

CICLOS DEPOSICIONALES DE LAS FMS QUINTUCO Y VACA MUERTA: GÉNESIS Y EVOLUCIÓN. ÁREA CENTRAL – CUENCA NEUQUINA

Carlos Arregui¹

1: Petrobras Argentina S.A. carlos.arregui@petrobras.com

Palabras clave: ciclos transgresivos-regresivos, deslizamientos gravitacionales

ABSTRACT

Depositional Cycles of Quintuco and Vaca Muerta Formations: Genesis and Evolution. Central Area - Neuquén Basin

The present contribution deals with the description of the depositional cycles and the sedimentary evolution of the Tithonian – Valanginian (Fms Quintuco – Vaca Muerta) depositional system.

It is composed by 5 minor transgressive-regressive cycles starting with a generalized marine flooding event with deposition of organic shales and after the second maximum transgressive surface starts a dominant regressive interval till the end of the entire cycle with the Intravalanginian unconformity.

The second regressive interval shows the presence of a gravitational collapse in one of the clinoforms identified and delimited through seismic information. There exists in outcrops similar events associated with depositional intervals where a strong unbalance between sedimentary supply and available space is present.

The later cycles have more equilibrated sedimentary balance and shows gentle depositional prograding surfaces.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las Fms Quintuco y Vaca Muerta poseen en el sector central de la cuenca Neuquina espesores en conjunto que oscilan entre 1000 y 1300 m y si bien existen varios sondeos que las han atravesado la relación entre el área involucrada y su grado de investigación puede considerarse de moderada a baja madurez.

Los bloques de Aguada de la Arena y Sierra Chata, se encuentran en una situación aún más inmadura ya que no poseen ningún sondeo que haya atravesado totalmente estas dos unidades.

Esto hace que los antecedentes regionales que permiten establecer el marco, y la sísmica 3-D que posee la continuidad y resolución necesarias para elaborar la historia del relleno, se transformen en los elementos fundamentales para establecer un modelo geológico y explicar la génesis de los rasgos observados.

Tomando en cuenta estas consideraciones se enuncian una serie de objetivos que son:

- A – Elaboración Modelo Geológico Fm Quintuco.
- B – Interpretación de su Génesis.
- C – Evolución del relleno del ciclo Vaca Muerta - Quintuco
- D – Conclusiones

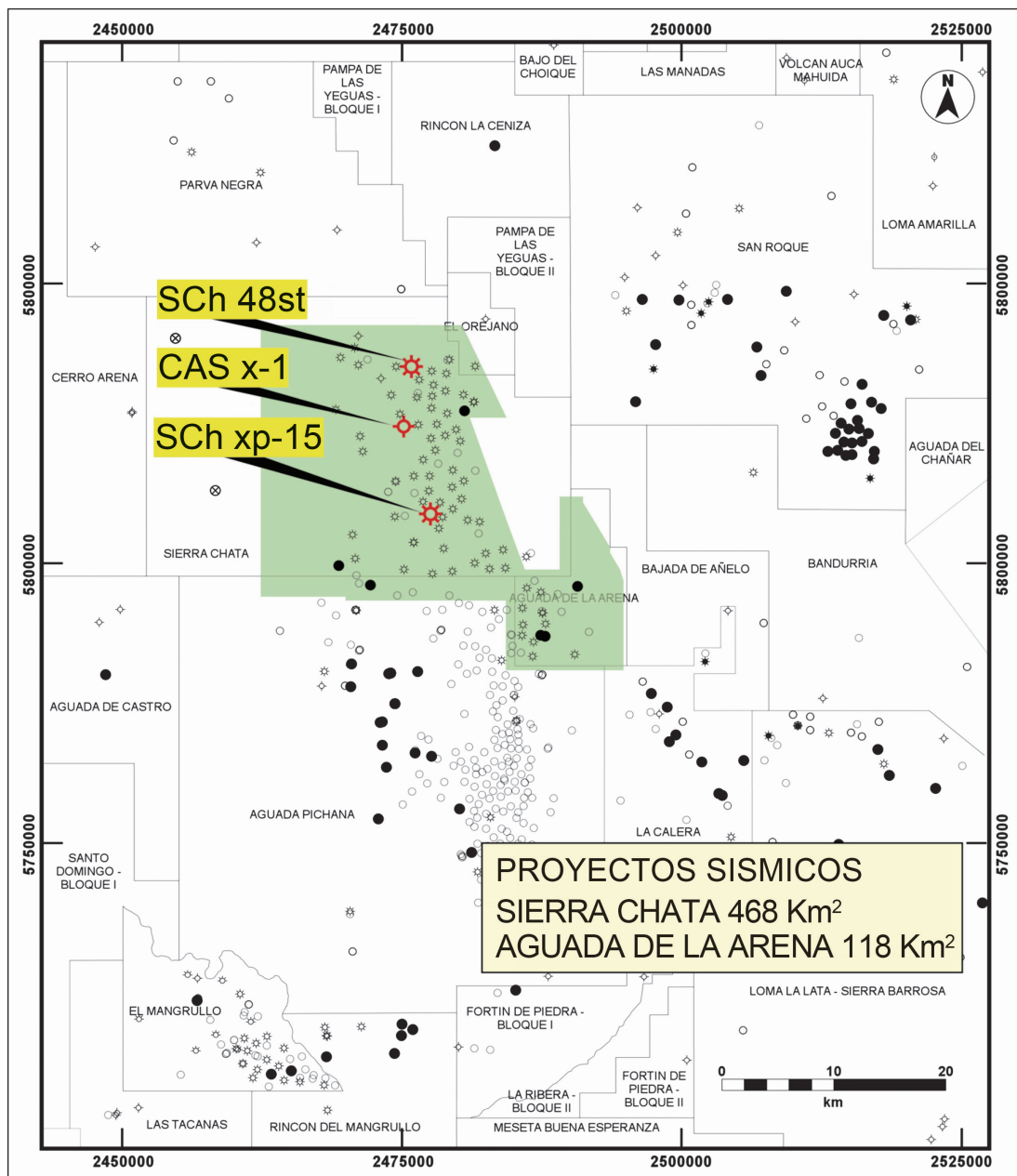


Figura 1. Ubicación.

Inicia con una transgresión marina de amplia distribución regional dentro de la restringida geografía del engolfamiento, que depositó arcilitas y margas con elevado contenido orgánico en un ambiente anóxico. Este intervalo inicial constituye la roca madre más importante de la cuenca y se conoce con el nombre de Fm Vaca Muerta.

Luego de esta inundación inicial, continúan una serie de ciclos que fueron descriptos por Mitchum y Uliana (1982) para el subsuelo, y por Gulisano *et al.* (1984) para el sector de afloramientos.

Estos ciclos, luego de un corto intervalo transgresivo basal, poseen una tendencia general regresiva que, para tiempos del Tithoniano Temprano y Medio presenta su máxima expansión marina en el sur de la cuenca (Fm Carrin Curá - Leanza *et al.* 1978). En el flanco oriental y dada la combinación de un relieve de muy bajo gradiente y un escaso aporte sedimentario Mitchum y Uliana (1982) describen para tiempos del Berriasiano, una extensa plataforma carbonática evaporítica, quedando el Tithoniano restringido a posiciones más occidentales.

Las denominaciones formales tradicionalmente utilizadas son de carácter netamente litoestratigráfico, por lo que los depósitos correspondientes a ambientes litorales y de plataforma se denominan Fm Quintuco mientras que los que fueron depositados en ambientes de *offshore* se denominan Fm Vaca Muerta (Figura 3).

Este diacronismo a veces produce indefiniciones y confusiones en la nomenclatura que sólo pueden ser resueltos mediante la integración de información de distintas fuentes con el objetivo de definir los ciclos con criterios genéticos.

En el mapa regional de los márgenes de plataforma y corte regional adjunto (Figura 4) diseñado por Mitchum y Uliana, *op. cit.* puede verse la ubicación de las áreas de Sierra Chata y Aguada de la Arena, en una posición intermedia a distal dentro del sistema.

Eso inicialmente indica la predominancia de ambientes sedimentarios intermedios a distales, estando restringidos los depósitos de mayor energía a los ciclos superiores.

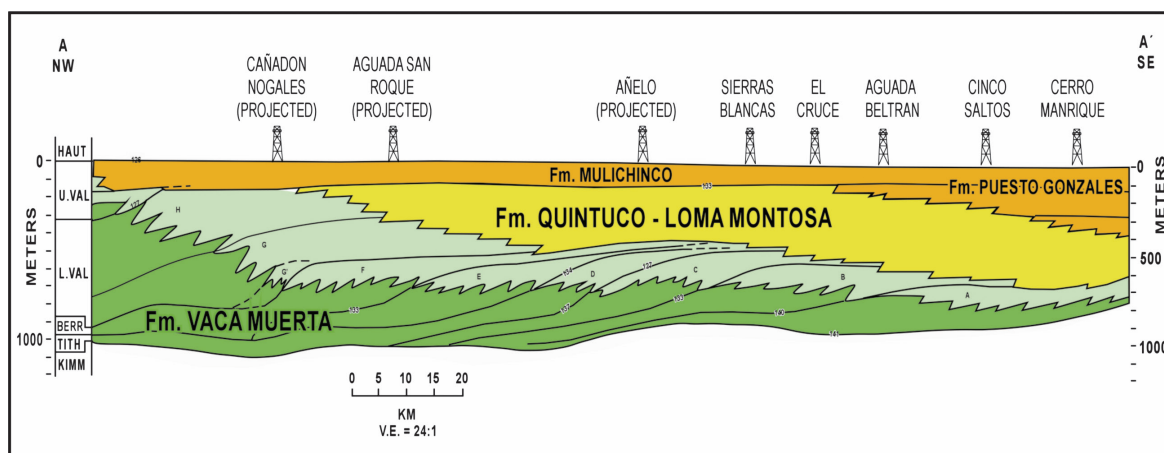


Figura 3. Corte Regional - Mitchum y Uliana (1982).

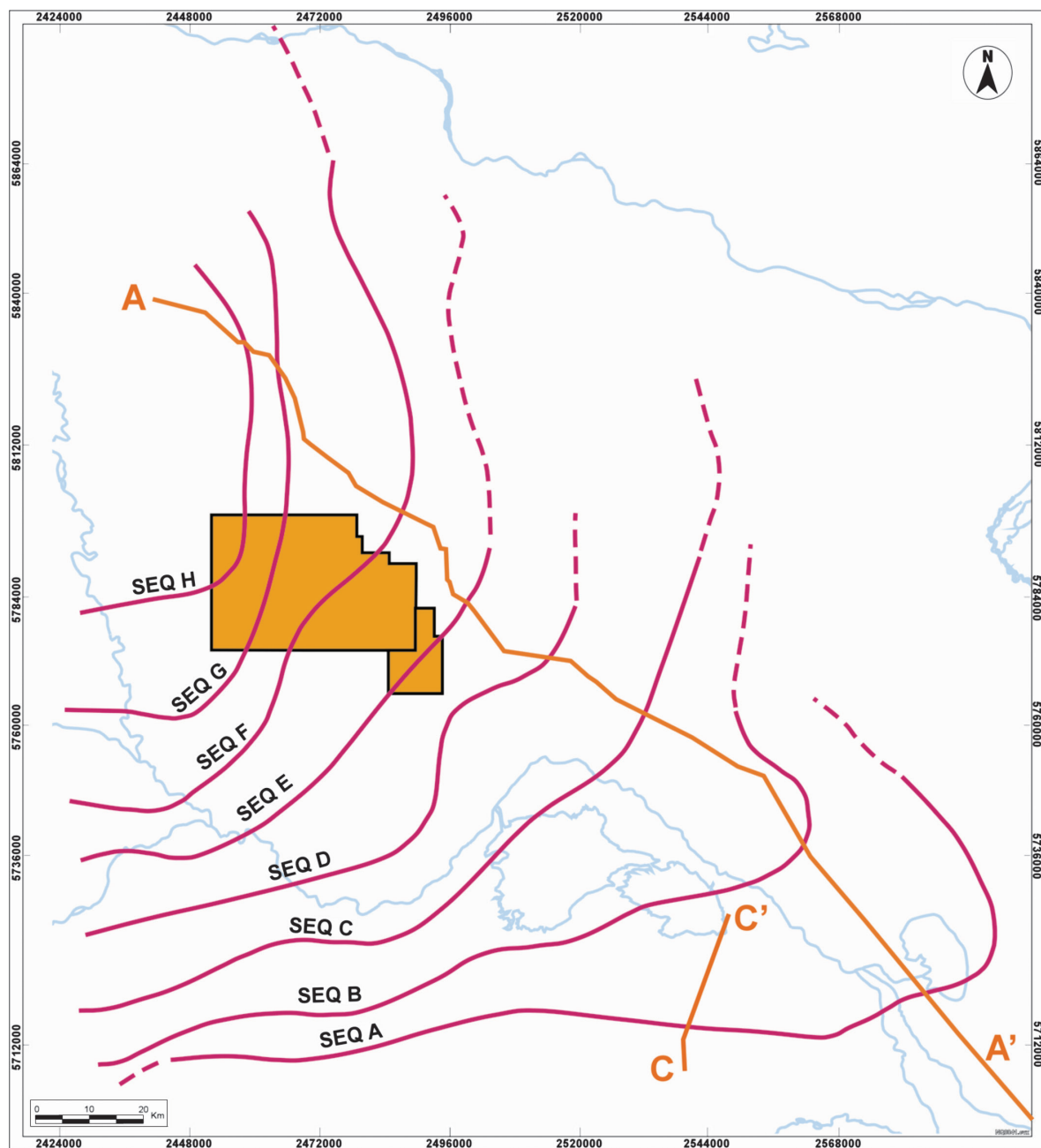


Figura 4. Márgenes de Plataforma - Mitchum y Uliana (1982).

En la Figura 5, obtenida en el afloramiento del flanco sur del anticlinal de Picún Leufú, puede verse un panorama muy similar a lo observado en las líneas regionales arbitrarias que unen los cubos sísmicos utilizados y que fuera descripto por Spalletti *et al.*, (2000).

En ambos casos el ciclo se inicia con estratos de gran continuidad, paralelos y horizontales a subhorizontales correspondientes a la inundación inicial que depositó las facies con mayor contenido orgánico constituyendo la principal sección generadora.

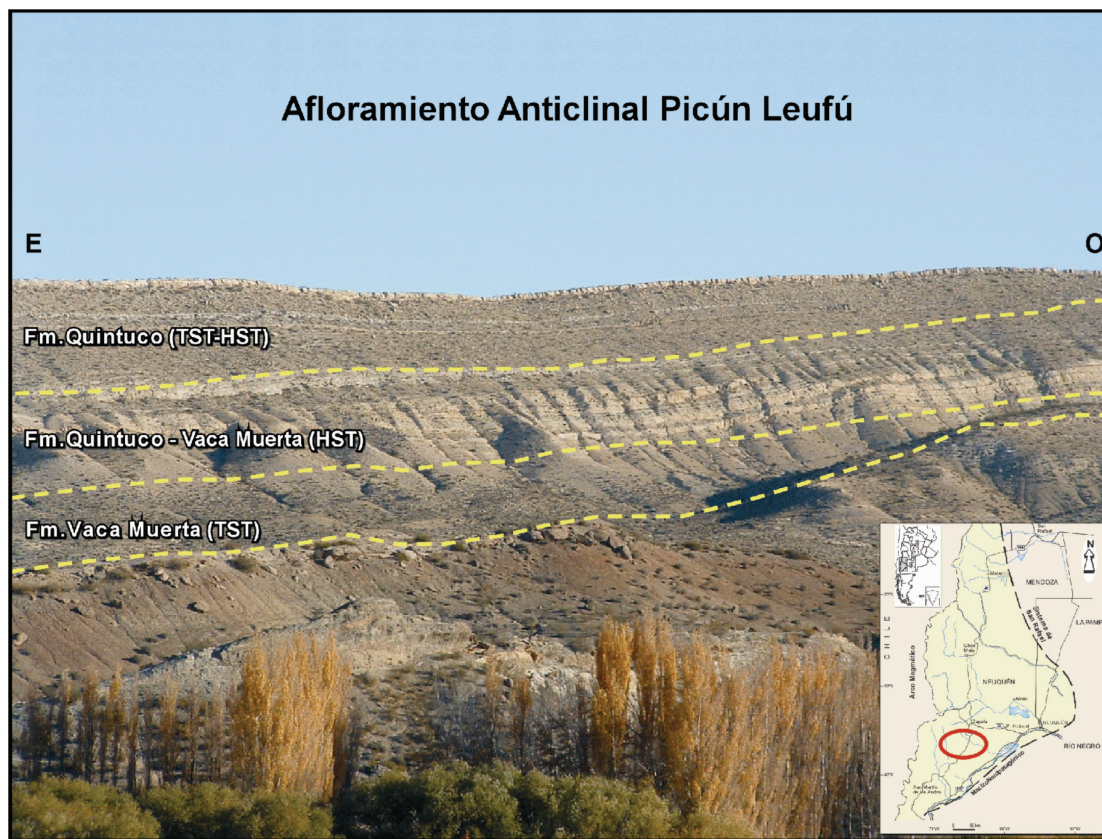


Figura 5. Anticlinal Picun Leufú.

Sigue la columna con niveles con una geometría oblicua (*offlap*) debida a la progradación producida dentro de un marco con un desbalance muy importante entre área de acomodación y aporte sedimentario.

El resto del intervalo vuelve a presentar un diseño de ciclos con bajo ángulo de depositación a horizontales alternantes donde la relación entre espacio de acomodación y aporte sedimentario es levemente negativa a positiva.

Un elemento de preponderante importancia en esta región es el denominado Dorso de los Chihuidos, que constituye una megaestructura con raíz basamental que ejerció un control estructural y sedimentario de primer orden.

El plano de espesores en tiempo de las Fms Vaca Muerta y Quintuco señala la importante influencia que ejerció, definiendo un adelgazamiento coincidente con el sector de mayor relieve (Figura 6).

Esto permite explicar muy bien el diseño del mapa de espesores en tiempo del intervalo Quintuco – Vaca Muerta realizado con el conjunto de sísmica 3-D utilizado, que muestra un espesamiento en dirección sudoeste.

La observación del sentido principal de las progradaciones presentes en los diferentes ciclos que marcan una concordancia con dirección de avance del sistema hacia el noroeste permite con-

cluir que este accidente topográfico solo ejerció una influencia local y la paleogeografía regional determina las direcciones de paleocorrientes dominantes.

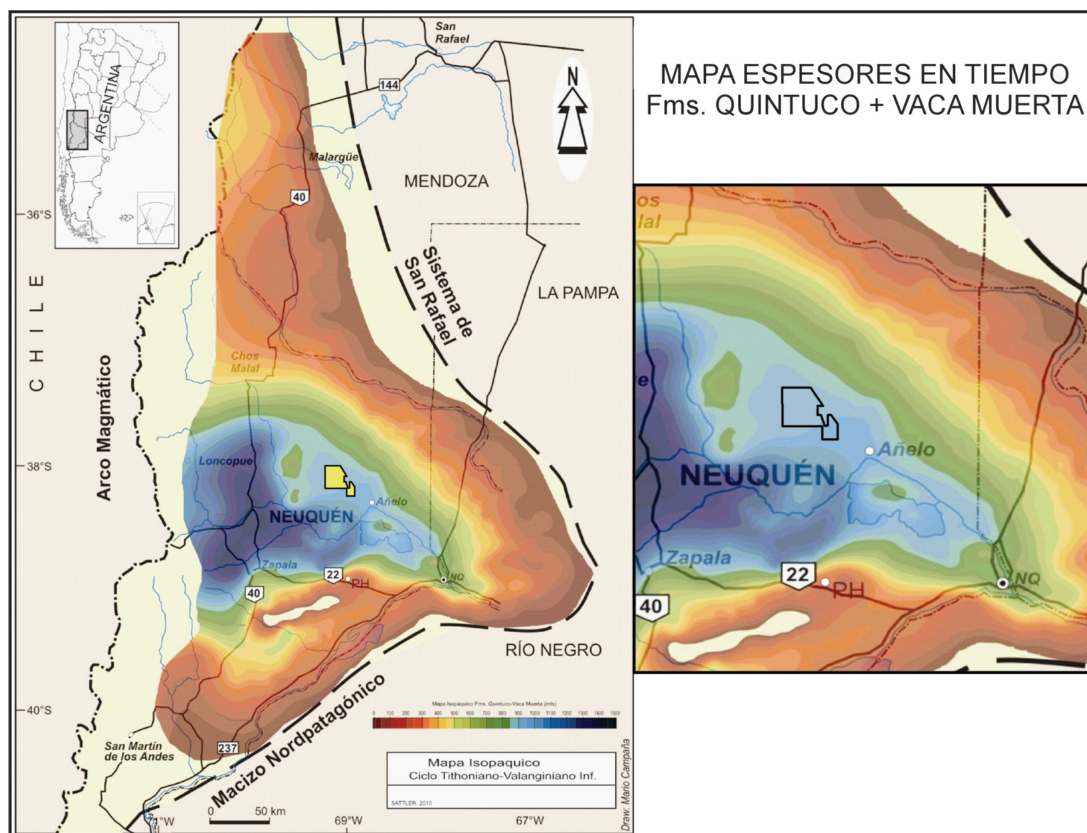


Figura 6. Mapa regional Espesores.

MODELO GEOLÓGICO

El modelo geológico fue construido esencialmente mediante la interpretación sísmica con la que se discriminaron 5 ciclos de avances y retrocesos de los sistemas depositacionales utilizando las terminaciones de los reflectores sísmicos.

A partir de la primer ingresión marina que por su extensión y características (ambiente de baja energía, anóxico y con elevado tenor de materia orgánica) constituye la principal roca madre de la cuenca Neuquina, no vuelven a repetirse estas condiciones en el resto del intervalo estudiado.

Las siguientes etapas de transgresiones marinas ocurren sobre una plataforma ya instaurada con comunicación más abierta con los ambientes marinos normales y dependiendo del volumen de aporte sedimentario menos desarrolladas en el centro y sur de la cuenca y algo más continuas en el flanco oriental.

Fueron identificados cinco ciclos transgresivo-regresivos (Embry y Johannessen 1992) que se interpretan como alternancias de cortejos sedimentarios transgresivos (*Transgressive System Tract*) y de nivel de base alto (*Highstand System Tract*). Figura 7.

Esta subdivisión que fue interpretada como correspondiente a jerarquías de tercer orden en el sentido que proponen Pederneiras *et al.* (2006) y Catuneanu (2006), está dividida en intervalos de mayor frecuencia (cuarto orden) que fueron generados durante oscilaciones del nivel de base de menor magnitud.

La evolución vertical muestra una progresiva disminución de los espesores de los intervalos regresivos a partir del segundo ciclo hasta el tope de la unidad. Esto permite definir para todo el intervalo estudiado una secuencia transgresivo-regresiva de mayor orden con una máxima expansión marina durante el segundo intervalo transgresivo y una contracción a partir de ese punto.

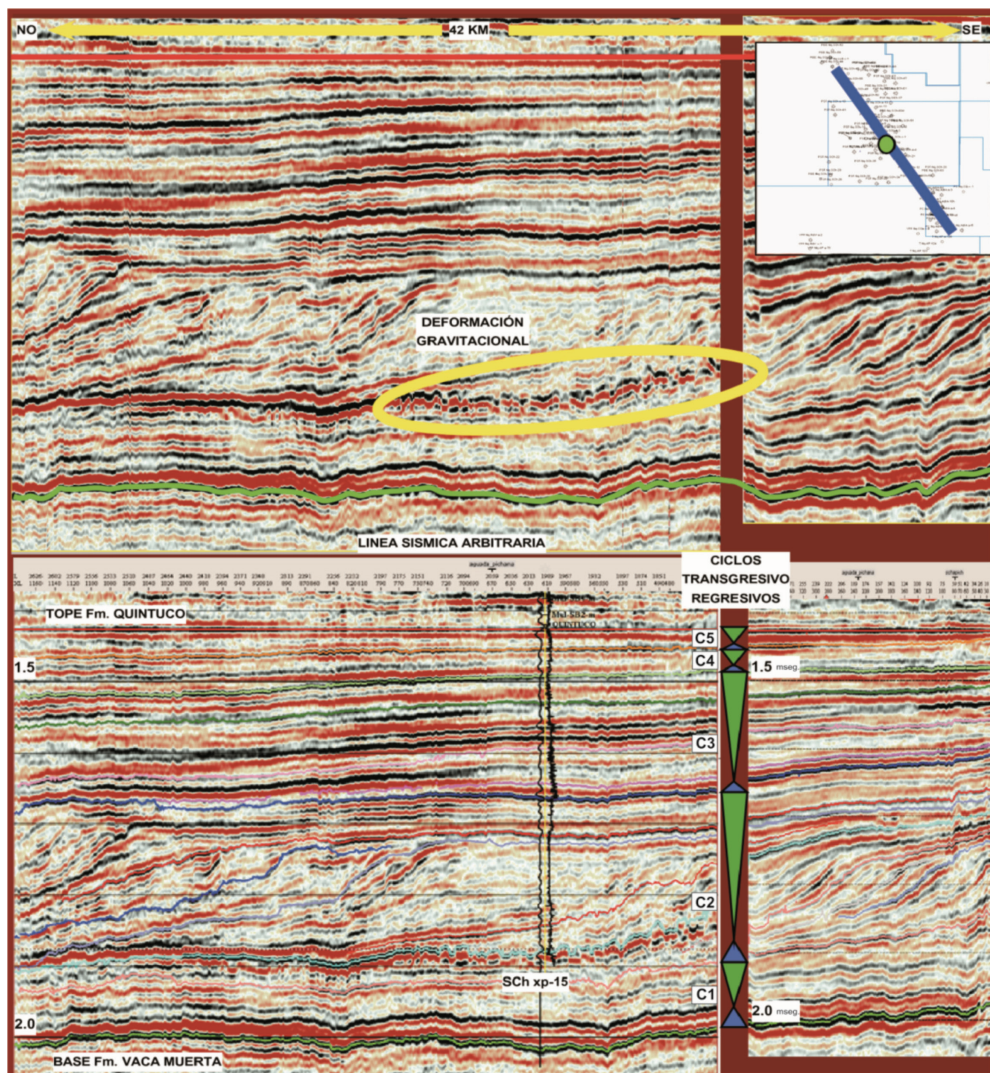


Figura 7. Línea sísmica arbitraria.

La segunda secuencia luego de su máxima expansión marina presenta como características salientes un gran desarrollo en espesores y una geometría de los taludes de un ángulo mayor al del resto de las progradaciones, que se interpreta como debido a un importante desequilibrio entre el aporte sedimentario y el espacio disponible.

Un elemento a tener en cuenta en esta interpretación es la menor subsidencia relativa del alto estructural del Dorso de Chihuidos que genera una anormal disminución del espacio de acomodación en su área de influencia y por lo tanto podría acentuar las geometrías observadas.

Esta influencia se haría menor a medida que avanza la depositación de estas unidades presentando un balance más equilibrado entre aporte y espacio disponible a medida que progresó la colmatación.

Desde el punto de vista de la evolución vertical, las facies más proximales se ubican en la sección superior de la unidad, pero dada la distribución paleogeográfica regional, las mismas corresponden a depósitos de plataforma intermedia.

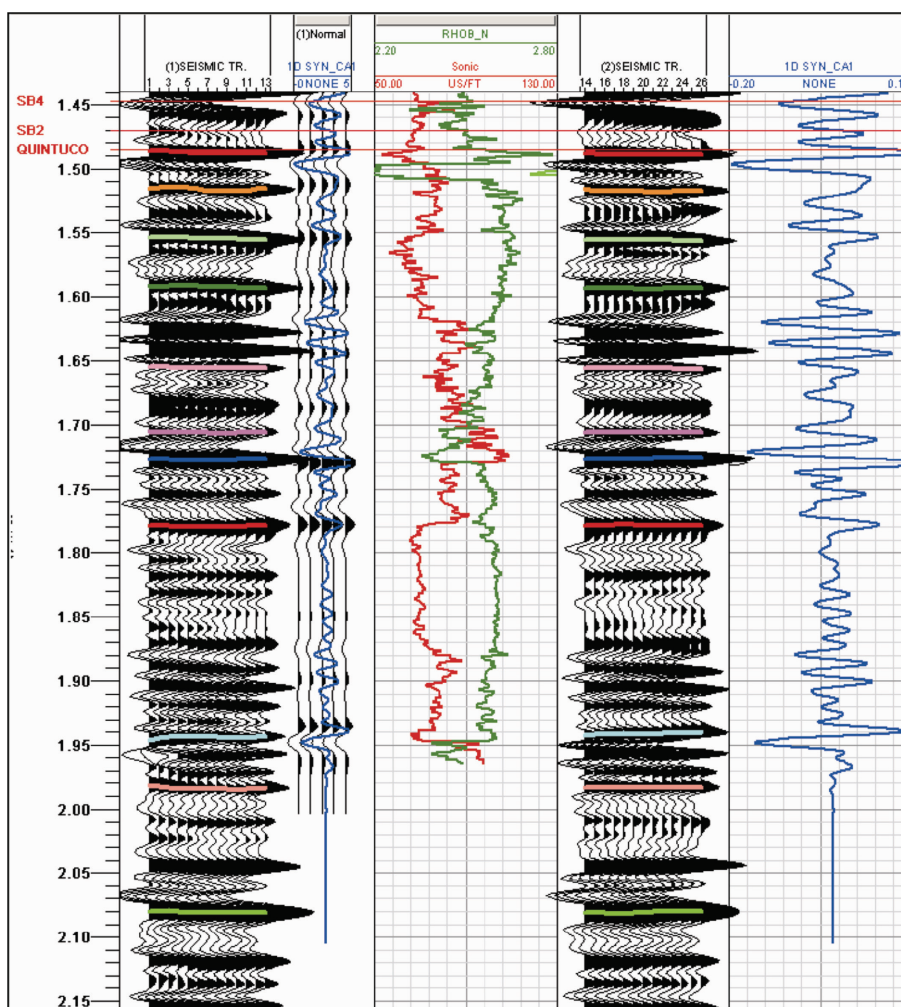


Figura 8. Sismograma sintético – Pozo SCh xp-15

HORIZONTES SÍSMICOS

En la interpretación sísmica se propagaron las 6 superficies de regresión máxima (ex superficies transgresivas) incluyendo al tope de la Fm Quintuco que representa en realidad una discordancia subaérea y corresponde a la reactivación tectónica que genera la discontinuidad Intravalanginiana.

Entre las superficies principales se reconocieron otras de mayor frecuencia que constituyen variaciones de menor jerarquía y que por su geometría o alguna otra particularidad observada resultaron de interés.

El único sondeo disponible para realizar la correlación entre perfiles y datos sísmicos es el SCh. xp-15 (Sierra Chata) que atravesó parcialmente el intervalo ya que no llegó a la base de la Fm Vaca Muerta y permitió elaborar un sismograma sintético con un adecuado grado de ajuste (Figura 8).

Todos los horizontes fueron mapeados en los cubos sísmicos y se obtuvieron las distribuciones de diferentes atributos sísmicos que permiten inferir las geometrías deposicionales.

También se realizaron mapas de espesores en tiempo que conjuntamente con los demás elementos analizados se utilizaron para reconstruir la evolución paleogeográfica.

El espesor del primer ciclo está fuertemente influenciado por la presencia del alto de Chihuidos y muestra un adelgazamiento en dirección noroeste (Figura 9).

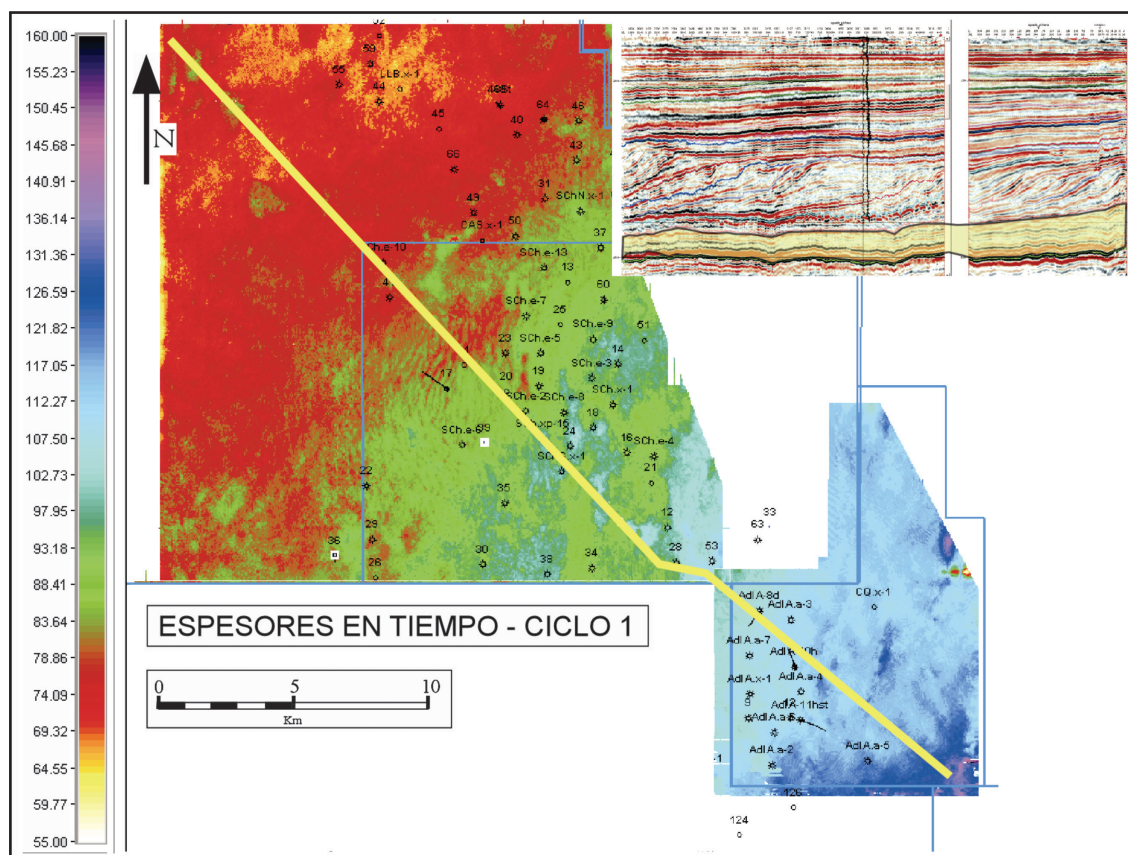


Figura 9. Espesores en tiempo – Ciclo 1.

El segundo ciclo muestra un cambio en la distribución de espesores, con aumento hacia el sudoeste. También en este caso está presente la influencia del máximo de Chihuidos pero de una manera diferente ya que los mayores espesores se ubican al suroeste del sector analizado y seguramente rodean al positivo por el sur hacia el ámbito de interior de cuenca.

En este ciclo el intervalo de *highstand* cobra una importancia mayor que en ninguno de los otros mostrando progradaciones de gran espesor y de una geometría de alto ángulo, que en todos los casos tienen una dirección principal hacia el noroeste, demostrando que ya en este ciclo comienza a perder influencia la estructura de Chihuidos aunque todavía se preserva como un sector de menor subsidencia. La relación entre aporte de sedimentos y espacio de acomodación está extremadamente desbalanceado y como consecuencia la inclinación de las progradaciones adquiere una geometría oblicua.

Una de estas clinoformas identificada informalmente como QP1 presenta en su sector de talud y parte del *bottomset* una deformación muy intensa caracterizada por fracturas cortas y de escaso rechazo mayoritariamente subverticales, con pequeños arrastres asociados (Figura 10).

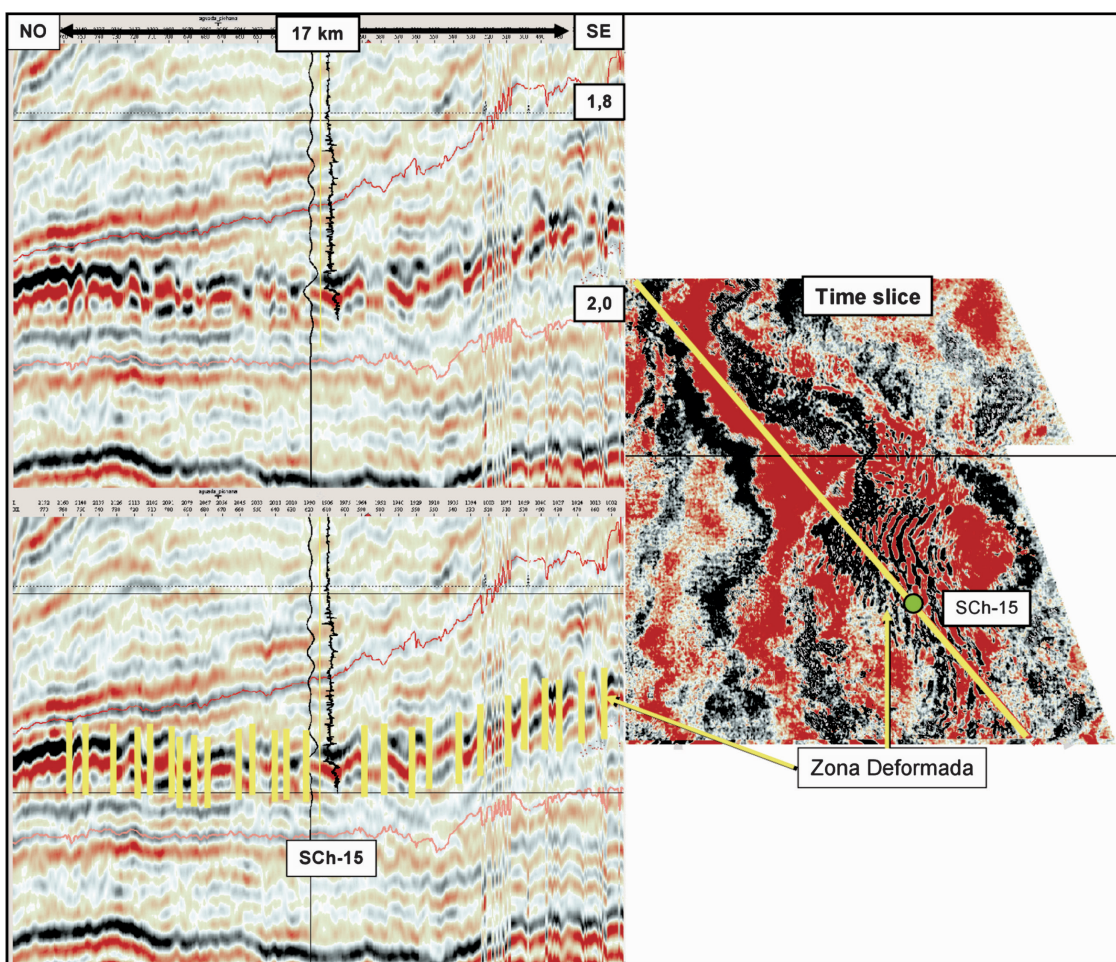


Figura 10. Deformación en Clinoforma – Ciclo 2.

Esta deformación está claramente acotada y fuera de este sector no se encuentra presente.

Los episodios de alta frecuencia dentro del ciclo 2 poseen en todos los casos geometrías sigmoidales con mayor desarrollo de espesor en los sectores de *foreset* (borde de plataforma y talud) y muy delgados en el *topset* y *bottomset* (plataforma y cuenca). Los diseños muestran una clara dirección de avance del sistema hacia el noroeste (interior de cuenca) y las amplitudes muestran atenuaciones que en la mayoría de los casos coinciden con los sectores de borde de plataforma y talud.

El ciclo 3 presenta también sus mayores espesores hacia el sudoeste marcando una geometría similar al ciclo anterior donde el Dorso de Chihuidos es rodeado por el sur hacia el sector de interior de cuenca ubicado hacia el noroeste.

Luego de un corto intervalo transgresivo, comienzan nuevamente progradaciones con una geometría de ángulo muy bajo (*shingled*) indicando una relación entre espacio de acomodación y aporte de sedimentos más equilibrada.

Se realizaron mapas de espesores entre reflectores que representan ciclos de alta frecuencia dentro del *highstand* y se observa aumento en dirección al noroeste y sudoeste lo que indica que aunque sumamente atenuado, aún el alto de Chihuidos está presente.

En los ciclos siguientes (Ciclos 4 y 5) los espesores entre superficies de máxima regresión sucesivas hasta el tope de la Fm Quintuco (discordancia Intravalanginiana) muestran un claro incremento en dirección al noroeste ya sin influencias del alto de Chihuidos (Figuras 11 y 12).

El intervalo Q2-Q1 (Ciclo 4) muestra amplitudes orientadas en sentido noreste sudoeste acorde con el diseño de los cambios de facies y por ende la paleogeografía.

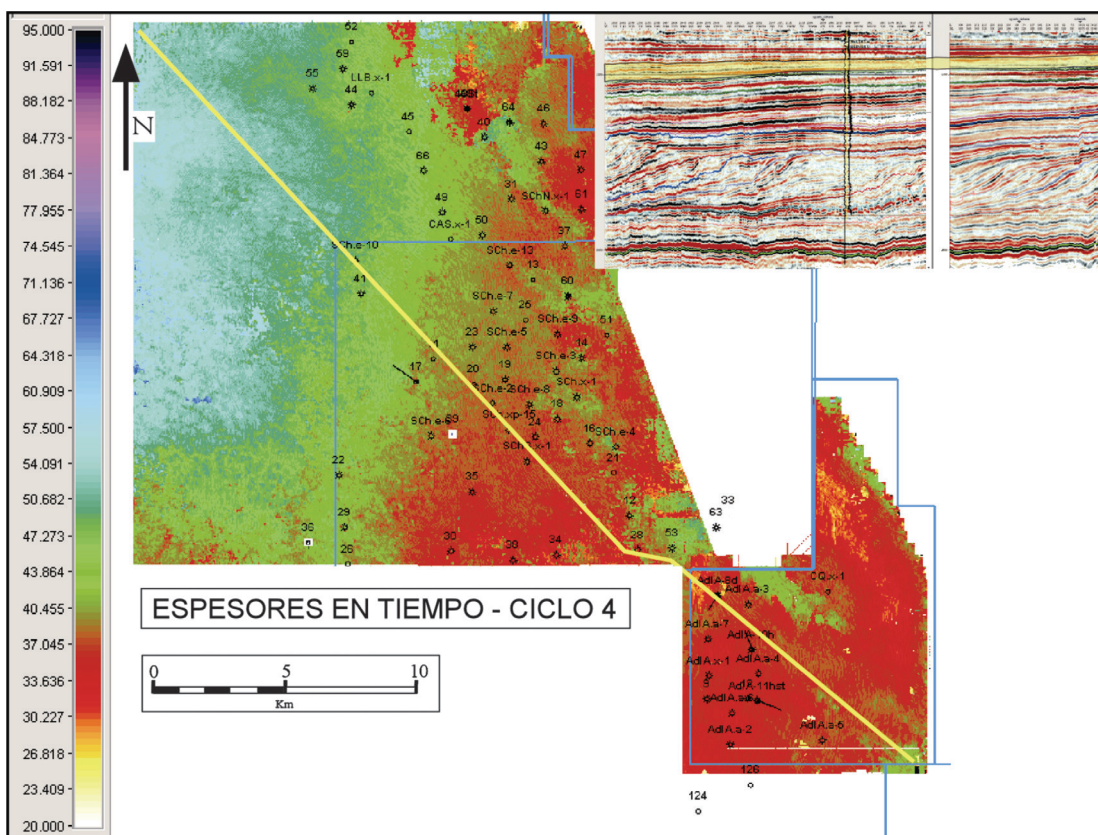
Las amplitudes promedio del tramo Q1-Topo Quintuco (Ciclo 5) poseen una distribución irregular con cuerpos de mayores amplitudes elongados en sentido noroeste sudeste (perpendiculares a la orientación principal de cambios de facies) y otros con diseño noreste sudoeste (paralelos a la paleogeografía de la línea de costa).

6 - EVOLUCIÓN GENÉTICA

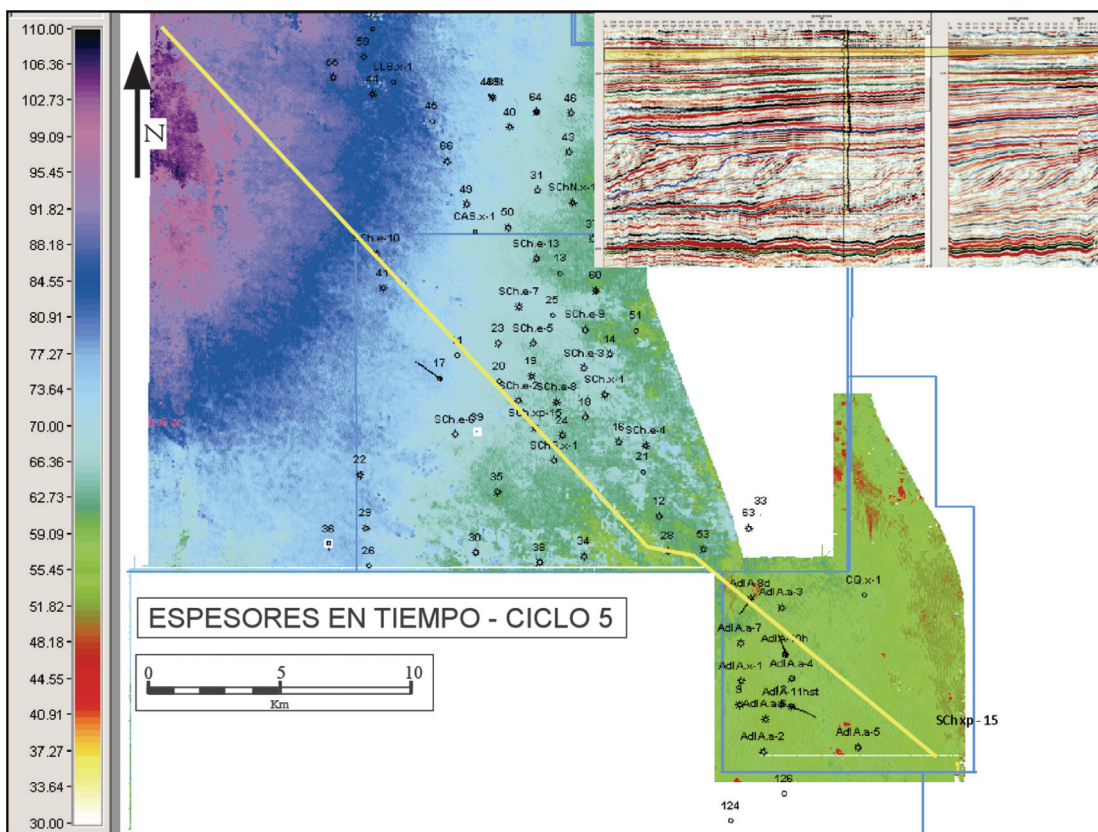
El inicio de este ciclo se produce a fines del período Jurásico (Tithoniano), con una rápida ingresión marina que depositó margas y pelitas negras con elevado contenido de materia orgánica que representan un ambiente de baja energía, anóxico, de una continuidad y uniformidad notables.

La sucesión que continúa presenta como rasgos sísmicos, alternancias de patrones paralelos a subparalelos y oblicuos de mayor y menor gradiente, que fueron interpretados como eventos retrogradantes (transgresivos) y progradantes (regresivos) respectivamente.

De esta manera se reconocieron desde la primer ingresión marina hasta el tope de la Fm Quin-



Figuras 11 y 12. Espesores en tiempo – Ciclos 4 y 5.



tucu (discordancia Intravalanginiana) 5 ciclos, con una máxima expansión marina coincidente con la superficie de inundación máxima del segundo y a partir de allí un continuo avance de depósitos proximales sobre distales.

En cuanto a la génesis de estos ciclos resulta indudable que existieron variaciones del nivel de base cíclicas ya sea a través de oscilaciones del nivel del mar o a cambios en el régimen de subsidencia y/o aporte sedimentario que son los responsables de la evolución vertical.

Luego del primer y segundo intervalos transgresivos que presentan los mayores desarrollos en espesores, los restantes son en esta posición paulatinamente más delgados hasta el tope del ciclo.

Los tramos regresivos muestran incremento de espesores desde la base hasta el segundo y luego disminución hasta el tope del intervalo analizado.

Maretto y Pángaro (2005) han propuesto la existencia de una reactivación tectónica en la sección media de este conjunto en el área de Sauzal Bonito-Loma de la Lata y en el Dorso de los Chihuidos. El cambio de configuración de reflectores oblicuos a “*shingled*” es la superficie donde interpretan la presencia de esta discontinuidad.

De todos los datos analizados en este informe no surge la existencia de discordancia alguna dentro del intervalo estudiado. Lo que puede resaltarse para la zona analizada es que se reconoce el mismo cambio de configuración de reflectores dentro de los términos medios de las Fms Vaca Muerta – Quintuco aunque sin poder definir si corresponde a la misma línea tiempo.

El mencionado cambio implica una modificación muy marcada en el régimen de sedimentación ya sea debido a variaciones en la velocidad de subsidencia o en el aporte sedimentario. Mitchum y Uliana (1982) no efectúan ninguna consideración al respecto supuestamente considerando una evolución gradual tal vez debido a que su análisis fue efectuado en un marco regional.

También en su trabajo de síntesis Leanza *et al.*, (2011) separan tres estadios principales, sin discordancias mediante, con una sección basal con geometría en rampa (Tithoniano Temprano a Medio), un intervalo de talud con marcadas clinoformas (Tithoniano tardío-Berriasiano) y un tramo con quiebre de plataforma más suave (Valanginiano).

Las razones de esta particular evolución no han sido aún explicadas claramente y seguramente existen una combinación de factores alogénicos que posibilitaron este diseño.

En cuanto a la evolución vertical se reconoce que los ciclos inferiores están afectados por la presencia de un paleorrelieve heredado o una menor subsidencia relativa que ocasionó un adelgazamiento de los espesores sobre el área de mayor relieve de la estructura del Dorso de los Chihuidos así como el empinamiento de las clinoformas del segundo ciclo.

Este efecto se atenúa hacia niveles superiores y desaparece en los planos de espesores de los dos ciclos cuspidales así como el ángulo de las progradaciones se hace significativamente menor.

De esta manera se puede inferir que las variaciones del nivel de base que condicionan el diseño del relleno sedimentario comienzan con una fuerte influencia eustática según resaltan Mutti *et al.* (1994), mientras que a medida que evoluciona el relleno existen en distintas regiones de la

cuenca variaciones tanto en lo que se refiere al aporte sedimentario como a la subsidencia que interfieren con las oscilaciones puramente eustáticas.

El sector analizado no escapa de estas consideraciones y refleja en su evolución los cambios en los patrones de apilamiento que pasan de graduales en la base a abruptos en la sección media y vuelven a ser progresivos al techo.

DEFORMACIÓN GRAVITACIONAL

Dentro de las pronunciadas clinoformas que caracterizan el Ciclo 2 se observó una particularidad que resultó de gran interés y que corresponde a la existencia de una intensa deformación estructural asociada con las porciones de talud (*foreset*) y la parte proximal de la cuenca (*bottomset*) de la progradación denominada QP1. Esta intensa fracturación acompañada de deformación intraestratal está areal y verticalmente restringida como indica la Figura 13 por lo que su génesis está indudablemente relacionada con procesos que solo se desarrollaron en un intervalo estratigráfico acotado.

Para individualizar la geometría y extensión de estos rasgos se obtuvieron atributos sísmicos de horizontes (dip-azimut) y se crearon volúmenes de coherencia y TecVA (atributo desarrollado por Petrobras) que permitieron profundizar en su descripción (Figuras 13 y 14).

Los rasgos que caracterizan este rasgo son:

1 – Está presente dentro de una de las clinoformas de mayor ángulo observadas en el sector analizado.

2 – Afecta verticalmente un intervalo de no más de 25 a 30 milisegundos que a la profundidad y de acuerdo a la litología inferida por perfiles y recortes de terreno no supera los 60 m.

3 – Está arealmente restringido a la zona de mayor pendiente y al quiebre de la misma en la mencionada progradación.

4 – La orientación de las fracturas es perpendicular a la dirección de transporte de sedimentos o sea hacia el oeste noroeste. En la coherencia se observan fracturas transversales de orientación NO-SE (Figura 14).

5 – El diseño que adoptan el conjunto de fallas interpretado es semicircular, con la convexidad apuntando hacia la dirección de progradación (noroeste).

6 – Las dimensiones de los bloques delimitados por fallas que permite reconocer la resolución sísmica, son de 200 hasta 850 – 900 metros.

Todos estos rasgos son compatibles con los procesos asociados con la acción de fuerzas gravitatorias que cuando se dan condiciones favorables ocasionan la pérdida de estabilidad de grandes masas de rocas semi-consolidadas o no consolidadas, que se desplazan por una pendiente hasta que el efecto de rozamiento contra la superficie de desacoplamiento mecánico equilibre la fuerza

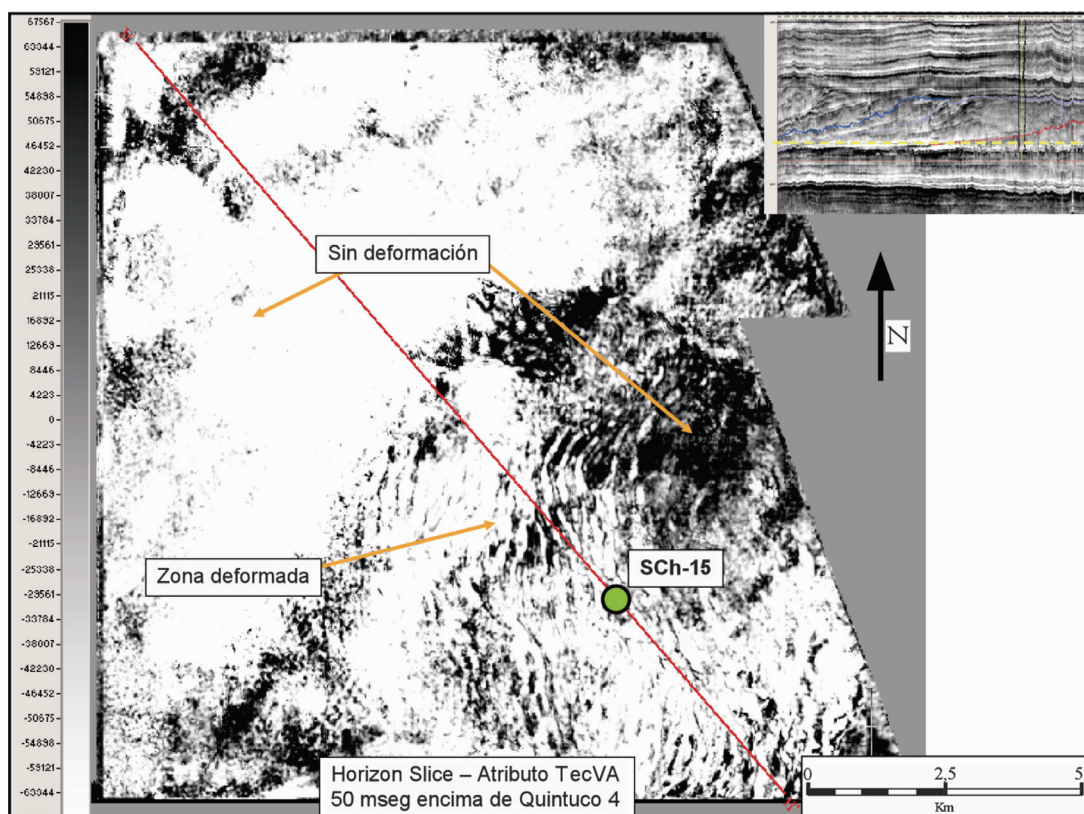


Figura 13. *Horizon Slice* Atributo TecVa.

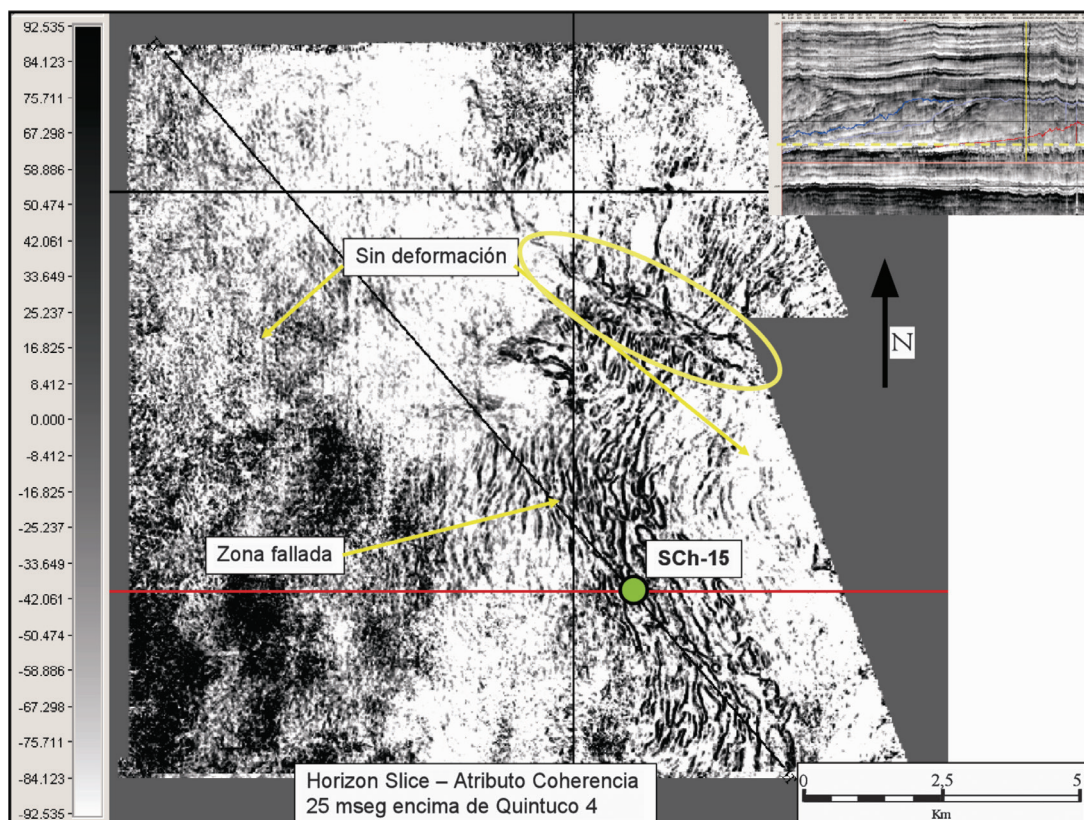


Figura 14. *Time Slice* de Coherencia.

de desplazamiento y el movimiento se detiene.

En este caso el desequilibrio pudo haberse producido por diversas razones entre las que los autores mencionan la acción de movimientos telúricos, el exceso de aporte sedimentario sobre un talud deposicional y favorecidos por la existencia de una pendiente con gradiente elevado y deslinde mecánico entre litologías contrastantes y la posible presencia de sobrepresiones (Rowan *et al.* 2004; Webb y Cooper 1988; Mourgues *et al.* 2009).

Las observaciones efectuadas en la información sísmica analizada sólo permitieron reconocer este estilo de deformación en uno solo de los niveles que representan el intervalo regresivo (*Highstand System Tract*) de la segunda secuencia descrita, por lo que las condiciones para su generación sólo se dieron en ese intervalo aunque no se puede descartar que en otras posiciones de margen de plataforma de la misma secuencia o de secuencias con condiciones equivalentes, pudieron haberse producido.

Ya han sido reconocidos en afloramientos del oeste de Neuquén sucesiones de areniscas y fangolitas generadas por flujos gravitacionales (sucesión de Huncal) que se desarrolló durante el Berriasiano temprano (Leanza *et al.* 2003) y que Spalletti *et al.* (2008) asignan a desmoronamientos a través de taludes con proveniencia del oeste. Estas sucesiones están deformadas con pliegues y fallas y poseen sectores con movimientos de masa de grandes dimensiones (mayores a 0,6 km³).

En el ejemplo descrito en este trabajo, los mecanismos responsables de la deformación serían equivalentes y reúnen todas las condiciones que los autores reconocen para la existencia de deslizamientos gravitacionales. Los taludes que favorecieron este proceso serían deposicionales, en un intervalo con fuerte desequilibrio entre espacio disponible y aporte sedimentario y es probable que pueda hallarse en otros sectores del subsuelo con condiciones geológicas semejantes.

CONCLUSIONES

- 1 – En la ubicación de los campos de Sierra Chata y Aguada de la Arena las Fms Quintuco y Vaca Muerta se encuentran integradas por facies distales correspondiendo a ambientes de baja energía.
- 2 – La evolución de esta unidad permitió reconocer la existencia de 5 ciclos mayores transgresivo-regresivos que están subdivididos en otros menores.
- 3 – Se inicia con una transgresión marina con depósitos de arcillas orgánicas que representan los ambientes más distales del sistema.
- 4 – A partir de la inundación que corresponde al segundo ciclo predominan ampliamente las condiciones regresivas sobre las transgresivas.
- 5 – El segundo episodio de progradación posee los taludes más pronunciados marcando un desequilibrio enorme entre aporte sedimentario y espacio disponible.

- 6 – En esta sección se reconoció la existencia de un único paquete que presenta una gran intensidad de deformación en las secciones de talud y pie de talud.
- 7 – Esto fue interpretado como generado por deslizamientos gravitacionales.
- 8 – Estos rasgos podrían constituir un modelo prospectivo con porosidad secundaria en depósitos finos.
- 9 – En áreas de afloramientos ya han sido descriptas estos procesos asociados con areniscas y lutitas de afinidad turbidítica (sucesión de Huncal).
- 10 – Los siguientes intervalos regresivos poseen pendientes menos pronunciadas (*shingled*) mostrando un mayor equilibrio entre aporte y espacio disponible.
- 11 – El ciclo culmina con una discordancia (Intravalanginiana) que posee suaves truncaciones en el área analizada.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a las autoridades de Petrobras Argentina por permitir la publicación de la presente contribución. También al colega Martín Olmos y a Silvina Valente por sus recomendaciones que contribuyeron al enriquecimiento del contenido y a Gustavo Pascal por la inestimable ayuda con las figuras.

REFERENCIAS CITADAS

- Catuneanu O. 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Ed. Elsevier. Amsterdam.
- Embry A. F., & Johannessen, E.P., 1992. T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, Western Sverdrup Basin, Arctic Canada. In; Vorren T.O., Bergsager E., Dahl-Stamnes, O.A., Holter, E., Johansen, B., Lie, E., Lund T.B., (Eds.) Arctic geology and Petroleum Potential. Special Publication, vol. 2. Norwegian Petroleum Society, pp.121-146.
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A. & Digregorio, R.E. 1984. Análisis estratigráfico del intervalo Tithoniano - Valanginiano (Formaciones Vaca Muerta - Quintuco y Mulichinco) en el suroeste de la provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 221-235. Buenos Aires.
- Leanza H.A., Marchese H.G. & Riggi, J.C. 1978. Estratigrafía del Grupo Mendoza con especial referencia a la Formación Vaca Muerta entre los paralelos 35° y 40° l.s. Cuenca Neuquina-Mendocina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 32(3): 190-208. Buenos Aires.
- Leanza H.A., Sattler, F., Martínez, R.S. & Carbone, O. 2011. La Formación Vaca Muerta y equivalentes (Jurásico Tardío-Cretácico Temprano), en la Cuenca Neuquina, Argentina. Relatorio XVII Congreso Geológico Argentino. Neuquén: 113-129. Buenos Aires.

- Leanza H.A., Hugo, C.A., Repol, D. & Salvarredy Aranguren, M. 2003. Miembro Huncal (Berriasiano Inferior): un episodio turbidítico en la Formación Vaca Muerta, cuenca Neuquina, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58 (2): 248-254. Buenos Aires.
- Maretto H. & 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, Actas 225-237. Mar del Plata. Actas en CD
- Mitchum, R.M. & Uliana, M.A. 1982. Estratigrafía sísmica de las Formaciones Loma Montosa, Quintuco y Vaca Muerta, Jurásico Superior y Cretácico Inferior de la Cuenca Neuquina, Argentina, 1º Congreso Nacional de Hidrocarburos, Petróleo y Gas, Actas 439-484. Buenos Aires.
- Mourgues, R., Lecompte, E., Vendeville B., Raillard S., 2009. An experimental Investigation of gravity-driven shale tectonics in progradational delta. *Tectonophysics* 474: 643-656.
- Mutti, E., Gulisano, C.A. & Legarreta, L. 1994. Anomalous systems tracts stacking patterns within 3rd. Orden depositional sequences (Jurassic – Cretaceous backarc Neuquén Basin, Argentina Andes. En: Posamentier, H.W. & Mutti, E. (Eds.): *Second High Resolution Sequence Stratigraphy Conference*, Abstracts: 137-143, Trempt
- Pedreneiras Raja Gabaglia G., Borges Rodríguez E., Campos Magalhaes A. J., Arregui C., Savini R., 2006. High resolution stratigraphic methodology applied to paralic and continental stable and tectonically active sets. 17th International Sedimentological Congress 2006, Fukuoka, Japan. Abstract.
- Rowan, M.G., Peel, F.J., Vendeville, B.C. 2004. Gravity-driven Fold Belts on Passive Margins, in K. R. McClay, ed., *Thrust tectonics and hydrocarbon systems*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 82, p. 157-182
- Spalletti, L.A., Franzese, J., Matheos, S.D. & E. Schwarz, E. 2000. Sequence stratigraphy of a tidally dominated carbonate-siliciclastic ramp; the Tithonian-Early Berriasian of the Southern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society* 157: 433-446. Londres
- Spalletti, L.A., Veiga, G.A., Schwarz, E. & Franzese, J. 2008. Depósitos de flujos gravitacionales subácueos de sedimentos en el flanco activo de la Cuenca Neuquina durante el Cretácico temprano. *Revista de la Asociación Argentina* 63 (3): 442-453.
- Webb, B.C., & Cooper, H., 1988. Slump folds and gravity slide structures in a Lower paleozoic marginal basin sequence (the Skiddaw Group), NW England. *Journal of Structural Geology*. Vol. 10. N° 5 pp. 463-472