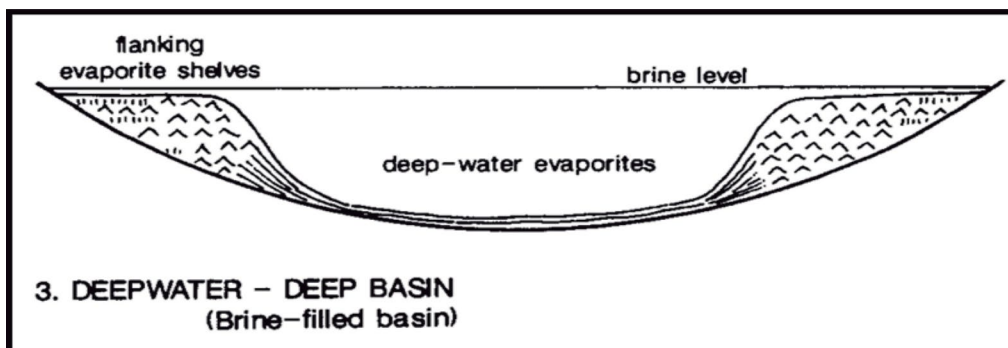


Figura 9. Modelo de Facies evaporíticas (tomado de Kendall, 1979) para ambientes con profundidades de agua elevadas (> 40 m).

Esta rampa evaporítica es un rasgo muy prominente en las secciones sísmicas y muestra un arrumbamiento general N-S, es decir levemente oblicua al del dorso. De esta manera en la mitad norte del DCH se ubica en la posición crestal, para ir ubicándose hacia el flanco occidental a medida que se avanza hacia el sur. El ancho de este rasgo es de unos 5 km, en los que se produce un acuñamiento de unos 400 m (con distinto sentido ya sea para la Fm. Auquilco o para la Fm. Tordillo), lo que implicaría un talud (“paleopendiente”) de casi 5°.

En síntesis, la variación de espesor de la Formación Auquilco podría explicarse con un modelo de facies, sin necesidad de una subsidencia puntual de un sector de la cuenca. En forma asociada pueden haber existido cantidades variables de erosión que ayudaron a modelar la paleotopografía de la unidad.

Grupo Mendoza

La Formación Tordillo contiene los mayores volúmenes de reservas de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina (Maretto *et al.* 2002) y fue uno de los principales objetivos exploratorios cuando comenzó la prospección de hidrocarburos a principios de la década del setenta. Al menos tres pozos perforaron por completo esta unidad: AmCh.x-1, CA.x-1 (Cerro Arena) y BB.x-1 (Borde Blanco); mientras que los sondeos AH.x-1 (Anticlinal Huitrín), Amch.x-2 (Amoco Chihuido), CA.x-4 CA.x-10 (Cerro Arena) atravesaron espesores parciales. Con la llegada de la exploración No Convencional, varios sondeos perforaron solamente unos 20 – 30 m de esta unidad para poder perfilar adecuadamente la Formación Vaca Muerta. Esta Formación fue depositada en ambiente continental, pudiéndose reconocer diferentes subambientes que van desde fluviales de variado tipo hasta eólico. Esta gran variación facial, sumada a procesos diagenéticos que alteraron sus propiedades petrofísicas van a ser muy importantes a la hora de definir sus propiedades como roca reservorio y los diferentes modelos de entrapamiento. En subsuelo esta unidad se suele subdividir en las Formaciones Catriel y Sierras Blancas; la primera de malas características petrofísicas por lo que actúa de sello de la segunda. En la zona del DCH, la Formación Tordillo presenta importantes variaciones de espesor, debido a su depositación estuvo controlada por la paleotopografía generada

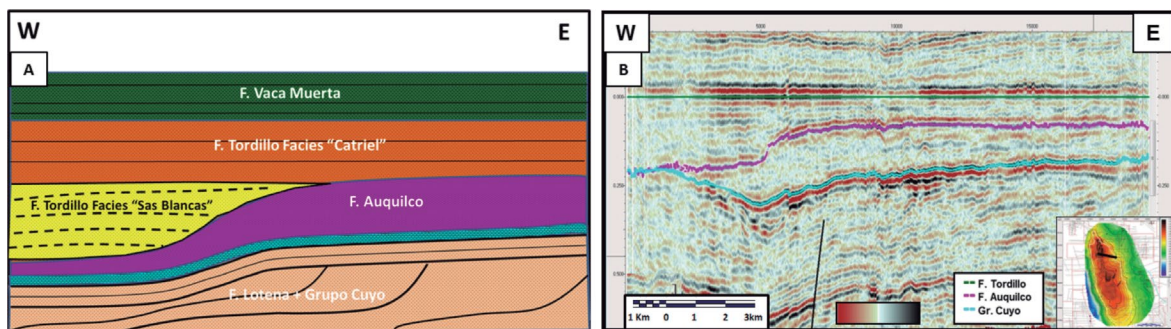


Figura 10. A Modelo de depositación conceptual de la Fm. Tordillo. B. Línea sísmica horizontalizada al tope de la Fm. Tordillo.

en el estadio evolutivo previo. De esta manera los mayores espesores de la Formación Tordillo se depositaron en el sector occidental, sobre espesores relativamente delgados de la infrayacente Formación Auquilco, rellenando la paleotopografía con facies de buenas características petrofísicas (tipo “Sierras Blancas”); depositándose posteriormente todo un conjunto de sedimentos de mala calidad como reservorio (facies tipo “Catriel”) que cubren toda la estructura (Figuras 10A y 10B) hasta rebasarla totalmente y alcanzar una distribución más generalizada.

Por este motivo, los pozos ubicados en el flanco oriental encuentran exclusivamente reservorios de mala calidad, constituidos por areniscas finas a medianas, subangulosas con matriz arcillo – tobácea, sin rastros ni manifestaciones, con intercalaciones de niveles limoarcillosos que se hacen más abundantes en la parte superior; mientras que los pozos del flanco occidental

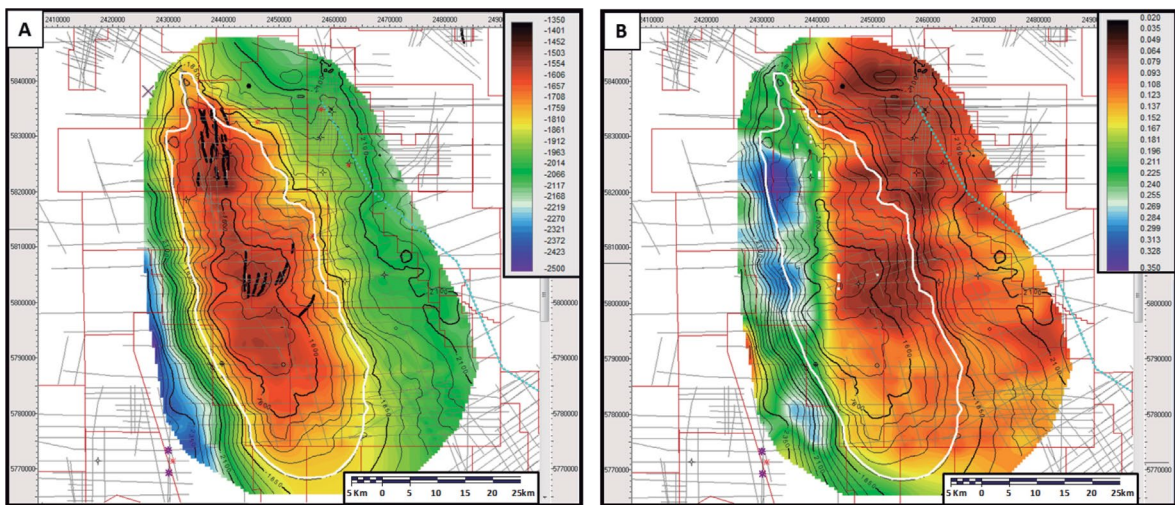


Figura 11. A: Mapa estructural (tvds) de la F Tordillo. B: Mapa isocronopáquico (s) de la F Tordillo con los contornos estructurales superpuestos

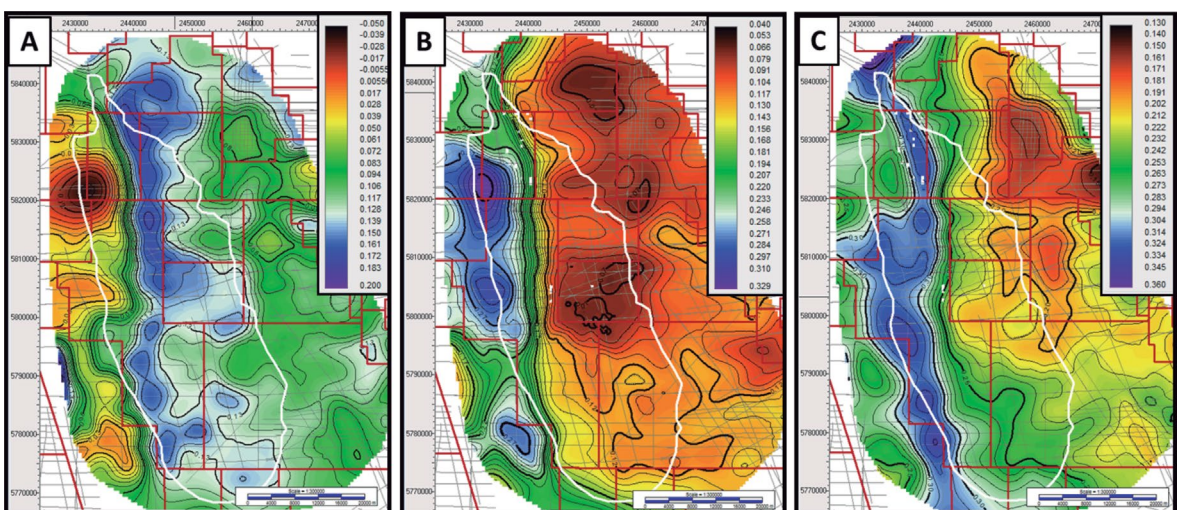


Figura 12. A: Isocronopáquico Formación Auquilco. B: isocronopáquico Formación Tordillo. C: Isocronopáquico suma de las formaciones Auquilco y Tordillo con los contornos estructurales superpuestos

presentan adicionalmente al anterior, un nivel inferior de mejor calidad: areniscas de muy variada granulometría, matriz arcillosa y escaso cemento silíceo.

Esta combinación de gran variación de espesor con estructura con cierre en cuatro direcciones abrió la posibilidad de prospectar entrampamientos de tipo combinado, orientados a perforar la parte más espesa donde se alojan los mejores reservorios en un sector donde exista cierre estructural (Figura 11). Este modelo dejaba todo el flanco occidental del Dorso con potencial exploratorio.

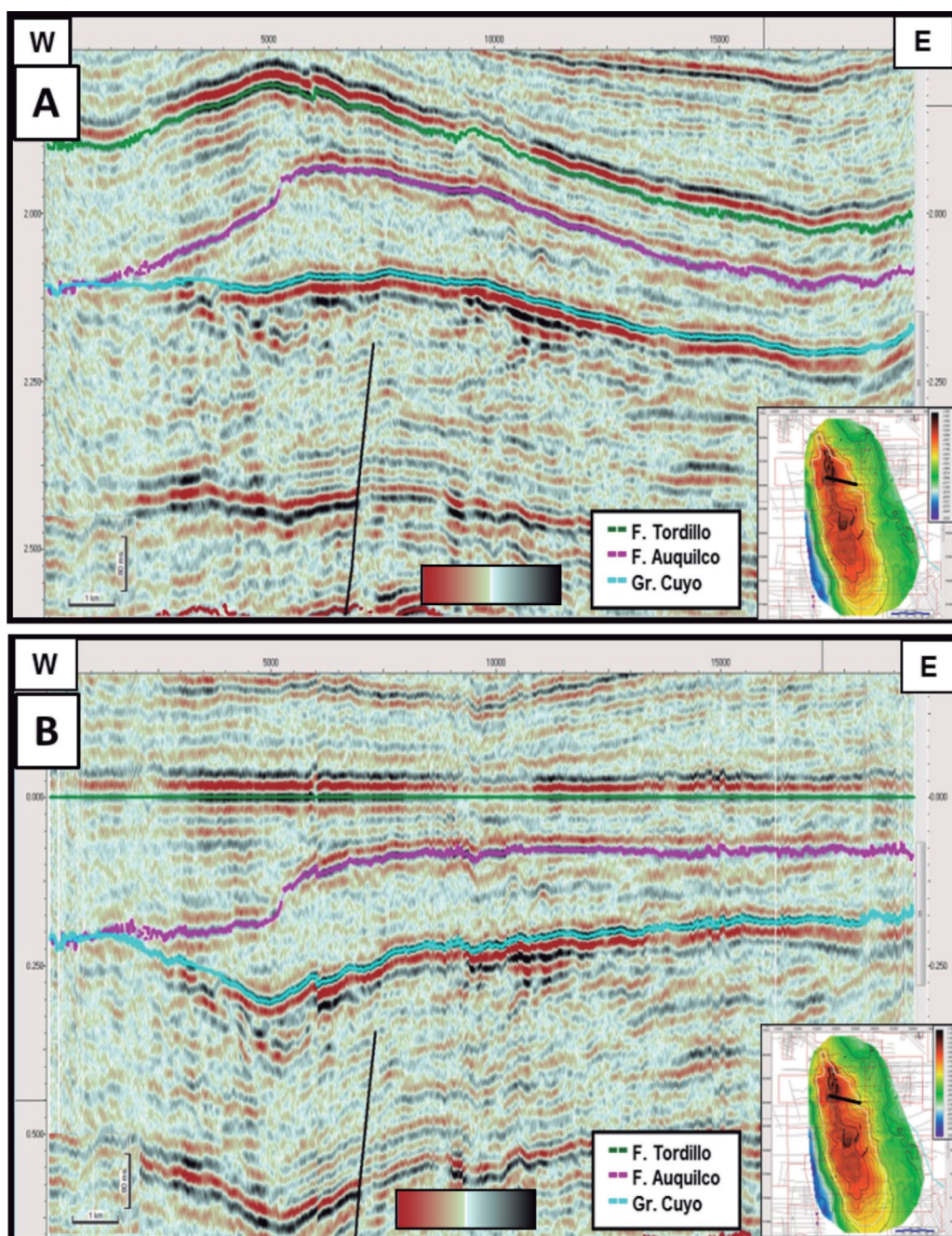


Figura 13. A: Línea sísmica, mostrando el intervalo Auquilco - Tordillo. B: Línea sísmica horizontalizada al tope de la Formación Tordillo.

En este sentido se orientaron los últimos pozos, exploratorios con objetivo convencional, los cuales tuvieron resultado negativo, ya que los reservorios se encontraban saturados de agua.

Analizando todo el conjunto Auquilco - Tordillo, puede verse que los espesores de la segunda unidad compensan parcialmente los de la primera. De todas maneras la suma ambas muestra una anomalía positiva (engrosamiento), en un sector de unos 3-4 km de ancho, relativamente coincidente con la rampa evaporítica de la Formación Auquilco (Figura 12 C). Esto puede verse más fácilmente horizontalizando una línea sísmica al tope de la Formación Tordillo (Figura 13 B) .

Este engrosamiento de la secuencia Auquilco – Tordillo podría explicarse en la parte norte del DCH mediante un pliegue por flexión de falla (Fault bend fold), generado por un corrimiento localizado aproximadamente en la interfase Auquilco-Tordillo. La geometría flat – ramp - flat de dicha discontinuidad sería la responsable de la configuración del anticlinal ubicado por encima del corrimiento. (Figura 14). El hecho de que el plegamiento involucre a toda la columna cretácica indicaría que esta deformación sería de edad andina. En el sector sur este engrosamiento persiste, sin embargo no se observa esta configuración estructural (Figura 15).

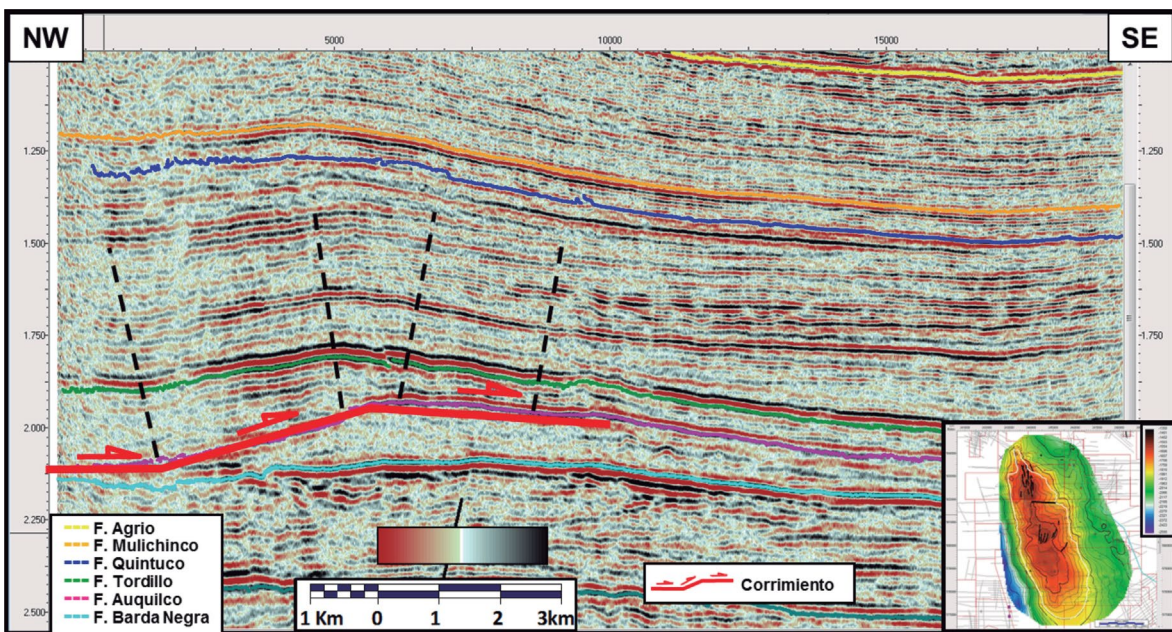


Figura 14. Línea sísmica en el sector norte del DCH, mostrando la posible disposición de un Pliegue por Flexión de Falla, el cual podría explicar el engrosamiento de la Formación tordillo en un sector del DCH.

El Sistema Vaca Muerta – Quintuco se depositó durante el Tithoniano – Valanginiano por detrás de un arco protoandino. Es el resultado de un ciclo sedimentario transgresivo-regresivo compuesto por pelitas ricas en materia orgánica, margas y calizas (Weaver 1931, Leanza, 1973 Mitchum y Uliana, 1985; Legarreta and Gulisano, 1989). Los depósitos de plataforma corresponden a la Formación Quintuco y representan las facies de topset de las clinoformas progradantes que llenan la cuenca. La Formación Vaca Muerta está representada por depósitos finos de cuenca y talud y corresponden a los foreset y bottomset de las clinoformas (Desjardins *et al.*, 2016). Esta

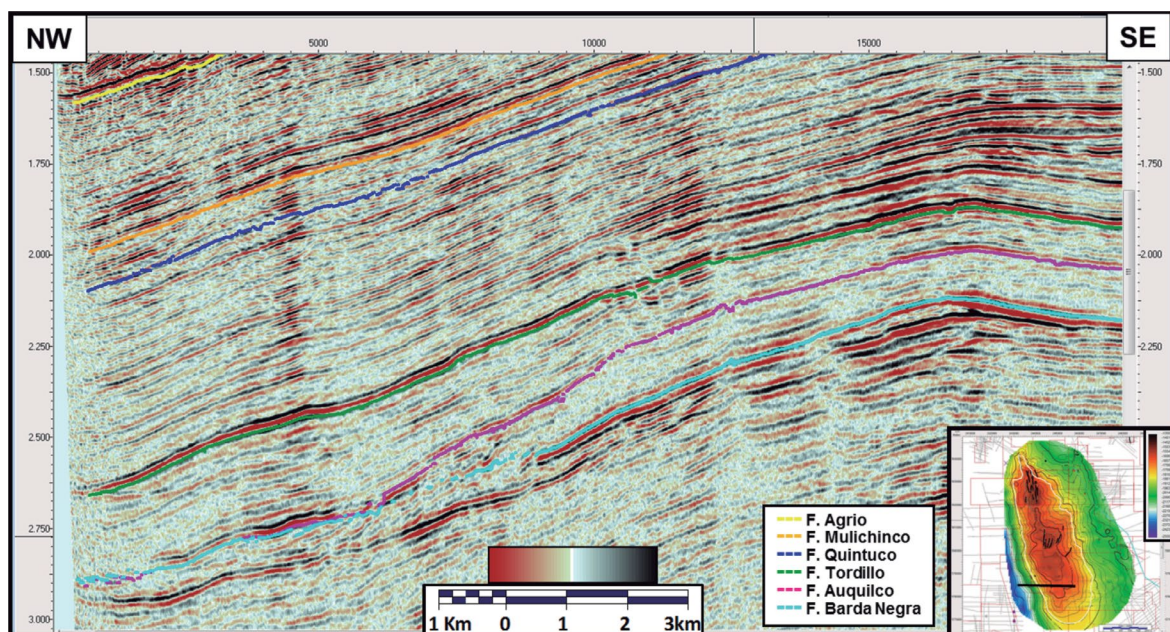


Figura 15. Línea sísmica en el sector sur del DCH, mostrando el engrosamiento del intervalo Auquillo – Tordillo. En este sector no se observa una configuración geométrica que pueda asignarse a un Pliegue por Flexión de Falla.

unidad es la roca madre de hidrocarburos más importante de la Cuenca Neuquina y en los últimos años ha sido estudiada de manera intensa por su potencial de como reservorio no convencional (p.e. González *et al.*, 2016).

La imagen sísmica del intervalo Quintuco-Vaca Muerta (Qco-VM) en la zona del Dorso de los Chihuidos (Figura 16A) muestra un buen desarrollo de clinoformas con un sentido de progradación hacia el Noroeste. Los ciclos sedimentarios más antiguos del sistema (T1-B2) se desarrollan en facies sísmicas de “bottomset”. El ciclo B2-B4 muestra facies de “foreset” hacia el este que paulatinamente se convierten en facies de “bottomset” hacia la zona cuspidal del Dorso de los Chihuidos. El ciclo B4-V1 muestra un sigmoide completo con facies de “topset” hacia el Este y facies de “bottomset” hacia el Oeste. El marker V1 corresponde al tope de la Formación Vaca Muerta en la zona del bloque Loma Ancha. Facies de “foreset” y “topset” del ciclo V1-V4 corresponde a la Formación Quintuco.

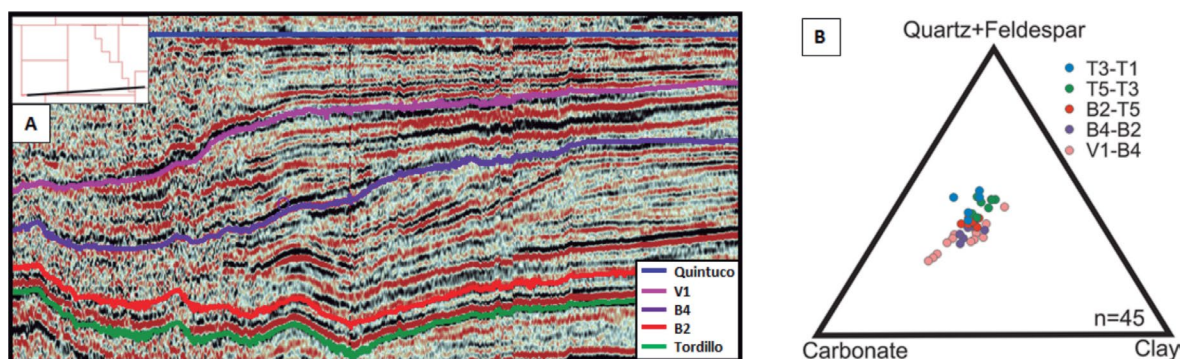


Figura 16. A. Línea sísmica horizontalizada al tope de la formación Quintuco donde se observa el desarrollo de clinoformas progradantes hacia el NO, ubicada en sector oriental del DCH. B. Diagrama composicional ternario de la Formación Vaca Muerta en la zona cuspidal del DCH.

El análisis mineralógico DRX en la Formación Vaca Muerta en la zona cuspidal del DCH (Figura 16B) muestra una composición relativamente dispersa con valores de minerales de arcillas menores al 30%. Sin embargo, si se realiza un agrupamiento de las muestras en base a los ciclos sedimentarios definidos por Desjardins *et al.* (2016) se define una tendencia composicional. Las muestras del intervalo basal (T1-T3) muestran los menores valores de arcillas con una media del 19%. Los análisis del nivel superior (T3-T5) muestran un incremento en los valores de arcillas. Esta tendencia hacia el incremento en las arcillas se modifica en los dos intervalos siguientes (T5-B2 y B2-B4) con un marcado aumento en el contenido de carbonatos. Por último, el ciclo más joven (B4-V1) muestra una composición dispersa. Hacia el tope del ciclo B4-V1 se observan facies de foreset en la parte mientras que los ciclos más antiguos se desarrollan todos en facies de bottomset. Esta diferencia en el sistema deposicional podría explicar la variación composicional del ciclo B4-V1.

En cuanto a la distribución de la materia orgánica dentro de la Formación Vaca Muerta la zona basal (T1-B4) presenta valores altos de contenido orgánico total (COT) entre 2.5 – 5.5 %wt para los 200-250 m inferiores. Adicionalmente se observa una segunda zona con alto contenido orgánico ubicada por arriba del marker B4 en los pozos ubicados sobre el flanco oriental del Dorso de los Chihuidos y en el Bajo de Añelo. Este intervalo es denominado en Sierra Chata como “sección enriquecida superior” (Marchal *et al.*, 2016). Hacia el alto del actual DCH este intervalo disminuye su espesor y su valor absoluto de contenido orgánico.

Mapas de espesor en tiempo regional del intervalo Qco-VM muestra un incremento de espesor desde la plataforma oriental hacia el oeste y sudoeste. Este patrón se ve modificado en la zona del DCH donde se observa una disminución de espesor, como ya fue informado por otros autores (Maretto y Pángaro, 2005; Dominguez *et al.* 2017). Es interesante notar que este paleoalto de los Chihuidos (Alto de Cerro Arena sensu Dominguez *et al.*, 2017) se desarrolla en una dirección NNW-SSE, substancialmente diferente a la dirección preferencial de desarrollo del actual DCH.

DISCUSIÓN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

La historia geológica en la Cuenca Neuquina comienza en el Triásico – Jurásico con el desarrollo de hemigrábenes que marcan el inicio de la sedimentación. En la zona del DCH, la evidencia sísmica parece mostrar, con los reparos del caso debido a su calidad, la existencia de un elemento positivo, un “Proto Dorso”, desarrollado en el sector centro - norte de la estructura actual en cuyo flanco oriental se depositaron facies sedimentarias previas al Gr. Cuyo. Este “Proto Dorso” parece albergar, adicionalmente, pequeños depocentros como los visualizados en la zona de Loma Ancha. No queda claro si estos depocentros que están asociados a estructuras de rumbo NE-SW son hemigrábenes del Grupo Precuyo o son depósitos más antiguos.

La deformación predominante en esta etapa es de rumbo NW-SE, la cual podría estar asociada

a una fábrica de basamento (Figura 17) desarrollada por la acreción paleozoica de Cuyania y Chilenia al margen Gondwanico (Franzese y Spalletti, 2001, Ramos *et al.*, 2011). La fracturación NE-SW observada en Loma Ancha podría corresponder a un sistema de alivio del sistema principal antes mencionado o a un sistema anterior que se reactiva a durante la depositación del Grupo Precuyo formando pequeños depocentros como los que parecen observarse en la sísmica 3D del Bloque Loma Ancha, volviendo a reactivarse en forma inversa durante el Jurásico medio a tardío provocando el plegamiento las formaciones Barda Negra y Auquilco.

A fines del Jurásico temprano comienza la etapa de sag o hundimiento térmico en la cuenca. En este contexto se produce la depositación de importantes volúmenes de sedimento del Grupo Cuyo, con espesores máximos estimados superiores a los 1000 m. Se reconocen, en la zona DCH, al menos 3 grandes secuencias depositacionales que van progradando sobre el mismo. Esta depositación estuvo controlada en su fase inicial por una paleo estructura positiva, la cual pudo haber estado parcial o totalmente sumergida, que provocó variaciones de espesor dentro de la parte basal del Grupo Cuyo. También habría influido restringiendo el espacio de acomodación en las secuencias posteriores, haciendo que el volumen de sedimentos sea más importante que el espacio disponible. De esta manera, la mayor parte del DCH queda cubierto con facies marino profundas de centro de cuenca (bottomset) de un sistema progradante desarrollado unos 50 km al

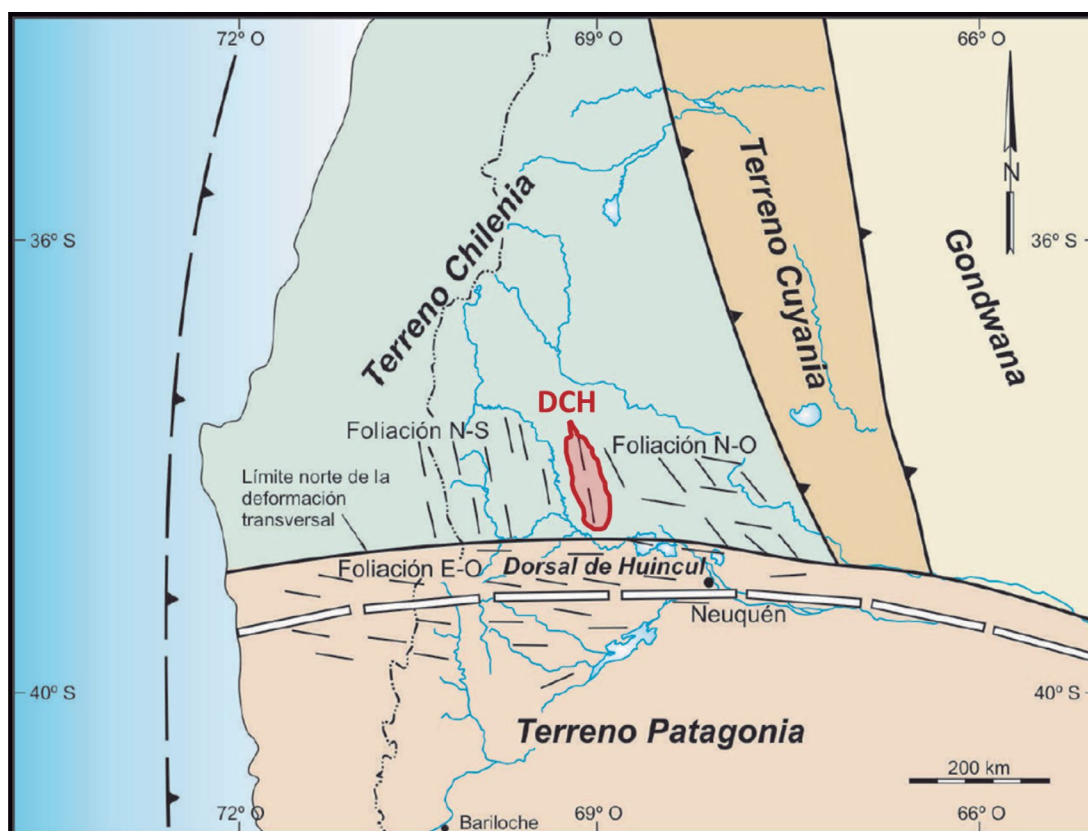


Figura 17. Deformación Gondwánica asociada a la colisión de la Patagonia, Tomado de Ramos *et al.* (2011). En Rojo marcado el DCH.

E y SE. Eventos erosivos de importancia erosionan la parte superior de las secuencias superiores de los dos ciclos progradantes más jóvenes. El último de estos episodios erosivos separa facies progradantes en la parte inferior de facies agradantes en la parte superior que corresponden en realidad a la fase regresiva que caracteriza la etapa final de la depositación del Grupo Cuyo.

El contacto entre el Grupo Cuyo y el Grupo Lotena es de tipo transicional, mostrando que la discordancia intracalloviana en la zona del DCH es de reducida importancia. La depositación del Grupo Lotena no parece mostrar rasgos de especial interés en la zona del DCH. No se han observado características especiales ni en el dato sísmico ni en la escasa información de sondeo existente.

A principios del Jurásico tardío, durante el Oxfordiano, se produce la depositación de la Formación Auquilco la cual presenta importantes variaciones de espesor en el ámbito del DCH; desde pocas decenas de metros hasta más de cuatrocientos, los más grandes documentados en la cuenca. Aquí se considera que estas variaciones se relacionan principalmente a características depositacionales primarias, aunque puedan estar combinadas con erosión localizada en sectores.

En el Kimmeridgiano, se interrumpe la conexión con el mar abierto, por lo que en la cuenca se desarrollan ambientes sedimentarios continentales. En este contexto se deposita la Formación Tordillo, la cual en una primera etapa rellena toda la paleotopografía existente en la zona del DCH para luego depositarse uniformemente en toda el área. Posteriormente en el Tithoniano temprano se produce una abrupta y generalizada inundación marina que deposita las lutitas de la Formación Vaca Muerta, principal roca madre de la cuenca.

Durante el Jurásico medio se observa la presencia de un paleoalto en la zona del DCH. Esta estructura presenta una dirección de desarrollo NW-SE, similar a la dirección actual del Dorso. Sin embargo se observa que alto de edad Jurásico media estaba ubicado preferencialmente en la parte norte (en la actual zona de los bloques Loma Ancha – Cerro Las Minas – Loma

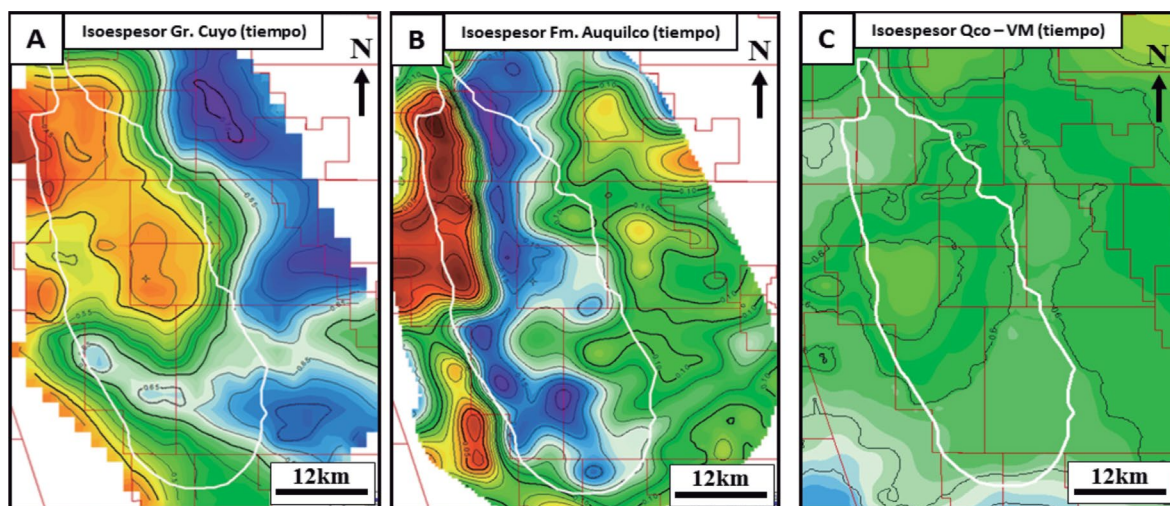


Figura 18. A, B y C. Mapas de isoespesor en tiempo para el Gr. Cuyo, Fm. Auquilco y Sistema Qco-VM, respectivamente. Colores cálidos representan menor espesor y colores fríos espesores mayores. En blanco contorno actual del DCH.

Ranqueles), perdiendo importancia hacia la zona sur (Figura 18A). Complementariamente, el análisis deposicional realizado en el Gr. Cuyo muestra la presencia de relaciones de “onlap” sobre este paleoalto en las secuencias más antiguas, confirmando la presencia de un alto estructural. Mosquera y Ramos (2006) proponen la presencia de un sistema transpresivo en la zona del DCH que habría actuado durante el Jurásico hasta el Valanginiano. Los esfuerzos principales habrían actuado con una dirección NWSE y estarían vinculados con el sistema de subducción de la placa de Aluk (Mosquera y Ramos, 2006). El análisis de los lineamientos que afectan al Grupo Precuyo en la zona de Loma Ancha muestra dos trenes de discontinuidades con fallas de rumbo NE-SW y NNW-SSE (Figura 4B). La deformación de rumbo habría invertido los hemigraben de orientación NE-SW formando una faja transpresiva de rumbo NW-SE.

Los mapas de espesor de las unidades Auquilco-Tordillo muestran un control en la distribución de espesores de rumbo aproximado N-S (Figura 18B), como ya fue descripto por varios autores (p.e. Arregui *et al.* 2011). Durante la depositación del sistema Vaca Muerta – Quintuco en la zona actual del DCH también se observa una disminución de espesor (Figura 18C). Maretti y Pángaro (2005) proponen una inversión del DCH durante la depositación de los términos basales de la Formación Quintuco. Por otra parte, Domínguez *et al.*, (2017) proponen que el alto (Alto Cerro Arena) tuvo un relieve estructural de 390 m y habría tenido su pico máximo de levantamiento durante el Berriasiano Temprano. Al igual que para el intervalo Auquilco-Tordillo el alto para el intervalo Vaca Muerta-Quintuco posee una orientación de rumbo aproximado N-S. Según Spaletti *et al.*, (2013) este levantamiento estaría vinculado a la presencia de un promontorio periférico dentro de una sistema flexural con una antefosa ubicada al oeste. Estas evidencias sumadas a las presentadas en este trabajo indicarían la presencia de un sistema de deformación durante el Jurásico tardío de rumbo N-S que sería responsable de la formación pequeños altos y/o zona de mayor subsidencia

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento a la empresa Tecpetrol por permitir y alentar la publicación del presente trabajo; árbitros anónimos y colegas de la oficina promovieron discusiones, críticas y sugerencias que mejoraron substancialmente la calidad final del mismo.

REFERENCIAS CITADAS

- Alonso, J. Giusiano, A. E., Chebli G. y Ibáñez G. 2011. ‘Shale Gas en la Provincia de Neuquén’. Sec. de Hidrocarburos, Energía y Minería Neuquén & Phoenix Oil & Gas, S.A.
- Arregui, C., Benotti, S. & Carbone, O. 1996. “Sistemas petroleros asociados en el yacimiento Entre Lo-
- mas, Provincia del Neuquén”. 13° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas 1: 287-306. Buenos Aires.

- Arregui, C., Carbone, O. y Martinez, R.. 2011a. "El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano-Medio) en la Cuenca Neuquina". Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. 77-89. Neuquén.
- Arregui, C., Carbone, O. y Sattler, F.. 2011b. "El Grupo Lotena (Jurásico Medio-Tardío) en la Cuenca Neuquina". Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. 91-98. Neuquén.
- Bracaccini, O. 1970. "Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén, República Argentina". Revista de la Asociación Geológica Argentina 25(2): 275-284. Buenos Aires.
- Brisson I. y R. Veiga, 1999: Gira de campo, Cuenca Neuquina. YPF, informe inédito.
- Carbone, O., Franzese, J., Limeres, M., Delpino, D., y Martinez, R. 2011. "El Ciclo Precuyano (Triásico Tardío – Jurásico Temprano) en la Cuenca Neuquina". Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. 63-76. Neuquén.
- Cristallini, E.O., Martínez, J.M., Sanchez, E., Periale Gómez, S. y Loncarich, A. 2005. "Evaluación estructural del bloque Bandurria (Provincia del Neuquén, Argentina)". YPF, (inédito), 73 p., Bs As.
- Dellapé, D.A., Pando, G.A., Uliana, M.A., Musacchio, E.A. 1978. "Foraminíferos y ostrácodos del Jurásico en las inmediaciones del arroyo Picún Leufú y la ruta 40 (Provincia del Neuquén, Argentina) con algunas consideraciones sobre la estratigrafía de la Formación Lotena". 7º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 489-507. Buenos Aires.
- Desjardins, P., M. Fantín, F. González Tomassini, H. Reijenstein, F. Sattler, R. F. Domínguez, D. Kietzmann, H.A. Leanza, A. Bande, S. Benoit, M. Borgnia, F. Vittore, G. Gil, T. Simo y D. Minisini, 2016. "Capítulo 2: Estratigrafía Sísmica Regional". In G. González, *et al.* (eds), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta (IAPG), Buenos Aires.
- Dominguez, R.F., Fantin, M.A. y Cristallini, E. 2017. "Configuración morfo-estructural de la Cuenca Neuquina durante la depositación del sistema Vaca Muerta – Quintuco". XX Congreso Geológico Argentino - Simposio 05 : Geología de la Formación Vaca Muerta. pp 46-52.
- Franzese, J. R., Spalletti, L. A., 2001. "Late Triassic-early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting". Journal of South American Earth Sciences. 14. 257-270.
- González, G., Desjardins, P., Vallejo, M.D., González Tomassini, F., Kietzmann, D., Gómez Rivarola, L., Marchal, D y Domínguez, F. (Eds) 2016, "Transecta regional de la Formación Vaca Muerta: integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos", IAPG, Buenos Aires, Argentina. 252 p.
- Herrero Ducloux, A., 1946. "Contribución al conocimiento geológico del Neuquén extrandino". Boletín Informaciones Petroleras 23(226): 245-281.
- Kendall, A.C. 1979. "Continental and Supratidal (sabkha) evaporates". In Facies Models, Geoscience Canada. (Ed R.G. Walker). pp 145-174. Geological Association of Canada.
- Leanza, H.A., 1973. "Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes Jurásico-Cretácicos entre Loncopué y Picun Leufú, Provincia del Neuquén, República Argentina". Revista de la Asociación Geológica Argentina 28:97-132.
- Leanza, H.A. 1992. "Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a los Movimientos Intermálmicos

- cos en la comarca del Cerro Chachil, provincia del Neuquén, Argentina". Revista de la Asociación Geológica Argentina 45(3-4): 272-299.
- Leanza, H.A. Hugo, C. A y Repol, D. 2001. "Hoja Geológica 3969-I Zapala". Provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 275.128 p. Buenos Aires.
- Legarreta, L. & Gulisano, C. 1989. "Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior - Terciario Inferior), Argentina". En: Chebli, G.A. & Spalletti, L.A. (Eds.): Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica 6: 221-243. Tucumán.
- Legarreta, L. 2002. "Eventos de desecación en la Cuenca Neuquina: depósitos continentales y distribución de Hidrocarburos". V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- Legarreta, L., Villar, H., Laffitte, G., Cruz, C.E., Vergani, G. 2005. "Cuenca Neuquina: Balance de Masa enfocado a la evaluación del potencial exploratorio de los distritos productivos y de las zonas no productivas". VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- Marchal, D., Sattler, F. y Köhler, G. 2016. "Sierra Chata". En: Gonzalez, G. *et al.* (eds) Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos, capítulo 14: 155-167. IAPG-AGA, Buenos Aires.
- Maretto, H., Carbone, H.O., Gazzera C. y Schiuma, M., 2002. "Los Reservorios de la Formación Tordillo". Rocas Reservorios de las Cuecnas Productivas Argentinas. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata. 335-338.
- Maretto, H. y Pángaro, F. 2005. "Edad de formación de algunas de las grandes estructuras del engolfamiento de la Cuenca Neuquina: Actividad tectónica durante la depositación de la Fm. Quintuco". VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- Messenger, G., Nivière, B., Martinod, J., Lacan, P. & Xavier, J.P. 2010. "Geomorphic evidence for Plio-Quaternary compression in the Andean foothills of the southern Neuquén Basin, Argentina". Tectonics 29, TC4003, doi: 10.1029/2009TC002609.
- Mitchum, R.M. y M. Uliana, 1985. "Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina". En: B.R. Berg y D.G. Woolverton (Eds.), Seismic Stratigraphy 2. "An integrated approach to hydrocarbon analysis". American Association of Petroleum Geologists, Memoir 39:255-83. Tulsa.
- Mosquera, A. & Ramos, V.A. 2006. "Intraplate deformation in the Neuquén Basin". En: Kay, S.M. & Ramos, V.A. (Eds.): "Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° S latitude)". Geological Society of America, Special Paper 407: 97-124.
- Ramos, V.A. 1981. "Descripción Geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte. Provincia del Neuquén". Servicio Geológico Nacional. Boletín 182: 1-103. Buenos Aires.
- Ramos, V. A., Mosquera, A., Folguera, A., y García Morabito, E., 2011. "Evolución Tectónica de los Andes y del Engolfamiento Neuquino adyacente". Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. 335 - 348. Neuquén.
- Spalletti, L.A. 2013. "Influencia del arco magmático protoandino en la acomodación sedimentaria, la

- fisiografía, y las características de los depósitos del jurásico superior y cretácico inferior en la Cuenca Neuquina". Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Buenos Aires. Vol. 65, pp37-47.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F., Baulies O.L & Martínez, C.G. 1968. "Las formaciones presenonianas del denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes". Revista de la Asociación Geológica Argentina, 23 (2): 367-388. Buenos Aires.
- Weaver, Ch. E. 1931. 1931. "Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of west-central Argentina". University of Washington Memoirs 1: 1-595.
- Zamora Balcarce, G., Zapata, T., Ramos, V., Rodriguez, F., Bernardo, L.M. 2009 "Evolución Tectónica del Frente Andino en Neuquén". Revista de la Asociación Geológica Argentina 65 (1): 192 - 203 (2009). Argentina.